2024中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会

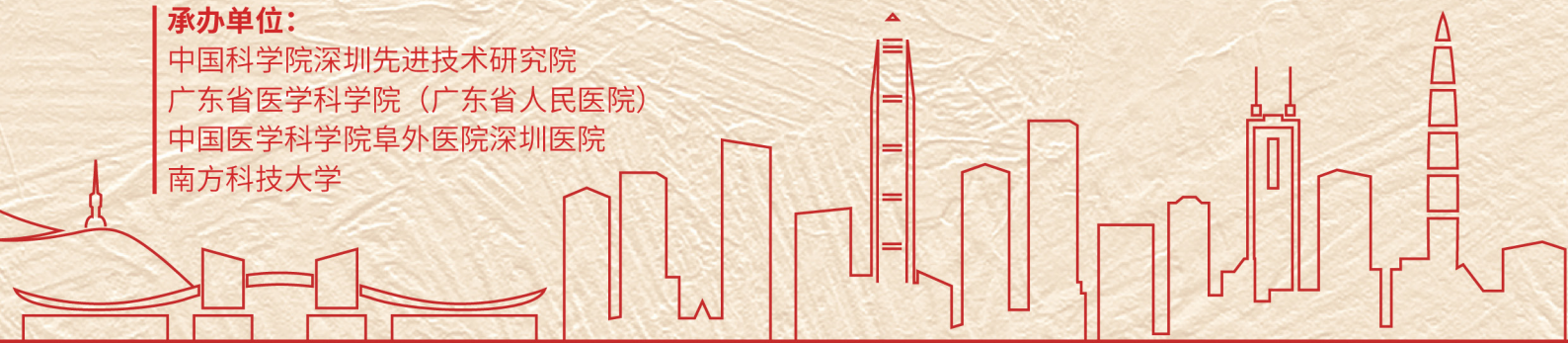
2024 CHINA BIOMEDICAL ENGINEERING CONFERENCE & MEDICAL INNOVATION SUMMIT

2024年9月19日-22日 | 中国·深圳

口头报告摘要
论文竞赛复赛（会议现场口头报告）

主办单位：
中国生物医学工程学会

承办单位：
中国科学院深圳先进技术研究院
广东省医学科学院（广东省人民医院）
中国医学科学院阜外医院深圳医院
南方科技大学



口头报告摘要

S01 ..... **002**

生物医学测量、信号处理及仪器

S02 ..... **027**

医学图像信息与人机交互前沿进展

S03 ..... **064**

脑机接口与神经工程

S04 ..... **086**

神经康复与智能假肢

S05 ..... **101**

生物医学传感与医工融合发展

S06 ..... **129**

元宇宙、大模型背景下的健康工程融合创新

S07 ..... **154**

生物力学

S08 ..... **171**

纳米医学与工程

S09 ..... **188**

组织工程与再生医学

S10 ..... **214**

生物材料与医疗器械

S11 ..... **240**

计算×数据×模型驱动医疗范式变革

S12 ..... **247**

医学人工智能与智慧医疗

目录

S13 ..... **279**

生物医学光子学

S14 ..... **297**

医学检验工程

S15 ..... **306**

超声诊疗技术创新与融合

S16 ..... **314**

电磁与健康

S17 ..... **327**

介入医学工程与血液接触材料

S18 ..... **344**

血液疗法与工程新进展

S19 ..... **356**

柔性生物电子及可穿戴医疗

S20 ..... **370**

生命复杂系统的建模与仿真

S21 ..... **385**

医学影像工程新技术与新进展

S22 ..... **401**

类脑智能展

F08 ..... **408**

呼吸疾病方面的研究或方法

F10 ..... **411**

生物制造

论文竞赛复赛（会议现场口头报告）

S01 ..... **417**

生物医学测量、信号处理及仪器

S02 ..... **430**

医学图像信息与人机交互前沿进展

S03 ..... **443**

脑机接口与神经工程

S04 ..... **461**

神经康复与智能假肢

S05 ..... **473**

生物医学传感与医工融合发展

S06 ..... **482**

元宇宙、大模型背景下的健康工程融合创新

S07 ..... **489**

生物力学

S08 ..... **493**

纳米医学与工程

S09 ..... **500**

组织工程与再生医学

S10 ..... **513**

生物材料与医疗器械

S11 ..... **519**

计算×数据×模型驱动医疗范式变革

S12 ..... **527**

医学人工智能与智慧医疗

目录

S13 ..... **536**

生物医学光子学

S14 ..... **541**

医学检验工程

S15 ..... **548**

超声诊疗技术创新与融合

S16 ..... **554**

电磁与健康

S17 ..... **564**

介入医学工程与血液接触材料

S18 ..... **567**

血液疗法与工程新进展

S19 ..... **568**

柔性生物电子及可穿戴医疗

S20 ..... **572**

生命复杂系统的建模与仿真

S21 ..... **577**

医学影像工程新技术与新进展

S22 ..... **585**

类脑智能

口头报告摘要

S01
生物医学测量、信号处理及仪器

ID 225

用于心血管慢病管理的电化学多重检测评估一体化方法

郑安然、李超、张威、周连群
中国科学院苏州生物医学工程技术研究所

目的：心血管疾病发病率和死亡率高，但可预防性强，检测相关慢性指标对疾病预防至关重要。本研究主要针对心血管慢病管理过程中的多种慢性指标，建立了多重检测和评估一体化体系，对心血管疾病慢病管理具有重要意义。

方法：针对肝素抗凝治疗构建双区传感器并提出酶联差时法。该方法通过双区检测样本凝血过程中凝血酶达到最大值的时间，以双区时间差值判断该样本中肝素的作用效价。针对尿酸指标构建尿酸清除率传感器，提出了一种带滤膜的pH 敏感型尿酸氧化酶修饰电化学传感器，通过检测血液和尿液中的尿酸来计算尿酸清除率。针对葡萄糖、乳酸和胆固醇代谢指标，以电酶介体在多代谢物检测中的电位偏移为核心提出酶介分峰法。通过调节氧化还原反应发生在不同电位下，进而实现一个芯片上的三重检测。最后集成已经构建的传感方法，结合样本信息分析，通过队列研究，风险因素分析等方式初步建立多重评估模型评估疾病风险。

结果：双区肝素传感器在10 μL全血中的线性检测的范围为0.1-5 U/mL，检测限为0.1 U/mL。与临床检测的相关系数为0.987。尿酸清除率传感器在5 μL样品中的检测限为0.25 μM，线性范围宽达2.5-7000 μM，并且校准了pH 值的影响，与临床检测结果的线性相关性高于0.980。通过线性回归分析校准了三重检测传感器的不同背景检测差异。对葡萄糖、乳酸和胆固醇的检测范围分别是0.01-25 mM、0.01-10 mM和0.01-10 mM，与临床测试的相关系数分别为0.985、0.980和0.984。风险评估模型的多元回归拟合相关性为0.967，该模型的评估与临床诊断的一致性检验结果为97.6%。

结论：本研究构建用于心血管慢病管理的多重检测方法体系，建立了生物多重电极传感机理，克服血液样本检测易受干扰、准确性差等难题，实现临床微量样本多重快速检测验证，为心血管疾病慢病管理提供系统技术支撑。

关键字：生物传感器；电化学多重检测；酶联差时法；酶介分峰法；心血管疾病

ID 230

肝细胞癌蛋白-miRNA生物标志物多重检测的方法研究

李莹雪、李金泽、张威、杨弃、李传宇、周连群
中国科学院苏州生物医学工程技术研究所

目的：肝细胞癌是占原发性肝癌的90%，是全世界癌症相关死亡率的第三大常见原因，常因晚期发现无法手术治疗，早期发现和血清生物标志物对临床管理和治疗策略至关重要。本研究主要针对肝细胞癌部分潜在蛋白和miRNA生物标

志物，构建了一种芯片式多重检测方法，有助于提高诊断的特异性和敏感性。

方法：该方法检测原理是采用Power Styramide™信号放大技术，即HRP催化荧光标记的Styramide™转化为高活性Styramide™自由基，与酶位点上或附近的酪氨酸残基共价结合和原位结合到目标蛋白质或核酸序列上。研究使用肝细胞癌的潜在诊断标志物miR-21、miR-122、miR-223、AFP和PIVKA II作为靶标来验证方法的灵敏度、特异性和检测限。收集临床样本，使用芯片与标准的RT-qPCR和ELISA方法对其进行检测评估新方法。

结果：该检测方法具有良好的灵敏度和特异性，在20 μL血清中蛋白和miRNA检测线性范围分别为0.315-20 ng/mL和10-10^6 copies/μL，其中AFP和PIVKA II的检测限均低于0.3 ng/mL， miR-21、miR-122和miR-223的检测限均低于100 copies/μL，临床样本检测的线性相关性均大于0.985，经统计分析发现多维多重生物标志物联合评估对肝细胞癌诊断的特异性和敏感性分别为0.818和0.917。

结论：综上，本研究构建了一种芯片式多维多重检测方法，与金标准方法具有良好的一致性。此外，研究发现单一生物标志物检测在肝细胞癌患者诊断中的敏感度较低，而使用多维多重生物标志物联合评估可以提高诊断灵敏度。该研究可望为肝细胞癌的早期诊断提供新的工具和途径。

关键字：microRNA；蛋白；肝细胞癌；多维多重；芯片

ID 231

Ultra-Sensitive and -Specific Single-Molecule Sensing Based on Dissociation Rate Analysis

Chen Wang,Hui Yu

Shanghai Jiao Tong University

Objective: The need of detecting low-abundance biomarkers accurately is growing rapidly. Dynamic single-molecule sensing method has significantly improved the limit of detection (LoD) of many important biomarkers. However, the kinetic analysis in dynamic information was still rough, limiting the further improvement both in sensitivity and specificity of the sensor. Here, based on dark-field plasmonic scattering microscopy, we introduced a dynamic sensing method based on single-molecule dissociation rate analysis (SiMDRA), which establish specific dissociation rate modeling to distinguish between signals from different target molecules and noise. SiMDRA method improves the sensitivity and specificity in dynamic sensing and provides a feasible way to extract transient dissociation signals from mass noise when using low-affinity probes.

Methods: The SiMDRA method is based on a single-molecule detection platform with sandwich scheme. The probes-coated gold nanoparticles are used for capturing target molecules and serve as the reporters of the association between target molecules and surface probes on a plasmonic scattering platform. The dark-field plasmonic scattering microscopy provides a large FOV (392×300 μm^2) to enable us to track thousands of single-particle events in a 10-min process. Like the problem the most of dynamic detection methods faced, the specific signals often overwhelmed by the mass noise caused by the unwanted interactions between reporters and surface. The dissociation rate analysis is applied here to separate noise and signal by modeling the bound lifetime contribution of single particle caused by both specific and unspecific interactions, and finally characterize the concentration of target molecules via the weight of specific signal.

We first established the dynamic interaction model of probe-target molecule pair and extracted the specific signal from noise by a double exponential decaying modelling in simulated data. Then, we designed the SiMDRA assays targeting miR-21 and miR-362 and tested the detection performance by using the DNA equivalents of miR-21, miR-362 and single nucleotide mutated strand of miR-21.

Results: The SiMDRA assay showed high sensitivity and specificity in microRNA detection. We compared the detection

performance of miR-21 by different detection methods: the conventional end-point detection scheme measured the final signal intensity after incubation to characterize the concentration of target (134 fM LoD), the dynamic sensing scheme with bound lifetime threshold (34 fM LoD) and the SiMDRA method (16 fM LoD), showing that SiMDRA could reach a lower LoD than a common dynamic sensing method and meanwhile measure the dissociation rate of the target-probe pairing.

And in the detection of the DNA equivalents of miR-21, miR-362 and single nucleotide mutated strand of miR-21, the method reached the LoD of 16 fM, 2 fM and 12 fM. SiMDRA could also distinguish different analytes by measuring the differences in average binding time which reflects the different dissociation rate due to different affinity between target-probe pairs. The average lifetime of the three analytes above were determined respectively as 29.16 s, 23.76 s and 1.03 s. Additionally, the dissociation rate analysis could be reliable done in very low concentration (femtomole level).

Conclusion: SiMDRA provides a method to analyze the dissociation rate between different molecules and probes, allowing ultra-sensitive and -specific single-molecule sensing by extracting the specific kinetic signal from mass noise. Even with low-affinity probes, SiMDRA still can distinguish the characteristic signals from noise and different target molecules. Via this method, we successfully detected the DNA equivalents of miR-21, its single nucleotide mutated strand and miR-362 with extremely low LoD. The SiMDRA showed the ability to distinguish slight difference in binding affinity of different molecules. It also avoided the complex and time-consuming protocols including long-time incubation and elution. And thanks to the plasmonic scattering imaging approach, there is no photobleaching problem which usually should be concerned in most of dynamic sensing methods based on fluorescent reporters. All in all, we believe SiMDRA have great potential in high-throughput and multiplex biomarkers detection and could provide a feasible and easy to use approach in diseases diagnosis or single-molecule kinetics research.

Key Words: Single-Molecule Sensing, Dynamic Sensing, Dissociation Rate Analysis

ID 252

实时数字多重核酸检测方法研究与临床应用

李金泽、张威、周连群

中国科学院苏州生物医学工程技术研究所

目的：恶性肿瘤是严重威胁人民生命健康的重大疾病，循环肿瘤核酸精准检测是肿瘤精准诊疗的重要手段之一。然而，循环肿瘤核酸具有丰度极低、突变类型繁多、异质性显著等特点，亟需高灵敏、多靶标的核酸检测新方法。数字化通过微单元隔离可实现高灵敏的单分子核酸检测，然而，目前数字化核酸检测尚存在扩增过程调控机制不清晰导致准确性差以及传感信号难解析导致靶标数少等两方面问题。

方法：本研究围绕数字化核酸检测定量准确性差和检测靶标数少两方面问题，从传感方法、微纳芯片、仪器系统、软件算法、临床应用等方面开展系统性研究，创制实时数字多重核酸检测方法和系统，实时获得数万个微单元内的扩增曲线和熔解曲线信息，构建数字实时荧光熔解分级编码方法，通过多维信息实现更精准的阴阳分类、扩增调控和多靶标检测。

结果：通过实时扩增曲线，结合曲线特征与定量循环，建立支持向量机分类和定量循环正态分布自校正等数据分析方法，假阳性率减少64.4%，定量准确性提高至99%；通过微单元内温度指示荧光探针实时监测，建立微单元内非接触式闭环温度控制方法，实现单分子核酸扩增条件的精准调控；建立多色荧光、多熔解温度、多物理分区的多维传感方法，实现单芯片10至100重靶标的检测，通过骨髓增殖性肿瘤、肝癌、肺癌等多类临床样本，验证了多维传感方法的应用价值。

结论：上述工作实现了高精准、多靶标的核酸检测方法创新突破，为肿瘤发生与演进机制研究提供多靶标信息，为肿瘤早筛、微小残留监测提供新途径、新方法。

关键字：实时数字核酸检测；精准核酸定量；多靶标核酸检测；液体活检

ID 333

基于彩虹光片照明的三维快照式成像方法研究

张鹏飞
天津大学

目的：光学切片技术选择性地照明或探测样品中一个薄层内的分子，通常具有较高的空间分辨率和散焦背景抑制能力。尤其是近年来发展迅速的光片显微技术，不仅具有非常低的光漂白和光毒性，还具有与宽场成像相当的视场大小、空间分辨率和成像速度，成为从亚细胞到组织多尺度成像的绝佳选择。然而，由于有限的景深，这一类成像技术通常需要在轴向扫描焦平面，并连续采集不同层面的光切图像，进行三维成像时速度较慢，难以捕获快速变化的动态过程。因此，亟需发展一种无需机械扫描的成像技术，实现快速的三维成像。

方法：作者提出一种基于彩虹光片照明的快照式成像方法，利用波长连续变化的彩虹光片从侧面照射透明的物体，将物体的深度信息编码于照明波长。同时采用具有色差的中继光路从正交方向探测物体散射的光子，经过色差补偿技术将不同深度处散射的不同波长的光子同时聚焦于其中间像平面处，从而将物体的空间三维结构信息转化成高光谱信息。最后利用孔径编码的高光谱成像仪进行采集，结合压缩感知的重建算法，重构出物体的三维结构。

结果：构建了概念验证的介观成像系统，并采用仿体和活体水母对该成像方法进行了验证。结果表明横向分辨率为12.7 lp/mm，深度分辨率约为140 μm，成像区域大小为10×10×10 mm，并能够清晰地重建透明和半透明物体的三维图像，三维体成像的速度达到15 volume/s。

结论：实验结果表明，彩虹光片成像系统无需机械扫描，仅需单次曝光即可实现对透明物体的三维成像能力，在透明生物活体成像中具有较大的应用潜力。

关键字：彩虹光片；三维成像；压缩成像

ID 459

Enhanced spatial resolution utilizing high-density functional near-infrared spectroscopy with time-gated photon counting in both confocal and offset optode configurations.

Dongyuan Liu,Zhiyong Li,Feng Gao
天津大学

Objective: Time-of-flight (ToF) functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) is a revolutionary technology with great potential for non-invasive functional neuroimaging due to its ability to capture precise measurements of blood oxygen levels. In addition, it offers a solution to the limitations in spatial resolution seen in continuous-wave fNIRS, thanks to the use of confocal arrays. However, the implementation of ToF-fNIRS presents challenges such as the need for extensive data collection and transmission, intricate channel calibration, and substantial equipment costs. As a response to these limitations, a sophisticated high-density fNIRS system employing time-gated photon counting has been developed. This innovative approach allows for the capture of detailed depth-resolved data using both confocal and offset optode configurations, while streamlining the hardware and computational complexities associated with traditional Tof-fNIRS systems.

Methods: In experimental application, Tof-fNIRS has the capacity to selectively discard the promptly arriving photons, aligning with the short path length photons. This results in a substantial enhancement of the signal-to-noise ratio albeit at the expense of decreased data transmission rates and heightened computational intricacy. Consequently, the fundamental essence of this inquiry lies in the formulation of a pragmatic strategy that upholds the advantages of temporally gated modalities without mandating the acquisition of a complete light transport transitory: the numerical readout from each channel remains a scalar value.The time-gated photon-counting system comprises two emitter-coupled logic circuits designed for signal processing, temporal gating modules, a counter unit, and a data transmission component. It includes a set of input interfaces, specifically, SYNC and PHOTON. SYNC functions as the synchronization signal extracted from the laser source, while PHOTON acts as the output connection derived from the Single Photon Avalanche Diode (SPAD) detector. To begin, the synchronization and photon signals are created using an ultrafast voltage comparator and high-speed D-flip-flop chip to produce a standardized pulse lasting 5 nanoseconds. Subsequently, a programmable delay module was developed to simultaneously capture hemodynamic information from both superficial and deep layers. This module adjusts the delay between dual gated windows (where Gate 1 corresponds to Layer 1 and Gate 2 corresponds to Layer 2) as well as the delay between the first gated window and the SYNC signal through the use of a programmable delay chip. These dual delay lines exhibit an exceptional temporal resolution of 10 picoseconds and cover a delay range of 10 nanoseconds. It is noteworthy to emphasize that crucial information concerning the temporal path of photons in the ToF-fNIRS realm primarily resides within a temporal window of a few nanoseconds.

Results: In order to showcase the prowess of the system under examination, a meticulous analysis of measurement performance and evaluation of image quality were carried out using data acquired from the prototype system. The experimental results demonstrate the effectiveness and feasibility of the developed system, manifesting a reduction in fluctuation levels to less than 0.5%, an enhancement in relative quantitative accuracy by 32.9%, as well as notable advancements of 31.6% in signal-to-noise ratio during reconstruction and 29.5% in spatial resolution.

Conclusion: This research elucidates the creation of a cost-efficient time-gated photon-counting confocal fNIRS imaging apparatus. Employing this state-of-the-art system, a succession of functional assessments and phantom analyses were carried out to evaluate its measurement and imaging functionalities. The findings from the assessment of measurement proficiency imply that the system demonstrates admirable measurement stability and the ability to proficiently monitor the temporal trajectories of photon counts. Furthermore, the imaging performance assessment experiment unveils the system's notable sensitivity and spatial resolution when employing confocal arrays. In essence, the time-gated fNIRS apparatus crafted in this investigation achieves meticulous depth-probing data capture in an economical fashion. Its imaging results showcase a marked amplification in spatial delineation and imaging accuracy, thereby furnishing insightful instrumental direction for fNIRS-related research pursuits.

Key Words: time-gated photon-counting; confocal array; fNIRS

ID 569

干涉式等离子体显微镜用于稀有样品中生物标志物的特异性数字化印迹测定

曾强、余辉

上海交通大学

目的：及时且准确地诊断疾病意义重大，临床中常用免疫分析对标志物进行定量。ELISA作为免疫分析的主流技术，其检测性能受到抗体特异性不足的限制。免疫印迹法（WB）通过质量分离标志物，进一步使用抗体标记检测，因此较ELISA有着更高的特异性。然而，传统WB技术的上样量在μg水平，因此不适合检测稀有样品（如脑脊液）中的生物标志

物。在此，作者提出数字化印迹技术（Digital Blotting，DB），该技术与WB一样，都基于分子的质量及抗体标记进行识别，可以在生物样本中准确地检测标志物分子，且上样量仅为传统WB的千分之一，有望用于稀有样品中标志物检测，以提高疾病的早期诊断准确率。

方法：数字印迹法基于干涉等离子显微镜（iPM）发展而来，该技术对结合到芯片表面的分子质量极其敏感，信号强度I与分子量Mw两者成指数关系，因此可实现不同质量生物分子的单分子成像，并通过信号强度加以区分。结合修饰在芯片表面的抗体探针，DB可以特异性地检测稀有样品中的蛋白标志物，而无需凝胶电泳的质量分离。以分子量不同的癌胚抗原CEA、铁蛋白Fer、甲状腺球蛋白Tg以及α2球蛋白α2MG为例，通过DB进行免疫分析，所记录数据基于信号强度加以分离和筛选。

结果：上述四种蛋白纯样品分析的检测限LoD分别为1.57，0.19，1.49和94.34 ng/mL，均在亚pM水平，优于传统ELISA一个数量级。得益于可以获取单个分子的质量信息，DB能在生物样品中实现超特异检测，通过对不同比例CEA和IgM混合样品的DB检测，可以发现两个随比例变化的信号峰。最后，通过分析变异系数，DB可以在30分钟内稳定检出亚pM的目标产物，因此还能极大缩短检测时间（v.s. 传统WB~24h）。

结论：数字化印迹技术可以在30分钟实现低载量印迹检测，同时为传统免疫分析提供分子的质量信息，提高了免疫分析的特异性，有望应用于复杂样本的标志物检测。

关键字：数字化印迹法，生物标志物，免疫分析，干涉等离子体显微镜，单分子成像

ID 886

基于动态扩散荧光层析的活体肿瘤小鼠ICG和IR780荧光剂定量成像研究

张丽敏、何转霞、李子硕、高峰

天津大学

目的：癌症是世界上最常见的致命性疾病之一，其早期诊断与患者生存期显著相关。近年来影像学检测方式逐渐成为肿瘤诊断研究的关键技术，其中荧光成像因其无电离辐射、高灵敏、高特异性以及低成本等优点而备受关注。与传统的影像学定性评价相比，近红外扩散荧光层析（Diffuse Fluorescence Tomography, DFT）成像不仅可以定位和定量组织中近红外荧光团的三维分布，同时可以动态检测荧光强度变化，获取荧光剂的药代动力学信息，提高原发性肿瘤检测效率并监测药剂在肿瘤中的累积和代谢。本研究旨在通过DFT成像对吲哚菁绿（Indocyanine Green, ICG）和IR780碘化物（IR780）两种荧光剂在肿瘤组织的累积和代谢进行定量分析，从而区分出肿瘤组织和正常组织。

方法：将小鼠肝肿瘤细胞（hepa1-6）注射到BALb/c裸鼠皮下背侧和肝脏部位以建立皮下肝肿瘤模型和肝脏原位肝肿瘤模型。肿瘤生长两周后，将ICG和IR780分别经尾静脉注射到荷瘤裸鼠体内，通过实验室自建DFT系统对皮下肝肿瘤模型鼠和原位模型鼠进行荧光检测和动态监测，利用皮下肿瘤和肝脏部位定量荧光信息分析和判断肿瘤生长和药代动力学信息。

结果：结果显示DFT成像结合IR780能有效识别各种皮下肿瘤，动态监测则揭示了IR780在皮下肿瘤中的长期滞留和在正常肝脏中的快速代谢。而ICG在原位肝肿瘤的荧光产率显著高于正常肝脏，在病变肝脏中的累积率和滞留率方面均展现出优越性。

结论：利用 DFT成像系统，我们成功观察到了皮下和原位肝肿瘤区域不同于正常组织的强荧光信号和长滞留效应。本研究为癌症的无损检测提供了一种简便、有效的检测思路。

关键字：扩散荧光层析；图像重建；ICG；IR780；药代动力学

ID 1130

Research on the Method of Improving Magnetoacoustic Coupling Imaging Quality Based on Liquid Metal

Junjie Lin[1,3],Yuheng Wang[1,3],Yuhui Nie[1,3],Zhipeng Liu[1,2,3,4],Tao Yin[1,2,3,4],Shunqi Zhang[1,2,3,4]

1. Peking Union Medical College

2. State Key Laboratory of Advanced Medical Materials and Devices, Tianjin, 300192, China.

3. Tianjin Key Laboratory of Neuromodulation and Neurorepair, Tianjin, 300192, China.

4. Tianjin Institutes of Health Science, Tianjin, 301600, China.

Objective: Gastrointestinal tumors are common malignancies of the digestive tract, with gastrointestinal stromal tumors (GISTs) being the most prevalent mesenchymal tumors within this system. Current diagnostic techniques for GIST, however, present various limitations. In response to the limitations of current diagnostic techniques, this study explores the potential of Magnetoacoustic Tomography with Magnetic Induction (MAT-MI), a novel imaging technique that leverages the electrical properties of biological tissues to achieve high-resolution imaging. MAT-MI uniquely combines the high spatial resolution of magnetic resonance with the deep tissue penetration of ultrasound, making it a promising tool for imaging complex biological structures. However, the clinical translation of MAT-MI is currently hindered by the weak magnetoacoustic signals it generates and its susceptibility to noise from signal attenuation and electromagnetic interference. These limitations necessitate enhancements in imaging techniques to improve signal strength and clarity.

Methods: To address these challenges, we propose the innovative use of gallium-based liquid metal (LM) as a contrast agent to enhance the imaging capabilities of MAT-MI. Gallium-based LM, as a novel biomedical functional material, exhibits excellent electrical conductivity and fluidity at room temperature, is non-volatile, safe, and non-toxic, making it an ideal candidate for biomedical imaging applications.

Our methodology involved a comprehensive evaluation of the properties of LM in various electrolyte solutions under the influence of electric fields. We specifically examined the behavior of LM in 0.9% NaCl, 1 mol/L sodium hydroxide, and 1 mol/L hydrochloric acid solutions to understand its electrochemical and deformational characteristics. The study particularly focused on the electrochemical driving effect and deformation properties of LM in a sodium hydroxide solution, which are critical for its potential use as a contrast agent in MAT-MI.

In addition to evaluating the electrochemical properties of LM, we designed and implemented a method for preparing magnetic LM, enabling non-contact manipulation under magnetic fields. This capability is crucial for demonstrating the feasibility of using LM as a deformable and mobile contrast agent within complex anatomical structures such as the intestinal lumen. Preliminary experiments verified the adaptability and mobility of LM in small and complex lumens, such as intestines, proving its feasibility for imaging applications.

Building upon these findings, we established an MAT-MI experimental platform using M-sequence encoding for excitation. This platform was used to evaluate the gel mimicry imaging effect of the built-in LM and to conduct comparative studies on its movement within the lumen under magnetic control. The platform's design and the use of M-sequence encoding were pivotal in enhancing the signal-to-noise ratio and improving the overall imaging quality. These advancements demonstrate the potential of LM to significantly improve the diagnostic capabilities of MAT-MI.

Results: To validate our approach, we extended our experiments to in vitro studies on isolated mouse tissues, including imaging experiments on isolated mouse intestinal tissues and isolated mouse gastric tissues perfused with LM. We compared the imaging results of MAT-MI with those of CT, analyzing the imaging signal-to-noise ratio of mouse gastric tissues before and after the placement of LM. Our results showed that the use of LM as a contrast agent led to a 20% increase in the signal-to-noise ratio and a 30% improvement in the visualization of small anatomical structures compared to conventional

imaging techniques. These findings underscore the significant enhancement in imaging quality achievable with LM.

Furthermore, we conducted comparative studies on the movement of LM within the lumen under magnetic control, which demonstrated its effective maneuverability and adaptability in complex anatomical environments. These experiments provided critical insights into the practical application of LM in enhancing MAT-MI imaging for the detection and diagnosis of gastrointestinal tumors.

Conclusion: In conclusion, this study represents a significant advancement in the field of diagnostic imaging for gastrointestinal tumors. The innovative use of gallium-based LM as a contrast agent in MAT-MI has the potential to revolutionize early detection and treatment strategies for GISTs. By enhancing the signal-to-noise ratio and improving the visualization of small anatomical structures, LM-enhanced MAT-MI offers a promising new approach for the early diagnosis of GISTs. This work establishes a methodological foundation for improving MAT-MI imaging quality and advances the clinical application of LM as a contrast agent for early diagnosis. Future research will focus on optimizing the formulation of LM for in vivo applications and conducting clinical trials to evaluate the diagnostic performance of LM-enhanced MAT-MI in human patients. These efforts will be crucial in translating this innovative imaging technology from the laboratory to clinical practice, ultimately improving outcomes for patients with gastrointestinal tumors.

Key Words: Magnetoacoustic tomography, Liquid metal, Signal-to-noise ratio, M-sequence, Coded excitation

ID 1137

Identification of Breath Biomarkers for Chronic Obstructive Pulmonary Disease by TD-GC-MS Analysis

Hangming Xiong,Xiaojing Zhang,Jiaying Sun,Yingying Xue,Weijie Yu,Shimeng Mou,Hao Wan,Ping Wang

Zhejiang University

Objective: Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) poses a significant public health challenge, necessitating the identification of reliable diagnostic biomarkers. Breath testing has been considered as a fast, convenient, and non-invasive method for diagnosing various diseases. This study aimed to identify breath volatile organic compounds (VOCs) associated with COPD using thermal desorption gas chromatography-mass spectrometry (TD-GC-MS) analysis. Twenty-five differentially expressed VOCs were identified. A subset of 4 VOCs (2-Methyltridecane, m-Xylene, 1,2,3-Trimethylbenzene, and 1,2-Dichloroethane) demonstrated excellent performance in distinguishing COPD individuals from healthy controls (HC) with an AUC of 0.85, sensitivity of 0.88, selectivity of 0.78, and accuracy of 0.84, indicating their potential as effective COPD biomarkers. This study highlights the promise of breath analysis as a non-invasive approach for point-of-care COPD diagnostics.

Methods: Breath samples from 26 individuals diagnosed with COPD and 23 HC were obtained from Hangzhou Wenchao Community Health Service Center between October 2022 and July 2023. All subjects were elderly, aged 59 to 77, and had recent pulmonary function testing results. Clinical characteristics of the subjects were recorded. This study was approved by the Medical Ethics Committee of Sir Run Run Shaw Hospital (approval number: 20220318). Informed consent was obtained from every participant. Breath samples were collected using sorbent tubes pre-packed with Tenax TA via self-made sampling devices. Subjects were required to fast overnight before performing breath sampling early in the morning. Room air was collected each day as references. All samples were analyzed within 12 hours.

Breath sample analysis was carried out on a TD-GC-MS system composed of TD-30R and GCMS-QP2010 Plus (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan). Carrier gas of the entire system was helium. Sorbent tubes were loaded and pre-purged before desorption. Primary desorption was performed at 250°C for 10 minutes at a flow rate of 50 mL/min onto a cold trap held at -20°C. Secondary desorption was performed at 250°C for 3 minutes. The transfer line temperature was 200°C. Analytes were transferred to an SH-Rtx-5 GC column at a split ratio of 1:5, with a column flow rate of 1 mL/min and a total flow rate of 6

mL/min. The column oven temperature was initially 40°C, held for 1 minute, and then raised to 250°C at 5°C/min, held for 2 minutes. The interface temperature was maintained at 250°C, and the EI ion source at 200°C. The MS was operated in TIC mode with a scan range of m/z 45-500 Da, with scans acquired per 0.2 seconds. Chromatogram acquisition, mass spectral peak detection, and initial compound identification were performed using Shimadzu GCMS solution software. Compounds were identified based on a spectral match to the NIST 17 Mass Spectral Library by similarity index (SI). VOCs with a high SI (>80%) and large peak area (>3000) were selected.

R (version 3.6.3) was used for data processing. VOCs with more than 50% missing values in either group were excluded, while other missing values were imputed by trkNN method using NAguideR package. Principal components analysis (PCA) was employed and visualized using FactoMineR package. Differentially expressed VOCs were identified with a P-value < 0.05 using Student's t-test. A LASSO logistic classification model was used to identify biomarkers using glmnet package. Receiver operating characteristic (ROC) curves were used to evaluate the performance of VOC biomarkers.

Results: A total of 1437 VOCs were identified from all breath samples. After data processing, 73 VOCs were retained with imputed missing values. Most frequently observed VOCs were hydrocarbons, alcohols, aldehydes and ketones. PCA results showed no separately visualized data distribution between two groups. Twenty-five differentially expressed VOCs were identified with a P-value < 0.05, of which 1 VOC was up-regulated and 24 were down-regulated in the COPD group compared to the HC group. Naphthalene was the only up-regulated VOC. While naphthalene has been reported as a breath biomarker for asthma, its role in COPD requires further investigation.

To separate individuals from COPD and HC groups, a LASSO logistic classification model constructed using all 25 differentially expressed VOCs achieved an AUC of 0.91, with a sensitivity of 0.85, selectivity of 0.83, and accuracy of 0.84. Considering the number of variables, a subset of 4 VOCs (2-Methyltridecane, m-Xylene, 1,2,3-Trimethylbenzene, and 1,2-Dichloroethane) was further selected. A LASSO logistic classification model constructed using this subset showed an AUC of 0.85, with a sensitivity of 0.88, selectivity of 0.78, and accuracy of 0.84. The 4-VOC subset demonstrated slightly poorer performance than the full set of 25 VOCs, but with significantly fewer variables.

Conclusion: This research identified breath VOCs associated with COPD using TD-GC-MS analysis. Twenty-five differentially expressed VOCs were identified, with naphthalene uniquely up-regulated in the COPD group. A reduced subset of 4 VOCs demonstrated high accuracy in distinguishing COPD from HC group, suggesting their potential as effective COPD biomarkers. This research underscores the potential of breath analysis as a non-invasive method for point-of-care COPD diagnostics. The clinical application of these potential biomarkers should be further investigated.

Key Words: biomarkers; COPD; exhaled breath analysis; VOCs; TD-GC-MS

ID 1169

基于UiO-66@Au NPs@FA的电化学阻抗传感器用于子宫内膜癌 筛查的研究

李敏[1,2]、梁冬鑫[2]、杜立萍[1]、李奇灵[2]、吴春生[1]

1. 西安交通大学

2. 西安交通大学第一附属医院

目的：子宫内膜癌（endometrial cancer, EC）发病率逐年升高，内膜形态的复杂性和病理学医师的短缺严重阻碍了筛查的推广，迫切需要开发一种快速高效、便于推广的筛查方法。UiO-66是一种金属有机框架，具有比表面积大、孔隙率高、结构稳定等特点，可作为微纳支架对多种材料进行改性。叶酸受体α（Folate receptor α, FR-α）在41%-89%的EC中表达，40%高表达，已成为EC靶向诊疗的重要靶点之一。因此，本研究利用靶向FR-α的纳米复合材料开发一种用于EC快

速、免标记筛查的便携式电化学阻抗传感器。

方法：首先采用溶剂热法合成金属有机骨架纳米材料。而后基于金原位生长原理和Au-S键，构建了UiO-66@Au NPs@FA，并通过透射电子显微镜、傅立叶变换红外光谱、zeta电位、接触角和紫外-可见光谱对其进行了表征。采用滴涂法将材料滴于清洁的丝网印刷金电极表面，避光干燥后用5%BSA封闭非特异性位点，获得电化学阻抗传感器芯片。采用FR-α过表达的HeLa细胞和FR-α低表达的HEK-293T细胞测试传感器的性能。收集临床子宫内膜细胞学样本，以组织病理结果为金标准，结合奈奎斯特曲线及循环伏安法，验证该传感器用于EC早期筛查的临床适用性。

结果：检测结果表明该传感器具有优异的检测性能，其线性检测范围为101-104个细胞/mL，检测限低至7个细胞/mL。收集的临床子宫内膜细胞学样本中，18例阳性患者的平均阻抗值为4.45 KΩ，18例阴性患者的平均阻抗值为2.56 KΩ（P<0.05）。结合机器学习模型，最终得到该传感器的灵敏度为100%，准确率为87.5%。

结论：本研究利用靶向FR-α的纳米复合材料UiO-66@Au NPs@FA作为敏感材料，一次性丝网印刷金电极作为换能器，开发了用于EC快速、免标记筛查的便携式电化学阻抗传感器，在EC早期诊断和筛查方面具有良好的应用前景。

关键字：子宫内膜癌；电化学阻抗谱；传感器；叶酸受体α；早期诊断

ID 1199

高稳定内标型金纳米棒@纳米间隙@银-金壳纳米四面体拉曼增强探针的构建及其在易损斑块生物标志物SERS成像中的潜在应用

许静珂、翁国军、朱健、李剑君、赵军武

西安交通大学

目的：动脉粥样硬化易损斑块的形成和发展是造成急性心血管事件的主要原因，易损斑块的精准识别对及时防治、应对急性心血管事件的发生至关重要。斑块的不稳定性通常涉及复杂的免疫和炎症反应，现有的成像技术主要集中于对斑块的功能形态成像的研究，而无法获得斑块病理特征和生物成分的信息，且分辨率不高，获得的图像通常需要专业医生进行解读。因此，易损斑块特征标志物的体内靶向定位对斑块易损风险的早期诊断至关重要。

方法：本文构建抗体功能化的金纳米棒@纳米间隙@银-金壳纳米三角板（Au NR@NG@Ag-AuCSNTs）作为分子显像剂，在其高强度的SERS信号支持下，将抗MMP-9的特异性抗体修饰于材料表面，制备具备MMP-9靶向功能的SERS探针。利用免疫夹心法实现SERS探针对抗体修饰免疫磁珠的靶向识别以模拟细胞体外SERS成像。易损斑块的破裂倾向直接由血管中MMP-9的SERS信号强度所显示，配合以“turn-on”模式作为结果判别依据的功能化软件，实现对斑块易损性的直接判定，从而达到易损斑块精准识别的目的。

结果：通过一系列关键参数的调控，成功制备了Au NR@NG@Ag-AuCSNTs探针，探针中超小间隙以及异质金银局域场耦合产生超强电磁场使得信标分子拉曼信号得到极大增强。此外，SERS探针的稳定性、生物相容性通过薄金壳的的覆盖得到了明显改善。通过免疫夹心法将用于免疫磁珠模拟的细胞体外SERS成像，研究结果表明该SERS探针可以靶向识别MMP-9抗体功能化的免疫磁珠，并进行SERS成像。成像结果可以通过自主研发的数据处理软件完成斑块易损性的风险评级。

结论：本文构建具备超高SERS活性的易损性斑块标志物MMP-9靶向探针，具备易损斑块特征标志物MMP-9靶向SERS成像的能力。SERS成像可以具有作为一种理想的非入侵式活体易损斑块成像方法，成为急性心血管事件高危人群筛选的有效手段之一。

关键字：易损斑块，表面增强拉曼光谱，SERS成像，急性心血管事件，早期诊断

ID 1323

基于适配体的电解质-绝缘层-半导体传感器用于免标记检测三磷酸腺苷的研究

吴春生、Noman Bashir、王苗苗、陈雅婷、王之遥、刘鸣皋、赵云迪、杜立萍
西安交通大学

目的：三磷酸腺苷（adenosine triphosphate，ATP）对细胞能量至关重要。本文开发了一种基于适体修饰的EIS传感器用于免标记检测ATP的方法，该方法采用对ATP敏感的适配体（ATP-sensitive aptamer，Apt）作为敏感元件，EIS传感器作为换能器。可以通过简单的装置，以免标记的方式使用EIS传感器来监测带电分子（如适配体）在传感表面的结合。

方法：采用硅片作为加工制备EIS传感器的基底，结合微制造工艺加工制造而成的。使用涂覆有PAMAM/Apt复合物（PAMAM/Apt）的SiO2/Si/Au晶片作为工作电极。利用扫描电子显微镜和原子力显微镜来表征PAMAM或石墨烯/BSA/GA纳米复合物在EIS传感器表面上的吸附。使用荧光显微镜来验证Apt在聚电解质改性的SiO2的表面上的固定。

结果：SEM分析结果证实PAMAM/Apt与EIS传感器表面结合紧密。AFM表征结果证实了PAMAM/Apt在传感器表面上的成功吸附。荧光显微镜也证实了Apt成功固定在PAMAM修饰的EIS传感器表面上。C-V和ConCap测量结果表明，基于PAMAM/Apt的EIS传感器检测ATP具有高灵敏度和良好的特异性。ATP的检测范围为0.1 nM至100 nM，检测限低至0.12 nM。该传感器也具有优异的选择性。该传感器用于ATP检测的性能在9天内保持稳定。

结论：总之，本论文的研究成功开发了用于ATP免标记检测的基于适配体的EIS传感器，对ATP检测显示出高灵敏度和良好的特异性，具有无标记、快速反应和成本低的优点。这些特定类型的EIS传感器具有用于检测细胞和组织周围微环境中ATP的潜力，在生物医学领域如细胞和组织的能量和代谢监测中具有很好的应用前景。

关键字：适配体；电解质-绝缘层-半导体；三磷酸腺苷；PAMAM树状大分子；核苷酸；

ID 1501

In vivo electrical properties of the healthy liver and the hepatic tumor in a mouse model between 1Hz and 1MHz during a thermal treatment

Yitong Guo[1],Weice Wang[1],Weichen Li[1,2],Junyao Li[1],Ruteng Song[1],Wenjing Zhu[1,3],Xuetao Shi[1]
1. 中国人民解放军空军军医大学
2. 西北大学
3. 西北工业大学

Objective: Primary hepatocellular carcinoma (HCC) is highly malignant, which is the fifth most common cancer and the third leading cause of cancer death in the world. In modern medicine, radiofrequency ablation (RFA) is widely applied in treatment of liver cancer as a main or supplementary mean. Thus, the knowledge of the temperature-dependent electrical characteristics of biological tissues is critical to evaluate electromagnetic energy deposition, which is important for diagnostic procedures, preclinical planning and monitoring of thermal dose during treatment. In order to thoroughly understand the electrical characteristics of tissues during thermal treatment, systematically in vivo temperature relevant electrical properties of both healthy liver and cancerous hepatic tumor in the same animal type should be conducted. Therefore, our

work aims to investigate the in vivo patterns and the reversibility of electrical properties for both healthy livers and hepatic tumors over the frequency range of 1Hz to 1MHz at temperatures ranging from 30 ˚C to 90˚C.

Methods: The healthy mouse or mouse bearing the tumor were put in narcotism and the target organ was exposed to the visual field. An 808-nm near-infrared laser was adopted as the heating source to heat the organ in vivo. The four-needle electrode connected to an impedance analyzer was used to obtain the impedances at different temperatures which were monitored by a thermocouple. In addtion, the laser speckle tissue imaging and H&E staining were performed to analyze the blood perfusion and the thermal injury.

Results: The results showed that the impedance gradually decreased with temperature increasing. For healthy livers, the real part of impedance decreased uniformly as temperature increasing, and the imaginary part increased with the heating. For hepatic tumors, results showed that the real impedance slowly decreased as the temperature increasing until 70˚C, after which the real part of impedance suddenly dropped. Coefficients in Cole-Cole models were fitted into functions at each temperature for both types of tissues. In particularly, the coefficient R∞, R1 and fc of healthy liver tissue were in linear relationship with temperature, and the correlation coefficients were -0.87, -0.99 and 0.81 respectively. For hepatic tumor tissue, the coefficient R1, α and fc were in linear relationship with temperature, and the correlation coefficients were -0.94, 0.74 and 0.57 respectively. Moreover, impedances were normalized to that at 30˚C, and the real part of normalized impedance was defined as k-values which ranges from 0 to 1. It was shown that k-values were linearly correlated with temperature ($R2 > 0.9$ for livers and $R2 > 0.8$ for tumors). Significant differences can be seen between livers and tumors at 1kHz, 10kHz and 50kHz ($p < 0.05$). In addition, specific k-values can be used as indicators for distinguishing tumor tissue: (1) 0.8 was a line of demarcation for liver and tumor when temperature reached at 50˚C on 1kHz and 10kHz; (2) 0.7 was a key factor when temperature reached at 60˚C on 1kHz and 10kHz; (3) 0.6 was a key factor for tissue heated up to 65˚C on 1kHz and 10kHz, and it was also a key value for 70˚C on 50kHz. Finally, the reversibility of electrical properties for liver and tumor tissue during heating was investigated. The results showed that, for both liver and tumor tissue, k-values at 30˚C cooled from 45˚C had no significant difference with that at 30˚C, and k-values at 30˚C cooled from 55˚C, 70˚C and 90˚C had significant differences with that at 30˚C. In addition, the blood perfusion was analyzed at the same grouping of temperatures, and the statistical analysis was performed with normalization based on the blood perfusion at 30˚C. It showed that significant difference could be seen after the tissue was heated to 55˚C for both livers and tumors. It was shown that the electrical properties can be reversible when temperature less or equal to 45˚C. Last but not the least, H&E staining results presented the morphology of both tissues maintained intact until the temperature reached to 70˚C. In fact, more severe thermal damages could be seen in the morphology of hepatic tumor tissue at 70˚C and 90˚C compared with the liver tissues.

Conclusion: In conclusion, we believe that the results would contribute not only to the development of radiofrequency ablation systems but also techniques for temperature monitoring during hepatic hyperthermia.

Key Words: Hyperthermia; temperature monitoring; electrical bioimpedance; in-vivo electrical property; liver cancer; hepatic tumor.

ID 1785

神经形态可穿戴脉搏监测系统

于千博、徐文涛

南开大学

目的： 随着全球人口老龄化和不健康生活方式的增加，心血管疾病（CVD）已成为人类健康的主要威胁。世界卫生组织报告称，心血管疾病是导致全球死亡人数最多的疾病。特别是在急性心血管疾病（ACD）领域，如急性心力衰竭、急性心肌梗死和急性心肌炎，由于其发病迅速、症状不明显、高致死率和抢救时间短，使得传统诊断方法难以及时介入。

因此，开发一种能够实时监测心率、准确预警心率异常的可穿戴设备对于预防ACD至关重要。本研究的目的在于设计并实现这样一个系统，旨在为心血管疾病的预防提供一种高效、实时的监测手段。

方法：为了实现这一目标，我们采用了两种关键的组件：基于PEDOT:PSS的柔性可穿戴压力传感器（P-WFPS）和基于IGZO纳米线的人工突触器件（IGZO-NWSD）。P-WFPS通过其高灵敏度和快速响应特性，能够在极低压力下准确捕捉脉搏信号，为心率的实时监测提供了可靠的基础。而IGZO-NWSD则模拟生物突触功能，能够对脉搏信号进行高效处理，实现对心率异常的快速识别和报警。这两种组件的结合形成了一个完整的实时脉搏监测系统（RTPMS），它能够实时监测脉搏信号，并在心率异常时迅速触发报警，为患者的早期救治赢得了宝贵时间。

结果：我们的研究结果表明，所开发的系统在实时监测脉搏信号方面表现出色，不仅能够准确捕捉心率的细微变化，还能在心率异常时迅速触发报警，为患者的早期救治赢得了宝贵时间。与传统的心率监测设备相比，本系统具有更低功耗、更高的便携性和更低的成本，使得长期连续监测成为可能，大大提高了心血管疾病预防的效率和效果。

结论：本研究的设计理念和技术路线为可穿戴健康监测设备的发展提供了新的方向，有望在心血管疾病的早期诊断和预防中发挥重要作用，为全球心血管病患者提供更加精准、便捷的医疗服务。

关键字：心血管疾病、可穿戴设备、压力传感器、人工突触、实时监测

ID 1862

用于临床放疗切伦科夫成像的自监督视频帧降噪技术

孙伯帅、于会珍、高峰、贾梦宇

天津大学

目的：切伦科夫成像已成为放疗临床中一种重要的在体辐射剂量实时验证工具。然而，放疗临床中的切伦科夫成像常常受到两类噪声影响：1）散射和漏射的x射线/电子线作用于像增强器产生的椒盐噪声；2）从人体组织中可探测的切伦科夫光子数有限导致的泊松噪声。上述噪声严重影响切伦科夫图像的信噪比，从而降低辐射剂量测量的准确性和可靠性。针对上述两类噪声，传统方法常采用时间域中值滤波，然而，该方法制约了成像时间分辨率，难以适应辐射剂量随时间变化较快速的放疗场景。

方法：本文提出了一种基于自监督学习技术的切伦科夫视频帧降噪技术。该方法充分挖掘不同帧间的时间冗余信息，并以隐性方式预测目标运动轨迹，从而避免显示预测带来的图像扭曲和伪影，即保留了传统时间域中值滤波的有效性，又通过轨迹预测方式实现对单帧图像的降噪，从而相比时间域中值滤波方法显著提高了成像的时间分辨率。去噪网络由级联的两部分构成，其中第一部分的输入为多帧（这里为5）连续图像，去噪模块将分别学习到时间冗余信息和噪声分布图。为了提高网络对运动目标轨迹的学习能力，第二部分继续学习从第一部分输出的连续帧（这里为3），并进一步进行降噪，最终得到原始输入的中间帧图像。在网络训练中，采用了一种自监督学习方法，从而避免了对高质量视频帧的需求。在该方法中，我们提出了一种可学习的损失函数，其中学习网络部分用于预测噪声产生模型，即实现从高质量图像到低质量图像的端到端映射。

结果：为了验证所发展的方法，使用高速选通的IsCMOS相机采集在不同放疗环境下的切伦科夫视频作为训练数据，采集放疗环境下静态场景的多帧图像并做时间域滤波得到真值图像。实验结果表明，本文所提出的自监督切伦科夫视频去噪方法性能优于现有的无监督方法，并与VRT，ViDeNN，FastDvDnet等先进的有监督方法相当。

结论：总之，本文提出了一种自监督切伦科夫视频帧降噪方法，在视频去噪领域有很好的应用前景。

关键字：切伦科夫成像；视频去噪；可学习损失

ID 2336

基于时间门控单像素成像技术的放疗临床Cherenkov光测量

陈树铖、贾梦宇、高峰
天津大学

目的：在放疗临床中利用Cherenkov成像进行辐射剂量测量的基础和核心是实现高灵敏度时间门控测量。像增强型相机因其可以同时实现弱光探测和高速快门而被广泛应用。然而这一方法存在局限：（1）漏射和散射的X射线经像增强器放大后导致图像存在严重椒盐噪声，影响最终剂量计算结果；（2）入射光经过像增强器后丧失诸多属性，难以充分发挥连续谱优势；（3）成本高昂。因此本文寻求新的技术进行测量。

方法：单像素成像（SPI）是一种低成本的计算成像方法，其内部高性能单点探测器可使其在整个光谱范围内具备出色的灵敏度。本文发展了一套基于时间门控技术的SPI系统应用于临床放疗中Cherenkov辐射测量：（1）通过对SPI成像系统的综合控制，使其在医用直线加速器的有效门宽时间内进行数据采集；（2）利用系统高采样率，可以在有效门宽内对漏射和散射的X射线引起的异常值进行识别和消除。

结果：为验证可行性，使用该系统分别对尺寸为3~9cm的四个规则射野和一个调强放疗计划（IMRT）进行成像实验。利用结构相似性（SSIM）与伽马通过率指标（3%/3mm标准）开展该系统测量结果与治疗计划系统（TPS）计算结果的对比分析。实验结果表明，四个规则射野尺寸下伽马通过率为95.3%、94.7%、92.3%和89.8%，SSIM为0.85、0.89、0.89、0.87；IMRT成像实验结果中，伽马通过率为85.9%，SSIM为0.85。随后，对投影百分比深度剂量曲线进行分析，将其与TPS计算结果、像增强型相机成像结果分别进行比较，结果为0.48%、0.42%、0.65%、1.08%和0.46%、0.61%、0.54%、1.21%。

结论：本文首次将SPI技术应用于放疗临床环境下的Cherenkov辐射测量。未来，通过引入额外的光谱和时间相关信息，有望进一步挖掘和提升Cherenkov成像技术的临床应用潜力，对于进一步应用和发展具有重要意义。

关键字：Cherenkov成像，单像素成像技术，时间门控测量，直线加速器，辐射剂量测量

ID 2351

基于非线性eMSOT技术的血氧定量成像方法

韩彭威[1]、吕一品[1]、王佳月[1]、张冰雪[1]、高峰[1,2]、李娇[1,2]
1. 天津大学 精密仪器与光电子工程学院
2. 天津大学 精密测试技术及仪器全国重点实验室

目的：光声层析成像结合了光学成像和超声成像的优势，能实现深度组织内的高分辨率光学对比度成像。与多光谱技术相结合发展的多光谱光声层析成像（multispectral optoacoustic tomography，MSOT）技术不仅能够反映组织体的结构信息，还可实现生物分子和功能成像。MSOT使用多个波长照射组织，得到包含光谱信息的一组光声图像，能够提供比传统光声技术更丰富的光谱信息，结合光谱解混技术，获取生物体内的生色团或外源性染色剂浓度分布情况，从而反映组织的生理及病理信息。

方法：常用光谱解混技术通常未考虑组织内光学衰减影响造成的“光谱着色”问题，导致其在深层组织内定量成像表现不佳。已发展的基于线性混合模型（linear mixed model, LMM）的特征光谱MSOT（eMSOT）技术及其衍生方法，可实现深层组织内血氧饱和度的无标记量化成像。但是，当存在多重散射效应或多种吸收物质间存在相互作用时，LMM适用

范围受限，影响eMSOT技术在非均匀组织深层的量化性能。为解决这一问题，我们提出引入非线性混合模型（non-linear mixed model，NLMM）对eMSOT技术进行改进，发展新型的血氧饱和度定量方法，简称为NL-eMSOT。我们使用Hadamard积作为LMM模型的非线性项，表征了在近红外窗口内光子与氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白之间的相互作用关系，从而解决光声图像的非线性解混问题。

结果：基于数值模拟、仿体实验和活体小鼠实验的结果表明，相比于eMSOT方法，NL-eMSOT方法对光通量及血氧饱和度的重建精度更高，在均匀组织区域的重建图像均匀度更优，在组织光学特性差异较大的边界地区误差更小。

结论：所提出的方法由于考虑了不同吸收物质间的相互作用，提高了MSOT技术在非均匀组织中血氧饱和度成像的定量精度。

关键字：多光谱光声层析成像， 特征光谱， 多重散射，非线性混合模型

ID 2546

生物启发的嗅觉脑机接口及创新应用研究

庄柳静、王平

浙江大学

目的：嗅觉是最古老的感觉，动物通过嗅觉寻找食物、躲避天敌、繁衍，人类可以通过气味来避免潜在的危害。随着生命科学、电子及计算机科学、人工智能等多学科融合发展，开发仿生智能传感系统已成为重要研究方向。

方法：脑机接口技术通过建立大脑与外部设备的直接连接，从而实现不依赖于生物体其他器官或肢体的信息交互。为了从哺乳动物大脑读取嗅觉信息，我们提出了植入式嗅觉脑机接口技术，通过记录分析动物嗅球僧帽/丛状细胞的锋电位（Spike）信号，实现≥3种不同气味的分类和识别，识别准确率>60%，检出限达到10−10 M。

结果：为了结合哺乳动物优越的气味感知能力和自主运动能力，实现复杂环境中痕量气味搜寻和动物运动行为控制，提出了无线嗅觉脑机接口技术，实现嗅觉信号实时解码，同时，通过特定脑区电刺激和训练，实现大鼠前进、停止和转向行为的控制。尽管Spike信号可实现气味信息解码，但由于其不稳定性，嗅觉脑机接口的工作时间一般不超过3周。为了提升解码稳定性和系统工作时间，申请人进一步提出柔性嗅觉脑机接口技术，通过研制柔性神经微电极，提高生物相容性，同时，探究利用局部场电位（LFP）进行气味解码的可行性。

结论：通过分析不同频段LFP的时频特征及频段间的耦合关系，发现δ（<4 Hz）、β（15-30 Hz）和γ（30-120 Hz）频段的响应具有气味特异性。进一步，构建卷积神经网络等机器学习算法实现响应特征的自动提取，并在多源数据解码过程中加入域适应模块消除动物个体差异，使得气味识别准确率>90%，系统稳定工作时间>3个月，响应延迟时间为50-100 ms，响应速度相比于人工电子鼻提高了50-100倍。

关键字：仿生传感机理；嗅觉敏感材料；生物电子鼻；嗅觉脑机接口

ID 2983

虚拟现实上肢速度运动训练血氧响应机制研究

张思远、周江杰、杨丽清、徐浩天、江梓怡、韩佳梅、陈琳
重庆大学

目的：上肢运动能力在日常生活中具有重要意义，对于运动功能障碍患者而言，恢复其上肢运动功能尤为迫切。传统运动训练模式因单调乏味，常导致患者参与度和训练效果受限。我们设计了一种融合虚拟现实（VR）与功能性近红外光谱（fNIRS）技术的自适应运动训练系统，旨在增强患者参与度，探究任务难度对脑血氧响应的影响，并优化训练策略以促进运动皮质的高效激活与功能恢复。

方法：本研究采取了以下关键步骤：首先，构建了一个以“伸够动作”为核心的虚拟上肢训练系统，利用Leap Motion技术将真实前臂运动映射至虚拟环境中，实现交互式“接物”游戏，其中任务难度（苹果掉落速度）可调。其次，通过fNIRS设备实时监测并处理血氧信号，以解析不同难度任务下的脑血氧响应机制。实验设计包含五个难度等级，针对10名健康受试者进行脑血氧响应分析，采用小波分析及耦合函数推断方法，探索难度增加对感觉运动皮层激活度、脑区间连接强度及网络拓扑特征的影响。最后，设计并验证了一种基于脑血氧信号的自适应任务反馈调节方法，通过调整物体掉落速度以最大化运动皮质激活，并招募15名健康受试者进行验证。

结果：随着任务难度的增加，感觉运动皮层的激活度及脑区间连接强度先升后降，呈现倒U型趋势，表明存在最佳难度区间以最大化激活效应。自适应训练系统相较于随机速度训练，显著提升了运动皮层约12%的激活水平，并优化了网络拓扑结构，LMC集群系数提升了约20%，验证了自适应策略在促进运动皮质激活及脑网络重组方面的有效性。

结论：本研究通过融合VR与fNIRS技术，揭示了任务难度与大脑激活之间的复杂非线性关系，设计了基于脑血氧反馈的自适应训练策略，有效提升了运动训练期间的皮质激活水平，促进了双侧运动皮质的协同作用。未来，该系统有望进一步应用于临床，助力运动功能障碍患者实现更高效、更个性化的康复训练。

关键字：运动训练；虚拟现实；适应性训练；fNIRS；神经反馈

ID 3016

An Optimized Multi-Component Imaging Method for Low-field MRI Systems: Combing Intra- and Inter-Voxel Constraints

Xiaowen Jiang,Zhengxiu Wu,Xiaokai Hu,Rongsheng Lu
Southeast University

Objective: Assuming negligible intercompartmental exchange, it is generally considered that the NMR relaxation or diffusion signal observed in the complex sample is the sum of multiple exponential decay curves, which indicates that the sample has multiple relaxation and diffusion components. How to obtain the amount of these components is always a multi-exponential estimation problem. Component imaging methods in 3 T MRI systems have been studied in some research. The motivation of our work is to enable the component imaging method to be applied to low-field MRI systems. Low-field MRI systems have become popular, but applying the component imaging method to low-field MRI systems will face a main problem: low-SNR image data. The inversion method should be optimized to better deal with the low-SNR image data. The existing inversion methods can be divided into two types: the regularization of the spectrum from each voxel, and spatial regularization. Faced with low-SNR image data, the first type of inversion method, although it has a fast

convergence rate, will fragment the images of components. The second type of inversion method, although it can avoid the fragmentation of the component images, can produce pseudo peaks in the spectrum. In this paper, an optimized inversion method is proposed, aiming to give better results for image data with low SNR.

Methods: The formula of the optimization problem combines intra- (zeroth-order regularization) and inter-voxel (spatial regularization) constraints. This idea is motivated by the simultaneous utilization of the regularization within each voxel and the spatial regularization across the voxels. The formula has four constraints: consistency constraint, intra-voxel constraint, inter-voxel constraint, and non-negativity constraint. The intra-voxel constraint is used to give the desired smoothness of the spectrum at each voxel. The inter-voxel constraint is used to give the desired smoothness of the spectrum among voxels. It can ensure the desired continuity of the component distribution both within each voxel and across voxels, aiming to further reduce the ill condition in the estimation process and avoid the fragmentation of component images and the appearance of pseudo peaks in the spectrum.To solve the optimization problem, we propose an efficient algorithm based on the alternating direction method of multipliers (ADMM) and a method to transform the optimization problem with the nonnegativity constraints into the unconstrained. Unlike the common way of dividing this equation into several parts, our algorithm separates it into two parts. To verify the advantages of the proposed inversion method, the performances of the proposed inversion method and the other two typical inversion methods were compared both in the simulation and MRI experiments. MRI experiments were carried out in a homebuilt low-field MRI system equipped with a permanent magnet.

Results: The performances of the proposed inversion method and other typical inversion methods were compared both in the simulation and MRI experiments to verify the advantages of the proposed inversion method. Facing MRI data of low SNR, the optimized method shows a better convergence rate, smaller optimization error, especially avoiding the fragmentation of component images and the appearance of pseudo peaks in the spectrum. The proposed multi-component imaging method was also applied to natural plant samples. Results of plant samples show detailed features revealing inner water molecular states.

Conclusion: We propose a multi-component MRI method including an optimized inversion method to overcome the low SNR, especially avoiding the fragmentation of component images and the appearance of pseudo peaks in the spectrum, which is suitable for low-field MRI systems. Multi-component estimation in voxels is an analysis of image information along a component dimension, which can decompose the components superimposed on each voxel to obtain difficult-to-observe microstructural information. We look forward to extending the further optimized method to the application of popular low-field or ultra-low-field portable MRI systems.

Key Words: low-field MRI, MRI inversion method, regularization, T1 –T2 magnetic resonance imaging

ID 3097

共振频率呼吸对心血管系统和脑-心肺网络的影响

王晓霓、聂镜丽、张皓瑜、张建保

西安交通大学

目的：研究表明，心血管系统作为一个生理负反馈系统，具有固有的共振频率，且以该频率呼吸可以显著增强健康和心血管功能。然而，共振频率呼吸期间心血管系统、呼吸系统和中枢神经系统如何具体响尚不清楚。因此本文旨在通过研究共振频率呼吸下的心血管活动、心肺耦合以及脑心网络，以阐明共振频率呼吸期间的相关效应和潜在机制。

方法：本研究招募了27名年龄在20至30岁之间的健康男性受试者，采用修正滑动法准确测定每位受试者的共振频率。测量并采集受试者静息，RF、RF+1及6bpm呼吸下的脑电、心电、呼吸、血压等生理信号。通过信号分析提取基本心血管指标及自主神经指标，基于心肺耦合函数反映心肺交互作用的变化，并通过多元传递熵探究生理网络的改变，揭示

中枢系统与外周系统交互过程中方向性信息传递的差异。

结果：所有的慢节奏呼吸都能增强副交感神经活动，抑制交感神经活性，增加压力感受器敏感性，上述效应在共振频率呼吸状态下最大，但降压效应仅出现在共振频率呼吸下。此外，相对于自主呼吸，所有缓慢频率呼吸都能实现耦合强度的增强，改变肺对心的相位动力学过程。同时，以共振频率呼吸时，耦合强度增强效果最佳，肺对心的驱动效果最强，心脏对呼吸驱动的适应性最强。生理网络方面，慢节奏呼吸增加了脑-心血管系统的交互，心血管信息上行至中枢的过程中，其具有最明显作用效果的是心率；在中枢信息下行至心血管，对心血管进行调节的过程中，具有显著性效果的是α，显著导联主要分布于头皮左前区域。

结论：综上所述，血压降低是共振频率呼吸所独有的，在其他慢速呼吸模式中不存在，这归因于α波和副交感-BRS通路；在慢速呼吸中，心肺耦合倾向于呼吸到心脏的方向，共振频率阶段引起的响应最为显著，而所有任务中的脑心肺信息传递均增加。这些结果为了解共振频率呼吸对心血管系统、呼吸系统和中枢神经系统的影响提供了有价值的见解，并可能为旨在优化呼吸训练方案以改善健康结果的未来研究奠定基础。

关键字：共振频率呼吸；滑动评测方法；心血管响应；心肺耦合；脑-心肺网络

ID 3169

光电容积脉搏波与心电信号特征关联研究

薛广越、宋启瑞、唐群峰、陈真诚

桂林电子科技大学

目的：心电信号（ECG）和脉搏波信号（PPG）是两种常见的生物医学信号，它们都反映了心血管系统的活动情况。研究他们之间的相关性，可以更深入了解心血管系统的功能调节机制。脉搏波和心电信号在生理上存在密切相关性，它们都反映了心脏的活动。ECG记录心脏的电活动，显示P波、QRS波和T波，代表心房去极化、心室去极化和心室复极化。心脏的收缩推动血液进入动脉，产生脉搏波，这在PPG中表现为血流变化的波形。但是两信号之间的周期内的具体关联还不清楚，且目前相关的脉搏波重建心电研究的成功证明两者之间确实存在关联性。因此，本文将进一步深入研究脉搏波和心电信号周期内特征之间的关联性，为提高脉搏波重建心电准确性提供理论基础。

方法：本研究从pulse-transit-time-ppg数据集中选取了22名健康受试者的66个含有ecg和ppg的记录，每个记录选取时长2分钟的片段，采样率为500Hz。然后对ECG使用0.5Hz高通巴特沃斯滤波器（阶数 = 5），再提取P波起点和终点、P波波峰、QRS波波峰、T波起点和终点、T波波峰等特征点，依据这些特征点提取差值、比值、面积等信息。对PPG使用elgendi方法进行滤波，再提取PPG中的起点、收缩峰、重搏切迹、舒张峰特征点，以及VPG中的U、V、W特征点，APG中的A、B、C、D、E、F特征点，依据不同信号内部的特征点提取时间间隔、比值、面积等信息。然后对ECG和PPG所提取的特征进行了Pearson相关性分析。

结果：实验结果为，P波波峰与C波波峰，P波降落点峰值与C波波峰等十余对特征值之间均出现了大于0.8的相关性。

结论：研究结果表明，脉搏波和心电信号的特征确实存在高度相关性。在之后的研究中，我们还将对Spearman等其他相关系数进行研究，以探究更多的相关性。

关键字：心电；脉搏波；关联分析；特征提取；

ID 3235

在猪心脏骤停模型中利用心电图和光电容积描记技术估计侵入性冠状动脉灌注压力

李可[1,2]、韩巧[1,2]
1. 山东大学控制科学与工程学院医工融合系
2. 山东大学智能医学工程研究中心

目的：本文旨在利用机器学习算法，基于CPR过程中的ECG 和 PPG 参数，对 CPP 进行非侵入性估计，以实现高质量CPR，并探索其在急救过程中的应用潜力，通过结合机器学习和实时生理信号分析方法，为提升CPR效果提供一种新颖的途径，有望增强CPR的临床应用效率和成功率。

方法：本文采用九头巴马猪作为实验对象。实验过程中同步记录ECG、PPG、侵入式动脉血压（ABP）和右心房压（RAP）信号。使用三个数据集估计 CPP：(a) ECG、(b) PPG 和 (c) ECG 和 PPG，并与侵入性测量的 CPP 进行比较。使用四种机器学习算法（支持向量回归、随机森林、K 近邻和梯度提升回归树）估计 CPP，验证各算法在CPP估计中的有效性和准确性。

结果：结合ECG和PPG数据集的随机森林模型在CPP估计方面表现优异，相较于其他算法具有更好的性能。具体而言，该模型的平均绝对误差为4.49 mmHg，均方根误差为6.15 mmHg，调整后的R^2为0.75。此外，非侵入性估计结果与侵入性测量结果之间存在强相关性（r = 0.88），进一步验证了基于机器学习的ECG和PPG参数分析能够为CPR提供准确的非侵入性CPP估计。

结论：本文提出了一种结合ECG和PPG信号，利用机器学习算法估计CPP的新方法。研究结果表明，非侵入性估计的CPP与侵入性测量的CPP高度相关，证明了该方法的有效性。该方法有望成为CPR过程中一种易于使用的生理指标，具有重要的临床应用前景。

关键字：心脏骤停；冠状动脉灌注压；心肺复苏；机器学习；波形分析

ID 3240

基于功能性近红外光谱脑激活特征的特发性中枢性性早熟分类模型研究

李泽英、贾丽芳、刘东远、高峰
天津大学

目的：特发性中枢性性早熟是由下丘脑-垂体-性腺轴过早激活引起的内分泌疾病，导致性激素水平升高和生殖器官发育加速，女性患病率高于男性。现有临床检测方法如B超和血清检测存在耗时长、增加患儿心理和生理压力等局限性，因此开发高效、无创的筛查手段对特发性中枢性性早熟儿童的生长发育至关重要。促性腺激素大量释放增强大脑血液代谢和神经元活动氧供应，刺激局部血管舒张和毛细血管血流量，导致血红蛋白浓度变化，这些变化可被功能性近红外光谱检测。由于大脑前额叶的发育受青春期荷尔蒙调控且在心算过程中扮演关键角色，本研究采用心算任务作为实验范式，以观察前额叶在认知过程中的具体功能和机制。

方法：本研究采用功能性近红外光谱技术，专注于心算任务状态下氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白和总血红蛋白的变化。研究对象来自于天津市天津医院就诊的167名儿童，包括56名男性（其中患者28名）和111名女性（其中患者54名）

。在对信号进行预处理之后，利用一般线性模型建模得到心算任务期间的前额叶激活程度，并通过t检验结合FDR校正揭示正常组和患病组在完成心算期间的大脑前额叶激活模式差异，同时，通过提取四种不同类型的时空特征，结合五种机器学习算法，利用网格搜索最佳超参数并进行10折交叉验证确定了最佳的特征和分类模型。

结果：研究表明，男性和女性在心算任务中的前额叶激活程度存在差异。正常组在心算期间的激活区域多于患病组，且女性的激活区域多于男性。将氧合血红蛋白信号进行经验模态分解并结合主成分分析得到的特征输入到随机森林分类器达到了最好的分类效果，其准确率、精密度、F1分数、召回率和特异性分别为99.10%、99.11%、99.10%、99.10%和100.00%。

结论：本研究揭示了正常儿童和特发性中枢性性早熟儿童在完成心算任务时前额叶的激活机制，并证明了机器学习算法在区分患病儿童和正常儿童方面的有效性，为快速筛查和诊断特发性中枢性性早熟儿童提供了科学依据和参考。

关键字：功能性近红外光谱；特发性中枢性性早熟；机器学习；脑激活

ID 3349

机器人辅助上肢康复训练诱导脑功能响应的fNIRS测量

周野[1]、谢晖[2]、李鑫[3]、黄文浩[3]、李增勇[2]、窦祖林[3]、侯文生[1]

1. 重庆大学生物学院
2. 国家康复辅助技术研究中心
3. 中山大学附属第三医院

目的：机器人辅助上肢康复训练（UE-RAT）诱导的脑功能响应能揭示卒中后患者大脑的适应性变化，对表征个体康复潜力具有重要意义。然而，UE-RAT任务期间的脑功能测量存在高成本、运动伪影、低空间分辨等问题，限制了对患者康复潜力的准确评估。功能近红外光谱（fNIRS）技术具有较好的空间分辨率，且对运动伪影不敏感，使其在任务期间的测量中具备独特优势。本研究旨在通过fNIRS测量UE-RAT任务期间的脑功能响应，以评估脑功能响应特征在康复预测中的价值。

方法：纳入2021年10月至2023年5月期间，在中山大学附属第三医院接受康复治疗的82名亚急性卒中患者。患者首次接收康复训练时，在静息状态和运动训练状态下使用fNIRS测量患者前额叶皮层（PFC）、前运动皮层(PMC）、初级运动皮层（M1）等脑区域的血流动力学变化。使用连续小波变换方法识别神经活动信号的相位信息，通过小波振幅和小波相位相干性（WPCO）来计算大脑皮层激活和脑网络连通性（FC）。Fugl-Meyer上肢评估量表（FMA-UE）被选择作为评价指标，治疗前后的评分差异（ΔFMA-UE）≥9作为最小临床重要差异（MCID）患者分类的阈值。最后，最小绝对收缩和选择算子（LASSO）被用于筛选重要特征，并通过机器学习方法建立预测模型。

结果：相较于静息态，UE-RAT训练期间测量的对侧初级运动皮层-同侧枕叶皮层和对侧运动前皮层-对侧上额叶皮层之间较高的脑网络连通性预示着上肢运动功能的显著改善。支持向量机（SVM）构建的模型显示出最佳预测性能，平均AUC值为0.828 (±0.086)，准确率为0.765 (±0.089)。此外，模型的预测因子分析显示，任务期间测量的FC是预测上肢运动功能最重要的特征。

结论：这项研究验证了使用fNIRS测量的脑网络连通性可作为预测康复结果的重要指标，有望为早期识别卒中患者的康复潜力和制定个性化康复策略提供新的依据。

关键字：功能近红外光谱，预测模型，机器人康复，上肢运动功能，脑卒中

ID 3410

应用机器学习对比基于熵指标量化睡眠碎片化的表现及其与多种疾病的关联

陈炯[1]、赵浩然[1]、黄炜峻[2]、易红良[2]、冷月[3,4]、高嵩[1]

1. 北京大学医学部医学技术研究院
2. 上海交通大学医学院附属第六人民医院
3. 加州大学旧金山分校精神病学与行为科学系
4. 北京大学中国药物依赖性研究所

目的：睡眠碎片化指睡眠中频繁觉醒和阶段变化，不仅影响睡眠质量，还与多种疾病的发生和发展相关。针对量化难点，本研究基于以往研究提出多个基于熵的指标，量化整晚及各阶段睡眠碎片化，并通过机器学习验证其在不同疾病中的表现。

方法：本研究最终纳入3219例来自上海六院OSAHS样本库的多导睡眠监测数据和临床标签。基于物理和信息学中的熵概念，本研究提出了以下新指标：（1）睡眠阶段转移矩阵计算的睡眠转移熵（2）通过睡眠分期时间用香农熵公式计算的睡眠时间熵（3）通过半马尔可夫矩阵计算的睡眠碎片化熵。上述新指标与传统指标，以及通过计算功率谱熵值的Walsh傅里叶变换熵、Haar小波变换熵和条件变换熵进行了量化能力对比。研究使用5种常见机器学习模型，以糖尿病为主要结局的多种慢性病作为结局，探究独立于睡眠呼吸暂停的睡眠碎片化量化表现。主要采用XGBoost集成学习算法，应用5折交叉验证进行模型评估和调参，并使用Shapley方法解释模型输出，计算并排序每个特征对预测结果的贡献。

结果：皮尔逊相关分析显示，新提出的熵指标与传统睡眠碎片化指标的相关性为0.68至0.83，包含时间信息的熵相关性更低，提示传统指标在衡量时间碎片化方面存在不足。在以糖尿病为结局的机器学习建模中，5折XGBoost算法的ROC曲线下面积平均为0.74，其他模型分别为随机森林（0.73）、支持向量机（0.72）、K最邻近（0.54）和逻辑回归（0.72），展示了指标预测效果的稳健性。Shapley分析显示，两个不同阶段的睡眠时间熵（慢波和快速眼动睡眠）贡献度排序最高，另外两个新提出的熵指标量化能力均优于传统指标。其他结局模型表现相似。

结论：本研究验证了基于熵的睡眠碎片化指标量化能力优于传统指标，并通过机器学习验证了新的熵指标具有独立评估不同睡眠阶段碎片化的能力。这些基于熵的指标为深入理解睡眠碎片化在多种疾病中的具体作用提供了新的定量视角和方法。

关键字：基于熵的指标，睡眠碎片化，机器学习，睡眠分期

ID 3757

基于Faster R-CNN的生命体征参数智能识别

刘佳颖[1,2]、刘金城[1]、胡志雄[1]

1. 中国计量科学研究院医学中心
2. 北京化工大学信息科学与技术学院

目的：多参数监护仪是实时监测患者的生命体征参数(血压、心电、血氧等)的重要医疗设备。自2019年多参数监护仪

被国家列为强制检定设备以来，其检定工作给计量人员带来沉重的负担。传统的多参数监护仪检定方法主要依赖人工读数和测量，这种方法不仅效率低下(50min)、步骤繁琐而且容易出现人为误差。本研究提出一种基于Faster R-CNN的生命体征参数智能识别模型实现自动化检定。

方法：数据集的采集源于监护仪的人工检定过程，获得生命体征参数在不同条件下的图像。利用LabelImg等标注工具，对图像中的生命体征参数进行标注，包括数字参数的位置、波形的形状等。将数据集(1000张)随机划分为训练集（90%）和测试集（10%）。Faster R-CNN模型使用具有50层卷积层的ResNet-50作为特征提取的主干网络。输入监护仪屏幕图像提取高级特征，并生成共享的特征图。区域建议网络通过滑动窗口和Anchor机制在特征图上生成候选区域，其次ROI Pooling将候选区域转化为固定大小的特征向量，使用Softmax损失函数对特征进行类别分类，边界框回归器使用平滑L1损失函数优化框的位置和尺寸，完成对输入图像中生命体征参数的精准检测和分类。将训练好的Faster R-CNN模型应用于额外的验证集验证。

结果：在训练集中，模型经过25次迭代后，训练损失逐渐下降至收敛(0.80)。在验证集上损失率降至收敛0.81，表明模型在未见数据上的泛化能力良好。在精度方面，模型的平均精度(mAP)达到了99.97%。在处理速度方面，模型的推理速度FPS为1.33，单张图像处理时间为0.75s，其处理速度是人工检定的3倍。

结论：Faster R-CNN模型为多参数监护仪的自动化检定提供了可靠的解决方案，大幅提升多参数监护仪的检定效率和准确性。有望解决当前计量领域中多参数监护仪检定工作中面临的难题，为保障人民的生命安全提供坚实的技术支持。

关键字：多参数监护仪；生命体征参数识别；计算机视觉；自动化检定

ID 3816

基于光电传感器阵列的光疗辐照度空间分布检测技术研究

钮鹏亮[1,2]、陈洪丽[1]、董晓曦[2]、阴慧娟[2]、李子兴[1,2]

1. 天津工业大学

2. 中国医学科学院生物医学工程研究所

目的： 发光二极管（LED）在光疗中广泛应用，证明对治疗皮肤疾病、减轻疼痛和促进伤口愈合效果显著。这些应用在短距离内对光功率分布的均匀性要求更高。然而，传统电荷耦合传感器（CCD）技术主要用于二维平面辐照度检测，难以精确检测LED的近距离辐照度。为此，设计了一种基于光电传感器阵列的多点光功率检测系统，以满足LED近距离辐照度检测的需求。

方法：首先，设计了光电检测电路，采用硅PIN光电探测器将光信号转化为电流信号，并通过T型网络放大电路、偏置调零电路和低通滤波电路处理信号。然后，进行了校准实验，使用可调的630nm激光器输出20组不同功率的激光，通过光纤分束器将激光1:1分束后同时输入标准功率计和待测电路，并通过16路高速数据采集卡存储数据。接着，进行空间光辐照分布的多点检测实验。采用15个PIN传感器组成35mm长、间隔2.5mm的线列扫描光电检测模块，每个PIN传感器的信号处理电路独立。利用基于光电传感器阵列的三维移动扫描系统，检测单灯和双灯在6-10 mm范围内的35mm×35mm平面上的光辐照分布，并通过数据可视化算法获得不同照射距离下LED的二维和三维辐照度分布。

结果：光电检测电路在0-10 mW/cm²的光功率范围内，光功率与输出电压之间具有优良的线性关系（$R^2 \geq 0.999$）。空间光辐照分布的多点检测实验获取了6-10 mm范围内不同照射距离的LED单灯和双灯光场分布。单灯的光辐照分布接近高斯分布，与朗伯体分布理论相符。双灯的辐照度高峰分别位于两个LED中心，在两灯中间区域形成叠加效应，增强光强。在6 mm时，可以展示LED芯片差异导致的光强细微不同。10 mm距离使光场重叠更加均匀，减少局部光强突变。

结论：实验结果验证了本研究设计的光电检测系统在不同LED配置和距离下对辐照度分布的精确测量能力。同时，该系统还为优化LED在光疗中的应用配置提供了重要的参考依据。

关键字：辐照度；PIN光电探测器阵列；数值模拟；发光二极管

ID 3847

心音多域异构特征集成学习在射血分数保留型心衰诊断中的应用

郑伊能[1]、郭兴明[2]
1. 重庆医科大学附属第一医院
2. 重庆大学，生物工程学院

目的：射血分数保留型心衰（Heart failure preserved ejection fraction, HFpEF）是一种复杂且常见的心力衰竭类型，诊断困难且容易被漏诊。传统的诊断依赖于复杂的临床评估和影像学检查，耗时且费用高昂。本文提出了一种基于心音图纹理分析和迁移学习的异构集成模型，拟实现无创、快速且经济的诊断辅助。

方法：首先，对预处理后的心音信号进行伽马变换，将其转换成二维声谱图，使用纹理分析和预训练的卷积神经网络提取特征；其次，分别构建一个基于纹理特征和支持向量机（Support vector machine, SVM）的纹理分析模型以及三个基于深度卷积特征和随机森林（Random forest, RF）的迁移学习（Transfer learning， TL）模型，作为四个基学习器，采用多层感知器（multilayer perceptron, MLP）作为元学习器；最后，通过对四个基学习器的输出概率进行加权作为元学习器的输入，构建异构堆叠式集成学习模型。

结果：针对进行了比较实验，确定了构建基学习器的最佳分类器及其个数；相比单独的基学习器，集成学习模型取得了较优的模型性能；通过进一步比较不同的集成策略，验证了本研究提出的基于异构堆叠式集成学习的有效性，结果显示，本研究提出的模型在鉴别HFpEF时，曲线下面积（AUC）为0.933，准确率为0.902，相较于基学习器，AUC和准确率分别提升11.73%和8.8%。

结论：通过对心音数据的多层次特征提取和综合分析，并结合多种机器学习算法的优势，构建心音集成学习模型，提高了诊断的准确性和可靠性。表明基于心音的集成学习模型有望为临床辅助诊断射血分数保留型心衰（HFpEF）提供重要帮助，具有较好的应用前景。

关键字：心音，集成学习，射血分数保留型心衰，计算机辅助诊断

ID 3873

近场感应耦合技术在AIS患者血管再通术后出血转化的床旁监测与识别

王凤、张茂婷、后显华、许佳、秦明新、孙建
中国人民解放军陆军军医大学

目的：出血转化（HT）是急性缺血性卒中(AIS)血管再通术后的常见并发症，严重影响脑血流再灌注质量，本研究对近场感应耦合方法在AIS患者术后HT床旁跟踪识别的可行性进行了探讨。

方法：本研究纳入了2023年4月至12月在陆军军医大学第一附属医院神经内科ICU收治的18名AIS患者。采用近场感应耦合方法对患者梗死侧脑血流进行监测，通过谐振频率的变化反映周期性搏动的脑血流信号。提取脑血流信号幅值和面积作为特征参数，对AIS患者术后是否发生HT进行跟踪识别，其中幅值反映每搏最大血流速度，面积反映每搏血流量。实验以临床影像学报告作为判断是否发生HT的金标准。

结果：在18名患者中，HT组7例，非HT组11例。采用独立样本t检验，面积：HT组为（7.6±3.4）×10-5 MHz*s，非

HT组为（1.8±1.0）×10-4 MHz*s，（P=0.008<0.05）；幅值：HT组为（2.09±1.13）×10-4 MHz,非HT组为（4.39±2.38）×10-4 MHz,（P=0.015<0.05）。幅值与面积和AIS患者再通术后是否发生出血转化有关，HT组的特征参数小于非HT组。幅值的AUC为0.818，敏感度为85.7%，特异度为72.7%。面积的AUC为0.792，敏感度为100%，特异度为72.7%。脑血流信号谐振频率中的幅值和面积，能较好的对AIS再通术后HT进行识别。

结论：本研究提出的近场耦合感应技术能够对AIS患者合并血管再通术后是否发生HT进行识别，帮助临床医生跟踪和识别AIS患者治疗效果，引导最佳的个性化灌注治疗策略，改善临床结局。

关键字：急性缺血性卒中 脑血流 出血转化

ID 4104

基于再生丝素蛋白的压电水凝胶：在生物信号监测领域的应用与展望

陈丽雯、王俊杰

上海理工大学健康科学与工程学院

目的：对人体生理状态的精准监测一直是医学与生物医学工程学领域的重要研究课题。这一过程高度依赖于对多种关键生理信号的实时、无创或微创采集，如血压、脑电、心电、肌电等信号可通过人体内固有的机械能转化为电信号进行捕捉，而传感器核心为压电材料。其中，压电水凝胶展现出与生物组织界面间良好的匹配性，从而能够在体表或体内复杂多变的环境中有效执行信号测量任务。这使其在柔性可穿戴健康监测设备、前沿的脑机接口技术、以及植入式医疗器械中的压电传感器与发电机等领域展现出巨大的应用前景。本文研究基于具有优异生物相容性和可降解性的再生丝素蛋白（RSF），通过将压电性纳米颗粒引入RSF基质中，成功制备出兼具机械稳定性和压电效应的复合水凝胶。

方法：将开口蚕茧在煮沸的0.02 M Na2CO3溶液中煮1小时，其间换水一次，取出蚕丝在60 ℃水中清洗三次，在40 ℃烘箱中烘干，得到脱胶丝。将脱胶丝溶解在9.3mol/L LiBr溶液中，并在60 ℃水浴中加热1小时。用医用纱布将溶液过滤两次后，在超纯水中透析三天。用15%聚乙二醇（分子量为 20kDa）浓缩RSF溶液两天，储存在4 ℃冰箱中。将ZnO和BaTiO3纳米颗粒以一定的浓度梯度分别加入RSF溶液中，超声分散均匀，加入H2O2溶液和辣根过氧化物酶使之成胶，并浸泡在75%乙醇中固化水凝胶。采用万能力学试验机与Keithley dmm6500示波器的联动系统检测水凝胶的压电特性。测试时，铝箔导电层将圆柱体水凝胶样品夹在中间。

结果：通过控制复合压电水凝胶的材料组成、结构和电压可以调节压电效应，0.6% BaTiO3/RSF压电水凝胶在0.1 MPa压力下可产生30~40 mV的电压输出。压电水凝胶的压缩模量等力学指标也显示其具有良好的机械稳定性。

结论：该水凝胶显著增强了RSF的压电转换能力，可为生理信号的高精度、长时间监测提供有力支持，预示着在生物医学工程领域的广泛应用潜力。

关键字：压电性能 水凝胶 丝素蛋白

ID 4154

视触觉双模态感知冲突下精确抓握的控制机制研究

李可、崔希、庄吉
山东大学控制科学与工程学院

目的：精确抓握是人类特有的手功能，是各种灵巧操作的重要基础。精确抓握的运动学和动力学表现，以及其背后的神经肌肉生理机制是系统神经科学长期关注的热点。目前对于视觉和触觉在指导精确抓握过程中的整合机理，特别是当存在视觉和触觉信息不一致情况下感知运动融合机制尚不清楚。

本文旨在开发一种基于沉浸式混合现实(Mixed Reality，MR)的精确抓握运动控制系统，通过同步采集多种生理信号，研究存在感觉冲突时视触觉信息在精确抓握中的引导作用机理，从中枢与外周协调性及感知与运动耦合性两个层面揭示精确抓握运动控制机制。为研究视触觉信息作用下的精确抓握问题提供一种全新有效的技术手段，且在医学上为中风等病理条件下的神经机制提供相关的见解。

方法：在不同视触觉反馈条件下：研究多种计算方法和多个参数反映运动学和动力学规律；利用主成分分析方法与非负矩阵分解方法结合评估肌肉协同；利用部分定向相干算法分析-和-频段大脑皮层六个局部区域内的振荡活动以及皮层-肌肉双向信息流。

结果：结果表明：视触觉反馈在时间上的去同步会使运动的稳定性变差，同时降低动态提升过程中握力-负载力的协调性；重量感知的视触觉冲突和感觉输入的去同步都会影响肌肉协同的结构并改变协同肌肉的耦合关系；大脑能够实时监控运动行为并在时空信息不一致时及时调整运动输出以维持运动表现，其中，额叶-中央区左侧传出的信息能够根据重量反馈调控运动输出，而顶叶-枕叶中部则在整合视觉反馈信息中发挥了主要作用。

结论：本文基于MR开发了能够同步采集多种生理信号的精确抓握运动控制系统，从多维度分析精确抓握行为背后蕴含的皮层-肌肉-动力学协调控制机制，有助于提高对运动协调和运动控制的理解。特别地，研究结果可以为改善受运动相关疾病影响的个体的运动表现的治疗方法带来新的见解。

关键字：精确抓握;感知运动融合;混合现实;皮层-肌肉耦合

S02
医学图像信息与人机交互前沿进展

ID 158

智能超声机器人复杂成像决策与执行系统

宁国琛、廖洪恩
清华大学

目的：医学超声成像是目前临床应用最广泛的成像方式之一，由于其具有非侵入性、无辐射、实时性等特点，在临床诊断、术中引导方面均有广泛应用。而超声成像过程中过程需要医生根据超声影像进行动态决策以实现对内部组织定位，同时探头与人体表面之间存在复杂交互也导致超声影像采集过程难以标准化描述。因此，研究超声成像过程中探头动态决策与执行，是医学超声智能化的重要环节。

方法：本研究结合临床医学、机器人学、医学影像学与人工智能前沿交叉领域，针对临床复杂超声成像环境复杂、场景易被干扰等临床共性问题，系统性开展面向多场景的新型自主化机器人超声成像系统平台研究。通过从外部视觉、医学影像、人机触觉等多维度多模态信息感知与综合性分析融合，并进一步通过自主决策、分级操作等控制框架实施超声成像的复杂操作、探头微操作自主执行，最终通过搭建轻量化、便携式新型机器人超声机器人机构，实现具有高鲁棒性、高稳定性的自主超声机器人成像系统。

结果：本研究提出的自主化超声成像机器人系统从外部探头操作、自主成像操作、复杂人机交互等方面表现出了对动态不确定环境有效的自适应能力，并实现对不同人体不同部位的自主超声图像采集过程。此外本研究提出将操作与成像一体化，通过结合超声弹性成像、多普勒成像等多种超声诊断模态，实现对多目标多场景的成像-诊断一体化的自主超声成像诊断系统，并在动态场景中进行了实验验证。

结论：本研究聚焦临床医学、机器人学、医学影像学与人工智能的交叉发展前沿，从新型轻量化自主超声机器人结构设计、超声成像复杂轨迹生成、超声探头自适应主动施力控制关键技术三个方面出发，为自主化超声成像机器人提供新平台。

关键字：智能超声，超声机器人系统，自主医疗机器人，超声成像操作智能化

ID 579

OCTA图像中视网膜血管拓扑提取与分割方法研究

路玉雷[1]、梅寒冰[2]、许夏瑜[1]
1. 西安交通大学生命科学与技术学院
2. 西安交通大学软件学院

目的：OCTA图像中视网膜血管分析是了解多种眼底疾病和系统性疾病的重要手段。由于血管结构复杂及图像信号不均、噪声干扰等，现有语义分割方法难以保证血管连续性。本研究目的是通过实现视网膜血管拓扑结构提取，提升血管分割连续性。

方法：我们设计了一种视网膜血管拓扑提取与连续分割方法。第一步，利用模仿学习，将血管连续提取建模为多步“状态-动作”决策。首先ResNet101实现当前图像块的血管特征提取（状态），进而Transformer对下一个或几个血管位置进行回归预测（动作）。这种逐步描绘方式可以保证构建的血管拓扑图的连续性。第二步，将血管拓扑图与OCTA图像叠加实现血管增强，进而构建卷积神经网络实现视网膜血管分割。我们在第一步还设计了特征加权整合模块，思想为使用可训练参数表征特征值方差，将其归一化为权重，为富含信息的特征赋予更大权重，并通过特征拆分整合，最终实现增强代表性特征并抑制冗余特征，增强特征提取能力；同时引入ASPP模块，提升对不同尺度血管的感知。在第二步还设计了多头通道注意力，输入特征在通道维度进行归一化，复制为三份分别经过卷积作为查询、键和值，前二者相乘得到权重矩阵并与值向量相乘，最终通过与输入特征相加作为输出特征，更好地利用通道方向上的拓扑信息。

结果：用OCTA-500和临床广角OCTA数据集进行了模型评价。视网膜血管拓扑提取结果，F1分数分别为84.84%和82.78%，不仅高于基于分割的血管中心线提取方法，还能保证拓扑连续性。血管分割结果，输入融合了拓扑信息后的召回率分别是89.23%和82.75%，精准率分别是89.42%和80.86%，较基线方法召回率分别提升1.5%和1.20%，精准率分别提升1.43%和0.90%，且血管连续性获得提升。

结论：我们设计的视网膜血管拓扑提取方法，利用迭代方式进行推理，基本实现拓扑信息的连续提取。拓扑信息融入也为血管分割带来基本保证连续性的高质量结果。

关键字：眼底血管拓扑提取；连续性；DETR；迭代检测；眼底血管分割

ID 584

Local Functional Disconnection Specifically Drives Functional Reorganization After Stereotactic Thermocoagulation in Patients with Drug-resistant Epilepsy

Honghao Han[1],Junquan Zhang[1],Xuyang Wang[1],Ting Zou[1],Huafu Chen[1],Qiangqiang Liu[2],Rong Li[1]
1. 电子科技大学
2. Ruijin Hospital Luwan Branch, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine

Objective: Epilepsy is one of the most common neurological disorders, affecting almost 1% of the population. Approximately one third of patients with epilepsy are refractory to pharmacological treatment and may require surgery. However, resected surgery can fail or lead to cognitive impairment. Recently, SEEG-guided radiofrequency thermocoagulation (SEEG-guided RF-TC) has shown very positive results with minimal risks, aiming to reduce seizure frequency by modifying

epileptogenic networks through local thermocoagulated lesions. Although RF-TC has been shown to functionally modify brain networks immediately, the longer-term functional changes after RF-TC and the underlying network mechanism remain unclear.

Methods: We studied 43 epilepsy patients (12 with frontal lobe epilepsy, 16 with temporal lobe epilepsy, and 5 with occipital lobe epilepsy) at two time points; preoperatively and at least six months after RF-TC as well as 22 controls. All participants underwent functional MRI (fMRI) scans. Therapeutic response was defined as a >50% reduction in seizure frequency for at least 6 months after RF-TC. To investigate the brain network functionally connected to each thermocoagulated epileptogenic area in epilepsy patients, we applied the validated technique termed lesion network mapping. First, for each patient, the thermocoagulated epileptogenic areas were manually segmented and then were used as a seed region to calculate the functional connectivity using fMRI data obtained from the 22 controls. The time series of all voxels within the thermocoagulated epileptogenic areas were averaged and correlated with the time series from all other brain voxels using Pearson's correlation coefficients. Fisher Z-transform was used to ensure that the correlation coefficients were normally distributed. Second, network maps were derived for each patient using a one-sample t-test to combine the 22 z-scores. Each network map was binarized at a T value of 0 (voxel-wise FDR corrected $p < 1E-6$). Finally, we chose 80% as the threshold to identify a common brain network, the RF-TC network, with high functional connectivity to thermocoagulated epileptogenic areas at different locations. What's more, we compared three key graph theoretical network measures, connectivity, clustering coefficient and path length, for the RF-TC network in controls and epilepsy patients before and after RF-TC, and then related the changes in graph theoretical parameters within the RF-TC network to the functional characteristics of thermocoagulated epileptogenic areas.

Results: The RF-TC network mapped from different thermocoagulative epileptogenic areas was predominantly distributed in the temporo-limbic circuit, fronto-parietal networks, cerebellum, and brainstem. We created a sphere with a radius of 5 mm centered on the coordinates of these regions, and define a total of 31 regions of interest for graph theory analysis. Compared to the control group, we observed significantly reduced connectivity, significantly reduced clustering coefficient and significantly increased path length within the RF-TC network in epilepsy patients before RF-TC (FDR corrected $p < 0.01$). And after RF-TC, the three graph theoretical parameters within the RF-TC network of epilepsy patients were all significantly improved compared to that before RF-TC (FDR corrected $p < 0.05$). In particular, the graph theoretical parameters within the RF-TC network of epilepsy patients in the responder group reached normal levels after RF-TC, while there was no significant change in the non-responder group. Specifically, the increased connectivity, increased clustering coefficient and reduced path length within the RF-TC network of epilepsy patients after RF-TC were all significantly associated with the connectivity of the thermocoagulated epileptogenic areas to the RF-TC network (FDR corrected $p < 0.001$), but not with the local functional activity of the thermocoagulated epileptogenic areas.

Conclusion: To our knowledge, this study firstly provides a novel link between focal disconnections in the functional brain network and downstream effects on function in distant brain networks as an underlying mechanism of RF-TC. It is the disconnection of diseased brain connections, rather than ablation of the epileptogenic areas themselves, that drives functional reorganization after RF-TC, with implications for epilepsy and wider neuroscience.

Key Words: fMRI; epilepsy; SEEG-guided radiofrequency thermocoagulation

ID 615

基于通用分割模型SAM和零样本学习的阑尾分割方法研究

林海威、钟张楠、黄炳升
深圳大学

目的：急性阑尾炎是常见的急腹症，在外科急腹病中占比达10%至15%，特别是在亚洲发病率上升，对医疗系统造成压力。深度学习技术在医学图像分割取得成就，但标注数据耗时。通用分割模型如分割一切模型SAM无需精细标注即可零样本迁移到各个疾病，但存在需逐层勾画提示框、欠分割问题。因此我们基于零样本学习的SAM进行阑尾分割，提出拓展提示模块、特征聚焦模块解决上述问题。

方法：我们收集了492例急性阑尾炎患者术前CT影像。我们基于零样本学习的SAM进行阑尾分割，提出了拓展提示模块，将三层提示框通过插值拓展到全部层，以减少约50%提示框使用量。提出了一种无需训练的特征聚焦模块，该机制首先采用自适应池化对大小为H×W特征图进行处理，得到H×1和1×W的两列特征值；接着，使用sigmoid对特征值进行映射，最后通过矩阵乘法跨空间进行注意力交互，进一步提炼出对分割任务有价值的信息；得到新的特征图后进行组归一化；最终将特征图与中心分布的高斯分布图进行逐点乘积运算，生成聚焦后的特征图；该模块将提示框内的特征和外部特征进行融合，自适应地整合图像特征，从而缓解SAM欠分割问题。

结果：在50%的提示信息下，引入拓展提示模块，与全监督方法相比，DSC从0.737提高至0.755，但召回率从0.775下降至0.715，表明存在明显的欠分割问题；引入特征聚焦模块后，DSC提升至0.765，召回率提升至0.743。在使用100%提示信息下，引入特征聚焦模块后进一步提升SAM性能，与原始SAM相比，DSC从0.817提升至0.836，召回率从0.787提升至0.825。

结论：综上，SAM在阑尾分割上表现优异，但存在繁琐提示和欠分割问题，我们提出两种模块解决这些问题，提供精准阑尾分割解决方案。

关键字：急性阑尾炎，大模型，零样本学习，医学图像分割，特征聚焦

ID 627

Whole-process knowledge-based framework for predicting treatment response in longitudinal glioblastoma radiotherapy

Yang Liu,Zheng Yao
中国人民解放军空军军医大学

Objective: Glioblastoma (GBM) is one of the most challenging and aggressive brain cancers, often resulting in unpredictable outcomes following radiotherapy treatments. This unpredictability underscores the necessity for advanced predictive models that surpass conventional capabilities in capturing the disease's dynamic and individualized progression. Our objective is to introduce a comprehensive framework that can effectively address the challenges posed by high-dimensional, incomplete longitudinal data to improve prediction accuracy and support personalized treatment regimens.

Methods: We propose a novel Whole-process Knowledge-based Framework (WKF) that seamlessly integrates spatial-temporal analysis with adaptive learning techniques to provide patient-specific, interpretable predictions throughout all stages of radiotherapy. Our framework comprises three critical components:

(1) Image Heterogeneity Encoder (IHE): This module is designed to decode the complex spatial heterogeneity of GBM tumors. The IHE captures intricate details and variations within the tumor tissues, a crucial step for making accurate predictions based on imaging data.

(2) Temporal Link-Attention Mechanism (TLAM): This mechanism emphasizes the importance of integrating multi-modal imaging data across different treatment phases. TLAM uses sophisticated attention-based methods to ensure that the model remains effective and interpretable even when facing incomplete datasets. By learning to focus on crucial temporal links, TLAM enhances the model's ability to make predictive decisions that consider the treatment phase and tumor evolution.

(3) Temporal Adjustment Module (TAM): This is an advanced adaptive recalibration mechanism that iteratively refines predictions based on new data and patient responses. TAM supports robust therapeutic decisions, ensuring that the model dynamically adjusts to new information over time, thereby maintaining high prediction accuracy throughout the treatment process.

We evaluated our framework on the Burdenko Glioblastoma Progression Dataset (BGPD, a comprehensive collection of MRI images sourced from 180 patients with primary glioblastoma treated at the Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery between 2014 and 2020. For the purposes of our experiments, 163 patients were selected based on the quality and completeness of their imaging and clinical data. Each patient's dataset comprised 1 to 6 sets of pre-radiotherapy MRI scans, accompanied by corresponding physician-assessed labels indicating the presence or absence of a therapeutic response.

Results: The WKF was rigorously tested on a dataset of GBM patients undergoing radiotherapy, achieving an F1 score of 84.05 ± 4.05 and an AUC (Area Under the Curve) of 85.44 ± 4.06 in predicting treatment responses. Due to the presence of the Temporal Adjustment Module (TAM), the model can adjust for individual patients, continuously improving performance. These results significantly outperform all baseline models, highlighting the effectiveness of our framework in improving predictive accuracy. Furthermore, we conducted ablation experiments on temporal modeling, demonstrating the simplicity and effectiveness of our approach to handling missing data. Additionally, the model provides comprehensive, process-wide visualization capabilities, effectively revealing the basis for its decision-making. By effectively revealing the model's decision basis, we ensure that healthcare providers can make confident, evidence-based decisions aligned with the evolving clinical status of each patient.

Conclusion: Our Whole-process Knowledge-based Framework (WKF) addresses the critical need for personalized treatment regimens in GBM by providing a sophisticated, adaptive approach to predicting radiotherapy treatment response. The ability to decode GBM tumor heterogeneity, integrate multi-modal imaging data throughout all stages of radiotherapy, and iteratively refine predictions ensures that the WKF consistently delivers high prediction accuracy. Moreover, the framework's process-wide visualization capabilities enhance transparency and support robust therapeutic decision-making by revealing the rationale behind the model's predictions.

In conclusion, the WKF not only delivers superior predictive accuracy but also offers dynamic, continuous interpretations that reflect tumor heterogeneity. This comprehensive approach paves the way for more tailored and adaptable therapeutic strategies. Our framework stands as a promising step forward in the pursuit of personalized medicine for glioblastoma, supporting the delivery of more effective and individualized treatments.

Key Words: longitudinal treatment response; glioblastoma; radiotherapy; image heterogeneity

ID 682

Revealing Multi-biological Subtypes of Schizophrenia through a Data-Driven Approach

Yuran Wang,Kai Wu

South China University of Technology

Objective: Schizophrenia (SZ) is a severe psychiatric disorder, characterized by delusions, hallucinations, and cognitive deficits. Traditional SZ diagnosis using clinical scales, including the MATRICS Consensus Cognitive Battery (MCCB) and the Positive and Negative Symptom Scale (PANSS), may further increase the underdiagnosis and misdiagnosis rate because of heterogeneity of SZ. Classifying SZ into multiple subtypes was found to mitigate the effects of heterogeneity and it has been widely investigated by data-driven analysis using brain imaging data. Nevertheless, previous studies on brain imaging subtypes of SZ were basically relied on unimodal data, lacking integrated brain structure, function, and network features. Consequently, these studies did not comprehensively describe these subtypes systematically. Similarly, studies on SZ's gut microbiota had not employ data-driven approach for subtypes, they directly used clinical manifestations as indicators for statistical analysis. Regarding the brain-gut axis, there were rarely systematic studies have focused on the heterogeneity of SZ, which could potentially uncover intrinsic mechanisms or biomarkers for different SZ subtypes. The study of multi-biological subtypes is imminent in order to get the more accurate underlying pathology of SZ.

Methods: To address the shortcomings of prior research, our study used a data-driven approach to classify subtypes based on brain imaging data (SZ=250, Healthy Controls (HCs) =300), gut microbiota data (SZ=193, HCs=123), and brain-gut fusion data (SZ=43, HCs=55). To avoid the data-driven process that does not adequately mine the potential features, we used a denoising auto-encoder for data enhancement. For the clustering method which was the main part of the data-driven approach, our study used a hybrid clustering method of k-means, gaussian mixture model, and spectral clustering, aiming to cluster the features from the three aspects of data similarity, probability density, and graph theory. In the brain subtypes (BSs) part, we used GMV, WMV, ALFF, ReHo, and fuctional connectivity as the input features. In the gut subtypes (GSs) part, we screened 20 genera which was enrichedly exists in participants. And we used relative abundance and the relationships between each genera as the input features. In brain-gut subtypes (B-GSs) part, each participant's brain features and gut features were multiplied into a new matrix, and these matrices would be put into the data-driven model. Moreover, to analysis significantly different features between subtypes we used the KW test with Bonferroni correction. We also used Pearson's correlation coefficient to explore the correlations between distinct features within each subtype and clinical symptoms. These correlations could potentially serve as objective and reliable biomarkers for personalized SZ diagnosis. In the end, we compared these three groups of multi-biological subtypes to identify if their distributions were relevant or not.

Results: We identified the multi-biological subtypes including two brain subtypes (BSs) by brain imaging data, three gut subtypes (GSs) based on gut microbiota data, and two brain-gut subtypes (B-GSs) derived from brain-gut fusion data, differed in their typical features and biomarkers, remaining relatively independent and associated with distinct cognitive functions and clinical symptoms. Two BSs with opposite structural-functional changes included: 1) structural variant-dominant type with elevated WMV but limited network efficiency, often associated with negative symptoms and cognitive decline; 2) functional alteration-dominant type with locally reduced WMV but enhanced network efficiency, often manifesting in pronounced positive symptoms. The GSs included: 1) dominant Collinsella hyperintensities; 2) dominant Prevotella hyperintensities with significant positive symptoms; 3) predominant Streptococcus hyperintensities. Among them, the relationship between Prevotella and Streptococcus was strengthened in GS1, while it was significantly weakened in GS2 simultaneously. Multiple similarly anomalously strong relationships were found in GS1 and GS3. The B-GSs exhibited different abnormalities in brain features-genera linkages included: 1) more inclined towards functional-genera linkage variants, such as abnormally strong connectivity of Prevotella or Oscillopira with temporal or parietal lobe's functional features, and this type of subtypes always with a reduced attention; 2) abnormally strong connectivity of multiple groups of genera with frontal lobe's ALFF and parietal lobe's structural features, with significant positive symptoms. Notably, the BSs showed

greater differentiation in the MCCB scores, but were strongly associated with the PANSS scores. The GSs revealed more MCCB biomarkers, while the brain-gut subtypes were most relevant to the PANSS scores.

Conclusion: In conclusion, our study demonstrates that brain imaging, gut microbiota, and their fusion features are heterogeneous among individuals with SZ, while the three groups of multi-biological subtypes are independent. The distinct features and clinical symptoms of different SZ subtypes vary, as do their correlations. These findings hold potential to identify SZ subtypes with different biomarkers in different types of data, thereby suggesting the probability of personalized and precise treatment of SZ patients.

Key Words: Brain imaging; Gut microbiota; Brain-gut axis; Data-driven; Schizophrenia; Subtypes; Biomarkers

ID 716

基于点云感知的未知物体人机交接

汪逸飞[1]、徐宝国[2]、宋爱国[3]

1. 东南大学 仪器科学工程学院
2. 数字医学工程全国重点实验室
3. 机器人感知与控制技术江苏省重点实验室

目的：人-机器人（H2R）的物体交接是人机交互的重要研究方向之一。一项研究表明，普通人的日常生活中需要交互40余种物品。因此，成功执行人机交接能够帮助机器人在医疗，服务，工程等领域更好地与人互动。然而，有别于工业场景的应用，许多HRI场景需要机器人在大量复杂环境中工作，而这些环境通常都是相当非结构化的。如何在这种条件下成功感知物体与人体，对机器人的感知能力是一个挑战。

方法：本文提出了一种应对H2R交接的实时点云感知方法。首先，我们主要基于3D点云语义分割来区分人体-物体。RGB的图片帧仅仅用于图像定位来规范点云的采集区域。这样不但增强了点云的分割精度，也提升了对RGB干扰的鲁棒性。其次，我们采用了一种基于物体特征聚类的点云补全算法，对几种典型的物体的点云特征予以分类，并予以相应的补全，显著增加了抓取的成功率。另外，针对交接中人手-物体的形状复杂性，我们引入了一种基于KNN的加权交叉熵损失来特别关照手-物体交界处的点云，以此提升分割精度。最后，通过算法生成6-DOF的抓取位姿。再依次通过聚类，碰撞检测来减少抓取位姿的数量。最后，通过角度差最小的原则，选出一个最优抓取，并由机械臂执行抓取。

结果：通过在现实中实施H2R交接以评估系统的感知能力。在实验中，通过实验者在机械臂前执行H2R交接的动作，我们评估了系统的感知能力。通过在对15个未知物体的交接中实现了85.2%成功率，验证我们的系统在复杂环境下的泛化性能。

结论：从算法角度来说，在复杂物体的H2R交接中，采用RGB图像定位能够确实提升语义分割的性能；采用点云补全能够在交接前生成更多的成功抓取；我们引入的基于KNN的加权交叉熵损失能够提升人手-物体交界处点云分类的准确性。从应用角度来说，引入适当的机器学习算法对人机交互的深入应用非常关键。无论是在感知，决策还是控制方面，这些算法都有能力提供快速而准确的解决方案。

关键字：人机交互，点云感知，机器人抓取，机器学习

ID 770

基于心脏超声视频检测儿童房间隔缺损的多实例学习框架

刘贻曼
上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

目的：先天性心脏病（Congenital heart disease，CHD）是最常见的出生缺陷，活产婴儿中CHD的发病率约为0.9%，是0～5岁儿童的主要死亡原因。中国每年约有10万~15万新生儿被诊断为CHD，有研究显示CHD的发病率呈逐渐升高的趋势。因此，早期准确诊断CHD并进行临床干预具有重要的临床意义。经胸超声心动图（TTE）可提供足够的心脏结构和血流动力学信息，是诊断房间隔缺损（ASD）的有效方法，本文旨在研究一种基于心脏超声视频的深度学习方法来辅助诊断ASD，以提高基层心脏超声医生对ASD的首次检出率。

方法：我们从300名儿童患者(150例阳性和150例阴性)中招募数据(1057个超声视频)，作为双盲实验的一部分，进行5倍交叉验证，以验证我们的模型的性能。此外，我们收集了30名儿童患者(15例阳性和15例阴性)的数据((120个超声视频))进行临床测试，并与我们的模型测试结果进行比较（这30个样本没有参与模型训练）。在我们的模型中，我们分别提出了一种块随机选择、最大一致性决策和帧采样策略进行训练和测试，利用resNet18和r3D网络提取帧特征并进行聚合，构建丰富的视频级表示。

结果：我们通过五倍交叉验证，在私有数据集上来验证我们的模型性能。对于儿童ASD视频检测，我们模型的检测性能达到了89.33 ± 3.13的 AUC，84.95 ± 3.88的准确性，85.70 ± 4.91的敏感性，81.51 ± 8.15的特异性，以及81.99 ± 5.30的F1分数。

结论：所提出的模型是一种基于多实例学习的儿童房间隔缺损视频检测深度学习模型，与以往的模型和基层超声医生相比，它可以有效地提高基层超声医生对ASD检测的准确性，以及助力新生儿先心病的早期筛查。

关键字：心脏超声视频，深度学习，多实例学习，房间隔缺损

ID 772

基于轨迹状态因果推断的超声目标跟踪方法

张书康、万鹏、薛海燕、张道强
南京航空航天大学

目的：实时组织跟踪是肝脏超声应用中的基础任务。本研究旨在解决超声引导介入中的组织跟踪问题，特别是在肝脏超声成像中，确保实时准确地定位解剖标志物，以提高放射治疗中目标瘤的照射精度并尽量减少对周围健康组织的暴露。由于肝脏运动的周期性，历史轨迹可作为在前景-背景区分不明显时用于目标定位的重要视觉提示。然而，具有轨迹提示的跟踪器往往过分依赖运动的周期性，形成对运动估计的一种捷径。即，目标位置可能会被一个在肝脏数据集中频繁发生的固定偏移所直接推断，而不参考当前时刻图像的信息。

方法：在本文中，我们重新审视了超声波运动跟踪，并提出了一种因果推断框架，称为CUSTrack，它结合了外观信息和轨迹状态，并在去除“坏”轨迹偏见的同时保留了“好”轨迹先验。具体来说，该方法将轨迹偏见捕捉为历史状态对目标位置的直接因果影响，并将其从外观和轨迹的总因果效应中减去。该方法不仅去除了传统跟踪器对运动周期性的依赖，还有效应对肝脏超声图像中的复杂场景。

结果：我们利用公开的CLUST数据集和自行采集的南京鼓楼医院肝脏超声数据集进行实验验证。经过在两个超声跟踪

数据集上的测试，本文提出的CUSTrack方法显著领先，展现出更高的跟踪准确度和稳定性，特别是在应对肝脏超声图像中的挑战性情景时表现出色。

结论：通过基于因果推断的方法，结合历史轨迹信息先验，本研究突破了传统超声跟踪器对运动周期性的过度依赖，为肝脏超声图像中的组织跟踪问题提供了新的视角和解决方案。

关键字：肝脏超声图像；目标跟踪；因果推断

ID 802

Diffusion-weighted GRASE sequence with 3D navigator for high-resolution time-dependency measurements in the human cortical gray matter

Haotian Li,Qinfeng Zhu,Jie Lu,Zhiyong Zhao,Yi Zhang,Dan Wu

Zhejiang University

Objective: Oscillating gradient sequences enable diffusion measurement at short diffusion-time (td), but it suffered from low resolution and SNR on clinical systems, and thus, the td-dependency in sophisticated structures, like cortical gray matter, was unexplored. We proposed a 3D navigator-based 3D gradient spin-echo (GRASE) sequence for whole-brain td–dMRI at 1.5 mm isotropic resolution, which enabled us to depict the cerebral cortex. We unveiled unique td-dependency patterns across cortical regions with different diffusion dispersion exponent (θ) based on the power-law, which was higher in the sensory cortex, like the occipital region, and lower in the high-order cortex like the temporal region.

Oscillating gradient (OG) stands as a pivotal method to evaluate time-dependent diffusion, particularly at short diffusion times (td), which promises insights into the intricate details of tissue microstructures. However, OG diffusion MRI (dMRI) suffered from low resolution and SNR on clinical systems, and thus, probing td-dependency in fine structures, like cortical gray matter (cGM), is difficult.

Here, we developed a 3D multi-shot OGprep-GRASE equipped with a 3D navigator, to enable robust multi-shot whole-brain dMRI acquisitions. Moreover, we incorporated the GeneRalized Autocalibrating Partial Parallel Acquisition (GRAPPA) in both phase encoding directions for sequence acceleration. The td-dependency was meticulously quantified in the cGM within the human brain.

Methods: Pulse sequence: The 3D navigator-based 3D multi-shot OGprep-GRASE sequence was architecturally structured around five distinct modules: global saturation, diffusion preparation, fat saturation, 3D GRASE readout, and 3D navigator readout.

Data acquisition: Seven healthy volunteers were enrolled with IRB approval. All scans were executed on a 3T Siemens Prisma scanner with a 64-channel head coil. The parameters were: TR/TE = 2600/136 ms, N_{EPI} = 99, N_{TSE} = 4 with 12shots, FOV = 220 × 200 mm^2, 1.5 mm isotropic, GRAPPA accelerate factor = 2 × 2. Pulsed gradient (PG)-encodings at △eff = 20ms, 30ms, 40ms, and OG-encodings at frequencies of 25 Hz and 50 Hz (effective td = 10ms and 5ms). b = 500 s/mm^2 with 6 directions two averages and four b0.

Data analysis: Raw K-space datasets underwent GRAPPA-based reconstruction coupled with a 3D navigator-driven phase correction. We also acquired a 3D T1-weighted image and the cGM regions were segmented using it utilizing the AAL atlas, which was co-registered to dMRI datasets. ADC measurements from multi-td data were obtained in each GM parcel to estimate the diffusion dispersion exponent (θ) based on the power-law model: $D_t = c \times t_d^{\theta} + D_{t0}$. Higher θ indicated lower structural disorder according to the theory.

To understand its microstructural basis, we compared θ with several other dMRI-based microstructural features from Neurite Orientation Dispersion and Density Imaging (NODDI) and Diffusion Kurtosis Imaging (DKI). We used 10 healthy subjects,

from the HCP dataset, and calculated the averaged NODDI indices (encompassing the intra-cellular volume fraction (ICVF) and orientation dispersion index (ODI)) and DKI metrics (axial, mean, and radial kurtosis - AK, MK, and RK).

Results: It is showed that the DWIs obtained through the 3D navigator-based 3D-GRASE sequence at the b-value of 1000 s/mm^2 in axial, coronal, and sagittal views, before and after 1D, 2D, and 3D navigator-based phase correction. Phase inconsistencies were substantially mitigated after navigator corrections.

Using the 3D navigator-based sequence at 1.5 mm isotropic resolution, the td-dependent changes of ADC were quantified in several cGM regions (Figure 3(A)). Power-law analysis showed a θ exceeding 0.5 across all ROIs, which was the highest in the occipital lobe and lowest in the temporal lobes. Figure 3(B) showed the cGM mapping of θ, which further illustrated that the sensory cortex (e.g., parietal and occipital lobes) had the higher θ and the high-order cortex (e.g., frontal and temporal lobes) exhibited the lower θ, indicating higher structural disorder in the high-order cortex.

The Pearson correlation revealed negative associations between θ and NODDI indices (ICVF and ODI) ($p<0.05$, Figure 4(A)), suggesting higher neurite density and orientation disorder corresponded to higher structural disorder. Similar negative correlations were observed between θ and DKI indices (MK and RK) (Figure 4(B)), indicating higher non-Gaussian diffusion was related to higher structural disorder.

Conclusion: This study introduced a 3D navigator-based 3D-GRASE sequence for high-resolution OG and PG-dMRI of the whole-brain on a clinical 3T system and charaterized the td-dependency in the cGM regions. The 3D navigator approach effectively corrected the inter-shot phase errors and considerably improved the td-dependency measurements.

Distinct td-dependency profiles were identified in the human brain. Consistent with the recent report, the diffusion dispersion model indicated the estimated θ > 0.5 in GM regions. Moreover, the lower θ in the high-order cortex indicated higher structural disorder in these areas than primary cortex. This was further corroborated by the negative Pearson correlations between θ and both NODDI and DKI indices, underscoring a scenario where complicated microstructural organization corresponded to higher neurite density, orientation dispersion, and non-Gaussian diffusion. The high-resolution td-dMRI technique provided a new approach to characterize the cortical micro-environment and is potentially useful to capture changes due to neurological diseases.

Key Words: 3D navigator, 3D GRASE, phase error, diffusion time dependence, diffusion dispersion exponent

ID 822

智能多模态手法康复远程控制系统研发

杨国法、岳挺、宋云锋、毛明明、赵菲、张典

晋城市人民医院

目的：本研究在“基于机器学习的肢体运动功能康复智能评定系统研发及应用”项目基础上，结合手法康复机器人，旨在扩大诊治范围，弥补现有骨科疾病手法康复机器人的不足，最终提高骨科诊疗的效率和效果。开发一个综合性的智能系统，利用人工智能和机器人技术，实现对骨科患者的精准诊断、实时反馈和高效治疗。

方法：姿势动作捕捉与互动评估：视觉捕捉系统，采用高精度摄像头和计算机视觉算法捕捉患者的动作，建立资深治疗师动作评估数据库，通过深度学习技术分析捕捉到的数据。超声探测评估与治疗：柔性超声探测系统，利用高分辨率超声成像技术全面评估患者的骨骼和肌肉系统，结合图像处理算法实现实时监测和初步诊断。带有阻力传感器的机械手臂进行体格检查，结合视觉捕捉系统和语音智能对话，判断患者的关键病位。使用机械手臂模拟医生的手法检查，提供精准力反馈。智能化诊断与治疗：个性化治疗方案生成，基于前两步的诊断数据，匹配智能数据库生成个性化的治疗方案，并通过机械手臂实施。结合深度学习和控制算法，实现精准治疗操作，并通过语音系统实时评估治疗效果。动态

修复与改进，持续优化和改进治疗效果。

结果：图像质量：超声成像系统提供清晰的骨骼和软组织图像，能够准确识别骨性标志并计算错位程度。算法性能：图像处理算法准确提取骨性标志，计算骨盆错位程度，并生成复位方案。系统集成效果：康复机器人系统实现了骨盆错位的实时监测和初步复位，操作稳定，性能可靠。

结论：智能多模态手法康复远程控制系统通过集成人工智能、视觉捕捉、超声探测和机械手臂技术，实现了对骨科疾病的精准诊断和高效治疗。需进一步优化控制算法和超声成像技术，扩展系统的适用范围，包括更多类型的骨科疾病和其他医疗应用。进行全面的临床验证，推动该系统的推广和应用，提升远程医疗技术的发展水平。尽管目前结果初步，本研究展示了该系统在提高治疗效果和患者满意度方面的巨大潜力，为未来的医疗技术发展提供了重要参考。

关键字：康复机器人，多模态，人工智能，骨科疾病，远程医疗

ID 895

基于主动不平衡学习的骨巨细胞瘤和溶骨型骨肉瘤分类方法研究

张出[1]、林鸿新[1]、高振华[2]、邵京京[2]、张锦香[2]、黄炳升[1]、刁现芬[1]

1. 深圳大学

2. 中山大学附属第一医院

目的：骨肿瘤是儿童和青少年常见的恶性肿瘤之一，X线检查是主要的筛查方法。然而，骨巨细胞瘤和溶骨型骨肉瘤在X线影像上表现相似，易导致误诊。尽管深度学习技术在骨肿瘤图像分析中表现出色，但高质量标注数据的获取和类别不平衡问题仍然是挑战。本研究旨在提出一种结合主动学习与不平衡学习的方法，以低标注成本实现对骨巨细胞瘤和溶骨型骨肉瘤的精确诊断。

方法：首先，评估不同网络架构对分类模型性能的影响，选定EfficientNet-B6作为基础网络。其次，提出基于特征混合的主动学习方法，包括特征提取模块、特征混合模块和样本选择模块，以选择信息量更大的样本进行标注和建模。再次，提出基于特征距离排序的不平衡学习方法，并与主动学习方法结合，以提高类别不平衡数据的分类性能。最后，基于所提算法开发骨肿瘤分类预测软件。

结果：在骨肿瘤分类任务中，所提主动学习方法在各种已标注数据比例下均实现最佳性能。当训练集中标注数据比例为50%、60%、70%和80%时，模型的平均AUC分别达到0.810、0.869、0.901和0.913。在60%已标注数据比例下，所提方法与全监督模型性能无显著统计学差异。对于不平衡学习方法，在类别不平衡比例为2:1、3:1和5:1的情况下，当已标注数据比例为60%时，所提方法与全监督模型性能均无显著统计学差异，展示了方法在不平衡数据下的有效性和稳定性。

结论：本研究提出的基于特征混合的主动学习方法和基于特征距离排序的不平衡学习方法，能够在处理类别不平衡的医疗数据集时，以有限的数据标注资源构建出性能优秀的模型。这些方法为医生提供了更准确的辅助诊断工具，有助于为患者提供更精确的治疗方案，为实现早期诊断和个性化治疗策略提供了有力支持。

关键字：骨肿瘤、X光摄影、主动学习、不平衡学习

ID 899

基于多序列MRI预测 乳腺癌HER2阳性的方法研究

王海鹏[1]、罗梓欣[1]、郭媛[2]、黄炳升[1]
1. 深圳大学
2. 广州市第一人民医院

目的：乳腺癌是全球最常见的恶性肿瘤，HER2表达状态对治疗方案选择至关重要。MRI被广泛应用于HER2阳性分析，但人工阅片效果有限，且真实医疗场景中常存在MRI序列缺失问题。本研究旨在提出一种基于多序列MRI图像的信息提取与融合方法，克服数据缺失问题，充分挖掘各序列图像信息，实现HER2阳性的准确预测。

方法：首先，提出序列共享特征学习方法，通过部分参数共享的特征提取器和相关模型挖掘多序列MRI图像间的潜在相关性，学习多序列共享特征表示。利用基于对比学习的余弦相似度、欧氏距离损失函数和基于流形学习测地线距离的损失函数，对齐各序列特征与共享特征。其次，提出序列特有特征提取方法，使用联合空间与频率的对比学习损失函数，强化不同序列特征间的不一致性。最后，提出多序列信息自适应融合方法，在特征级与决策级水平基于自注意力机制，根据序列状态编码信息及所获取的序列共享与特有信息，学习各种MRI序列组合下的最佳权重组合，实现多序列信息的多尺度自适应融合。

结果：在序列缺失情况下，序列共享特征学习方法的平均AUC为0.706，优于现有解决数据缺失问题的方法（平均AUC = 0.654~0.694）。结合序列特有特征提取和多序列信息自适应融合方法后，在序列缺失情况下，平均AUC明显优于现有乳腺癌研究常用的多序列方法（平均AUC = 0.739 vs. 0.655~0.702，P < 0.05）。在序列完整情况下，AUC进一步提升至0.791。

结论：本研究提出的序列共享特征学习方法能有效应对乳腺癌HER2阳性预测任务中任意MRI序列缺失的问题。序列特有特征提取方法结合多序列自适应融合方法能进一步挖掘多序列MRI图像中的信息，显著提高HER2阳性预测任务的性能，有望在真实临床场景中推广应用。

关键字：乳腺癌，人表皮生长因子受体2，多序列磁共振成像，序列共享特征学习，信息自适应融合

ID 922

基于多模态信息和CLIP大模型的肝细胞癌 术后早期复发预测

黄强泰[1]、刘锐豪[1]、黄炳升[1]、王霁朏[2]、冯仕庭[2]、孙美丽[3]、刁现芬[1]
1. 深圳大学
2. 中山大学附属第一医院
3. 中山大学肿瘤防治中心

目的：肝细胞癌（HCC）是我国最常见的恶性肿瘤之一。精准预测HCC术后早期复发情况对于临床医生制定治疗方案和评估预后至关重要，而计算机断层扫描（CT）是HCC预后评估的重要工具。在临床实践中，医生根据自身长期积累的经验判断患者术后是否会复发，存在一定的局限性。本研究拟设计一个基于多模态信息和对比语言图像预训练模型（Contrastive Language Image Pre-training，CLIP）的HCC术后早期复发预测方法。

方法：首先，本研究比较几种基于单模态信息建立的预测模型在HCC术后早期复发预测任务上的性能，确定Vision Transformer为后续多模态信息融合框架的骨架网络。随后，为了解决单模态模型信息利用不充分以及未能充分探索不同

模态间潜在关系的问题，本研究使用基于双向注意力机制的多模态信息融合框架整合HCC患者的影像和临床信息，并通过对比实验和消融实验验证该框架的有效性。最后，本研究在所设计的多模态信息融合框架的基础上，引入CLIP提取的图像特征，以充分挖掘和利用患者的图像信息，进一步提升模型的性能。

结果：本研究在验证集和独立测试集上验证模型的准确性和鲁棒性。基于动脉期图像、静脉期图像和临床信息建立的单模态信息预测模型，在验证集上的AUC分别为0.740、0.744和0.747，在独立测试集上的AUC分别为0.643、0.637和0.599。使用基于双向注意力机制的多模态信息融合框架后，验证集和独立测试集上的AUC分别提升为0.825和0.713。引入CLIP提取的图像特征后，验证集和独立测试集上的AUC进一步提升为0.844和0.759。

结论：综上，本研究设计和实现基于多模态信息和CLIP的HCC术后早期复发预测方法，通过充分利用和整合患者不同模态的信息，提升预测模型的性能，有效辅助临床医生进行决策，有助于改善患者预后和治疗效果。

关键字：肝细胞癌，早期复发预测，深度学习，多模态融合，双向注意力机制

ID 925

基于多参数磁共振深度学习的脑龄预测方法研究

黄嘉慧[1]、林楚旋[1]、黄炳升[1]、杨阳[2]、陈颖茜[2]、刘霞[3]、吴光耀[2]

1. 深圳大学
2. 中山大学
3. 深圳市康宁医院

目的：预测脑龄作为一种可表征大脑健康状态的生物标志物，有望辅助神经系统疾病的早期诊断并提供及时和有针对性的干预建议，具有重要的临床意义。多参数MRI不仅可以显示脑部解剖结构，还能呈现组织微结构、功能特征和生理状态等多维度的信息，用于追踪大脑结构和功能发育、衰老的轨迹。其中，结构MRI能够以较高的空间分辨率提供清晰的解剖图像信息，弥散张量成像可用于分析大脑白质中微观结构层面的拓扑变化，功能MRI能够以较高的时间分辨率提供大脑的活动情况。本文旨在基于深度学习技术融合sMRI、DTI和fMRI图像信息，构建一个适用于中国人群的全年龄段脑龄预测模型。

方法：本研究先对sMRI、DTI和fMRI图像采用分年龄段建模策略，构建不同MRI参数图像或其组合的脑龄预测模型，结果表明纳入模型的MRI图像信息的增加会降低脑龄预测模型的性能，原因是多参数MRI图像在带来更丰富的结构或功能信息的同时，也会引入更多的噪声，使得模型的性能下降。此外，不同MRI图像包含的噪声大小和种类也不同，因此不同MRI图像存在不同程度的不确定性。

针对上述情况，本研究提出一种不确定性感知的脑龄预测网络，通过特征级和序列级交互的概率分布编码器将点表征空间转化为高斯分布，分析不同MRI图像特征的不确定性，进一步提高脑龄预测模型性能。首先通过探究实验验证该不确定性感知的脑龄预测网络的有效性，随后基于该网络建立GM&DTI、GM&fMRI、DTI&fMRI和Multimodal模型。

结果：

结果表明，各个年龄组的Multimodal模型在独立测试集上的性能进一步提高，且优于对应年龄段的GM&DTI、GM&fMRI、DTI&fMRI模型，在全年龄段的99例独立测试集上达到MAE=2.059岁，r=0.988的预测性能。

结论：本研究将不确定性估计引入深度学习多参数MRI信息融合网络，能够有效融合不同MRI序列信息，成功构建基于中国人群的全年龄段脑龄预测模型。

关键字：多参数磁共振成像；脑龄预测；深度学习；不确定性感知

ID 1000

基于通用分割模型SAM的急性阑尾炎辅助诊断方法研究

张畅[1]、樊雅恒[1]、黄炳升[1]、梁丹[2]、丁惠君[1]

1. 深圳大学

2. 广州市第一人民医院

目的：急性阑尾炎（Acute Appendicitis，AA）是一种常见的急腹症。在临床环境中，由于部分病人的阑尾位置偏离常规，加上肠道蠕动等因素的影响，医生在急诊情况下难以迅速且准确地确定阑尾边界和判断阑尾炎类型，可能导致错误用药，延误手术最佳期；或切除阑尾炎症程度低的患者的肠段。此外，目前计算机辅助诊断方法的可解释性较低， 医生无法理解其决策过程，不能有效地将这些技术应用于实践。鉴于此，本研究将实现对发炎阑尾的准确分割以及非复杂/复杂性AA的准确诊断，同时提高模型的可解释性。

方法：本研究提出一种基于通用分割大模型SAM的发炎阑尾分割和非复杂/复杂性AA鉴别诊断多任务学习框架MF-MedSAM，实现阑尾的准确分割和非复杂/复杂性AA的准确诊断。在上述多任务框架基础上，提出基于注意力机制的可解释性学习模块。该模块将临床信息分为临床诊断信息和肉眼影像征象，分别以空编码的形式输入到可解释性学习模块中。在模型的迭代学习中，使临床信息的预测结果逼近真实值，并在模型推理阶段输出可解释性结果。

结果：本研究在大型多中心急性阑尾炎数据集上验证两个模块的有效性，MF-MedSAM模型在训练集、验证集和测试集的Dice分别为0.907、0.860和0.818；鉴别诊断AUC分别为0.887，0.751和0.721，表现均优于其他方法。引入可解释性框架后，在训练集、验证集和测试集的Dice为0.908，0.861 和0.816；鉴别诊断任务的AUC值分别达到0.989、0.713和0.703，该模型在未降低模型性能的情况下提供了基于临床概念的解释，增强模型的可理解性。

结论：本文提出的多任务模型，能有效克服发炎阑尾的边界模糊、非复杂性/复杂性AA在影像学表现上高度相似等临床问题；基于注意力机制的可解释性学习的方法，在不牺牲模型性能的前提下，提高模型的可信度，有望在真实临床场景中进行推广应用。

关键字：急性阑尾炎，分割一切模型，多任务学习，可解释性，注意力机制

ID 1023

Stepwise Corrected Attention Registration Network for Pre-Operative and Follow-up Brain MRI

Yuefei Feng,Tianci Liu,Yang Liu

Air Force Medical University

Objective: Surgical intervention stands as the primary and most crucial form of treatment of glioma. Notably, there exists a positive correlation between the extent of resection and patient survival rate. However, the registration of pre-operative and follow-up brain MRI, crucial for illustrating the extent of resection, presents significant challenges. These challenges stem from the considerable variability in brain tissue and the loss of corresponding areas due to surgical intervention and postoperative changes. We have proposed a stepwise corrected attention registration network grounded in convolutional neural networks (CNN). This methodology leverages preoperative and follow-up MRI scans as fixed images and moving images respectively and employs multi-level deformation strategy, which achieves precise adjustments on regions of substantial deformation as well as holistic adjustments on the entire image through the generation of deformation fields. Fur-

thermore, our model innovatively introduces corrected attention module into registration network that takes the preoperative lesion area as a form of weak supervision and is capable of refining the registration of non-correspondence areas. Our comparison with the leading baseline in the MICCAI BraTS-Reg challenge indicates a 7.5% enhancement in target registration error (TRE) metrics and an improved visualization of regions with missing correspondence. These findings underscore the efficacy of our stepwise corrected attention registration network in not only enhancing registration accuracy but also in more logically accounting for missing correspondences. Thus, our work contributes significantly to the optimization of the registration between preoperative and follow-up brain MRI.

Methods: Our method is designed as a bidirectional registration framework to address the problem of non-correspondence voxels existing in both registered iamges, avioding the irrationality of the registration results of the areas with actually missing correspondences and balancing the information inputing into model from paired registered images. Our model embraces three levels of stepwise registration network which captures as accurate as possible deformation field in the initial level and refines the deformation field based on item output from previous registration net in the consequent level, capable of generating accurate and reasonable deformation field. To make areas with large deformation have better registration and integrate the prior of clinical practice into model learning, our model integrate corrected attention module in each level of stepwise registration network, keeping the big deformation that most are non-correspondence areas under high attention of model and correcting the attention map with clinical prior.

Results: The experimental validation of our registration model was conducted on the Brain Tumor Sequence Registration (BraTS-Reg) public dataset that intended to establish a benchmark environment for deformable registration algorithms. The experiment employs Python 3.9 as the programming language and Pytorch as the deep learning framework. It utilizes the NVIDIA RTX 4080 GPU for the model training. We ran 1000 epochs with the batch-size of 2 which is set according to the memory of our GPU. We utilized target registration error(TRE) to evaluate our registration model. The BraTS-Reg dataset furnishes few pairs of landmarks annotated by experts per patient. These landmarks, labeled to reflect invariant anatomy despite the presence of pathology, provide a ground truth correspondence that is indispensable for the quantitative computation of Target Registration Error(TRE). Our model achieved the best registration accuracy over all the comparing methods. By comparing the TRE from traditional registration methods on the same dataset, our model improved performance by 7.5% compared to baseline. Meanwhile, our model achieved best registration performance in cases with large derformation(larger original TRE). Our model achieved more rational and interpretable visual result of non-correspondence areas.

Conclusion: We have proposed a novel stepwise registration network complemented by a corrected attention mechanism for learning the large deformation with bidirectional non-correspondence areas which is completely unsupervised. This end-to-end framework is developed with the objective of mitigating or obviating the registration inaccuracy prompted by non-correspondence voxels, thereby enhancing the registration accuracy in normal brain tissues. By accurately capturing deformations and pinpointing areas of non-correspondence at the initial level registration network, our method effectively circumvents the biases in traditional multi-scale registration strategy. Additionally, our proposed corrected attention module can take the preoperative lesion area as a form of weak supervision and be capable of refining the registration of the non-correspondence area and its surrounding area. The experimental results demonstrate that our method has better performance both in TRE and visual results of non-correspondence area.

Key Words: deformable registration; stepwise registration; missing correspondence; deep learning; corrected attention

ID 1089

基于图卷积网络的X射线图像关键点定位研究

谢好妤[1]、张洪源[1]、黄炳升[1]、戴娟[2]、李旭光[2]
1. 深圳大学医学部生物医学工程学院
2. 深圳大学总医院口腔科

目的：从X射线图像中检测出解剖学关键点是临床诊断的重要的前置步骤，而医生在图像中人工描点过程不仅耗时耗力，且难以保证结果的一致性和稳定性。深度学习是一种新兴的医学图像分析技术，现有的基于坐标和热图的深度学习方法往往把关键点视为独立的点，忽略了关键点之间的拓扑关系，而图卷积学习能够对关键点之间的拓扑结构进行建模。因此，本研究拟结合深度学习图卷积网络，利用关键点之间的拓扑关系来实现更准确的医学图像关键点的定位检测。

方法：本研究提出一种基于图卷积的关键定位Image2Landmark方法。在Image2Landmark方法中，本研究设计了由全局到局部，由粗到细的图卷积解码模块渐进式的预测关键点的坐标位置。此外，在Image2Landmark方法基础上，本研究进一步利用全局的形状编码来构建图节点信号，以及使用CLIP文本编码器对关键点解剖学描述文本得到图的连接权重来初始化图的连接关系，显式地利用关键点之间的拓扑结构和语义描述文本。

结果：在X射线头影关键点检测任务和手部关节检测任务上验证了所提出的方法，并与其他定位方法进行对比。Image2Landmark方法在两个定点任务上获得了最优秀的定位性能，平均的径向误差分别为1.73±1.48和1.06±0.77毫米，平均成功检测率分别为63.60%和73.40%。进一步地，结合了显式表示的图卷积方法Image2Landmark++的性能稳定优于Image2Landmark方法，且能够在两个实验任务中实现最优的关键点定位结果，平均的径向误差分别为1.13±0.13和0.95±0.18毫米，平均成功检测率分别为78.58%和82.36%。

结论：上述结果表明，本研究所改进后的Image2Landmark++方法能够在自动学习到关键点之间拓扑关系，能够在两个医学图像关键点任务上达到最高的检测性能。该方法能够自动化地完成关键点定位，这有望辅助医生进行后续临床疾病的诊断。

关键字：关键点检测；图卷积网络；拓扑关系；解剖学关系；形状特征

ID 1150

术中3D超声导航在脊柱外科手术中的研究进展

李兰琳、杨智
首都医科大学

目的：随着导航技术的日益成熟，手术导航在脊柱外科手术中得到了越来越多的应用。计算机辅助导航能为医生提供三维可视化环境，从而增强手术的可行性、安全性和有效性。导航引导的脊柱手术在术中通常使用CBCT成像技术来实时观察患者体位，然而CBCT存在着潜在的辐射隐患。研究指出，基于CT的导航方式不仅会增加医生的累积辐射暴露，而且病人在多次术中3D透视照射后有患医源性恶性肿瘤的风险。因此在术中采用低剂量和无辐射的成像技术成为更加可行的方法。

方法：超声波成像因其无电离辐射、实时成像、经济便携、可接受程度高等优点，成为在手术导航中极具发展前景的影像模态。国内外研究人员已就3D超声在脊柱手术导航中的应用展开了广泛的研究，如椎弓根螺钉内固定、脊柱肿瘤

切除、脊柱穿刺等。尽管现有研究表明，在脊柱外科手术中使用3D超声进行导航具有可行性和安全性，但术中超声导航的精度问题限制了其在临床中的应用。超声三维重建、术中超声与术前CT的配准是超声引导的手术导航中两个重要的环节，也是研究学者围绕关于3D超声导航研究的两个重点方向。如何加快超声三维重建的速度并保证其质量，以及提高配准的精度和效率是解决当前3D超声导航问题的关键。

结果：近年来，基于点云和深度学习的方法被引入了医学图像处理中。研究结果表明，相较于传统方法及其改进方法，基于点云和深度学习的方法在超声的三维重建和配准中展现了独特的优势，不仅能提高重建的速度和质量，还能提升配准精度和效率。在模拟实验中，部分基于3D超声导航的系统能够达到临床手术的精度要求，为脊柱手术的导航方法提供了新的思路。

结论：目前，术中3D超声导航在脊柱手术中的应用还在研究阶段，尚未成为临床公认的可行方法。但随着图像成像质量的不断提高，更先进的图像配准技术的出现，术中3D超声导航有望成为术中CT导航方式的可替代方案。

关键字：3D超声；手术导航；脊柱外科手术

ID 1373

一种用于增强局部图像表征的医学图像信息深度自融合方法

金日初[1]、王星月[2]、邱忠喜[2]、胡衍[2]、刘江[2]

1. 深圳职业技术大学
2. 南方科技大学

目的：医学影像中的许多组织结构展现出相似的局部图像特征，如大脑脑区和视网膜各层。深度学习模型通过从基础语义信息中逐步筛选出关键信息来提取高级语义信息。但不同组织间的局部特征相似性使模型难以区分这些组织，从而影响对目标高级语义信息的准确提取。应对这一挑战的主要策略是通过整合上下文信息来增强局部图像特征，提高不同组织间的可区分性。扩大卷积感受野和应用自注意力机制是两种常用的整合方法，但它们在平衡全局上下文信息的利用与局部特征提取方面存在固有限制。本研究提出一种创新的图像信息自融合方法，旨在实现更有效的局部图像特征增强，以期提高医学影像分析的准确性。

方法：图像信息自融合方法包含三个关键步骤：自克隆，自对齐和自嵌入。自克隆是将原始图像空间进行复制，生成一个由多个克隆图像子空间构成的高维数据空间。在这个高维数据空间内，自对齐操作对各个图像子空间执行空间变换，使得原始图像中的不同组织在子空间的维度上根据语义关联实现重新对齐。自嵌入通过卷积操作将经过对齐的高维数据空间重新映射回原始图像空间，实现组织信息在图像子空间维度上的有效融合。自融合方法通过创建高维数据空间，解除了组织结构的空间位置约束，增强了上下文信息融合的灵活性；卷积技术在自嵌入中的应用，确保了对局部特征的精确提取和融合。

结果：本研究从ADNI和OCTA500数据集中挑选了四个具体的诊断任务，用以评估自融合方法与其他常见上下文融合技术的效果对比。这些技术包括基于扩展卷积感受野的特征金字塔、空洞卷积、动态卷积网络，以及应用自注意力机制的Non-local block和常见的Transformer网络。为了全面评估诊断性能，我们选择了准确率、F1-score和kappa三个关键指标。实验结果表明，采用自融合方法处理后的图像，在诊断效果上取得了显著提升。

结论：与传统的上下文信息融合方法相比，自融合策略在医学图像分析领域展现出了其独特的潜力和显著优势。

关键字：医学影像，深度学习，图像融合

ID 1712

基于大脑功能梯度的脑网络多尺度特征提取

罗一乾、张杨松
西南科技大学

目的：自闭症谱系障碍（ASD）是一种广泛性的中枢神经系统发育障碍，最常发生在儿童时期，以不寻常和重复的仪式行为为特征。现有的基于功能核磁共振的深度学习诊断算法往往存在着可解释性差、准确率低等缺点，并且还缺乏了对于多尺度的功能网络的关注，为了进一步提高诊断算法的可解释性和诊断的准确率，本报告中我们将介绍一种基于大脑功能梯度驱动的脑网络多尺度特征提取算法，来实现ASD疾病的诊断分类。

方法：我们基于卷积神经网络和图卷积神经网络，提出一种使用大脑功能梯度来自动实现功能网络从ROI尺度到社区网络尺度，社区网络尺度再到个体全脑表征尺度的递进特征提取方式，为了实现更好的分类效果，对于提取的特征我们使用原型学习来对测试集进行相应的分类，取得了不错的分类效果。

结果：在自闭症公开数据集ABIDE-I上，我们对提出方法进行了相应的验证分析，并对提出方法的可解释性进行较为全面的分析，与已有的深度学习方法相比，提出的方法在ASD上的分类准确率有显著提升；我们还对提出方法的鲁棒性进行了测试，使用了ADHD-200数据在提出方法上进行相应的实验，发现提出的方法不仅仅只适用于ASD疾病分类上，在ADHD疾病分类也取得了很好的分类效果。

结论：基于功能梯度的脑网络多尺度特征提取方式，能够挖掘和利用大脑的功能特性，该方法具有较强的可解释性，并且能实现不错的诊断分类准确率。

关键字：fMRI，自闭症，功能梯度，社区网络

ID 1749

基于图像插值与深度学习的钆增强心脏磁共振图像分割

孔赵锴[1]、周佳丽[3]、乐颖慧[3]、傅桢茵[1]、耿璎昳[1]、夏灵[1]、贺毅[3]、邓冬东[2]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院
2. 大连理工大学生物医学工程学院
3. 首都医科大学附属北京友谊医院放射科

目的：晚期钆增强心脏磁共振（LGE-CMR）图像的自动精确分割是个性化心脏建模的关键步骤。为了实现LGE-CMR图像的准确、自动分割，心肌边界的分割至关重要。本研究的目的是验证我们提出的深度学习分割方法对左心室血腔（LV）和左心室心肌（Myo）的准确性，并评估我们提出的方法对后续个性化心脏建模的影响。

方法：本研究共分析了150例患者的LGE-CMR图像（100例来自EMDEC，5例来自安贞医院，45例来自MS-CMRseg2019）。我们提出了一种基于残差注意力的nnUNetv2来自动分割LGE-CMR图像的LV和Myo。残差注意力机制使网络能够专注于更有用的信息通道，提高模型表达能力并增强判别学习，从而提高网络分割LV和Myo边界的能力。我们还提出了一种图像插值方法。该方法对原始图像的体素间距进行插值，并增加图像层数。

结果：我们的训练集和测试集的比例为7:3，即105名患者作为训练集，45名患者作为测试集。我们提出的方法对LV

的骰子相似系数（DSC）为85.19%。对于左心室心肌的分割，我们提出的算法的DSC为72.12%。我们提出的基于残差注意力的nnUNetv2网络提高了对于LGE-CMR的分割精度。而我们提出的图像插值方法使网络分割的边界更加平滑，便于后续工作。

结论：结果表明，我们提出的基于剩余注意力的nnUNetv2网络可以有效地提高网络对LV和Myo的分割能力。而我们提出的图像插值方法也可以有效的提高分割后的图像分辨率，使分割结果更加平滑。

关键字：钆增强心脏磁共振；图像分割；图像插值

ID 2085

基于视觉-语言对齐的胸部X射线影像报告生成

徐赟鹏、范明、厉力华
杭州电子科技大学

目的：胸部X射线影像报告自动生成是一项利用人工智能技术来辅助或替代医生手动撰写医学报告的工作，能够极大提升诊断效率，减轻医生工作负担。当前模型虽然能生成符合医学范式的报告，但在疾病诊断的准确性方面仍存在不足。基于此现状，本文提出了一种疾病诊断引导的视觉-语言跨模态语义对齐方法并训练深度学习模型。

方法：本文以医学诊断分类与医学报告生成的多任务学习为目标，使用ResNet101作为视觉主干，以Transformer编码器为视觉-语言对齐网络。本文仿照ViT在图像特征输入之前增加多个[CLS]可学习分类向量并在Transformer编码器之后添加多个疾病诊断分类器。疾病诊断分类器以CheXbert为每份报告生成的医学发现标签为真值进行有监督学习，促进Transformer编码器关注到胸部X射线图像中的异常区域，从而实现视觉-文本的隐式对齐。最后，本文使用疾病诊断分类器的分类结果生成医学诊断提示指导解码器生成符合医学诊断的报告，从而实现视觉-文本的显式对齐。

结果：本文在公共数据集IU-Xray中进行了实验并与各种最先进的模型进行了对比，本文的模型在自然语言生成NLG指标上始终优于之前的最先进模型，模型的BLEU-1到BLEU-4的指标分别为0.498、0.322、0.231、0.175，ROUGE指标0.383，METEOR指标0.196，尤其是CIDEr指标为0.580大幅度优于先前的模型。本文还对模型生成的报告进行了临床疗效CE指标进行了评估，发现IU-Xray存在部分疾病的阳性样本过少的严重的数据偏移问题。通过对阳性样本进行加权，最终本文模型的CE指标F1值为0.170。

结论：本文针对现有方法生成报告医学诊断性较低的现状，提出了以医学诊断为先导的模型，在NLG指标上取得了显著的成绩，特别是在CIDEr指标上达到了先进水平。

关键字：医学报告生成、深度学习、多任务学习、跨模态语义关联

ID 2235

肿瘤影像稳定性分析技术及在胰腺癌全流程诊疗中的应用

钱晓华
上海交通大学

目的：胰腺癌是“癌症之王”，5年生存率低于10%，主要原因为早期无症状、预后效果差、手术形势严峻。为此，

本报告的临床目标是构建集早期诊断、风险评估、手术规划于一体的胰腺癌全流程智能诊疗系统；而算法研究目标是解决肿瘤影像稳定性分析挑战，即应用于不同医院保持稳定性能，主要源于成像设备及参数不同，影像外观存在差异，加之胰腺癌体积小、解剖变异大，进一步加剧稳定性挑战。

方法：为此，我们率先提出肿瘤影像稳定性分析技术，系统构建有效判别性信息挖掘算法体系，包括微小信息的多样化挖掘技术和关键信息的稳定表征技术，具体如下：

1）提出因果目标引导的聚焦算法，强化导致临床诊断的肿瘤目标区域，去除复杂腹部环境干扰，实现了基于体检CT的胰腺癌早期诊断；

2）原创性提出空间变换的多样化算法，在变换域充分保留三维空间相关性，挖掘数据多样性潜力，实现了预后因素的术前无创风险评估；

3）提出因果不变性约束的表征算法，增强广泛分布中因果表征的一致性，去除多变外观风格的干扰，实现了胰腺、胰腺癌和胰周血管的立体透视；

4）提出因果先验驱动的感知算法，自适应建模和表达临床属性之间的关系，强化有临床价值的因果关联，实现了肿瘤-血管侵犯的精准预测。

结果：基于此，我们率先构建胰腺癌全流程诊疗智能辅助系统：早诊技术已在5省12家医院近万病例上验证，实现了早期肿瘤的有效检测（检出率＞85%）；风险评估技术在基因标记物和淋巴转移的术前无创预测上性能突破临床可用；手术规划技术已在3省8家医院3000+病例上验证，实现了毫米级精准透视和肿瘤-血管侵犯评估（准确率＞80%、敏感度＞90%）。

结论：上述技术提供了肿瘤影像分析的技术范式，数据高效（15%数据量即与传统方案100%数据量相当），泛化性强（一家医院数据开发的模型可在十余家医院保持稳定）。最终，该系统有望突破“癌王”诊疗困境，解决早诊率低、转移率高、复发率高的临床挑战，全面提升患者生存。

关键字：稳定性分析，因果推断，空间变换，胰腺癌

ID 2592

基于双路径扩散模型的MRI肝脏血管分割方法

彭月

广东省深圳市南山区中科院深圳先进院

目的：磁共振成像(MRI)在肝脏疾病诊断中发挥着重要作用,但准确分割肝脏血管仍然是一项具有挑战性的任务。血管的复杂树状结构和各向异性扩散特性给传统分割方法带来了困难。为了解决这一问题,本文提出了一种新颖的双路径扩散模型(DPDM)框架,旨在实现精确的肝脏血管分割。

方法：DPDM框架由两条协作的扩散路径组成:局部特征学习路径和全局上下文建模路径。局部路径基于卷积运算,专注于编码丰富的形状先验信息并保留空间细节。与之相对,全局路径采用变换块来捕捉长距离依赖关系,增强特征表示能力。这两条路径相互补充,共同提高了分割结果的准确性。

在解码阶段,我们引入了一种创新的特征融合策略。通过将局部路径生成的边界特征与全局路径解码的特征进行融合,模型对血管形状的敏感性得到了进一步增强。这种融合机制有效地结合了局部和全局信息,提高了分割结果的精细程度。

结果：我们在一个私有的肝脏MRI数据集上对DPDM进行了广泛的实验评估。实验结果表明,与其他主流方法相比,DPDM在肝脏血管分割任务中取得了显著的性能提升。在Dice系数和IoU指数方面,我们的方法分别实现了6.0%和7.3%的改进。这些结果证明了DPDM在捕捉血管复杂结构和提高分割精度方面的优越性。

结论：总之,本文提出的双路径扩散模型为MRI图像中的肝脏血管分割任务提供了一种前景广阔的解决方案。通过巧

妙地结合局部特征学习、全局上下文建模、特征融合和多任务学习,DPDM能够准确分割出肝脏血管,为精准医学中的自动血管分割开辟了新的研究方向。未来,我们计划将该方法拓展到其他器官和医学成像模态,进一步验证其通用性和可扩展性,以期为临床诊断和治疗决策提供更有力的支持。

关键字：扩散模型；肝脏血管分割；多任务学习

ID 2652

基于无监督变形感知自适应学习框架的医学图像配准

韩延伟[1]、王荃锐[1]、赵亚新[2]、薛洁[1]、李登旺[1]

1. 山东师范大学
2. 山东省立医院

目的：医学图像配准在诊断、治疗计划和纵向研究中扮演着关键角色，尤其是在脑部核磁共振成像（MRI）中，准确的图像配准对于跟踪疾病进展和评估治疗效果至关重要。然而，现有的方法在处理复杂的解剖变化时容易出现配准错误，而且很难有效地保持解剖结构的拓扑一致性。

方法：为了应对这些挑战，我们提出了一种用于单模态医学图像配准的无监督变形感知自适应学习框架（UDA2L）。我们构建了无监督交叉一致性正则化，以在循环变形过程中保持解剖结构的拓扑一致性。我们的无监督交叉一致性正则化方法能够在无任何标注的情况下，通过在图像配准过程中对解剖结构的拓扑特征进行约束，确保配准结果的稳定性和一致性。我们设计了自适应高风险变形区域感知机制，以关注图像中的突出特征，动态适应复杂的解剖变化。在医学图像中，不同组织和器官的形变特性各异，简单地依赖全局变形可能导致重要细节的丢失或误配准。自适应高风险变形感知机制通过识别图像中的关键区域，特别是那些易于出现配准错误的高风险区域，能够对这些区域进行重点关注和处理，从而提高配准的准确性。此外，我们的三视图分层特征整合模块利用金字塔结构和卷积递归融合块整合了编码器提取的特征、形变场特征和图像特征。金字塔结构允许我们在多个尺度上对图像进行分析，捕捉到细粒度细节和全局上下文信息，而卷积递归融合块则有效地将这些多尺度特征融合在一起，生成更为准确和细腻的配准结果。

结果：为了验证UDA2L框架的有效性，我们在三个三维脑磁共振成像数据集上进行了广泛的实验。实验结果表明，UDA2L在单模态图像配准任务中表现出色，达到了最先进的性能和配准效率。

结论：相比于传统的配准方法，UDA2L不仅在配准精度上有了显著提升，而且在处理复杂解剖变化时表现出了更强的鲁棒性和适应性。

关键字：医学图像配准；无监督学习；自适应学习；交叉一致性正则化

ID 2670

基于多样化核互适应学习框架的全自动胰腺分割

程亮辉[1]、李琪[1]、巩贯忠[2]、薛洁[1]、李登旺[1]

1. 山东师范大学
2. 山东第一医科大学附属肿瘤医院

目的：胰腺癌作为一种致死率极高的恶性肿瘤，其早期诊断和及时治疗对提高患者生存率至关重要。准确分割计算

机断层扫描(CT)图像中的胰腺是实现这一目标的关键步骤。然而，由于胰腺形状细长、周围脂肪组织干扰以及不同病例中胰腺外观的高度变异性，计算机辅助胰腺自动分割的任务面临巨大挑战。因此，本文提出了一种新型的多样化核互适应学习框架(DKMAL)，旨在解决上述问题。

方法：DKMAL框架的主要包括：(1)设计了一种不同核特征聚合模块(AFDK)，通过不同卷积核尺寸和协同双注意力分支实现信息融合，增强了模型对胰腺细节和整体结构的学习能力。AFDK使用全局上下文感知分支(GCAB)和细节敏感特征增强分支(DFEB)，分别捕获全局上下文信息和局部细节特征，以促进多尺度信息的有效获取与融合。(2)开发了自适应注意力对比学习模块(AACL)，通过创新的对比学习策略促进不同尺寸卷积核提取的特征间的动态相似性学习，优化特征表示。同时，AACL模块通过创新的对比学习策略，缓解了构建明确正负样本对的困难，实现了端到端的训练过程，从而更有效地优化了胰腺分割任务的特征表示。(3)提出了边界敏感区域优化策略(BSRO)，通过引入边界位置信息与动态权重调整，在训练过程中平衡对胰腺核心区域和精细边界的关注，进一步提高分割精度。

结果：为验证DKMAL的有效性，本研究在NIH胰腺数据集上进行了全面评估。实验结果表明，DKMAL在多个评估指标上均优于现有的14种先进算法。此外，为检验DKMAL的泛化能力，我们将其应用于海马体MRI图像分割任务，同样取得了令人满意的结果。证明了DKMAL网络在不同成像模式下的鲁棒性。

结论：本研究提出了一种高效的胰腺分割方法DKMAL，它通过多样化核特征聚合、自适应注意力对比学习和边界敏感区域优化等创新技术的有机结合，缓解了计算机辅助分割技术处理复杂形态的胰腺器官时的局限性。

关键字：胰腺分割；深度学习；多尺度特征融合；对比学习；边界优化

ID 2716

Unsupervised Deep Learning Approach for Medical Image Report Retrieval

Yingjie Chen

大数据与计算机学院

Objective: Medical image report retrieval is an important task in the field of radiology,as it allows clinicians to quickly and accurately access relevant medical infor-mation. However, the complexity of medical reports, which often contain alarge number of professional terms and complex sentence structures, makesthis task challenging. In recent years, deep learning techniques have shownpromise in addressing this challenge by using feature extractors such as ViTand BERT for images and text, respectively, and aligning the extracted features through a contrastive learning loss function. This approach has beenapplied to large-scale medical datasets such as MIMIC-CXR-JPG, which contains over 377,000 chest X-ray images with corresponding diagnostic reports.In this paper, we discuss the use of deep learning techniques for medicalimage report retrieval tasks and highlight several training techniques thatcan be used to improve performance. We also present experimental resultson the MIMIC-CXR-JPG dataset that demonstrate the effectiveness of ourapproach in handling the complexity of medical image reports.

Previous research on medical image report retrieval has primarily focusedon traditional methods such as rule-based or machine learning approaches.These methods often require manual annotation of large amounts of trainingdata, which can be time-consuming and expensive. In recent years, deeplearning approaches have shown great potential for medical image analysistasks, including medical image report retrieval.For example,Li et al., 2018proposed a deep learning approach for medical image report retrieval thatuses a convolutional neural network (CNN) to extract features from imagesand a recurrent neural network (RNN) to model the textual content of reports.Their approach achieved promising results on a dataset of chest X-ray imagesand associated reports.Similarly, Wang et al., 2019 proposed a deep learningapproach for medical image report retrieval that uses a CNN to extractfeatures from images and a long short-term memory (LSTM) network tomodel the textual content of reports. Their approach achieved state-of-the-art results on a dataset of mammography images and associated reports.While these deep learning approaches have shown promising results,they still require some

level of supervision in the form of annotated trainingdata. In contrast, our proposed unsupervised deep learning approach canlearn feature representations automatically without the need for manualannotation of large amounts of training data. This makes our approachmore scalable and cost-effective than traditional or supervised deep learningapproaches for medical image report retrieval.

This paper presents an unsupervisedeep learning approach to medical image report retrieval, which can handlethe complexity of medical image reports and learn feature representationsautomatically without the need for manual annotation of large amountsof training data. The proposed approach involves representation learning,similarity measurement, contrastive loss function, and training strategy.Representation learning is achieved using a cross-modal dataset, where ad-dimensional embedding vector is learned using cross-modal contrastivelearning methods. Similarity measurement is conducted using cosine similarity, which is widely used for comparing the similarity between images andtexts. Contrastive loss function is used to minimize the distance betweenpositive sample pairs and maximize the distance between negative sample pairs. The training strategy includes data augmentation, larger batchsizes, and pre-training on larger datasets to improve the quality of learnedrepresentations. Experimental results demonstrate that the proposed unsupervised deep learning approach outperforms traditional rule-based ormachine learning methods in handling large-scale medical image reports. The proposed approach has the potential to significantly improve the accuracy and efficiency of medical image report retrieval tasks.

Methods: Our model consists of components (1) vision and text encoders that extractsembeddings, (2) contrastive learning loss that trains the whole model, and(3) a database for storing image text features.

Results: To evaluate the proposed model, this section conducts experiments on amedical dataset and evaluates the performance of the proposed model usingspecific metrics. Specifically, we first introduce the dataset and evaluationmetrics used in the experiments, followed by a description of experimentaldetails and analysis of experimental results.

Conclusion: In conclusion, this paper presents a novel unsupervised deep learning ap_x0002_proach for medical image report retrieval that can accurately and efficientlyretrieve reports or related images from a large number of medical imagereports based on given queries. Our proposed approach involves representation learning, similarity measurement, contrastive loss function, andtraining strategy. Experimental results show that our method outperformstraditional rule-based or machine learning methods in handling large-scalemedical image reports. Our approach has the potential to significantly improve the accuracy and efficiency of medical image report retrieval tasks,which is critical for healthcare professionals to make informed decisions

Key Words: Contrastive learning, Unsupervised deep learning, Medical radiology image-report retrieval

ID 2805

基于隐式神经表示的加速磁共振T1ρ定量成像方法

谢锦文[1,2]、刘元元[2]、梁栋[2]、朱燕杰[2]

1. 华东师范大学软件工程学院

2. 中国科学院深圳先进技术研究院

目的：磁共振 $T_{1\rho z}$ 定量成像在临床和研究中展示了巨大潜力。然而，长时间的扫描过程极大限制了其更广泛的应用。传统加速采集方法如并行成像和压缩感知的加速率受信噪比和图像质量下降的限制，深度学习方法的重建模型则遇到需要采集大量训练数据的困难。因此，迫切需要加速磁共振 $T_{1\rho}$ 定量成像的方法。

方法：本研究提出一种基于隐式神经表示（INR）的新型无监督重建方法，从欠采样 k 空间数据中重建出 $T_{1\rho}$ 加权图像并直接生成其 $T_{1\rho}$ 定量图像，以加速成像过程。INR 通过神经网络隐函数对信号进行参数化的连续表示，该函数将空间坐标映射到图像信号。本方法采用了一种基于 SIREN 网络的 9 层 MLP 学习 INR，网络输入仅为空间坐标，输出为重建的

$T_{1\rho}$ 加权图像和生成的 $T_{1\rho}$ 定量图像，训练过程采用特定的损失函数。

结果：本研究在全采样回顾性数据集和前瞻性欠采样数据集上对所提方法进行了验证，其中，回顾性全采数据使用 3 种净加速倍速（分别为 6、10 和 14）仿真欠采，前瞻性欠采样数据的净加速倍速为 5.76。同样地，对 ZS-SSL、ConvDecoder、IMJENSE、MORASA、L1-ESPIRiT 方法在相同数据下进行了对比实验。结果显示，在回顾性实验中本方法重建的 $T_{1\rho}$ 加权图像达到了最高的峰值信噪比（分别为 41.10、39.67 和 37.75）、最高的结构相似性（分别为 0.971、0.963 和 0.950）和最低的归一化均方根误差（分别为 0.025、0.030 和 0.037），生成的 $T_{1\rho}$ 定量图像达到了最低的归一化均方根误差（分别为 0.050、0.064、0.082）。前瞻性实验结果也表明本方法在抑制伪影、降低误差、保留图像细节等方面显著优于其他五种方法。

结论：本方法通过信号松弛先验从高度欠采样的 k 空间数据中重建 $T_{1\rho}$ 加权图像，生成准确的 $T_{1\rho}$ 定量图像，还引入了一种特定的损失函数。本方法在图像重建和生成的优越性能展示了其在加速磁共振成像方面的巨大潜力。

关键字：隐式神经表示、参数成像、无监督学习

ID 2952

不确定度引导的医学影像分割网络

汪佳锌[1]、吴波[1]、王猛[2,3]、朱伟芳[1]、陈新建[1]、石霏[1]

1. 苏州大学电子信息学院

2. Centre for Innovation & Precision Eye Health, Yong Loo Lin School of Medicine, National University of Singapore

3. Department of Ophthalmology, Yong Loo Lin School of Medicine, National University of Singapore

目的：医学影像的自动分割是临床诊断的关键步骤，基于U型结构的卷积神经网络方法在不同的医学影像分割任务获得了显著的结果。然而由于训练数据的随机分布和深度神经网络的认知缺陷，网络存在随机不确定度和认知不确定度，进而使网络预测出次优的结果。因此，提出一种新颖的不确定度引导网络，使模型能够更关注于不确定度高的区域。

方法：首先引入并改善了一种不确定度的量化方法，此方法将特征的每个像素点建模为高斯分布的随机变量，并进行T次采样，将采样的归一化方差作为不确定度量化的结果。保持网络编码器和解码器的主干结构不变。在编码器的最后一个卷积层对特征进行不确定度量化，并将该量化结果作为权重以引导特征前向传递。对网络的预测结果进行不确定度量化以捕捉随机不确定度，用不确定度图的形式来表示。使用不确定度图、预测结果和真实标签计算改进的贝叶斯神经网络损失，此损失能够将随机不确定度和认知不确定度集成。此外，还设计一种不确定度感知损失函数，结合基于区域和分布的损失设计，可以感知网络的不确定度，并自动协调不同的损失组成部分。

结果：以Resnet34为网络主干集成了提出的方法，并在公开的AI-challenge 2018和私有的MTM数据集上分别验证了该方法的性能。两个数据集均为视网膜光学相干断层扫描图像，依次需要分割三种：视网膜水肿、视网膜下积液、色素上皮脱落；四种：视网膜脱离、内视网膜分裂、外视网膜分裂、视网膜脱落病灶区域。我们的方法与未进行不确定度引导的基准网络相比，平均Dice相似系数依次提升了：7.92%、2.78%.另外，整体网络的性能优于一些最先进的医学影像分割方法。

结论：我们提出的不确定度引导方法，通过在编码阶段用不确定度量化引导网络、对预测结果进行不确定度量化计算贝叶斯神经网络损失以及集成不确定度感知损失，神经网络能够更关注于不确定度高的区域，并对病灶区域给出更准确的预测结果。

关键字：不确定度量化、贝叶斯神经网络损失、不确定度感知损失

ID 2959

Altered functional dynamics of brain networks in early-onset schizophrenia

Maowei Ye,Yun-Shuang Fan,Huafu Chen

The Clinical Hospital of Chengdu Brain Science Institute, School of Life Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China

Objective: Converging evidence pointed out a dynamic architecture in human brain. Methodological advances have enabled us to study diverse dynamic characteristics of brain, such as hierarchy and flexibility. However, whether brain dynamics changes in psychiatric disorders remains unclear. Schizophrenia is the most severe disease among psychiatric disorders, which influences thoughts, feelings, and behaviors. Here we used 7-17 years old patients with early-onset schizophrenia to study early brain dynamics disruption in schizophrenia.

Methods: Resting-state fMRI data of 86 patients with early-onset schizophrenia and demographic-matched 91 healthy controls were collected from the First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan, China. Cortical vertices were first downsampled into 400 parcels, which belong to seven networks including the visual network (VIS), sensorimotor network (SMN), dorsal attention network (DAN), ventral attention network (VAN), limbic network (LMB), frontoparietal network (FPN), and default mode network (DMN). Subsequently, we used the sliding window method to calculate dynamic function connections (d-FC) of 400 parcels, and the d-FC strength were then transformed to transition probability. Based on transition probability matrix, we established a dynamic brain functional model by using non-homogeneous Markov chains. Specifically, we calculated optimal steps derived from the idea of maximum flow. The optimal step indexes the largest-probability steps that source network transfers to target network. The larger step is, the lower association between two networks in dynamic processing and vice versa. To reflect the stability of a brain network, we computed convergent transition probability from any network to this network. Next, we examined the network reachable path based on the multi-steps transition probability. We calculated direct-connected frequency and the longest undirect-connected frequency between two nodes in the optimal path. Last, we conducted two-sample t tests on the patients and controls groups.

Results: In terms of stable transition probability, compared with healthy controls, schizophrenia patients tended to converge into attention networks including the DAN ($t = 4.33$, $p < 0.0001$; two-sample t test) and VAN ($t = 2.51$, $p = 0.03$), and were less likely to converge to DMN ($t = -3.37$, $p = 0.003$). Notably, the stable transition probability of VIS showed no significant difference between the two groups. Regarding the longest undirect-connected frequency, patients showed general increases between any pair of networks. In particular, patients exhibited significantly increased node frequency from DMN to VIS ($t = 5.05$, $p < 0.0001$), DAN ($t = 4.99$, $p < 0.0001$), VAN ($t = 5.82$, $p < 0.0001$). Furthermore, patients also showed increased longest undirect-connected frequency with DMN as target node, such as DAN to DMN ($t = 6.13$, $p < 0.0001$), and VAN to DMN ($t = 5.42$, $p < 0.0001$). Regarding direct-connected frequency, patients with early-onset schizophrenia had decreased frequency between DMN and DAN (DMN to DAN: $t = -3.90$, $p = 0.0005$; DAN to DMN: $t= -4.02$, $p = 0.0003$), VAN (DMN to VAN: $t = -3.84$, $p = 0.0005$; VAN to DMN: $t = -3.86$, $p = 0.0004$) relative to controls. In addition, patients showed increased direct-connected frequency between DMN and LMB (DMN to LMB: $t = 7.91$, $p < 0.0001$; LMB to DMN: $t = 8.08$, $p < 0.0001$), as well as between VAN and SMN (VAN to SMN: $t= 5.95$, $p < 0.0001$; SMN to VAN: $t = 5.47$, $p < 0.0001$), DAN (VAN to DAN: $t = 5.55$, $p < 0.0001$; DAN to VAN: $t = 5.71$, $p < 0.0001$).

Conclusion: In sum, this study revealed altered functional dynamics of both direct- and undirect-connectivity in early-onset schizophrenia. These changes were mainly found in higher-order networks such as DMN, rather than unimodal network like VIS. More broadly, this finding indicates early brain function disruption in schizophrenia, which might serve as a promising neuroimaging marker.

Key Words: Early-onset schizophrenia, brain networks, dynamic characteristic, functional connectivity.

ID 3048

基于稀疏化Transformer和类别注意力的视网膜色素变性自动分级

丁维新、陈新建、石霏、朱伟芳
苏州大学

目的：视网膜色素变性（Retinitis Pigmentosa，RP）是一种导致视力严重下降甚至失明的遗传性疾病。眼底彩照广泛应用于RP的临床诊断，但往往依赖于医生经验，存在主观偏差和效率低下问题。因此，本研究旨在通过深度学习技术提升RP自动分级的准确性和效率。

方法：本文提出了一种轻量类别注意网络（RP-LightCATNet），采用轻量化网络实现RP的自动分级。该模型结合了以下三个关键技术拟解决计算复杂度高、数据类别不平衡以及分级精度要求高等问题：

1.稀疏化注意力机制：该模型采用稀疏化自注意力降低计算复杂度。模型将输入的眼底彩照分割成多个区域，针对每个区域独立计算自注意力，并基于其重要性选取关键块，仅计算关键块之间的注意力关系。这种方法减少了参数量和计算量，同时保持对关键特征的关注。

2.类别注意力机制（Category Attention Mechanism，CAM）：CAM通过为不同类别分配特定的注意力权重，优化了模型对各类别的关注度。这不仅提升了模型对少数类别的敏感性，还改善了整体分类性能。

3.累进编码损失函数（Cumulative Encoding Loss，CEL）：鉴于RP临床分级的有序性，本研究引入了CEL来强化模型对病变递进的学习。CEL通过优化类别间的判别边界，鼓励模型捕捉从正常到早期、中期再到晚期RP的特征变化，从而提高了模型对相邻类别的分类性能。

结果：采用沈阳何氏眼科提供的包含596张眼底彩照的RP数据集评估了RP-LightCATNet的性能，加权分类准确率、加权F1分数分别为84.65%、84.46%，优于其他先进模型。通过消融实验进一步验证了CAM和CEL的重要性。

结论：本文提出了一种适用于RP自动分级的RP-LightCATNet模型，通过引入稀疏化自注意力、类别注意力机制和累进编码损失函数，显著提升了RP自动分级的效率和准确性，对于RP的临床辅助诊断具有重要意义。

关键字：视网膜色素变性、眼底彩照、Transformer轻量化、类别注意力机制

ID 3051

基于改进MA-SAM的视网膜OCT病变分割

龚天、陈新建、石霏、朱伟芳
苏州大学

目的：近年来，基础模型的出现为人工智能带来革命性变化。SAM（Segment Anything Model）作为图像分割领域的开创性基础模型，能够自动或交互式生成精确目标掩码而备受关注。由于医学与自然图像之间的巨大差异，探索SAM及其衍生模型在医学图像分割中的应用是当前的研究热点之一。

方法：本文针对MA-SAM（Modality-agnostic SAM Adaptation for 3D Medical Image Segmentation）进行改进。其图像编码器在SAM的基础上，在每个Transformer块中的自注意力模块前后分别添加3DAdapter块，本文采用MH-SSM（Multi-Head State Space Model）块替换每个Transformer块中的第一个3DAdapter块。MH-SSM使用头部间门控机制，利用一部分头来控制或门控其余的头，从而实现不同头之间的通信和协调。MH-SSM中的SSM头使用线性时不变的S4模型，本文将其替换为Mamba中的S6模型，S6通过引入选择机制和扫描计算方法，使其能从上下文中选择正确信息，以依赖输入的方式影响数

据传播。

结果：本文采用MICCAI2017视网膜OCT积液分割挑战赛RETOUCH数据集、AIChallenger2018眼底水肿病变区域分割挑战赛数据集和私有的黄斑囊样水肿+黄斑裂孔数据集验证改进方法的有效性。实验结果表明，相比于MA-SAM，基于MH-SSM改进的MA-SAM模型在3个数据集上均取得了更好的性能，平均Dice系数分别提升1.14%、3.98%和0.34%。

结论：本文提出了一种针对MA-SAM的改进方法，通过在Transformer块中加入MH-SSM块，并将其中的S4改为S6，在充分利用自注意力机制的全局理解能力的同时，保留了状态空间模型在基于内容的推理能力和信息的选择性传播方面的优势，提高模型的分割性能。

关键字：医学图像分割；MA-SAM；MH-SSM

ID 3131

MDCF-Net：用于老年黄斑变性分类的多模态双流多尺度融合网络

吴波、汪佳锌、朱伟芳、陈新建、石霏

苏州大学

目的：老年黄斑变性(Age-related Macular Degeneration，AMD)是一种渐进性视网膜疾病，是世界第三大不可逆致盲眼科疾病，严重危害老年人的视力健康。基于眼底彩照和OCT图像的AMD自动分类方法有助于快速筛查诊断AMD，具有重要意义。本文旨在针对眼底彩照和OCT图像的特点，设计一种多模态分类网络，实现AMD自动分类。

方法：本文提出了一种多模态双流多尺度融合网络(Multiscale Dual-stream Complementary Fusion Network，MDCF-Net)。MDCF-Net使用Swim Transformer分支和深度卷积分支分别提取眼底彩照和OCT图像的特征。设计了一种基于通道注意力和自注意力的特征融合模块，并设计了一种基于聚类的类别注意力。为降低计算成本，在Swim Transformer分支使用 GELU 激活函数代替 FFN。在特征融合模块中，通过挤压激励通道注意力细化眼底彩照的特征；使用自注意力弥补深度卷积对于OCT图像全局特征提取的不足。在类别注意力中，使用1×1卷积将输入特征映射到高维空间，通过高斯相似度聚类生成特定类别的权重。引入了一种基于不同损失的集成方法，采用同质的特征提取模型，不同的损失函数进行训练，以获得异质的特征嵌入。

结果：实验使用根据眼睛配对的1220对眼底彩照和OCT，包含正常、干性、湿性和息肉样脉络膜血管病变四类，其中训练集856对，验证集和测试集均为182对。MDCF-Net在测试集的分类准确率、F1分数、Kappa系数和AUC值分别达到89.0%、88.8%、0.836和0.965，在各项指标均优于现有方法。

结论：本文提出了一种用于多模态医学图像分类的通用骨干 MDCF-Net，广泛的实验表明 MDCF-Net 能全面挖掘病变区域的特征，分类性能优越。

关键字：老年黄斑变性；眼底彩照；OCT图像；图像分类

ID 3208

隐式神经表示在医学三维图像配准中的应用

李持惟、许燕
北京航空航天大学

目的：医学三维图像配准技术通过将不同来源的三维图像对齐到一个共同的坐标系中以便于识别和分析它们共有的区域。常规方法依赖于复杂的多步骤处理和对转换性质的假设，限制了其灵活性和准确性。隐式神经表示（Implicit Neural Representation）通过参数化神经网络，以函数形式将三维空间坐标映射到密度值上，从而学习并表达医学图像的体素并连续地近似变形场。本综述旨在展示其在医学三维图像配准中的潜力。

方法：本文通过文献回顾搜集了与医学图像配准以及隐式神经表示相关的研究文献，进而对比分析了基于隐式神经表示的配准方法的差异和优势。

结果：Wolterink等人提出的IDIR方法，通过多层感知机建立位置和变形之间的映射，并优化这一映射，实现了胸部CT的精确配准。IDIR本质上体现了可微渲染和自动微分的灵活性，这使得它能够直接针对图像相似性和正则化项进行优化，不受分辨率和数据类型的限制。Sun等人的MIRNF方法则对位移矢量场和速度矢量场进行建模，两者都利用隐式神经表示对图像间的变换进行建模，在脑扫描数据集上表现优异。为了增强微分同胚性，ccIDIR引入了双重循环一致性的概念，其中每个隐式神经表示都作为另一个的正则化器，稳定了优化过程。

结论：本文总结现有的研究发现隐式神经表示在图像配准任务有显著优势。隐式神经表示这种连续和无网格的表示方式，不仅打破了传统方法对分辨率的依赖，还统一了不同尺寸和分辨率图像的处理方式，减少了对显存资源的需求。同时隐式神经能利用自动微分功能，实现了梯度的高精度计算，极大地提升了配准的准确性，并使模型能够整合现有的正则化策略。此外，隐式神经的灵活性在于其能够通过调整激活函数来适应不同尺度的变形，从而更精细地捕捉图像间的微小差异。然而，INR在可解释性方面尚有不足，且其处理速度还未能满足实时处理的要求。随着算法优化的深入，我们确信INR在医学图像配准领域具有巨大的应用潜力。

关键字：医学三维图像配准，隐式神经表示，无监督学习

ID 3211

Identification of Spatial Overlap Patterns of Holistic Functional Brain Networks in Macaques

Xuewei Jin,Jingchao Zhou,Wei Mao,Xi Jiang
电子科技大学

Objective: The organizational architecture of brain function has received extensive interest in the brain mapping field, providing essential insights into the functional mechanisms of the cerebral cortex. Mounting evidence has demonstrated that the brain function arises from and is realized by the interaction/overlap of multiple concurrent functional brain networks (FBNs), which are spatially distributed across specific neuroanatomical areas of the cortex. However, it is challenging to simultaneously identify concurrent and robust FBNs from functional magnetic resonance imaging (fMRI) data, as well as to measure accurate spatial overlap patterns among those FBNs in order to better understand the organizational architecture of brain function. Moreover, cortical folding into convex gyri and concave sulci is a prominent characteristics of mammalian brains, and exhibits close relationship with brain function. However, it is largely unknown how the interaction/overlap pat-

terns of concurrent FBNs are related to the cortical folding patterns.

Methods: To address these challenges, we propose a novel computational framework to identify the spatial overlap patterns of holistic FBNs in macaques. We are particularly interested in macaque since it is one of the most important non-human primate animal models for implementing invasive operations that cannot be conducted on humans, and could provide novel insights for understanding the functional mechanism of human brain. First, a deep learning model called Multi-Head Attention Graph Convolutional Neural Network (MH-AGCNN) is proposed to identify the spatial patterns of holistic FBNs based on resting state fMRI data. The main structure of MH-AGCNN is based on the classical 3D U-Net which fuses fMRI features extracted from the shallow layers with those from the deep layers. Attention Graph Convolution (AGC) module is also introduced to replace the graph adjacency matrix of the conventional graph convolution. Specifically, the AGC module integrates the graph convolution operation with the attention mechanism for modeling the inherent graph structure of FBNs. Due to the lack of publicly available FBN templates of the macaque brain, the dictionary learning and maximal complete subgraph clustering approaches are utilized to generate individualized FBN templates as training labels. Additionally, a batch norm layer and a rectified linear unit (ReLU) following each 3D convolution layer are adopted to avoid overfitting and speed up the model training. Second, we map the identified individualized FBNs onto the cortical surface, and measure the degree of spatial overlap patterns of these FBNs within each of the cortical gyral/sulcal region defined by the publicly available Cortical Hierarchy Atlas of the Rhesus Macaque (CHARM). Finally, the statistical difference of spatial overlap degree between gyri and sulci is assessed using two-sample t-test in order to explore the relationship between FBN overlap patterns and the cortical folding.

Results: Based on the resting-state fMRI datasets from the publicly available PRIMatE Data Exchange (PRIME-DE) of 450 macaques, experimental results showed that the proposed computational framework successfully identified 36 holistic FBNs with superior ability and generalizability compared to other state-of-the-art (SOTA) models. Our proposed framework achieved an averaged spatial pattern similarity of 0.41 between the identified FBNs and FBN templates, which is significantly larger than 0.20 and 0.37 obtained by two competitive approaches including sparse representation (SR) and spatio-temporal convolutional neural network (ST-CNN), respectively. Ablation studies demonstrated the validity and effectiveness of the proposed model architectural configurations. Moreover, the spatial overlap degree of holistic FBNs is significantly higher in sulci compared to gyri (two-sample t-test, $p<0.05$) within most of the brain regions, except for primary visual cortex, extrastriate visual areas 2-4 (crucial for visual processing), and the superior temporal region (involved in multimodal integration and higher-order cognitive functions). These results indicate that gyri and sulci serve as two distinct functional units involved in the spatial interaction/overlap of FBNs in macaque brains.

Conclusion: In summary, our study proposed one of the earliest studies to assess the spatial overlap properties of FBNs in macaques, providing a useful and powerful tool to understand the organizational architecture of macaque brain function.

Key Words: functional brain network, macaque, U-Net, graph convolution, spatial overlap

ID 3291

基于情绪识别的老年陪护机器人

李洋

西安电子科技大学

目的：在我国人口老龄化加剧,养老资源不充足的大环境下,老年陪护机器人作为一种新兴老年智能产品,为解决居家养老服务问题提供了新思路,并且随着人工智能技术的发展,机器人研究和应用的重心也从传统的工业领域向日常生活领域转移,老年陪护机器人逐渐成为重要的研究课题。老年陪护机器人是近年来技术发展的一个重要领域，其目标是通过人工智能和机器学习技术提供精准、人性化的照护服务。情绪识别在这一领域中扮演着关键角色，能够帮助机器人理解和响

应老年人的情感状态，从而提升服务质量和用户体验。

方法：本研究以用户的情绪作为研究的切入点,引入心理学中情绪认知的概念,将情绪认知和情感化设计三层次理论相结合,提出心理学情绪认知视角下的老年陪护机器人情感化设计策略,对于老年陪护机器人的设计具有一定指导意义。

结果：本文从理论层面入手,对目标人群即老年群体的主要特征从生理特征、心理特征、生活方式三方面入手,进行归纳分析,并梳理主要特征对研究载体的影响。运用心理学中情绪认知的相关理论和情感化设计三层理论研究分析情绪认知对情感化设计的影响和作用。运用半结构访谈获得用户初始需求意向,对访谈内容进行提炼,得出用户初始需求。

结论：本文综述了基于情绪识别的老年陪护机器人的研究现状和发展趋势。首先介绍了情绪识别技术的基本原理和常用方法，包括语音识别、面部表情分析、生理信号监测等。其次探讨了情绪识别在老年人照护中的应用场景，如情感支持、紧急响应和个性化服务。然后讨论了当前存在的挑战和问题，例如跨文化差异、隐私保护和技术成本。最后，展望了未来的研究方向和发展趋势，包括多模态情绪识别、智能决策系统和长期使用效果评估。通过对这些问题的深入探讨，本文旨在为未来设计和开发更加智能和人性化的老年陪护机器人提供理论和实践指导。

关键字：深度学习 情绪识别 情感调节 陪护机器人

ID 3554

Chemical Exchange Saturation Transfer-Based Functional Magnetic Resonance Imaging (CEST-fMRI) in the Human Brain at 3T

Qicheng Lu,Yi Zhang

Zhejiang University

Objective: The conventional fMRI technique maps neural activity indirectly through the blood oxygenation level-dependent (BOLD) effect. A ~3% glutamate concentration increase has been reported by functional MRS (fMRS) under the block-design visual stimulation. Chemical exchange saturation transfer (CEST) has shown the capability to detect glutamate in the human brain. Here, we propose and validate a CEST-based fMRI (CEST-fMRI) methodology in human brains at 3T, aiming to detect glutamate-associated signal changes. The mechanism underlying coupled CEST and BOLD effects was investigated by simulations and experimental results, demonstrating the potential of CEST-fMRI to detect dynamic glutamate-related changes during visual tasks.

Methods: Experimental design: A 5-cycle block-design paradigm was used with alternating resting and stimulation blocks of equal duration. A radial checkerboard flickered at 8Hz during stimulation. In Experiment 1 (n=10), each block lasted 45s with three positive frequency offsets acquired, and five sets of CEST frequencies were obtained. In Experiment 2 (n=13), each block lasted 30s with two positive and negative frequency offsets acquired, and seven sets of CEST frequencies were obtained.

Data acquisition: The EPI sequence was used for whole-brain BOLD-fMRI. A single-slice frequency-stabilized TSE-CEST sequence was used for CEST acquisition through the cross-section with the largest BOLD-activated region. The CEST frame at 1565ppm was taken as the unsaturation (M) reference one. Additional CEST images were acquired without visual stimulation to generate the Z-spectrum

Data analysis: As for the unsaturated M images, no CEST effect was considered, and thus a 2-regressor GLM was used to generate the t-map. The design matrix included a canonical BOLD vector derived from a stimulation boxcar function convolved with the hemodynamic response function and a constant vector. The region of interest (ROI) was extracted according to the FWE-corrected p-value<0.01 of the M t-map.

As for the saturated CEST images in Experiment 1, since only positive frequency offsets were acquired, the time-domain signal was sorted into 3 groups according to acquisition timing, and the canonical BOLD vector was split into 3 sub-vectors

for GLM analysis. The CEST-fMRI signal amplitude was estimated in GLM analysis (β_1) and compared with the temporal mean and Z-spectrum.

As for Experiment 2, the CEST effect was considered during GLM analysis. Since alternated positive and negative frequency offsets were acquired, a four-regressor GLM was used. Specifically, the asymmetric compensation regressor corrected for the timing difference between positive and negative frequency, and the metabolite effect regressor extracted the CEST effect.

Data simulation: CEST-fMRI temporal signals were simulated based on the 7-pool Bloch-McConnell simulation. Both BOLD and CEST effects were considered in simulations. Furthermore, the effect of a 3% increase in the glutamate concentration was compared to that with a constant glutamate concentration during visual stimulation.

Results: The raw temporal mean of CEST-fMRI data is almost identical to the resting z-spectrum, while the estimated CEST-fMRI amplitude from GLM analysis exhibits extra elevation. A similar trend was reproduced by the Bloch-McConnell simulations. A significant difference in metabolite effects between the four glutamate-proximal and the three glutamate-distant frequency offsets. Moreover, the experimental results agree well with the simulated results under a 3% increase in the glutamate concentration.

Conclusion: We proposed a CEST-fMRI methodology in human brains at 3T for the first time. In Experiment 1, the GLM-estimated CEST-fMRI amplitude exhibited different trends from the Z-spectrum and temporal mean of CEST-fMRI signals. This reveals that the CEST-fMRI effect does not simply scale with the underlying mean signal at different frequency offsets. Notably, the CEST-fMRI response comprises contributions from blood and brain tissues. Since blood experiences less signal attenuation under saturation pulses, the in-flow blood with relatively higher signal intensity results in elevated GLM-estimated amplitudes during visual stimulation. In Experiment 2, the glutamate concentration increased only during visual stimulation, leading to a greater CEST saturation at +3ppm, whereas the signal at -3ppm remained relatively stable. The signal difference between -3ppm and +3ppm is likely attributed to the glutamate change, which is extracted via the metabolite effect regressor in GLM analysis. More substantial metabolite effects were found near 3ppm than those at distant offsets, and the simulation results confirmed the effectiveness of this metric in detecting changes in glutamate concentration. In conclusion, the proposed CEST-fMRI methodology can potentially enable studying neurotransmitter-related brain functions noninvasively and may become a useful imaging modality for neuroscience research.

Key Words: CEST, fMRI, glutamate

ID 3954

基于异质学习的早期阿尔茨海默病诊断方法研究

胡文政、张腾达、雷柏英

深圳大学

目的：阿尔茨海默症是当前全球范围内最为严重的神经退行性疾病之一，而轻度认知障碍是AD发展的早期阶段，在AD早期及时的发现和治疗对于改善或恢复患者的认知功能起到关键作用。静息态功能磁共振成像作为一种无创神经影像技术，具有无放射性和高时间分辨率等特点，已成为AD筛查和诊断最直观和可靠的手段之一。然而，目前早期AD的临床诊断过于依赖医生的个人经验，带有较强的主观性，可能导致对AD的漏诊或误诊。随着深度学习在医学图像分析领域的快速进步，我们有望通过计算机辅助诊断技术来克服这一困难。然而，图神经网络(Graph Neural Network,GNN)可以对图节点和边进行建模和分析,从而更好地捕捉节点之间的关系和全局的结构信息。

方法：针对动态脑功能网络计算时间较长和消息传递在异质图中可能导致的过度平滑问题，提出了基于图增强的HGCN 模型对早期 AD 的分类框架。具体而言，首先通过空间相似性感知学习构建 BFCN，其次综合使用神经影像和非影像

信息构建图，接着对输入图进行图上采样增强，随后将图输入到 HGCN 模型中进行训练。HGCN 模型不同于常规的 GNN，它通过学习两种不同的函数来分别编码中心节点及其邻居。

结果：此外，HGCN 允许在处理邻域信息和中心节点信息时分配不同的权重，增强了模型对异质性的适应能力。这种方法不仅提高了模型对早期AD的分类准确性，而且相比其他专门针对异质图设计的复杂模型，展现了更好的性能。

结论：为了验证所提出方法的有效性，我们设计了多组二分类实验，并将所提出方法与多种基线方法进行了比较。实验结果不但证明了该方法可以提高早期 AD 的分类准确性，而且相比其他专门针对异质图设计的复杂模型，本章所提出的方法展现了更好的性能。此外，我们还对比了不同脑功能连接网络的实验效果，还对图增强模块进行了消融实验，这些实验都验证了我们方法的有效性。

关键字：阿尔茨海默病，脑功能连接网络，图神经网络，异质性

ID 3999

MFMFN: 一种用于跨部位浅表淋巴结疾病诊断的多特征多模态融合网络

王圆坤、雷柏英
深圳大学

目的：浅表淋巴结增大是一种全人类常见的疾病状态。通过超声鉴别浅表淋巴结增大的良恶性对定位原发病灶和避免延误诊治至关重要。b超、彩色多普勒血流成像为诊断提供了有效的工具。淋巴瘤、转移性癌等恶性淋巴结疾病在原发部位难以确诊，需要进行跨部位的检查。然而，不同部位的淋巴结结构不同，淋巴结区域与周围区域难以区分，导致疾病难以诊断。现有的方法主要对单一部位的特定癌症进行诊断，往往忽视跨部位数据之间的联系。如何有效利用多模态数据，提升跨部位的浅表淋巴结疾病诊断的准确率，对临床医生来说是一个挑战。

方法：为了克服上述挑战，我们提出多特征多模态融合网络(MFMFN)，用于融合多模态超声数据，诊断浅表淋巴结疾病。MFMFN可以挖掘每种模态数据的深度特征和全局关联特征，并将多种模态的特征进行融合，实现模态间的交互学习，最终用于诊断疾病。具体而言，首先，每种模态通过基于卷积神经网络的GhostNet模块提取图像的深度信息特征图，通过基于Transformer架构的Levit模块提取图像的结构信息和血流信息特征块；然后，使用CBAM模块和CMA模块，让彩超引导灰超关键区域信息的学习，让灰超强化彩超血流信息的学习。最后，因为特征图为二维数据，特征块为一维数据，我们使用FFU模块，在不丢失特征信息的前提下，让特征图与特征块相互转换，实现多模态数据中已融合的深度信息与已融合的全局信息之间的交互学习。

结果：实验在多个三甲医院的超声数据上进行。我们的方法优于现有的多模态融合方法，准确率为87.53%，auc为93.99%，在诊断准确率和诊断速度上均高于临床医生平均水平。通过热力图能够明显看出，网络重点关注灰超中的淋巴结关键区域与彩超中的血流区域、淋巴结边缘区域。

结论：结果表明，我们提出的全新多模态融合算法MFMFN能够有效识别跨部位的浅表淋巴结的关键区域，加快诊断速度，实现浅表淋巴结疾病的精确诊断。

关键字：超声，跨部位，浅表淋巴结疾病，多模态融合，深度学习

ID 4101

基于眼底彩照的视网膜色素变性辅助诊断方法研究

丁一鸣[1]、许景程[1]、陈新建[1,2]

1. 苏州大学电子信息学院

2. 苏州大学放射医学与辐射防护国家重点实验室

目的：视网膜色素变性（Retinitis Pigmentosa，RP）是一种罕见遗传性视网膜疾病，发展到后期可能导致视力损伤甚至失明。由于该病罕见，样本较少，诊断高度依赖医生的经验，容易造成误诊漏诊。因此，研究RP病灶自动分割及严重程度自动分级方法具有重要的临床意义。

方法：基于眼底彩照，针对复杂病理特征，提出基于边界引导的色素沉着分割网络（BgPDS-Net）。 基于 U 型编码器-解码器结构，在跳跃连接中设计多尺度信息融合模块，加强对病灶形状和尺寸多样性的关注。在前三层之间嵌入边界引导模块，引入边界特征，提高分割性能。针对RP分级相关病变发展特点，提出基于影像组学和色素沉着分割引导的分类网络（RPDSgC-Net）。将眼底彩照和色素沉着分割结果同时输入网络，利用分割结果辅助分级。为了利用病灶特点，设计通道和空间同步注意力模块。还从眼底彩照中提取影像组学特征，获得更丰富的特征表达。设计质心感知特征融合模块有效融合深度学习与影像组学特征，增强语义信息，提升分级准确率。

结果：分割部分采用公开数据集RIPS和沈阳何氏眼科医院提供的私有数据集进行评估。本研究提出的方法取得更优的性能， Dice相似系数、交并比和召回率在私有数据集上分别达到80.10%、73.75%和81.08%，在公开数据集上分别达到64.98%、52.43%和 65.64%。由于公开数据集RIPS不适用于严重程度分级，分类部分仅使用私有数据集进行验证，比其他网络结果更优。加权召回率、加权精确率、加权F1分数和Kappa系数分别达到了88.55%、89.30%、88.29%和81.37%。

结论：本研究提出的方法实现了RP病灶的自动分割以及严重程度的自动分级，在诊断任务中均取得了较优的性能，为临床工作提供重要的参考价值。

关键字：视网膜色素变性；眼底彩照；影像组学；分割引导分类

ID 4134

基于忆阻器存算一体技术的新型脑机接口与医学图像重建

刘正午

香港大学

目的：近年来，随着医学信号传感器的增多，医学信号数据量急剧增加，亟需处理这些庞大的医学信号数据。这些传感器包括脑机接口（Brain-Computer Interface，BCI）和各种医学图像重建设备，能够捕捉到大量的脑电信号、磁共振成像（MRI）、计算机断层扫描（CT）图像等。然而，传统基于冯诺依曼架构的计算设备在面对如此庞大的数据和复杂的计算任务时，显得力不从心。这种架构下，计算和存储单元分离，数据在两者之间的传输成为性能瓶颈，导致计算效率低下，能耗高昂。面对这些挑战，迫切需要新的处理硬件和范式。

方法：本报告将阐述忆阻器及其存算一体技术的基本原理，并探讨其在医学信号处理中的潜在应用。具体方法包括：1. 基于忆阻器的脑机接口：提出基于忆阻器的脑机接口概念，构建基于脑电信号的包含忆阻器预处理和解码单元的癫痫检测原型系统。2. 基于忆阻器的图像重建：提出高效实现离散傅里叶变换的方法，用于CT及MRI图像重建。

结果：1. 脑机接口系统：基于忆阻器的脑机接口系统在癫痫检测中的识别准确率超过93%，与传统方法相比在能耗上

表现出显著优势（Nature Communications 2020）。2. 医学图像重建系统：基于忆阻器的离散傅里叶变换方案在CT和MRI图像重建实现了软件相近的重建效果，并表现出高能效和高图像归一化处理速度的优势（Nature Communications 2023）。

结论：本报告表明，基于忆阻器的存算一体技术对医学信号处理具有很大潜力。忆阻器能够通过融合计算与存储单元，利用物理定律执行高效计算，突破传统硬件的能效瓶颈。在脑机接口和医学图像重建中，忆阻器展示了其在保证处理准确性的同时提高处理效率的显著优势。未来，随着忆阻器技术的进一步发展和应用推广，医学信号处理将迎来新的变革，提供更高效、智能和精准的医疗服务。

关键字：忆阻器，存算一体，脑机接口，医学图像重建

ID 4313

Leveraging Meta-Learning and Spatial Relationships for Accurate and Efficient WSI Segmentation

Yucheng Wang,Xiao Wang,Shilong Chang,Wenlong Fan,Kun Yang,Linyan Xue

School of Quality and Technical Supervision, Hebei University

Abstract: Content Deep learning-based whole-slide image (WSI) analysis has emerged as a crucial tool in the field of precision medicine. WSIs provide high-resolution morphological information of tissues, aiding in disease diagnosis and prognosis prediction. However, the high resolution and massive size of WSIs pose significant challenges for computer-assisted analysis. Traditional WSI analysis methods often require extensive manual annotation data, which is time-consuming and costly. Moreover, existing segmentation algorithms struggle to fully exploit the spatial relationships between image patches, leading to limitations in segmentation efficiency and accuracy.

Methods: To address these challenges, this study introduces an innovative WSI segmentation method that intelligently integrates meta-learning and graph neural networks. We first crop a large number of 512x512 pixel image patches from 180 renal pathology WSIs. To obtain high-quality annotation data, we randomly select 20 WSIs based on different disease sampling strategies and have them meticulously annotated by experienced pathologists. Through this process, we acquire approximately 150,000 patches with pixel-level labels.

Next, we employ the Model-Agnostic Meta-Learning (MAML) strategy from meta-learning to train our segmentation model on the 20 annotated WSIs. The objective of MAML is to learn a generic model initialization that can rapidly adapt to new tasks with a few gradient update steps. By training on the annotated data, our model learns how to perform quick and effective segmentation on new WSIs. We then utilize the trained meta-learning model to coarsely annotate the remaining 160 WSIs. This approach significantly reduces the manual annotation workload while ensuring annotation quality.

To fully harness the spatial relationships between patches, we convert the coarsely annotated images into graph structures. In this representation, each patch is considered a node in the graph, and connections between adjacent patches are represented as edges. We design an improved Transformer-GCN model that combines the self-attention mechanism of Transformers with Graph Convolutional Networks (GCNs). The self-attention mechanism captures long-range dependencies between nodes, while GCNs effectively aggregate local neighborhood information of nodes. By applying the improved Transformer-GCN on the graph structures, we achieve accurate patch classification.

To generate complete WSI segmentation results, we virtually stitch the classified sub-graphs into entire WSIs based on the spatial position information of the patches. This process takes into account the spatial relationships between patches, ensuring continuity and consistency in the segmentation results. Finally, we visualize the entire WSIs at the patch level, intuitively showcasing the segmentation performance of our method.

Results: We conduct comprehensive experimental evaluations of our method on a large-scale renal pathology WSI data-

set. The results demonstrate that, compared to traditional patch-by-patch classification methods, our approach significantly improves segmentation accuracy and efficiency while reducing manual annotation efforts. Specifically, our method increases the average segmentation accuracy from 75.3% to 88.5% while reducing segmentation time by several folds. Furthermore, our method outperforms existing WSI segmentation techniques across various evaluation metrics, such as Dice coefficient, mean precision, and mean intersection-over-union. These results strongly validate the effectiveness and superiority of meta-learning and graph neural networks in WSI analysis tasks.

Conclusion: The innovation of this study lies in the novel combination of meta-learning and graph neural networks to tackle the WSI segmentation problem. This approach fully leverages a small amount of expert-annotated data and the spatial relationships between patches, enabling efficient and precise WSI segmentation. Our research provides new perspectives and methodologies for computer-aided diagnosis and precision medicine, with extensive application prospects. In the future, we plan to further optimize model performance and extend it to other types of pathological WSI analysis tasks, such as tumor detection, tissue classification, and prognosis prediction. Additionally, we will explore the application of our method to other medical imaging domains, such as radiology and ultrasound, contributing to the advancement of intelligent healthcare.

Key Words: WSI, Meta-learning, GCN

ID 4329

High-Fidelity Tissue Microstructure Estimation Based on q-Space Sparse Sampling Optimization

Hongming Wang[1],Jian Cheng[2],Ruoyou Wu[1],Wenxin Fan[1],Cheng Li[1],Juan Zou[1],Shanshan Wang[1]

1. 劳特伯生物医学成像研究中心

2. State Key Laboratory of Software Development Environment, Beihang University, Beijing, China.

Objective: Diffusion magnetic resonance imaging (dMRI) is an advanced non-invasive, ionizing radiation-free imaging technique that provides clear tissue structure and functional information, assisting doctors in diagnosing white matter lesions in the brain. However, it lacks specific tissue descriptions and cannot depict complex structural features such as multiple fiber crossings and curvatures. Advanced equipment can obtain stronger diffusion weightings than DTI, which can more comprehensively describe tissue microstructures. NODDI, as a technique that can link tissue structure with diffusion signals to infer microstructural information, treats the signal in a voxel as the result of the combined effects of multiple compartments, modeling three types of tissue environments: intracellular, extracellular, and cerebrospinal fluid, to assess the complexity of neurite microstructures to reflect the morphological information of nerve fibers. However, the NODDI model uses nonlinear fitting for computation, which is complex and time-consuming, greatly affecting diagnostic efficiency and making it difficult to apply in clinical settings.

In practice, dMRI data with multiple b-values and diffusion gradient directions are usually collected to support NODDI parameter estimation, requiring a very long time for scanning to obtain this data. Such prolonged scanning can cause patient discomfort and motion artifacts, ultimately affecting the accuracy of quantitative parameter estimation. To address these limitations in clinical applications, we propose a technique that optimizes q-space sampling while performing orientation dispersion and density imaging (NODDI) optimization. We use continuous spherical harmonic functions to represent and optimize the quality of the final output NODDI parameters, estimating high-quality NODDI parameters with fewer directions.

Methods: Our method leverages deep learning to jointly optimize the sampling points in q-space and reconstruct high an-

gular resolution dMRI signals, fully utilizing information in both q-space and the image domain. The framework employs a unique loss function that combines l1 norm and total variation regularization, ensuring not only the sparsity of the diffusion signal in q-space but also the recovery of structural details in the image domain.

The method framework consists of two main modules: the q-space sampling optimization module and the NODDI module. In the q-space sampling optimization module, we use spherical harmonic functions to achieve a unified and standardized representation of DWI data, maximizing the utilization of information in q-space. The sparse sampling process is completed by learning spherical coordinates, which optimizes the sparse sampling direction during the framework training.

Then, the sparsely sampled data is input into NODDI. Finally, the high-quality NODDI parameters provided by the enhanced NODDI output offer a delicate representation of tissue microstructure, capturing the dispersion and density of nerve fibers with high fidelity. The training loss integrates the l1 norm to enforce sparsity in the q-space representation, as well as total variation regularization to ensure the preservation of structural details.

Results: Experiments on the Human Connectome Project (HCP) dataset have demonstrated the superiority of our method. We compared our method with other state-of-the-art methods and found that our method consistently outperforms them in quantitative metrics (such as peak signal-to-noise ratio PSNR and structural similarity index SSIM) and qualitative assessments. Notably, our method shows robustness to noise, which is proven by its performance on datasets with low signal-to-noise ratios, making it suitable for a wide range of clinical scenarios.

Conclusion: In this study, we propose a framework that simultaneously performs q-space optimization and NODDI parameter estimation to accelerate the estimation of NODDI parameters. By leveraging the inherent sparsity of q-space and applying total variation regularization in the image domain, our framework can accelerate NODDI parameter estimation while maintaining robust reconstruction performance with highly sparse sampling in q-space. It demonstrates strong robustness when tested on datasets with low signal-to-noise ratio (SNR). The strategy for selecting q-space samples within the framework is both flexible and adaptable, allowing direct application to intended imaging acquisition. This approach holds great potential for improving the NODDI parameter estimation workflow and advancing its clinical application.

Key Words: Diffusion Magnetic Resonance Imaging (dMRI), q-space sampling, Sparse sampling, Deep learning

ID 4342

3D Anatomical Segmentation Guided Deep Learning for Accurate Diffusion Microstructure Imaging

Xinrui Ma[1],Jian Cheng[2],Wenxin Fan[1],Ruoyou Wu[1],Juan Zou[1],Cheng Li[1],Shanshan Wang[1]

1. Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences

2. State Key Laboratory of Software Development Environment, Beihang University, Beijing, China.

Objective: Diffusion MRI is a well-established neuroimaging tool for non-invasive mapping of human brain microstructure and structural connections in the in-vivo human brain. It is based on the restricted diffusion of water molecules in the local microstructural environment. In diffusion MRI techniques, diffusion-weighted (DW) images are acquired with multiple b-values at a different number of gradient directions. Then, microstructure information in voxels of the diffusion-weighted images can be extracted via either diffusion signal representations (e.g., diffusion tensor imaging DTI, diffusion kurtosis imaging DKI, fiber orientation distribution function fODF) or biophysical models (e.g., neurite orientation dispersion and density imaging NODDI, spherical mean technique SMT, white matter tissue integrity WMTI). Depending on these diffusion representations and models, the relationship between a set of diffusion-weighted images and parametric diffusion maps can be a complicated nonlinear function. Hence, deep learning approaches' strong nonlinear representation capabilities

make it suitable for estimating such relationships.

However, on one hand, although advanced diffusion techniques have been found valuable in many studies, their clinical availability has been hampered partly due to long scan time, which accompanied by the inadequate quality of MR images due to the patient's involuntary physiological movement (e.g., heart beating and breathing). On the other hand, each diffusion model can only extract a few relevant microstructural features. DTI is a standard diffusion method, DTI-derived metrics, including fractional anisotropy (FA), mean diffusivity (MD), and axial diffusivity (AD), are commonly used as surrogate measures of microstructural tissue changes. These metrics provide valuable insights into microstructural changes associated with normal aging, neurodegeneration and neurological diseases. Nonetheless, it is not specific enough to characterize crossing fibers or multiple compartments of the diffusion. NODDI helps early multi-compartmental modeling become more widely adopted in the field, while NODDI enables characterization of tissue microstructures with higher specificity at the cost of more extensive sampling of q-space. It's worth noting that anatomical images are routinely acquired and help delineate boundaries between anatomical structures while preventing blurring in the results.

To accelerate the acquisition and achieve accurate microstructural parameter estimation, in this work, we explore the simultaneous estimation of multi-parametric maps using a 3D anatomical segmentation guided deep learning framework with sparsely sampled q-space data.

Methods: Overall, the main contributions of our work are as follows. Firstly, we propose a unified framework to jointly estimate microstructural parametric maps of diffusion tensor imaging (DTI) and neurite orientation dispersion and density imaging (NODDI) using sparsely sampled q-space data. Our framework can utilize any network architecture suitable for the task and accommodate diverse diffusion models. Here the Microstructure Estimation with Sparse Coding using Separable Dictionary (MESC-SD), an unfolding network, is employed as our backbone, which adaptively incorporates historical information with spatial-angular sparse coding. MESC-SD consists of two cascaded stages, the first stage computes the spatial-angular sparse representation of the diffusion signal using modified long short-term memory (LSTM) units while the second stage maps the sparse representation to tissue microstructure estimates. More specifically, our inputs to the MESC-SD are matrices with $3 \times 3 \times 3$ patches in the spatial direction and diffusion-weighted signals in the angular direction, and the outputs are maps with $1 \times 1 \times 1$ in the spatial direction (corresponding to the center voxel of the input patch) and six diffusion parameters in the angular direction.

Secondly, we exploit high-level semantical information to guide low-level feature extraction where we segment the T1-weighted structural image using the hidden Markov random field model and the Expectation-Maximization algorithm implemented in the FMRIB Software Library (FSL) as priors first, the segmentation masks each voxel into three types of tissue, including gray matter (GM), white matter (WM), and cerebrospinal fluid (CSF). Then we use MESC-SD network for classified tissue patches and diffusion-weighted patches.

Thirdly, we aim to improve the time efficiency of dMRI by decreasing the number of diffusion gradients while maintaining the accuracy, where the training DWI volumes acquired along six uniform diffusion-encoding directions on each of the shells b = 1000, 2000, 3000s/mm^2

Results: The performance is evaluated quantitatively by calculating the commonly used metrics of peak signal-to-noise ratio (PSNR) and structural similarity index measure (SSIM). Experimental results show that the proposed framework can yield a promising performance in simultaneously estimating multi-parametric maps for various diffusion models both quantitatively and qualitatively. Anatomical priors are able to guide estimation at a more macroscopic level, filter out edge noise, and achieve more accurate microstructural parameters estimation than competing approaches.

Conclusion: The proposed framework exhibits great flexibility and provides promising guidelines for further research into multi-parametric microstructural imaging.

Key Words: deep learning, diffusion MRI, joint microstructural estimation, multiple diffusion models, undersampled q-Space

S03
脑机接口与神经工程

ID 178

经皮耳迷走神经电刺激对抑郁症大鼠内侧前额叶电生理活动的影响

孙贵丽、梁团结、黄亮、郑良、刘天
西安交通大学生命科学与技术学院健康与康复科学研究所

目的：抑郁症是一种常见的精神障碍疾病，经皮迷走神经刺激(tVNS)已被美国食品和药品管理局(FDA)批准作为重度抑郁症的有效替代疗法，然而其机制尚不明确，本研究旨在观察CUMS抑郁模型大鼠在经皮耳迷走神经刺激（taVNS）前后，其内侧前额叶皮质(mPFC)中局部场电位功率(LFP)的变化与锥体神经元的电活动情况，探讨可能的作用机制。

方法：对CUMS造模30天后的抑郁症大鼠，进行taVNS，刺激采用频率20Hz，幅度1.5mA，脉宽500μs的双相脉冲，每次刺激时间为30min，在每次刺激前后利用电生理多通道在体记录技术，记录大鼠mPFC的电生理信号。并分析刺激前后mPFC中LFP功率变化，接着进一步分析刺激前后mPFC中锥体神经元的放电率、爆发式放电活动以及爆发式放电的持续时间等指标在刺激前后的变化，探究taVNS对CUMS抑郁模型大鼠mPFC电生理活动的影响。

结果：CUMS大鼠γ波段的功率谱密度较Control组明显降低（p<0.01)。5天的taVNS可以显著提高CUMS大鼠γ波段的功率谱密度(p<0.01)，而对应的假刺激组无明显差异。CUMS大鼠神经元放电活性相较于Control组有明显下降，而接受taVNS刺激的CUMS大鼠神经元放电活动随刺激天数的增加而更加兴奋，放电率由刺激第0天的(3.70±0.26)Hz持续增加到第5天的(8.37±0.87)Hz（p<0.001)；同时簇状波的发放率也由第0天的(6.76±0.91)个/min，持续增加到第5天的(27.66±4.69)个/min (p<0.01)，爆发式放电的持续时间也显著性增加（p<0.01），变化效应与刺激天数呈正相关。而假刺激组的CUMS大鼠神经元的放电活动并无明显变化。

结论：5天的taVNS可以显著提高CUMS大鼠γ波段的功率谱密度，并促进CUMS大鼠mPFC内锥体神经元的激发改善其抑郁症状。

关键字：抑郁症；经耳迷走神经刺激；局部场电位；锥体神经元

ID 282

脑机接口在神经系统疾病康复中的应用

刘荣君
天津医科大学

目的：随着科技的飞速发展，脑机接口（Brain-Computer Interface，BCI）技术在神经系统疾病康复领域逐渐显露出其独特的应用潜力。BCI技术不仅开辟了新的治疗路径，也为个性化和智能化的康复训练指明了发展方向。本文深入探讨了

BCI技术的核心原理，全面审视了其在神经康复实践中的应用现状，并分析了抑郁症和脑卒中康复中的实例。本文旨在介绍BCI技术的基础理论、发展轨迹，并着重探讨其在促进神经功能恢复中的关键作用，同时识别并反思当前应用中的限制因素，以期推动该技术向更高层次的个性化和智能化康复训练发展，有效提升患者的康复质量和生活福祉。

方法：本文采用文献综述和案例分析的方法，收集了近年来BCI技术在神经康复领域的研究文献和实际应用案例。通过分析不同研究的实验设计、受试者特征、BCI系统类型和康复效果，总结了BCI技术在神经康复领域的应用特点和优势。

结果：研究发现，BCI技术在抑郁症康复中的应用主要集中在情感脑机接口（ABCI）领域，通过多模态数据采集和分析，为抑郁症的诊断和监测提供了更为精准的数据支持。在脑卒中康复中，BCI技术结合功能性电刺激和镜像疗法等方法，能够有效改善患者的上肢功能和认知功能。

结论：尽管BCI技术在神经康复领域取得了显著进展，但仍面临着技术复杂性和个性化治疗方案不足等挑战。未来的研究应致力于深入探索BCI技术的作用机制，实现更加个性化、智能化的康复训练过程，以进一步提升神经康复的效果和质量。

关键字：脑机接口；神经康复；运动想象

ID 388

柔性无线微系统用于多种神经递质的同步检测与调控

吴广付[1,2,3]、徐源[3]

1. 上海市麻醉与脑功能调控重点实验室

2. 脑与类脑智能转化研究所，同济大学附属上海市第四人民医院

3. 同济大学医学院

目的：活体多种神经递质的同步高效检测与精准调控仍然是脑科学领域一项巨大的挑战。本研究报道了一种新型柔性无线微系统，集成检测和调控单元，实现了活体中多种神经递质的同步高效检测与调控，根据不同调控模态下小鼠的行为学变化，初步建立了调控-递质释放-行为学的三维关系。

方法：检测单元是基于核酸适配体功能化的石墨烯晶体管微针（四通道，每个通道的尺寸为30 微米×30 微米），微针的基底材料为PI薄膜（厚度为7.6微米，宽度为400微米）；调控单元是基于微型LED灯（波长470 纳米，尺寸：220 微米×270 微米×50 微米，光遗传调控）和柔性微流控通道（4个微通道，每个通道的尺寸为10 微米×10 微米，药理学调控）。无线微系统总重量约为0.2克，不会对小鼠的自由活动产生明显影响。微系统被植入到小鼠大脑的伏隔核区域，控制光照频率为5 Hz和20 Hz，占空比为10%；微流控器件原位递送高浓度KCl和bicuculline两种药物。在上述不同调控模式下，实时检测四种神经递质（多巴胺、5-羟色胺、谷氨酸、乙酰胆碱）的释放情况，并记录动物的行为学变化。

结果：不同的光照频率以及递送不同的药物不会对传感器信号产生明显的影响；检测单元中四个检测通道之间不会产生明显的信号串扰；20 Hz的光照会在动物大脑诱导大量多巴胺和5-羟色胺的释放，小鼠在光刺激后变得非常活泼；高浓度的KCl可诱导释放高浓度的多巴胺和谷氨酸，小鼠在药物刺激后产生明显的社交行为偏好；高浓度的bicuculline可诱导释放高浓度的多巴胺和乙酰胆碱，小鼠在药物刺激后没有发生明显的行为变化。

结论：这种新型柔性无线微系统首次实现了活体多种神经递质的同步高效检测，初步揭示了神经调控影响神经递质的释放进而影响行为学变化的规律，在脑功能调控与保护以及神经系统疾病的诊疗方面具有广阔的应用前景。

关键字：柔性电子，生物传感，神经递质，多目标同步检测，神经调控

ID 578

基于卷积神经网络的少通道脑电图下稳态视觉诱发电位解码研究

李晓东[1,2,3]、杨硕珩[1,2,3]、费宁博[1,2,3]、王俊霖[1,2,3]、胡勇[1,2,3]

1. 香港大学深圳医院
2. 香港大学深圳研究院
3. 香港大学

目的：由于可穿戴式脑电图（EEG）设备在便携性和便利性上具有优势，其在脑机接口中的应用日益增多。相比于传统EEG采集设备，可穿戴式设备采集的信号通道数较少。虽然少通道EEG可用于解码稳态视觉诱发电位（SSVEP），但较少的通道可能会降低解码性能。因此，利用少通道EEG实现高性能的SSVEP解码仍具有挑战性。

方法：本研究提出了一种基于注意力机制的复数频谱-卷积神经网络（atten-CCNN）。该模型的输入采用EEG信号的复数频谱。该模型主要由两个堆叠的卷积-注意力模块组成，最后是全连接层和softmax分类层。为了验证分类模型有效性，本研究使用一个由可穿戴式设备采集的40类SSVEP数据集和一个在实验室环境下采集的公开12类SSVEP数据集进行评估，并在subject-independent和subject-dependent两种训练策略下进行测试。

结果：在可穿戴式SSVEP数据集上，使用三通道EEG解码时，atten-CCNN在两种训练策略下均优于参照模型CCNN，并且其优势随数据长度增加而扩大；使用单通道EEG解码时，atten-CCNN与CCNN间的关系与三通道解码时类似。在公开数据集上，在subject-independent条件下，无论使用三通道还是单通道EEG解码，atten-CCNN在不同数据长度上均优于CCNN；但在subject-dependent条件下，atten-CCNN的优势主要体现在短时长EEG数据。

结论：atten-CCNN有效提升少通道EEG下的SSVEP解码性能，表明了注意力机制的引入可以增强神经网络在少通道EEG上的解码能力。这种基于少通道EEG的SSVEP解码方法在信息有限的情况下仍取得良好性能，因而适用于可穿戴式脑机接口，结合上可穿戴式脑机接口的天然优势，有希望促进脑机接口在现实生活中的应用。

关键字：少通道脑电图；稳态视觉诱发电位；卷积神经网络

ID 676

ECoG2IMG：从大脑ECoG信号中重建人类视觉感知

邓永洁[1,2]、张定国[2]

1. 中山大学中山医学院，中国
2. 巴斯大学电子电气工程系，英国

目的：重建视觉感知的大脑信号研究，不仅有助于深入了解视觉机制，还有潜力推动脑机接口技术发展。侵入式皮层脑电图（Electroencephalography，ECoG）以其高时空分辨率，在视觉解码中有着显著优势。然而，基于ECoG信号的重建视觉感知时仍面对以下挑战：（1）现有解码技术过度依赖人工标注的分类标签，难以充分表达视觉图像的全部细节；（2）现有的ECoG信号数据集规模有限；（3）不同受试者之间的信号通道数量和分布存在显著差异。

方法：为克服ECoG信号视觉解码的难题，我们获取了包含11名受试者的视觉ECoG数据集，并开发了新的图像重建流程——ECoG2IMG，该流程充分利用了ECoG信号的空间特性。ECoG2IMG包括三个关键组件：（1）预训练的 ECoG 编码器Talairach坐标对齐掩模自编码器（TA-MAE），它通过无监督学习将不同通道的坐标信息和信号编码为低维表征，从而无需人工注释标签地保留了ECoG信号中的视觉信息。（2）基于概率去噪扩散模型（PPDM）的表征对齐器。在训练中将对

齐ECoG的低维表征与图像表征，确保两者间的有效转换。（3）图像重建模块。基于已训练模型从ECoG的低维表征生成图像，实现大脑信号到视觉图像的转换。

结果：我们的方法利用ECoG信号的时空特性，实现了高分辨率细节恢复。经独立测试集评估，在外观、结构、信噪比和语义一致性等多个方面，ECoG2IMG均显著优于现有基于对抗生成网络（GAN）的ECoG视觉重建方法。此外，研究还表明，在提取大脑信号的低维表征方面，无监督学习比手动注释标签引导的特征识别更为有效。这一发现暗示了无监督学习在揭示大脑信号潜在模式和结构方面的巨大潜力。

结论：总之，ECoG2IMG能够有效地将ECoG信号转化为高分辨率的视觉图像，并揭示了大脑信号的低维特征。这不仅为探索视觉机制提供了新的视角，也为高级脑机接口技术的发展奠定了坚实基础。

关键字：皮层脑电图，视觉重建，无监督学习，Talairach坐标

ID 701

基于触觉振动增强视频的脑电情绪识别研究

王欣[1,2,3]、徐宝国[1,2,3]、王嘉津[1,2,3]、宋爱国[1,2,3]

1. 东南大学仪器科学与工程学院
2. 数字医学工程全国重点实验室
3. 机器人感知与控制技术江苏省重点实验室

目的：情绪在人类沟通和互动中至关重要。随着计算机技术和人机交互的发展，情感计算领域逐渐兴起。目前，将触觉技术与情感计算相结合，形成了情感触觉这一新兴研究方向，旨在探索触觉技术在情感识别、解释和模拟过程中的应用潜力。然而，触觉和情绪之间的相互作用机制仍不明确，主要由于情感触觉领域中客观情绪检测方法的应用有限，且缺乏多样化的触觉模式。为了解决上述问题，本研究提出一种基于音频自适应变化振动强度和节奏的触觉模式，并将其应用于情感脑电实验范式。

方法：本研究设计了一种基于音频自适应变化振动参数的触觉模式，将其与传统视听刺激相结合，以诱导四种情绪(喜悦，悲伤，恐惧和中性)，并利用脑电信号对目标情绪进行分类。为了验证该触觉模式的优越性，将其与现有的固定振动参数触觉模式进行比较。实验招募了16名健康受试者，受试者穿戴振动背心坐于显示屏前，同时采集脑电信号。视听刺激以16个约4分钟的电影片段呈现，触觉刺激仅在每个片段的后半部分施加，两种触觉模式随机分配。其中，现有固定参数触觉模式针对每种情绪设定特定振动强度和节奏；所提自适应触觉模式则根据视频音量调整振动强度和节奏，强度与音量正相关，节奏通过音量阈值调节，低于阈值时不产生振动。实验结束后，对脑电数据进行预处理，提取功率谱密度(PSD)、微分熵(DE)、微分熵的不对称差(DASM)和微分熵的不对称商(DCAU)四种特征，并利用支持向量机(SVM)进行分类。

结果：研究结果表明，与仅视听刺激相比，视听触融合刺激增强了前额叶区和双侧颞叶区的活跃程度。同时，施加固定参数触觉模式和所提自适应触觉模式的分类准确率均显著提升，分别提高了7.71%和8.60%。

结论：与现有的固定振动参数触觉模式相比，所提的基于音频自适应变化振动参数的触觉模式显著增强了情绪反应。因而，灵活多变的触觉模式更能够增强沉浸感，并有效激发目标情绪。这对于开发可穿戴式触觉装置以及通过触觉进行情感交流具有重要意义。

关键字：情绪识别；可穿戴触觉振动；情感触觉；脑机接口

ID 764

半干式柔性凝胶脑-机接口电极的关键技术与应用挑战

李广利、周哲昊、陈娜羽、吴灿标
湖南工业大学

目的：现有湿电极和干电极难以同时兼具高信号质量和使用友好性，严重阻碍了无创脑-机接口的应用落地。针对这一共性关键问题，本文创新开发新型柔性凝胶界面材料为突破口，构建性能可靠、佩戴方便舒适的凝胶半干脑电电极，为无创脑-机接口的应用落地提供关键硬件支撑。

方法：创新开发了超大孔凝胶、柔性双网络水凝胶、电子/离子复合导电凝胶电解质缓释材料，并以此为基础构建凝胶半干电极。凝胶界面材料作为电解质储存库，柔性接触头皮且能持续可控释放电解质溶液，以维持阻抗低且稳定的电极-皮肤界面。系统调查凝胶的形貌、结构、化学组成以及“自充放”电解质性能、机械性能、皮肤粘性、抗溶胀性能、抗冻性能等性能，重点评价其电化学性能（电极电位、电极/皮肤阻抗）和脑电信号质量，同时采用经典的脑-机接口范式验证其在无创脑-机接口的应用可行性。

结果：凝胶半干脑电电极成功实现电解质的“快充慢放”，且具有优异的机械强度、皮肤粘性、抗溶胀性能和抗冻性能。10 Hz下电极-皮肤阻抗低且稳定（12 ~ 18 kΩ），相邻位点的时域相关系数高达0.91，频谱相干性高于0.88。该凝胶半干电极能有效捕获睁-闭眼、P300、N200、SSVEP、运动想象等典型BCI范式的脑电信号，分类准确率与“金标准”湿电极无显著性差异。此外，凝胶半干电极还可用于心电、肌电等生物电信号的采集以及人体运动的高灵敏感知，从而人体生理信号的多模态监测。

结论：开发的系列凝胶半干电极具有性能可靠、佩戴方便舒适等突出优点，有望替代传统干、湿电极应用于生理监测、情绪识别、康复训练、智能控制等应用场景，对推动无创脑-机接口应用落地与新质生产力的发展具有重要意义。

关键字：脑机接口；脑电信号；半干电极；凝胶

ID 790

面向跨数据集应用场景的情感脑机接口方法研究

刘淇乐、张乐扬、梁臻
深圳大学

目的：如何客观、准确地评估个体的情绪状态，对于人机交互、疾病诊断和康复等领域至关重要。与问卷调查、面部表情和语音分析等传统方法不同，脑电（electroencephalography， EEG）作为一种电生理信号，通过捕捉头皮上不同位置的大脑活动，可以更直接、客观地评估情绪状态。然而，基于脑电的情绪识别研究大多集中于单一数据集的训练和测试，忽略了不同数据集分布间的差异，导致在跨数据集应用时性能显著下降。

方法：本研究提出了一种新颖的基于时频域特征对齐的联合对比学习框架（Joint Contrastive Learning with Feature Alignment，JCFA），旨在捕捉适用于不同脑电情绪数据库的通用表征，解决跨数据集的情绪识别问题。具体而言，JCFA模型分为两个主要阶段：（1）自监督对比预训练，（2）监督微调。在预训练阶段，我们引入联合对比学习策略，在不使用标记数据的情况下，捕捉脑电信号的可泛化时频表征。首先，我们设计了一系列特定于脑电信号的时域和频域数据增强方法，通过时域和频域对比学习，为每个脑电样本捕捉稳健的嵌入特征。接着，我们将这些嵌入特征投影至潜在时频空间中进行对比学习，以拉近并对齐同一EEG样本基于时间和频率的嵌入特征。在监督微调阶段，我们根据下游数据集和

具体任务改进JCFA模型。此外，考虑到大脑电极间的结构连接及空间关系的非欧性，我们设计了一种基于余弦相似度邻接矩阵的图卷积网络，以进一步捕捉大脑电极的空间特征。

结果：在两个基准脑电情绪数据库SEED和SEED-IV上的实验结果表明，JCFA模型达到了最先进的性能。在跨数据库场景的情绪识别任务中，其分类准确率比第二好的方法平均提升了4.09%。

结论：本研究提出的JCFA框架有效解决了跨数据集场景下基于脑电的情绪识别问题，为情感脑机接口领域实现跨数据集应用提供了新的解决方案。

关键字：脑电，神经解码，联合对比学习，跨数据库，情绪识别

ID 884

基于增强现实-眼脑混合接口的多机器人控制系统

徐晓英、曾洪

东南大学

目的：尽管自主多机器人系统（MRS）发展迅速，但在动态、非结构化、非开阔环境作业，例如消防搜救等场景，目前的无人集群仅依靠自主智能难以完成作业任务。因此，在实际应用中迫切需要人的参与来有效地完成多机器人系统的任务，操作员经常采用手动控制的方式来输入多机器人系统的控制指令。然而，在动态、复杂环境中的作业任务通常需要操作员的双手参与其中，手动控制的方法不足以实现可靠的人机交互。因此，本研究初步探索了基于增强现实和眼脑混合接口的无需手动参与的控制接口 。

方法：基于增强现实-眼脑混合接口的多机器人控制系统，以视线进行指令选择，以意念进行指令触发，支持简明直观的指令呈现、双手被占用时的指令输入。具体而言，操作者视线追踪增强现实设备（HoloLens2）显示的目标指令菜单，同时采集脑电信号，通过有效注视事件提取大脑的注视相关电位（FRP），基于脑电信号分类器识别出目标指令意图发出相应的编队控制指令，多机器人系统实现相应的编队变化。

结果：在本文中，基于增强现实技术和眼脑混合接口，创建了人在环的MRS实时控制系统，并对开发的系统性能和可用性进行了评估。在离线实验中，训练脑电信号分类算法以确定最优参数。随后，利用离线实验确定的实验条件，开发了在线引导指令选择系统。结果表明，10名受试者的EEG分类器平均AUC为91.11%。在线实验的识别准确率为90.67%，ITR为55 bits/min。实验结果验证了基于增强现实-眼脑混合接口的多机器人控制系统的可行性。

结论：对于操作者双手被占用的MRS控制任务，为了解决双手被占用时控制指令输入难的问题，本研究提出了一种基于增强现实和眼脑混合接口的无需手动参与的控制接口。实验结果表明，本文提出的控制接口能够实现更灵活、更高效的目标指令选择。因此，本研究强调了基于增强现实-眼脑混合接口的控制接口在增强传统手动MRS控制输入方面的巨大潜力，以帮助双手被占用的操作员。

关键字：脑电信号，眼动追踪，脑机接口，注视相关电位，增强现实，多机器人系统

ID 1460

自主调控躯体感觉皮层α波的镇痛效应研究

彭微微
深圳大学

目的：疼痛是多种临床疾病的主要症状之一，也是全球范围内导致残疾的主要原因。开发高效的替代性非药物镇痛疗法已成为疼痛领域的最新研究热点。以往研究发现躯体感觉皮层中α振荡的增加可能与降低疼痛感知有关。因此，我们的研究旨在探索通过神经反馈训练来增强躯体感觉皮层α波，从而有效缓解疼痛。

方法：实验一使用了激光短时疼痛模型，招募了81名健康被试，并随机分配至真实反馈组和虚假反馈组。被试依次完成非训练和训练任务，通过口头评分记录疼痛强度和不愉悦度。实验二则采用了辣椒素持续性疼痛模型，招募了80名健康被试，同样随机分为真实反馈组和虚假反馈组。被试在接受辣椒素诱发的疼痛后，接受神经反馈训练，并在训练前后报告疼痛感受。两个实验均通过对比真实反馈和虚假反馈组的神经反应和行为表现，分析神经反馈训练对疼痛感受的影响及其可能的神经机制。

结果：实验一的结果显示，真实反馈组显著增强了躯体感觉皮层的α神经振荡能量，在激光短时疼痛期间显著降低了疼痛强度和不愉悦度评分，表明神经反馈训练能有效缓解短时激光疼痛。微状态分析显示，真实反馈组的微状态C时间覆盖率增加，与疼痛强度评分的下降密切相关，提示神经反馈训练可能通过减少微状态C（与凸显网络相关）来实现镇痛效果。实验二进一步验证了真实神经反馈在持续性疼痛模型中的镇痛效果，显示真实反馈组在训练过程中α振荡能量增加，显著减轻了疼痛感受。微状态分析显示，真实反馈增加了微状态C的出现，减少了微状态D的出现，进一步提升了持续疼痛期间的α振荡峰值。因此，神经反馈可能通过恢复凸显网络和注意网络之间的平衡，从而减轻了持续疼痛期间的神经和行为活动。

结论：躯体感觉皮层α波的自主调控显著缓解了短时激光疼痛刺激和辣椒素持续疼痛诱发的疼痛感知。这些疼痛缓解效应来自于对神经网络的不同调节方式：通过抑制与内感受和情绪信息处理相关的凸显网络来抑制短时疼痛，而通过恢复内感受加工和注意分配过程之间的平衡来缓解持续性疼痛。

关键字：疼痛，躯体感觉皮层α节律，神经反馈训练，微状态分析

ID 1469

片上视觉脑机接口

陈力群
天津大学

目的：眼睛因其复杂的神经结构及位置分布，被人们称为“外周脑“，同时视觉的产生包含脑内处理形成图像信息的复杂过程。视觉损伤是重大的公共卫生问题，全球范围受到视力损伤的人口约占1/4，我国视力障碍人口超过1700万，其中有800万的失明人口。视觉细胞移植和视觉假体存在局限性，而智能生物眼在未来有望成为眼脑交互的重要模型系统，同时也将为失明患者重建光明带来希望。

方法：通过构建高还原度、易获取的视觉类器官模型，进一步的利用生物-信息（BT-IT）融合的方式，催生颠覆性新技术。通过克服关键的技术屏障，设计一套可调控的光感智能生物眼，进行生命体-非生命体的融合交互，在脑机接口火热发展的背景下，建立一套视觉脑机接口（即眼-脑-机接口）。在传感器部件上，利用适用于生物眼类器官的长期、稳

定、低侵入，可与其共生长、共培养的嵌合型新型透明柔性电极，实现生物眼类器官的长期、稳定共生培养，建立眼机接口。在融合方面，对2D神经电子复合体的尝试，通过电生理的手段进行信息的输出并处理，对动作电位进行验证，模拟交互过程。在功能化的方面，为了将光感智能生物眼进行应用，在光感的基础上加入光刺激，进行视网膜类器官的光刺激调控，以实现类器官的功能化调控。在植入后的应用评估上，结合了纳米颗粒进行光感能力的回复，在动物体内进行了生物应用和治疗应用。

结果：通过器官芯片，混合智能、视觉修复、视觉增强的手段实现智能应用、融合应用、医学应用。

结论：在融合的智能生物眼上，搭建片上交互检测系统及光电转换系统，以实现光感生物眼的智能化。同时，为了加强视觉交互和移植整合，进行物理场和纳米材料的调控研究，实现视觉脑机接口-智能生物眼的应用。

关键字：视觉脑机接口；智能生物眼；眼脑交互

ID 1544

高性能拉普拉斯生理电信号放大电路设计

史恬宁、肖晓琳、薛佳兴、郑春厚、罗睿心、许敏鹏、明东

天津大学

目的： 基于表面拉普拉斯算子的双极同心圆环电极（bipolar concentric ring electrode, BCRE）已被证明在心电、脑电等生理电信号记录方面具有更高的空间分辨率，但其直接采集到的信号幅值微弱、信噪比低，导致其应用受限。

方法：本研究设计了一款适用于BCRE的高性能前置信号放大电路，整体设计为差分输入结构，通过多级放大与滤波实现低噪声、高增益、高共模抑制比。采用基础性能测试、人体脑电采集实验、人体心电采集实验验证了电路设计的有效性。

结果：基础性能测试结果表明，自研电路的带宽为0.6Hz-43Hz，等效输入噪声峰峰值仅200nVpp，通带增益为54.1dB，共模抑制比达到了120dB，总谐波失真小于-58dB。人体脑电实验中，采用放置在大脑枕区Oz处的单通道BCRE，记录了13Hz闪烁刺激诱发的稳态视觉诱发电位，对比了是否加入前置信号放大电路两种采集方式。加入前置信号放大电路后，通用脑电采集设备采集BCRE信号的频域底噪由15nV降低至5nV以下，目标信号信噪比由-3.9dB提升至5.9dB。多导联人体心电采集实验对比了传统单极采集方式和BCRE双极采集方式，单极记录的传统心电信号能量分布较为分散，各导联R波能量占比分别为：38.88%、36.16%、26.34%、1.62%，而BCRE采集的拉普拉斯心电信号能量分布较为集中，各导联R波能量占比分别为：0.07%、0.14%、8.34%、91.45%。

结论：上述结果证明了本研究所设计的前置信号放大电路的有效性，且多导联人体心电采集实验结果验证了BCRE的高空间分辨率优势。本研究提供了BCRE需适配硬件技术指标的参考，有望为拉普拉斯信号的进一步应用提供技术支持。

关键字：拉普拉斯生理电信号；双极同心圆环电极；前置信号放大电路

ID 1618

多组学遗传特性介导大脑结构的疼痛敏感性个体差异研究

潘怡雯[1]、张治国[2]、郝小可[3]、张力[1]

1. 深圳大学

2. 哈尔滨工业大学（深圳）

3. 河北工业大学

目的：疼痛敏感性在人群中存在广泛差异，这一现象受到多种因素的影响，包括基因型、基因表达以及大脑结构等。尽管先前的许多研究已经发现疼痛敏感性与大脑形态存在相关性，但遗传特性如何通过介导大脑结构来调节个体疼痛敏感性的生理机制仍不清楚。

方法：本研究整合了来自432名健康被试的磁共振影像（MRI）数据、单核苷酸多态性（SNP）基因型信息，以及Allen人脑图谱（AHBA）的多脑区基因表达数据，通过联合多组学分析方法探讨疼痛敏感性的遗传和神经影像学基础。首先，我们采用激光刺激测量了所有被试的个体疼痛敏感性阈值，结合MRI获取个体大脑结构像数据，通过对比高低疼痛敏感性组的大脑结构得到脑影像组间差异特征。联合AHBA数据库，构建基因表达与组间大脑结构差异的回归模型，获得与影像特征相关的关键基因集，并进行基因表达特征聚类与富集分析。进一步通过结合SNP基因型数据，定位关键基因中可能影响疼痛敏感性的基因位点。最后，我们开展统计和中介分析，以验证这些关键基因通过介导大脑结构变化而影响个体疼痛敏感性的一般模式。

结果：结果表明，高低疼痛敏感性组间在大脑结构特征上存在显著差异，这些影像特征与基因表达密切相关，并识别了两个具有不同表达模式的关键基因集。富集分析结果发现，上述基因集富集于与离子通道和跨膜转运蛋白活性相关的分子功能。随后的统计分析和中介分析进一步阐明，来自基因ECM1，SLC24A2和SCN9A的个别SNP可能通过影响基底神经节的多个区域来调节个体的疼痛敏感性。最后，我们基于前述的结果，提出了一个整合基因组、转录组和影像组的疼痛敏感性个体差异解释模型。

结论：本研究构建了一个整合脑影像遗传多组学的解释模型，全面揭示了遗传、大脑等因素在决定个体疼痛敏感性差异方面的潜在作用机制，为之后进一步阐明疼痛感知的生物学基础，研究调控疼痛敏感性的潜在靶点提供了新的思路。

关键字：疼痛敏感性，影像遗传学，大脑结构，转录组，基因组

ID 1627

基于MEG-EEG融合模态的微小视觉刺激多空间目标编码BCI系统

季邓培

天津大学

目的：采用超导量子干涉装置（SQUID）检测MEG和EEG信号，分析并比较了基于EEG和MEG的时空信号特性，建立基于MEG-EEG融合模态的微小视觉刺激多空间目标编码脑机接口系统。利用多类判别式规范模式匹配（Multi-DCPM）算法，比较该BCI系统的单一模态和融合模态的分类性能。

方法：被试距离无磁投影幕布0.75m，投影仪在屏蔽室外向屏蔽室内投影幕布投射视觉刺激。直径为1°的圆形视觉刺激被投射在幕布中央。在距离圆形视觉刺激中心2.5°的圆周上，每隔22.5°设置一个边长为0.5°的三角形视觉标的，

随视觉刺激依次出现。每个空间目标的视觉刺激持续 5 秒，包括 1 秒的目标提示阶段和 4 秒的闪烁阶段。在目标提示阶段，被试需按照指示迅速将视线转移到新的视觉提示点。在闪烁阶段，中心圆形视觉刺激高亮 83.3 毫秒，然后将其关闭 166.7 毫秒。每个视觉刺激包括16个连续试次。在此期间，被试应当持续注视视觉提示点。每名被试共进行了7680个试次的实验（约40min）。

结果：单MEG模态下，BCI系统的4秒数据长度的分类准确率为88.57%，相较于单EEG模态提升了27.81%。MEG-EEG融合模态的4秒分类准确率达到91.71%，与单MEG模态相比具有显著提升（p<0.01,ANOVA）。融合模态下，BCI系统在1秒时取得了峰值信息传输速率（ITR）为60.74bits/min，相较于单MEG模态提升了14%，同时相较于单EEG模态提升了70%。

结论：本研究基于编码多个最小空间目标，构建了一种MEG-EEG融合模态脑机接口系统。结果表明，该BCI系统性能优越。与单一EEG模态相比，MEG模态具有更丰富的信号特征，其分类性能和实用性得到了很大的提高。与单一模态BCI系统相比，MEG-EEG融合模态下的BCI系统性能取得了显着改善。

关键字：脑磁(MEG), 脑机接口(BCI), 事件相关磁场 (ERF), 视网膜映射, 多类判别性典型模式匹配(Multi-DCPM)

ID 1861

基于脑-肌电融合信号和深度学习方法的BCI介导下肢运动功能康复新策略研究

谢津、陈伟照、覃柳妮、詹阳
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：近80%的脑卒中患者受到下肢运动功能障碍的影响。本文面向脑卒中后运动功能康复新策略的研究热点，重点探索脑电（EEG）和肌电（EMG）信号的联合应用，以反映大脑与肌肉之间的信息交流；通过监测这些生理信号可预测脑卒中患者个体的运动康复水平。特别是，基于脑机接口（BCI）新范式，利用功能电刺激（FES）来促进患侧肢体的尝试性自主运动，有望增强神经可塑性并提升康复效果。

方法：然而，目前对脑卒中患者大脑与下肢肌肉之间功能连接的理解仍不完全。为了解决这一问题，本文融合了脑机接口和功能电刺激技术，研发了一种深度学习方法驱动的人工神经康复新系统（BCI-FES）。该系统可实现无线通信，并包括离线校准和在线干预阶段。首先，我们设计了一种下肢运动/运动想象脑-肌电融合新范式，采集了30名正常被试的离线数据，并对脑-肌电融合数据进行时频分析和耦合分析。其次，我们设计了一种脑电定制的高效深度学习网络（MI-eegNet），用于在线识别个体的下肢运动想象状态。最后，我们还开发了一套可以融合多模态信号的图形用户界面（GUI），为患者运动康复提供轻便且高效的在线平台。

结果：离线分析显示，感觉运动皮层的脑电具有明显的事件相关去同步 (ERD) 和事件相关同步化 (ERS)现象，皮层-肌肉相干性（CMC）值在运动节律α和β频段显著。在线检测状态时，基于5折交叉验证训练方法，MI-eegNet模型实现了98%以上的准确率。当检测到运动想象状态时，BCI-FES系统能够实时触发治疗性的FES刺激，形成有效的在线闭环刺激反馈环路。在线干预阶段，通过实时记录EEG-EMG融合数据并计算CMC值，BCI-FES系统能够评估患者个体的运动康复水平。

结论：我们的BCI-FES系统为脑卒中患者提供了一种创新的下肢运动功能康复策略，有助于深入理解运动功能障碍的机制，为未来的脑卒中后运动康复方法的进一步发展奠定了重要基础。

关键字：脑机接口；下肢运动功能康复；脑电；肌电；深度学习；功能电刺激。

ID 1868

基于KAN图神经网络的脑电情绪识别

平靖宇[1,2,3]、徐宝国[1,2,3]、宋爱国[1,2,3]

1. 东南大学 仪器科学与工程学院
2. 数字医学工程全国重点实验室
3. 机器人感知与控制技术江苏省重点实验室

目的：基于脑电（EEG）信号的情绪识别方法正在成为情感计算领域的一项关键技术。然而，当前的许多研究尚未充分利用脑电通道间的拓扑结构，同时识别方法也多局限于传统的机器学习算法或基于多层感知器（MLP）的神经网络。与MLP相比，以可学习激活函数为基础的柯尔莫哥洛夫-阿诺德网络（KAN）在模型准确性和可解释性方面可能表现更好。因此，本研究提出了一种基于KAN的图神经网络模型实现基于EEG的情绪识别。

方法：所提出的脑电情绪识别方法采用图结构对多通道脑电信号进行建模，再通过以KAN为基础的图神经网络进行识别。其中，图神经网络的“边”和KAN的“边”均为可学习的参数，从而更加精确地从数据中捕获不同脑电通道之间的局部和全局的关系。具体而言，我们首先将EEG信号转换为图结构，每个脑电通道作为图中的一个节点，不同通道之间的关系则作为图的边。通过这种方式，我们能够更好地捕捉脑电信号中各个通道之间的拓扑关系。接下来，使用基于KAN的图神经网络进行情绪识别，该网络不仅能够处理复杂的非线性关系，还能够通过可学习的激活函数更好地适应数据的特性。

结果：我们在上海交通大学采集的三类情绪数据集SEED和四类情绪数据集SEED IV上进行了广泛的实验。实验结果表明，所提出的方法在情绪识别效果上优于当前最先进的方法。在被试相关实验中，我们的方法在SEED和SEED IV上的平均识别精度分别达到了97.64%和85.65%。实验还验证了KAN图神经网络在不同参数设置下的表现，结果显示KAN的可学习激活函数能有效提升模型灵活性和适应性，从而提高情绪识别准确率。

结论：本研究提出的基于KAN的图神经网络情绪识别方法在多类情绪数据集上的优越性和可靠性得到了验证。总的来说，本研究不仅在理论上探讨了KAN在情绪识别中的潜力，还通过实验证明了其在实际应用中的有效性。

关键字：KAN SEED 脑机接口 图神经网络

ID 2058

MetaNIRS: 基于功能性近红外光谱的运动执行/想象 通用模型分析框架

王洪涛[1]、李玉[1]、孙煜[2]、刘旭程[3]、万峰[3]、钟子平[4]

1. 五邑大学
2. 浙江大学
3. 澳门大学
4. 加利福尼亚大学圣迭戈分校

目的：功能性近红外光谱（fNIRS）作为一种实时大脑活动监测工具，在脑-机接口（BCIs）中的领域具有潜在应用，特别是在残疾人康复治疗中显示出巨大潜力。然而，基于功能性近红外光谱的BCI系统的准确性仍然不够理想，特别是在运动执行（ME）和运动想象（MI）等多样化、多类别解码。

方法：本研究分析了ME和MI的fNIRS脑功能网络特性，设计了一种新型长距离扩张卷积多层感知机（LongDilMLP），以捕

获与任务相关的血流动力学响应，得到了ME和MI脑功能网络具有相似性的结论。进一步，我们借鉴视觉任务中PoolFormer的应用，开发了MetaNIRS，该网络是由PoolFormer和LongDilMLP协同整合的fNIRS分类网络。根据ME和MI的大脑功能网络的相似性，我们将MetaNIRS应用于ME和MI的分类，以进一步验证其有效性和实用性。

结果：为了评估所提出MetaNIRS模型的性能，我们使用了两个公开的ME数据集（数据集A和C）和一个自收集的MI数据集（数据集B）。实验结果显示，各数据集的平均准确率分别为76.00%、57.45%和84.14%，跨被试平均准确率分别为77.24%、58.55%和85.52%。模型参数的敏感性实验显示了MetaNIRS的鲁棒性强，而消融实验突出了每个模型组件的重要性，展示了LongDilMLP相对于传统多层感知机（MLP）架构的有效性。此外，可视化技术增强了提出模型的可解释性，表明任务执行的前半部分 (5s, 4s, 10.5s) 对模型分类的贡献更大，这与神经消退机制有关。值得注意的是，仅使用任务的前半部分对数据集A、B和C进行分类的实验导致准确率分别降低了4.30%、1.69%和1.11%。

结论：研究发现表明，减少任务持续时间来获得较高的解码精度，对提高fNIRS-BCI系统的实时性具有重要意义。

关键字：脑-机接口 (BCIs), 运动想象 (MI), 运动执行 (ME), 功能性近红外光谱 (fNIRS), PoolFormer

ID 2770

Effects of Different Preprocessing Pipelines on Motor Imagery-Based Brain-Computer Interfaces

Xin Gao,Kai Gui,Xiaolong Wu,Benjamin Metcalfe,Dingguo Zhang

University of Bath

Objective: In recent years, brain-computer interfaces (BCIs) leveraging electroencephalography (EEG) signals for the control of external devices have garnered increasing attention. The information transfer rate of BCI has been significantly improved by a lot of cutting-edge methods. The exploration of effective preprocessing in brain-computer interfaces, particularly in terms of identifying suitable preprocessing methods and determining the optimal sequence for their application, remains an area ripe for further investigation. To address this gap, this study explores a range of preprocessing techniques, including but not limited to independent component analysis, surface Laplacian, bandpass filtering, and baseline correction, examining their potential contributions and synergies in the context of BCI applications. In this extensive research, a variety of preprocessing pipelines were rigorously tested across four EEG data sets, all of which were pertinent to motor imagery-based BCIs. These tests incorporated five EEG machine learning models, working in tandem with the preprocessing methods discussed earlier. The study's results highlighted that baseline correction and bandpass filtering consistently provided the most beneficial preprocessing effects. From the perspective of online deployment, after testing and time complexity analysis, this study recommends baseline correction, bandpass filtering and surface Laplace as more suitable for online implementation. An interesting revelation of the study was the enhanced effectiveness of the surface Laplacian algorithm when used alongside algorithms that focus on spatial information. Using appropriate processing algorithms, we can even achieve results (92.91% and 88.11%) that exceed the SOTA feature extraction methods in some cases. Such findings are instrumental in offering critical insights for the selection of effective preprocessing pipelines in EEG signal decoding. This, in turn, contributes to the advancement and refinement of brain-computer interface technologies.

Methods: To determine the optimal preprocessing pipelines, we calculated all possible permutations of the selected methods using a maximum pipeline length of four, resulting in 65 unique combinations. Five machine learning models (DeepConvNet, FBCNet, LGGNet, FBCSP, and Riemannian Geometry) were trained and tested with each pipeline on four datasets (BCIIV2a, High gamma, Korea 54, and EEG 52). Data augmentation was applied using a sliding time window approach to enhance the training data volume.

Performance evaluation focused on classification accuracy, examining the top and bottom five pipeline accuracy trends. Genetic sequence analysis was used to assess the impact of different preprocessing pipelines. UMAP was employed for vi-

sualizing differences between effective and less effective pipelines. The computational time of preprocessing methods was analyzed for feasibility in online applications. All training and testing were performed on the supercomputer, using Pytorch version 1.6 and setting the learning rate to 0.03, decaying by half every 40 epochs.

Results: In our investigation, the preprocessing methods baseline correction and bandpass filtering exhibited remarkable stability and consistency in performance. Pipelines incorporating these methods generally achieved higher rankings in our analysis. On the contrary, the ICA method demonstrated a degree of instability, with potential adverse impacts on classification performance, particularly when integrated later in the preprocessing sequence. However, it is noteworthy that numerous pipelines initiating with ICA as the first preprocessing step secured relatively elevated rankings.

Furthermore, the surface Laplace method exhibited notable efficacy in models predicated on spatial information, especially in data sets with an expanded array of electrode channels. This effectiveness is exemplified in the Korea 54 and EEG 52 data sets when analyzed using the LGGNet and FBCSP models, where surface Laplace significantly enhanced accuracy.

A critical observation from our analysis is the inverse relationship between the number of stacked preprocessing algorithms and the effectiveness of classification results. A lesser quantity of such algorithms tended to correlate with superior classification outcomes.

Conclusion: This research conducted extensive testing to evaluate various EEG preprocessing methods and their sequences. The findings reveal that carefully selecting and ordering preprocessing methods significantly enhances model performance. Notably, a simpler approach often proved more effective, with fewer preprocessing steps correlating with better model performance.

For instance, in the BCIIV2a dataset, pipelines with minimal or no preprocessing achieved the highest accuracies, particularly for models like DeepConvNet and FBCNet. Complex pipelines, such as FIBS, performed poorly. Key methods like baseline correction (B) and bandpass filtering (F) consistently contributed to higher accuracy, while ICA (I) often reduced performance when used later in the sequence.

The surface Laplacian algorithm (S) showed significant improvements in datasets with more electrodes, like Korea 54 and EEG 52, enhancing spatial information effectively.

The study found baseline correction, bandpass filtering, and surface Laplacian feasible for online implementation due to their low computation times, while ICA's higher computation time made it less suitable.

These insights underscore the importance of tailored EEG preprocessing. The study serves as a valuable resource for researchers, offering guidance on optimizing preprocessing steps to enhance model performance. Open access to data and results promotes transparency and encourages collaborative validation, ensuring conclusions are grounded in empirical evidence.

Key Words: brain-computer interface, electroencephalography, motor imagery, preprocessing pipeline, machine learning

ID 2844

一种脑机系统开发引擎框架

杨晨、刘永博、李嘉俊、倪潇澈、雷云辉、张洪欣

北京邮电大学

目的：在当今科技飞速发展的浪潮中，脑机接口技术正逐渐揭开人脑与外部世界直接交流的神秘面纱。尽管脑机接口技术在科学探索领域取得了显著成就，但在实际工程应用方面，实用工具的稀缺却成为限制其广泛应用的瓶颈。尤其是在科学研究与实际应用之间，存在着一道难以跨越的鸿沟。为此，本研究提出了一套脑机开发引擎框架（A Brain

Computer Development Engine Framework，ABCDEF），希望能够为脑机接口的科研与工程化应用搭建一座高效的桥梁。我们期望通过这一框架，使研究者能够更加集中精力于范式设计、算法研究等关键环节，同时为工程技术人员开辟一条捷径，帮助他们迅速将科研成果转化为实际应用。

方法：ABCDEF采用分层结构设计，以适应不同层次的需求。首先，针对科研实践的需求，我们提出了一种“批-流一体”的数据处理模式，使得研究人员能够便捷地在海量数据集上进行算法验证，并且能够将算法无缝迁移至在线实时系统中。其次，针对工程开发的需求，我们提出了一套层次化分布式开发引擎。该引擎集成了范式刺激、信号采集、算法处理等多种微服务组件，既支持单机部署，也能够适应云计算环境下的集群化部署。此外，ABCDEF支持基于配置的系统构建，只需通过修改配置文件，即可轻松实现多模态数据融合和多被试数据同步，极大地简化了系统构建流程。最后，框架的开放性允许用户开发与集成新的硬件组件，为脑机接口技术的广泛应用奠定基础。

结果：基于ABCDEF，我们的研究团队开发了世界机器人大赛-BCI脑控机器人技术赛的官方比赛平台，该平台具有高度扩展性和兼容性，支持多名被试参与和众多算法竞技。此外，我们研发了目前世界上最大规模的群体脑机接口对话系统——“神聊”，实现了20人同时使用脑机接口进行对话交流。

结论：ABCDEF在脑机接口领域展现出强大应用潜力，有望为未来的科研和工程实践提供宝贵经验和参考。

关键字：脑机接口， 软件框架，分布式，云计算

ID 2968

基于有限元模型和贝叶斯优化的个性化脊髓电刺激电极设计

石佳鑫、眭亚楠

清华大学

目的：神经系统的电刺激广泛用于治疗慢性痛、运动功能恢复等。然而，目前主流的脊髓刺激电极最初被设计为治疗慢性痛，刺激位点集中在脊髓背侧中央的背柱区域，这可能不适用于其他治疗和研究需求。为了设计适用于不同场景的电极排布，我们使用食蟹猴脊髓颈部节段的MRI影像制作了可进行有限元计算的模型，并开发了一套快速优化电极设计的工作流。

方法：基于已有的从食蟹猴颈部脊髓MRI医学影像，我们使用目前现有的医学影像处理工具，结合了3D模型处理工具和有限元方法，通过三维重建和测量手段中构建了包含硬膜、脑脊液、灰质、白质、神经根在内的可被有限元计算的模型。此外，我们将电极的几何形状与排布方式参数化，结合贝叶斯优化方法，根据脊髓几何形状、刺激位点和目标轴突不同，进行了高效的个性化电极排布参数优化。

结果：我们基于食蟹猴颈部脊髓节段的MRI数据，构建了个性化的有限元模型。以优化空间选择性为目标，结合有限元分析和贝叶斯优化方法，在有限的优化次数内获得了较好的电极排布方案。结果显示，与目前脊髓电刺激常用的桨式导联电极排布相比，我们设计的电极具有更好的空间选择性和轴突选择性。

结论：为满足不同个体和场景下对高空间选择性神经电刺激电极的需求，我们开发了一套快速个性化电极设计的方法。通过医学影像构建个性化有限元模型，结合贝叶斯优化算法进行电极参数设计，我们预测了在食蟹猴脊髓颈部节段进行运动激活实验的最佳排布。这一方法能够快速获得更加个性化且选择性更好的电极设计，也可以推广到适用于不同治疗和研究目标的电极刺激。

关键字：有限元分析，贝叶斯优化，脊髓电刺激，医学影像

ID 3382

面向无训练SSVEP脑-机接口的在线自适应解码算法研究

陈卫泽、梅杰、许敏鹏
天津大学

目的：脑-机接口（BCI）是一种实现人脑对外直接通信控制的新型人机交互方式，其中基于稳态视觉诱发电位（SSVEP）的BCI系统以高信息传输速率（ITR）等优点，近年来备受关注并取得了突破性进展。然而在传统SSVEP解码中，有训练算法识别高效但训练耗时长易致疲劳，而无训练算法难以满足实际应用的高精度需求，实现即插即用型SSVEP-BCI系统仍是当前研究的主要难点之一。因此，本研究提出了一种基于在线自适应技术的无训练解码算法，以促进SSVEP-BCI在自然交互场景中的应用发展。

方法：在经典在线自适应典型相关分析（OACCA）算法框架下，本研究对其自适应回路进行优化，在回路中分别扩展针对数据解码与模型调整方面的自适应环节，形成新的在线自适应扩展分析（OAECA）算法。在数据解码方面，OAECA利用无训练模式下的跨刺激源混叠矩阵估计方法，构建受试者个体各频率SSVEP模板信号，并进一步引入全局判别性空域滤波器，实现基于模版匹配的相关性特征扩增；在模型调整方面，OAECA通过最大与次大目标相关性差值方法，评估对比基准算法预测标签与自预测标签的可信度，并对在线采集样本进行重新标注以提高校准用数据整体可信度，实现模型参数调整适应效果优化。

结果：本研究对所提出算法在Benchmark与BETA公开数据集上进行多轮随机乱序的仿真实验，结果表明，OAECA整体分类性能显著优于CCA和OACCA，而且对于大多数受试者分类表现均呈现提升作用。基于8名受试者的40字符拼写器在线实验结果进一步证实了所提出算法在无训练SSVEP-BCI的有效性，其中OAECA实现了最高分类表现，平均ITR为188.10 bits/min，峰值达213.06 bits/min。

结论：综上，本研究所提出算法通过扩展在线自适应环节，实现较传统在线自适应技术更高的无训练SSVEP-BCI分类性能，有望提高SSVEP-BCI系统应用的高效性与易用性。

关键字：脑-机接口；稳态视觉诱发电位；无训练；自适应

ID 3392

域融合深度神经网络连接EEG与大脑内部状态

李彤、王江
天津大学

目的：理解大脑内部状态是揭示大脑工作机制的关键，对神经科学研究和临床应用具有重要意义。在现有技术中，脑电图（Electroencephalogram, EEG）由于其高时间分辨率和相对容易获取的特点，成为研究大脑活动的重要工具。然而，如何从这些复杂的时空信号中提取并解码出有意义的大脑内部状态信息，是一项具有高度挑战性的工作。

方法：我们提出了一种有监督的域融合深度学习算法，将EEG信号与大脑内部状态连接起来。首先，采用小波变换对EEG信号进行多级分解，获取不同频带的频域信息。然后，利用模块化卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNNs）提取EEG信号和多级频域信号特征，并采用长短时记忆网络（Long Short Term Memory Networks, LSTMs）提取信号的长时程依赖关系。考虑到在生理上难以直接获取EEG信号对应的大脑内部状态标签，我们将域融合深度学习算法与神经模型结合，提出了神经集群逆模型来解决这一问题。在训练阶段，我们采用神经集群模型获取网络训练所需要的数据，

在推理阶段，利用域融合深度神经网络直接计算EEG信号对应的大脑内部状态。

结果：我们在准确性和稳定性等多个方面评估了域融合深度学习算法的性能，在推理兴奋性突触增益时，该算法的RMSE和R2分别达到了0.05和99.81%。同时，当大脑状态发生变化时，该算法相比于卡尔曼估计有明显优势。此外，我们在公开的癫痫数据集上验证了该算法的可行性，获得了一种新的神经标记，并据此成功区分了癫痫疾病的进程。

结论：本文提出的域融合深度学习算法能够从EEG信号中准确解码对应的大脑内部状态，在大脑状态发生变化时相比于卡尔曼估计等传统方法具有明显优势。该算法在癫痫数据集上的成功应用表明了其在理解和诊断神经系统疾病方面所具有的潜力。

关键字：脑电图；深度神经网络；神经模型；癫痫

ID 3875

下肢外骨骼机器人、脑机接口与“脑-髓-机接口”

梁丰研[1]、莫利奋[1]、任伊航[2]、韩小弟[2]、殷明[1]

1. 海南大学生物医学工程学院
2. 首都医科大学附属天坛医院

目的：在生物医学工程与神经康复领域，下肢外骨骼机器人、脑机接口以及“脑-髓-机接口”都是以为残障人士修复运动功能为目标的前沿科技。主讲人在香港中文大学期间从事下肢外骨骼机器人的相关研究，并提出基于“步态协同”的轨迹产生方法，可以作为一种新型的人机接口，用以为不同患者产生用户自适应的轨迹，来提高人机交互。

方法：加入海南大学之后，主讲人从事脑机接口的相关研究。脑机接口代表了一种变革性的人机交互方法，允许大脑与外部设备直接通信。脑机接口有潜力彻底改变辅助技术，为瘫痪个体提供帮助，使他们能够用思想控制计算机、轮椅和假肢。植入式脑机接口具有高时空分辨率，相比于EEG等非侵入式脑机接口更有优势。埃隆·马斯克创办了一家名叫Neuralink的植入式脑机接口公司，它们于2024年首次为一位患者进行了植入。

结果：主讲人与首都医科大学附属天坛医院合作，提出了“脑-髓-机接口”的新概念。脑机接口与硬脊膜外电刺激结合的“脑-髓-机接口”系统能为脊髓损伤患者重建脑-脊髓数字通路，恢复其行走，实现自主步态调控。“脑-髓-机接口”系统于2023年6月被《Nature》首次报道帮助一名完全性脊髓损伤患者恢复了自主行走功能，是一项非常前沿新兴的技术。拟在脑机接口解码、脊髓刺激器程控模式方面进行优化，计划基于团队自研高通道可编程刺激器，开展相关研究，建立“脑-髓-机接口”闭环系统，于猕猴模型验证有效性。

结论：该技术将为脊髓损伤的治疗提供新思路，为临床应用提供科学依据。

关键字：外骨骼；脑机接口；脊髓损伤；康复

ID 3901

Ferromagnetic Systems for Multiplexing Neural Recording and Modulation with Spatial Selectivity

Xudong Lin

Sun Yat-sen University

Objective: Despite the great success achieved by recently developed neural interfaces, multi-site monitoring and regulating neural activities with high spatial and temporal selectivity remain a challenge. Here, we present an implantable, remotely controllable, fiber-based ferromagnetic system permitting three-dimensional navigation, omnidirectional steering, multiplexing neural recording and modulation. A family of fibers is fabricated that allows for the heterogeneous integration of ferromagnetic, optical, microfluidic, electrical, and electrochemical components into the proposed multifunctional neural interface. Coupling with magnetic actuation, we demonstrate that this system can enable optical and chemical modulation of local neural activities across multiple distant regions in rodent brains, while simultaneously allowing the real-time monitoring of neural electrophysiological and chemical activities. Furthermore, we employ this platform to systematically identify altered patterns of behaviors, brain activities and dopamine releasing during optogenetic modulation of specific nuclei in Parkinsonian animals. This proposed system with high spatial selectivity, multiplexing sensing and multimodal manipulating capabilities offers a versatile platform to advance both fundamental neuroscience studies and translational applications in neurologic disease treatments.

Methods: In this study, hard magnetic nanoparticles (MNPs), e.g. Fe3O4 nanoparticles were selectively assembled at the tapered tip of each multifunctional fiber to allow remote navigating and precise positioning in multiple targeted regions in tissues via magnetic manipulation for further neural recording and modulation. Ferrules for optical coupling to lasers, pin connectors for electrical readout, and tubing for fluid interfaces were respectively outfitted with the fibers to form the final proposed multifunctional ferromagnetic devices (MFDs). The tiny scale and the light weight (~ 1 g) made the system simple to be implanted in the animals.

As the core components of the MFDs, fibers with a variety of micro-structures were fabricated by means of the thermal drawing process (TDP) with various specifically-designed preforms. Such process was similar with the recently demonstrated fabrication of the fiber-based neural probes12. Here we demonstrated three designs with multiple components and features: design I, which incorporated multiple microfluidic channels, various metal electrodes, a core waveguide and a magnetic tip; design II, which integrated two metal electrodes, one organic semiconductor layer structure and a magnetic tip; the simplest design III, a carbon fiber electrode (CFE) or Ag/AgCl electrode, fluorinated ethylene propylene (FEP) insulation layer and a magnetic tip. By employing a strong impulse of magnetic fields and selective deposition, we magnetically saturated the Fe3O4 MNPs in the fiber tip. The uniform morphology of the Fe3O4 MNPs in the magnetic layer was revealed by the scanning electron microscopy (SEM) images, which had an average size of 100 nm. Corresponding energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) of the cross-section surface of the design I fiber also indicated the existence of several key elements including Bi, Sn, Fe and O, which were due to the integrated electrical channels and magnetic tip. In the design II fiber, a conductive poly (3,4-ethylenedi-oxythiophene): poly(styrene-sulfonate) (PEDOT:PSS) film that bridged the source and drain electrodes was deposited on the top-surface to be used as the semiconductor channel. The gold source and drain electrodes were fabricated via electrochemical plating of Au nanoparticles before deposition of the PEDOT:PSS thin film. Moreover, the design III fiber was utilized as the gate electrode, coupling with the design II fiber to form the OECT components for further real-time monitoring of dopamine release in vivo in this study.

Results: The core of the platform is a class of fibers that is fabricated to allow heterogeneous integration of ferromagnetic, optical, microfluidic, electrical, and electrochemical components into a multifunctional neural interface. Coupling with magnetic actuation, each fiber with a ferromagnetic tip can be steered through complex environments, including brain tissues. Examples in freely moving animals demonstrate the comprehensive level of this platform to enable optogenetic and pharmacological manipulation of specific neural circuits in discretely targeted regions of the deep brain, while simultaneously allowing the real-time monitoring of electrophysiological and chemical activities of the local neurons for long-term employment. Moreover, we employ this platform to identify altered patterns of behaviors, brain activities and dopamine

releasing during optogenetic modulation of substantia nigra pars reticulata (SNr) in Parkinsonian animals. And the high biocompatibility of our system is further confirmed by the histological assessment of tissue responses.

Conclusion: An implantable, remotely controllable, fiber-based ferromagnetic system capable of three-dimensional navigation, omnidirectional steering, multiplexed neural recording and modulation is developed. Coupling with magnetic actuation, its functionality, stability and biocompatibility for multiplexed electrical recording and modulation of distinct neuron populations in the rodent brains are successfully demonstrated in this study. We envision that this system will offer opportunities in fundamental neuroscience and translational neural engineering fields including sophisticated brain mapping across distinct regions, dissecting aberrant neural processing and developing bioelectronic medicines for neurologic disease treatments.

Key Words: Ferromagnetic, Neural Recording, Neural Modulation, Spatial Selectivity

ID 4018

脑健康智能监测的关键技术及应用研究

王刚

西安交通大学

目的：大脑是人体最复杂、最重要的器官之一，控制着我们的思维、情感、记忆和身体功能。保持脑健康不仅对维持认知能力和情绪稳定至关重要，还对个人的整体生活质量和幸福感有深远的影响。然而，随着人口老龄化和生活方式的变化，脑健康问题日益突出，很多神经系统疾病威胁着大脑健康，如脑卒中、偏头痛、阿尔茨海默病及脑膜炎、癫痫等。脑健康智能监测对这些脑疾病的诊疗具有十分重要的作用。

方法：提出一种新的自适应多尺度神经生理信号增强技术，提取高保真的神经生理信号。利用脑网络（部分有向相干）分析实现癫痫发作的准确检测。利用时频直接传递函数分析技术提升癫痫发作检测精度。首创长时程抗干扰麻醉深度监测技术。提出基于深度学习的多类手部运动脑电信号解码方法。

结果：揭示出癫痫发作致痫灶区流出信息显著增强的规律。检测到55次癫痫发作中的54次，产生18个误报，灵敏度97.78%，误报率0.26/24h，F2为0.9091。揭示意识转变中脑电微状态F显著增强的脑神经机制变化规律。麻醉状态下微状态F的平均持续时长、覆盖率、出现频率都增大，微状态C的平均持续时长、覆盖率减小。A、B、F的delta、alpha、beta频段功率十分有潜力在未来作为能反映麻醉意识水平的指标，被用于麻醉监测中。提出的MECN方法多类手部运动脑电信号分类准确率达到94%，结果表明数据越长、通道越多，数据包含的对分类有用的信息越多。

结论：面向脑疾病患者和全麻手术患者的不同脑功能测评需求，研发了针对性的脑功能动态智能监测评估云边端协同一体化系统，该系统包括生理信号数据采集端模块、脑功能辨识评估边缘计算模块和数字健康云平台模块。该系统可以实现癫痫、脑卒中、麻醉深度等方面的脑健康智能化精准诊疗。

关键字：脑健康、智能监测、深度学习、麻醉深度、癫痫发作、脑机接口

ID 4093

多范式、多场次、多被试脑电信号个体差异可视化分析

雷雪[1,2]、孙浩[1,2]、黄淦[1,2]
1. 深圳大学医学部生物医学工程学院
2. 广东省生物医学信息检测与超声成像重点实验室

目的：脑机接口（BCI）研究面临显著的个体差异，这些差异主要源于不同个体在大脑结构和功能上的变异，包括皮层厚度、神经元分布及神经网络连接等方面的不同。BCI研究中，个体差异分为受试者内差异和受试者间差异。受试者内差异指同一人在不同时间或条件下的性能变化，通常由生理、心理、认知或技能水平的变化引起。受试者间差异则反映了不同个体在脑解剖结构、生理特征、认知能力或操作技能上的差异。这些差异对BCI系统的开发和性能提出了重大挑战。现有研究中，受试者数量通常较为有限，难以代表广泛人群，且缺乏对同一受试者在不同范式下表现的联合分析。

方法：本研究通过多场次记录了95名受试者在6个范式（闭眼静息态、视觉诱发电位、听觉诱发电位、体感诱发电位、P300、运动任务）中的头皮表面脑电图数据，旨在调查这些差异的分布和大小。我们提取了原始脑电信号的不同频段（δ、θ、μ、β、γ）能量特征，并从跨场次和跨被试两个角度在特征的试次层面进行了双样本t检验，分析了不同范式和频段下受试者的个体内和个体间差异分布。此外，我们采用可视化技术，分析了个体内和受试者间在特定脑区和频率带的空间和频谱模式变异性，并绘制了头皮表面地形图。

结果：结果显示，不同范式下的个体差异在头皮表面呈现出不同的分布模式。我们观察到，在运动任务中，双侧运动区域的变异性较低，表明这些区域在运动相关任务中的激活模式在个体间具有较高的一致性。高频段（特别是β和γ频段）表现出比低频段更显著的个体差异（与频段相比：$p<0.01$，$p<0.01$）。在静息状态下，右侧脑区的变异性低于其他脑区，呈现出偏侧化现象；而在刺激范式下，差异受到事件相关电位发生时间的影响。此外，在所有范式下，个体间差异显著大于个体内差异（$p<0.01$）。

结论：通过以上分析，本研究揭示了不同范式和频段下脑电信号的个体内和个体间差异的具体分布，为BCI个体差异分布以及系统的个性化设计和优化提供了重要依据。

关键字：脑机接口，脑电图，个体差异，多范式，可视化

ID 4097

不同年龄人群动作观察脑机接口脑响应差异研究

曾富康、胡桂瑜、侯文生、张鑫
重庆大学生物工程学院

目的：动作观察通过视频或现场演示的方式让患者观察一段动作，然后尽可能完成这个动作，涉及到观察运动的执行和计划，可以激活大脑运动相关脑区，对脑卒中患者的运动功能康复具有积极效果。目前，基于动作观察脑机接口的研究主要针对年轻人展开，而脑卒中的患病人群主要为老年人，已有研究证明，大脑在处理速度、结构大小等方面会随着年龄的增长发生改变，这可能是老年人脑机接口解码准确率较低的原因。

方法：为了探索老年人大脑的改变对脑电信号产生的影响，本文设计实验，招募了18名年轻受试和18名老年受试，研究了老年人和年轻人在动作观察下脑响应的差异，对比了老年人和年轻人前额叶区样本熵、近似熵、功率谱密度。

结果：研究发现老年人在动作观察准备阶段，过程中以及休息阶段的样本熵和近似熵均均高于年轻人，t检验结果显

示两个群体间在相同阶段的样本熵和近似熵均存在显著差异（p<0.001），同一群体内不同阶段也存在显著差异（p<0.001）。分频带：3-8Hz，8-13Hz，13-30Hz处理，不同群体间13-30Hz熵值差异最为明显，大于未分频带的差异，近似熵差异显著性大于样本熵（两个群体间p<0.001）。功率谱密度分析结果也显示出老年人和年轻人在动作观察中的差异，三种状态下，老年人的β/θ，β/α，$\beta/(\theta+\alpha)$）均高于年轻人，单因素方差分析显示年轻人和老年人在相同状态下，三个比值均存在统计学差异（任务状态下三个比值的检验结果p值小于0.001），β/θ的差异最显著。

结论：样本熵和近似熵反映了大脑电信号的复杂性和不确定性，较高的熵值可能意味着老年人的神经信号更加不稳定或噪声更多。较高的β/θ比值通常与认知负荷增加有关，老年人在完成任务时需要更多的认知资源来维持注意力和控制，我们推测老年人更高的样本熵、近似熵和β/θ比值反映了他们在神经层面上的更多不稳定性和认知资源的过度使用，这些因素都可能导致他们在动作观察脑机接口任务中的辨识准确率降低。

关键字：动作观察，脑电，脑响应，年龄相关变化

ID 4118

视觉光刺激改善AD风险人群认知功能的神经环路机制研究

汪子琪[1,2]、冯乾森[1,3]、李嶙嶙[1,3]、陈蕾[1,3]、董立[2]、合禹霖[2]、郑梓豪[2]

1. 成都市第四人民医院
2. 电子科技大学成都脑科学研究院临床医院
3. 遵义医科大学护理学院

目的：越来越多的研究表明，光照不仅影响视觉功能，还能通过调节大脑的神经活动影响认知功能。然而，这一机制在AD风险人群中的应用尚未得到充分研究。本研究旨在探讨视觉光刺激对AD风险人群认知功能的影响及其潜在的神经环路机制。

方法：本研究招募36名AD风险人群，分为光照处理组（n=19）和对照组（n=17）。光照处理组每日晨起后接受1小时的500nm蓝绿光光照，持续4周。所有参与者在实验开始前和结束后进行一系列认知功能和神经测试。同时，使用功能性磁共振成像（fMRI）技术，评估光照治疗前后6个感兴趣区（ROIs），即双侧外侧膝状体核（LGN）、双侧杏仁核（Amy）和双侧下丘脑视交叉上核（SCN）与全脑的功能连接（FC）变化，并计算改变的FC与认知、情绪和睡眠量表得分的相关性。

结果：光照组对汉密尔顿抑郁量表（HAMD）和阿尔茨海默病评定量表-认知(ADAS-Cog)评分的改善显著优于对照组。fMRI结果显示，光照治疗后，主效应显示，左侧ROIs与Cerebelum_6_L、Temporal_Mid_L和Supp_Motor_Area_R的FC增强，与Frontal_Inf_Tri_L的FC减弱；右侧ROIs与Precentral_L和Supp_Motor_Area_R的FC增强，与Frontal_Sup_R的FC减弱。交互效应显示，SCN_L-Cerebelum_8_R通路FC增强，该通路FC与汉密尔顿焦虑量表（HAMA）得分负相关；SCN_L-Calcarine_R和SCN_R-Rectus_L通路FC减弱，此两条通路FC与ADAS-cog得分分别呈正相关和负相关。而对照组功能变化与行为学不相关。

结论：本研究揭示视觉光刺激视网膜-SCN神经环路改善AD风险人群认知功能的机制。这一发现不仅为AD的预防和治疗提供了新的思路，还为理解光照如何影响AD风险人群的大脑功能提供了重要的科学依据。

关键字：阿尔茨海默病、光照、认知功能、神经环路、视交叉上核

ID 4376

Efficient Group Cosine Convolutional Neural Network for EEG-based Seizure Identification

Guoyang Liu,Weidong Zhou

Shandong University

Objective: Epilepsy, a common neurological disorder, necessitates the accurate detection of seizures from electroencephalogram (EEG) recordings, a process traditionally reliant on labor-intensive visual inspection. This approach is not only time-consuming but also subject to human error, leading to inconsistencies in diagnosis. Despite advances in deep learning techniques for automated seizure detection, existing models often fail to incorporate critical spatial information from EEG channels, thereby limiting their precision and the ability to localize the onset of seizures. This study addresses these limitations by proposing a novel group cosine convolutional neural network (group CosCNN) designed for efficient and accurate seizure identification.

Methods: The proposed group CosCNN architecture processes multi-channel EEG data through an initial channel-wise convolutional layer, which applies cosine convolutional filters to each channel independently. This is followed by a series of group convolutional layers that preserve the spatial information across channels, essential for accurate localization of seizure activity. The cosine convolutional kernels, characterized by their simplicity and efficiency, significantly reduce the number of parameters, making the model lightweight and suitable for hardware implementation. In addition, a novel algorithm was developed to compute normalized channel contribution scores, which enables real-time identification of the channels most involved in the onset of seizures. This model was rigorously evaluated using the CHB-MIT and SH-SDU databases. The CHB-MIT database is a widely used public dataset, while the SH-SDU database comprises clinical EEG recordings collected in real-world settings, providing a robust testbed for model validation. Performance metrics such as sensitivity, specificity, and accuracy were computed for both segment-based and event-based seizure detection, along with the accuracy of seizure onset channel localization.

Results: The group CosCNN demonstrated outstanding performance on the CHB-MIT database, achieving a sensitivity of 97.70%, specificity of 97.54%, and overall accuracy of 97.54% in segment-based evaluation. These results indicate the model's effectiveness in distinguishing epileptic from non-epileptic EEG segments. Over 70% of the patients in the study achieved 100% sensitivity, underscoring the model's robustness across different subjects. Event-based analysis showed an average sensitivity of 98.61% with a low false detection rate (FDR) of 0.98 per hour. The SH-SDU database results mirrored this high performance, with a segment-based sensitivity of 90.51%, specificity of 95.48%, and overall accuracy of 95.38%. Event-based evaluation in this dataset achieved an overall sensitivity of 96.70% and an FDR of 1.99 per hour. The normalized channel contribution algorithm further demonstrated its utility in accurately localizing seizure onset channels, achieving individual-level localization accuracy of 91.30% and event-level accuracy of 85.12%. These results highlight the model's capability not only in detecting seizures but also in providing valuable spatial information that can assist clinicians in understanding seizure dynamics and tailoring patient-specific treatment plans.

Conclusion: In this work, we proposed a novel group CosCNN architecture for patient-specific seizure identification. The raw multi-channel EEG recordings were preprocessed and fed into the group CosCNN for end-to-end seizure identification. The designed group CosCNN contained six cosine convolutional modules, where the first cosine convolutional module performed the channel-wise cosine convolution, and the rest of the cosine convolutional modules conducted the group cosine convolution to extract deep-learned features from each channel independently. The cosine convolution kernels with only two parameters significantly decreased the parameter scale of the group CosCNN and improved its operating efficiency. Meanwhile, we developed an efficient algorithm to compute the normalized channel contribution scores, which could realize real-time seizure onset channel localization. Our experimental results on the public CHB-MIT database and the SH-SDU database we collected showed that the proposed method achieved superior seizure detection performance

and had accurate seizure onset channel localization ability. Additionally, the proposed model pruning strategy enabled the proposed group CosCNN model to be hardware-friendly and lightweight for more efficient seizure identification. In future work, we will concentrate on the generalization ability evaluation of the proposed model on larger epileptic EEG databases under cross-patient scenarios.

Key Words: Epilepsy, EEG, Seizure Detection, Cosine Convolutional Neural Network, Channel Localization

S04
神经康复与智能假肢

ID 524

基于非侵入式电刺激的截肢者触觉诱发及评估

章宇翔[1,2]、董源哲[1,2]、李光林[1,2]、方鹏[1,2]
1. 中国科学院深圳先进技术研究院
2. 深圳神经康复技术工程实验室

目的：感觉反馈对于实现神经假肢和仿生机器人的闭环人机交互至关重要。特别是对于肢体截肢者来说，恢复他们失去的感觉反馈可以大大提高假肢的控制性能。将感觉反馈，尤其是触觉反馈整合到假肢中是生物医学工程领域的一项关键挑战。触觉反馈的缺乏严重影响了截肢者与环境进行自然交互的能力，因为触觉信息对于灵巧操作至关重要。以往的研究表明，经皮神经电刺激（TENS）是一种有效的非侵入性方法，能够为截肢者诱发直观的感觉反馈。本研究旨在研究刺激参数对触觉诱发的影响，并从大脑皮层活动的角度评估感觉反馈性能。

方法：我们招募了一名经桡骨截肢者和三名健全参与者，通过调整刺激幅值、脉宽和频率来研究触觉诱发的阈值和类型，通过统计反应时间（RT）和辨别准确率（AR）来评估截肢者和健全者的触觉敏锐度差异，然后分析事件相关电位（ERP）和脑电活动图谱（BEAM）来比较截肢者和健全者的大脑响应行为。

结果：触觉诱发阈值由脉冲宽度和幅值共同决定，一般来说，健全者的触觉诱发阈值高于截肢者。对于这两类参与者，使用10Hz和100Hz的刺激频率，分别诱发了振动和按压的触觉。对于电刺激诱发的相同触觉（振动和按压），截肢者和健全者的大脑皮层激活存在明显差异，前者的触觉敏锐度低于后者。ERP表明健全者有更强的N1成分激活，而截肢者有更强的N2成分激活，BEAM表明与N1和N2成分相关的大脑皮层区域有不同的空间分布模式。

结论：这项研究可能有助于理解TENS诱发感觉反馈的神经机制，并为先进假肢和仿生机器人提供技术支持。

关键字：经皮神经电刺激；触觉诱发阈值；触觉诱发类型；事件相关电位；脑电活动图谱

ID 722

基于Koopman算子的软体康复机器人数据驱动建模与精确跟踪控制

王嘉津[1,2,3]、徐宝国[1,2,3]、王欣[1,2,3]、宋爱国[1,2,3]
1. 东南大学 仪器科学与工程学院
2. 数字医学工程全国重点实验室
3. 机器人感知与控制技术江苏省重点实验室

目的：偏瘫造成的肢体运动功能障碍严重影响脑卒中患者的日常生活，康复机器人的出现为康复治疗提供了新的途

径。早期的康复机器人采用刚性结构，虽然易于实现高精度的运动控制，但也限制了其柔顺交互性能。相比之下，软体康复机器人由柔软、可变形的材料制成，柔性材料可以在接触或碰撞时吸收冲击能量，从而天然具备柔顺交互的属性。然而，其柔性结构也引入了若干挑战，尤其是在软体康复机器人的模型构建与精确控制领域，缺乏系统化及深层次的研究，导致当前的软体康复机器人只能完成粗糙的、难以精确受控的训练任务，限制了其在临床应用中的有效性，迫切需要对相关基础理论和关键技术深入探索。

方法：本研究提出一种基于Koopman算子理论的软体康复机器人数据驱动建模与精确跟踪控制方法。首先，基于动力学稀疏辨识技术提出一种升维函数筛选方法，从而将机器人的状态空间高保真地提升到高维Koopman空间，实现非线性系统的全局线性化。进一步地，采用扩展动力学模态分解算法以数据驱动的方式构建软体康复机器人的线性Koopman模型。接下来，基于Koopman模型提出一种具有动态约束的模型预测控制器，实现软体康复机器人的高精度跟踪控制。最后，招募10名健康受试者进行功能性试验验证，通过分析建模精度并对比所提控制器与经典的非线性控制器的跟踪误差验证所提方法的有效性。

结果：所提出的软体康复机器人Koopman模型的短时及长时预测误差分别为0.81°和3.23°，占全运动范围的1.35%和5.38%。所提出的具有动态约束的模型预测控制器的平均跟踪误差为0.69°，优于经典的非奇异终端滑模控制器（平均跟踪误差为1.82°），所提方法具备优越性。

结论：本研究提出的基于Koopman算子的软体康复机器人建模与控制方法能够精准建立软体康复机器人的动力学模型，并精确跟踪参考轨迹，进而辅助受试者高效完成康复训练任务，有助于加速软体康复机器人的临床应用进程。

关键字：软体康复机器人；建模与控制；Koopman算子；模型预测控制。

ID 987

NMES诱发肌肉收缩的中枢神经响应全局网络特征

赵云[1]、谢光辉[1]、闫艳影[1]、秦海燕[1]、高凤梅[1]、侯文生[2]

1. 重庆电子科技职业大学智慧健康学院

2. 重庆大学生物工程学院

目的：基于缺血性神经阻滞技术（Ischemic nerve block, INB）能够成功剥离出运动阈值上神经肌肉电刺激（Neuromuscular electrical stimulation, NMES）前臂肌肉诱发的肌梭感觉传入信息，本文旨在探究INB状态下，手部运动感觉缺失后感觉运动皮层响应运动阈值上NMES所诱发的肌梭感觉传入信息的全局网络特征。

方法：本文以INB技术成功建立手部急性“缺失”模型，设计了一个2×2因素（INB：前、后；NMES强度：运动阈值上、下）的实验任务方案，任务期间记录11名健康被试者大脑64通道EEG信号，并利用自适应定向传递函数（Adaptive Directed Transfer Function, ADTF）计算脑电Beta频段活动的网络连接特征，用以评估NMES诱发前臂指伸肌收缩所引起的感觉运动皮层及其区域间的全局活动。

结果：相较于INB前，INB后运动阈值上NMES在不同时间段内诱发显著较低的感觉运动皮层时变网络的聚类系数（$p<0.05$），而NB前、后I运动阈值下NMES诱发感觉运动皮层时变网络的聚类系数无显著性差异（$p>0.05$）。更重要的是，无论是否施加阻滞，NMES诱发的感觉运动皮层网络均具有时变性（INB前：$p=0.002$；INB后：$p=0.000$），且可分为三个阶段：响应初期、响应变化期和响应稳定期（$p<0.05$）。INB后，NMES诱发肌肉收缩引起的感觉运动皮层全局网络模式更多涉及同侧感觉运动皮层连接。

结论：手部感觉被阻滞后，同侧感觉运动皮层代偿性地参与了NMES诱发肌肉收缩产生的运动感觉信息的处理，这将有助于通过运动阈值上NMES作用于残肢末端肌肉促使中枢神经响应从同侧中枢神经功能代偿向正常的对侧中枢神经反馈响应模式转变，为改善患者假肢手运动感觉功能重建提供新的技术思路。

关键字：神经肌肉电刺激；缺血性神经阻滞技术；手部运动感觉缺失；脑电；网络连接

ID 994

基于EEG-fNIRS的功能性电刺激诱发手部运动时的大脑激活研究

毛贺[1,2]、蒙昊天[1,2]、李光林[1,2]、方鹏[1,2]

1. 中国科学院深圳先进技术研究院

2. 深圳神经康复技术工程实验室

目的：脑卒中是脑血管破裂或堵塞导致脑组织损伤的一种神经精神疾病，运动功能障碍是主要后遗症，其中上肢功能障碍最为常见。功能性电刺激（FES）是恢复脑卒中患者肢体运动功能的有效疗法。神经血管耦合是指响应神经元活动而产生的功能性充血，近年来已成为脑卒中康复机制的研究热点。研究FES的神经血管耦合重构机制，有助于开展更好的康复治疗。

方法：脑电图和功能性近红外光谱联合测量（EEG-fNIRS）是神经血管耦合研究的有效工具。EEG通过无源电压评估捕捉大脑电活动的宏观时间动态。fNIRS采用近红外光谱技术测量血流动力学信号，可以获得毛细血管水平的含氧血红蛋白（HbO）、脱氧血红蛋白（HbR）和总血红蛋白（HbT）的浓度变化。本文采用多模态EEG-fNIRS对FES诱发手腕伸展期间的神经血管耦合现象进行了研究。实验招募了6名健康受试者，将两个刺激电极放置受试者前臂背侧伸肌的运动点附近。通过FES在15s内诱发5次最大腕伸，之后休息20s，该任务重复12次。

结果：结果表明，FES能诱发双侧感觉运动皮层的一致、稳定的神经血管耦合反应。动作期间，脑电alpha频段（8-13Hz）和beta频段（13-30Hz）功率下降，出现事件相关去同步化（ERD），动作结束后功率上升，出现事件相关同步化（ERS）；动作期间HbO浓度上升，HbR浓度下降，血流动力学响应在运动结束后仍会持续一段时间。通过计算ERD曲线和HbO曲线之间的相关系数（cc）对神经血管耦合进行了初步评估，发现对侧半球的cc值较高。下一步计划招募脑卒中患者进行实验。

结论：本研究有利于完善FES的神经康复机制，为FES治疗提供神经血管耦合证据和客观评价方法。

关键字：脑卒中；功能电刺激；神经血管耦合；EEG-fNIRS

ID 1100

基于皮质肌肉功能耦合分析的BCI-FES系统神经工效评估

柴晓珂[1]、宋久详[2]、单新颖[2]、杨艺[1]

1. 首都医科大学附属北京天坛医院

2. 国家康复辅具研究中心

目的： 基于主动运动意图控制功能电刺激（FES）神经反馈训练能促进卒中患者手运动功能恢复，但脑机接口（BCI）系统的神经工效评估仍有待研究。本研究为优化脑肌电融合解码模型，实现对应前臂肌肉位点的刺激参数编码，并通过分析脑肌电之间的皮质肌肉耦合网络，结合疲劳和操作负荷来评估交互进程中系统性能下降情况。

方法：28名健康志愿者参与脑肌电同步运动BCI试验，采用Neuracle HEEG高密度脑电和DELSYS肌电记录神经信号，实验包含双侧的实际运动和想象运动四组任务，每组任务包含四种动作模式：握拳、肘屈、曲腕、伸腕。每四组动作各10个试次为一小节，每小节评估FS-14疲劳量表，每个任务包含3小节，完成后评估NASA-TXL量表。采用EEG-NET模型计算各任务每小节的分类准确率，进行互功率谱计算得到皮质肌肉相干性（CMC），分析不同脑区与每个动作激活的肌电通道间的耦合网络。进一步优化实时解码模型，编码强度和频率刺激对应解剖位置的肌群实现四组动作训练，8名卒中后偏瘫

患者参与BCI-FES试验，记录其运动功能包括Fugl-Meyer 感觉运动恢复量表，及训练前后的脑肌电信号。

结果：结合CMC特征进行解码识别准确率有提升，运动区特征贡献率在运动范式中比想象范式中更高，从频带看beta段解码贡献较大。正常组双侧解码准确率平均为86.2%，运动意图的ERD/ERS特征分析显示患侧比健侧有更强的激活程度。对比单关节运动、多关节运动，动作越复杂协同激活CMC的脑区越多。结果显示随疲劳程度和操作负荷增强，每组间隔记录的静息态脑电alpha/theta及任务态CMC-beta指标的变化与系统性能下降有关。

结论：本研究搭建的BCI-FES能有效进行神经反馈训练，通过分析不同运动范式下皮质神经肌肉功能耦合网络，验证CMC在BCI解码和脑机交互性能评估中的作用，后续将依据行为表现与任务态脑肌电特征建立BCI神经工效评估模型。

关键字：脑机接口 运动意图 神经肌肉耦合 疲劳

ID 1380

不同神经修复方法改善神经断裂后病理性疼痛的实验研究

邱帅

中山大学附属第八医院（深圳福田）

目的：截肢后发生的病理性疼痛症状是当前神经科学的研究重点，需要有效的修复方法来预防或减轻这种疼痛。本研究通过 SD 大鼠坐骨神经断裂模型比较神经导管桥接修复、脱细胞神经缝合修复与靶向肌肉再生技术这三种神经残端处理方法对于神经断裂后病理性疼痛的预防作用。

方法：制备聚乳酸神经导管和脱细胞神经。

随机将 SD 大鼠分为 4 组，每组 8 只，评估右足的机械疼痛阈值基线。

建立 SD 大鼠坐骨神经断裂模型。

对照组：神经残端不处理。

实验组 A：神经残端缝合接入聚乳酸神经导管。

实验组 B：神经残端与脱细胞神经桥接。

实验组 C：神经残端通过神经转位于臀部的肌支神经缝合。

术后定期测定各组动物的患肢机械疼痛阈值。

术后第 16 周麻醉后取出各组动物的损伤的坐骨神经组织固定后行组织学切片，检测创伤性神经瘤情况，同时取出 L3/4/5 水平的背根神经节组织与脊髓组织行转录组学测序，通过生物信息学分析各组的背根神经节、脊髓组织的疼痛相关通路的转录表达情况。

结果：对照组术后缩足阈值降低，后期稳定于 7.5g。

实验组 A 术后缩足阈值高于对照组，但后期趋势与对照组相似。

实验组 B 术后缩足阈值缓慢下降，但始终高于对照组和实验组 A，第 14 周恢复至基线。

实验组 C 的曲线走势与实验组 B 类似，但第 5-6 周缩足阈值高于实验组 B，第 14 周恢复至基线。

组织学切片显示，对照组形成创伤性神经瘤，实验组 A 组织紊乱，实验组 B 和 C 再生与正常组织相似。

转录组学测序结果显示对照组中激活的疼痛相关通路最多，实验组 A ＞ B ≈ C。

结论：脱细胞神经为神经残端提供轨道，避免异位神经瘤的发生，其重塑的再生微环境对预防截肢后神经病理性疼痛具有重要意义。

关键字：截肢；病理性疼痛；创伤性神经瘤；神经接口

ID 2131

基于高密度表面肌电信号的空间特征提取方法

彭博兴、张浩诗、李向新、李光林
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：基于表面肌电图（sEMG）模式识别的假肢控制系统能够帮助截肢患者重获上肢功能。然而，从表面肌电图中识别人类复杂动作仍然具有挑战性。复杂的手部和腕部动作涉及更多肌肉不同区域的精细活动，经典的单通道时域特征提取方法难以充分捕捉这些区域的空间信息，进而可能限制复杂动作的识别精度。鉴于此，本文提出了一种基于多通道线性描述符（MLD）的空间特征提取方法，用于提取高密度表面肌电图（HD-sEMG）中区域的空间信息。

方法：（1）使用64通道高密度表面肌电采集设备采集了6位健康受试者的28种动作类型的肌电信号，包括9种手部动作、6种腕部动作、12种手部和腕部的组合动作及无动作。（2）数据预处理，去除工频噪声并保留肌电信号的有效频段。使用250ms的滑动窗口及50ms的滑动增量进行数据分割用于特征提取。（3）提出了一种空间特征提取方法，使用提出的Block field method（BFM）对高密度通道阵列进行分割，分割出的一系列区块作为MLD特征的提取单位。MLD是一组有明确物理意义的空间特征集，包括有效场强Σ，场强变化率Φ和空间复杂度Ω。（4）引入经典时域特征提取方法作为对照，使用5种分类器对两种特征提取方法的分类性能进行评估，使用学生T检验对分类错误率进行分析。

结果：结果显示，本研究提出的空间特征提取方法在所有5种分类器上对28种动作的分类结果均优于时域特征提取方法。其中，与空间特征集适配性最佳的分类器为线性判别分析分类器（LDA），其平均分类错误率为4.55%。两种方法对手部动作和腕部动作的分类错误率均较低，但时域特征提取方法对组合动作的平均分类错误率较高，为11.14%，而本文提出的空间特征提取方法的平均分类错误率为7.28%，具有显著性差异（$p<0.05$）。

结论：这些结果表明，在模式识别系统中使用HD-sEMG中不同肌肉区域的空间信息作为特征比传统时域特征更为有效，并且能显著改善复杂动作的识别。

关键字：高密度肌电，模式识别，空间特征提取，肌电控制

ID 2561

基于无模型自适应迭代学习控制的双通道功能性电刺激调控系统

李由[1,2]、宋嵘[1]、方鹏[2]
1. 中山大学
2. 中国科学院深圳先进技术研究院

目的：功能性电刺激（FES）是一种应用成熟的帮助中风患者进行步态康复的干预技术，其通过低频脉冲刺激胫骨前肌（TA）和腓肠肌（GAS）引起肌肉收缩，使踝关节产生背屈/趾屈动作，达到纠正偏瘫步态的目的。基于模型的迭代学习控制（ILC）已应用于许多功能性电刺激辅助运动训练中。然而肌肉在外源性刺激下具有较复杂的非线性和时变特性，控制过程中存在不确定性和动态变化，基于模型的控制方法依赖控制对象模型且学习增益固定不变，因此降低了控制器的鲁棒性。再者，模型参数的识别复杂而耗时，限制了其在临床环境中的适用性。

方法：为解决这一局限性，本文提出了一种无模型自适应迭代学习控制方法，控制器采用数据驱动的方式调节电刺激输出以辅助受试者步行运动而不依赖于系统的先验知识。针对未知的非线性踝关节动力学，引入“拟伪偏导数”概念，提出了一种沿迭代轴的动态线性化方法，建立了两次连续迭代之间动态系统的非参数模型。基于迭代相关的非参数

模型，设计了一种无模型自适应迭代控制方案（MFAILC），利用最优技术，计算出控制输入的迭代学习律和“拟伪偏导数”的迭代更新律。不依赖动力学模型仅根据输入输出数据，于整个步态周期内通过对胫骨前肌和腓肠肌的电刺激强度调节，辅助步态中踝关节背屈和跖屈运动，实现期望关节轨迹的跟踪控制。

结果：本文提出的控制方法在1名健康参与者上进行验证。“拟伪偏导数” 估计值通过迭代更新算法自适应变化，影响学习控制算法中的学习增益。实验结果显示，学习增益能够根据输出的误差信息迭代地调节，这与传统的具有固定学习增益的迭代学习控制不同。施加的刺激控制序列自适应迭代更新，控制肌肉辅助受试者步态行走，踝关节运动角度逐步达到期望的轨迹，实现了有限时间区间上的全步态周期的跟踪调控。

结论：实验初步验证了所提出的控制系统的有效性，基于MFAILC的功能性电刺激控制系统具有帮助患者改善偏瘫步态的潜力。

关键字：偏瘫步态；双通道功能性电刺激；无模型自适应控制；迭代学习控制

ID 2748

低强度聚焦超声刺激不同外周神经靶点对血压调节的影响

纪宁、卫晶晶、李光林、林宛华

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：低强度聚焦超声刺激迷走神经已被证明可降低血压，有望为高血压提供一种新的无创物理治疗策略。本文旨在进一步探究低强度聚焦超声刺激颈动脉窦、结节神经节等其他潜在外周神经靶点对血压调节的影响，并与超声刺激迷走神经干的血压调节作用进行比较。

方法：研究不同空间峰值时间平均强度下（3.6、5.7与9.7W/cm²），3.7MHz超声刺激Sprague Dawley大鼠左侧颈动脉窦、结节神经节以及迷走神经干对血压与心率的调节作用。其中，设置脉冲重复频率1kHz、脉冲持续时间2ms，三组不同声强的刺激序列随机发放。每组实验开始前60s记录基线数据，随后进行10s超声刺激，刺激结束后等待300s观察血压恢复情况，每组刺激序列总共持续370s。不同声强的刺激序列在每个靶点处重复刺激2-3次，以验证可重复性。

结果：相较而言，聚焦超声刺激颈动脉窦与结节神经节均需要较高的声强方可引起中心动脉收缩压、舒张压及心率的降低。而刺激迷走神经仅需较低的声强即可引起更为显著及持久的降压效果。具体而言，多重配对t检验表明，在最小的刺激声强序列下（3.6 W/cm²），迷走神经刺激可诱导并维持至少5min的血压显著降低，而刺激颈动脉窦则观察存在血压降低后快速反射性升高的效应。

结论：提示迷走神经作为低强度聚焦超声刺激调节血压更为合适的外周靶点选择。这一研究为后续深入研究超声刺激外周神经的血压调节机制、研发高血压新型无创超声治疗策略提供了实验基础与数据支撑。

关键字：低强度聚焦超声、血压调控、迷走神经、颈动脉窦、结节神经节

ID 3022

脑卒中患者运动控制能力的定量研究：从简单到复杂的系统模型分析

梁俊杰、杨倩倩、宋崃
广东技术师范大学

目的：脑卒中患者的上肢运动功能评价对后续康复训练具有重要指导意义。然而，目前的评价方法大多局限于细节或静态任务。本文旨在通过模型匹配，深入了解脑卒中患者及其年龄匹配的健康中老年对照组在进行伸手及物运动过程中的上肢运动控制能力的复杂性，为后续的康复策略提供科学依据。

方法：本研究分别采用了一阶、二阶和三阶经典控制系统模型的阶跃响应分别拟合患者组和对照组真实的伸手及物运动过程，主要分析指标包括RMSE、MAE、R^2、SAE和MaxAE。RMSE和MAE用于评估运动轨迹的平均偏差，R^2衡量模型的解释能力，SAE和MaxAE反映运动误差的累积和最大偏差。

结果：双因素方差分析（ANOVA）结果显示，模型阶数对RMSE、MAE、R^2、MSE、SAE、MaxAE和相关系数均具有显著的主效应（$p < 0.05$），而组别仅对SAE具有显著的主效应（$p < 0.05$），模型阶数和组别的交互效应也仅对SAE有显著影响（$p < 0.05$）。独立t检验结果显示，患者组和对照组仅在三阶模型拟合中的RMSE、MAE和SAE参数存在显著差异。配对t检验结果显示，对照组的所有参数在一阶与二阶、一阶与三阶、二阶与三阶间均具有显著性差异（$p < 0.05$），且误差参数数值随着阶数的增加而降低；患者组的所有参数仅在一阶与二阶、一阶与三阶间具有显著性差异（$p < 0.05$），在二阶与三阶间均无显著性差异（$p > 0.05$）存在。

结论：结果表明，对健康对照组，模型阶数越高对运动控制的拟合效果越好，这说明他们的运动控制具有较高的复杂性；而患者组仅用二阶系统就可以很好地描述其运动控制过程，这表明与健康人相比，脑卒中患者的行为模式趋于简化。

关键字：脑卒中；运动控制模型；运动功能分析

ID 3239

一种用于假肢手抓握的前馈和反馈混合控制器

刘乐、李可
山东大学

目的：目前，我国的肢体残疾人数超过了2000万。手部残疾会对患者造成十分沉重的影响，严重影响了患者的独立生活能力和融入社会的能力。假肢手是代偿手部抓握功能的最直接、最有效的工具。尽管目前各国推出了多种假肢手，但在假肢手的抓握控制性能方面，假肢手和自然人手之间仍然存在着很大的差距。因此，针对上述问题，本文开发了一种结合前馈控制和反馈控制的假肢手抓握控制器，为面向生活实际场景下的精准抓握操控提供了新的技术手段。

方法：本文提出了一种结合前馈和反馈策略的控制方法，用于假肢手以改进精确的指尖力量控制。本文收集了10名受试者做出五种手势（二指捏、三指捏、变形三指捏、四指捏和五指抓握）的表面肌电信号。假肢手的前馈控制策略依赖于卷积神经网络（CNN）模型进行运动意图预测，并生成相应的预抓握姿态。在力反馈方面，采用了无模型自适应控制方法来实时调节假肢手在抓握过程中的指尖力大小。无模型自适应控制方法无需预先建立复杂的物理模型，通过实时反馈数据进行自适应调整，确保假肢手在执行抓握任务时能够精确控制施加的力。

结果：结果显示，在前馈控制方面，手势分类的准确率达到了98.75%。在反馈控制方面，本文设计并开展了两种抓握测试，分别使用纸杯和硬圆柱作为测试对象。每组测试均进行了20次抓握实验。实验结果表明，假肢手在抓握纸杯时

的成功率为90%，而在抓握硬圆柱时的成功率则达到了100%。以食指指尖力的变化为例，本文进一步分析了假肢手在抓握过程中施加的力变化。结果显示，指尖的抓握力能够维持在期望力上下，展现出良好的力控制能力。

结论：本文所提出的结合前馈和反馈的控制器可以很好地结合人的运动意图与精确的指尖力量。无论是在手势分类的前馈控制方面，还是在力反馈和视觉反馈控制方面，本文所提出的方法均表现出色，展现出良好的应用潜力。这为建立性能更加优越、操控更加精准的新型假肢手奠定了坚实基础。

关键字：假肢手；抓握；手势识别；力反馈控制

ID 3500

虚拟现实多感觉协同刺激重塑身体表征对脑卒中患者上肢主动运动影响的脑电研究

张元坤、宋哲、徐啸天、蒲放

北京航空航天大学

目的：通过脑电分析，研究虚拟现实场景中视-触-听多感觉协同刺激对脑卒中患者上肢主动运动过程的影响，为虚拟现实脑卒中上肢康复治疗提供神经机制方面的参考。

方法：招募23名单侧偏瘫恢复期脑卒中患者作为受试者，以视-触-听同步刺激作为实验组（有身体表征重塑），以纯视觉刺激作为对照组（无身体表征重塑），所有患者分别在实验组与对照组的条件下进行40次视觉诱导患侧手腕的屈伸运动任务，同步记录脑电数据。每个实验条件绘制组水平运动执行时段的α及β频段平均功率地形图，针对地形图中有明显激活的电极进行事件相关频谱（ERSP）分析及α和β频段的事件相关去同步化（ERD）峰值分析。

结果：α频段和β频段的地形图中CP3/CP4（顶下小叶）和P3/P4（角回）电极均出现明显激活。上述电极ERSP图结果显示,实验组α频段与β频段激活程度均明显强于对照组。其中CP3/CP4通道病灶侧α和β频段在实验组中的ERD峰值均显著大于对照组（p=0.001，p=0.006）；P3/P4通道病灶侧在实验组条件下α频段的ERD峰值显著大于对照组（p=0.001）。

结论：实验结果表明，通过虚拟现实多感觉协同刺激重塑脑卒中患者的身体表征可以对他们上肢主动运动产生影响，这种影响在脑电特征上主要体现为顶下小叶附近CP3/CP4的α频段和β频段的显著激活，以及角回区域P3/P4处α频段的显著激活。顶下小叶有接收和整合躯体运动、听觉和视觉不同模态信息的功能，角回则与处理视觉刺激与听觉刺激之间的转换有关。上述结果意味着，在主动运动任务执行过程中重塑身体表征可以加强躯体感觉功能的激活并加强躯体运动信息的整合，也可以增强脑卒中患者大脑运动系统的觉醒程度。这对于设计和优化虚拟现实脑卒中患者运动功能康复评价和训练方法具有一定参考意义。

关键字：脑卒中 虚拟现实 身体表征 运动康复 脑电

ID 3592

基于ERP、fNIRS研究tDCS对健康老年人工作记忆的影响

王妍、胡荣亮
江门市中心医院

目的：基于多种神经影像学方法，探究经颅直流电刺激（tDCS）左侧前额叶背外侧皮层对健康老年人工作记忆影响的作用机制及神经基础，进一步探究无创性脑调控技术对老化后认知下降的影响及后续应用。

方法：从社会中招募30名工作记忆下降的健康老年人，按照随机数字表法分为15例真刺激组（tDCS）作为实验组，15例假刺激组作为对照组，对两组实验对象进行连续10天的经颅直流电刺激（2mA，20min），阳极刺激部位在左侧背外侧前额叶皮层，阴极刺激部位在对侧肩膀，假刺激组在开始刺激30S后停止刺激，刺激部位同真刺激组。在刺激前后收集健康受试者执行2-back任务（工作记忆任务）的正确率及反应时间，利用fNIRS观察刺激前后受试者任务态前额叶含氧血红蛋白含量变化，利用ERP观察刺激前后P300潜伏期及波幅变化，通过时域分析经颅直流电刺激对健康老年人接受新奇刺激等的影响。

结果：实验组在刺激后执行2-back任务（工作记忆）的正确率及反应时间较对照组明显提高，其差异有统计学意义（P＜0.05）；实验组刺激后任务态fNIRS前额叶含氧血红蛋白含量较对照组升高，差异有统计学意义（P＜0.05）；实验组刺激后P300潜伏期较对照组下降，波幅较对照组升高，差异有统计学意义（P＜0.05）。

结论：经颅直流电刺激可用于年龄相关性工作记忆下降的治疗，可有效提高健康老年人工作记忆性能，有待进一步研究个性化治疗方案改善老化所带来的一系列认知衰退，防止进一步罹患轻度认知障碍。

关键字：健康老年人；工作记忆；经颅直流电刺激；近红外脑功能成像仪；事件相关电位

ID 3647

超声调制诱发精细触觉感知的参数优化研究

覃柳妮、窦铭扬、黄胤深、耿艳娟
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：低强度聚焦超声刺激（low-intensity focused ultrasound stimulation, LIFUS）通过非侵入性传递超声能量，特异性作用于特定的神经组织，从而实现复杂的神经调控效果，受到国内外研究学者的广泛关注。然而，LIFUS在诱发精细触觉方面的潜力及其参数调节作用尚未得到系统研究。为此，本研究提出了一种基于LIFUS的精细触觉感知参数优化方法，旨在探究不同超声刺激参数对触觉感知的影响。

方法：该研究共设计了两组心理物理实验，招募八名健康志愿者参与。实验1采用成对比较范式，将不同脉冲重复频率（pulse repetition frequency, PRF）和声强度（acoustic intensity, AI）的超声波刺激应用于受试者指尖。具体操作包括设定两种PRF与AI，要求受试者判断连续呈现的两个脉冲序列中哪个的感知PRF或AI更高。我们通过最小可觉差异和韦伯分数来评估触觉感受器对不同PRF和AI的敏感性，确定可感知的最小和最大PRF/AI值范围。实验2进一步考察了六种PRF值与三种AI值组合下的触觉类型及频率分辨。受试者需根据GUI界面上的七种触觉类型描述感知到的刺激，并进行PRF评分。

结果：结果显示，在实验1中，较低PRF和较高AI条件下，受试者对超声波刺激的敏感性更高。实验2表明，在18种不同的PRF-AI组合下，可区分出六种精细触觉感知类型，包括痒感、振动、嗡嗡声、压力、抚摸、电击感以及无感觉。此外，较低PRF常引起有节奏的敲击感，而较高PRF则易引发类似电击的感觉。本研究还发现PRF与AI在调节精细触觉感知方

面存在协同效应。

结论：这些发现将这些发现为LIFUS的参数调制提供了重要依据，并促进LIFUS在各种人机交互设置中的应用。

关键字：超声刺激，触觉感知，参数优化

ID 3669

自主用力吸气增强健康人与卒中患者手部肌肉的皮质脊髓兴奋性

李质斌[1]、莫林宏[3]、孙晶尧[1]、贾天宇[1]、季林红[1]、刘爱贤[3]、李翀[2]

1. 清华大学机械系
2. 清华大学临床医学院
3. 首都医科大学附属北京康复医院

目的：近期研究关于呼吸过程和大脑功能之间神经生理相互作用的研究表明，自主呼吸对中枢神经系统活动具有潜在的调节作用。本研究希望探索自主呼吸对健康个体和中风患者皮质脊髓束兴奋性的影响。

方法：研究比较了受试者在不同呼吸状态下的运动皮质脊髓通路兴奋性，包括正常呼吸（CON）、用力吸气（IN）和用力呼气（EX）三种呼吸条件，并分别设计了两个实验来评估兴奋性大小。用力呼吸条件要求受试者以自己的节奏快速地吸气或呼气。实验一采用了单脉冲经颅磁刺激（TMS）来测量运动诱发电位（MEPs），实验二使用功能性电刺激诱发手指屈肌和伸肌动作来测量诱发力大小。研究共募集30名健康人与27名亚急性期上肢功能障碍卒中患者，其中15名患者和16名健康人参加了TMS实验，12名患者和18名健康参与者参加了电刺激实验。实验选择测量中风患者偏瘫侧肢体和健康受试者的非优势手部肌肉，比较了放松态（Rest）和手部发力态（Effort）两种状态下的MEPs和电刺激诱发力。

结果：TMS实验结果显示，呼吸模式对健康受试者和中风患者的拇短屈肌与指共伸肌的MEP幅度均有显着影响（$p<0.05$）。事后分析显示，健康受试者在用力吸气期间的MEP明显高于正常呼吸和用力呼气。尽管卒中患者表现出相同的趋势，但未达到统计学显著。电刺激实验结果显示，呼吸模式对健康受试者和中风患者的指浅屈肌和指共伸肌的电刺激诱发力幅值均有显着影响（$p<0.05$）。事后分析显示，健康受试者和卒中患者用力吸气期间电刺激诱发手指力量均高于正常呼吸。手部放松态和发力态没有表现出显著差异。

结论：本研究证明了自主呼吸有调节皮质脊髓兴奋性的潜力。用力吸气会显着增加健康人和卒中患者的MEPs和电刺激诱发力，表明呼吸过程对上肢皮质脊髓兴奋性的影响。虽然结果在卒中患者中表现出一定的个体差异性，但仍表明将自主呼吸技术纳入卒中后康复训练中有望提升运动能力恢复的效率。

关键字：自主呼吸，皮质脊髓兴奋性，经颅磁刺激，电刺激，脑卒中

ID 3704

基于经颅电刺激消解肌肉与认知疲劳的调控方法及技术

冶自英、程嘉

清华大学

目的：研究一种对大脑皮层区域进行综合多模式电刺激的技术，基于肌肉与认知疲劳监测技术以及经颅电刺激调控

技术，实现同时缓解肌肉和认知疲劳，形成“监测-调控”闭环，提高网球运动员表现力和运动成绩，满足高强度体力活动人群的需求。

方法：本研究评估连续四天经颅直流电刺激（tDCS）对网球运动员疲劳的影响。研究方法如下：

1. 受试者：22名受试者参与。

2. 运动诱导疲劳：通过1.5小时网球运动诱导肌肉和认知疲劳。

3. tDCS干预：连续四天进行tDCS干预。

4.疲劳评估：

主观疲劳量表（Borg RPE-10）*：评估受试者主观疲劳感。

肌肉酸疼疲劳量表：评估肌肉酸疼和疲劳程度。

客观疲劳评估：包括心率变异性、fNIRS、Y平衡测量、握力测试、反应灯测试及肌力测试。

通过这些评估手段，确定tDCS干预对运动疲劳的减轻效果。

结果：研究表明，经单次经颅电刺激后，受试者右上肢力量显著增强，与对照组相比具有统计学显著差异，显示短期内显著改善右上肢肌肉力量。尽管左上肢内旋和外旋力量未达显著水平，但有增强趋势。连续三天经颅电刺激后，左上肢内旋力量显著提升，相较伪刺激对照组，效果明显。经颅电刺激显示出促进肌肉力量恢复和改善的潜力，尤其对左上肢内旋力量的提升效果尤为突出。在反应灯测试中，经颅电刺激组反应时间显著低于对照组，表明无论短期还是长期，经颅电刺激都能有效提高反应速度和能力。

结论：本研究成功开发了一种针对大脑皮层的综合性多模式电刺激技术，实现了同时消解肌肉和认知疲劳的目标。通过整合这些技术，形成的“监测-调控”闭环系统显著提高了网球运动员的表现和比赛成绩，提供了一种有效的疲劳管理解决方案。

关键字：经颅电刺激；疲劳消解；肌肉疲劳；认知疲劳

ID 3891

Muscle strength assessment in sarcopenia and healthy elderly based on EIT electrophysiological characteristics

Guilan Chen,姜显泰,周永强,游子儆,李光林,刁亚楠,赵国如

中国科学院深圳先进技术研究院

Objective: Electrical impedance tomography (EIT) imaging can be used to quantitatively assess muscle mass and function in sarcopenia. However, the differences in EIT parameters and derived parameters between sarcopenia and non-sarcopenia, as well as the correlation between parameters and muscle function scores, are still unclear. In this study, 31 sarcopenic and healthy subjects were recruited, and muscle function scores were scored using maximal handgrip strength (MHG), maximal isometric voluntary contraction (MVC), and SARC-F scale for all individuals. Physiological information such as impedance, resistance, reactance, and phase angle of the subjects' calf muscles was obtained by EIT impedance, and derived parameters such as conductivity and global impedance were extracted. The differences between different groups were compared, and the correlation between EIT parameters and muscle function scores was analyzed. The results showed that both reactance and phase angle showed significant differences between young and elderly ($p<0.01$). The conductivity showed significant differences between young and sarcopenia ($p<0.01$). In addition, impedance, global impedance, and reactance were negatively correlated with muscle function scores, while phase angle and conductivity were positively correlated with muscle function scores. The results demonstrated the potential of EIT imaging technology in the diagnosis of sarcopenia and quantitative assessment of muscle mass and function. In the future, we will expand the number of research subjects and build accurate diagnosis and functional assessment models.

Methods: Clinical tests: The experiment recruited 31 sarcopenia and healthy subjects, recorded the subjects' demographic

data, and conducted clinical tests such as maximal handgrip strength (MHG), maximal isometric voluntary contraction (MVC), and SARC-F scale on all subjects to score muscle function.

EIT test: First, wet the subject's calf with alcohol, select the thickest part of the calf, and attach the No. 1 electrode to the corresponding tibia position. The 16 EIT sensors are evenly distributed on the subject's calf. Since the curve measured using an impedance spectrum analyzer found that the difference in muscle impedance is the largest from 500Hz to 10kHz, and as the frequency increases, the impedance does not change significantly. The purpose of this experiment is to observe the difference between parameters, so the observation frequency is selected from 1000Hz to 10000Hz, and the input current is 1mA for sampling. During the test, the subjects remained seated, and each test lasted for 5 minutes, a total of 2 times.

Statistical Analysis: The subjects over 60 years old were divided into the elderly and the sarcopenia group based on SARC-F scale scores, MHG, and MVC test results. MHG and MVC data for all subjects were graded to reflect the subject's muscle status. The t-test method ($p<0.05$) is used to analyze the significant difference in global impedance and conductivity between the three groups. The relationship between clinical total score and global impedance, clinical total score, and conductivity is analyzed by Pearson correlation coefficient.

Results: The results showed that impedance and resistance showed significant differences between young and sarcopenia ($p<0.05$); both reactance and phase angle showed significant differences between young and elderly ($p<0.01$). The conductivity showed significant differences between young and sarcopenia ($p<0.01$); The global impedance showed significant differences between the elderly and sarcopenia, young and sarcopenia ($p<0.05$), while the difference between the elderly and young groups was not significant.

The muscle function score showed a strong negative correlation with impedance and reactance ($r =-0.550$, $r=-0.664$), and a moderate positive correlation with phase angle ($r =0.456$); it showed a strong positive correlation with conductivity ($r =0.619$) and a moderate negative correlation with global impedance ($r =-0.469$).

Conclusion: This study found significant differences in electrical impedance tomography (EIT) parameters and their derived parameters between healthy individuals and patients with sarcopenia. Except for resistance, other parameters showed clear correlations with muscle function. These preliminary results indicate that parameters assessed by EIT technology can serve as biomarkers of skeletal muscle quantity and mass loss in sarcopenia, showing its potential in the quantitative assessment of muscle mass in sarcopenia.

Key Words: Sarcopenia, EIT, Muscle strength, Electrophysiological

ID 3948

基于微流道与摩擦电原理的多维力触觉传感器

程相熔、程嘉
清华大学

目的：在力触觉传感中，剪切力的检测在很多应用场合有着重要的作用，比如在步态检测中可以根据剪切力的大小和方向来进行更好的运动评估与康复治疗；在下肢截肢患者截肢处加以传感器来优化假肢接受腔的形状等。现如今对于可检测剪切力的触觉传感器有许多，然而目前大部分固态剪切力传感器在检测剪切力时只是单纯向传感器的某个位置施加更大的力或增大接触面积，这种检测方式对传感信号有着较大的干扰。

在此，提出了一种固液接触式的摩擦电传感器，并与微流道技术结合，在检测正压力的同时，可以通过不同微流道通道的输出大小来检测剪切力的大小与方向，实现了与应变的解耦。

方法：本研究所提出传感器为固-液接触式摩擦电传感器，结合微流道技术，设计了由中部圆形液腔，微流道与四周

扇形液腔所组成的图案层，与无图案层进行键合处理。

初始状态下，中部圆形液腔会充满液体。当摩擦电传感器与外界接触时，根据应力方向的不同，中部圆形液腔中的液体会顺着不同的微流道流向四周扇形液腔；取消受力后，摩擦电传感器单元的四周扇形液腔中的液体会随着微流道流回中部圆形液腔。与纯固体接触的摩擦电力触觉传感器相比，本研究所设计的传感器实现了垂直应力与剪切应力的解耦。

结果：研究表明，山梨糖醇溶液有着更为显著的摩擦电效应，以其作为液体材料能够生成更大的摩擦电信号。微流道设计为梯形结构，并在表面做了超疏水处理，有着很好的回流效果。通过设计并进行标准化实验，传感器可以识别出不同大小和方向的剪切力与正应力。

本研究设计了一种灵巧手闭环反馈系统，将所设计的触觉传感器应用在灵巧手指上并抓握水杯的实验，灵巧手抓住水杯并提起到空中，向水杯中持续倒水，灵巧手会通过触觉传感器感知到剪切力的变化而调整抓握水杯的力度以避免水杯的滑落。

结论：本研究成功开发了一种基于微流道与摩擦电原理的多维力触觉传感器，实现了剪切力与正应力的解耦，为柔性触觉传感器在人机交互，智能康复等领域的使用提供了新的方式。

关键字：柔性传感器；微流道；摩擦纳米发电机；触觉感知

ID 4015

基于同源多域特征耦合的肌电控制系统

黄金峰[1,2]、张猛[4]、刘政[3]、党建武[1]

1. 中国科学院深圳先进技术研究院
2. University of Tsukuba
3. 攻壳智动（北京）科技有限公司
4. 苏州瑞意旭联医疗科技有限公司

目的：随着假肢技术的进步，精准有效的控制成为关键。肌电信号作为反映肌肉活动的生物电信号，广泛用于假肢控制。但传统处理方法对复杂特征与个体差异处理存在局限。因此，我们采集高采样率的肌电信号，并提出一种融合时频域特征抽取与深度神经网络的新方法，以增强假肢控制的准确性与响应速度。

方法：我们采用了12导联表面肌电双极电极以1000Hz的采样率进行肌电信号采集，并结合小波变换和短时傅里叶变换（STFT）提取信号中的幅度和相位信息。小波变换用于多尺度分析，而STFT有效捕获信号的频域特性，通过这样的特征抽取方式，能更好地理解肌电信号的复杂性。模型融合了长短时记忆网络（LSTM）和卷积神经网络（CNN），LSTM负责解读信号的时序特性，而CNN则提取空间特征。采用这种双向结构，结合特征提取的优势，能够在保留时序信息的同时增强对复杂特征的识别能力。为提升模型的实际应用效果，我们整合了实时校正机制，通过自适应滤波器预处理实时肌电信号，以消除噪声和干扰。此外，根据用户即时反馈微调模型参数，提高系统的响应速率和控制准确度。

结果：实验结果显示，提出的基于肌电控制的深度学习方法在多自由度假肢控制中表现良好。与传统的肌电信号处理方法相比，我们的方法在10类手势识别中的离线准确度高达98.8%，而在线准确率高达95.8%，并且在线控制的响应延迟低于100ms。此外，我们的方法能更好地适应不同用户的个体差异。只需2分钟30次的预训练，就能适应和校准模型，以适应不同的参与者并实现平均95%以上的准确度。相比之前的研究，我们的同源多域特征融合方法在有效提高纵向识别准确度的同时，也显著解决了横向跨参与者的适应性难度和识别精度问题。

结论：通过引入时频域特征抽取和混合深度神经网络结构，我们成功提升了肌电信号的识别精度和系统自适应能力。这种方法有助于推动肌电控制系统的发展，并有望在实际应用中实现更自然和精确的假肢控制。

关键字：肌电信号、神经网络、假肢控制

ID 4107

基于肌肉形变信号的高鲁棒性手部运动意图识别方法

李向新、曹江浪、方鹏
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：目前的商业化假肢手主要通过表面肌电信号识别运动意图。在实际应用中，体表汗液、电极位移、电磁干扰等因素易导致表面肌电信号质量下降，造成运动意图识别准确率降低。肢体运动时，除了肌电信号，肌肉的收缩形变信息也与运动紧密相关。与肌电信号相比，肌肉形变属于机械信号，不受皮肤表面阻抗和环境电磁干扰的影响，鲁棒性较高。因此，本研究提出利用肌肉形变信号实现运动意图识别。

方法：基于压电驻极体薄膜传感材料开发了多通道肌肉形变信号实时采集系统，采集了10名正常受试者和6名前臂截肢患者上肢运动时的皮肤表面法向压力信号。实验采集8种常用手腕部动作，包括握拳，手张开，腕内屈，腕外展，腕内旋和腕外旋6个主动动作以及一个休息状态。利用模式识别方法提取了常用的13种时域特征，选用四种机器学习分类方法：线性判别分类器LDA，K近邻聚类KNN，人工神经网络ANN，支持向量机SVM，从特征选择，特征个数，分析窗长等方面对基于肌肉形变信号的运动意图识别进行研究。

结果：从肌肉形变信号的波形可以看出各个动作的法向肌肉形变信号波形有明显区分性。在特征影响分析方面，可以看到均方根特征RMS的动作识别准确率最高。此外，研究还对特征组合的个数进行了分析，发现动作识别准确率随着特征数目的增加逐渐升高。对于分类器LDA和ANN，当特征个数从1增加到4时，动作分类正确率提高大约5%，但是当特征增加超过9个时，识别正确率反而会降低。研究还分析了基于肌肉形变的运动意图识别方法对白噪声的鲁棒性，发现当噪声水平增加到50%时，四种分类器的动作识别正确率几乎不受影响，尤其是分类器KNN和SVM，依然取得95%以上的动作识别正确率。

结论：本研究提出的基于肌肉形变信号的运动意图识别方法具有较好的识别效果，并且对白噪声干扰有较好的鲁棒性。该研究有望开发一种新的运动意图识别方法，提高智能假肢的操控性能。

关键字：运动意图识别，智能假肢，肌肉形变信号

ID 4301

在虚拟场景中通过心电参数对晕动症人群进行聚类

钟文浩、罗洁
中山大学

目的：由于个体差异，不同人群的晕动程度和心电参数表现之间的关系不同。现有研究关于晕动症与心电参数的关系不清晰，将潜在的不同类型的晕动人群分开研究，也许对更深入掌握晕动症和提供个性化防治方法具有价值。这项研究调查了晕动程度与心电参数对人群聚类的潜在规律。

方法：我们构建了一个以在城市中乘坐汽车为视角的虚拟场景，通过虚拟现实诱发30名受试者产生晕动症。实验记录问卷并采集了持续的心电信号。三种问卷中，归一化的痛苦评分量表（MISC）与时间求回归系数，代表晕动程度受时间的影响程度，归一化的晕动病易感性量表（MSSQ）、模拟器晕动病量表（SSQ）得分用于评估受试者晕动易感性、评估实验后总的晕动程度。心电信号中，对HR、RMSSD、LF/HF求与时间相关系数，对SDNN求实验相较静息变化率。最后，以预处理后的MISC、HR和SDNN作为特征进行k-means聚类，并探索每一类的特征表现。

结果：当聚类的簇总数为4时，除MSSQ外其余所有特征都具有簇间显著差异。4簇人群晕动程度由低到高排序：第1簇（n=14）MISC回归系数和SSQ最低，同时其HR相关系数最低且负相关；第2簇（n=12）特点是HR相关系数高且正相关；第3簇（n=2）MSSQ最高，HR相关系数最高，SDNN变化率最高且增长；第4簇（n=2）MISC回归系数最高，同时HR相关系数最低且负相关，RMSSD相关系数最高且正相关（以上$p<0.05$）。当聚类的簇总数依次选择2~8时，不同簇总数之间的聚类结果表现出了稳定的层次性，簇之间的交错情况极少。另外，第1簇在簇总数为3~8期间稳定不变，簇2、3、4不断分裂。

结论：晕动人群具有不同的心电表现。晕动症状轻的人群特点更统一，他们在致晕场景中更加放松，HR随时间下降，这种下降与晕动程度关系往往并不显著。晕动症状重的人群特点具有较大差异，聚类结果不稳定，不同个体在心电参数上有显著差异。

关键字：晕动症；心电；虚拟现实

ID 4319

基于可穿戴传感器的肌肉运动生理测量和疲劳评估

谭启涛[1,3]、王岩[1,3]、李增勇[2]、赖蒲祥[1,3]、张明[1,3]

1. 香港理工大学生物医学工程学系
2. 国家康复辅具研究中心民政部康复辅具技术与系统重点实验室
3. 香港理工大学体育科技研究院

目的：本研究的目的是探讨使用基于近红外光谱血氧（NIRS）和表面肌电（EMG）技术的可穿戴传感器，对运动中肌肉的生理活动进行持续检测，并评估肌肉疲劳的发展，以及探索从NIRS和EMG信号中得到的疲劳评估参数之间的关系。

方法：实验中招募了十五名年轻健康的受试者。实验期间，要求受试者进行三次以70%最大自主收缩力（MVC）进行的跖屈运动试验。每次试验由10个周期的等长收缩组成，收缩和放松的持续时间均为10秒。在所有三个试验期间，同时记录了内侧和外侧腓肠肌的NIRS和EMG信号。每次运动后也测量了MVC力量以反映疲劳水平。从NIRS衍生的去氧化信号中获得了氧消耗率（RO2）和峰值氧摄取（PKV）。同时，还计算了EMG信号的均方根（RMS）、积分EMG（iEMG）和中位频率（MDF）进行分析。

结果：结果显示，在所有三个运动试验中，GM和GL肌肉的RO2和PKV值呈现出随着收缩持续而增加的趋势。MDF值在每次运动中都显示出下降趋势，而RMS和iEMG仅在GL肌肉中呈现出上升趋势。相关性分析表明，一方面，EMG信号的幅度相关参数（RMS和iEMG）与NIRS参数（RO2和PKV）显示出显著的高正相关。另一方面，EMG的频率相关变量（MDF）与NIRS衍生的PO2和PKV呈现出显著的高负相关。

结论：这些结果表明，NIRS方法可以直接检测周围疲劳过程中从快速肌纤维向慢速肌纤维的转变。NIRS和EMG的测量组合可以用来全面评估周围肌肉疲劳的发展。

关键字：肌肉运动生理测量，可穿戴传感器，近红外光谱血氧检测，表面肌电

S05
生物医学传感与医工融合发展

ID 59

柔性多参数光纤光化学医用传感器及疾病动态监测的研究

姜楠
四川大学

目的：人体组织或体液中的标志物水平与疾病的诊断息息相关。直接检测及连续监测这些标志物水平变化，能够对疾病进行即时诊断和动态监测，以实现即时按需治疗。柔性光化学传感器利用光学信号选择性地表达生物组织中标志物的化学信息。但是光在生物组织内传输的过程中会发生吸收、散射、反射和透射，从而大幅度降低传输效率和传输深度。因此，提高光在生物组织中的传输效率是实现深层生物组织中标志物光化学检测的重要环节。

方法：光纤传感技术能够基于全内反射原理，能够提高光在深层组织中的检测准确性。考虑到传统硅基光纤材料与柔性生物组织的匹配度低，我们通过模版法开发了介入式核-包层结构的阶跃型水凝胶光纤光化学传感器，实现生物组织内单一生物标志物的动态监测。为了提高疾病诊断的准确性，我们进一步开发了多参数光纤光化学传感器，在一根光纤的尖端修饰4种不同的传感膜，实现脑组织中温度、pH、葡萄糖和溶解氧的动态监测。针对颅脑损伤患者术中和术后需要紧密监测多种生理生化指标，我们开发了全自动控制的多参数光纤束荧光传感系统。该传感系统的核心是光纤束荧光传感器，它由7根独立光纤丝组成，每根光纤丝尖端修饰一种适用于一种标志物检测的荧光传感膜，并建立机器学习模型和自动控制界面。

结果：我们构建的多参数光纤束荧光传感器能够同时实现人脑脊液中6种标志物（温度、溶解氧、pH、葡萄糖、钠离子和钙离子）的动态监测。结果表明，这6种标志物的监测互相独立，不受其他信号的干扰，并且传感器展现出优异的灵敏度和稳定性。

结论：该多参数光纤光化学传感系统能够动态监测人脑脊液中多种生理生化指标，从而实现颅脑损伤患者不同损伤程度和阶段的诊断和监测，为患者的及时治疗提供重要依据。

关键字：光纤传感，多参数检测，机器学习模型，荧光传感器，脑脊液监测

ID 145

解决飞机被鸟撞击重大公共安全隐患、事故的几种可行性方案

徐汉友
诸暨店口中康医院

目的：为了防治这些飞机被鸟撞击事故的不断发生，和减少由此花费很大的人力、物力和财力，保护大众健康，特

研究解决飞机被鸟撞击重大公共安全隐患、事故的几种可行性方案。

方法：总结国内外不断发生飞机、特别是客机飞行时被鸟撞击，所造成不同程度的重大公共安全事故事件的事实，由此激发研究创新，创新解决严重影响公共安全、大众健康和经济损失的鸟撞飞机事件灾难的危险因素。

结果：鸟撞飞机事件的灾难，不断发生，迫使我们必须尽快研究寻找切实可行的方法，来有效防治飞机被鸟撞击重大公共安全隐患。

结论：本人根据鸟撞飞机事件灾难的严重现状，结合当今物理、生物科技的发展，研究总结了几种防治方法。

第一种，她就是利用无线、遥控技术及其对生物神经的控制功能，无线、遥控控制飞鸟远离机场和，远离飞行中的飞机，包括起飞时刻、降落时刻及起飞后飞行过程中，均使飞鸟远离飞机，作者认为，这样的设备，应该作为飞机不可缺少的高端设备，固定地安装在飞机上，使其随时不断发挥驱鸟作用，另外，机场周围，也应该安装无线、遥控控制飞鸟远离机场的驱鸟设备。

这种方法虽然是一个方案，但根据当今物理科学、生物科学及其边沿相互结合的科学的发展，上述方法的实施，不会太困难，希望相关部门的科技工作者，及感兴趣的科研机构、企业及投资机构等部门，参考应用，为杜绝鸟撞飞机事件灾难的发生、为大众生命安全及健康水平提高，做出贡献。

另外，呼吁建立鸟撞飞机事件灾难的国际性大数据库，收集相关事件的数据，包括鸟的种类及大小、撞击高度、撞击部位、撞击时天气等气候指标、紧急处置及其结果，等相关内容，做相关分析，研究鸟撞飞机机理，等全面研究，为进一步更好地防治打下基础。

最后，建议研究尝试，利用无毒气味、烟雾等方法，驱鸟，防治鸟撞飞机事件灾难的航空安全。

关键字：航空安全；鸟撞飞机；空难防治；防治办法；公共安全；生命健康；建言献策。

ID 217

新型纸基流量传感器用于生物标志物检测

胡琼政、赵梅、毕研慧

齐鲁工业大学（山东省科学院）

目的：即时检测技术（POCT）是一种价格低廉、响应灵敏、无需大型仪器、可快速得到检测结果的检测手段，通常由具有便携式“样品进-信号出”功能的生物传感器完成。响应外部环境刺激（如pH、酶和小分子）而发生物理和化学变化的刺激响应性聚合物已广泛应用于生物传感器的开发。但这些生物传感器存在制备步骤复杂、响应时间慢或灵敏度低等不足。开发制备简单、检测快速、灵敏度高、选择性好的便携式生物传感器具有十分重要的意义。

方法：作者开发了一种新型纸基流量传感器实现了多种生物标志物的检测。该传感器以刺激响应聚合物作为响应底物，以距离作为信号输出方法，通过监测响应底物的粘度变化来检测生物标志物。生物标志物的存在可引起响应底物的粘度变化，该传感器可将粘度变化转化为水在pH试纸条上流动长度的变化，从而实现对生物标志物的定量检测。

结果：作者利用基于明胶的凝胶，基于透明质酸或支链淀粉的黏溶液作为响应底物，响应底物可被酶特异性水解而发生凝胶-溶胶转变或粘溶液粘度降低，表现为水在pH试纸条上流动长度的增大，从而分别实现了胰蛋白酶、透明质酸酶和α-淀粉酶的检测。此外，利用相分离诱导的粘度变化实现了对脂肪酶的检测。Ca^{2+}能够与海藻酸钠快速结合形成具有“蛋盒”结构的水凝胶并发生相分离，从而诱导溶液粘度降低。脂肪酶催化三油酸产生的油酸会与Ca^{2+}结合生成油酸钙，从而抑制相分离的发生，表现为水在pH试纸条上流动长度的增大，从而实现了对脂肪酶的检测。

结论：我们的研究提供了一种非常简单、成本效益高、高通量且无标记的方法，无需使用标记分子、合成颗粒和专用仪器即可快速定量检测生物标志物，这使其在POCT方面非常有前景。

关键字：粘度；聚合物；纸；流量传感器；生物标志物

ID 590

适用于复杂场景的可穿戴式少通道脑机接口设计

李晓东[1,2,3]、曹翔[1,2,3]、王俊霖[1,2,3]、胡勇[1,2,3]

1. 香港大学深圳医院
2. 香港大学深圳研究院
3. 香港大学

目的：脑机接口在医疗健康领域具有很高应用价值，可以在肢体运动障碍治疗、改善患者日常沟通等多个方面发挥积极作用。但是，目前的脑机接口存在用户体验不佳、使用门槛较高等问题，使其难以在临床应用中广泛使用。

方法：本研究提出了一种适应于各种场景、高易用性的可穿戴式脑机接口系统，通过配置小型脑电采集器和在线自适应典型相关分析（OACCA）算法实现稳态视觉诱发电位范式下的多目标识别。本研究招募了15位被试者在现实场景下进行系统测试，并且通过简化实验准备步骤缩短准备时间、模拟在生活中的应用。

结果：在本研究中，8通道干电极的平均准备时间为38.40秒，而湿电极为103.40秒，显著低于以往的脑机接口实验。虽然EEG信号质量低于实验室条件下收集的数据集，但可穿戴EEG采集系统在该实验设置下仍能采集有效的EEG信号。在线实验表明，使用湿电极的平均分类准确率超过90%，比干电极高了20%，而湿电极的信息传输率比干电极高了18bit/min。同时，干湿电极的准确率差异具有显著的个体差异。离线实验证明，该系统配置的OACCA算法在所有条件下均优于常用的FBCCA算法。结果表明，少量湿电极或多通道干电极的解决方案具有较高实用性，可以在操作简便性和BCI性能之间取得平衡。

结论：该可穿戴式脑机接口在现实场景下具有良好的性能。总体上，该系统具有可穿戴性强、准备简单、性能稳定的优点，有助于脑机接口技术在临床中推广和应用，从而提升患者的生活质量。

关键字：脑机接口；稳态视觉诱发电位；可穿戴系统

ID 723

癌症诊疗的电刺激和电化学法

金永东、齐国华

深圳大学

目的：尽管当今时代科技发展日新月异、新型疗法层出不穷，癌症依然是21世纪威胁人类健康的主要杀手；开发精准高效、微创且费用相对低廉的癌症诊疗手段和策略，仍是当前肿瘤临床诊疗的迫切需求，将为癌症患者延长寿命并减少治疗成本带来福祉。

方法：电刺激是一种能有效调节细胞和机体活动的治疗方法，与其它分析手段和诊疗仪器相结合可开展一些疾病的诊疗研究。因操作简单、成本低，近期人们尝试使用电活性纳米材料进行电刺激肿瘤治疗[1]。但因缺乏电刺激细胞水平的基本认知，该领域的研究进展缓慢。

结果：近期，我们将电刺激与单细胞SERS检测技术和超声成像技术相结合，开展了肿瘤活体治疗的尝试、并在细胞水平上对其疗效进行了深入探究。我们发现癌细胞比健康细胞更易在较低的刺激电压下(< 1 V)死亡；通过设计智能SERS探针结合荧光成像,系统揭示了电刺激下癌细胞/正常细胞的一些不同分子应激反应，如线粒体膜电位振荡、Cyt c释放和细胞酸化、快速激活caspase-3诱导的细胞凋亡、磷脂酰丝氨酸在细胞膜上的外化等；发现低压电刺激能引发“多米诺效应”

，诱导线粒体功能障碍、阻碍电子传递链(ETC)和三羧酸(TCA)循环路径,导致癌细胞能量供应危机及死亡； 结合AFM力谱技术，揭示了电刺激抑制癌细胞能量代谢的分子机制及细胞骨架损伤的纳米力学见解。在此基础上，我们制备了超声激活的Au/ ZnO纳米发电机-实现小鼠瘤体的电刺激/纳米催化联合治疗；开发了基于针灸电极的肿瘤自体产氢电化学疗法(H2-ECT)，及升级版的超声成像指导的H2-ECT /声动力联合疗法。近期，我们还将电刺激癌症治疗与光热贴片技术相结合，成功用于小鼠皮肤癌的电刺激增强光热贴片治疗。

结论：由于电刺激和电化学法方法简单、有效，且所需装置和器械费用相对低廉，这些初步的实质性进展研究将助推人们对电刺激癌症治疗的研究兴趣、以及新疗法的未来实际临床应用。

关键字：癌症诊疗、电刺激、医用电化学、氢气治疗

ID 875

Noninvasive Electrical Impedance Tomography Monitoring during Total Aortic Arch Replacement: incremental value for prediction of postoperative neurological deficit

Chen Yang[1],Wenjing Zhu[2],Yitong Guo[2],Xuetao Shi[2],Zhenxiao Jin[1]

1. Xijing Hospital of Air Force Medical University

2. Department of Biomedical Engineering of Air Force Medical University

Objective: Type A aortic dissection (TAAD) is a life-threatening cardiovascular disease, and the total aortic arch replacement (TAAR) is one of the most effective treatments for TAAD. Although the reported survival after TAAR has been increasing in the past 20 years, the incidence of postoperative neurological deficit (ND) remains high. Thus, increasing attention has been focused on noninvasive multimodal neuromonitoring (NMN) in order to guide neuroprotective interventions and protect patients from brain injury. However, to our knowledge, current techniques provide indirect or post-insult recognition of irreversible brain injury, and devices to continuously monitor and prevent neurological injury in patients during TAAR are rather limited. Near-infrared spectroscopy (NIRS) and transcranial doppler (TCD) are the most commonly used devices for neuromonitoring during cardiac surgery, but their correlation with postoperative ND remains controversial. Compared with other neuromonitoring techniques, electrical impedance tomography (EIT) estimates the electrical properties at the interior of an object in a noninvasive, non-radiative, real-time and functional manner, which makes it have potential clinical application prospects. In this study, we validated the feasibility of EIT for NMN during TAAR and assessed the correlation between EIT parameters extracted from the hypothermic circulatory arrest (HCA) phase and incidence of postoperative ND.

Methods: The study protocol was approved by the ethics committees of Xijing Hospital, Air Force Medical University (KY20222253-C-1) and was registered in the Chinese Clinical Trial Registry (ChiCTR2200065932). A total of 414 TAAD patients underwent TAAR from July 2020 to December 2021 were screened (Figure S1). According to the inclusion and exclusion criteria, 151 patients were ultimately included in this study. In this study, a 16-electrode EIT system was applied to the intraoperative monitoring of patients' brain impedance during total aortic arch replacement. In order to extract significant information from electrical impedance signals during the HCA phase, we calculated six parameters based on average resistivity value (ARV). The HCA phase has been most studied and considered to be the riskiest phase. Six parameters of EIT signals regarding to the hypothermic circulatory arrest (HCA) phase were extracted. The first three parameters (ΔARV_{HCA}, k_{HCA}, ACR_{HCA}) focused on describing changes in whole-brain impedance, while the last three ($MRAI_{HCA}$, $TARI_{HCA}$, $MRAR_{HCA}$) focused on describing impedance imbalances between the left and right hemispheres. The correlation between changes in EIT parameters and postoperative ND were fully explored. Furthermore, incremental value of EIT parameters to ND prediction was also confirmed.

Results: A total of 151 patients were recruited. The incidence of ND was 39% (59/151), of which stroke was 15.2% (19/125).

The differences in 30-day mortality (18.6% vs. 6.5%, P = 0021) and 2-year mortality (25.4% vs. 9.8%, P = 0.010) between the ND+ and ND- groups were statistically significant. Of the EIT parameters during the HCA phase, only the time integral of absolute value resistivity asymmetric index ($TRAI_{HCA}$) had significant difference between ND+ and ND-. A higher level of $TARI_{HCA}$ indicated that prolonged brain perfusion imbalance during the HCA phase can predict postoperative ND. Further multivariate analysis showed that TRAIHCA, the maximum value of the absolute resistivity asymmetric ratio ($MRAR_{HCA}$), age, body mass index, supra-aortic branch vessel involvement, and operation time were independent predictors of ND. The area under the curve that adding EIT parameters to clinical model significantly be improved from 0.752 to 0.817 (P = 0.027). The incremental value of EIT parameters was also reflected in the improvement of risk reclassification and discrimination for postoperative ND (net reclassification index = 0.510 (0.091,1.003), P = 0.002; integrated discrimination improvement = 0.072 (0.030, 0.113), P < 0.001).

Conclusion: The EIT parameters can effectively predict ND after TAAR. This study demonstrated the incremental value of EIT parameters over other predictors of ND after TAAR, suggesting that cerebral EIT may be one of the alternatives for real-time bedside noninvasive multimodal neuromonitoring. The results of this study need to be validated in further studies.

Key Words: Electrical impedance tomography; Noninvasive multimodal neuromonitoring; Total aortic arch replacement; Cardiopulmonary bypass; Postoperative neurological deficit

ID 1126

融合多模态信息的电阻抗成像在医工交叉领域的应用研究

赵东东、刘静茹、李炳辰、陈真诚

桂林电子科技大学

目的：电阻抗层析成像技术基于不同介质和分布具有不同电导率特征的原理，通过测量被测场域边界的电信号，重构出被测场域内的介质分布，具有无损、无创、无辐射、低成本、时性强以及便携性等诸多优势，已广泛应用于医学成像、地质勘探和工业检测等领域。现有成像算法具有分辨率不高、反演过程可控性低、成像结果可解释性差和成像算法泛化能力不足等诸多不足。本文针对以上问题，围绕融合多模态信息求解电阻抗层析成像反问题的数学物理机理，开展“图像+数据+物理机理”多模态信息联合驱动电阻抗成像算法研究。

方法：首先，本文将应用于计算机视觉领域的监督下降优化方法引入到高度非线性电阻抗层析成像问题求解中，并利用CT或MRI图像和电磁层析成像整体结构的相似性，通过交叉梯度函数约束该问题，构建“图像+数据+物理机理”联合驱动的复合目标函数，确保图像信息和物理机理约束反演成像的全过程；其次，充分发挥机器学习优化方法数据驱动的优势特点，通过训练得到相对简单的梯度下降方向，避免高维海森矩阵和雅克比矩阵关联项的巨额计算成本，兼顾传统迭代优化方法过程可控、结果可解释和算法可泛化等优良特性；最后，设计医工交叉领域的理论模型验证融合多模态信息的电阻抗成像的可行性、有效性和稳定性。

结果：模型测试算例结果显示融合多模态信息的电阻抗成像算法的成像效果相比传统迭代优化方法和机器学习优化方法有明显的优势。

结论：研究结果表明该算法可以有效提高反演成像分辨率、反演过程可控性、成像结果可解释性和算法泛化能力，对检测及监测组织和器官电特性相应的生理、病理状态和功能信息，研究人体组织与器官功能变化和疾病诊断方面有重要的临床应用价值。

关键字：电阻抗层析成像；多模态信息；医工交叉

ID 1164

基于头皮脑电的间期癫痫样放电事件自动检测

孙宇林[1]、关敏[4]、何润南[1]、周环[4]、刘秀云[1,2,3]

1. 天津大学
2. 先进医用材料与医疗器械全国重点实验室
3. 脑机交互与人机共融海河实验室
4. 暨南大学附属第一医院

目的：癫痫作为一种常见的神经系统疾病，其诊断和管理在很大程度上依赖于对脑电图（EEG）中的间期癫痫样放电（IEDs）的准确检测。然而，传统的手动检测方法不仅效率低，而且易受主观判断的干扰。本研究旨在开发一种基于U-Net架构的自动化IED单通道水平检测框架（U-IED），提升检测效率与准确性。

方法：U-IED框架利用了深度学习中的多任务学习方法，将EEG序列分割和IED识别任务整合在一起。该框架通过优化后的U-Net网络对EEG信号进行精准分割，并借助分类分支对分割结果进行IED识别。本研究使用了天普大学脑电语料库（TUH EEG Corpus）中12名癫痫患者的头皮EEG作为数据集（总时长超过133分钟，包含19335个经专家标注的IEDs）进行模型训练和验证。模型训练采用多任务学习策略同步优化分割和分类任务。评估策略包括留一被试法交叉验证，全面涵盖片段、像素、事件和受试者四个维度。

结果：U-IED框架在多项评估指标上表现出了优异的性能。片段水平上，其召回率、精确度和F1分数分别达到0.8753、0.8623和0.8622。事件水平上，相应指标为0.8298、0.9179和0.8648。此外，受试者层面的评估结果显示，模型预测的IED空间分布与专家注释高度一致，Kullback-Leibler散度（KLD）指标的平均值仅为0.1643，表明模型在预测IED在大脑空间分布方面的高度可靠性。

结论：本研究开发的U-IED框架，为临床EEG分析提供了一个高效、可靠的自动化IED检测解决方案，预期将极大提升癫痫诊断和管理的效率。未来研究将聚焦于多通道EEG数据的联合后处理方法，旨在进一步提升预测准确性和降低假阳性率。

关键字：间期癫痫样放电；脑电；U-Net；多任务学习；癫痫

ID 1191

金包银纳米三角岛屿联合超疏水硅底双重SERS增强用于检测膀胱癌早期标志物APOA1

李杭卓[1]、朱键[1]、翁国军[1]、李剑君[1]、李磊[2]、赵军武[1]

1. 西安交通大学生命科学与技术学院
2. 西安交通大学第一附属医院

目的：膀胱癌是泌尿系统中最常见的恶性肿瘤类型。目前，膀胱镜、CT、MRI等体内肿瘤检测方法可以实现膀胱肿瘤的定性、定位和部分分期检测，但检测程序复杂，且对于早期膀胱癌检测敏感性不足，并存在尿路炎症和损伤等副作用。膀胱癌患者尿液中的APOA1表达水平远高于正常人（临界浓度=11.16 ng/mL），且在膀胱癌早期APOA1就会高表达。因此，尿液APOA1的精准定量对于早期膀胱癌检测具有重要临床意义。SERS检测具有带宽窄、灵敏度高和耐光漂白等优

点，是实现低含量APOA1高灵敏检测的极具潜力途径，对膀胱癌早期精准无创诊断具有重要意义。

方法：本研究制备了表面具有岛屿的金壳银核纳米三角结构（Ag@Au Island），并以DTNB作为拉曼信号分子。将检测抗体和捕获抗体分别与Ag@Au Island和磁珠修饰后，采用抗原抗体结合的方式形成Ag@Au Island-抗原-磁珠的免疫夹心结构，通过磁吸收集后滴加到超疏水硅底上富集浓缩，然后使用拉曼光谱仪采集信号，实现APOA1含量检测。

结果：制备了一种表面具有岛屿的金包银纳米三角结构，Ag@Au Island的尖端效应和等离激元耦合效应使该纳米结构具有优异SERS性能。然后以PS薄膜作为基底，通过调节PS微球的尺寸和比例调控基底粗糙度。对PS微球薄膜进行喷金处理后，与疏水分子全氟葵硫醇（PFDT）连接，使基底达到超疏水效果，其接触角为158±0.8°。将Ag@Au Island和磁珠通过抗原抗体形成复合物后与超疏水硅底联用制备了APOA1超疏水免疫检测平台，实现了APOA1在100 fg/mL-100 ng/mL范围内的检测，检测限为52 fg/mL。

结论：Ag@Au Island联合超疏水硅底的双重SERS增强策略，为早期膀胱癌的临床诊断提供一种高灵敏特异性的无创诊断方法。

关键字：Ag@Au Island，SERS，超疏水，早期膀胱癌，APOA1

ID 1273

Study on Pulmonary Function Measurement Method Based on Forced Oscillation Technique

Mengyuan Wang[1],Bingxin Liu[1],Yuhui Nie[1],Junjie Lin[1],Tao Yin[1,2,3],Zhipeng Liu[1,2,3],Shunqi Zhang[1,2,3]

1. Institute of Biomedical Engineering

2. State Key Laboratory of Advanced Medical Materials and Devices, Tianjin, 300192, China

3. Engineering Research Center of the Ministry of Education for Respiratory and Critical Care Diagnostic and Treatment Technology and Instruments, Tianjin, 300192, China

Objective:

The forced oscillation technique (FOT) enables the early diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) by non-invasively measuring the flow and pressure changes that are fed back from the respiratory system when oscillations are applied under normal respiration. These changes are quantified as impedance, reflecting airway obstruction and its distribution, with minimal patient cooperation required. This study aims to use a differential pressure sensor, control acquisition circuit, and MATLAB software to explore an innovative pulmonary function measurement method utilizing FOT. The integration of smart devices and multi-frequency analysis will enhance its applicability in both clinical and community settings, providing robust support for comprehensive pulmonary function assessment. This approach promises to revolutionize respiratory health monitoring by offering precise and accessible diagnostic tools for early detection and ongoing management of respiratory conditions like COPD.

Methods:

In this study, based on the forced oscillation technique (FOT) principle, we designed a signal generation module capable of producing sinusoidal forced oscillations. During the breathing process, the flow signal Q and pressure signal P obtained from a differential pressure sensor are collected through a controlled acquisition circuit. A MATLAB-designed processing program is used for real-time display and subsequent computational processing. By referring to the second-order linear system model, we calculated the respiratory impedance Z(R+jX), where the real part R represents the viscous resistance-related component in the respiratory system, and the imaginary part X indicates the compliance-related component. The accuracy of this measurement method was verified by comparing the measured values against a standard impedance with

known resistance ratings. Additionally, respiratory impedance data from a healthy volunteer with no smoking history were collected and compared with results from a conventional clinical pulmonary function test instrument. This comparison confirmed the method's precision and reliability. The integration of smart devices and multi-frequency analysis will further enhance the applicability, effectiveness, versatility, and utility of FOT in both clinical and community settings, providing robust support for comprehensive pulmonary function assessment.

Results: Compared with the standard impedance with a rated resistance of 0.4903 kPa·s/L, the device designed in this study demonstrated an overall averaged result of 0.4929 ± 0.0063 kPa·s/L across three tests at 5 Hz, 10 Hz, and 20 Hz. In contrast, the clinical spirometer (Master Screen IOS) showed 0.3333 ± 0.0058 kPa·s/L, with the specific result for three tests on a healthy volunteer at 5 Hz being 0.3392 ± 0.0094 kPa·s/L. These comparisons validate the accuracy and stability of the pulmonary function test instrument developed in this study. The device also offers real-time display of pressure and flow signals using MATLAB software and can fit impedance and frequency change diagrams based on the measurement results. This functionality allows for the rapid calculation of essential parameters such as Fres and AX, which are crucial for clinical lung function evaluation. Moreover, the integration of smart devices and the application of multi-frequency analysis technology enhance the utility and convenience of the device, making it more suitable for widespread use in both clinical and community settings. This comprehensive approach to visual feedback and parameter calculation provides robust support for precise and efficient lung function assessment, highlighting the instrument's potential as a reliable tool in respiratory function testing.

Conclusion: The forced oscillation technology (FOT) used in this study, based on the measurement of pulmonary function parameters, enables the generation, synchronous acquisition, and visualization of continuous signals at 5Hz, 10Hz, and 20Hz. This method is characterized by its simple and convenient operation, along with comprehensive parameter calculation. The integration of smart devices and the application of multi-frequency analysis technology will expand the use of FOT in both clinical and community settings. This will significantly enhance lung function assessment by providing robust assistance and enabling early detection and monitoring of pulmonary diseases. As a result, FOT technology promises to become a vital tool in respiratory health management.

Key Words: Forced Oscillation Technique, Respiratory Impedance, Pulmonary Function Test, Visual Feedback

ID 1280

基于强迫振荡技术的肺部阻抗计算方法研究

刘秉鑫[1,2]、王梦源[1,2]、聂羽慧[1,2]、林俊杰[1,2]、刘志朋[1,2,3,4]、殷涛[1,2,3,4]、张顺起[1,2,3,4]

1. 中国医学科学院生物医学工程研究所
2. 天津市神经调控与修复重点实验室
3. 先进医用材料与医疗器械全国重点实验室
4. 呼吸与危重症诊疗技术与器械教育部工程研究中心

目的：强迫振荡技术（FOT）通过施加一定频率的正弦振荡于正常呼吸时的呼吸系统，同时采集呼与吸过程中的流量与压力信号来计算呼吸系统的相关参数，实现对于肺部阻抗的测量从而完成对于肺部状态（包含气道黏性阻力与肺部顺应性）的评估。因此，研究如何从获得的呼吸信号中提取有效振荡信息并进行精确的阻抗计算具有十分重要的意义。

方法：本研究将呼吸系统假设为电气线路二阶线性系统模型，首先将采集所得流量与压力信号复制延展进行频域上的细化后进行FFT变换，根据强迫振荡技术所施加的5Hz、10Hz与20Hz三种频率信号进行提取，以此滤除低频的呼吸信号干扰，后进行相除得到复数形式的阻抗。拟合绘制阻抗与频率相关图像，虚部与X轴交点即得到共振频率Fres，与坐标轴所围成面积即为AX。为验证算法正确性与是否能体现肺部状态，测量并计算了五位肺部健康的志愿者的肺部阻抗、Fres和

AX，根据其身高、体重、年龄和性别计算了健康人群的参考值与测量结果进行了对比。

结果： 对五位健康志愿者的阻抗数据进行多次测量取均值并与健康人群的参考值对比，阻抗的差值均小于0.05kPa*L/s，且二者P值为0.0137（小于0.05）具有相关性，与参考值的误差可能由于个体差异产生。这一比对证明了测量计算所得肺部阻抗在误差允许范围内的正确性。

结论： 本研究所建立的针对FOT技术的肺部阻抗信号处理与相关计算方法，可以有效去除呼吸对于信号的干扰，实现肺部阻抗的准确计算，并拟合阻抗与频率绘制图像，实现Fres和AX的计算，对于临床应用FOT技术测量评估肺功能具有一定意义。

本研究受到中国医学科学院医学健康前沿交叉项目2023-I2M-QJ-017，天津市多元投入基金项目面上项目21JCYBJC00870，中国医学科学院重大协同创新项目2023-I2M-2-008的资助。

关键字： 强迫振荡技术 呼吸阻抗 气道阻力 傅里叶变换

ID 1313

Probing Single Cell Adhesion Kinetics and Nanomechanical Force with Surface Plasmon Resonance Imaging

Dehong Yang,Xiaoyin Liu,Yunxiao Wang,Baiqi Cui,Di Wang,Qingjun Liu,Fenni Zhang

Zhejiang University

Objective: Single cell adhesion plays a significant role in numerous physiological and pathological processes, spanning from tumor metastasis and cell differentiation to immune response and inflammation. The detailed cell adhesion process includes the initial molecular recognition and binding, accompanied by nanomechanical interaction occurring between cells and the adherent sites. These nanomechanical interactions are directly correlated with cellular nanomechanical force and bioenergetics, and providing comprehensive insights into cell-substrate interaction for cellular communication and signaling. Current measurements of nanomechanical force, including atomic force microscopy, micropipette aspiration, optical tweezers and magnetic twisting cytometry, normally involve applying controlled detachment forces to adherent cells, which are thus invasive. However, the active responsiveness of living cells to external perturbations or stresses highlights significant limitations in using these invasive techniques to assess the detailed adhesion process of live cells. Therefore, in situ and non-invasive imaging and quantification of single cell adhesion kinetics and corresponding nanomechanical force with high throughput is crucial for understanding complex cellular interactions and for identifying new biomarkers for tumor metastasis and drug screening. Plasmonic-based imaging technique is label free and highly sensitive to small changes in the refractive index near the plasmonic surface, providing direct sensing and imaging of cell-substrate interaction in real time, and can be used for cell adhesion analysis. Furthermore, plasmonic-based imaging technique can capturing the transient and subtle change of cell adhesion, which offering a more comprehensive view than traditional techniques.

Methods: Here, a plasmonic-based nanomechanical sensing and imaging system (PNMSi) was introduced for the real time measurement of single cell adhesion kinetics and associated nanomechanical forces with the plasmonic tracking and monitoring of cell-substrate interactions and accompanying nanoscale membrane fluctuations. By detailed plasmonic tracking and monitoring of cell-substrate interactions process and accompanying sub-nanometer cell membrane fluctuations of single HeLa cells, both the slow binding and dynamic nanomechanical interaction processes were tracked and analyzed with a thermodynamic model to determine the adhesion kinetic parameters and nanomechanical forces. Multiple single cells were tested and analyzed to map cell-to-cell adhesion heterogeneity.

Results: To demonstrate the capability of real time adhesion kinetic quantification analysis, the interaction between poly-L-lysine-coated surface and single HeLa cells was imaged and measured. Aim to describe how rapidly cells bind with substrate, we calculated the equilibrium position and time constants of multiple single cells (n = 30) to quantify cell adhesion

kinetic, which is 28.14 ± 9.24 nm and 30.93 ± 93.41 min respectively. To further explore and quantify the nanomechanical interaction during single cell adhesion process, cell fluctuation amplitudes, cell Gibbs free energy profiles and effective spring constant were statistically analyzed. From the results, it is evident that with prolonged cell attachment time, both the Z-position and cell fluctuation amplitudes gradually decrease, while the effective spring constants progressively increase, and the effective spring constant is negative correlates with equilibrium position. Furthermore, we investigated the real time single cell binding interactions changes of HeLa cells under different chemical microenvironment, utilizing self-assembled monolayers (SAMs) of alkanethiols carrying terminal amino ($-NH_2$), carboxyl (-COOH), methyl ($-CH_3$), and hydroxyl (-OH) as representative models of different functionalized surfaces in terms of surface charge and wettability, and obvious alterations in binding kinetics and corresponding nanomechanical forces were observed, influenced by surface charges and interfacial hydrophilicity. Additionally, we investigated the dynamic changes of adhesion forces during external crosslinking. 4% paraformaldehyde (PFA) was used as the crosslinking agent to induce mechanical changes between cell-substrate interaction. The effective spring constants are larger in fixed than living conditions, revealing the crosslinking induced cell adhesion changes. And the distribution of effective spring constants after the PFA treatment was wider, indicating that the cells were heterogeneous and some of the cells were more resistant to changes in the mechanics.

Conclusion: The PNMSi platform facilitates high throughput single cell adhesion imaging and the quantification of adhesion kinetics and nanomechanical force with high sensitivity. By adopting this system, we not only quantify the cell adhesion force magnitude, but also obtain a deeper understanding of single-cell force dynamics in cell adhesion process. This novel technique offers in-depth understanding of single-cell adhesion mechanisms and has potential applications in identifying new biomarkers for tumor metastasis and for screening potential therapeutic agents.

Key Words: single cell adhesion, nanomechanical force, adhesion energy, surface plasmon resonance imaging, cell-substrate interactions

ID 1320

Plasmonic Imaging of Single Cells for Surface Glycosylation Profiling

Xiaoyin Liu,Dehong Yang,Jinbiao Ma,Yunrui Zhang,Yunxiao Wang,Di Wang,Qingjun Liu,Fenni Zhang

浙江大学

Objective: Cellular glycosylation plays a crucial role in cell recognition and intracellular signaling, making it a key factor in disease development. Recent studies have highlighted the significance of cell surface glycosylation alterations in tumor initiation, malignancy, and metastasis, as well as in anti-tumor immunity, and tumor immune escape. For example, the upregulation of α-2,6 sialic acid expression is associated with liver cancer development, while the increased β-1,6 acetylglucosamine glycosylation of epithelial cadherin correlates with tumor cell dissociation and invasion. Therefore, profiling cell surface glycosylation offers crucial insights for tumor disease diagnosis and molecular targeted therapy. However, the current gold standard methods for cellular glycosylation detection are mainly based on the mass spectrometric analysis of isolated glycans, involving the complicated isolation and laborious purification process for membrane glycan extraction. The in-situ detection and profiling of cellular glycosylation remain difficult. To realize the in-situ direct detection of cellular glycosylation, various methods have been proposed, including fluorescent labeling, electrochemical detection, and probe labeling-based surface-enhanced Raman scattering. Although sensitive, the labeling based assays are mostly qualitative or semi-quantitative, and specific design of the labeling probes are required for multiplex glycans detection. Additionally, it is still difficult to map the distribution of glycans expression on single cell. Surface plasmon resonance (SPR) is a typical label-free and mass sensitive technique, providing quantitative binding kinetic signals for molecular detection. When coupled with imaging optics, the SPR detection can further resolve the local spatial information for high throughput kinetic measurement. Previously, we have demonstrated that the in-situ quantification of membrane proteins can be achieved

with antibody binding and cell-based surface plasmon resonance imaging. However, enhancing sensitivity and multiplex detection capability for single-cell profiling remains a priority, necessitating substantial innovations in sensing strategies, optical detection, and kinetic analysis models.

Methods: Here, we present a label-free optical method to probe and quantify the expression of different glycans on single cells using lectin-glycan kinetic quantification with whole-cell based surface plasmon resonance imaging. Three representative lectins, wheat germ agglutinin (WGA), soybean agglutinin (SBA), and concanavalin A (ConA), were employed to bind with specific surface glycans on individual cells, and an optimized binding kinetics model was used to extract multiple binding kinetics from single lectin binding curves based on the difference of detailed lectin-glycan kinetics in each binding pair. Based on the specific lectin-glycan kinetic quantification, different glycans were recognized and quantified for glycosylation expression determination.

Results: The binding kinetics and expression profiles of the three lectins are quite different on single HeLa cells, indicating cell-to-cell glycosylation heterogeneity. To demonstrate the diagnostic potential of our method, we investigated the glycosylation patterns in oral cancer cells during malignant transformation, utilizing the normal human epithelial cell line Hacat, the human precancerous cell line DOK, the oral squamous cell carcinoma cell line Cal-27, and the metastatic oral squamous cell carcinoma cell line HSC-3 as representative models. And some glycosylation alteration patterns were observed. Based on these changes, we further conducted principal component analysis (PCA) to cluster these cell lines for tumor progression detection and have successfully distinguished these cells at different stages based on their glycosylation profiles.

Conclusion: We described here a label-free optical detection method for profiling glycosylation on single cells, facilitating the quantification of binding kinetics and glycan expression levels. The imaging capability of this label-free method allows for the mapping of individual cell responses, while the real-time detection capability provides quantitative insights into membrane-bound glycans density and lectin interaction kinetics. These results demonstrate that our method enables direct profiling of glycosylation and quantification of glycans expression levels and binding kinetics without the need for labeling. This approach holds promise for advancing our understanding of cellular processes and disease mechanisms, potentially leading to the development of novel diagnostic and therapeutic strategies.

Key Words: surface glycosylation, single cell, binding kinetics, plasmonic imaging, label free

ID 1339

Microfluidic Particle Dam for Visual Quantification of Urine Albumin and Creatinine

Chenyu Cui,Hogi Hartanto,Ting-hsuan Chen

City University of Hong Kong

Objective: Chronic kidney disease (CKD) is a global health concern due to its rising prevalence and significant morbidity and mortality. Urine albumin-creatinine ratio (uACR) is a valuable tool for early CKD identification and monitoring. However, current urine albumin and creatinine detection methods like electrochemistry, fluorescence and liquid chromatography require sophisticated instruments, long turnaround times, and high costs. To simplify the process, paper-based urine dipsticks were developed, but their color-based detection can be ambiguous. In light of the issue above, we aim to 1) achieve visual and quantitative detection of urine albumin and creatinine without the need for external signal processing devices and 2) develop a simple, fast, low-cost and portable device which can be at-home used to help general public to screen and monitor CKD.

Methods: 1. Albumin detection based on competitive immunoassay

Magnetic microparticles (MMPs) were modified with albumin while polymer microparticles (PMPs) were modified with anti-albumin antibody. When albumin is absent, MMPs and PMPs can connect due to the specific binding between albumin coated on MMPs and anti-albumin antibody coated on PMPs, forming MMPs-PMPs complex. While on the other hand, the presence of albumin in urine will inhibit the anti-albumin antibody on PMPs binding with albumin coated on MMPs, resulting in the disconnection between MMPs and PMPs.

2. Creatinine detection based on Fenton reaction

In the absence of creatinine, Cu^{2+} is first reduced to Cu^{+} by H_2O_2, and the produced Cu^{+} subsequently reacts with H_2O_2 using the Fenton reaction, generating hydroxyl radicals that randomly fragmentizes single-strand DNA oligonucleotides through oxidative damage. To visualize the DNA damage, a DNA connector (DC), a single-strand DNA, is used to connect MMPs and PMPs through DNA hybridization, forming a sandwich structure, MMPs–DC–PMPs. When creatinine is absent, the cleavage of DC induced by ·OH leads to separation of MMPs and PMPs. However, the presence of creatinine will inhibit Fenton reaction due to the formation of complexes between copper and creatinine, which cannot cause damage to DC. As a result, MMPs and PMPs will connect due to the existence of intact DC.

3. Visual quantification of albumin and creatinine on microfluidic particle dam

To visualize the altered particle connection, the particle solution is loaded onto a microfluidic chip containing a magnetic separator in the inlet to remove the free MMPs and MMPs-PMPs in albumin detection and MMPs–DC–PMPs, leaving the PMPs to continue flowing until being trapped and stacked at particle dam. As a result, the trapping length of PMP accumulation, which is similar to a thermometer-like display and proportional to the concentration of albumin or creatinine, can be easily read and interpreted by the naked eye.

Results: 1. Analysis of albumin and creatinine

We recorded the trapping length with a varied concentration of albumin and creatinine. The resulted showed an increasing trapping length with the albumin concentration increased from 0 to 173.8 mg/L and a decreasing trapping length with the increase of creatinine concentration from 0 to 10mg/mL. The trapping length was proportional to Log (albumin concentration) and creatinine concentration, respectively, which can achieve visual quantification of albumin and creatinine. Here, LOD of 4.281 mg/L for albumin assay and LOD of 1.86 mg/mL for creatinine detection were achieved.

2. Tolerance to Interferences

For selectivity detection, only the presence of albumin resulted in the increase of PMP trapping length and the presence of creatinine caused a significant decrease in PMP accumulation length while other interferences didn't show obvious decrease of trapping length. Next, we tested our assay in different target concentrations with different pH levels. The results showed both albumin and creatinine assays are stable in acidic and alkalic conditions. The above tests validate our assay can be a compatible method for detecting albumin and creatinine concentrations for urine samples.

3. Detection of albumin and creatinine in clinical urine samples

Next, we tested a total of 20 urine clinical samples from Prince of Wales Hospital for albumin and creatinine concentration by our microfluidic chip and cross-referencing them to the measured value by standard method which are radioimmunoassay for albumin test and Jaffe's reaction for creatinine measurement. Here, we achieved a good correlation with Lin's concordance correlation coefficient of 0.9356 for albumin assay and 0.9033 for creatinine assay, respectively. We then also compared the uACR value that we obtained to the uACR value by standard method. After analysis, a substantial Lin's concordance correlation coefficient of 0.9545 is achieved, which indicates our assay's accuracy and reliability in real clinical samples test.

Conclusion: This work presented a simple, rapid and portable test for visually quantifying urine albumin and creatinine using the microfluidic particle dam. The method achieved LOD of 4.281 mg/L for albumin and 1.86 mg/mL for creatinine and showed good selectivity and tolerance to pH. After testing albumin and creatinine in clinical urine samples, a correlation coefficient above 90% were achieved, demonstrating its potential for CKD diagnosis and monitoring.

Key Words: Microfluidic Particle Dam, Albumin, Creatinine, Visual Quantification

ID 1515

Design of hemoglobin sensor based on metal nanomaterial modified electrode

Meina Chen,Guocheng Han

Guilin University Of Electronic Technology

Objective: Hemoglobin(Hb) is a vital substance in organisms, which plays an indispensable role in the transport of O_2 in the circulatory system. And abnormal Hb level is also the main factor leading to anemia. Therefore, it is of great significance to design a convenient, low-cost and accurate sensor for detecting Hb content in human blood in clinical diagnosis and disease prevention. In this paper, a glassy carbon electrode(GCE) was used as the substrate, gold nanoparticles(AuNPs) were deposited at constant potential, and ferrocenecarboxylic acid(Fc(COOH)) was used as an electrochemical probe. Through the interaction between Hb and Fc(COOH), an electrochemical sensor for rapid detection of hemoglobin was constructed. The main research contents are as follows:

(1) AuNPs were electrodeposited on the surface of GCE by potentiostatic deposition method, and then Fc(COOH) was dropped onto the surface of AuNPs/GCE.Finally, the Hb solution was added to the prepared Fc(COOH)/AuNPs/GCE modified electrode surface. Scanning electron microscopy(SEM) was used for physical characterization, scanning electron microscopy(EDS) was used for elemental analysis, and differential pulse voltammetry(DPV) was used for electrochemical characterization to determine that the modifier has been successfully fixed on the electrode surface.

(2) The single factor experiment method was used to optimize the experimental conditions. The optimal incubation temperature of Hb was 30 °C, the optimal pH value of the reaction medium was 7.0, the optimal fixation amount of Fc(COOH) was 5 μL, the optimal fixation time of Hb was 30 min, and the optimal deposition potential of AuNPs was -0.5 V.

(3) Under the optimal experimental conditions, the sensor was quantitatively analyzed. The linear relationship between different concentrations of Hb and the response current of the sensor was detected by DPV method. The linear equation was I(μA) = 0.0427c (μg/mL) + 8.4681(R^2 = 0.98), the linear range was 10~1000 μg/mL, the detection limit was 0.24 μg/mL.

(4) The selectivity, stability and reproducibility of the constructed Fc(COOH)/AuNPs/GCE hemoglobin sensor were investigated.

(5) The sensor was used for actual sample detection and its recovery rate was investigated. Human serum samples were detected by spiked recovery method, and the spiked concentrations were 0, 200, 400, 600 μg/mL. The recovery rate ranged from 96.42% to 99.08%, and the relative standard deviation(RSD) was less than 6.0%.

Methods: Scanning electron microscope (SEM); Electrochemical method; Differential pulse voltammetry; Single factor variable method

Results: (1) AuNPs were electrodeposited on the surface of GCE by potentiostatic deposition method, and then Fc(COOH) was dropped onto the surface of AuNPs/GCE.Finally, the Hb solution was added to the prepared Fc(COOH)/AuNPs/GCE modified electrode surface. Scanning electron microscopy(SEM) was used for physical characterization, scanning electron microscopy(EDS) was used for elemental analysis, and differential pulse voltammetry(DPV) was used for electrochemical characterization to determine that the modifier has been successfully fixed on the electrode surface.

(2) The single factor experiment method was used to optimize the experimental conditions. The optimal incubation temperature of Hb was 30 °C, the optimal pH value of the reaction medium was 7.0, the optimal fixation amount of Fc(COOH) was 5 μL, the optimal fixation time of Hb was 30 min, and the optimal deposition potential of AuNPs was -0.5 V.

(3) Under the optimal experimental conditions, the sensor was quantitatively analyzed. The linear relationship between different concentrations of Hb and the response current of the sensor was detected by DPV method. The linear equation was I(μA) = 0.0427c (μg/mL) + 8.4681(R^2 = 0.98), the linear range was 10~1000 μg/mL, the detection limit was 0.24 μg/mL.

(4) The selectivity, stability and reproducibility of the constructed Fc(COOH)/AuNPs/GCE hemoglobin sensor were investigated.

(5) The sensor was used for actual sample detection and its recovery rate was investigated. Human serum samples were detected by spiked recovery method, and the spiked concentrations were 0, 200, 400, 600 μg/mL. The recovery rate ranged from 96.42% to 99.08%, and the relative standard deviation(RSD) was less than 6.0%.

Conclusion: In this paper, a glassy carbon electrode(GCE) was used as the substrate, gold nanoparticles(AuNPs) were deposited at constant potential, and ferrocenecarboxylic acid(Fc(COOH)) was used as an electrochemical probe. Through the interaction between Hb and Fc(COOH), an electrochemical sensor for rapid detection of hemoglobin was constructed.

Key Words: Hemoglobin; Ferrocenecarboxylic acid; Gold nanoparticles; Electrochemical sensor; Electrochemical probe

ID 1613

面向医疗健康领域的光电触觉传感器结构设计及信号分析

周远志、徐伟良、邹志彬、李昕明

华南师范大学

目的：触觉会影响人类感知外界物体的交互反馈以及对自身运动相关的身体感觉。随着医疗、运动、人机交互、虚拟现实等领域的发展，触觉感知技术在智能感知系统中的价值愈加凸显。通过传感系统的设计，建立光电信号与触觉信息的映射关系，对于智能感知系统的发展至关重要。本报告将重点介绍基于电学及光学的触觉感知技术，通过空间结构调控、基本模型探讨，建立光电信号和实际运动模式之间的准确映射关系，从而实现类人的“触觉感知”。

方法：触觉传感器的光电信号变化是与器件中的弹性体变形相关。由于人体运动时体表变形的复杂性，导致传感器的信号难以和运动行为建立直接联系。通过调节多个传感器的空间构形，利用应变传感器对基本的形变模式的响应规律，可以利用传感器的信号差异将复杂的变形解耦为多种基本变形的效果叠加，从而构建信号-变形-运动的准确映射关系。针对交互过程中接触界面上的复杂信息，能够通过光场分布特征建立与物体表面及接触状态的映射关系。通过引入机器学习算法，能够实现对于光电信号中复杂信息的解耦，映射为触觉信息。

结果：针对触觉中的动觉成分，利用机器学习算法，基于两路传感单元的空间构形设计实现了对25种复合形变的解耦（5种拉伸长度与5种弯曲角度的组合），准确率达到95%。基于三路传感单元实现了对于拉伸、剪切、扭转的组合形变的解耦。最终，传感器被集成在穿戴式的护腕上，展示了在腕关节上上的动觉感知能力。针对触觉中的压觉成分，利用相机采集的光场分布特征，机器学习算法能够识别接触物体的种类、接触力以及接触姿态。

结论：总而言之，本报告将介绍面向医疗健康领域的触觉传感器研发，并从器件设计、信号结构的角度分析触觉传感器在生理运动检测任务中开发的基本问题与难点，展示在健康监测、人机交互领域的应用潜力。

关键字：穿戴电子；运动感知；器件设计

ID 1720

人类脑积水发生相关基因的鉴定及其斑马鱼动物模型验证

宋欣[1]、庞美俊[1]、孙宇林[1]、刘秀云[1,2,3,4]

1. 天津大学医学院
2. 天津大学药学院
3. 天津大学先进医用材料与医疗器械全国重点实验室
4. 脑机交互与人机共融海河实验室

目的：脑积水是一种由脑脊液过度积聚导致的脑室扩大、颅内压升高的神经系统疾病。其病因复杂，发病率高。流行病学研究表明40%以上的先天性脑积水病例由遗传因素引起，然而仅有不足5%的病例确定了遗传病因。因此，鉴定并验证与脑积水发生相关基因对于理解疾病发病机制、开发新型治疗策略具有重要意义。本研究旨在通过全外显子测序（WES）在脑积水患者中鉴定潜在致病基因。并利用CRISPR/Cas9技术在斑马鱼模型中靶向敲除该基因以验证其在脑积水发生中的作用，探究其致病分子机制并观察其对形态学及行为学的影响。

方法：首先对45名脑积水患者血样进行WES并通过生物信息学方法筛选显著突变的脑积水候选基因。进一步设计并构建针对该基因的4-sgRNA靶向序列，显微注射导入斑马鱼Ⅰ细胞期胚胎以构建目标基因缺失的斑马鱼模型。最后利用Sanger测序技术验证斑马鱼基因敲除效果，观察并记录斑马鱼脑室肿大、脊柱侧弯等形态学改变以及游泳、平衡等行为学指标变化。

结果：本研究成功在脑积水患者中鉴定出多个高度保守且突变显著的基因。其中，efhc1基因突变率高达29%，其在纤毛结构及其功能完整性中发挥重要作用。Sanger测序结果表明，对该基因的CRISPR/Cas9敲除效率为100%，突变体目标基因序列展现出100%的SNP突变以及20%的插入/缺失突变。与对照组相比，突变体斑马鱼展现出了明显的脑室肿大和脊柱侧弯表型，且斑马鱼的平衡能力和游泳行为均显著减弱。以上结果表明，该基因可能是脑积水发生的关键基因之一，其功能缺失可能通过影响纤毛运动导致脑脊液循环障碍，进而引发脑积水。

结论：通过结合WES和CRISPR/Cas9基因编辑技术，成功鉴定出与脑积水发生密切相关的基因efhc1，并利用斑马鱼模型验证该基因致病性。为脑积水疾病的发病分子机制研究提供了新的视角和基因靶标。未来，针对该基因的深入研究有望为脑积水的早期诊断、预防及治疗提供新的思路和方法。

关键字：脑积水；CRISPR/Cas9; 脊柱侧弯；斑马鱼

ID 1748

基于仿生识别传感的环境干扰物毒性评估及其分析研究

荆涛、沈阳、庄知佳

华中科技大学

目的：甲状腺相关疾病发病率在过去30年间显著上升，环境污染可能是主要危险因素。然而，人群精细暴露甲状腺素干扰物现况不清，难以针对性开展防治。

方法：本研究研制一台便携式采样装备，完成了全国多个城市大气颗粒物的时空序列采集，并准备多种仿生识别材料，建立高灵敏毒性评估方法，通过环境多污染物分析和甲状腺素干扰毒性筛选研究，筛选主要效应贡献物，并通过人群研究和动物实验进一步阐述化合物的毒性机制。

结果：本研究阐明大气颗粒物中264种污染物的赋存现况，并依据前期甲状腺素干扰毒性评估体系（涉及干扰甲状腺素合成、转运、跨膜、脱碘、核受体结合的 11 个毒性靶点），揭示四溴双酚A是大气颗粒物中的主要毒性组分。然而，四溴双酚A生物利用度很低，难以直接吸收入血，主要存在于粪便中，且具有一定的累积自由基效应，能够导致大鼠肠道氧化损伤并通过脑-肠轴引起甲状腺素神经调节紊乱，最终导致甲状腺素干扰效应。此外， 本研究首次论证了17种SPAs的甲状腺素系统干扰毒性效应，人群研究方向SPAs的单独和联合暴露与甲状腺素水平相关，且部分关联存在年龄差异，证明4-tOP、AO 44B25、2,4-DTBP和AO 2246为代表的SPAs 具有甲状腺素干扰毒性。动物研究证明4-tOP、AO 44B25、2,4-DTBP和AO 2246四种SPAs对母代和子代斑马鱼甲状腺系统存在干扰作用。

结论：集合人群精细暴露采样分析和毒性评估，揭示四溴双酚A是大气颗粒物中主要毒性组分。由于这类化合物通过脑-肠轴间接紊乱甲状腺素系统，而非直接毒性效应。此外，本研究 首次从体外实验、人群研究和斑马鱼实验，论证了17种SPAs的甲状腺素系统干扰毒性效应，及其对子代神经系统发育的毒性机制。

关键字：甲状腺素干扰毒性；个体暴露监测；大气颗粒物；四溴双酚A

ID 2034

Intraoperative Assessment of Microimplantation-Induced Acute Brain Inflammation Using Titanium Oxynitride-Based Plasmonic Biosensor

Linlin Liu

Shanghai Jiao Tong University

Objective: Recent advances in functional microimplants have made significant inroads in sensory and functional restoration for a diverse range of clinical applications from auditory and visual restoration to brain-computer interfaces. Invasive neuro-electrodes, for example, hold promise for brain-computer interface (BCI) and the restoration of sensorimotor function in patients with neurodegenerative disorders such as Parkinson's disease and epilepsy. These also allow individuals with physical disabilities or neurological disorders to control external devices using decoded electrocorticography (ECoG) or intracortical microelectrode signals, bypassing the need for traditional neuromuscular pathways. The process of microimplantation, however, is generally accompanied by biosafety concerns including inflammatory events occurring at the surgical sites. For instance, cortical implants have been observed to trigger acute inflammation, resulting in irreversible neuronal loss and damage to oligodendrocyte, microglia and astrocytes in the vicinity of the neural microimplants. This ultimately leads to the formation of glia scar, which subsequently hinders the functionalities of the microimplants. In other words, acute inflammation during implanting operation may impact the function of both neurological tissue and implanted microelectrodes. Therefore, point-of-care detection and intraoperative assessment of the inflammation response is essential to ensure the safety and effectiveness of the implantable micro-devices.

Methods: This study presents the use of titanium oxynitride (TiNO) nanofilm with defined surface plasmon resonance (SPR) properties for point-of-care characterizing of acute inflammatory responses during robot-controlled micro-neuro-implantation. By leveraging the collective oscillation of stimulated free electrons, plasmonic biosensing methods can sensitively detect biomolecular interaction and local refractive index (RI) alteration in a label-free and quasi-real-time manner. Moreover, plasmonic biosensing methods can further fasten the inflammation quantification by point-of-care testing of biological samples, such as cerebrospinal fluid (CSF). By sampling and testing CSF during BCI electrode implantation, the quasi-real-time status of the tissue-level inflammatory response can be revealed. In contrast, the accumulation of inflammatory biomarkers in the circulating bloodstream would require a considerable amount of time before reaching measurable levels, hence leading to a notable delay in obtaining test results. On the other hand, by leveraging the enriched hydroxyl groups on the surface, the TiNO biosensor can be initially functionalized through silanization, which employed a well-established alkoxysilane compound, (3-aminopropyl) triethoxysilane (APTES) as the anchoring ligands. Based on the

specific antibody-antigen interaction, the TiNO-based plasmonic biosensors are capable of detecting cytokine interleukin-6 (IL-6) molecules in CSF samples.

Results: Through biosensing characterization with standard solutions, this label-free TiNO-SPR biosensor exhibits a high sensitivity toward the inflammatory cytokine IL-6 with a detection limit down to 6.3 fg ml-1 and a short assay time of 25 minutes. The recovery of the spiked IL-6 in artificial CSF complex samples containing 10 pg ml-1 TNF-α and 10 pg ml-1 IL-1β were 96.1% and 93.4%, respectively. Based on their high sensitivity, specificity and rapid detection scheme, the TiNO-SPR biosensors were deployed to monitor the local cytokine IL-6 concentrations during brain microelectrode implantation in mouse models. By point-of-care measurements, the rhythm of acute inflammatory responses induced by the robot-controlled brain microelectrodes implantation has been successfully depicted and the operation risks has been evaluated.

Conclusion: Investigation utilizing mouse models has specifically demonstrated that the acute inflammatory reactions triggered by the craniotomy operation may be mitigated within approximate 3 hours, thus implying that this potential operation window can be utilized for microelectrode implantation. Moreover, TiNO-SPR biosensors enabled continuous monitoring of the brain inflammatory responses after the placement of microelectrodes, thus making it a potential and feasible approach to quickly assess the effectiveness of the neuro-electrodes. This work explored a novel field of utilizing intraoperative and point-of-care TiNO-SPR biosensing technique to assess the brain responses toward BCI microelectrode implantation. As an important consequence, this might potentially provide a promising avenue for optimizing the implantation strategies and eliminating irreversible injury to the targeted tissues.

Key Words: brain microimplantation, inflammation, titanium oxynitride, plasmonics, biosensing, interleukin-6

ID 2367

基于纸基微流控比色法的高尿酸血症尿液指标智能检测

李海琴、王翠翠、李晓春

太原理工大学

目的：高尿酸血症（Hyperuricemia，HUA）是嘌呤代谢紊乱引起的代谢异常综合征，其发生发展是一个慢性、连续的病理过程，与痛风、慢性肾脏疾病及心血管等疾病等密切相关，已逐渐成为一种全球公共卫生负担。因此，亟需开发一种精准、快速、便携地检测与监测HUA尿液标志物的新技术，对提升HUA诊疗效率、精细化管理、延缓病程发展具有重要意义。

方法：基于此，该研究提出了一种基于纸基微流控的HUA尿液多指标（尿酸（UA）、肌酐（CR）和pH值）智能监测系统。该系统从纸基微流控芯片制备、尿液分析仪装置研发、应用程序开发和临床验证四方面展开研究，为HUA的居家检测及长期监测提供了一种新的技术方案。为了实现三项指标同时联合定量检测，设计了便携式高尿酸血症尿液指标分析仪，为高灵敏、精准定量提供了稳定且均匀的光照环境，满足了现场快速便携检测的需求。开发了HUA Detection App，结合制作的纸基微流控设备和分析装置实现了每个指标的精确量化。

结果：通过对反应原理、反应条件、色度值选取等多方面优化，UA、CR和pH的检测范围分别为0-1.5 mM、0-50 mM和4.0-8.5；UA和CR的检测限分别为0.0178 mM和0.5983 mM，pH的灵敏度为0.1，满足临床检测的需求。为了验证该方法的临床可行性，进一步对加标样本进行检测并将检测结果与分光光度法所得结果对比，两种方法检测结果一致性均达到99%以上。此外，该系统与医院的HITACHI 7600全自动分析仪、URIT-500B尿液分析仪和AU5800B全自动生化分析仪对100例真实尿液样本的检测结果具有较高的一致性。

结论：综上所述，该工作为HUA尿液标志物的日常检测与监测提供了一种准确、快速、低成本、可靠的技术方案，在慢病标志物监测领域有着良好的应用前景。

关键字：移动医疗；高尿酸血症；纸基微流控分析；比色分析；生物医学传感

ID 2405

基于功能纤维共培养的三维细胞球构建及活性小分子原位测量

胡梦婕、朱灵、胡梦佳、洪银辉、陈大竞

杭州师范大学

目的：过氧化氢（H_2O_2）是肿瘤微环境中重要的生物信号分子，参与多种信号转导。与二维细胞相比，三维细胞模型能够更好地模拟仿生肿瘤微环境。然而，三维细胞中紧密的团簇结构限制了 H_2O_2 的扩散，使得 H_2O_2 的检测受到限制。并且目前常见的细胞共培养支架材料基本为绝缘材质，限制了其在电化学传感领域的应用。基于以上问题，本文采用了具备传感功能的纳米纤维支架与细胞共培养形成三维细胞球模型，用于原位监测药物调控下细胞球内 H_2O_2 浓度。

方法：本文制备了碳纳米管（MWCNTs）纤维支架，将对 H_2O_2 具有高灵敏度特异性响应的铂纳米颗粒（PtNPs）化学还原沉积在 MWCNTs 支架表面，得到 MWCNT-PtNPs 复合支架。将上述支架以最佳掺杂比例 0.05% 与细胞共培养两天得到基于功能支架的三维细胞球模型。采用阿霉素、鱼藤酮和 H_2O_2 酶清除剂（CAT）作为模式药物刺激细胞球，利用荧光探针法和电化学传感技术对药物调控后细胞释放的 H_2O_2 水平进行检测。

结果：由结果可知，功能支架均匀分布在细胞球内部，与细胞紧密结合。功能支架的响应电流与 0.5-3.0 μM H_2O_2 浓度呈高度线性相关（R^2=0.9931），灵敏度为 180 nA/μM，检测限为 6.7 nM。测试 7 天后，电流响应值仍维持在初始电流值的 90% 以上，具有长期稳定性和重现性。阿霉素和鱼藤酮处理后，细胞球荧光强度和电化学响应均增强，20 μM 阿霉素和 6 μM 鱼藤酮处理组分别产生 8.4 nA 和 10.2 nA 的电流信号，这说明 H_2O_2 释放增加，并且结果表明 H_2O_2 水平与药物呈剂量依赖性。鱼藤酮处理后再加入 CAT，H_2O_2 释放减少，该结果与细胞传感平台检测到的 H_2O_2 含量变化一致。

结论：综上所述，本文构建了一种基于功能支架的三维细胞球内 H_2O_2 原位监测平台，实现了仿生三维肿瘤微环境下细胞球内活性小分子的实时连续检测。

关键字：功能支架； 三维细胞培养； 活性氧小分子； 电化学传感

ID 2410

To C端疾病标志物检测的关键技术及仪器研发

李晓春

太原理工大学

目的：近年来，现场快检以实时快速、便携、低成本等优势已成为医疗诊断领域的重要发展方向之一。层出不穷的创新型POCT诊断技术在临床诊疗、公共卫生防控及大健康管理中展现出了极具优势的应用价值和广阔的应用前景。其中，尿样与血样在疾病标志物现场快检在医疗诊断中发挥着至关重要的作用。然而，尿液与血液样本中的色素、红细胞等会干扰检测结果。因此，迫切需要研发一种快速、高效分离前处理尿样及血样的技术手段，对疾病标志物的准确、高灵敏定量具有重要意义，同时为疾病的早期诊断、长期监测及病程的精细化管理提供一种有力工具。

方法：随着微纳米技术、生物技术、计算机技术、信号处理技术的融合，在不断增长的生化分子实时监测需求的推进下，我们团队将纳米材料制备技术、全血分离前处理技术、免疫层析分析、智能检测技术与图像比色分析等进行有机

结合。从智能检测光学系统研究、算法原理开发、生物传感设计多方面创新，面向ToC端研发了高灵敏度、小巧轻便、智能的生化检测技术与仪器。

结果：基于水凝胶包埋活性炭脱色及显色技术，实现了尿样中亚硝酸盐、白细胞酯酶及细菌含量多指标联合可视化检测，对快速、准确的诊断尿路感染具有重要的临床意义。除此之外，利用了纸基成本低、易于处理、无毒降解、无需施加驱动等诸多优点对全血进行了分离，同时结合侧向免疫层析技术对疾病标志物进行检测，无须等待报告，优势明显。在缩短血样周转时间的同时减少了血样送检产生的各种不确定因素，实现一步式对全血中相关疾病标志物的快速检测。

结论：综上所述，团队研发的基于水凝胶包埋活性炭脱色与显色技术、纸基全血分离免疫层析技术是To C端疾病标志物检测的关键技术，能够实现尿液、血液中疾病标志物的快速精准定量，对疾病的早期筛查和长期监测具有重要意义。

关键字：移动医疗；生化传感；智能检测技术及仪器

ID 2434

用于体液快速疾病筛查的高性能微纳生物传感技术研究

万浩、王平

浙江大学

目的：人体的体液如血液、尿液和唾液中含有各类与人体健康密切相关的生物标志物。通过快速、准确地检测这些生物标志物，可以应用于疾病筛查、疗效评价与日常健康管理。传统的实验室生化检测难以满足疾病快速筛查与日常健康管理的要求，因此亟需研制用于体液疾病标志物的现场快速检测技术。

方法：生物传感器具有成本低、操作简便和微型化的特点，为现场、即时检测提供了一种有效的技术手段。由于体液中疾病标志物的含量低、干扰物质多，为了实现高灵敏、特异性的生化检测，纳米材料被用于构建高性能的生物传感器，具有导电性好、高比表面积、优异的光学、电学和催化等特性，结合光学、电化学等换能元件，实现疾病标志物的快速检测。

结果：为了实现与尿结石相关草酸标志物快速检测，我们合成了 MnO_2 纳米片，利用其仿生氧化酶特性建立了基于 TMB 的比色反应体系，实现尿液草酸的快速检测。进一步研制了一种条带式的草酸半定量纸试条检测方法，试纸条上条带的数量可以指示草酸的浓度范围。为了实现尿结石相关柠檬酸盐的检测，我们通过对银纳米颗粒进行表面功能化，并利用与铝离子竞争反应的特性，实现柠檬酸盐的光学检测。为了进一步实现尿结石的准确筛查，我们提出了一种基于纳米铜簇作为生物仿生过氧化物酶的双光谱策略，用于同时检测尿液中的柠檬酸盐和草酸盐。为实现疾病相关蛋白标记物的检测，我们设计并制备了一种具有抗体载体、催化和信号放大功能的 AuNPs@HRP@FeMOF 免疫支架，并通过检测唾液样本中的 Cyfra21-1应用于口腔癌筛查 。针对多种蛋白标志物同时检测的需要，开发了一种基于量子点荧光微球的试纸条检测技术，实现血清中的三种心衰生物标记物的快速、同步检测。

结论：围绕体液快速疾病筛查的需求，结合新型纳米材料，我们研制了一系列用于疾病标志物快速检测的高性能生物传感器，将为疾病筛查、疗效评估、预后追踪和日常健康管理等提供有效的技术手段。

关键字：生物传感器；纳米材料；比色检测；即时检测

ID 2741

基于贝叶斯优化的同步EEG和MEG的组合源定位算法设计

武琪迪、常世杰、沙宪政、苏娟
中国医科大学

目的：EEG和MEG作为两种非侵入性的神经成像技术，已经在神经源活动的检测上取得了一定的成果。但同时，EEG和MEG各自在时间和空间分辨率上的缺陷也在制约了单模态数据在神经源活动检测上的精度和敏感度的提高，因此寻找一种方法能够将EEG和MEG相结合来进行神经活动源定位的分析是十分重要的。在本研究中，我们将通过贝叶斯优化的方法对EEG和MEG的前向模型进合并，生成一种联合EEG和MEG的前向模型，以对同步EEG和MEG数据同时进行源定位分析，提高源定位的精度。

方法：本论文以进行EEG和MEG联合源定位分析为框架，通过使用贝叶斯优化方法计算出一个联合EEG和MEG的前向模型，结合dSPM，MNE，sLORETA等多种源定位方法来进行对比实验，设计出一个可以进行EEG和MEG同步数据联合源定位的前向模型计算方法。本论文所使用的数据集包含基于样本数据集的模拟数据和真实数据集，对源定位结果的多种指标进行分析。

结果：本论文提出的贝叶斯优化联合EEG和MEG前向模型在敏感度表现上比单种前向模型显著提高。在模拟数据集上使用三种源定位方法的源定位结果中平均偏移量为3.44mm，在灵敏度的表现最高达0.46和特异性上最高达0.73。联合前向模型在真实数据集源定位分析上也有着良好的表现。

结论：本论文创新性的提出了基于贝叶斯优化合并EEG和MEG前向模型用于联合数据源定位的方法，并成功设计出能够应用于同步EEG和MEG数据联合源定位分析的前向模型，通过实验和对比显示，该前向模型比单模态前向模型在多个指标和多种实验中均表现更好。很好地解决了目前神经源活动分析中使用单种数据类型在时间和空间分辨率上的缺点，对神经科学研究领域也有一定帮助作用。

关键字：EEG；MEG；源定位；贝叶斯优化

ID 2776

细胞外囊泡的分离检测和生物医学应用研究

戴宗、许宇智、张浪、殷文、施亚坤
中山大学

目的：纳米囊泡是一种广泛应用的纳米载体，具有良好的生物相容性、可降解性和功能多样性等优点，在药物递送、生物传感、疾病诊疗等领域具有良好的应用前景。以细胞外囊泡（EVs）为基础的多功能策略，能实现响应、调节、装载、靶向等多重功能一体化，但EVs在分离纯化、亚型分析、灵敏检测，以及功能化的智能设计和制备等实际应用中仍然面临诸多挑战。

方法：我们以纳米囊泡为基础，开发了基于3D纸芯片的新型外泌体高效分离和高灵敏检测平台（Exo-IsoPD）；进一步基于此构建了基于3D纸芯片的癌细胞来源外泌体纯化装置；建立了基于双适配体功能化纳米金（AuNPs）的蛋白异构EV亚群分离新方法；发展了基于丁达尔效应的适配体/AuNPs传感平台用于外泌体的蛋白谱学分析；进一步对纳米囊泡进行功能化设计，发展了功能化纳米囊泡用于改善肝缺血再灌注损伤（HIRI）药物递送的新应用。

结果：开发的Exo-IsoPD平台可有效从复杂的细胞培养液和血清样品中快速分离外泌体，表现出高纯度、高产率和高

回收率，成功实现对复杂血清样品中肝癌细胞和正常肝细胞来源外泌体的准确定性分析；建立的基于双适配体功能化纳米金（AuNPs）的蛋白异构EV亚群分离新方法首次提出T细胞受体-CD3复合物（TCR-CD3）二聚EV亚群存在的可能性，成功实现了TCR-CD3单体EV亚群（mCD3 EVs）和TCR-CD3二聚EV亚群（dCD3 EVs）的分离；发展了功能化纳米囊泡用于改善肝缺血再灌注损伤（HIRI）药物递送的新应用，改善环孢素A（CsA）在治疗HIRI时的低生物利用度、高副作用及其纳米制剂易被巨噬细胞清除等缺陷。

结论：通过对纳米囊泡进行功能化设计，实现了对纳米囊泡从制备、分离、成像方法的研究和药物递送的生物医学应用。

关键字：细胞外囊泡；分离纯化；亚群分析；功能化修饰

ID 2822

应用新型静脉引流管在腔静脉阻断的VA-ECMO下左心室血流动力学研究

李双磊

解放军总医院第一医学中心

目的：动静脉体外膜氧合（VA-ECMO）可用于各种原因引起的心源性休克（CS）患者的救治。但ECMO在提供良好的循环支持和充分的组织灌注同时，逆向血液会增加左心室后负荷，可能导致心肌缺血等情况发生，因此需要进行左心室减压。当前的解决方案包括房间隔造瘘、IABP及Impella等，外科操作风险高，卫生经济负担重，亟待提出新的解决策略来优化。本研究基于自主研发带球囊的新型插管，通过阻断上下腔静脉，从而实现左心室减压

方法：实验动物选取100 kg小尾寒羊，麻醉后置入压力容积环（PV-Loop）导管，结扎前降支制造缺血性心源性休克模型。心功能严重减低后行ECMO辅助，随后分别采用新型插管或多级管行腔静脉阻断。评估冠状动脉阻断前、心功能严重减低后、腔静脉阻断前和腔静脉阻断后的血流动力学变化。检测指标主要为PV-Loop和心脏超声的各项参数。我们还将缺血性心源性休克的实验羊分为两组，分别进行常规插管或腔静脉阻断下的ECMO辅助4小时，随后饲养5-7天后，取心肌组织进行病理染色

结果：当ECMO运转时，阻断上下腔静脉后，PV-Loop的数据显示左心室做功、室壁压力和容积相关参数显著降低（$P<0.01$），Ea值升高。在超声数据上EDV降低，室壁张力相关参数有所改善。术后5-7天的心肌病理结果提示，相较于对照组，腔静脉阻断组病理染色梗死面积和阳性区域面积有降低趋势。在腔静脉阻断前，左室做功、容积和压力相关参数显著降低（$P<0.01$）。在腔静脉阻断时，所有动物均表现出舒张末压力和容积的明显下降（$P<0.01$）

结论：我们证实了腔静脉阻断法在ECMO辅助心功能重度减低的CS早期，可以表现出即刻、显著的改善左心室血流动力学的优势。本研究自主研发的带球囊ECMO插管，对于ECMO运转后的左心室减压是有效的。在ECMO运转后早期介入这一左心减压措施，可能在未来为患者带来更好的临床获益和经济效益。其安全性有待通过未来进一步印证

关键字：体外膜氧合；心源性休克；左心室减压；腔静脉阻断

ID 2934

Application of Novel Biosensors in Biomedical Detection

Axin Liang
Beijing Institute of Technology

Objective: In the contemporary landscape of biomedical science, the advent and continuous evolution of novel biosensors have emerged as a revolutionary force, fundamentally transforming the paradigms of biomedical detection. Novel biosensors, armed with advanced technologies and innovative designs, offer unprecedented capabilities in the sensitive and specific detection of various biomolecules. These biomolecules, often serving as crucial indicators of physiological and pathological processes, include but are not limited to proteins, nucleic acids, metabolites, and hormones. One of the remarkable applications of these biosensors lies in the early diagnosis of diseases. For instance, in the case of cancer, biosensors can detect minute amounts of tumor-specific biomarkers present in body fluids such as blood or urine, even before the manifestation of clinical symptoms. This early detection significantly enhances the chances of successful treatment and improves prognosis. Furthermore, these biosensors play a pivotal role in monitoring the progression and treatment response of chronic diseases. In conditions like diabetes, continuous glucose monitoring biosensors provide real-time data, allowing for precise insulin dosing and better glycemic control. Similarly, in cardiovascular diseases, biosensors can measure biomarkers related to heart function and inflammation, enabling timely intervention and personalized treatment adjustments. The use of biosensors in infectious disease diagnosis is another area of great significance. They can rapidly detect the presence of pathogens and their associated antigens or nucleic acids, facilitating prompt initiation of appropriate therapeutic strategies and containment of outbreaks. Notably, the integration of nanotechnology and microfluidics into biosensor design has further enhanced their performance. Nanomaterials, with their unique properties, increase the sensitivity and selectivity of detection, while microfluidic systems enable efficient sample handling and multiplexed analysis. In addition to clinical applications, novel biosensors are also indispensable in biomedical research. They facilitate the exploration of complex biological processes at the molecular level, contributing to the discovery of new therapeutic targets and the development of innovative drugs. In conclusion, the application of novel biosensors in biomedical detection represents a significant advancement in healthcare. Continued research and development in this field hold the potential to revolutionize medical practice, leading to more accurate diagnoses, personalized treatments, and ultimately, improved patient outcomes and overall public health. However, despite the numerous advantages and promising prospects, challenges remain. Issues such as sensor calibration, stability over time, and interference from complex biological matrices need to be meticulously addressed to ensure the reliability and reproducibility of results.

Methods: This review presents an in-depth exploration of the diverse and significant applications of novel biosensors within the domain of biomedical detection. The rapid advancements in biosensing technologies have led to the development of highly sensitive and specific tools that have transformed the landscape of biomedical analysis.

Novel biosensors have emerged as indispensable instruments for the detection and quantification of a wide range of biomolecules, including proteins, nucleic acids, metabolites, and small molecules. These sensors capitalize on cutting-edge materials and techniques, such as nanomaterials, microfluidics, and advanced signal transduction mechanisms. In the area of disease diagnosis, they have shown remarkable potential. For instance, in cancer detection, biosensors can identify specific biomarkers, including tumor-associated antigens and circulating nucleic acids, with enhanced sensitivity and at earlier stages compared to traditional methods. This early identification is crucial for initiating timely and appropriate therapeutic interventions, thereby improving prognosis.

Results: In cardiovascular disorders, biosensors play a vital role in monitoring biomarkers related to heart function and damage, enabling precise assessment and management of the disease. They also contribute significantly to the diagnosis of infectious diseases by rapidly detecting pathogens and their associated molecules, facilitating prompt treatment and control of outbreaks. Furthermore, these biosensors have found extensive use in therapeutic monitoring. They allow for real-time tracking of drug levels in the body, optimizing dosage regimens and minimizing adverse effects. In the field of cell

therapy, they provide valuable insights into the fate and functionality of transplanted cells. Beyond diagnosis and therapy, novel biosensors have enhanced our understanding of fundamental biological processes. By detecting and measuring neurotransmitters and metabolites, they help elucidate the complex mechanisms underlying neurological disorders and metabolic dysfunctions. Despite the numerous advantages and promising applications, challenges remain. Issues such as sensor stability, reproducibility, and the complexity of biological matrices need to be addressed to ensure the reliable and widespread clinical adoption of these technologies.

Conclusion: In conclusion, the integration of novel biosensors in biomedical detection holds great promise for advancing healthcare. Continued research and development efforts are essential to overcome existing limitations and unlock their full potential, ultimately leading to improved patient care and outcomes.

Key Words: Biosensor; Biomedical detection; Application

ID 2981

室温下基于ZnO/LIG纳米复合材料的高灵敏度低检测限丙酮气体传感器

付文渊、杨丽

河北工业大学

目的：传统有创血糖检测糖尿病的方法给患者身心带来巨大痛苦。人体呼出气中的丙酮是糖尿病的生物标志物，通过检测丙酮呼出气可实现糖尿病的无痛、无感早筛，这对治疗糖尿病至关重要。传统设备进行呼气检测造价极高、体积庞大、不便携。虽然基于呼气诊断的低成本无创糖尿病测量备受关注，但所需的气体传感器仍然难以实现高灵敏度、低检测限和低功耗。本研究旨在提出一种制备简单、能够在高湿度工况下检测微量丙酮的高灵敏丙酮气体传感器，应用于糖尿病早筛和治疗评估。

方法：本研究提出了一种基于异质结构氧化锌(ZnO)/激光诱导石墨烯(LIG)复合材料的超低检测限高灵敏度丙酮气体传感器，在大气环境下利用二氧化碳激光器辐射聚酰亚胺（Polyimide，PI）薄膜制备LIG叉指电极，通过滴涂法，将ZnO纳米球修饰到LIG上，制备丙酮气体传感器；通过引入SBA-15分子筛，实现了湿度的有效阻隔。

结果：所制备的ZnO/LIG丙酮气体传感器在相对湿度为30%的室温条件下能够实现丙酮气体的高灵敏检测：对1 ppm丙酮的响应量为-24%，响应恢复时间为21/23 s，实验证明(或理论)的超低检测限为4 ppb(或334 ppt)，较宽的检测范围为4 ppb-5 ppm，良好的选择性以及7天以上的稳定性。进一步结合分子筛涂层，丙酮气体传感器可以准确检测呼出气体等高湿度环境中的丙酮，糖尿病人呼出气电阻变化率在17%-35%之间，而健康人呼出气的电阻变化率在6.7%-11.7%，能够将糖尿病患者与健康人区分，用于早期诊断和治疗评估。

结论：本研究基于激光直写技术，提出了氧化锌与激光诱导三维多孔石墨烯构建的p-n异质结有效提高气敏性能策略，实现了高灵敏度、快速响应和低检测限的ZnO/LIG丙酮气体传感器制备，引入SBA-15分子筛，实现了湿度的有效阻隔，在糖尿病实际诊断筛查应用方面具有重大应用前景。

关键字：氧化锌/激光诱导石墨烯复合材料；激光直写；丙酮气体传感器；糖尿病患者呼气分析

ID 3019

CLAL：基于深度学习的青少年早期抑郁症自动检测模型

戴坤岐
中国医学科学院北京协和医学院

目的：抑郁症是一种在青少年阶段最常见且严重的情绪障碍精神类疾病，可能影响其学业表现、社交关系和整体生活质量，因此早期检测对青少年成长具有现实意义。但是，先前的研究要么只关注单模态的文本信息，要么平等对待每种模态信息，这些方法均无法挖掘到对抑郁症检测更有效的主要特征。因此需要一种更高效的方法实现针对青少年抑郁症的多模态检测任务。

方法：基于上述研究基础，我们根据不同模态信号的特点，设计了一种混合网络架构模型CNN-LSTM-Attention-LSTM，即CLAL模型来完成检测任务。

与现有方法相比，CLAL的模型优势如下：

1、CLAL模型是一种深度神经网络混合模型，规避了单一模型识别抑郁症泛化能力弱的问题。

2、CLAL模型基于多模态特征学习抑郁倾向文本的向量表示，包括文本特征、信号特征和语音特征等，模型具有鲁棒性。

3、CLAL模型结合了各网络的优势。CNN网络优势在于能够提取文本的局部特征，LSTM网络能够捕捉序列数据中的长距离特征。同时CLAL模型中注意力单元实现了特征增强的效果，提高模型的分类准确性。

结果：实验数据共30组，来自22例健康对照组和8例抑郁症患者在朗读任务下的脑电、心电、语音三种模态信号。由于样本量较少，对模型做了10折交叉验证；并使用不同模型和模态向量进行消融实验。91%F1值的交叉验证结果显示，CLAL模型很好地结合了CNN、LSTM以及注意力的优点，具有良好的准确性和稳定性；同时进行的消融实验证明CLAL模型在多模态数据的分类预测具有鲁棒性，也降低了过拟合的可能性。

结论：CLAL模型是一种深度神经网络混合模型，规避了单一模型识别抑郁症泛化能力弱的问题。模型融合了多模态信息，具有良好的鲁棒性。同时注意力模块的加入很好地解决了先前工作平等地处理各模态信息的问题。在数据集上的实验结果证明，模型取得了良好的准确性和泛化性，证明CLAL模型为检测青少年早期抑郁症倾向提供了一种高效的方法。

关键字：青少年抑郁症检测，深度学习，多模态，神经网络

ID 3252

等离激元柔性SERS增强基底的制备及其生化检测应用

翁国军、李剑君、朱键、赵军武
西安交通大学生命科学与技术学院/生物信息工程教育部重点实验室

目的：表面增强拉曼散射（SERS）光谱具有高灵敏度、高分辨率的优点，可表征分子的指纹振动，实现对样品的无损测量，在光谱分析领域具有重要应用。但SERS光谱的灵敏度、稳定性及可重复性与增强基底性能密切相关，常用的SERS基底主要以是玻璃、硅片等硬质基片为支撑材料，存在制备过程复杂、柔性差以及不便携带等缺点。利用纸张或高分子材料作为支撑的柔性SERS基底能有效解决上述问题，并且适用于生物医学、食品安全等领域快速、便携以及个性化检测的需求。

方法：本报告介绍了几种柔性SERS基底的制备方法及其检测应用：（1）利用种子打印法制备金银纳米颗粒纸质柔性SERS基底，构建的纸质基底具有优良的拉曼增强效果和稳定性，可实现猕猴桃表面福美双农药残留检测，对数线性检测范围为0.24-2.4 mg/cm2，检测限低至0.9 ng/cm2；

结果：（2）利用压差膜过滤方法将银纳米三角板胶体颗粒截留并镀附在微孔膜表面，形成柔性SERS基底，用于婴幼儿奶粉中胆碱含量的SERS检测，实现10-3-10-7 M范围内的胆碱检测，最低检测限（LOD）为8.36 nM；（3）通过三相自组装法制备银纳米三角片阵列并转移到PVC/SEBS薄膜表面形成柔性Ag TNPs@PVC/SEBS基底。结合便携式拉曼光谱仪，该柔性皮肤SERS贴片可以实现汗液中皮质醇的特异性检测，检测限低至55 nM，检测范围可达10-7-10-3M，同时具有良好的抗干扰性。

结论：上述研究结果表明，柔性SERS基底在现场实时生化检测领域具有广阔的应用前景，提高柔性SERS基底的稳定性是未来研究的重点方向之一。

关键字：拉曼散射；局域表面等离激元共振；柔性基底；生化检测

ID 3519

具备景深感知的三维遥感触觉交互器件

朱珊珊、邰艳龙、李光林

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：生物感觉运动系统能够获取外界信息，并通过电化学信号传递给内部神经系统以构建与外界环境的相互作用。其中，触觉电子对增强人机协作(HMC)非常有影响力，其主要模仿生物皮肤对外界物体机械运动的感知，包括静态和动态识别。然而，这种传感大多停留在涉及接触/压力的二维(2D)皮肤表面，导致传递外界信息有限并产生不可避免的接触损伤和功耗。对于无接触的三维（3D）空间感知，传统方法如激光、红外、超声等被采用。但由于器件布局复杂、功能难以集成等缺点，限制了其在HMC领域的进一步应用。因此，需要一种能够捕获三维空间物体位置及运动信息的触觉传感器件，进一步构筑人工-生物混合系统以实现触觉感知的增强。

方法：在这项工作中，研究团队提出了一种可拉伸自供能三维遥感触觉器件(3D remote tactile device, 3D-RTD)，其通过导电-介电异质结构实现对外界物体在景深方向(depth-of-field, DOF)机械运动的感知。该器件能够通过感知信号的正/负、频率及振幅与外界物体DOF运动建立精确的逻辑关系，包括识别运动物体的靠近-远离，感知距离达20厘米，频率从0.0625到5 Hz。感知机制通过静电场理论和多物理场模拟来揭示，感知性能通过微观/宏观交互的人工-生物一体化触觉系统进行验证。

结果：作为神经界面贴片，3D-RTD的感知增强和辅助交互功能在避障场景中进行了演示，即大鼠在昏暗的环境中行走，在非接触状态下感受到潜在危险并传递信号给大脑，同时发生动作反馈，实现感觉-感知-交互全过程，这是传统的二维接触式传感器无法实现的。

结论：该工作展示了3D-RTD的场景联系与逻辑识别能力，并可与生物感知相结合，为多模态神经形态器件和类脑智能的发展提供了一种新策略。

关键字：神经形态器件，非接触感知，仿生触觉反馈系统，人工-生物混合系统，感知与交互

ID 3848

面向术中原位压力监测的自黏附传感器研究

刘卓
北京航空航天大学

目的：植入式医用传感器能够在生物体内原位精确感知关键生理参数，为临床评估疾病状态以及制定合适的治疗方案提供重要信息。然而，目前植入式医用传感器不能很好的与组织器官紧密贴合，导致无法获取准确的信息。

方法：我们提出了一种植入式组织黏附的柔性压力传感器(Tissue-Adhesive Piezoelectric Soft Sensor，TPSS)。该传感器由两个核心单元组成：基于贻贝粘蛋白的组织粘附性水凝胶和力-电转换功能的压电传感单元。其中压电传感器将生物力学信号（血管收缩舒张信号）转换为电信号，而黏附水凝胶(AH)通过将传感器无缝地黏附在血管表面来增强整体器件的响应灵敏度。通过剥离、剪切和拉伸方法系统评估了AH的性能，细胞实验验证了材料的生物相容性，精密电测量设备量化了传感器的响应灵敏度。

结果：AH对生物组织和工程材料具有强粘附力，其杨氏模量在25-80 kPa范围内，介于工程材料和生物组织之间，并且具有良好的生物相容性。TPSS表现出良好的体外输出性能，具有 8.3 V 的高输出、超过 6000 次循环的长期稳定性。动物实验结果表明，TPSS固定黏附在血管表面不会给生物体带来损伤，可以反馈血管压力变化。当TPSS完成血压监测使命后可以轻松的从血管上剥离。该传感器具有优异的机械柔韧性和耐久性，可适应手术过程中的原位血压动态实时监测。

结论：粘性水凝胶与柔性压力传感器的集成，实现了生物系统与植入式电子医疗器件之间的无缝且高效交互。该研究工作的设计思路为下一代植入式生物电子器件提供参考。

关键字：压力传感器，柔性器件，心血管疾病，组织黏附，水凝胶

ID 4024

机械振动诱发上肢肌肉响应的能量传递检测

陈厚鋆、许贤意、吴小鹰、陈琳、侯文生
重庆大学生物工程学院 重庆 400000

目的：本体感觉是对身体位置和运动的感知，其依赖于肌肉、关节等感受器响应。脑卒中患者术后在运动、本体感觉等方面表现出不同程度的功能障碍。上肢康复机器人牵引患者运动的同时施加振动刺激，可进一步刺激肌肉等感受器，诱发本体感觉。为了探究运动过程中，振动能量对本体感觉的调控作用，有必要先明确机器人牵引运动过程中，振动能量传递至手臂所诱发出肌肉等感受器的机械振动响应，以及振动参数对振动能量向上肢主要肌群传递的耦合特性影响。

方法：本研究采用集总参数法建立了三自由度的机器人-手臂振动传导生物力学模型。基于运动过程中手臂动平衡状态，通过力学分析建立了系统机械等效模型。实验中，受试者右利手以15%最大自主收缩力握住手柄。康复机器人将手臂牵引至四个不同的空间静态位置，并在此状态下对手臂施加振动。振动方向分别沿X、Y轴；振频分别为10 Hz、15Hz、20 Hz和25 Hz；振幅分别为1 mm、1.5mm、2 mm。采集前臂远端、前臂近端和上臂肌群处的振动信号，并基于三者振动传递率，通过最小二乘法确定模型参数。

结果：不同姿态下的模型预测响应与实验测量响应的均方误差均值为0.0129，表明参数辨识结果能够较为准确拟合不同静态位置下的肌群振动响应。当机器人施加恒定方向振动时，随着上肢空间位置变化，三个位置的肌群振动响应方向也会发生变化。在10-25 Hz低频振动区间，振动传递率随振频升高而降低。机器人振幅增高，传递至目标肌群的振动能量增加，但振动传递率并未发生显著变化。

结论：本研究建立了三自由度机器人-手臂振动传导生物力学模型，并通过实验揭示了振频、振幅对振动能量向上肢主要肌群传递的耦合特性影响。然而，未来仍需通过实验进一步验证该振动传导模型在预测运动过程中任意手臂姿态下目标肌群振动响应的有效性和准确性。

关键字：手臂振动传导模型；生物力学响应；振动能量传递；振动能量调控

ID 4085

Study on the detection of Tau-441 level in human blood based on sandwich electrochemical immunosensor technology

Haolin Xiao,Hanwen Ren,Shanshan Wei,Feijun Zhao,Zhencheng Chen

Guilin University of Electronic Technology

Objective: The advancement of Alzheimer`s disease (AD) is directly correlated to the phosphorylation damage of Tau protein (Tau-441), which is considered the most reliable indicator for early detection of AD. Nevertheless, the concentration of Tau-441 in human serum remains considerably low. Therefore, we developed a highly sensitive electrochemical immunosensor for the effective detection of Tau-441.The PEDOT:PSS/MWCNTs-COOH was used as the immunosensor platform to fix the primary antibody (Ab1), leading to a large improvement in the sensitivity of the immunosensor. Furthermore, Fe3O4@Au NPs was used as the signal probe for further signal amplification because Au NPs with good conductivity can provide a large specific surface area. Therefore, an almost double-amplified current signal was observed in the amperometric DPV curve, and the detection limit of the proposed immunosensor was effectively enhanced. The immunosensor was designed to detect an increase in the amount of Tau-441 collected as the current intensity of NGQDs decreased. The developed sensor demonstrated satisfactory results in clinical serum samples, offering a promising concept for for early detection of AD.

Methods: Based on the experimental results of optimizing electrodeposition time and modifying electrode material concentration, the PEDOT:PSS/MWCNTs-COOH suspension with a concentration of 4mg mL-1 was prepared and configured, and modified on the working electrode by electrodeposition method. The initial potential parameter is set to -0.5 V, the sampling interval is 0.1 s, and the running time is 200 s. Then, gently rinse the electrode with PBS buffer (pH = 7.4) 2-3 times to remove the modified material that has not been electrodeposited on the working electrode, and the composite nanomaterial modified electrode sheet can be stored at 4°C for use. As shown in Fig.6, the sandwich-type immune complex Fe3O4@Au NPs/Ab1/BSA/Tau-441/Ab2 obtained by incubation with 5 μL of Tau-441 at different concentrations with a pipetting gun was added to the working electrode modified with PEDOT:PSS/MWCNTs-COOH. It was incubated at 4°C for 12 h. As shown in Fig.3, the construction of electrochemical immunosensor based on sandwich-type electrochemical immunosensor to detect Tau-441 has been completed.

Results: Under the optimum detection condition, the peak current response of SPE/PEDOT:PSS/MWCNTs-COOH/Fe3O4@Au NPs/Ab1/BSA/Tau-441/Ab2 electrochemical immunosensor was determined toward different concentrations of Tau-441 in 5 mM [Fe(CN)6]3-/4- containing 0.01 M PBS (pH = 7.4). As illustrated in Fig. (A), the measured peak current decreases with the increase concentration of Tau-441 from 1 pg mL−1 to 500 ng mL−1, the prepared immunosensor shows a good linear relationship with the concentration logarithm of Tau-441. The corresponding linear regression equation can be expressed as y = (4.45 ± 0.15)*lgCTau-441 + (18.81 ± 0.26) with a correlation coefficient (R2 = 0.9873) and low limit of detection 19.68 fg mL−1 (S/N=3). Meanwhile, the electrochemical performances of the prepared immunosensor with the previously reported

Tau-441 immunosensors were shown in Table 1. The obtained results indicate that the as-developed sandwich-type electrochemical biosensors exhibit excellent electrochemical performances including high response, wide linear range of 1 pg mL−1-500 ng mL−1 and low LOD of 19.68 fg mL−1 toward Tau-441 detection.

Conclusion: On the basis of PEDOT: PSS/ MWCNT-COOH nanocomposites modified the working electrode of the sensor, Fe3O4@Au NPs was prepared as an electrochemical probe, and a sandwich electrochemical immune sensor was constructed. The peak value of the response current corresponding to the sandwich immune complex Fe3O4@Au NPs/Ab1/BSA/Tau-441/Ab2 on the working electrode was detected by DPV, and was linearly correlated with the logarithm of the concentration of Tau-441 solution at 1 pg mL-1-500 ng mL-1. The lowest detection limit LOD was 19.68 fg mL-1. Through the reproducibility, specificity and labeling recovery experiments, the detection performance of the sandwich-type electrochemical immune sensor is verified, and its detection range and detection limit are superior to the sensor prepared in the previous chapter, indicating that the sensor has a better detection effect on Tau-441, and can provide a reference method for realizing the application of AD early diagnosis biosensor in practice.

Key Words: Tau-441 protein; Fe3O4@Au nanoparticles; Electrochemical immunosensor; PEDOT: PSS/ MWCNT-COOH nanocomposites; Screen-printed electrode

ID 4305

新型类器官传感芯片在抗肿瘤药物评价中的研究

蒋得明[1]、朱宇瑄[1]、邱勇[1]、万浩[1]、庄柳静[1]、王平[1,2]

1. 浙江大学生物医学工程系

2. 生物传感器国家专业实验室

目的：结直肠癌是我国高发的肿瘤疾病之一，严重危害居民生命健康。开发快速简便的新型抗肿瘤药物评价装置对于提速药物研发、改善患者预后具有重要的现实意义。结直肠癌类器官能够保留患者原位特征，已经被大量用于肿瘤的基础研究，但其在药物评价中的应用受限于传统的检测手段，难以大规模展开。本研究旨在基于生物传感技术，开发一种新型的类器官传感芯片，实现对肿瘤类器官活性的快捷检测，推动其在药物研发、精准医疗等方面的应用。

方法：从附属医院收集结直肠癌患者的手术切除样本，从中构建结直肠癌类器官，利用遗传学、组织学等手段验证类器官与患者组织的一致性。同时，基于生物传感、微流控等技术构建新型的类器官传感芯片，表征芯片的检测性能和生物相容性。最后将类器官接种到基于垂直对电极的类器官传感芯片中，通过检测阻抗值的变化来反映结直肠癌类器官的活性改变情况。

结果：经过遗传学和组织学表征，发现构建的结直肠癌类器官具有与患者原位结直肠癌相似的遗传学和组织学特征。分别给与结直肠癌类器官卡培他滨、氟尿嘧啶和奥沙利铂3种药物刺激，利用MTS试剂盒检测发现三例结直肠癌类器官具有不同的药物敏感性。经检测，基于垂直对电极构建的类器官传感芯片具有良好的准确性、稳定性和生物相容性，结直肠癌类器官在接种到芯片中后的生长未收到显著影响。通过微流控系统向芯片中添加不同浓度的卡佩他滨、氟尿嘧啶和奥沙利铂后，系统测得的阻抗值能够反应结直肠癌类器官对药物的响应，且测得的结果与试剂盒检测结果一致，同时，三维活死荧光染色的结果也进一步证明了类器官传感芯片检测结果的可靠性。

结论：本研究报道了一种新型的类器官传感芯片，通过在其中接种患者来源的结直肠癌类器官，能够快速简便地进行抗肿瘤药物评价，在药物临床前研究、精准医疗等领域有着较大的应用前景。

关键字：类器官传感，结直肠癌类器官，药物评价，临床前研究

S06
元宇宙、大模型背景下的健康工程融合创新

ID 147

Near All FoodSeeds Have Been Being Man-made, Are They Healthful to Mankind?

Hanyou Xu

Clinical Institute, Department of General Internal Medicine, Zhuji Diankou Zhongkang Hospital, Zhejiang Province, China.

Objective: As the public facts living by every people and every day that, by the modern agriculture science developing, more and more food stuffs, vegetables, melon, fruit,eggs, poultry and meats have been produced. The methods are near all their seeds or animal reproduction have been being man made by modern genetic engineering. And further more, the food stuffs, vegetables, melon, fruit have been being off-season planted. All the unnatural productions of food really have been eaten into the man kinds day and day, years and years.

While the genetically modified soybeans and the alike food stuffs have been being the hot topics in science and health influences. These genetically modified food stuffs have been very cautiously accepted by peoples and by every country government. But the present situation in the world is that near all the food seeds or animal reproduction have been being man made by modern genetic engineering, maybe in less tension compared to the genetically modified soybeans. We may call them as sub genetically modified seeds and their food productions. However, they have been being all genetically modified and different from the former natural food seeds or animal reproduction in different grades.

Methods: Summarized the present situation in food securities. Analysis the worse effects. Proposed the emergency treatment methods and proposals.

Results: While the Earth and the space or the universe must like a human being which her normal lives must be supported by her normal physiology of every organ and every cell. And the human organs and cells have been united and interacted harmoniously to pay the way for normal life. Any abnormal cells and organs activities must cause pathology, sick,even death.

But at present, in our Earth and the space or the universe, the former harmonious and natural organs and cells in the Earth and the space or the universe have been being invaded. The organs and cells in the Earth and the space or the universe are the plants of food stuffs, vegetables, melon, fruit,eggs, poultry, animals, mankind and its other biology, ecology and environment, etc.. While in our Earth and the space or the universe, the formal natural plants of all food,the animals have been changing a lots. The off-season planting also has been contributing a lots changes to our Earth and the space or the universe. The former harmonious biology, ecology and environment should be sure to be changed in our Earth and the space or the universe. Adding the speeding advantage of our space and universe by the orbiting satellites, spacecrafts, space stations and their spaceships and other invading factors to the Earth and the space, the former harmonious biology, ecology and environment should be sure to be changed speedily in our Earth and the space or the universe.

Therefore, at these critical situation, the former harmonious biology, ecology and environment can change their units, organs, cells or molecules. So the new emerging infection and communicable diseases have been being developed. And the climate changes impacts have been being more and more heavily. The most imprinted the bones and inscribed on the

memory has been being the COVID-19 pandemic around the world more than three years.

Conclusion: As this paper is to summarize facts and syndromes harmful to the man kind by the unnatural science and create the new strategies to cure them. So my proposals are as follows:

1. Stop the productions of the unnatural seeds and their food as soon as possible.

2. Productions of the food seeds and their food must go back to the nature ones as soon as possible.

3. Researching and accessing or evaluating side effects of the unnatural seeds and their food and unnatural eggs, poultry and meats to the health of mankind, plant, biology, ecology and environment in short and long research effect periods. If proving the bad effects, all the productions of the unnatural seeds and all the unnatural food must be stopped at once.

4. Developing the true and good science to produce health foods to feed the mankind.

5. The immediate decision must be made to publish the knowledge to the politicians all over the world and the United Nations and its organizations to pay attention to the problems imperatively.

6. China, as the big country in population, economic, food production should go ahead to security the food healthy, public health promotion, climate change recovering and biology, ecology, environment well up.

7. My opinion should be referenced by the officials and politicians.

8. It is imperative to pay more attention to the food security and the bad effects the new food.

9. Preventing the spread of the bad effects.

Key Words: Food security; Public health; Man made food seeds; ecology and environment disturb; unnatural genetic modified food.

ID 724

成人注意力缺陷障碍评估系统

臧睿、方梓豪、陈洪波

桂林电子科技大学

目的：成人注意力缺陷多动障碍（ADHD）是一种常见的神经发育障碍。目前，成人ADHD的筛查主要依赖于诊断量表和临床观察，但这种方法存在一定的主观性和局限性。据研究表明，成人ADHD患者主要表现为注意力缺陷障碍、多动及冲动，其中95%以上的患者存在注意力缺陷。本研究开发了注意力缺陷障碍评估系统，具体工作如下。

方法：1.确定注意力缺陷障碍量表。对量表进行详细的信度和效度验证，信效度分析结果显示，该量表信度和效度分别为0.888和0.724，确保评估成人注意力缺陷障碍的科学性、可靠性和有效性。

2.被试招募。制定详尽并准确规范的实验流程和知情同意书，确保所有参与者充分了解实验目的、过程以及他们的权利和义务。招募了162名来自全国16个省市自治区18-30岁的成人参与者。

3.开发注意力网络数据采集系统。本研究团队自主开发了包含了多种任务和测试注意力网络检测平台，全面评估参与者的注意力水平。在实验过程中，通过该平台采集到134份数据。

4.分析数据并构建模型。根据数据遴选标准，获得88份有效数据。利用支持向量机、梯度提升树等多种机器学习模型融合方法，构建了一个高效的注意力缺陷障碍识别系统，识别率达100%。

结果：基于以上工作，成功开发了一个简洁、方便且准确的成人注意力缺陷障碍评估系统。该系统能够直观展示测试结果和注意力缺陷情况，操作简便且准确性高，极大地方便了用户自行评估自身注意力状态。

结论：通过该系统的应用和推广，有望进一步提高成人ADHD的识别率和诊疗水平，为患者带来更大的福祉。

关键字：成人ADHD，注意力缺陷障碍，注意力网络范式，机器学习

ID 1026

基于半监督学习的跨模态行人重识别技术研究

魏梓钰[1]、付峰[1]、杨曦[2]
1. 中国人民解放军空军军医大学
2. 西安电子科技大学

目的：在抗击疫情期间，行人重识别技术可以帮助追踪和溯源疫情的传播路径，以便及时采取隔离和检测措施，防止疫情扩散。本文提出一种基于异质分布一致性的半监督学习框架，在少量标签下训练深度学习模型，实现白天和夜晚不同场景下的特定身份行人搜索，从而确定行人活动轨迹，在再次爆发疫情时及时快速地控制疫情范围，减少感染人数，提高人民健康水平，促进经济社会协调发展。

方法：本文利用基于高斯混合模型的伪标记方法拟合未标记的红外和可见光图像的正负样本置信度分布。根据每个身份的预测分布，在训练过程中建立类别置信度库并动态更新以选择适当的阈值。选择预测置信度大于阈值的类别作为当前行人图像的身份，通过迭代基于动态阈值的噪声滤波操作，逐渐滤除低阈值的负样本，增强模型学习身份判别性表征的能力。此外，为了避免模态表示方差过大，引入了模态一致性正则化来保证模态混合前后样本的预测一致性。在有标签图像的辅助下，增强未标记数据的利用率，提高半监督跨模态行人重识别精度。

结果：本文所提出的方法在跨模态行人重识别公开数据集SYSU-MM01和RegDB上进行验证。通过设定不同数量的有标签数据，测试模型的预测能力，大量的消融实验验证了高斯混合模型和模态一致性正则化的有效性。通过与其他半监督学习方法和跨模态行人重识别方法对比，表明本文方法在两个数据集上的优越性。最后，可视化结果证明本文提出的方法能够更好地对不同模态相同身份行人特征进行聚类，进一步验证该方法的有效性。

结论：本文引入半监督学习框架来解决跨模态行人重识别问题。采用高斯混合模型拟合异质图像的置信度分布，在每次训练迭代中为每个模态和行人计算合适的阈值。提出模态一致性正则化，利用模态级融合提高未标记数据的表征质量。通过在公开数据集上进行了实验，验证了所提出的方法的优越性。在未来的工作中，我们将逐步调整实验中的标签设置以适应现实场景，并探索在无任何标签的情况下对异质特征进行对齐的方法。

关键字：半监督学习，行人重识别，深度学习，计算机视觉

ID 1052

一种贴片式无线多通道心震-心电双模态信号采集分析系统

易桓生、祁富贵
空军军医大学生物医学工程系

目的：心震图（Seismocardiography，SCG）是一种通过记录心脏引起的胸壁震动从而间接记录心脏活动的技术。然而现有SCG大多缺乏同步可靠参考，且存在布线复杂、贴附困难，易受身体运动影响的问题，为此本研究旨在开发一套集检测心脏机械活动信号与心电信号于一体的双模态多通道采集分析系统，该系统能够全面、同步地捕捉心脏活动引起胸壁表面的机械震动信息与相应心脏电生理信息。

方法：本系统通过集成高灵敏度的ADXL355加速度传感器阵列，传感器被贴放于被试者胸腔表面用于高精度捕捉由心肺活动引发的胸壁微动信号。同时采用BMD101心电采集芯片对被试者以标准的II型导联模式同步记录心电信号，确保机械信号与电信号的时间同步性与一致性。采集到的机械-电双模态信号经过精细的滤波处理与去趋势算法，有效剔除噪声

干扰，随后与心电信号进行心率周期对齐，生成与心电高度对应、清晰准确的心动周期分割SCG图像。

结果：通过实验结果表明，本系统能够在被试者不同身体姿态以及呼吸方式下获取到不同听诊区的SCG图像和心电信号，具有高度同步性。此外，多通道SCG信号中均可较准确的定位二尖瓣、主动脉瓣等心脏瓣膜的开闭和所引起的震动峰值点。

结论：本系统在不同身体姿态及呼吸方式下均能稳定获取高质量的多通道SCG图像，清晰展现心脏瓣膜开闭的动态过程及其引起的震动特征，与参考心电图相比具有高度一致性和有效性。实验结果不仅验证了系统设计的合理性与有效性，还展示了多通道SCG在复杂生理环境下的卓越表现，为精细检测心脏多点微动、系统评估心脏功能、深入理解心肺交互机制提供了新的检测手段。

关键字：SCG；加速度传感器；心电信号；心脏功能

ID 1091

基于心律失常心电图特异性改变的集成学习心拍分类研究

邢梦雨、王新沛

山东大学

目的：心律失常在人群中的发病率高，情况严重时甚至可能会危及患者的生命。目前，心律失常主要由临床医生通过观察和分析心电图来诊断，这一过程会耗费大量的时间与精力，加重他们的工作负担。鉴于计算机的高效性和鲁棒性，利用其辅助诊断心律失常已经逐渐成为医疗领域研究的重点。现有多数研究在识别多种类别的心律失常时仅使用一个特征集，但不同类别心律失常的心电图改变具有特异性，这样容易造成表征心律失常特异性改变的特征被忽略。为了最大化利用这些特异性信息，本研究针对每两种类别的区分构建了个性化模型，从而使得不同类别的心律失常识别更加精准。

方法：本研究从预处理后的心拍中提取了多种特征，以便从不同角度捕捉心电信号的改变，采用统计分析方法探究所有特征在不同心拍类别之间的统计差异性。使用ADASYN方法合成少数类心拍样本缓解了数据不平衡问题。利用递归特征消除算法在每两类心拍之间构建最了优特征子集，并结合基于一对一策略的支持向量机分类器建立了一种针对每两类心拍区分的个性化模型，之后使用多种规则集成分类器实现了多类心拍的分类识别。

结果：统计分析结果显示，几乎提取的所有特征在不同心拍类别之间都具有统计差异性，这表明本研究提取的特征具有有效性。将本研究提出的分类方法在MIT-BIH心律失常数据库上进行符合AAMI标准的患者间实验，得到正常心拍、室上性异位心拍和室性异位心拍的敏感性分别为92.03%，91.45%和94.50%；精确率分别为99.56%，35.71%和82.27%，总体准确率为92.17%。

结论：本研究的实验条件设计与实际临床情形相符，能够更好地适应实际医学场景的复杂性。不同心拍类别得到了有效的区分，特别是对于正常心拍的识别具有较高的精确率，对于室上性异位心拍和室性异位心拍的识别具有较高的敏感性，这更符合临床期望，也使得本研究构建的模型更适合用于在临床上辅助诊断心律失常。

关键字：心电信号；心拍分类；特征选择；集成学习

ID 1151

基于协作式全局与局部放大Unet的鼻咽癌MRI转移性淋巴结分割方法

周皓阳[1]、黎浩江[2]、刘立志[2]、陈洪波[1]
1. 桂林电子科技大学生命与环境科学学院
2. 中山大学肿瘤防治中心影像科

目的：鼻咽癌（Nasopharyngeal carcinoma，NPC）是一种东南亚地区高发的恶性肿瘤，对其进行分期是评估NPC进展和扩散程度的必要手段。MRI影像因其能较好的反应颅骨、软组织和血流的信息，是NPC诊断中常用的影像技术。然而，在临床实际NPC分期中，医生需要考虑MRI影像中包括原发灶和头颈部转移性淋巴结（metastatic lymph nodes，MLNs）的多种信息，非常的繁琐耗时。因此，有必要提出一种精确高效的自动化分割方法，辅助医生精确分割MRI影像中的MLNs。本研究针对小面积MLNs，提出了一种协作式利用全局信息与局部放大信息的分割方案。

方法：为减少小面积MLNs的深度特征与周围背景特征的重叠度，本文提出了一种协作式全局与局部放大Unet模型。该模型由并行的全局Unet和局部放大Unet组成，其中局部放大Unet将原始图像裁剪成一系列图像块，并从放大的图像块中提取深度特征。相较于从原始图像中提取深度特征的全局Unet，局部放大Unet提取的深度特征具有更小的尺度，使得小面积MLNs的深度特征与周围背景特征的重叠度更小，从而提高小面积MLNs的分割精度。为利用更多尺度的图像信息，全局Unet和局部放大Unet在特征提取过程中，互相利用对方提取的前一层特征，进一步提高模型分割精度。最后，通过残差模块，聚合全局Unet和局部放大Unet的分割结果及最后一层卷积层的深度特征，实现MLNs的精确分割。

结果：所提出模型性能通过中山大学肿瘤防治中心NPC数据进行评估，其测试集的戴斯系数为0.7572±0.2256，95%豪斯多夫距离为29.6348±55.7630mm。

结论：所提出算法提高了小面积MLNs的分割精度，并取得了比对比算法更优的分割性能。对辅助临床医生分割头颈部MRI影像中的MLNs，具有一定的实际应用价值。

关键字：鼻咽癌；转移性淋巴结；图像分割；MRI

ID 1196

数字戒烟技术在戒烟中的应用与效果：一项伞形综述

刘林毅、董雪、赵煜、李建超、郭凌宇
北京航空航天大学

目的：数字戒烟干预措施如短信、智能手机应用及互联网程序作为戒烟辅助工具近年来在临床得到应用。本研究旨在研究数字戒烟措施干预的有效性。

方法：基于PubMed、Cochrane、Web of Science、中国知网、万方数据库，检索自建库至2024年6月30日数字戒烟措施的系统综述和Meta文献。检索关键词为：“(戒烟 或 烟草 或 吸烟) 和 (手机应用 或 网络 或 移动 或 数字健康) 和meta 综述”，关键词为”(smoking cessation or tobacco or smoking) and (mobile phone apps or web or mobile or digital health) and meta-analysis”。遵循 PRISMA指南开展文献筛选和资料提取并进行质量评估和分析。

结果：通过文献筛选与数据提取，共纳入12项符合条件的研究，包括163541名参与者。主要国家和地区有欧洲（6篇）、美国（2篇）、中国（3篇）。（1）数字戒烟的有效性：上述纳入文献中，有9项研究探究了数字戒烟的有效性。其中7项研究与对照组（如仅接受评估或收到与戒烟无关的平行干预）相比，实验组（采用某种或混合数字戒烟干预）的

戒烟率显著下降。（2）具有较显著的个体差异特性，表现为患者的不同生理心理状态和干预手段的差异性。精神压力如焦虑、抑郁、产后和战后综合征通常会导致较高吸烟率，数字戒烟干预过程中，会出现较高的脱落率和较低的戒烟成功率（合并RR值和95%CI范围都较小）。不同的干预措施（如手机短信、移动应用以及网络游戏）具有显著的干预差异。在两组实验中，使用短信和移戒烟动应用的干预效果存在显著差异。

结论：数字戒烟措施在提高戒烟成功率方面具有较好的实效，但不同的数字戒烟措施及不同的患者群体在戒烟有效性方面，存在显著的差异性。

关键字：数字戒烟；戒烟成功率；伞状综述分析

ID 1217

Holistic Integrative Interpretation for Similarities and Differences of CPET Pathophysiological Characteristics in Patients With Left and Right Heart Failure

Mengjun Xiang

重庆医科大学附属康复医院

Objective: This study is based on the theory of Holistic Integrative Physiology and Medicine (HIPM), which emphasizes a comprehensive understanding of the interplay of respiratory-circulatory-metabolic integration regulation. Within this theory, we recognize that left heart failure (LHF) and right heart failure (RHF) present distinct pathophysiological profiles, especially when assessed through Cardiopulmonary Exercise Testing (CPET). We seek to elucidate the similarities and differences in CPET responses between LHF and RHF, thereby enhancing our understanding of their unique exercise pathophysiology.

Methods: In this retrospective study, we included 123 patients diagnosed with LHF and 101 patients with RHF, all of whom were treated at Fuwai Hospital between 2018 and 2023. Each patient underwent standard CPET, along with routine medical examinations. During the CPET, we calculated the key parameters, identified the presence of oscillatory breathing (OB), and assessed the occurrence of exercise-induced right-to-left shunting (R-LShunt) using standard methodologies. Additionally, a control group comprising 81 normal subjects (NS) also underwent CPET to provide a baseline for comparison. The data collected from all three groups – LHF patients, RHF patients, and NS – were then subjected to a comprehensive analysis. We used ANOVA-based statistical methods to analyze the differences in CPET parameters among these groups.

Results: Peak oxygen uptake (Peak O2) in LHF (48.04±17.14%Pred) and RHF (53.68±15.10%Pred) was significantly lower than in NS (85.37±14.01%Pred) (NS vs LHF and RHF, both P<0.001). Notably, the LHF group had a markedly lower Peak O2 and carbon dioxide ventilatory efficiency (VE/ CO2) slope than RHF (P=0.008 and P=0.024, respectively). In the LHF group, OB manifestations were observed in 72 cases (59%), and in the RHF group, R-LShunt manifestations appeared in 64 cases (63%). Within the LHF subgroup, those with OB showed a significantly lower Peak O2 (39.95±12.84%Pred) compared to those without OB (59.46±15.99%Pred, P<0.001). In the RHF group, Peak O2 was also lower in the R-LShunt subgroup (50.1±12.52% Pred) compared to the no R-LShunt subgroup (59.87±17.24% Pred, P=0.001). Additionally, the R-LShunt group displayed an aberrant pattern of almost persistently decreased partial pressure of end-tidal carbon dioxide (PETCO2) during CPET.

Conclusion: LHF patients exhibited lower exercise tolerance, in contrast to RHF patients, but showed a relatively small decrease in gas exchange capacity. Nevertheless, both left and right heart failure exhibited general functional limitations during CPET. Notably, patients exhibiting OB in the context of LHF, and those with R-LShunt in RHF, presented with even more pronounced functional limitations compared to their counterparts without these specific pathophysiological features.

Key Words: Left heart failure (LHF); Right heart failure (RHF); Cardiopulmonary exercise testing (CPET)

ID 1229

基于皮电信号马尔可夫变迁场的心理压力识别研究

孙雪、王新沛
山东大学控制科学与工程学院

目的：长期的心理压力会对个人健康产生重要影响，压力的检测与评估一直以来是人们非常感兴趣的话题。皮电信号作为一种采集方便且和自主神经系统活动密切相关的生理信号，已经成为压力状态识别常用的指标。本研究提出了一种基于皮电信号的马尔科夫变迁场检测心理压力的方法，旨在挖掘皮电信号的动态跃迁信息，提高压力检测的准确率。

方法：本研究利用复杂心算和连续减法任务设计了两个心理压力诱发实验，采集了21位受试者静息和压力状态的皮电信号，预处理后建立压力状态皮电数据集。利用马尔可夫变迁场(Markov Transition Field, MTF)将一维的皮电信号序列转化为二维图像，并利用局部二值化模式提取了图像的10个纹理特征，通过统计分析确定特征的统计差异性。同时，本研究还提取了皮电信号的传统多域特征。分别使用三种特征选择方法（互信息、随机森林和递归特征消除法）对MTF特征、多域特征及其联合特征进行特征选择，利用支持向量机进行分类，构建心理压力识别模型。

结果：统计分析结果显示，静息与复杂心算和连续减法状态具有统计差异性的MTF特征分别为9个、7个。分类结果显示，在静息与复杂心算任务的分类中，三种特征选择方法下MTF特征的最高准确率分别为75.83%、83.06%和83.06%；多域特征的最高准确率分别为90.28%、95%和90.56%；两类特征结合后，互信息和递归特征消除方法下的准确率均提高到了92.5%。在静息与连续减法任务的分类中，MTF特征的最高准确率分别为76.39%、78.89%和78.89%；多域特征的准确率分别为90.56%、90.56%和97.78%；两类特征结合后，三种特征选择方法下的准确率均得到了提升，分别达到93.06%、92.78%和100%。

结论：研究结果表明，皮电信号的马尔可夫分析可以为心理压力状态的检测提供额外的有效信息，能够提高皮电信号在压力状态评估方面的应用价值。

关键字：皮电信号，心理压力，马尔可夫变迁场，局部二值化模式

ID 1272

The Difference and Similarity of CPET Key Parameters Using DifferentIncremental Work Rates of Arm Ergometer in Normal Subjects

Zengfei Zhang
重庆医科大学附属康复医院

Objective:

The leg ergometer cardiopulmonary exercise test (CPET) is commonly used as objective and quantitative golden standard for functional evaluation and training, while arm CPET is rarely investigated. To optimize performing protocol, we studied the effect of different incremental work rates of arm ergometer on CPET key parameters.

Methods: We recruited fourteen young healthy normal subjects (NS) without any clinical diagnosis, and first performed maximal leg CPET for functional evaluation, then followed four maximal arm ergometer CPETs using different incremental work rates (5, 20, 35, and 50W/min) on various days in one week. The key parameters of CPET data were calculated by our standard methods, such as oxygen uptake (VO_2), heart rate (HR), minute ventilation (VE), tidal volume (VT), breathing

frequency (Bf), anaerobic threshold (AT), work rate (WR), incremental exercise time (Ex. Time), respiratory exchange rate (RER), etc. and were compared their difference and similarity among different incremental work rates. Statistical analysis used ANOVA and paired comparison.

Results: All NS safely finished maximal CPET using leg and arm ergometer, and they had normal leg CPET peak VO_2 (92.89±18.37 (73.34~143.63) %predicted). Four arm ergometer CPETs using 5, 20, 35 and 50W/min incremental work rates respectively had similar VO2 (1.37±0.31, 1.35±0.32, 1.34±0.31 and 1.33±0.30 L/min, P=0.986), HR (P=0.958), VE (P=0.976), VT (P=0.980) and Bf (P=0.812) at peak and AT(P=0.958). However, there were significantly different peak WR (58.04±11.44, 80.39±18.25, 95.00±22.43 and 109.64±22.23W, P<0.001), peak RER (1.08±0.07, 1.17±0.12, 1.20±0.12 and 1.21±0.14, P=0.029) and maximal RER during recovery (1.36±0.13, 1.45±0.18, 1.49±0.13 and 1.53±0.20, P=0.043), which showing an upward trend positively depend on incremental work rate. There were significantly different Ex. Time with negative relationship (11.61±2.29, 4.02±0.91, 2.71±0.64 and 2.19±0.44, P<0.001).

Conclusion: The study indicates that same as leg ergometer CPET, the arm ergometer CPET also needs optimized increasing rate of incremental exercise for each subject, which needs further investigation for functional evaluation and training. Optimizing the incremental work rate leads to more accurate and pertinent data on individuals' functional status during upper extremity exercise. It also facilitates arm ergometer CPET to guide individualized safe and effective exercise rehabilitation training for patients with chronic illnesses.

Key Words: cardiopulmonary exercise test; arm and leg ergometer; incremental work rate; respiratory exchange rate; difference and similarity

ID 1274

基于鼻咽坐标系配准的鼻咽癌精细结构化报告方法：初步研究

刘珊珊[1]、刘艺菲[2]、龚琼[1]、黎浩江[2]、杨世鑫[1]、刘立志[2]、陈洪波[1]

1. 桂林电子科技大学

2. 中山大学肿瘤防治中心

目的：鼻咽癌是华南地区的“特色”恶性肿瘤，磁共振成像(Magnetic resonance imaging，MRI)是首选的诊断和分期方法。使用结构化报告形式描述影像信息可以简化医疗内容、降低阅读成本。但是目前对鼻咽癌MRI结构化报告的描述仅限于肿瘤是否侵入解剖结构，这种描述是粗糙的，缺乏精细的侵犯细节。研究表明，精细解剖结构的差异可直接影响患者的治疗决策和生存预后。针对现有鼻咽癌MRI报告不精确、智能化程度低的问题，我们在前期鼻咽部标准坐标系的基础上，提出了一种分析鼻咽癌MRI体素侵犯率(voxelwise invasion rate，VIR)的精细结构化报告方法，并设计了一种精细结构化报告自动生成的初步方案。

方法：首先，我们前期建立了一个鼻咽标准坐标系，将鼻咽癌的肿瘤靶区配准到标准坐标系，获得肿瘤的感兴趣区域(region of interest，ROI)。其次，我们选择了20个值得研究关注的头颈部典型解剖结构并勾画了各结构的ROI。接着，我们将已配准的鼻咽癌患者肿瘤ROI与20个解剖结构ROI相比较，统计图像的重叠体素，将重叠像素除以结构的整体体素以获得相应解剖结构的VIR数据用于随后的结构化分析。接着，将ROC Youden指数为阈值的二值化VIR结果与医生的手工精细阅读报告比较，验证其准确性，并分析患者结构化报告的度量参数。最后，获得患者的VIR分析结果，并形成一个结构化报告的自动生成方案。

结果：我们对778例鼻咽癌患者的MR图像进行了分析，对于20个典型结构的基于VIR的报告，平均准确率为81.05%。在此基础上，我们还提出了一个基于鼻咽癌肿瘤侵袭率的精细结构化报告的初步方案，以指导鼻咽癌临床报告的自动化分析。

结论：本研究探索了鼻咽癌MRI结构化报告的自动生成，提出的VIR方法为鼻咽癌的结构化报告分析提供了一种新的方法，期望为鼻咽癌影像报告研究提供新的思路和方法。

关键字：结构化医学图像报告；体素侵犯率；鼻咽癌；医学图像处理。

ID 1322

基于元宇宙的老年人健康监护系统

管富豪、肖文栋

北京科技大学

目的：元宇宙是一个数字化的虚拟空间，通过虚拟现实和增强现实技术，模拟出真实世界的感知和交互体验。在老年人健康监护方面探索元宇宙技术的意义在于克服传统的限制，通过虚拟现实中的人机交互，快速获得身体健康信息，根据老年人身体实时相关信号的分析，实现有针对性的疾病预防以及身体康复等目标。本系统旨在通过虚拟现实人机交互的形式，为老年人提供更便捷、有效的健康监护。

方法：基于Unity3D平台搭建元宇宙老年人健康监护系统，使用3DS MAX实现元宇宙相关监护场景以及护理员的3D建模。通过深度学习算法，分析智能可穿戴设备采集到的生理参数信息，开发数字健康护理员，实现为老年人用户健康状态分析统计、医疗信息提醒、疾病早期预警等智能交互功能。

结果：本系统最终实现了元宇宙背景下，老年人借由人机交互的形式，获取自身实时健康信息的效果。在本系统中，经由虚拟场景下的数字健康护理员这一形式，为老年人提供实时有效的健康监护。例如当老年人饭后血糖过高时，经由老年人携带智能可穿戴设备采集到的生理参数信息，护理员将及时对老年人做出语音提醒，并储存数据，为老年人打造独特的健康监护与康复方案，从而实现疾病预防与身体康复的目标。此系统通过创建虚拟环境并利用人机交互，模拟现实场景，实现新形式的老年人健康监护，并能设计针对老年人特定健康需求的交互式康复方案。

结论：本系统利用元宇宙技术，经由人机交互的形式，为老年人健康监护提供了更加有效、亲和的健康监护体验。元宇宙技术在老年人健康监护方面具有广阔的应用前景，其沉浸式特性可以帮助老年人健康管理、疾病预防、远程诊疗和康复训练。之后针对技术成本过高、隐私和安全性存疑等问题，不断完善技术、拓展应用，将推动老年人健康监护的创新和发展。

关键字：元宇宙、虚拟现实、健康监护、老年医疗

ID 1327

电穿孔消融中基于深度神经网络的在体组织介电特性测量方法研究

宋汝腾、季振宇

空军军医大学

目的：高压脉冲电穿孔消融技术作为一种新型微创组织消融术受到临床医生关注和认可，但术中组织消融状态实时评估仍是难点。研究者通过将高压脉冲消融电极针复用作为阻抗测量电极可以在消融间期获得消融区域组织的电阻抗参数，该方法对于评价组织消融状态具有即刻评价、原位检测、操作便捷等优势。由于组织消融所引起的组织阻抗变化其

本质是消融所致细胞发生膜穿孔引起组织介电特性参数发生变化，所以获得在体组织介电特性参数在消融状态评估中更有价值。本研究结合仿真模型和深度神经网络提出一种在体组织介电特性快速测量方法。

方法：基于仿真模型的组织介电特性测量原理。通过对组织介电特性参数进行仿真扫描，当仿真模型中电极输出电流和阻抗测量仪检测的电流一致时，可以认为此时介电特性参数即为被测组织的介电特性参数。结合深度神经网络的在体组织介电特性测量方法优化。本研究结合一个两层DNN网络对基于仿真模型的在体组织介电特性测量方法进行改进，该网络共有13个输入特征（1个电压，12个电流）和两个隐藏层，每个隐藏层有128个神经元和一个ReLU线性激活函数。输出层有2个神经元。使用仿真模型产生仿真数据对深度神经网络训练。对基于深度神经网络的在体组织介电特性测量方法初步验证。

结果：经仿真数据测试集对模型进行验证，组织电导率 (σ)、介电常数(ε)的误差百分比都很低。误差百分比的四分位数均小于8.3%，R2值大于0.96。这表明模型可以将阻抗测量电极电压电流与组织介电特性参数（σ，ε）之间建立转化联系。将利用规则形状阻抗测量盒提取组织介电特性参数的方法与本研究所提出的方法进行对比，结果表明对在体组织电导率、介电常数测量结果没有显著性差异。

结论：本研究建立了基于仿真模型和深度神经网络的在体组织介电特性测量方法，并经实验验证了该方法的有效性。在电穿孔消融治疗中该方法具有快速获取组织介电特性的优势，为实时评估组织消融状态提供了一种新技术方法。

关键字：组织介电参数 有限元 模型仿真 深度神经网络

ID 1360

基于单通道脑电识别心理压力

梁晓、王新沛

山东大学

目的：现代社会，日常生活中的过度心理压力已成为一个普遍存在的问题。过多的心理压力不仅会引发多种疾病，从而严重降低个体的生活质量，还会通过影响生产力和创新能力，阻碍整个社会的发展。因此，能够实时监测和管理心理压力显得尤为重要。近年来，随着脑电采集与处理技术的快速发展，我们对脑电信号的理解更加深入，从而为心理压力的早期识别与干预提供了新的机遇。本研究旨在开发一个基于单通道脑电图的框架，用于识别多种类型的心理压力。

方法：为了诱发心理压力，本研究设计了四个不同的任务，这些任务分别是四种算术运算、连续减法、Stroop颜色词测试和数字记忆。这些任务将时间压力与负面反馈相结合，以确保能够有效诱发参与者的心理压力。实验中，记录了21名参与者的单通道脑电数据。为了全面分析这些数据，从五个子频段和全频段中提取了共计338个多域特征，包括时域、频域、非线性和时频域特征。数据处理方面，首先通过单因素方差分析来确定在不同任务下具有显著性差异的特征。然后，采用递归特征消除方法进行特征选择，进一步缩减特征数量。最后，利用支持向量机分类器来分类参与者的压力水平。

结果：在四个任务中，分别有67、72、20和74个特征在统计上具有显著性差异，这些特征涵盖了所有特征域。结合所有特征域后，四种任务的最高分类准确率分别达到了97.78%、97.50%、95.00%和100%。此外，我们的结果还显示，δ波、θ波、α波和全频段在量化压力水平方面更为有效。

结论：我们提出的框架验证了单通道脑电在检测心理压力方面的有效性，并为其在临床和日常生活中的便携设备应用提供了极大的前景。

关键字：单通道脑电；心理压力；递归特征消除；支持向量机

ID 1415

Research on Imaging Biomarkers for Chronic Subdural Hema- toma Recurrence

Liyang Wu[1],Junhui Lv[2],Hongbo Chen[1]

1. Guilin University Of Electronic Technology

2. Department of Neurosurgery, Sir Run Run Shaw Hospital, College of Medicine, Zhejiang University

Objective: Chronic Subdural Hematoma (CSDH) is a frequently encountered condition in neurosurgery, characterized by its high recurrence rate, which significantly impacts patient outcomes. Traditional methods for predicting the recurrence of CSDH after surgical intervention, such as burr hole drainage, rely heavily on clinical observations and basic imaging features, which often lack precision and fail to capture the underlying complexities of the disease. This study aims to enhance the predictive accuracy for the recurrence of CSDH by integrating advanced radiomic features extracted from computed tomography (CT) scans with machine learning algorithms, specifically focusing on identifying robust imaging biomarkers that could be pivotal in personalizing treatment strategies.

Methods: The study cohort consisted of 64 patients who had undergone surgical treatment for CSDH at a major medical center from 2010 to 2019. High-resolution CT scans were obtained for each patient, and a comprehensive set of 107 radiomic features was extracted from these images. The feature extraction focused on capturing various aspects of the hematoma's structure, including shape, texture, and intensity profiles.

To identify the most predictive features, we employed Recursive Feature Elimination (RFE), a backward selection technique that iteratively removes the least significant features based on their impact on model performance. Subsequently, the XGBoost algorithm, known for its efficiency and accuracy in handling complex datasets, was used to construct the predictive model. This process included tuning hyperparameters such as learning rate and max depth to optimize the model's performance.

Results: The feature selection process refined the model by narrowing down to six key imaging biomarkers that showed a strong correlation with CSDH recurrence. These biomarkers included:

Flatness: Indicating the compactness of the hematoma's shape, influencing how it conforms to the brain cavity.

Surface Area to Volume Ratio: Highlighting changes in the hematoma's surface complexity, which could affect absorption rates post-treatment.

Energy: Reflecting the total sum of squared intensities, indicative of the hematoma's overall density and potentially its likelihood to reaccumulate.

Run Entropy: Measuring the randomness in the texture, which could suggest varying blood degradation stages within the hematoma.

Small Area Emphasis: Focusing on the uniformity of smaller regions within the hematoma, suggesting its homogeneity.

Maximum Axial Diameter: Providing a direct measurement of the hematoma's largest spread, critical for assessing its potential impact on surrounding tissues.

Using these biomarkers, the XGBoost model's accuracy improved significantly. Before feature selection, the model's accuracy was 46.82%, which increased to 80.74% after refining the feature set. Similarly, the Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC) improved from 0.5864 to 0.7998, demonstrating the model's enhanced capability to distinguish between recurrence and non-recurrence cases effectively.

Conclusion: This study highlights the integration of radiomics with machine learning as a transformative approach to improving predictions of Chronic Subdural Hematoma (CSDH) recurrence. By leveraging advanced radiomic features extract-

ed from CT scans, we have identified critical imaging biomarkers that offer a deeper understanding of CSDH's pathological features. These biomarkers include Flatness, Surface Area to Volume Ratio, Energy, Run Entropy, Small Area Emphasis, and Maximum Axial Diameter. Each has been found to correlate strongly with the likelihood of recurrence, providing a nuanced portrait of the hematoma that goes beyond traditional imaging techniques.

The utilization of machine learning algorithms, especially the XGBoost model, has allowed us to refine these insights into a predictive tool with high accuracy and reliability. The model's performance improved significantly with the integration of these biomarkers, achieving a predictive accuracy of 80.74% and an AUC of 0.7998, up from 46.82% and 0.5864 respectively prior to feature selection. This demonstrates a substantial enhancement in our ability to predict outcomes, potentially leading to more tailored and effective treatment strategies for patients.

These advancements in predictive modeling represent a shift towards more personalized medicine in neurosurgery, where treatment plans can be adapted based on a deeper understanding of individual risk factors associated with CSDH recurrence. The study's findings pave the way for future research that could further refine these models, potentially incorporating additional variables and exploring alternative machine learning frameworks to enhance prediction accuracy.

The implications of this research extend beyond individual patient care, suggesting a roadmap for broader applications in medical imaging and predictive modeling. By continuing to explore and validate these biomarkers across larger datasets, and by integrating diverse analytical techniques, we can enhance our understanding of CSDH and improve the overall quality of care delivered to patients suffering from this condition.

Key Words: Chronic Subdural Hematoma (CSDH) ,Radiomics, CT Image Analysis, Machine Learning, Imaging Biomarkers

ID 1449

心理压力状态下心脑网络的方向性耦合分析

王明康、焦宇、王新沛

山东大学

目的：心理压力不仅是不良心血管事件和多种精神障碍的独立风险因素，而且影响疾病的预后，给个人和社会带来严重健康和经济负担。前期研究证明压力状态下心跳节律和脑电信号均会发生改变，但压力对心脑交互的影响还有待研究。本研究采用多变量转移熵方法，旨在探究不同心理状态的心脑耦合变化情况。

方法：本研究设计并实施了Stroop色词测验和心算任务的心理压力诱导实验，同步采集了32名健康被试的指端脉搏波信号和单通道脑电信号，建立了心理压力状态下的心脑联合数据集。对脉搏波信号构建NN间期序列，根据脉搏波数据中波峰点的位置将脑电数据分割成对应的片段，对各子频带分别计算功率谱密度及其均值、中值、最大值、最小值和标准差。使用相同片段分割方法，对脑电各片段计算能量和香农熵，构建脑电特征序列。对采样率一致的心脑同步特征序列计算多变量转移熵，根据多变量转移熵绘制平均信息矩阵，并对脑-脑网络和心-脑网络的输入输出进行统计分析，表征压力对心脑间信息传递的改变情况以及各节点间的相互作用，描述中枢-自主神经网络的耦合路径。

结果：平均信息矩阵结果表明，心脏和大脑之间的信息传递是双向的，但是中枢-心脏耦合网络的信息交流主要由心脏驱动流向大脑。脑-脑网络间信息传递分析结果表明，信息主要由高频带（β、γ）向低频带（δ、θ、α）传输。心-脑网络间信息传递分析结果表明，NN序列与脑电功率序列构建的耦合网络的NN至γ方向，以及与脑电均值序列构建的耦合网络的NN至α方向存在区分静息与压力状态的有效信息。

结论：研究结果表明，心-脑耦合网络中存在以心脏向大脑方向为主的双向信息互动，心理压力会导致这种信息交互发生显著改变。心-脑定向相互作用测量有助于理解心理压力与心-脑系统交互行为之间的复杂关系，为联合心脑信号评估心理压力提供了理论支撑。

关键字：心理压力；脉搏波；脑电；多变量转移熵

ID 1557

Comparing EIT Ventilation/Perfusion Assessment Approaches in Experimental Pulmonary Embolism and Atelectasis

Tixin Han[1],Yifan Liu[1],Meng Dai[1],Zhibo Zhao[1],Zhi'an Liu[1],Zhanqi Zhao[2],Feng Fu[1]

1. Air Force Medical University

2. Guangzhou Medical University

Objective: Electrical Impedance Tomography (EIT) is utilized for bedside ventilation/perfusion (V/Q) assessment and is increasingly used in supporting clinical management. Various studies of calculating lung V/Q match have been reported to investigate the impact of clinical treatments on V/Q (prone positioning, positive end expiratory pressure, extracorporeal membrane oxygenation therapy, etc.). However, the reliability of these different approaches in diagnosing ventilation and perfusion deficit-related diseases remains unclear. We conducted a comparison of two prevalent EIT V/Q assessment approaches within animal models of typical ventilation-perfusion mismatch situation: pulmonary embolism and atelectasis.

Methods: This experiment was approved by the Animal Ethics Committee of the Air Force Medical University (Approval Number: 20220707). Eight pigs (35-45 kg) were anaesthetized and mechanically ventilated. For regional lung perfusion monitoring, a 10 ml bolus of 10% NaCl was injected through the pulmonary artery catheter (Edward, 777F8 USA) during an end-expiratory respiratory pause (>20s). The animals were sequentially set to a normal state, unilateral pulmonary embolism, and unilateral lung ventilation, each condition lasting for one hour. EIT ventilation and perfusion signals were recorded spontaneously with EIT device (Pulma Vista 500, Dräger Medical, Lübeck, Germany). The cardiac output (CO) was recorded simultaneously through CO monitor (Edward, Vigilance II, America). The pulmonary artery pressure (PAP) was recorded simultaneously through multi-channel physiological recorder (Chengdu Instrument Factory, RM6240XC, China), and alveolar minute ventilation (MVA) was set and recorded through mechanical ventilator (GE, Aespire 7100, America). After that, the EIT signals were utilized for V/Q match assessment, both Area-limit-Approach (ALA) and Absolute-value-Approach (AVA) were employed. In the Area-limit-Approach, both ventilation and perfusion areas were defined by an impedance change exceeding 20%. Then the V/Q match indexes were calculated by identifying three regions: regions only ventilated (dead space%), regions only perfuse(shunt%), and regions both ventilated and perfused(match%). In the Absolute-value-Approach, the absolute V/Q value was calculated by dividing pixel impedance values in ventilation normalized to MVA by pixel values in perfusion normalized to CO. After that, the V/Q match indexes were identified: non-ventilated: V/Q ratio ≤ 0.1; low V/Q: V/Q ratio 0.1-0.8; normal V/Q (match): V/Q ratio 0.8-1.25; high V/Q: V/Q ratio 1.25-10; non-perfused: V/Q ratio ≥10. All data are described as average (95 CI%) and statistically tested.

Results: In the ALA approach, the match% in both pulmonary embolism and atelectasis were nearly 20% lower than the normal baseline (84.23%, 95% CI=79.29%-89.17%, P=0.005). In the AVA approach, the normal V/Q (%) baseline was (55.49%, 95% CI=36.75%-74.23%, P=0.006), 12.46% higher than which in pulmonary embolism and 24.40% higher than which in atelectasis. Both V/Q approaches showed decreasing trends in V/Q match both in pulmonary embolism and atelectasis (P<0.05), which confirmed the effectiveness of EIT in diagnosing ventilation and perfusion deficit-related diseases. However, the V/Q match index in AVA showed an imbalanced trend between pulmonary embolism and atelectasis compared to ALA, which may reveal their distinct physiological characteristic. Additionally, the match region in ALA shows overlapping with low V/Q regions and high V/Q regions compared to AVA.

Conclusion: EIT V/Q assessment reveals a reduction in the match between ventilation and perfusion under conditions of pulmonary embolism and atelectasis, which corresponds to the status of the disease. However, the ALA approach might overestimate the areas of match by overestimate the quantitative discrepancies. On the other hand, the AVA approach shows promise in quantifying the mismatches in V/Q indexes, though it still requires additional validation against estab-

lished benchmarks. It is significant to highlight that this method considers a systemic bias in the minute ventilation to cardiac output (MV/CO) ratio, which may arise from pathological and clinical conditions that influence both CO and MV. In summary, a comprehensive evaluation of the methods and their applicable scenarios is crucial while interpreting the results of EIT V/Q assessment.

Key Words: electrical impedance tomography; pulmonary embolism; atelectasis; V/Q match

ID 1586

基于心电心音幅值和间期分析的冠心病检测研究

赵世龙、王新沛
山东大学

目的：冠心病的长期监测、及早发现、准确评估严重程度并应用合适的治疗手段能有效降低其发病率和死亡率。冠脉造影的有创有损性限制了其在冠心病早期筛查中的应用。心电和心音信号分别从电活动和机械活动两个方面反映了心脏的生理状态，冠脉狭窄发生时，二者也会发生不同程度的病理性改变，因此，本研究旨在基于心电和心音信号分析，构建一种能有效识别不同程度冠脉狭窄的无损筛查方案。

方法：本研究同步采集了213例受试者的心电和心音信号，并根据不同冠脉狭窄程度划分为4组，即重度冠心病（sCAD, >70%）、轻中度冠心病（mCAD, 30%~70%）、疑似冠心病（CPNCA, <30%）以及健康对照组(Health)。分别定位心电信号P、Q、R、S、T等特征点和心音信号S1、S2、收缩期、舒张期等时间段，提取幅值序列和间期序列并计算时域、频域、非线性等多域特征，对特征进行统计分析，基于递归特征消除法进行特征选择，使用支持向量机进行不同程度冠心病组间的两两分类。

结果：单独使用幅值多域特征和间期多域特征进行分析时，幅值多域特征在sCAD - mCAD、sCAD - CPNCA、CPNCA - Health、mCAD - Health、sCAD - Health等5组表现更好，准确率为90.0%、89.2%、98.8%、98.7%、99.3%；间期多域特征在mCAD - CPNCA组中表现更好，准确率为94.2%。联合两种序列特征对sCAD - mCAD、sCAD - CPNCA、mCAD - CPNCA三种程度冠心病进行分类，准确率均得到提升，分别为93.8%、97.7%、97.1%。

结论：研究结果表明，对比间期多域特征，幅值多域特征在区分不同程度冠心病时整体表现更好，说明幅值多域特征能提取更多的病理信息。同时，联合两种序列进行分析后，识别性能均进一步得到提升。本研究证实了使用心电心音信号进行冠心病早期筛查的可行性。

关键字：冠心病；心电信号；心音信号；幅值序列；多域特征

ID 1644

基于心电信号的心理疲劳检测系统设计与实现

蒋超、王慧、肖文栋
北京科技大学

目的：在当今快节奏的社会生活中，心理疲劳已逐渐成为影响人们健康的隐形杀手。长期累积的心理疲劳会对健康

造成严重的负面影响。传统的评估方法，如问卷调查和专家诊断，受限于主观性和效率问题，难以准确量化心理疲劳的程度。此外，尽管脑电、眼电等检测技术具有较高的准确性，但由于其设备庞大、操作流程复杂，限制了在日常生活中的实际应用。因此，基于可穿戴技术的心理疲劳检测方法应运而生。这种技术便携、实时，结合机器学习算法深入分析数据，可以实现疲劳状态的准确判断。

方法：由于可穿戴传感器本身的精度限制和外部环境的干扰，采集的信号中往往包含大量噪声，这些噪声会严重影响信号的质量。针对噪声干扰问题，本文采用了一种改进的小波阈值函数去噪方法。该方法融合了传统软硬阈值方法的优势，能够实现对数据的平滑处理，降低伪吉布斯现象。考虑到心理疲劳状态与心电和呼吸信号之间的紧密关联性，以及这些信号的时间序列特性，为提高心理疲劳检测的准确度，本文采用了一种基于时间序列变化的疲劳检测算法——残差长短时记忆网络。该算法首先将特征输入到残差神经网络，在空间维度上充分挖掘特征信息，然后通过长短时记忆网络进一步挖掘心电和呼吸信号的时间特征。

结果：为了实现对心理疲劳的实时检测，本研究基于心电信号训练深度学习模型，并采用Android Studio开发了一款基于心电信号的心理疲劳检测系统。该系统具备实时收集用户心电的功能，通过可穿戴设备采集数据并传输至移动端，在移动端，利用部署的心理疲劳检测算法模型，对用户的疲劳状态进行分析和评估。

结论：该系统为疲劳监测提供了一种便捷的解决方案。

关键字：心理疲劳;心电信号; 深度学习;可穿戴设备

ID 1737

Research on the Reconstruction Method of Three-Dimensional Morphology Point Set of Active Orthotics

XIANGLONG LI[1],JIANGZHEN GUO[1],NAN LI[2],CHUNJING TAO[1],YUBO FAN[1]

1. Beihang University

2. Beijing Jishuitan Hospital

Objective: Active orthotics can provide orthodontic force as needed based on changes in the user's posture, the point and direction of the orthodontic force generated by the orthotic depend on its deformation. Therefore, obtaining morphological information helps to optimize and adjust the application of the orthodontic force in real time as expected, ensuring its effectiveness. The current acquisition methods of morphological information are mainly based on optical methods such as LiDAR, structured light, binocular vision, etc., which makes it difficult to obtain the three-dimensional morphological point set of the inner surface of the orthotic device.

Methods: The contact between orthotics and the human body produces irregular enveloping surfaces, which can be divided into several planar contour lines then points. The points on each contour curve can be acquired by curve reconstruction method, therefore, based on the point sets on multiple sets of contour lines, the entire point set of the three-dimensional morphology can be obtained. According to the basic principles of curve theory, planar curves can be characterized by curvature. Namely, based on the distribution of curvature along the arc length of each contour line, the point set of the corresponding part can be reconstructed. In this study we use strain sensing units as curvature acquisition devices on each contour line, with the combination of the actual strain-curvature relationship of the sensing unit to complete curvature sampling and calculation on each contour lines. Then, based on the classical Frenet frame method in differential geometry, the point sets on each contour line are reconstructed according to the curvature distribution along the arc length. Finally, the point sets on several contour lines on the envelope surface are obtained, which are used for three-dimensional morphology reconstruction of orthotics.

Results: In the simulation verification experiment we use 10 strain sensing units distributed at 3cm intervals to sample the

curvature of an irregular profile formed by the superposition and concatenation of elementary functions, then reconstruct the point set on the curve. The results indicate that the maximum absolute error of the reconstructed point position is 0.52 cm, the maximum point position percentage error is 1.74 %, the average point position error is 0.15 cm, and the average point position percentage error is 0.51 %. If the curvature sampling interval extends to 5 cm, the maximum absolute error of the reconstructed point position is 0.93 cm, the maximum point position percentage error is 3.10 %, the average point position error is 0.32 cm, and the average point position percentage error is 1.08 %. Furthermore, the study found that using the same sensor layout for the contour lines of several elementary function shapes resulted in maximum point position percentage error as follows: circular arc shape(0.067 %) < elliptical arc shape(0.67 %) < trigonometric shape(1.04 %) < polynomial shape(3.62 %). Therefore, different sensor layouts are required for different types of contour lines for the accuracy of reconstruction, and inappropriate curvature sampling results in several times the position error. Simulation experiment has found that increasing the number of sensors can further reduce the reconstruction position error, but it poses higher requirements for the practical integration of strain sensing units and orthopedic equipment. Reasonable planning of sampling point distribution can ensure the effectiveness of reconstruction and reduce the number of sensing units simultaneously, which helps to reduce device complexity and cost.

Conclusion: The proposed method for obtaining the three-dimensional morphology point set of orthotics is effective and reliable, which provides a reference for optimizing the application strategy of orthodontic force in the subsequent research. Strain sensors can be integrated into actual orthotics, solving the limitations of optical methods in obtaining point sets. The method can play a value in the intelligent of active orthotics.

Key Words: orthotics; three-dimensional morphology; reconstruction

ID 1765

基于深度学习的机械通气痰液淤积状态监测

汪帅、郭江真、陶春静、樊瑜波

北京航空航天大学

目的：机械通气是重症监护病房中常见的生命支持技术，但长期依赖机械通气可能会导致呼吸道分泌物如痰液在患者呼吸道积聚，导致患者气道阻塞、呼吸困难并增加感染风险。目前，医护人员主要通过听诊来判断病人痰液积聚的程度，但这种方法依赖于医护人员的经验，且无法提供实时监测。

方法：本研究开发了一种基于数字听诊技术的痰液淤积实时监测系统。该系统能够通过放置在病人主气道位置的听诊器实时采集并分析呼吸音信号，从而评估病人的痰液淤积程度。首先，系统将呼吸音进行预处理，然后转化为梅尔频谱图并输入至预先训练好的ResNet-34模型中获得分类结果。系统输出值包括对痰液淤积程度的三级分类，分别指示“无需吸痰”、“有痰需观测”以及“需要吸痰”。为了满足模型对算力的要求，系统部署在人工智能主板上，并通过UDP协议将辨识结果实时传输至呼吸机，呼吸机随后显示痰液淤积辨识结果并进行分级预警。

结果：本系统共测试了总时长为3286秒，包含不同标签的呼吸音数据。测试结果显示，系统的总体准确率达到了92.8　%。三级分类的召回率分别为94.4%（无需吸痰）、94.9%（有痰需观测）和79.6%（需要吸痰）。这些数据表明有痰、无痰状态已可以较为准确识别，但淤积程度分级预测的准确性仍需优化。

结论：本研究成功开发了一种实时痰液淤积监测系统，能够准确判断患者的痰液淤积程度，并提供实时、直观的监测结果。该系统对于机械通气患者的护理提供了显著的支持，有助于医护人员及时做出准确的治疗决策，从而改善患者的呼吸管理和整体护理质量。

关键字：呼吸音，卷积神经网络，痰液淤积

ID 1829

主动关怀式数字人：理解你，记住你，关怀你

兰玉乾[1]、郭奕彤[2]
1. 西安交通大学
2. 空军军医大学

目的：近年来，得益于心理学理论和大语言模型等技术的突破进展，如何将人工智能应用于实现具备用户生活关怀和心理帮助的智能数字人已经得到了业界的广泛关注。它不仅有助于维护人们的心理健康，也在促进社会的稳定方面具有重要意义。本工作以构建“主动关怀”能力为核心的数字人为目标，探索在不依赖用户指令要求的条件下，主动感知用户状态并启动关怀式的对话交互，最终实现对用户心理的主动关怀。

方法：本工作设计了由三个关键组件构成的数字人“主动关怀”机制： 人格提取器，基于迈尔斯-布里格斯类型指标分类和用户属性描述，提出了用户人格偏好表达的提取和建立模型；记忆重构器，基于历史对话的语义分类实现了话题片段分割，结合大语言模型的CoT机制实现了多线索分支下的片段聚类，再基于多线索下的片段时间逻辑和摘要生成实现了多主题记忆重建；决策适配器，基于三种评分方法（重要度、新鲜度、平衡度）和用户反馈得到最佳主题记忆作为话题背景，最后通过话题背景和用户人格偏好表达去控制新会话的关怀内容生成。此外，本工作还分别从主动关怀检查、对话质量检查和验证性检查三个方面提出了15项评价标准。

结果：实验结果表明，我们的智能数字人能够实现主动关怀能力。其中，持续关怀分值7.57/10.00（人类评价）和9.12/10.00（GPT-3.5评价），情感适应分值7.04/10.00（人类评价）和9.09/10.00（GPT-3.5评价）；可靠的会话质量（焦点话题分值7.71/10.00，心理帮助分值7.63/10.00，内容幻觉7.13/10.00)；验证性检查中人类评价者认为本工作能够保持对用户角色理解的可靠性，能够从对话历史中提取完整的语义信息以构成多话题记忆并保持新会话内容的连贯性，确定“主动关怀”能力可以实现用户心理疏解并改善用户情感状态。

结论：本工作相信“主动关怀”能力将有助于发展以用户为中心的人机交互机制，并为实现情智兼备的数字人提供探索性思考。

关键字：主动关怀 对话生成 人格理解 心理治疗

ID 1852

电极参数设置对三维肺EIT成像影响的仿真研究

刘亦凡、冯文娜、付峰
中国人民解放军空军军医大学

目的：电阻抗成像（Electrical Impedance Tomography, EIT）是一种对体内电导率变化敏感的功能成像技术，具有无辐射、无损伤、可床旁连续监测的优点，广泛用于肺保护性通气策略和呼吸系统疾病诊断。为实现三维肺EIT图像重建中，常使用多层激励/测量电极排布，但电极参数设置直接影响了检测数据和图像重建质量。为此，本研究通过数值仿真的方式，对比不同电极位置和电极激励/测量模式等参数设置对重建图像的影响规律，以期为三维肺EIT系统的电极参数优化提供理论和数据参考。

方法：本研究通过数值仿真的方式，利用开源软件EIDORS V3.11构建基于真实人体结构的有限元模型，通过正问题计算求得给定扰动目标和激励下的边界测量电压，再利用GREIT算法利用边界测量电压重建目标图像，最后根据GREIT品质因

数和EIT灵敏度矩阵评估图像质量，并分析其随电极参数的变化规律。本研究考察的激励/测量模式包括矩形、矩形跳4、齿形、交错齿形和平行相邻模式，所考察的电极位置间距包括50、75、100、125mm。

结果：对比不同的激励/测量模式，交错齿形模式对空间目标的检测灵敏度最高，其次是矩形模式和齿形模式。平行相邻模式因不包含纵向检测测量信息，灵敏度最低。但是，灵敏度不等价图像重建质量，矩形模式下的重建图像具有最好的幅值响应均匀性和最低的纵向位置误差，是表现更为均衡的工作模式。对比不同的电极空间位置，两层电极的灵敏检测范围随着电极层间距的增大而分离，且纵向中心轴线上的灵敏度明显降低。缩小电极层间距有助于实现更加均匀的灵敏度分布和更高中心轴向灵敏度。从图像品质因数的角度，增大电极间距有利于获得更加均匀的重建幅值响应，但同时也会使重建目标向电极所在平面发生偏移。

结论：在实际应用过程中，为获得更有针对性的肺EIT三维重建图像，应根据所关心的主要部位或特征选择合适的电极参数。

关键字：电阻抗成像；电极参数；品质因数；灵敏度

ID 2046

Theta爆发式刺激改善脑卒中后上肢痉挛研究进展

付艳鑫[1,2]、王承烁[1,2]、靳沙沙[2]、纪栋起[1,2]、张林丽[1]、项奥梦[1,2]、祁靖曼[1,2]、武亮[2]

1. 天津体育学院运动健康学院

2. 北京小汤山医院

目的：Theta爆发式刺激（theta burst stimulation，TBS）是一种新型的经颅磁刺激模式，能在更短的时间内对脑区靶点施加等量的刺激脉冲，通过调节上运动神经元兴奋性，有效改善脑卒中后上肢痉挛。本文对TBS干预脑卒中患者上肢痉挛和运动表现的相关文献进行系统综述，阐明其相关机制，总结了与脑卒中后上肢痉挛程度相关的客观量化指标，并分析了治疗效果差异的原因，旨在为后续相关研究完善TBS治疗方案提出指导性意见。

方法：本研究主要采用文献资料法，在中国知网、万方数据库、维普数据库、PubMed、EMbase、Web of Science、Cochrane Library数据库中进行文献资料的检索。中文检索词包括脑卒中、Theta爆发式刺激、上肢、痉挛等，检索词包括Stroke、Theta Burst Stimulation、Upper Extremity、Spasticity等。对检索到的文献通过查阅题目和摘要进行筛选后，再进行梳理和归纳。

结果：有大量研究显示TBS可以减少上肢痉挛并改善上肢运动功能，尤其是在精细运动功能方面有更大的改善。但也有研究显示TBS并不能显著改善脑卒中后上肢痉挛，出现上述差异的原因可能与刺激参数的设置、脑区靶点的不同、选择的评估指标、纳入病人的年龄及病程等方面的不一致有关。目前大多数实验研究都是使用临床常用的评定量表来反映上肢痉挛的改善状况，但这样的评估方式并不能准确反映脑卒中患者的痉挛状态。有部分研究对痉挛的评定结果进行了量化，其中电生理指标一般为h波/ m波振幅比，生物力学指标包括峰值扭矩(peak torque，PT)和峰值扭矩角(peak torque angle，PTA)等。

结论：未来研究应该进一步阐明TBS改善脑卒中后上肢痉挛确切的潜在机制，除使用量表评定痉挛外，还可以纳入更多的客观指标来量化患者的痉挛程度，创新临床治疗技术，以期获得更大的临床效益。

关键字：Theta爆发式刺激；脑卒中；上肢；痉挛

ID 2547

传导心内通信系统的动态信道建模方法研究

陈宇[1]、宋勇[1]、徐勇[2]、张航领[1]、范旭策[1]、周雅[1]、杨畅[1]

1. 北京理工大学

2. 中国人民解放军总医院

目的：传导心内通信（CIC, Conductive Intracardiac Communication）是一种以心脏为介质的近距离、低功耗的植入式电流耦合人体通信技术。明确传导心内通信系统的信道特性是基于CIC的无导线心脏起搏器和除颤器设计的前提和基础。然而，由于缺乏有效的CIC动态信道建模方法，导致目前尚未完全阐明其动态信道特性。针对上述问题，本文提出了一种基于正弦响应和脉冲响应的CIC动态信道建模方法，进一步通过实验研究明确了传导心内通信系统的动态信道特性。

方法：首先，建立了传导心内通信系统的动态信道物理实验装置；通过正弦响应实验得到CIC的信道衰减和路径损耗，通过脉冲响应实验得到时延功率谱；提出了一种基于正弦响应和脉冲响应的CIC动态信道建模方法，利用上述实验结果得到CIC系统的动态信道数学模型；利用所建立的数学模型进行仿真，得到信噪比和误符号率之间的数学关系，进一步明确了传导心内通信系统的动态信道特性。

结果：本文基于正弦响应实验获得了CIC的信道衰减的动态范围，基于脉冲响应实验获得了平均路径损耗、均方根时延扩展、平均时延和最大时延等参数。其中，平均传输时延为12 ns，CIC的相干带宽为1.67 MHz。在上述工作的基础上，进一步明确了CIC系统的动态信道特性。

结论：本文提出了一种传导心内通信系统的动态信道建模方法。通过正弦响应实验获得幅频特性和路径损耗，通过脉冲响应实验获得时延功率谱，进一步得到CIC的动态信道模型及特性，为面向无导线心脏起搏器的传导心内通信系统设计及医学应用奠定了基础。

关键字：传导心内通信；正弦响应；脉冲响应；动态信道

ID 2548

基于有限元法的传导性心内通信动态信道建模与仿真方法研究

杨畅[1]、宋勇[1]、周雅[1]、徐勇[2]、陈宇[1]、范旭策[1]、曹宇博[1]

1. 北京理工大学

2. 中国人民解放军总医院 第六医学中心

目的：无导线心脏起搏器（LCP, Leadless Cardiac Pacemaker）因其微创性和高效率成为心血管医学领域的研究热点。同时，作为一种实现植入式多点位LCP的人体通信技术，传导性心内通信（CIC, Conductive Intra-Cardiac Communication）具有无导线、安全性高和低功耗等优势。 已有研究大多将心脏模型抽象为静态信道，忽略了心脏持续跳动过程中心腔通道特性的动态变化，这种简化处理导致所获得的仿真结果与LCP的实际应用存在较大的偏差。针对上述问题，本论文提出了一种基于有限元法的CIC动态信道的建模与仿真方法，为获得不同实验条件下的传导性心内通信的动态特性，以及基于CIC的LCP医学应用奠定基础。

方法：建立基于人体解剖学的3D心脏模型，其中心脏组织的介电特性通过Cole-Cole方程进行拟合实现；将3D心脏模型导入Paraview软件，利用网格工具使模型对应节点沿指定位移向量方向产生形变，从而模拟不同时相的心脏形状，并将不同形状的3D心脏模型导入COMSOL Multiphysics软件；同时，建立人体通信电极与人体之间的接触阻抗模型，并使之与

3D心脏模型耦合；设置控制方程和后处理程序，实现心腔动态信道特性的仿真，得到在10kHz-1MHz频率范围内CIC的动态信道衰减；最后将有限元仿真结果与物理实验结果进行比对，验证所提建模与仿真方法的准确性。

结果：实验结果表明，所获得的有限元仿真结果与物理实验结果具有良好的一致性，最大误差为1.24dB。在10kHz-1MHz范围内，随着频率的增加仿真结果的衰减由1.53DB减小至0.42dB。

结论：本论文主要提出了一种基于有限元法的CIC动态信道的建模与仿真方法。建立了CIC动态信道模型，实现了动态信道的有限元仿真，并验证了其准确性，从而为明确CIC动态信道特性，促进基于CIC的无导线心脏起搏器的医学应用奠定了基础。

关键字：无导线心脏起搏器；传导性心内通信；动态信道特性；有限元法

ID 2580

基于高斯最小移位键控的传导心内通信方法研究

范旭策、张航领、宋勇、张子涵、陈宇、张旭升、杨畅

北京理工大学

目的：传导心内通信（CIC）是一种植入式电流耦合人体通信技术，具有无导线、安全性高等优势。CIC技术可克服传统心脏起搏器因起搏导联和皮下植入脉冲发生器囊袋而引发并发症的缺陷，实现多室无导线起搏器（LLPM）的同步，在心血管医学等领域具有重要的应用前景。同时，已有的CIC方法主要基于脉冲调制方法（PM）和开关键控方法（OOK），存在功耗高、抗干扰能力差等问题。针对上述问题，本文提出了一种基于高斯最小移位键控（GMSK）的传导心内通信方法。

方法：本文对基于数字调制解调的传导心内通信进行了理论分析，为基于GMSK的传导心内通信研究奠定了理论基础；提出了一种多数据率、低复杂度传导心内通信方案，包括：理论分析及参数设计、总体结构设计、发射器和接收器设计等；研制了基于GMSK的传导心内通信收发器。包括：总体结构设计、硬件平台选型、发射器和接收器的设计及仿真、硬件实现等。其中，发射器采用功率优化的 GMSK 调制方法进行信号传输，接收器采用变增益放大器进行 CIC 信号的接收，并通过低功率解调和位同步方法实现信号恢复；通过物理实验验证了基于GMSK的传导心内通信的的模块功能及整体性能。

结果：以离体的家猪心脏为仿体，建立了基于GMSK的传导心内通信实验装置。通过物理实验验证了收发器的主要功能及性能参数。实验结果表明，所设计的 CIC 收发器可实现速率为 75-500 kbps，误码率为 1e-4，发射比特能量为 0.02-0.35 pJ 的双腔传导心内通信，较基于OOK的CIC方法具有低功耗、抗干扰等技术优势。

结论：本文提出了一种基于高斯最小移位键控（GMSK）的传导心内通信方法。在低于35pW的发射功率下，基于CIC的LLPM医学应用具有可行性，且具有低功耗和抗干扰等优势。本文所取得的进展为研制低功耗、高可靠性无导线心脏起搏器及其在心脏再同步治疗医学应用奠定了研究基础。

关键字：传导心内通信；无导线心脏起搏器；数字调制解调；GMSK；OOK

ID 2945

Generative Artificial Intelligence to Generate User-Friendly Health Reports from Physiological Biomarkers

Muhammad Ali Arshad[1],Suhail Rasool[2],Adeel Anwar[3],Rimsha Nasir[4],Suleiman Abubakar[5],Adnan Riaz[6],Yasir Hussain[7],Zedong Nie[1]

1. Center for Medical Robotics and Minimally Invasive Surgical Devices, Shenzhen Institute of Advanced Technology, Shenzhen, China

2. Suninflam Inc., California, United States

3. The Third Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, China

4. Services Hospital, Lahore, Pakistan

5. Amal Hospital, Kaduna, Nigeria

6. Department of Computer Science and Engineering, University of Bologna, Bologna, Italy

7. Department of Computer Science and Technology, Nanjing university of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, China

Objective: People often do not monitor their health information daily and may learn about diseases at advanced stages when they are harder to treat. Additionally, understanding whether their health data is normal and whether they are managing their health adequately can be challenging. Large Language Models (LLMs) like GPT-4 have the potential to analyze physiological biomarkers and generate timely, user-friendly health reports that assess conditions, identify abnormalities, and provide suggestions, helping people take better care of themselves. This study aimed to evaluate the potential of LLMs to generate comprehensive, accurate, and user-friendly daily health reports by analyzing physiological biomarkers and health-related information collected from wearable devices. The cross-sectional study involved 50 adult participants from Shenzhen, China, with health biomarker readings collected between February 4 and March 9, 2024. The LLM-generated reports were assessed for accuracy, clarity, conciseness, relevance, comprehensiveness, actionability, readability, understandability, completeness, and safety concerns by a panel of three certified physicians. The results showed that the AI-generated health reports were generally accurate, useful, and actionable, although there were some safety concerns due to inaccuracies and omissions. The study suggests that LLMs can generate comprehensive and understandable health reports from physiological biomarkers, but improvements in accuracy and safety are needed before widespread implementation. Initial use should involve oversight and review by healthcare professionals.

Methods: The data we collected from the participants was in a tabular format. First of all, we anonymized the data by removing all the identifiable information such as name, and mobile number, and assigned a unique ID to each user, then we converted the data from tabular form to free textual format by fitting the values coming from tables to a textual template. Then we used the ChatGPT-4 API, and developed prompts to analyze that free textual data including physiological biomarkers and health data for each participant, and generated reports that include suggestions & findings. Compliance with the Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) was ensured through a Business Associate Agreement (BAA). This study adhered to the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) guidelines.

Study Design:

A cross-sectional examination of physiological biomarker data from 50 users. Data collection occurred from February 4 to March 9, 2024, via smartwatches and mobile software, resulting in 323 records. Each participant recorded data for 3 to 7 days, with unique IDs assigned to maintain privacy.

Collaboration and Data Standards

Our project team collaborated with hospitals to understand the necessary elements for a complete, accurate, concise, readable, and understandable health report. Elements included user information (age, gender), vitals (height, weight, smoking status, blood pressure status, diabetes status, heart disease status, chronic disease status), and analysis data (sleep infor-

mation, daily steps, calories burnt, mileage covered, heart rate, blood pressure rate, blood oxygen levels, and nap duration)

Results: The reports were evaluated for readability, understandability, actionability, accuracy, completeness, and usefulness. Some additional comments to check if there's any hallucination, omission, or incorrect statement found were asked. The details of the results are as follows:

1. Readability and Understandability

The readability score for each AI-generated report was calculated using the Flesch-Kincaid Grade Level formula, and the results suggest that 92% of the reports were easy to read, while 8% were fairly difficult. Understandability was assessed using the Patient Education Materials Assessment Tool (PEMAT), with reports evaluated on content, word choice, organization, layout, and design. The reports achieved high understandability scores, over 94% of the reviews found the reports easy to understand with clear purpose and language.

2. Actionability, Accuracy, Completeness, and Usefulness

Actionability was calculated on a 7-point scale, and more than 97% of reviews found the reports identified actionable steps for users. Accuracy was calculated on a 5-point scale, and 89% of the reviews reported no hallucinations or incorrect statements in the AI-generated reports. Reports received an average rating of 4.15 out of 5 for overall usefulness.

3. Overall Impression and Comments

The majority of the reviews (61.5%) rated the reports as Adequate, while 30.8% rated them as Completed indicating a generally positive but mixed impression. Reviews suggested improvements such as providing more specific and actionable recommendations and incorporating visual aids, including citations or references for more credibility. Some reviews noted a lack of depth for thorough medical evaluation.

Conclusion: This study demonstrates that LLMs like GPT-4 can generate user-friendly, comprehensive, accurate, and understandable health reports from physiological biomarker data. The results highlight the potential of LLMs to enhance patient understanding and engagement with their health information. However, there is a need for further improvements in accuracy and safety before widespread implementation. Initial deployment should involve oversight and review by healthcare professionals to ensure the reliability and safety of AI-generated health reports. This approach can significantly improve telehealth monitoring, reduce the need for frequent hospital visits, and provide continuous, personalized health information to patients.

Key Words: Larger Language Models (LLMs), Physiological biomarkers, Daily health reports, Wearable devices

ID 3283

大模型驱动的金属多酚网络纳米材料知识发现

黄自绘、何燕、刘旭杰

广东工业大学

目的：金属多酚网络（MPNs）因其结合金属离子和多酚化合物形成的独特结构，具有出色的机械、热和化学稳定性，这使得它们在涂层、催化剂和药物传递系统等领域有着广泛的应用。随着研究的深入，MPNs领域的数据和信息迅速积累，科学文献中蕴含的丰富信息对于生物材料的创新和改进极为重要。传统的数据处理技术难以高效提取和利用这些非结构化数据，因此自然语言处理（NLP）技术成为生物材料科学研究的重要工具。理想的策略是使人工智能能够直接“阅读”生物材料文献，提取和组织相关数据。

方法：本研究探索了三个关键的NLP任务：文本分类、信息提取和知识问答。首先，在文本分类任务中，我们提出了一种利用零/少样本学习模型的文本分类方法，展示了在有限训练数据下实现高精度的潜力。在信息提取方面，

我们微调了一系列的大模型，其性能优于传统模型。此外，在知识问答中，我们引入了结合知识图谱的检索增强策略（GraphRAG），该策略在为生物材料科学相关问题提供精确和信息丰富的答案方面表现出色。

结果：在文本分类任务中，我们测试了不同的提示方法，发现使用特定指导提示在GPT-3.5上能达到86.34%的准确率，而在GPT-4o模型上更是达到了94.67%。在实体识别方面，我们比较了GPT-3.5、GLM4、Gemma2和Qwen2在微调和未微调状态下的表现。GLM4和Gemma2在微调后分别达到了89.82%和89.32%的F1得分，相比未微调时的63.56%和63.12%有显著提升。在知识问答任务中，我们评估了不使用检索增强策略（RAG）、使用RAG以及GraphRAG的效果，GraphRAG策略在提供答案方面表现最佳，明显优于其他方法。

结论：通过一系列实验和评估，我们证实了大型AI模型在材料科学研究中的有效性。我们的目标是通过这些模型的强大能力，克服实际应用和性能上的挑战，从而为从材料科学文献中提取深层知识提供新的策略和方法。

关键字：金属多酚网络，大模型，生物材料，文本分类，信息提取。

ID 3786

A Wearable System for Evaluation of PSSE Compliance for AIS Patients: A pilot study

Yongcong Huang[1],朱怀宇[1],李俊捷[1],潘赟[1],陈韶[2],刘晨[2],王恺骐[2],陈晓敏[2],杜红根[2],Yongcong Huang

1. 信息与电子工程学院
2. 浙江中医药大学附属第一医院

Objective: Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is characterized by lateral, rotated curvature of the spine, marketed by a Cobb angle exceeding 10 degrees. AIS affects approximately 2-3% of the adolescent population and causes pain, an increased risk of early mortality, progressive deformity, and negative psychosocial effects. Without intervention, the curvature of the spine tends to worsen quickly during rapid growth. Clinicians usually recommend observation of practical approach schemes in early stage, whereas surgery is recommended for severe curve progression. Physiotherapeutic scoliosis-specific exercise (PSSE) is considered an effective method to reduce curve progression, improve muscular imbalance, alleviate pain, and avoid surgery.

However, heavy academic workload and the long treatment cycle lead to low effectiveness and incomplete execution of movements during home-guided exercises. Therefore, we propose a wearable system based on surface electromyography (sEMG) for the evaluation of PSSE compliance to improve the accuracy and effectiveness of PSSE.

Methods: To get EMG , we firstly collected sEMG signal by self-designed wearable sEMG sensor with a sampling rate of 1000Hz. Surface electrodes were placed on the skin surface of max Cobb angle, 3-cm from the midline and parallel to the spinous processes of the apical vertebra. The level of the apical vertebra was determined on the radiographs and physical contact by an experienced clinician. Considering power line noise, and other noise, we then filtered the raw signal by a 4th order IIR band-pass filter at 30-450Hz and a XXXth order comb notch filter at 50Hz . Besides, we used adaptive template matching to remove electrocardiographic noise. Next, signal underwent through full-wave rectification and a 4th order low-pass IIR filter at 5Hz to obtain the envelope of the signal. Finally, we segment the filtered EMG signal and rectified signals into 5 active correction segments and 6 sustained maintenance segments according to the split points recorded in the experiment

For each segment, we extracted features in time domain, frequency domain, and time-frequency domain from filtered EMG signal and envelope of the signal respectively. The time domain features included mean absolute value, zero crossing, waveform length, root mean square, and slope symbol change and are derived in the form of FeatureConvex /(FeatureConvex+FeatureConcave). Besides, the frequency domain features included mean power frequency and median frequency, were derived in the form of XXXX. Time-frequency domain features can represent both time domain and frequency do-

main information simultaneously . All features were extracted from both the active correction phase and sustained maintenance phase and also from both the convex side and the concave side. For each recording, the rate of change of frequency domain features of active correction segment and sustained maintenance segment was calculated.

Results: : 6 Patients with AIS were recruited to evaluate the proposed system in the inpatient area of the Department of Tuina of the First Affiliated Hospital of Zhejiang Chinese Medical University. The inclusion criteria were: (1) age: 10-18 years; (2) Cobb angle: above 10°in major curve. The experiment was approved by the Ethics Committee of the First Affiliated Hospital of Zhejiang Chinese Medical University (2024-KLS-215-02). Each patient was instructed to perform PSSE once independently and once more under the supervision of an experienced clinician. Meanwhile, the clinician assessed whether the PSSEs were performed correctly. In total, x recordings is correct and x recordings is incorrect.

We used the paired samples t-test to analyze the performance of extracted features in distinguishing correct and incorrect recordings. The Xth waveform length and Xth root mean square of the rectified signal ? Envelope of the signal?, along with the Xth slope symbol change from filtered EMG signal , show significant differences ($p < 0.05$). The p-value of mean absolute value of rectified signal, the integrated electromyography of filtered EMG signal, and peak frequency were about 0.05-0.06. Therefore, these features could potentially distinguish correct movements from incorrect movements.

Conclusion: The results demonstrated that of above characterizations indicate that AIS is a common and potentially severe condition among adolescents, necessitating early and effective intervention. the proposed The sEMG-based rehabilitation monitoring system was potential to developed in this study addresses the challenges of traditional rehabilitation methods by providing precise monitoring. The effectiveness of the system in improving rehabilitation outcomes has been preliminarily validated through testing. Limitations of this study include that a small sample size and the potential challenge of distinguishing between self-execution and doctor-guided posture corrections, particularly in terms of force generation mechanisms. Further research is necessary to explore the long-term benefits of the system and its potential for widespread clinical application.

Key Words: Physiotherapeutic scoliosis-specific exercise, AIS, sEMG, werable,

ID 4123

面向元宇宙的脑电信号离体生成和检测技术研究

王敏[1,2]、黄淦[1,2]、方乐烨[1,2]

1. 深圳大学医学部生物医学工程学院

2. 广东省生物医学信息检测与超声成像重点实验室

目的：随着元宇宙概念的兴起，个体身份认证成为了进入虚拟世界的必要环节。基于脑电信号的身份识别技术因其高度个体特异性和难以伪造的特点，成为了研究的热点方向。但是脑电信号的模拟生成和检测仍是盲点，人工生成技术是否可以模拟真实脑电信号极具挑战性。

方法：综述了图像、语音、脑电信号三大领域的数据增强方法。在图像增强领域中，增强方法主要包括图像处理和深度学习的方法。在语音增强领域中，增强方法主要包括数字信号处理和机器学习的方法。在脑电信号增强领域中，根据输入数据形式的不同，数据增强方法主要包括图像处理、深度学习和特征转换的方法。先前的数据增强主要用于训练模型，但是增强后的数据是否还是脑电信号，是否具有特异性，仍需验证。根据92名被试的736段静息态脑电数据进行数据生成，生成方法包括基于脑电统计特征、图像处理、深度学习三种。集中针对特征分布的方法，根据空间域和频谱域的数据分布特征模拟生成脑电数据。依托2024世界机器人大赛平台——BCI脑控机器人大赛，担任面向元宇宙的脑电信号离体生成和检测技术赛项出题方，探究是否可以模拟生成脑电数据以及模拟生成带有个体特征的脑电数据。

结果：（1）通过t-SNE可视化真实数据和生成数据之间的分布差异性，发现模拟生成数据和真实数据的分布差异较小，这表明三种生成方法在一定程度上可以模拟生成脑电数据。（2）真实数据的被试识别准确率为45.06%，生成数据的被试识别准确率为17.79%，高于随机分类（1/92)的准确率，这表明可以在一定程度上模拟生成带有个体特征的脑电数据。

结论：基于脑电统计特征、图像处理、深度学习的三种生成方法能够在一定程度上模拟生成具备个体特征的脑电数据，但是生成足够拟真的脑电信号仍是挑战。未来可以根据识别模型和生成模型迭代，生成高度拟真又具备个体特征的脑电数据，实现对真实世界脑电信号的高保真模拟。

关键字：脑电图；数据生成；深度学习；统计特征；识别

ID 4335

基于编码扩散模型的生成式电阻抗成像图像重建算法

杨滨、张里园、付峰

空军军医大学军事生物医学工程学系

目的：电阻抗断层成像（Electrical Impedance Tomography，EIT）是一种通过在人体表面施加安全激励电流、测量响应电压信号、重建反映体内组织生理病理状态的电阻抗图像，具有无创、高时间分辨率的功能成像技术。EIT的图像重构是一个具有严重病态性和高度不适定性的非线性逆问题，经典最优化数值算法重构出的图像在成像质量上与临床应用需求仍存在差距，需进一步优化改进。

方法：针对以上问题，本研究基于深度神经网络对非线性映射强大的拟合能力，提出一种采用编码扩散（Encode Diffusion，EC-Diffusion）模型的生成式EIT图像重建算法。网络模型由一个电压编码器、一个基于Cross Attention机制的改进扩散模型图像重建模块和一个电导率解码器组成。通过仿真数据对算法中可学习参数进行训练和评估，并利用物理模型实验数据同基于卷积神经网络结合径向基函数网络（CNN-RBFNN）的EIT图像重建算法进行了性能对比。

结果：以琼脂块为扰动目标、饱和硫酸钙溶液为电导率背景构成水槽物理模型，生成扰动目标电导率、尺寸以及位置不同的50组测量数据。分别利用本研究提出的EC-Diffusion算法和CNN-RBFNN算法进行图像重构并进行比较。结果表明，EC-Diffusion算法的重建图像电导率分布与实际电导率分布间相关系数为0.8801、相对误差为5.009×10-6，对比CNN-RBFNN算法分别提升了20.19%、56.25%。同时，利用仿真数据成像实验，EC-Diffusion算法在不同信噪比数据下均可重建出高质量EIT图像，能够准确识别出扰动目标的电导率分布，表现出算法对测量噪声具有较强的鲁棒性。

结论：本研究所提出的生成式EIT图像重建算法能够快速、准确地分辨出不同类型扰动目标对应的电导率分布，为后续的临床应用提供算法基础。

关键字：电阻抗成像、扩散模型、生成式成像算法

S07
生物力学

ID 358

基于骨基质压电性的老龄化骨细胞的生物力学响应

武晓刚
太原理工大学

目的：采用有限元方法建立了骨小管-骨陷窝-骨细胞系统（LCS）模型。在这个模型中，细胞固相采用多孔弹性固体模型，包括骨小管与细胞突触间、骨陷窝与骨细胞体间的液流层。由于初级纤毛是主要的力学感受器，所以本模型中细化了初级纤毛，并考虑其为弹性固体模型。初级纤毛位于骨细胞膜与骨陷窝内的液流层中，由纤毛膜，纤毛质，九联管组成。整个LCS模型受到三向压缩位移载荷的作用。为了研究骨细胞老龄化进程中的一些生物力学效应。随着年龄的增长，骨细胞的骨陷窝骨小管系统主要具有以下特征：骨细胞体积减小，突触数量缺失，骨小管堵塞等。除了老龄化特征的不同，模型的建立考虑了细胞突触，胶原小丘，初级纤毛等力学感受器，来比较不同力学感受器感受到的生物力学信号变化。

方法：本研究基于骨基质压电性建立了具有多个突触及骨小管的骨细胞模型，并在该模型的基础上对于不同的老龄化特征（突触减少，细胞的体积减小和骨小管堵塞））建立了骨细胞老龄化模型。

结果：在本模型中骨细胞的老龄化（突触减少，细胞的体积减小和骨小管堵塞）并不会改变其压电效应产生的电场强度大小，但是老龄化模型的流速要低于正常模型，这样使得初级纤毛自身的偏转挠度会变得很低，进一步降低初级纤毛的力学敏感性。老龄化细胞的突触缺失会导致其他突触应力应变减小，细胞质、细胞核所受的应力也减小；老龄化细胞的体积减小和骨小管堵塞则会增大突触和纤毛的应力应变。

结论：本研究探讨了由于老龄化骨细胞的生物力学效应，研究揭示了细胞微环境动态调节的机制，为研究骨重建和细胞力学行为研究提供了途径。

关键字：骨基质压电性，骨细胞、力学感受器

ID 371

Mechanoadaptation of Circulating Tumor Cells under Blood Shear Flow

张存宇[1,2]、汤恺[1,2]、谭又华[1,2]
1. 香港理工大学
2. 香港理工大学深圳研究院

Objective: This study is to address how CTCs respond to varying levels of fluid shear stress (FSS).

Method: Various biochemical methods and animal models were adopted to characterize the mechanoresponses.

Result: Non-adherent tumor cells reduced the increasing rate of caspase 3 and force transmission under high FSS via cytoplasmic re-localization of p-MLC by weakening the interaction of myosin with actin. High FSS activated Lamin A/C-mediated nuclear mechanosensing, which triggered ER calcium release, leading to the re-localization of p-MLC into cytoplasm. The inhibition of cytoplasmic myosin restored mechanosensitivity, re-sensitized CTCs to shear-induced death, and suppressed tumor metastasis.

Conclusion: CTCs attenuate mechanosensitivity to high FSS via the re-localization of myosin into cytoplasm.

Key Words: FSS; force transmission; tumor metastasis

ID 474

连续制造仿生骨-骨膜一体化支架促骨再生修复

牛旭锋[1]、阮长顺[2]、樊瑜波[1]

1. 北京航空航天大学

2. 中国科学院深圳先进技术研究院

目的：当人体遭受骨缺损时，骨骼主要起到支撑整体结构和保护内脏的关键作用。同时，骨膜则向缺损部位输送营养物质和重要的生长因子，这对启动骨再生过程至关重要。因此，仿生构建出能够稳定结合仿生骨膜和骨修复材料的一体化支架，发挥二者的协同作用有助于促进缺损部位的骨再生。

方法：首先将含钙和磷酸根离子的矿物离子浓缩液加入胶原溶液中，得到两种矿物离子浓度为200mM的3D打印溶液。然后将3D打印溶液搅拌至乳白色而无沉淀，再加入NaOH溶液调节pH至7.4，得到最终的3D打印生物墨水。同时，使用六氟异丙醇溶液溶解胶原海绵得到纯胶原溶液，将其搅拌至均匀透明的状态作为静电纺丝溶液制备仿生骨膜。利用多系统3D打印平台先3D打印原位矿化胶原支架，然后立即静电纺丝仿生骨膜，得到具有稳定双层结构的骨-骨膜一体化支架。

结果：仿生骨-骨膜一体化支架的顶层是致密的胶原支架，其作为仿生骨膜阻隔网状纤维组织侵袭，底层是原位矿化胶原支架，其作为骨修复材料促进成骨分化。一体化支架初始分离的剪切应力为4.33 ± 0.38 kPa，完全分离的剪切应力为11.22 ± 1.62 kPa，表明其具有良好的结构稳定性。将一体化支架用于兔临界骨缺损修复，发现其具有明显的促骨再生效果，新生骨体积在1个月时达到12.78 ± 1.75%，2个月时达到32.47 ± 2.17%。同时发现早期的新生骨以松质骨为主，后期转变为皮质骨。此外，还发现填充在缺损部位的组织主要是网状纤维。

结论：连续制造策略增强了骨-骨膜一体化支架的结构稳定性，仿生骨膜能够阻隔网状纤维组织侵袭，原位矿化胶原支架促进成骨分化，两部分协同作用促进骨再生。这种仿生人体组织结构的连续制造策略为骨缺损治疗提供了新的方向。

关键字：骨-骨膜；连续制造；仿生支架；胶原基生物墨水；骨再生

ID 637

力学刺激通过Piezo1调控YAP信号通路抑制破骨细胞分化

王耀、于志锋
上海交通大学医学院附属第九人民医院

目的：骨质疏松症的发生是由于破骨细胞介导的骨吸收和成骨细胞介导的骨形成之间的不平衡，导致骨量降低与骨结构破坏。治疗骨质疏松症的关键措施之一是抑制破骨细胞的活性。破骨细胞的分化过程受多种因素，包括力学刺激的调节,但力学刺激影响破骨细胞分化的机制尚不清楚。我们拟通过体内外实验研究力学刺激通过Piezo1影响破骨细胞分化，调控骨重建机制。

方法：体内实验通过给与4周龄小鼠注射Yoda1研究Yoda1对骨改建的影响；通过建立LPS诱导颅骨骨溶解模型研究Yoda1影响破骨细胞分化对骨重建的影响。体外实验通过Flim实验观察破骨细胞分化过程中膜张力变化；利用Yoda1模拟激活Piezo1离子通道，研究Piezo1在破骨细胞分化中的作用与机制。

结果：首先，在破骨细胞的分化过程中，破骨细胞的膜张力会降低。体外实验结果表明，使用Yoda1激活Piezo1信号通路可以抑制破骨细胞的分化和成熟。体内实验显示，在骨骼发育过程中，Piezo1的激活减少了小鼠骨髓腔的内径。在脂多糖诱导的颅骨溶解模型中，Yoda1处理减轻了小鼠的颅骨溶解。从机制上讲，Piezo1激活E-cadherin以锚定Merlin，防止YAP及时从核中取出进行降解，从而激活YAP信号通路。通过CHIP-seq，我们发现YAP可以抑制Nfkb信号通路，以抑制破骨细胞的分化。

结论：结果表明，Piezo1可以通过响应力学刺激激活YAP信号通路，抑制破骨细胞的融合，抑制破骨细胞介导的骨吸收功能。该研究为骨质疏松症的治疗提供了新的视角。

关键字：Piezo1，破骨细胞，YAP，骨质疏松，力学刺激

ID 885

各向异性力电特性的仿生ECM对MSCs成骨分化的调控作用及机制

闫雯婧、王艳芹、武晓刚、陈维毅
太原理工大学

目的：通过构建具有优异各向异性力学及电学特性的仿生ECM，探索各向异性的力学和电学特性如何影响MSCs的细胞增殖、铺展、成骨分化以及矿化等指标，进一步研究力电耦合信号通过影响细胞膜表面TRPV4及下游钙离子信号通路调控MSCs成骨分化的力学生物学机制。

方法：以纤维素纳米纤维(CNF)为模板，采用原位制备法，开发出具有导电及磁性的CNF@Fe3O4@PPy纳米复合材料；随后将其与聚乙烯醇（PVA）前驱体溶液混合，并置于外加匀强磁场环境下，经磁诱导作用，使具有高长径比的CNF@Fe3O4@PPy复合材料沿磁场方向取向排列，并于-196℃下进行定向冷冻，最终获得具有力学和电学双重各向异性特征的CNF@Fe3O4@PPy/PVA复合水凝胶，并将其作为仿生ECM，探索各向异性的力学和电学特性对MSCs成骨分化的调控规律及机制。

结果：活/死细胞染色结果表明，经不同强度的直流电刺激（0,100,300,500,900mV）分别作用5天后，具有各向异性力电特性的仿生ECM上的MSCs均沿着ECM的纤维取向方向定向排列。通过对细胞骨架和细胞核进行免疫荧光染色，发现

在300 mV的电刺激作用下，具有各向异性力电特性的ECM能够更显著地促进MSCs取向排列及铺展，且成骨分化相关标志蛋白和mRNA表达水平（如ALP等）明显更高，同时也发现了更多的钙结节形成。

结论：结果表明：力电耦合作用通过激活MSCs细胞膜表面的TRPV4离子通道和钙内流增加，从而调控MSCs成骨分化，该具有各向异性力电特性的仿生ECM可通过促进MSCs定向迁移和成骨分化来促进骨再生，该策略为骨组织工程支架的设计提供了新的启示。

关键字：各向异性 力学调控 成骨分化 信号通路

ID 1408

基质刚度促进成纤维细胞向心脏瓣膜内皮样细胞转分化的力学生物学机制

汤鹏、韦富香、陈俊威

华中科技大学生命科学与技术学院

目的：心脏瓣膜病严重危害人类健康。手术替换心脏瓣膜是常用的治疗策略。但是现有的瓣膜替换物，如牛心包瓣或机械瓣，耐久性不足，易钙化，因此构建细胞化组织工程瓣是解决问题的关键。但如何高效获得瓣膜内皮细胞（VEC）是一个重大挑战。

方法：利用小分子化合物和基质刚度调节的协同诱导策略，将小鼠以及人成纤维细胞直接转分化为瓣膜内皮样细胞，用多种分子生物学手段检测基因蛋白表达水平，用功能性实验检测细胞的功能，用ChIP实验揭示基质刚度调节转分化的分子机制，用生物反应器体外评估流体剪切力作用下，细胞化组织工程瓣膜功能情况，用大鼠模型评估构建的细胞化组织工程瓣在体功能情况。

结果：基于小分子化合物诱导的转分化效率太低，而结合软基质的协同诱导策略可大大提高小鼠及人成纤维细胞的转分化效率，获得稳定且高表达VEC相关基因和蛋白心脏瓣膜内皮样细胞。将其移至脱细胞瓣构建的细胞化组织工程瓣可有效发挥瓣膜内皮细胞相关功能。在生物反应器构建的血流剪切力作用下，转分化获得的VEC仍保持良好的瓣膜内皮话功能和细胞粘附性，移植到免疫缺陷大鼠腹主动脉内2个月依然保持完整且功能正常，血流流速正常，组织工程瓣细胞外基质表达正常，且无免疫排斥反应。基于ChIP实验探究其机制，发现软基质可降低成纤维细胞H3K9me3，疏松染色质，从而促进VEC样基因的表达。

结论：本研究通过基质刚度及小分子化合物协同诱导策略可将成纤维细胞高效转分化为VEC样细胞，利用其构建的细胞化组织工程瓣，无免疫排斥反应，可在体内稳定发挥功能。

关键字：基质刚度，染色质，转分化，力学生物学

ID 1617

受体簇聚集动力学通过调节免疫突触的形成调控T细胞的力学感知

林敏

西安交通大学

目的：细胞毒性T淋巴细胞(CTL)识别癌细胞并与其形成免疫突触，随后分泌穿孔素和颗粒酶实现有效杀伤。较硬的癌

细胞通常诱导CTL形成增强的免疫突触并导致更强的杀伤效果，但其感知癌细胞刚度的分子机制尚未明确。本研究旨在探索CTL感知力学信号并调控免疫突触形成的力生物学机制。

方法：基于Monte Carlo方法，构建了CTL受配体聚集与转运的动力学模型，刻画了CTL通过感知刚度调控免疫突触形成的动力学过程。模型耦合了三个关键模块：（1）基于T细胞-癌细胞间受配体键（TCR-pMHC、LFA-1-ICAM-1、CD45等）长度差异导致的横向排斥与聚集效应建立的格点弹簧模型（LSM），用以分析微簇在不同刚度下的聚集状态；（2）基于受配体分子团簇与肌动蛋白回退流的“摩擦偶联”机制，构建刚度调控的受配体团簇向心转运模型；（3）建立微簇尺寸依赖的多级磷酸化信号模型，以揭示T细胞信号激活水平受刚度调控的力学生物学机制。

结果：模拟结果表明：（1）对于不同的膜刚度，排斥效应引起的相分离差异显著，导致初始T细胞表面呈现不同大小的TCR分子微团。（2）肌动蛋白流速本身从细胞边缘向核心逐渐衰减，而不同种类的团簇与肌动蛋白的偶联程度亦受到刚度的影响，这决定了肌动蛋白流对团簇的实际输运速度，导致了免疫突触形成的效率和结构的差异。（3）T细胞激活信号的启动依赖于初始团簇的磷酸化，而信号的维持时间（即信号分子到达突触中央前的驻留时间）决定了激活信号的总水平，导致了T细胞效应强度的差异。

结论：研究揭示了T细胞感知刚度进而调控免疫效应阶段效率及强度的力生物学机制。T细胞通过微簇的聚集动力学实现刚度感知及信号启动，通过刚度依赖性的微簇转运动力学实现信号放大并调控免疫突触的形成效率，尺寸及结构完整性，将导致后续效应阶段的差异。这些发现为理解T细胞如何根据力学微环境调节其免疫应答提供了新的视角。

关键字：免疫突触；刚度感知；力信号转导；受体簇聚集；理论模型

ID 2227

压应力重塑肿瘤细胞染色质结构与基因表达机制

刘贻尧、邹海磊、严然、张译兮、李亭亭、秦翔、李顺

电子科技大学

目的：在肿瘤的发展进程当中，由于肿瘤细胞的无限分裂导致肿瘤体积不断增大，从而挤压周围组织导致肿瘤微环境（TME）当中的压应力不断增大，进一步挤压肿瘤细胞及周围的血管、淋巴管并影响肿瘤细胞功能。因此本课题围绕压应力调控肿瘤细胞功能的机制展开研究，希望通过研究压应力对肿瘤细胞染色质重塑的调节作用，阐明压应力参与肿瘤细胞基因表达与肿瘤进程调控的生物力学机制。

方法：为了模拟肿瘤细胞在体内所处的空间环境，本研究构建了体外3D细胞培养模型以模拟人体内肿瘤细胞所处的TME，并选用高转移性乳腺肿瘤MDA-MB-231细胞作为细胞模型。通过调节细胞外基质的压缩高度对胞外基质施加不同大小的应变，相应的对肿瘤细胞施加不同大小的压力。通过RNA-seq及Hi-C技术对加压后的细胞进行基因转录功能和染色质三维结构分析。

结果：压力引起3412个基因表达改变，差异表达基因在调控细胞增殖、细胞分裂等功能上存在显著富集；并在PI3K-Akt等重要信号通路上存在显著富集。同时压应力作用下部分染色质区域发生了染色质区室的转换，部分区域发生了染色质拓扑相关结构域（TAD）边界的重塑。TAD边界的重塑导致特定基因（如线粒体融合蛋白FIS1）的表达水平发生变化。

结论：综上所述，在3D条件下，压力能够通过改变细胞核几何形态来重塑染色质三维结构从而改变基因组表达图谱并进一步影响肿瘤细胞的功能。该研究可为完善力学微环境调控肿瘤进程的机制研究提供新的方向。

关键字：压应力，染色质三维结构，TAD边界，基因组表达图谱

ID 2294

创新型植介入器械设计

王丽珍[1,3]、姚艳[2]、高元明[2]、黄慧雯[1,3]、樊瑜波[1,2,3]
1. 生物力学与力生物学教育部重点实验室，北京市生物医学工程高精尖创新中心，北京航空航天大学生物与医学工程学院，北京市，中国，100191
2. 北京航空航天大学医学科学与工程学院，北京市，中国，100191
3. 杭州市北京航空航天大学国际创新研究院（北京航空航天大学国际创新学院），杭州市，中国，311115

目的：临床上植介入器械对于外科治疗效果提升具有重要意义。研究表明，随着植介入医疗器械的不断创新，植介入器械对人体组织的修复效果不断提高、外科手术微创化程度不断提升。比如骨钉由于松动脱出率高导致术后翻修率高，具有负泊松比效应的拉胀微孔结构单元用于骨钉设计可提升抗拔出性能，进而提升其稳定性，但多孔结构设计会影响其疲劳特性及在体使用寿命；特殊结构的支架设计对于性能改进也具有重要作用，优化的支架结构不仅能提升其力学性能，还能改善生物相容性和诱导再生能力。

方法：本研究针对植介入器械的材料和结构进行生物力学优化设计，基于力学、材料学和生物学测试方法，进行创新材料和结构的生物力学与力生物学性能评测，并开展动物体内的实验验证。

结果：研究结果表明，创新型植介入器械的材料和结构设计对于植入后的生物学效应、力学适配性和诱导再生能力等方面具有显著影响。例如，基于形状记忆材料设计的仿黄瓜藤髓核支架，可以实现微创植入、具有足够支撑性能可维持术后椎间盘高度、抑制退变进程并促进髓核功能恢复；基于公理设计、代理模型方法设计的拉胀骨钉可以实现骨钉抗拔性能、疲劳性能和生物学性能的平衡设计，使其具有较好的抗拔性能、疲劳性能和骨整合性能。

结论：植介入器械的材料和结构设计及方法创新在其临床化过程中至关重要，基于生物力学的结构设计对提升设计效率、增强功能方面具有重要作用，对于临床治疗具有重要指导。（国家自然科学基金联合基金项目（U20A20390））

关键字：植介入器械，创新设计，生物力学

ID 2295

肌动蛋白环在间隙闭合和肿瘤细胞侵袭行为中的作用机制

季葆华
浙江大学

目的：肌动蛋白环是由肌动蛋白丝形成的一种环状结构，它可以在组织内产生张力来调节各种生理和病理过程，例如伤口/间隙闭合、细胞凋亡、跨内皮迁移和细胞分裂等。实验表明，在闭合过程中伤口形状可以演变成圆形、椭圆形或狭缝形。 然而，决定伤口形状演变的机械策略的潜在机制尚不清楚。我们将通过理论和实验方法分析肌动蛋白环在由多种活性细胞力驱动的伤口/间隙闭合和肿瘤细胞侵袭行为中中的作用。

方法：我们通过构建了一种新的基于复变量方法的力学模型来分析应力场和细胞极化场， 并通过计算分析得到了一个 三维的相图，用于说明在不同伤口形状的细胞层的主动力、自由能和伤口演化之间的关系。

结果：我们发现，肌动蛋白环与其他机械力一起在组织中产生拉力场，引导细胞极化和排列，进而调节间隙闭合模式和肿瘤侵袭行为。 我们的研究结果揭示了在组织预张力、细胞突出应力和肌动蛋白-肌球蛋白环张力的共同调控下，细胞由于应激而发生极性和排列，围绕伤口形成。这些因素共同驱动了细胞极性和排列的方向，以促进伤口闭合。此外，

通过最小化细胞层的自由能得到了一个三维相图，展示了不同活跃细胞力如何共同调节伤口形状的演变。一般而言，而组织预张力阻碍间隙的闭合，大的细胞突出推力会促使伤口向缝隙形状演变，而较大和中等的肌动蛋白-肌球蛋白环收缩则分别对应于向椭圆形和圆形的演变。

结论：我们研究了组织主动力对细胞行为调控的力学机制。组织预张力、细胞突出应力和肌动蛋白-肌球蛋白环张力的共同调控间隙的闭合。揭示了生物体通过组织修复和发育中的内部活性细胞力主动控制复杂生物力学过程的关键机制。

关键字：肌动纤维环，间隙闭合，肿瘤侵袭

ID 2296

二维纳米材料对脂质膜损伤的机理和细胞毒性

李德昌

浙江大学

目的：随着纳米技术的发展，越来越多的纳米材料被用于生物体和生态系统中，这引起了人们对这些材料对人类健康和环境潜在危害的极大关注。二维纳米材料是纳米材料的一种类型，其具有优异的物理性质，厚度从一个原子到几个原子不等。它们已被提出可用于多种生物医学工程应用，如药物输送和基因治疗等，但该材料的细胞毒性及其机理尚存在争议。我们拟从二维纳米材料对脂质膜损伤的角度出发，研究二维材料细胞毒性的机理。

方法：在这项工作中，我们采用超分辨荧光显微技术和分子模拟方法研究了典型的二维纳米材料对线粒体脂质膜的影响。

结果：虽然低剂量的二维纳米材料表现出的细胞死亡率可以忽略不计，但出现了明显的线粒体破碎和部分线粒体功能下降。细胞在应对线粒体损伤时启动了线粒体吞噬作用，清理受损的线粒体以避免损伤积累。分子动力学模拟结果显示，纳米片都能通过疏水作用自发穿透线粒体脂质膜，膜的穿透诱发了脂质组装的异质性导致损伤。另一方面，我们发现在受损的线粒体中形成了类核凝聚体。类核凝聚体通过不对称聚集促进了受损线粒体的不对称分裂。通过构建粗粒化模型，我们研究了类核凝聚体与脂质膜的相互作用，发现高曲率的膜更容易被类核凝聚体吸附和弯曲，所以当类核凝聚体与线粒体两端高度弯曲的膜区相互作用时，不对称分裂事件就会发生。

结论：我们的研究结果表明，即使是低剂量的二维纳米材料也能通过穿透脂质膜对线粒体造成物理损伤，这应引起人们对二维纳米材料潜在生物医学应用的细胞毒性的仔细评估。

关键字：二维纳米材料；脂质膜损伤；分子模拟

ID 2303

基于金属有机框架的人造血小板构建高效止血纱布

吕永钢

武汉纺织大学

目的：全球每年有500万人死于严重创伤，其中30%至40%是因急性出血未能及时控制而死亡。医用止血纱布是院前

护理和临床治疗中最常用的止血材料之一。传统医用止血纱布中的止血活性成分通常是物理浸渍于基底上，结合力弱，使用过程中易脱落而产生二次伤害。本研究拟制备一种止血活性成分与基底结合牢固，止血性能优异的止血纱布，并探究其促凝机制。

方法：选用金属有机框架(metal-organic framework, MOF)材料中类沸石结构的沸石咪唑框架(zeolitic imidazolate framework-8, ZIF-8)作为止血活性成分，通过两步骤化学固定的方法，将其以化学键的形式均匀固定于聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)电纺纳米纤维膜上，获得结构牢固、生物相容性良好、止血性能优异P-ZIF-8。对P-ZIF-8的力学性能、生物相容性和止血性能进行测试。

结果：P-ZIF-8具有优异的力学性能(最大应力：1.19 ± 0.29 MPa，极限应变：32.42 ± 10.97%，杨氏模量：52.66 ± 6.18 MPs)，对细胞形态、生长和活力无明显影响，溶血率为2.03 ± 0.14%，符合小于5%的标准，具有良好的生物相容性。在不可压缩的大鼠内脏器官紧急出血模型中P-ZIF-8止血时间小于60秒，失血量少于23毫克，止血效果明显优于商业产品。研究还发现ZIF-8纳米粒子可以促进天然血小板的活化和凝血酶原向凝血酶的转化。ZIF-8在凝血初期富集血小板的速率是正常生理过程的10.85 ± 1.39倍，加快了凝血级联反应的启动。由ZIF-8介导生成的凝血酶活力是正常生理过程的1.91 ± 0.09倍，显著延长了凝血酶的工作寿命。

结论：P-ZIF-8能显著促进血液凝固，具有与天然血小板生理过程相似的工作方式。本研究有望为基于MOF的人造血小板设计和临床出血治疗提供一种新的思路。

关键字：不可压缩止血，金属有机框架，人造血小板，纳米纤维膜

ID 2366

神经细胞的力-电耦合机制：纹理感知与机械记忆

杨月华

中国科学技术大学

目的：神经系统对外部环境的感知依赖于神经细胞对各种刺激的响应，其中力学刺激转化为电学信号的过程尤为关键。这一过程称为力-电转换，是神经细胞感知和响应外界机械信号的基础。我们将探讨了神经细胞在受到外部力学刺激时如何将其转换为可传导的电学信号，并深入分析了这种力-电耦合机制在纹理感知以及机械记忆中的作用，为实验研究提供机理解释。

方法：综合考虑：细胞在外力下的膜变形，细胞膜张力对力敏感离子通道构象变化的影响，离子通过力敏感通道、电压门控通道的跨膜输运以及离子跨膜输运对动作电位的调节，构建多尺度力-电耦合数学模型并进行数值求解，最后与已有的实验数据进行比较。

结果：首先，我们研究了神经细胞如何将外界物体纹理信息编译为其动作电位信息。发现，当外部力学刺激（如压力或拉伸）作用于神经细胞时，这些机械感受器被激活，导致细胞膜的离子通道打开，产生带电离子的跨膜输运，促发动作电位产生，因此神经细胞可将外部纹理的波长信息编译为其动作电位的周期。然而，触觉神经元细胞只能感知特定纹理的波长。其次，我们重点探讨了神经细胞的“机械记忆”，即神经细胞对过往力学加载的记忆效应。我们发现，先前施加的力学刺激会导致力敏感离子通道失活，从而影响后续力学刺激的电学响应，具体表现为：后续力学刺激所激活的电流随着先前机械刺激幅度、速度和持续时间的增加而逐渐下降。此外，力敏感通道失活可导致“动作电位不应期”，在此期间细胞不能在机械刺激下产生动作电位。因此，力敏感通道失活有利于减少长时间和重复的机械刺激下的放电活动，进而保护神经元细胞免受过度激活和损伤（“神经自适应”）。

结论：快速失活的力敏感通道在神经元细胞动态纹理感知中起主导作用，而慢速失活力敏感通道在静态触觉感知中起主导作用；力敏感离子通道的失活会使得神经元细胞表现出机械记忆和神经自适应性特性。

关键字：触觉感知，纹理识别，力敏感通道，机械记忆，神经自适应

ID 2446

组蛋白H3乙酰化在张应变诱导移植静脉内膜增生中的力学生物学作用和机制

齐颖新、包晗
上海交通大学

目的：自体大隐静脉是临床冠状动脉旁路移植术的常用血管供体，然而术后动脉水平张应变诱导静脉血管平滑肌细胞（vascular smooth muscle cells, VSMCs）功能异常，引起血管内膜增生，其具体的力学生物学机制仍有待阐明。

方法：我们收集临床动静脉瘘血管样本，应用“套管法”构建 SD 大鼠静脉移植模型，并应用FXTM-5000T细胞周期性张应变加载系统在体外对静脉VSMCs施加动脉水平张应变力学刺激，探讨动脉水平张应变调控组蛋白修饰诱导静脉VSMCs功能异常的分子机制。

结果：结果显示术后7 天移植静脉新生内膜面积显著增加；构建1.5 mm和2.0 mm两种内径的血管外支架限制移植静脉张应变，超声结果显示无支架组移植静脉张应变为15.51±1.25%，2.0 mm支架组为9.18±0.88%，1.5mm支架组为7.01±1.13%，染色结果显示，1.5 mm支架组的移植静脉新生内膜的厚度显著减少。免疫荧光结果显示，1.5 mm组移植静脉组蛋白H3K9乙酰化水平显著降低。使用FLEXCELL系统对体外培养的VSMCs施加15%-1.25 Hz及7%-1.25 Hz周期性张应变，western blot结果显示15%周期性张应变诱导VSMCs的收缩表型标志物SM22α及Calponin显著下降，组蛋白H3K9乙酰化水平显著升高。随后，为了确定组蛋白H3K9乙酰化在移植静脉内膜增生中的作用，在静脉移植术后持续对模型鼠注射组蛋白乙酰转移酶抑制剂姜黄素，1周后免疫荧光显示姜黄素可以抑制组蛋白H3K9乙酰化水平，缓解移植血管内膜增生。

结论：动脉水平的周期性张应变上调组蛋白H3K9乙酰化，促进静脉VSMCs向合成表型转换，引起移植静脉内膜增生。适当的张应变束缚可能通过抑制组蛋白H3K9乙酰化而缓解移植静脉内膜增生。（国家自然科学基金12102261, 12032003）

关键字：张应变；静脉平滑肌细胞；血管重建；组蛋白H3

ID 2653

可编程活性相变驱动的上皮形态发生

邵玥
清华大学

目的：上皮组织的活性流-固相变对发育、再生和疾病等过程至关重要。近年来，对上皮拥堵型相变的研究取得了系列进展，但对非拥堵型上皮相变的存在性及其机理认识仍相对空白。鉴于拥堵型活性流-固相变往往发生于几何受限的高密度细胞群体，而低密度细胞群体或存在自由边界的细胞集落往往只出现非拥堵的活性流态，这极大地限制了活性相变的相空间及其应用场景与应用潜力。探究在传统活性流-固相变的相空间之外的非经典活性相变有重要的基础与应用意义。

方法：本文研究报道了一种激光诱导的上皮相变调控技术，可在上皮细胞集群中实现不依赖于细胞密度和形状因子的可控相变，呈现出一种新型、惰性样的流-固相变，称为笼型相变，其显示出与传统上皮拥堵相变不同的动力学与拓扑学特征。通过检验细胞活率、活性氧生成等，本文发现上述激光诱导的上皮活性相变不涉及显著的细胞损伤效应。

结果：通过在多相上皮群体中对笼化-去笼化相变过程进行可编程双向调控，我们揭示了一个可以统一上皮相变动力学的相图，并揭示了在时空可控的多相上皮活性体系中可观察到的丰富相变动力学及活性相结构演化。我们进一步发现

肌动蛋白细胞骨架的拓扑结构在激光诱导下发生波动态和笼型态之间的可逆转换，并进一步使得超细胞微丝骨架网络呈现出长程有序性，揭示其为驱动可逆的笼化-去笼化相变的关键机制。结合理论和实验，我们构建了光学编程的笼型相变时空图样化调控方法，并实现了其在驱动人工上皮形态调控中的理性设计与应用。

结论：本研究不仅发现了一个新的上皮活性相变类型，也为揭示此前难以探究的多相上皮系统动力学提供了新的理论基础和技术框架，为推动可编程活性相变驱动的上皮形态发生提供新的研究范式。

关键字：活性物质，相变，上皮组织，形态发生

ID 2728

小鼠胚胎和胚胎类器官三维牵引力的定量测量

韦富香

华中科技大学

目的：力学信号在胚胎发育过程中发挥重要。虽然在斑马鱼胚胎已实现了对三维牵引力的测量，但小鼠胚胎尺寸更小、抵抗外界冲击能力更弱，因此如何在小鼠胚胎和类器官中定量测量组织产生的三维牵引力仍然是一个艰巨的挑战。

方法：通过电控显微注射装置将直径25微米的荧光弹性微球注射到小鼠胚胎中，随后将小鼠胚胎转移到与共聚焦显微镜配套的活细胞工作站中培养。每隔一小时对胚胎进行一次三维成像，记录下弹性微球的位置和形状。通过对比不同时间点弹性微球的形变程度，即可计算出胚胎产生的三维牵引力。为高效地对小鼠胚胎类器官产生的牵引力进行测量，将直径25微米的荧光弹性微球与小鼠胚胎干细胞共同培养在三维纤维蛋白软胶中，通过调整细胞因子组合，在三维软胶中诱导胚胎干细胞发育形成有序三胚层结构。在胚胎类器官形成的过程中，与胚胎干细胞黏附的弹性微球会被包裹到胚胎类器官中，并会分布到不同胚层的位置。用共聚焦显微镜对胚胎类器官和弹性微球进行三维成像，随后用Triton X-100去除胚胎细胞产生的力，再次用共聚焦显微镜进行三维成像。对比卸载细胞的力前后弹性微球的形变，计算出弹性微球在胚胎类器官中受力的情况。

结果：在正常发育的小鼠胚胎中，可观察到多次牵引力振荡变化的现象。如果胚胎产生的力不能进行振荡变化，胚胎发育就不能正常进行。通过细胞因子和三维纤维蛋白软胶的组合，可以诱导超过75%的细胞克隆形成具有类似天然三胚层结构的胚胎类器官。对处于不同胚层区域的弹性微球进行受力分析，发现中胚层区域组织产生的牵引力显著高于其他区域。

结论：本研究建立了在小鼠胚胎和胚胎类器官中定量测量三维牵引力的方法，并发现不同胚层产生的牵引力的差异。还发现了牵引力振荡对于胚胎正常发育的重要作用。

关键字：三维牵引力，弹性微球，小鼠胚胎，胚胎类器官

ID 2823

非生理方向载荷对骨重建的影响及其生物力学机理研究

杨海胜
北京工业大学

目的：人体承重骨大部分为杆状结构，通常承受轴向生理负荷，骨组织通过骨形成和骨吸收的动态骨重建过程来适应这种力学环境。然而，骨重建似乎对非生理方向力学载荷更敏感，但其机制尚不清楚。本研究将比较轴向和横向载荷对骨重建的影响规律，并从组织层次和细胞水平揭示其生物力学机制。

方法：分别对小鼠胫骨施加轴向载荷和横向载荷，匹配近端骨干处应变；采用应变匹配后的轴向和横向负荷对小鼠胫骨进行为期两周的力学加载。通过显微CT等手段检测两种负荷对表观骨重建效应的影响；建立“整骨-陷窝小管网络（Lacunoanalicular network，LCN）”多尺度力学模型，计算并比较两种载荷条件下骨组织应变以及骨细胞LCN内流体速度和剪切应力，以解释表观骨重建效应的差异。

结果：在骨组织应变匹配的情况下，横向加载较轴向加载引起的骨量增加更为显著，并且在压缩区域更加明显。其中，在胫骨骨干中部，横向加载组的皮质骨骨体积分数较轴向组显著增加（15.2% vs. 8.79%；$p < 0.05$），并且皮质骨厚度也明显增加（22.1% vs. 10.3%；$p < 0.05$）。重要的是，胫骨骨干中部皮质骨的多尺度力学模型计算表明，在组织层次，骨基质应变和骨增加量无显著相关性。在细胞水平，作用于骨细胞的流体剪切力与骨量增加呈现强相关性。

结论：非生理方向力学载荷通过增加骨细胞流体剪切力（而非基质应变）来增强骨重建效应，提示骨细胞陷窝-小管流体动力微环境在调节骨重建中具有极其重要的作用。

关键字：骨重建；力学刺激；骨细胞；陷窝-小管网络；流体剪切力

ID 3197

膝骨关节炎患者步态的时频分析

姚杰[1]、吴恺[1]、黄留旖[1]、王晓华[2]、安奕萱[1]、杨滨[2]、樊瑜波[1,3]
1. 北京航空航天大学生物与医学工程学院
2. 北京大学国际医院骨科
3. 北京航空航天大学医学科学与工程学院

目的：膝骨关节炎是临床常见的膝关节疾病，可严重影响患者运动功能。但骨关节炎的病因复杂多样，在发病早期仍缺乏准确、定量诊断方法。由于该疾病的发病机制和症状与关节生物力学密切相关，本研究的目的是探索膝骨关节炎对步态特征的影响，为该疾病的早期诊断和准确分类提供生物力学依据。

方法：为了避免运动捕捉设备对患者自然步态的干扰，本研究采用深度摄像的方法对受试者的步态数据进行无接触的采集，并通过VICON和测力台等方法对测量精度进行验证。进而对101名膝骨关节炎患者进行了步态数据采集和时频域分析。

研究使用统计参数映射方法对受试者的下肢关节角度和肌力作全局时域分析；基于快速傅里叶变换提取步态参数频谱的幅度、频率、相位等指标。

结果：通过与健康受试者的对比发现，患者髋关节后伸和内旋的能力下降，内收外展角度变化增大。膝关节整体屈曲活动范围减小，内旋能力减弱，内外翻无显著性差异。踝关节在整个步态周期中背屈、外旋和外翻的能力减弱。频域

分析提示患者下肢肌肉力量异常、髋关节冠状面活动不稳、下肢关节矢状面的活动受限等问题。患者肌肉激活和关节运动速度整体变慢，大腿、髋部主要肌肉和比目鱼肌的肌肉激活在步态周期中的提前，踝外翻肌群激活延后，膝关节、髋关节在矢状面关节角度极值时间延后。

结论：无接触的步态分析可为骨关节炎的临床准确诊断提供生物力学依据，基于肌肉活动的时频特诊较关节角度的具有更高的辨识度。

关键字：步态分析、骨关节炎、运动生物力学

ID 3389

基于凋亡可控上皮组织的凋亡力产生及其作用机制研究

韩玉龙

南京航空航天大学

目的：探究上皮细胞层中部分细胞凋亡对上皮细胞层中其他细胞的影响，并进一步阐释部分细胞凋亡后上皮细胞层保持结构完整的机制。

方法：通过Caspase 9对MCF10A细胞系进行修饰得到可以在药物诱导下发生凋亡的ind-MCF10A细胞。将ind-MCF10A细胞和MCF10A细胞按照1:3的比例接种，待成为完整细胞层后加入凋亡诱导剂诱导ind-MCF10A细胞凋亡，进一步对上皮细胞层完整性、剩余上皮细胞的迁移速度及细胞形态进行观察，并探究了细胞凋亡对上皮细胞单层牵引力动力学的影响。

结果：发现诱导ind-MCF10A细胞凋亡后的1200 min内上皮细胞层透过率增加，2400 min时透过率恢复至正常水平，但细胞密度没有随恢复过程增加。诱导凋亡后1200min内细胞迁移速度显著增加，细胞形状由圆形变为细长型，2400 min时恢复至凋亡前水平。通过TFM对细胞凋亡前后细胞牵引力进行测量，发现凋亡前变形场相对均匀，诱导细胞凋亡100 min后局部变形突然增加，随后转变为整体变形，最终稳定在相对均匀的状态。

结论：诱导完整上皮细胞层中ind-MCF10A细胞凋亡会破坏上皮完整性。部分细胞洞亡后，随着周围凋亡剩余细胞扩散和迁移，上皮细胞层进行重组并完整恢复。表明上皮细胞层完整性被破坏后，细胞与细胞之间的机械相互作用发生了变化，细胞凋亡打破了上皮细胞层中的力平衡，剩余活细胞受到的牵引力增加从而发生迁移，以维持上皮完整性。

关键字：上皮细胞层；凋亡力；细胞迁移；细胞扩散

ID 3447

肺器官芯片

黄棣

太原理工大学

目的：利用反蛋白石方法构建类肺泡三维多孔凝胶肺器官芯片，通过芯片控制单元，模拟人体肺部呼吸，实现独特的肺泡“扩张-收缩”周期运动及气液界面，验证hAECs在肺器官芯片中生长、黏附与细胞连接等情况。

方法：对PDMS进行表面处理后，与GelMA形成化学键合。采用疲劳试验检测GelMA与处理后PDMS表面的黏附情况。设计用于实现“扩张-收缩”周期运动的真空单向阀芯片控制单元。荧光共聚焦显微镜观察肺器官芯片的气液界面情况，

周期性“扩张-收缩”作用后，观察hAECs生长情况，采用活死染色评价肺器官芯片中hAECs的活死情况，通过细胞紧密连接蛋白ZO-1和HE染色观察细胞在周期性“扩张-收缩”作用前后变化情况。利用ELISA观察周期性机械作用对细胞炎症因子的影响。

结果： PDMS经过表面处理后，PDMS与GelMA粘附较好。疲劳测结果表明GelMA与修饰PDMS结合较好，无脱落现象。通过光镜观察到肺器官芯片内周期性“扩张-收缩”作用下细胞生长良好，周期性“扩张-收缩”作用48 h后，活死染色无明显差异；相比于在静止培养的hAECs，进行周期性拉伸-收缩作用后的ZO-1蛋白于细胞膜表达更加明显。HE染色结果表明，周期性“扩张-收缩”作用后，细胞在类肺泡孔隙表面黏附良好；细胞炎症因子IL-8、IL-6、IL-1b、MCP-1 和GM-CSF蛋白水平变化无统计学差异。

结论： 类肺泡三维多孔凝胶肺器官芯片可以实现肺的生理性周期性“扩张-收缩”作用和气液界面，细胞功能表达较好。

关键字： 肺泡；器官芯片；呼吸功能；气液界面

ID 3521

力化耦合促进皮肤类器官自组装的机制研究

雷明星、杨力

重庆大学

目的： 皮肤是抵御外界机械或化学损伤，防止病毒和细菌等攻击的第一道屏障。当皮肤遭受烧烫伤或机械损伤等因素，出现皮肤大面积受损时，创面必须进行植皮才能愈合。如何诱导和促进干细胞分化形成完整如毛囊和汗腺等功能性组织和器官，是皮肤再生生物学领域尚未解决的重要课题。本研究团队先前对皮肤干细胞进行体外三维培养，成功建立皮肤类器官模型，但干细胞通过自组装形成皮肤类器官及形成毛囊的机制尚不清楚。

方法： 通过细胞延时摄影、单细胞多组学技术、光子晶体细胞力显微镜，分子功能干扰等技术探究了力-化学信号如何参与表皮和真皮细胞的自组装过程，通过裸鼠移植实验评价了力-化学信号对类器官诱导毛发再生的影响，进一步应用皮肤类器官疾病模型，深入探究了力-化学信号参与银屑病的发生发展过程。

结果： 通过延时摄影对类器官自组装过程中的细胞行为进行追踪，结果显示，真皮和表皮细胞经历了“聚集-极化-联合-平面化”四个阶段，最终形成了功能性皮肤结构。在细胞聚集阶段，真皮细胞的收缩力激活了表皮细胞的Piezo1信号，进而形成细胞形态发生单位（CMU），CMU结构通过局部微环境力学硬度增加激活了Yap1以及下游的Wnt/Mmp信号，致使相邻的CMU结构联合。最终，在Hif1a的驱动下真皮和表皮细胞通过代谢适应完成了相位分离，形成了功能性的平面化皮肤。将完成自组装的类器官移植裸鼠背部后，成功诱导移植部位的毛发再生。将类器官应用到银屑病模型中，结果显示，特异性敲除成纤维细胞中的CD44显著降低银屑病真皮-表皮连接处杨氏模量，降低表皮细胞的增殖能力。而增加类器官的基质刚度后，表皮细胞增殖能力增强。

结论： 本研究深入分析了皮肤类器官的自组装过程，揭示了力-化学信号引起的组织形态相变影响毛囊再生的机制。这一自组装途径为利用解离的皮肤前体细胞提供了一种重塑形态的有效途径，同时，自组装原则的阐明也为未来增强或改造器官以及疾病的治疗提供了可能性。

关键字： 皮肤类器官；力化耦合；自组装；再生；相变

ID 3699

仿生微结构表面的制备及其流体操控研究

李燕[2]、李龙[2]、田东亮[1]、宋凡[2]
1. 北京航空航天大学
2. 中国科学院力学研究所

目的：液体的定向输运在航空航天、电子信息、汽车能源以及医疗卫生等领域又具有极其重要的作用。由不平衡表面张力引起的液体定向输运是一种重要的表面现象，了解其化学有效机制有助于开发新的输运装置，如微流控装置、润滑装置以及液体分离装置。

方法：自古以来，自然界就是人类各类技术思想、工程原理以及重大发明的源泉。现存生物为适应它们的栖息地已经进化出了各种各样有利于生存的器官，产生了多种类型的液体输运表面。这些生物所具有的特殊浸润性微结构表面，一直是科学家和工程师的灵感来源。利用在表面构筑各向异性微结构或者设计微结构梯度，对表面流体产生非对称驱动力，实现流体在表面的定向驱动。

结果：本工作受鲨鱼皮表面微结构的启发，利用模板法制备了具有各向异性v型棱柱结构的（VPM）弹性表面，可以通过曲率来控制液体的输运方向。VPM弹性薄膜表面V型棱柱结构之间的间距与疏水性是影响液体在表面浸润性的两个重要原因。曲率的变化是调整V型棱柱结构之间间距的有效方式，它会影响水滴的浸润方向，甚至使液体的输运方向出现逆转。同时，疏水性是液体输运方向的另一个重要因素，疏水VPM(H-VPM)弹性表面和超疏水VPM (S-VPM)弹性表面的液体输运方向相反。基于以上特性，VPM弹性薄膜可以用作控制液体输运方向的阀门。

结论：采用模板法制备的曲率响应VPM弹性薄膜,通过调整表面曲率用来控制液体输运方向。改变VPM弹性薄膜表面V型棱柱结构的排列方式和疏水程度都可以调节水在表面的各向异性浸润。通过调整VPM弹性薄膜弯曲的曲率半径，可以调节薄膜表面V型棱柱结构的排列，进而调节液体在表面的输运方向。该VPM超疏水薄膜可适用于各种pH的液体，即使在极端条件下，也可保持其优异的性能，有望在集水、减阻、微流控置、微反应器等方面实现广泛应用。

关键字：仿生超浸润、液体定向输运、外场响应

ID 3850

进展型和非进展型正常眼压型青光眼视乳头生物力学表现的差异

王晓飞
北京航空航天大学

目的：这项研究探讨了眼压升高对视乳头组织形态的影响，并比较了进展型正常眼压型青光眼（Progressive Normal Tension Glaucoma, PNTG）与非进展型正常眼压型青光眼（Non-progressive Normal Tension Glaucoma, NNTG）之间的差异。本研究选取了一个长期追踪的青光眼患者队列，根据病情的进展情况，将其分为进展组和非进展组。

方法：在实验方法方面，为了精确测量眼压对视乳头的影响，研究团队采用了一种非侵入性的压力施加技术。通过在受试者眼外眦施加约1N的力，利用眼压计记录具体的眼压升高数值。随后，使用高分辨率的光学相干断层扫描（OCT）技术对视乳头进行三维成像，捕捉其形态变化。为了量化眼压升高对视乳头组织造成的形变，本研究采用了数字体相关（Digital Volume Correlation, DVC）算法。这一算法能够详细计算出在不同眼压水平下，视乳头组织的具体应变情况。通过这种方法，研究人员能够得到每个视乳头组织在压力作用下的变形量。

结果：本研究纳入了68名受试者共94只青光眼眼睛（包括45只右眼和49只左眼），其中31只被归为进展型青光眼，63只被归为非进展型青光眼。所有参与者的平均视野指数接近，分别为83和79，统计分析显示两组间无显著差异（P=0.16）。然而，在视乳头组织的有效应变方面，进展型青光眼的平均值为2.31±1.06%，明显高于非进展型青光眼的1.92±0.64%，统计学上具有显著性差异（P=0.048）。

结论：研究结果表明，进展型青光眼患者的视乳头组织在眼压升高时显示出更大的应变，这暗示了这一群体的视乳头组织可能本质上更为脆弱，对眼内压力的变化更为敏感。这种差异可能与视乳头的生物力学特性有关，如组织的弹性和结构完整性。

关键字：青光眼，生物力学，视乳头，正常眼压

ID 4026

Meso-Indentation-Based Nonlinear Mechanical Characterization of Human Meniscus in Patients with Knee Osteoarthritis

Qiang Chen

Southeast University

Objective: The meniscus is an essential component of the knee joint. Anatomically, the meniscus usually consists of medial and lateral parts which play an important role in the main biomechanical functions of the joint, such as shock absorption and loading distribution. However, the development of the osteoarthritis (OA) usually disrupts the meniscal matrix and result in its degradation of the main biomechanical function. The unique structure of the meniscus is divided into three zones along the radial direction according to the blood supply level of the meniscus, i.e., the white zone, red-white zone, and red zone. Moreover, each zone contains different types of collagens, and this endows them with site-specific nonlinear mechanical behaviours because of the varying mechanical behaviours of collagen types. Therefore, revealing the nonlinear behaviours of the three meniscal zones of the OA meniscus is fundamental for understanding its mechanical properties, and the objective of this study was to introduce a meso-indentation method to quantify the nonlinear mechanical behaviours of three zones of the human OA meniscus.

Methods: Four pairs of menisci were harvested from OA patients during total knee arthroplasty. One pair of the OA menisci was first used to performed the histological analysis to reveal the collagen components. Binocular fringe projection (BFP) technology was then employed to reconstruct the surface morphology of the other three pairs of the menisci. Subsequently, a meso-indentation theory was derived and used to characterize the nonlinear behaviours of the three meniscal zones, moreover, the nonlinear elastic indentation model (NLM) together with the linear elastic indentation model (LM) were used to fit the force-indentation depth curves of the meniscal zones to have the fitted materials parameters of the OA meniscal zones. Furthermore, the fitted materials parameters were used to simulate the quasi-static mechanical response of the meniscus in the standing by two simplified meniscus models.

Results: The histological examination showed that the type III collagen widely existed in the OA meniscal pair. The reconstructed surface morphology of the lateral meniscus was greater than that of the medial one, in detail, the average maximum width and thickness were 11.47 ± 0.78 mm and 7.45 ± 0.53 mm for the lateral meniscus, while the counterparts of the medial meniscus were 10.12 ± 0.86 mm and 6.19 ± 0.67 mm. Employing the LM, the elastic moduli of the three zones were significantly different, in detail, for the lateral meniscus, the elastic moduli of the white, red-white, and red zones linear are 4.78 ± 0.81 MPa, 7.04 ± 0.51 MPa, and 2.51 ± 0.32 MPa, respectively, while for the medial meniscus, the corresponding values are 4.51 ± 0.70 MPa, 6.89 ± 0.51 MPa, and 1.75 ± 0.49 MPa. In the experimental tests, the red-white zone had the superior mechanical behaviour, and the NLM-based 3-term Mooney-Rivlin model was the best descriptor for the nonlinear behaviour of the three zones. Moreover, according the fiber orientation, the principal stress or strain distributions of the

simplified meniscus models exhibited apparent differences between the NLM and LM under the quasi-static loading. This indicated that the employment of the LM model in studying the biomechanical functions of the meniscus would underestimate the mechanical responses.

Conclusion: The current work generally provided a novel testing method to study the nonlinear behaviour of soft biological materials. The present findings revealed the structure and biomechanical function of the three zones of the OA meniscus from the aspects of histological, morphology, and mechanics, and they were specifically helpful to understand the nonlinear mechanical behaviour of the OA meniscus for which the NLM should be used in the meniscus-related biomechanical studies. Limitations have to be acknowledged. On the one hand, more samples and normal meniscus should be included, and this could clarify the current indentation-based mechanical difference between the OA and normal meniscus. On the other hand, CT or MRI image-based knee joint reconstruction should be implemented in the numerical analysis of the quasi-static load, and this could allow us to examine the mechanical contribution between the lateral and medial menisci.

Key Words: Osteoarthritis; Meniscus; Meso-indentation test; Nonlinear elastic model

ID 4143

生命体内血栓形成与否的血流动力学机制

赵东良

深圳湾实验室

目的：在健康人群中，促凝（凝血）、抗凝和纤维蛋白溶解之间存在内在的平衡。许多遗传性、获得性及环境因素可使平衡向利于凝血的方向倾斜，从而导致静脉（如，深静脉血栓）、动脉（如，心肌梗死、缺血性脑卒中）或心房病理性血栓形成。 血栓可阻塞血栓形成部位的血流，或脱落和堵塞远端血管（如，肺栓塞、栓塞性中风）。

方法：本研究建立了宏观的血栓动力学模型，血小板血栓形成模型包括五个组成部分：凝血酶（因子II）、凝血酶原（因子V） 、非活性血小板、活性血小板和混合物。建立凝血酶、凝血酶原、非活性血小板、活性血小板质量分数与反应扩散的传质模型，实现血栓形成的连续性描述。从生物力学模型角度出发，考虑了生物组织从分子-细胞、组织-器官的多尺度特点，融合心肌被动物理非线性、血流循环、心脏电生理特征，建立了多尺度-多物理场（应力场-血流场-心电场心脏动力学模型。从而研究心血管疾病发展过程中的心肌力学特点与生物力学机制。

结果：基于以上血流动力学分析，采用血栓模型对不同结构梳状肌结构对血栓的影响进行了二维数值计算。发现：恒定速度（无主动收缩）600秒内血栓生长0.044mm，而非稳态情况下的凝血酶质量分数大约是稳态下的2倍，收缩期剪切应力大、血小板有效扩散系数增加，血栓主要在收缩期生长，舒张期扩散系数低则不生长，相同时间内血栓生长0.0078mm。无主动收缩功能（房颤）的心耳血栓形成速度将是正常心耳的五倍。

结论：血栓的产生包含了复杂的物理化学反应，我们建立了扩散方程能反应血栓形成过程中凝血酶（因子II）、凝血酶原（因子V） 、非活性血小板、活性血小板的变化，发现规律如下：收缩舒张的脉搏波会改变壁面剪切应力，从而改变血小板的浓度，削弱血栓的形成；小血管、微结构处血液具有非牛顿流体特征也会增加壁面剪切应力，从而加快血栓的形成。

关键字：心脏动力学；血栓动力学；非阻塞性心肌缺血；心耳

ID 4406

单分子水平的细胞力学成像与分析

刘郑

武汉大学

目的：电学、化学和力学构成了细胞内三大主要的信号系统，它们协同作用以维持细胞的生命活动。与电学和化学信号相比，细胞的机械力信号因缺少有效的可视化技术，人们一直对其认识有限。

方法：本报告将介绍我们课题组近期开发的一系列基于DNA纳米技术的单分子-细胞力学可视化方法。这些技术可以将活细胞上单个膜蛋白传递的pN级别机械力转化为可观测的单分子荧光信号，并让我们在多维度上对单分子机械力的动态特征进行表征研究，如机械力范围、力加载速度以及力持续时间等。通过这些方法，我们能够在活细胞环境中实时、精准地捕捉到力学信号的传递过程。

结果：在我们的研究中，通过分析蛋白突变、缺失或药物干预对这些机械参数的影响，我们能够判断出特定蛋白质或结构域在细胞机械传导中的功能作用。例如，通过观察整合素与其配体的相互作用，我们可以了解力加载速度对这些相互作用的影响，进而揭示细胞如何在机械环境中做出响应。此外，我们的技术还可以用于研究不同类型细胞在不同刚性基质上的力学行为，从而更好地理解细胞如何感知和适应其微环境。

结论：进一步，我们还发现，这些基于DNA的力学探针可以与其他成像技术相结合，如荧光共振能量转移（FRET）和超分辨率显微镜技术，从而提升力学信号检测的灵敏度和空间分辨率。这不仅增强了对单分子力学信号的探测能力，还开辟了新的研究途径，使我们能够深入探索细胞在生理和病理状态下的力学行为，揭示更多细胞力学与生物功能之间的复杂关系。这些技术不仅为细胞力学传导研究提供了新的工具，也在细胞迁移、细胞刚性识别和T细胞激活等生物学过程研究中展现了重要的应用价值。通过将单分子力学信号与细胞生化信号结合，我们能够更全面地揭示细胞在复杂环境中的行为模式，为未来在细胞生物学和医学研究中提供新的思路和方法。

关键字：细胞力学，单分子生物物理，单分子成像

S08
纳米医学与工程

ID 386

ROS自激发自循环纳米粒子用于肿瘤放射免疫治疗

宋会娟、刘强
中国医学科学院放射医学研究所

目的：放射治疗存在辐射剂量高、对健康组织副作用大等缺点，尤其是肿瘤细胞的辐射抵抗。而增加肿瘤细胞内活性氧产生，消耗谷胱甘肽，可降低辐射抗性。本研究旨在开发一种共负载氟喹诺酮类抗生素司帕沙星(SPA)、双草酸酯（CPPO）的纳米材料，并通过静电吸附的方法绑定CpG。本研究拟对该纳米材料进行物化表征和有效性验证，并对该纳米粒子克服肿瘤辐射抗性的生物机制进行探究。

方法：首先使用RAFT反应将SPA与纳米载体化学键合，通过自组装技术负载CPPO，通过静电吸附的方式将纳米粒与CpG进行绑定，并通过核磁，质谱，透射电镜，粒度电位仪等对合成的纳米材料的化学组成，形貌，粒径，电位等性质进行表征。通过流式细胞术检测细胞内ROS水平，验证纳米粒子对肿瘤细胞的体外抑制效果。通过构建荷瘤小鼠模型及抑瘤实验，验证纳米粒子的体内抑瘤效果。通过荧光探针试剂盒对肿瘤细胞内ROS、GSH含量进行检测，检测铁死亡标志物如脂质过氧化物的表达水平；通过检测肿瘤细胞的免疫原性死亡标志物如钙网蛋白等以及肿瘤微环境中免疫细胞的分群及激活情况，探索纳米粒子三重联合放疗的抗肿瘤机制。

结果：纳米粒子的电镜、电位、紫外吸收峰、DNA凝胶电泳等检测结果证实纳米材料对CPPO、CpG的成功装载及纳米递送平台的成功构建。分别在细胞水平和小鼠原位乳腺癌模型验证了放疗可使纳米粒子中的CPPO断裂并释放能量，激发聚集的SPA释放更高的ROS，提高细胞脂质过氧化水平，还可以激活肿瘤微环境中的树突状细胞成熟和抗原提呈、巨噬细胞M1极化以及引发T细胞免疫应答，重塑肿瘤免疫抑制微环境，实现肿瘤三重联合治疗。

结论：该纳米粒具有肿瘤细胞和树突状细胞双重靶向性，能够将铁死亡诱发和免疫激活两种功能有机集成于一体并互相协同促进。在细胞和动物水平上全面阐释了肿瘤细胞铁死亡与CpG引起的免疫激活两者的协同作用规律，并考察了其与放疗的协同疗效，为“冷”肿瘤的治疗提供了一种新思路。

关键字：肿瘤放疗，铁死亡，免疫治疗，纳米材料，ROS

ID 400

中药碳点抗氧化纳米酶及生物医学应用

张明真
西安交通大学基础医学院

目的：溃疡性结肠炎(UC)是一种以肠道内稳态失调为特征的持续性炎症，UC的发病机制是多方面的，涉及粘膜屏障功能、肠道免疫系统、肠道微生物学等因素，UC对公众健康具有重大的全球影响，并与结直肠癌(CRC)的风险增加有关。目前的药物在完全治愈UC方面的局限性，如高副作用和患者临床患病率低，需要探索替代治疗方法。虽然已经开发出具有抗炎和抗氧化特性以及调节肠道菌群和修复肠道屏障能力的纳米材料，但许多纳米材料仍然存在生物安全性低、功能有限和治疗效果欠佳等缺点。因此，迫切需要开发更有效的治疗UC的药物。

方法：黄连(Coptis chinensis, CC)作为治疗肠道疾病的草药已有2000多年的历史，本研究以CC为前驱体材料，开发了具有抗氧化酶活性的CC碳点纳米酶(CCzymes)。

结果：结果表明，由于氧化聚合的纳米化过程，CCzymes具有更密集的表面含氧基团存在，并且它们整合了CC有效成分的有效官能团片段，显示出优于CC提取物(CC提取物)的抗氧化活性。理论计算表明，CCzymes中与π-体系共轭的羰基可以吸附自由基，导致大量电荷转移，并为相关的酶促反应提供活性位点，从而揭示了其抗氧化机制。由于CC的遗传药理活性，CCzymes不仅可以通过减轻氧化应激，还可以通过影响炎症相关途径来减轻炎症。CCzymes通过抑制MAPK和PI3K-Akt信号通路，调节巨噬细胞极化，抑制促炎细胞因子的表达，表现出优异的抗氧化和抗炎特性。此外，由于CCzymes治疗UC的特异性，在UC模型小鼠的治疗中，CCzymes可以特异性抑制致病菌的生长，增加益生菌的丰度。代谢组学结果还表明，CCzymes能够增加胆汁酸和吲哚衍生物的产生。这有利于UC肠道屏障的恢复

结论：本研究揭示了CCzymes的高效抗氧化酶活性和CC的遗传药理活性可用于UC中减轻炎症和促进肠道屏障的恢复，最终为UC的草药开发应用和临床管理提供了新的途径。

关键字：纳米酶；碳点；草药酶；结肠炎

ID 511

新型近红外纳米探针与高分辨率可视化诊疗

齐迹
南开大学

目的：重大疾病精准诊疗的迫切需求推动了分子影像技术及其相关材料领域的快速发展，得到了科研工作者和临床医生们的极大关注。很多传统的医学成像手段面临着一些问题，包括分辨率不高，早期诊断效果有限，病灶特异性差和缺乏功能性等。光学成像（如荧光和光声）具有高灵敏度、高瞬时分辨率、实时监测、价格低廉、高效低毒以及设备简便灵活等特点。

方法：通过调控分子结构和聚集态优化不同的成像模式，使光物理能量转换过程达到最佳诊疗效果，通过多种模式成像协同获得不同维度的诊断信息，研究脑血管疾病的高分辨率成像、原位激活的疾病诊疗和联合免疫治疗等生物医学应用。

结果：研发了高亮度的长波长近红外二区分子探针用于高分辨率大深度的精准成像和诊疗；开发了疾病代谢异常标志物激活型分子探针实现高灵敏度的疾病发展和治疗过程原位可视化监测；创建了多功能性质可控最优化的诊疗一体化

纳米探针用于多模式成像指导的疾病分阶段协同治疗。设计并合成了新型的由一种单元组成的半导体均聚物，其分子间的排斥作用可以促进分子运动，从而增强光热转化和光声信号。这种长波长NIR-II 光声成像（1260 nm 激发）具有远高于其他波长的信噪比，组织穿透深度可以达到 6 cm，可以选择性地对血栓部位进行可视化监测。局部的热涌动效应和按需释放 NO 的结合不仅可以有效溶解血栓，溶栓率达到 90%以上，还可以促进纳米粒子渗透到血栓中，有效防止复发，效果甚至优于临床使用的尿激酶等药物。

结论：通过合理的分子设计，纳米载体表面工程化和疾病特异激活等性质开发，这类新型的近红外纳米探针有望提高重大疾病的精准诊疗效果。

关键字：分子探针；精准诊疗；聚集诱导发光；协同治疗；可视化

ID 514

聚多巴胺涂层的无载体纳米粒用于肿瘤光热级联个性化免疫治疗

黄晨露、张琳华、朱敦皖

中国医学科学院生物医学工程研究所

目的：基于自体肿瘤抗原的疫苗可诱导比传统肿瘤疫苗更强的免疫反应，特别是在体内原位生产的自体疫苗，它避免了体外制备的自体疫苗工艺复杂、疗效不理想、产量低的障碍。化疗、放疗、光动力和光热疗法等不同的治疗方式是释放肿瘤抗原和生产原位疫苗的有效策略。另外，递送技术越来越多地被用于增强原位疫苗，其在促进抗原释放、抗原处理和对抗抑制性肿瘤微环境以提高抗肿瘤免疫反应方面显示出巨大的潜力。因此，本研究设计了一种聚多巴胺（PDA）涂层的无载体纳米粒用于光热级联原位纳米疫苗用于三阴性乳腺癌的治疗。

方法：将Toll样受体9激动剂CpG和Fe2+通过简单的一锅自组装策略制备得到FC-NPs，然后静电吸附阳离子脂质DOTAP以形成FCD-NPs，接着在弱碱性条件下，通过氧化自聚合反应将PDA层涂覆在FCD-NPs表面后获得多功能无载体纳米粒FCDP-NPs。评价荷三阴性乳腺癌小鼠经瘤内注射FCDP-NPs结合近红外激光照射治疗后，诱导全身适应性免疫和逆转免疫抑制性肿瘤微环境的情况，以及抑瘤效果和治愈小鼠是否产生免疫记忆预防肿瘤的转移。

结果：制备得到的多功能无载体纳米粒FCDP-NPs具有优异的光热性能，最高温度达到53.5 ºC；在单次注射结合单轮激光照射下使得9只荷三阴性乳腺癌小鼠中的6只原发性肿瘤被成功根除；能够重编程肿瘤免疫微环境，提高抗原特异性细胞毒性T细胞和辅助性T细胞的数量、促进肿瘤相关巨噬细胞向M1型极化、增加树突状细胞和NK细胞的瘤内浸润、降低调节性T细胞的百分比；产生强大的全身抗肿瘤免疫反应和免疫记忆，有效预防肿瘤的肺转移。

结论：成功构建了一种具有级联增效作用的无载体纳米粒，能够显著消除原位肿瘤和预防肿瘤肺转移，提供了一种简便、低成本、绿色安全而有前景的光热协同原位纳米疫苗有效治疗恶性肿瘤的策略。

关键字：无载体纳米粒，光热治疗，原位纳米疫苗，三阴性乳腺癌

ID 642

多能细菌细胞壁纳米制剂协同声动力免疫与化疗治疗口腔鳞状细胞癌

王银松、杨萌、孟洋
天津医科大学药学院

目的：细菌细胞壁含有大量病原体模式分子，能够多靶点激活机体固有免疫系统抵抗肿瘤。卟啉单胞杆菌（Pg）是一种革兰氏阴性致病菌，从血红素中获取Fe和原卟啉（PpIX），合成高铁血红素二聚体沉积于细胞壁，催化过氧化氢生成氧，保护Pg免受中性粒细胞攻击。PpIX是性质优良的声敏剂，能够用于肿瘤的声动力治疗（SDT）。可见，Pg细胞壁（PgCW）具有类酶活性、声动力与免疫激活性能；Fe(III)可以消耗肿瘤细胞中的还原型谷胱甘肽（GSH）。这些作用相互呼应，协同增效抵抗肿瘤。本研究旨在提取PgCW进行纳米改造，携载阿霉素（DOX）构建纳米制剂，以期协同声动力免疫和化疗治疗口腔鳞癌（OSCC）。

方法：采用酶解法提取PgCW，超声挤压处理制备PgCW囊泡，而后与DOX共孵育得到纳米制剂PgCW@DOX。各种表征与体外性质研究，包括：验证PpIX与Fe的存在，观察形貌结构、检测粒径及其分布，测定DOX包封率；考察体外稳定性、释药行为、过氧化氢类酶活性、GSH消耗能力与声动力性能；阐释类酶活性与消耗GSH的声动力增效作用。在细胞水平和OSCC荷瘤小鼠体内考察PgCW@DOX的声动力性能及其协同化疗的肿瘤杀伤作用，肿瘤抗原协同PgCW的免疫激活效应及其抑制肿瘤转移的作用。

结果：成功制备获得PgCW@DOX，具有PpIX吸附光谱和Fe元素X-射线能谱特征，DOX包封率超过90%，呈规则球形，粒径约200 nm，分布均匀，稳定性良好，释药具有酸敏感性，能够高效催化过氧化氢生成氧和消耗GSH，显著增强其声动力效率。细胞与动物实验结果表明，PgCW@DOX结合超声辐照能够有效协同SDT与化疗杀伤OSCC，以及协同肿瘤抗原与PgCW激活免疫应答，高效抑制OSCC转移。

结论：本研究利用多能PgCW开发了一种新型纳米制剂，协同声动力免疫与化疗实现了对OSCC生长与转移的抑制，为细菌免疫治疗提供了创新联合策略。

关键字：细菌细胞壁；声动力治疗；免疫激活；化疗；口腔鳞状细胞癌

ID 1171

半导体SERS纳米生物传感器

林杰、吴爱国
中国科学院宁波材料技术与工程研究所

目的：恶性肿瘤严重危害人类生命健康，“早发现、早诊断、早治疗”是目前根治实体恶性肿瘤的最佳途径。与组织活检相比，体外液体活检技术具有快速、简便和无损伤等优势。当影像学检查还没有发现任何病灶前，外周血液中循环肿瘤细胞检测可为肿瘤早期诊断和预后评估提供重要依据。

方法：循环肿瘤细胞（CTCs）的高效检测可有效地应用于体外早期诊断、预后及存活时间判断、快速判断治疗效果、体内耐药性检测、肿瘤分子分型鉴定、个体化治疗、肿瘤复发检测等，具有重要的科学意义和临床应用价值。表面增强拉曼散射光谱（SERS）技术是高灵敏的指纹光谱分析技术，具有快速、精准、无损检测等优势，可适用于固相、液相等复杂的检测体系。

结果：SERS纳米生物探针与谱学/影像技术的结合，为实现循环肿瘤细胞的精准诊断带来新的契机。研发功能型SERS

纳米生物探针，随后结合具有光、电、磁场响应的SERS探针试剂盒仪器设备，完成外周血样中循环肿瘤细胞的快速富集、高效分离、准确检测和分型鉴定，从而通过SERS光谱/图像分析实现肿瘤的精准诊断应用突破，并开发可推广的检测试剂盒。

结论：重点突破液体活检发展中检测成本高、耗时长、细胞富集难和靶向性差等难题。

关键字：SERS，纳米生物材料，探针试剂盒，循环肿瘤细胞，液体活检

ID 1209

药物在微纳米粒中的高效包载与可控释放

李威

华中科技大学

目的：药物递送系统通过在空间、时间及剂量上全面调控药物在体内的分布，从而提升药物的利用效率、提高治疗效果、减少毒副作用和改善患者用药依从性，对提升疾病治疗水平具有重要意义。报告人的研究工作聚焦于制约药物递送系统发展的关键环节——药物的高效包载和可控释放，针对载药量低、多种药物共载难、序列响应/同步释放实现难等突出问题，致力于实现药物在微纳米粒中的高效包载与可控释放。

方法：报告人以微流控为技术平台，利用其能精确操控液体的分散、扩散、混合，且重现性好、灵活度高的独特优势，揭示热力学（物质相容性）和动力学（流体状态、传质过程）调控对微球和纳米药物的载药量、包封率、结构、释药行为等的影响规律与机制。

结果：热力学调控能克服相容性限制，大幅提高微球的载药量，高效共载多种药物以及精确控制负载比例。通过构建层级结构的微球，实现了多种药物的同步或序列响应释放。而且，热力学调控能通过克服相容性限制来大幅提高纳米药物的载药量，高效共载多种亲疏水药物或功能性成分，实现了多种药物的可控释放。此外，通过融合传统乳液法和沉淀法，革新动力学调控，突破了热力学相容性对微球载药量的限制，获得兼具高载药量和可控药物释放的负载药物纳米粒的微球，该高载药微球能实现小体积大剂量给药。

结论：综上，对多种理化性质不同的药物均实现了高效包载和可控释放，在多种疾病模型中显著提高药物疗效并减少毒副作用。

关键字：药物递送系统；微球；纳米药物；微流控

ID 1211

超小氧化铪纳米放疗增敏剂在肿瘤放疗增敏及放疗免疫中的研究

刘瑞雪、杜江锋

山西医科大学第一医院

目的：氧化铪纳米颗粒（Hafnium oxide nanoparticles, HfO2 NPs）由于其优异的X射线吸收性能及良好的稳定性和生物安全性，是第一个走向临床的无机纳米放疗增敏剂。以瘤内介入的方式注射氧化铪纳米颗粒（HfO2 NPs）后可增强X射线能量沉积，增强肿瘤放射杀伤效果，且不会增加对周围正常组织的毒性。然而，HfO2 NPs作为放疗增敏剂所介导的肿瘤杀伤效果是有限的，其可以增强放射致肿瘤细胞DNA损伤，但无法抑制肿瘤细胞DNA损伤修复。且肿瘤细胞固有的DNA损

伤修复能力，是肿瘤放疗抵抗的关键因素，针对DNA损伤修复相关分子的靶向治疗对增强肿瘤放射治疗效果具有重要意义。此外，在放射治疗过程中，如能够将放疗诱导的肿瘤细胞凋亡切换为细胞焦亡，有望引起更加强烈的免疫反应，激活机体强大的抗肿瘤免疫效果，对抑制肿瘤复发和转移亦有重要的意义。

方法：课题组通过合成超小氧化铪纳米颗粒，并利用其负载小分子DNA损伤修复抑制剂（Berzosertib， VE-822），构建了新型纳米放疗增敏剂T-HONs@VE-822；通过负载表观遗传药物地西他滨（Decitabine， DAC）的纳米复合药物DAC@O-HONs。利用各种物理化学表征手段对纳米药物进行了分析，并对其进行了生物安全性评价，继而在细胞和动物水平评价了其抑制肿瘤生长的效果。

结果：T-HONs@VE-822可以有效扰乱细胞周期增强DNA双链断裂水平，显著抑制肿瘤细胞体内外生长，有效提高肿瘤放疗敏感性。并通过cGAS-STING途径有效激活机体的抗肿瘤免疫效应，抑制肿瘤的转移和复发。DAC@O-HONs可有效上调三阴性乳腺癌细胞中GSDME蛋白表达水平，将放疗介导的肿瘤细胞凋亡转变为细胞焦亡，有效增强肿瘤细胞的放射治疗效果。

结论：上述纳米药物在放大放射治疗效果的同时可以有效激活抗肿瘤免疫效应，抑制肿瘤的转移和复发。

关键字：纳米放疗增敏剂；氧化铪；DNA损伤修复；抗肿瘤免疫；细胞焦亡

ID 2011

协同磁热/铜死亡的铜铁氧体纳米诊疗剂触发抗肿瘤免疫治疗

刁艳照[1,2]、曲宏[1,2]、李红[1]、杭立峰[2]、江桂华[2]

1. 暨南大学

2. 广东省第二人民医院

目的：原发性肝癌是目前世界上致死人数最多的恶性肿瘤之一，每年发病率都居高不下。尽管传统手术、放射治疗和化疗药物治疗广泛应用于临床，但是对于晚期肝癌的治疗效果不尽人意，预后极差。不幸的是，肿瘤的抑制性免疫微环境使免疫治疗效果欠佳。因此亟需开发新型、有效的治疗方式用于肝癌晚期治疗。

方法：铜死亡是一种新发现的依赖于细胞内Cu_{2+}过载的细胞死亡途径，Cu_{2+}在肿瘤细胞内的过量积累会导致细胞膜损伤，释放大量损伤相关分子模式并有效诱导免疫反应，改善免疫抑制性肿瘤微环境。而且，Cu基类芬顿试剂比 Fe基芬顿试剂具有更快的反应速率，且更加适合肿瘤微环境的弱酸性 pH。因此，从诱导肿瘤组织铜死亡角度出发，开发兼具升温和产生活性氧功能的纳米药物是肿瘤治疗最理想的策略。磁热治疗是一种具有广阔应用前景的微创癌症治疗方式，对于深部肿瘤的精准热疗具有不可比拟的优势。因此，设计和合成一种具有肿瘤微环境响应的、同时具有磁热、化学动力学及诱导细胞铜死亡性能、并能逆转肿瘤免疫抑制的纳米材料对于肝癌治疗具有重要意义。

结果：本研究构建了一种透明质酸修饰的铜铁氧体，其较高的磁学性能具有良好的磁热转换效率，并可以通过化学动力学催化生成大量活性氧。磁场促进了Cu_{2+}的释放和随后在细胞内的聚集，并最终诱发了肿瘤细胞铜死亡，有效地诱导了免疫原性细胞死亡，抑制肿瘤转移和复发。通过体内和体外实验均证明了磁热、化学动力疗法与铜死亡的协同作用增强了肿瘤抑制作用，并能够有效激发免疫反应抑制肿瘤生长。主要脏器的切片与血液分析进一步揭示了材料具有良好的生物安全性。此外，铜铁氧体具有良好的光声成像和磁共振造影成像能力。

结论：综上，铜铁氧体介导的磁热/化学动力学/铜死亡具有优异的肿瘤杀伤效果，并有效地增强了免疫细胞的浸润，抑制了肿瘤生长和转移。

关键字：铜死亡；磁热疗法；活性氧；免疫治疗；多模态成像

ID 2030

原位点击前药纳米平台用于肿瘤精准免疫治疗

候博、于海军
中国科学院上海药物研究所

目的：肿瘤免疫治疗的关键是肿瘤特异性细胞毒性T淋巴细胞（CTLs）与肿瘤细胞物理接触，从而杀伤肿瘤。但是，免疫排斥型肿瘤（IET）通过降低免疫原性，限制CTLs浸润以及上调PD-L1耗竭CTLs来逃避CTLs的杀伤[1]。因此，需要设计高效的纳米递送平台实现药物精准分级递送，满足对免疫排斥型肿瘤胞内、外靶点的协同调控，从而增强抗肿瘤免疫治疗。

方法：因此，我们利用肿瘤微酸响应聚合物载体结合生物正交点击化学设计并构建了原位点击前药纳米平台，实现了肿瘤微酸激活荧光成像诊断以及药物高效递送。原位点击前药纳米平台由两类纳米粒组成，分别是前体纳米粒PEID和效应纳米粒N3PGDP（J）。

结果：PEID纳米粒特异性的蓄积到肿瘤组织后，被胞外微酸特异性激活ICG荧光用于肿瘤诊断以及荧光引导温和光热治疗；同时，释放出DBCO对肿瘤胞外环境标记用于原位生物正交点击反应。N3PGDP（J）纳米粒表面的叠氮与DBCO发生点击反应后形成“纳米交联体”从而滞留在肿瘤组织中，随后响应MMP-2脱掉PEG外壳，增强肿瘤细胞对其摄取。此外，原位点击前药纳米平台利用温和光热诱导肿瘤组织炎症反应，激活抗肿瘤免疫应答，从而招募肿瘤特异性CTLs；并精准降解胞外基质，促进CTLs由肿瘤边缘向肿瘤内部浸润，增加与肿瘤细胞的物理接触，从而更加高效杀伤肿瘤细胞；通过将药物高效递送到肿瘤胞内，有效抑制由IFN-γ诱导PD-L1上调介导的免疫耐受。原位点击前药纳米平台通过协同调控肿瘤胞内、外靶点，为免疫排斥型肿瘤提供了新的纳米治疗平台，通过肿瘤微酸激活荧光成像引导的精准免疫治疗可完全消除4T1肿瘤。

结论：综上，原位点击前药纳米平台具有以下优势：（1）基于激活型生物正交点击反应，纳米限域递送平台可实现肿瘤选择性药物递送，（2）纳米限域递送平台可精准区分肿瘤胞内、外酸环境，实现对肿瘤从胞外到胞内的逐级调控，为改善药物递送效率提供了新方法、新思路。

关键字：纳米限域递送，肿瘤微酸响应，生物正交点击化学，肿瘤精准诊疗

ID 2128

糖基纳米凝胶与抗肿瘤药物靶向递送

张卫奇
中国医学科学院基础医学研究所

目的：天然多糖具有可降解与生物相容性好等优势，已大量应用于肿瘤药物递送载体的构建。根据多糖的结构不同，部分多糖具有独特的肿瘤生物学效应（肿瘤靶向等），如：透明质酸（CD44靶向）、岩藻多糖（P-选择素靶向）与葡聚糖（肿瘤相关巨噬细胞靶向）。但是由于多糖自身的生物代谢途径，多糖递送载体的肿瘤摄取及其在细胞内的命运，极大地决定了其肿瘤靶向、胞内递送与最终的治疗效果。

方法：我们基于透明质酸、岩藻多糖与葡聚糖等多糖与药物分子之间的非共价作用，以分子自组装的策略，发展了一系列新型的载药多糖纳米凝胶，用于实现肿瘤靶向的药物递送。为了进一步优化载药多糖纳米凝胶的肿瘤治疗效率，

我们分别尝试了不同多糖介导的肿瘤细胞靶向与肿瘤相关巨噬细胞靶向，提高多糖纳米凝胶的肿瘤细胞摄取和促进递送药物在胞内的溶酶体逃逸等策略。

结果：我们发现载药透明质酸纳米凝胶有效保留了CD44的靶向能力，高效介导肿瘤的靶向递送，在降低药物的毒副作用的同时，能增效肿瘤靶向的药物联合治疗。同时，通过放射治疗的前处理可以上调肿瘤细胞P-选择素表达，促进岩藻多糖纳米凝胶的细胞摄入，进而增敏载药岩藻多糖纳米凝胶的抑瘤效应。进一步，利用趋溶酶体药物的共载，在多糖纳米凝胶的药物递送过程中引起溶酶体膜通透化，极大地提高了药物的胞内递送效率。

结论：该系列糖基纳米凝胶充分利用了多糖的生物学特点与载体功能，同时具有制备简单与低成本的特点，有利于肿瘤靶向递送策略的快速筛选与优化，具有很好的转化应用前景。

关键字：肿瘤靶向，多糖，纳米凝胶，药物递送

ID 2139

可降解生物医用共轭高分子材料

田斯丹、罗亮

华中科技大学生命科学与技术学院

目的：共轭高分子具有独特的光学和电学特性，在能源、光电信息和生物医用材料等领域获得了广泛的研究和应用。近年来，生物传感、生物医学光子学和生物电子学的飞速发展对生物医用材料的光电性能提出了新的需求，兼具优异光电性能和生物相容性的共轭高分子材料展现出不可替代的重要价值。然而，生物医用材料应用与转化的基石是良好的生物安全性。共轭高分子的主链结构通常表现出较强的化学惰性，难以降解的分子主链造成其体内代谢过程与生物安全性不明，成为限制这类材料体内应用的主要瓶颈。随着共轭高分子材料在生物体内应用的需求与日俱增，其可降解性与生物安全性面临无法回避的重大挑战。因此，发展具有优良生物安全性的可降解共轭高分子，是推动共轭高分子材料生物医学应用与转化的重中之重。

方法：以超分子共组装模板聚合法制备取代基结构简单的聚二炔，克服传统聚二炔分子复杂取代基对其主链降解的困扰，显著降低聚二炔主链的反应位阻，使聚二炔主链结构的降解潜力得以发挥。通过超分子共组装模板聚合法对取代基结构的调控，显著改善了聚二炔分子的溶解性，不仅为其后续降解机理的研究提供了便利，同时极大的开拓了这类材料的生物医用前景。

结果：成功制备了聚4,6-二炔癸二酸（PDDA）、聚4,6-二炔癸二胺（PNDA）和聚二碘代丁二炔（PIDA）等一系列取代基结构简单的聚二炔分子，均能够在活性氧氧化作用下发生降解，提出并验证了聚二炔共轭主链降解过程的共轭主链烯-炔结构同步氧化的分子机理。基于这类可降解共轭高分子构建了一系列生物医用材料在成像和治疗领域开展了应用。

结论：我们以主链C=C 和 C≡C共轭结构为突破口解决共轭高分子降解难题的思路，聚焦于共轭主链结构由C=C 和C≡C构成而具有氧化降解潜力的共轭聚二炔高分子。实现了可降解共轭高分子材料的制备，降解机理研究和生物医学应用。

关键字：共轭高分子，可降解高分子，生物安全性

ID 2147

纳米电穿孔生物芯片在精准诊断中的应用

董再再、常凌乾
北京航空航天大学

目的：深入探究活细胞内的分子表达或功能信息，为了解疾病的发生发展，以及开发个性化的治疗方法提供了重要依据。传统的细胞分析方法一般建立在对细胞进行裂解的基础上，以提取细胞内的特定分子进行检测。这种方法无法对活细胞进行分析，更无法与细胞的行为建立关联。新兴的用于活细胞内分子检测的方法，需要将特异性的探针，例如识别特定基因位点的DNA探针，通过纳米材料搭载递送至细胞内。由于这种方法依赖细胞的内吞作用，具有随机性，因此递送效率受到限制，且存在对细胞活性造成影响的隐患。因此，亟需发展能够实现活细胞内分子分析的方法。

方法：利用纳米电穿孔技术，通过紧贴细胞膜的纳米孔聚焦电场，在脉冲电压下(~15V)，能够实现细胞膜的瞬间开启。同时，利用电场产生的电泳力使本身带有负电荷的DNA探针加速进入到活细胞内，能够完成DNA探针的快速（< 5秒）、高效（> 90%）且安全的递送。在细胞内，DNA探针特异性识别靶标并引发荧光信号循环放大，通过检测荧光信号，即可判断单个活细胞内特定靶标的表达情况。

结果：采用特异性的DNA探针与配套芯片系统，分别实现了（1）肺癌细胞内EGFR突变基因的灵敏检测，并与癌细胞靶向药物敏感性建立正相关关系；（2）活细胞核内MDM2蛋白的表达鉴定及其调控细胞迁移行为的功能表征；（3）活细胞内增强子活性的实时探测；（4）循环肿瘤细胞高效捕获，以及PD-L1表达与免疫行为的关联分析。

结论：研究方法从活细胞分析的角度出发，通过结合纳米电穿孔递送技术、DNA检测探针以及微流控生物芯片，为肿瘤细胞的功能探究和癌症的精准诊断提供了系列通用平台。

关键字：纳米技术；生物芯片；DNA探针；细胞分析

ID 2241

具有血肿靶向的级联药物递送微针构建及脑出血治疗研究

郝石磊、王伯初、邓佩颖
生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学生物工程学院

目的：血肿及其裂解物是诱发脑出血后神经损伤的关键因素。血肿裂解是一个连续演变的过程，其裂解释放产物如红细胞、血红蛋白、血红素、铁离子等均会造成神经功能障碍，抑制血肿裂解过程和加速毒性代谢产物外排是缓解脑出血后损伤的重要方式。

方法：基于脑出血后继发性神经损伤的发生发展特点，本研究针对红细胞溶血、血红素降解、铁超载三个重要环节，设计了程序性释放的多药核壳纳米粒，多靶点抑制上述损伤行为；合成载海藻糖（Trehalose）的可溶性角蛋白-纤维蛋白结合域（FBD）融合蛋白以靶向血肿并抑制红细胞溶解，内层疏水性角蛋白缓慢释放锌原卟啉（ZnPP）和表没食子儿茶素没食子酸酯（EGCG）分别抑制血红素降解和铁超载；为提高脑部药物递送效率，进一步构建了载核壳纳米粒的可溶性微针，实现脑出血后的原位高效药物递送。

结果：首先设计合成了血肿靶向的 FBD-SK37-2α 可溶性蛋白与疏水性 RK31 重组蛋白，分别将其作为纳米粒内外层载体材料装载多药，通过乳化溶剂挥发法构建核壳纳米粒核壳纳米粒具有球形核壳结构，载体粒径约100 nm，负载在外层可溶性重组角蛋白的海藻糖，在 0-8 h 内快速释放，纳米粒内层位置的 ZnPP 和 EGCG则显示出缓慢释放行为，达到了可程

序性释药的目的。进一步，制备并系统评价了载多药核壳纳米粒的可溶性微针，动物实验的血肿体积分析和神经功能评价结果显示，各治疗组均可减小血肿体积和促进神经功能障碍恢复，其中Trehalose/ZnPP/EGCG 组的血肿体积减小程度和神经功能恢复程度最为显著，说明多重药物组具有更优的脑出血治疗效果。

结论：综上所述，本研究基于脑出血后神经损伤发展规律，构建了兼具血肿靶向、程序性释放多药、多级抑制血肿降解产物的载多药核壳纳米粒可溶性微针，实现了脑出血后多靶点抑制血肿及其裂解产物毒性和加速神经功能恢复。

关键字：脑出血， 角蛋白， 可溶性微针，血肿靶向，级联递送

ID 2332

纳米生物医学在代谢功能障碍相关脂肪性肝病诊疗中的应用

刘晶晶

扬州大学

目的：代谢功能障碍相关脂肪性肝炎（MASH）是代谢功能障碍相关脂肪性肝病（MASLD）进展的重要阶段，如果不加以干预会进一步发展为不可逆的肝硬化和肝细胞癌。而到该阶段的话，肝移植将为唯一挽救生命的方式。鉴于肝移植面临侵入性、长期免疫抑制以及缺乏供体肝脏的缺点，对MASH进行及时诊断和有效治疗至关重要。由于肝活检和传统成像方式在诊断MASH方面存在局限性，一些保肝药物也有潜在危害，许多纳米制剂被开发用于MASH的诊断和治疗。随着纳米技术的发展，纳米粒子的制备、成分、形态和功能已逐渐得到研究和优化，并应用于各种疾病的诊断和治疗中。基于此，我们设计了多种纳米材料体系，不仅实现了对MASH的精准、无创诊断，而且可有效治疗MASH和MASH相关纤维化从而预防肝硬化和肝细胞癌的发生。

方法：利用两亲性聚乙二醇(PEG)对超小氧化铁纳米颗粒（USIO）的表面进行修饰，并将5-羟色胺(5HT)（MPO的生理底物）偶联在PEG的末端，最终得到的USIO-DA-PEG-5HT纳米颗粒。同时，基于具有炎症靶向性的血小板构建生物探针（PLT-DP）。另外，基于NADH通过微乳液法构建无载体纳米药物（NADH-NPs）。

结果：通过计算小鼠肝脏部位的横向弛豫率（R2）与纵向弛豫率（R1）的比值（R2/R1），发现USIO-DA-PEG-5HT可使MASH小鼠肝脏部位的R2/R1增强3倍以上，从而实现特异性诊断。同时，相较于健康小鼠，PLT-DP的荧光信号在MASH小鼠肝脏部位明显增强，实现了对MASH的非侵入性荧光成像。另外，NADH-NPs可以改善线粒体功能，缓解细胞衰老，并改善小鼠MASH相关表现，减缓纤维化的进程。

结论：纳米生物医学体系可有效实现对MASH的精准、无创诊断，而且可有效治疗MASH和MASH相关纤维化从而预防肝硬化和肝细胞癌的发生。

关键字：纳米材料；代谢功能障碍相关脂肪性肝炎（MASH）；代谢功能障碍相关脂肪性肝病（MASLD）；诊断；治疗

ID 2370

智能纳米材料设计用于活性氧相关疾病研究

穆婧
北京大学深圳医院

目的：活性氧在生理活动中至关重要，其参与基因转录、蛋白修饰和酶活性等多种生理过程，从而影响着细胞的生长和衰老。活性氧（ROS）在生理过程中产生与清除的动态平衡是维持细胞稳态的关键。低浓度的活性氧有助于细胞的增殖、分化、迁移和生存，而过量的活性氧可引起DNA损伤，引发疾病的产生如癌症等。高浓度的ROS可对细胞造成不可逆的破坏，从而诱导细胞死亡。ROS的过量产生导致的氧化应激，涉及到癌症、神经退行性疾病、炎症等多种疾病。因此，通过氧化还原反应控制其转化，调控ROS水平成为干预疾病进展的一种潜在治疗ROS相关疾病的有效办法。如何精准地调控ROS的产生与清除以达到期望的水平和浓度范围，实现病变组织到健康组织的转变，产生治疗效果。

方法：针对以上问题，我们通过设计先进的具有活性氧生成或清除的纳米材料，调控ROS相关的生成和转化过程，分别开展了活性氧杀伤疗法和活性氧清除疗法相关研究，发展了ROS相关疾病的预防和治疗新策略。取得了以下研究成果：1）提出基于化学动力学的“氧化增压”新策略，通过巧妙设计基于MOFs的级联催化反应实现氧化类物质（NO）的生成或还原类物质（GSH）的耗竭，增加高浓度的ROS积累，促使细胞氧化应激损害，实现肿瘤的高效协同治疗；2）提出“活性氧响应的可控释放策略”，利用肿瘤微环境的活性氧调控荧光探针和药物分子的释放，激活影像信号与药物活性，实现了肿瘤精准成像及影像引导下的精准治疗；3）提出“活性氧清除及一氧化氮调控协同保护”的创新策略，利用缺血损伤下过量的活性氧为反应物，设计级联纳米反应器，实现活性氧清除的同时，催化产生NO，双管齐下，双重机制协同保护，为临床缺血再灌注损伤的有效预防和治疗提供了新策略。

结果：设计的系列纳米材料有效调控了活性氧的生成和转化过程。

结论：为ROS相关疾病治疗提供了新方法和新策略。

关键字：活性氧调控，肿瘤治疗，损伤修复

ID 2539

基于聚集诱导发光原理的免洗型超分辨成像探针

张鹏飞
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：细胞就像一个复杂的工厂，各种亚细胞结构就像精密的仪器，具有不同的功能，并不断地协同工作以维持细胞正常的生理活动。亚细胞结构异常可导致细胞生理功能的改变，进而导致各种疾病。因此，研究这些亚细胞结构的精细结构和功能对生物医学的发展具有重要意义。超分辨荧光显微成像技术的发展使利用荧光显微镜研究细胞内200纳米以下的亚细胞超微结构成为可能，这极大地促进了生命科学和生物医学的发展。而实现活细胞超分辨成像不仅需要先进的成像系统也需要具有优异光学性能的荧光探针来标记各种亚细胞结构。为了实现对活细胞亚细胞结构的快速、长期的动态成像，对荧光探针的抗光漂白能力和荧光亮度提出了更高的要求。

方法：聚集诱导发光(AIE)是唐本忠院士于2001年提出的一个科学概念,是指一类在溶液中不发光或者发光微弱的分子聚集后发光显著增强的现象。通过在传统罗丹明结构的染料上引入分子转子，我们设计了一系列基于聚集诱导发光特性的荧光探针，用于生物体内亚细胞器快速、灵敏的免洗成像。

结果：我们的探针成功实现活细胞中线粒体的超分辨成像，并对线粒体融合分裂动力学进行了观察研究，充分体现了该探针在活细胞超分辨成像方面所具备的实际应用价值。

结论：目前，AIE生物探针在生物分子检测、细胞器成像、细菌成像、细胞追踪、血管成像、体内肿瘤成像与治疗等方面已经取得了众多的成果。基于AIE原理，我们可以开发一系列免洗荧光成像探针，利用该探针结合超高分辨率技术，能够对线粒体、溶酶体、细胞骨架等细胞器以及细菌等微生物的超微结构进行超高分辨实时成像。

关键字：聚集诱导发光，荧光探针，超分辨成像，细胞器

ID 2765

基于光治疗的多方式协同肿瘤精准治疗

李斯文、顾月清

中国药科大学

目的：肿瘤已成为威胁人类健康的头号杀手。传统的化疗、放疗和手术是目前是肿瘤治疗领域的主要方法，但它们都有各自的局限性，如侵袭性强和毒副作用严重，会严重影响患者的生活质量。因此急需探索出一种更有效、更安全的肿瘤治疗方法。近年来，光疗法因具有温和、时空可控性和高效精准等特点特性，已成为肿瘤治疗领域的新兴策略之一。光疗法包括光动力治疗（PDT）和光热治疗（PTT），其基本原理是通过特定波长的光激发富集在肿瘤部位的光敏剂等产生热或者活性氧，以此对肿瘤细胞产生杀伤作用而又不至于破坏周边正常组织，以此达到对肿瘤的协同精准治疗，在临床上已广泛应用为一种非侵入性的肿瘤治疗方法。此外，光疗法在体内的生物效应可以与其他策略结合，以实现协同治疗的目的。

方法：本研究构建了一种纳米生物材料药物载体系统，该系统能够精准地将治疗药物输送到肿瘤部位，用于固体肿瘤的多模式精准治疗。该系统可以结合免疫治疗、基因治疗、化疗和光疗，使每种治疗方法协同作用，增强肿瘤治疗效果，包括有效抑制肿瘤的发展、转移和复发。研究中通过细胞和动物水平的不同治疗策略组合，进行了纳米生物材料药物载体系统对肿瘤治疗协同效应的研究，并通过Western blotting、qPCR等分子生物学实验方法研究了协同抗肿瘤效应的机制。

结果：体外和体内实验结果表明，纳米生物材料药物载体系统的肿瘤多方式协同治疗，能有效控制肿瘤的发展转移与复发，具有较好的治疗效果及临床应用前景。

结论：因此，基于光疗的多模式协同治疗肿瘤系统对精准肿瘤治疗具有重要意义。

关键字：光疗法，纳米生物材料，协同疗法，肿瘤靶向

ID 2846

基于频域-空间域信息融合的磁粒子成像技术

钟景

北京航空航天大学

目的：磁粒子成像 (Magnetic Particle Imaging, MPI) 是一种新型功能性成像技术，通过测量磁纳米粒子的非线性磁化响

应及频谱，实现对磁纳米粒子空间分布的三维定量成像。常规的磁粒子成像技术利用磁场自由点 (Field Free Point, FFP) 位置x空间信息或磁纳米粒子磁化响应频谱k空间信息来反演磁纳米粒子的空间浓度分布，在反演准确度和成像速度上各有优劣。

方法：本文提出了一种基于频域和空间域融合的磁粒子成像，综合利用k空间频谱信息和x空间信息。一方面，利用 y 方向的低频扫描磁场实现场自由点的移动并获取x空间信息；另一方面，利用x方向的高频驱动磁场实现场自由点的移动及磁纳米粒子的磁化，同时获取磁纳米粒子磁化响应 k 空间频谱信息。构建基于频域和空间域信息融合的磁粒子成像正演模型，研制磁粒子成像系统，并开展实验验证，评估了所搭建成像系统的空间分辨率和检测限 (Limit of Detection, LOD)。

结果：所提出的基于频域和空间域信息融合的磁粒子成像方法，在1.1 T/m的梯度下，其在x方向的空间分辨率约为0.3 mm，在y方向的空间分辨率约为0.8 mm，成像速度为1帧/秒。此外，通过梯度稀释实验，对铁的检测下限达13 microg/mL，铁含量约为100 ng。

结论：本文所提出的基于频域和空间域信息融合的磁粒子成像方法可以有效减小系统矩阵测量所需的时间，能实现快速磁粒子成像，且具有较高的空间分辨率，在肿瘤和心脑血管疾病诊断上具有巨大的应用潜力。

关键字：磁粒子成像，磁纳米粒子，频域，空间域

ID 2867

上转换光遗传探针闭环调控脑区ATP缓解抑郁样行为

梅青松、卢麒

暨南大学

目的：ATP在调节抑郁症相关的各类神经生物学机制中发挥着关键作用，可快速缓解抑郁症。然而，经研究发现，mPFC脑区星形胶质细胞外的ATP在不同浓度下发挥不同的，甚至是相互矛盾的作用。因此，明晰细胞外ATP的浓度与抑郁症的关联，对缓解抑郁行为提供新的解决思路。

方法：运用星形胶质细胞特异性启动子慢病毒体系，于该细胞上表达光敏蛋白C1V1，并融合生物素小分子，通过链霉亲和反应，将ATP可逆响应的链霉素修饰的上转换发光（UCNPs）探针连接至细胞膜上。病毒感染区植入传感光纤，在近红外光照射下，借助纤维光度法记录目标区域UCNPs 内在的F540nm和F650nm的荧光比值，并转化为ATP浓度。其次植入激光光纤，激活星形胶质细胞，可以释放 ATP，从而实现激活与监测的同步进行，便于深入探究细胞外ATP的浓度与抑郁症的关系。此外，我们还通过组学方式解析不同浓度梯度的ATP所导致抑郁情况的潜在机制。

结果：通过监测发现正常小鼠与抑郁小鼠的mPFC脑区ATP浓度存在显著差异，正常小鼠约为70 μM，而抑郁小鼠则约为30 μM。此外，采用激光器对抑郁小鼠脑区的ATP浓度进行调控，当ATP浓度从30 μM 左右逐渐恢复至70 μM 过程中，小鼠的抑郁状态迅速回归至正常状态，而当小鼠的ATP浓度超过70 μM 时，小鼠又逐渐恢复至抑郁状态。组学分析证明ATP从低浓度恢复到正常浓度时,主要激活神经配体相互作用达到治疗效果，而高浓度是引起免疫，炎症等反应再次造成抑郁。

结论：将小鼠mPFC脑区星形胶质细胞膜外的ATP浓度维持在特定区间内，能够缓解小鼠的抑郁情况。

关键字：上转换发光探针，光遗传学，ATP，抑郁

ID 3879

功能性高分子复合支架促肌肉组织再生

刘健、胡雪纯、曾菲、孟洁、许海燕
中国医学科学院基础医学研究所

目的：人体肌肉组织分布范围广，类型及功能多样，再生过程复杂。特别是大规模的骨骼肌缺损和心梗发作后的心肌损伤一直是临床治疗所面临的主要挑战。本研究探讨了利用功能性高分子复合支架增强骨骼肌和心肌再生的方法。

方法：首先，为了实现大尺寸骨骼肌缺损的再生修复，我们分别制备了由超顺磁性氧化铁纳米颗粒和明胶-聚氨酯同轴静电纺丝纤维复合而成的磁场响应性纳米纤维支架，以及具有抗氧化性、可通过漆酶催化交联的可注射明胶水凝胶支架。其次，为了改善心梗后继发的心肌结构及功能失调，我们制备了一种由导电碳纤维和明胶-聚乳酸同轴静电纺丝纤维复合而成的导电微/纳米纤维水凝胶支架。

结果：磁场响应性纳米纤维支架具有高弹性及良好的组织粘附性，并能通过外部磁场对细胞施加局部的机械刺激，可显著上调成肌细胞MyoG的表达和VEGF的分泌，同时上调Myh4基因的表达，加速小鼠肌肉损伤模型中骨骼肌的再生过程，并显著促进再生骨骼肌组织电生理功能的恢复和血管网络重建；可注射的抗氧化水凝胶能够原位包封骨髓间充质干细胞，并模拟骨髓干细胞龛的力学及低氧微环境，提高了干细胞在植入部位的保留率、实现了细胞活性和干性的长时间维持，促进了肌纤维再生和血管形成；导电微/纳米纤维水凝胶支架能促进新生大鼠心肌细胞的成熟，同时增强了心肌细胞间及其与血管内皮细胞之间的通讯。在大鼠心梗模型上，导电水凝胶的植入可以有效促进梗死部位血管形成，表现出突出的促进心肌组织再生与修复的功能。此外，利用导电支架材料还可在体外构建出能够模拟正常心肌组织的类心肌组织片，在药物的心脏毒性评价及药效学评价等药物筛选研究中具有广阔的应用前景。

结论：以上研究展示了具有磁-力转化、抗氧化及导电性等功能的复合生物材料支架促进不同类型肌肉组织再生的潜力，为肌肉损伤相关疾病的治疗提供了新的选择。

关键字：复合支架；骨骼肌/心肌再生；磁-力转化；导电支架；抗氧化

ID 3935

CXCR4新型拮抗多肽P12促进抗胰腺癌免疫效应及其治疗作用研究

孟洁、黄鑫、朱可、刘暄欣、许海燕
中国医学科学院基础医学研究所

目的：CXCR4/CXCL12生物轴是介导胰腺癌转移和耐药的关键生物轴，目前还没有CXCR4拮抗剂被批准用于胰腺癌的治疗。本论文报道了一种新型胰腺癌CXCR4拮抗多肽P12，对其拮抗CXCL12/CXCR4生物轴、对胰腺癌的治疗作用及体内代谢进行了研究。

方法：利用流式细胞术和激光共聚焦显微镜检测多肽P12与胰腺癌细胞及基质细胞的结合情况；利用CCK-8检测P12对细胞活性的影响；利用Transwell迁移小室检测P12对CXCL12诱导的胰腺癌细胞迁移的影响；利用荧光显微镜检测P12对成纤维细胞或巨噬细胞与胰腺癌细胞粘附的影响；利用WB检测P12对胰腺癌细胞及基质细胞CXCR4下游Erk和p38信号蛋白磷酸化的影响。建立小鼠原位胰腺癌模型，给予P12、P12与吉西他滨联合治疗。通过病理和免疫组化染色分析各组中小鼠肿瘤及其微环境的病理改变，记录小鼠存活情况；腹腔注射FITC-P12到胰腺癌小鼠体内，检测多肽在血液、肝、肾和胰腺中分布及代谢情况。

结果：多肽P12可以与高表达CXCR4的胰腺癌细胞结合，有效抑制CXCL12介导的胰腺癌细胞的迁移及与基质细胞的粘附，显著抑制CXCR4下游信号蛋白Erk和p38的磷酸化，证实P12可以有效拮抗胰腺癌CXCR4。注射P12能够降低肿瘤组织Ki67的表达水平，上调凋亡关键蛋白Caspase-3的表达。同时，P12可显著降低M2型巨噬细胞标志物CD206的表达水平，增加T淋巴细胞在肿瘤组织中的浸润，增强淋巴细胞对胰腺癌细胞的杀伤作用及机体抗肿瘤免疫效应。与GEM联用可显著延长胰腺癌小鼠的生存期。腹腔注射P12能够迅速入血并显示出肿瘤靶向性。

结论：新型CXCR4拮抗多肽P12可有效拮抗CXCL12/CXCR4生物轴，通过抑制肿瘤免疫耐受，促进杀伤性T细胞的浸润，提高抗肿瘤免疫效应。多肽P12有望发展为新型CXCR4拮抗剂，用于胰腺癌治疗。

关键字：胰腺癌、拮抗多肽、CXCR4、免疫响应、肿瘤微环境

ID 4048

纳米-生物界面调控与微纳囊泡诊疗

丁显光

南京邮电大学

目的：纳米-生物学界面的理性设计对于以诊疗为目的的智能纳米医学至关重要。然而，由于缺乏对生物-物质之间相互作用方式以及作用边界条件的理解，对纳米-生物界面的理性设计匮乏，制约了纳米医学在疾病诊疗中的应用。为实现精准诊疗技术，需要发展界面精细调控技术。

方法：我们提出纳米界面工程策略，利用纳米-生物之间的界面相互作用来调控体液循循环细胞外囊泡与目标单元的作用力。以二维材料为例，我们发现二维材料表面的晶面可以调节分子间作用力。因此，二维材料表面相工程能够调节纳米结构-生物质相互作用，从而最大限度地提高检测、治疗过程中的精准检测与靶向结果。

结果：通过对细胞外囊泡膜蛋白和microRNA进行标记分析，我们确定了用于癌症检测的标签组合的分子特征。细胞外囊泡（EVs）是由细胞分泌的小泡，包含丰富的生物分子如蛋白质、脂质和核酸。通过分析这些囊泡中的膜蛋白和microRNA，我们可以找到特定的生物标志物，这些标志物在癌症患者中具有特异性表达。通过标记和分析这些分子特征，我们可以建立一组用于早期癌症检测的有效标签组合，从而提高癌症诊断的准确性和灵敏度。

结论：二维材料表面的晶面可以调节生物分子间的作用力。通过对二维材料表面晶面的工程化处理，可以精确调控纳米结构与生物质之间的相互作用。这种调节能够显著提升诊断和治疗技术的效果。例如，通过调整二维材料表面的晶面结构，可以改变生物分子的吸附和解吸行为，从而优化药物递送系统的效率。此外，还可以通过调控晶面来提高生物传感器的灵敏度和特异性，实现更准确的疾病检测和监控。总之，二维材料表面晶面的工程化处理在生物医学领域具有广泛的应用前景，能够推动诊疗技术的发展和进步。

关键字：纳米-生物学界面, 相工程， 二维材料

ID 4060

基于DNA纳米构型的工程化肿瘤诊疗分子探针

马祎
中国药科大学

目的：针对具有肿瘤诊疗价值的关键分子，开发高灵敏的分子识别探针，可视化识别肿瘤演进或治疗过程中的关键分子事件并揭示其时空动态变化规律，对肿瘤早期诊断及疗效评估具有重要意义。

方法：DNA自组装构型是一种稳定纳米结构，核酸序列的可编程性赋予了其独特的结构可设计性及精确可控性。更重要的是，DNA还具备天然的识别功能，当与目标分子结合作用力大于DNA序列间氢键作用力时，DNA的构型会发生明显的翻转变化。我们聚焦原位分子识别的底层技术突破，巧妙应用上述DNA构型的独特性质，实现了高灵敏探针研发的技术突破，并应用于体内疗效评估及体外诊断筛查。

结果：开发了基于DNA构型的多价配体探针设计新方法，实现埃米级控制配体间距，提高探针亲和力数十倍。并据此研发高灵敏的激活型DNA荧光探针，揭示了酶活的动态变化与抗肿瘤疗效的相关性。并基于上述动物及临床样本实验，发现诊断效能优于临床指标的糖基化、甲基化等肿瘤标志物，研发了基于DNA构型的体外诊断试剂盒，正在进行临床转化。

结论：此外，基于DNA纳米构型的分子探针还提供了一个通用平台，可以实现对目标蛋白的高效降解，也为药物发现提供了新思路。通过结合计算预测、DNA自组装和PROTACs技术开发了一种基于DNA框架的DbTACs的创新策略，并通过蛋白质组学技术验证了其在诱导特定蛋白质降解方面的高特异性。当使用不同类型的弹头（小分子、抗体和DNA）时，可实现对靶标的高效降解。该技术有望成为筛选配体候选物的重要平台，为药物研发提供了很有前景的指导策略。

关键字：DNA纳米、分子探针、肿瘤诊断

ID 4162

微波引爆的ROS纳米炸弹通过加剧钙稳态失调及原位捕获肿瘤抗原增强消融/免疫治疗

文烈伟、何佳文
暨南大学珠海临床医学院（珠海市人民医院）

目的：微波消融是肝癌重要的根治性治疗手段，但消融不全导致的高复发转移仍是制约患者远期生存状况的瓶颈问题。研究表明，微波除了可激发介质产生热效应外，还可激发特定组成和结构的介质产生ROS、或调控细胞信号通路等，表现出独特的“非热效应”。开发具有微波响应特性的纳米粒子作为外源性微波吸收介质，并基于其在微波激发下高效产热和ROS（微波动力效应）的物理效应，对提高肝癌原发灶的清除效率、弥补 “过渡区”的消融不足具有重要的临床研究意义。

方法：通过在介孔纳米碳球上原位生长超小纳米金颗粒并装载天然活性成分毛兰素构建了一种具有微波响应性纳米复合物（MCN/Au@En）。通过物理化学表征验证纳米粒子的合成，检测微波辐照下产热及ROS性能。检测微波辐照下纳米粒子对肿瘤细胞内钙离子稳态的干预及氧化水平，并在实验小鼠层面检测纳米粒子的免疫调控与微波消融疗效。

结果：MCN/Au@En表现出良好的微波吸收和热转换效率，并能在远低于临床所用功率的微波辐照下产生ROS。我们

还发现，微波辐照下可加剧肿瘤细胞的钙离子内流，从而诱导细胞氧化应激。另外，MCN/Au@En可捕获抗原并在肿瘤部位留存长达7天，并且其可向肿瘤引流淋巴结迁移，从而长效激活抗原呈递细胞与免疫应答。进一步的免疫功能分析发现治疗组小鼠淋巴结中成熟树突状细胞增多、肿瘤部位调节性T细胞减少，肿瘤免疫抑制微环境得到改善，有效地抑制了消融术后肿瘤的复发转移。

结论：MCN/Au@En通过提高微波热效应提高消融疗效，还基于微波动力效应及微波辐照下共同促进细胞钙离子内流，诱导残余肿瘤细胞的氧化性损伤。另外，MCN/Au@En在消融术后改善肿瘤免疫抑制微环境，并通过在肿瘤部位长驻留及原位捕获抗原，长效激活并维持有效的免疫应答，实现了微波消融-免疫治疗联合增敏，为进一步发展以微波消融为中心的肝癌综合治疗提供了借鉴。

关键字：微波消融；钙离子稳态；抗原捕获；免疫治疗

S09
组织工程与再生医学

ID 81

源自间充质干细胞的细胞外囊泡通过 microRNA-29a 的运输介导骨关节炎中的细胞外基质重塑

杨帆
大连大学附属中山医院

目的：为了探索miR-29a在骨关节炎中的作用，创建miR-29a负载的囊泡，在大鼠模型中进行早期治疗试验。

方法：提取间充质干细胞衍生的细胞外小泡，使用超声处理制备负载miR-29a的工程化囊泡，并使用定量逆转录聚合酶链式反应进行鉴定；建立骨关节炎大鼠模型后，将大鼠随机分为三组：空白对照组注射生理盐水，正常细胞外囊泡组注射正常细胞外囊泡悬浮液，工程化细胞外囊泡组注射工程化细胞外囊泡悬浮液。三组分别进行一般行为学观察分析、影像学评估、大体组织学观察评估、组织学检测和免疫组织化学检测，以比较和评估各种形式的关节炎的进展。

结果：一般行为观察结果显示，正常细胞外囊泡组和工程胞外囊泡组在疼痛、步态、关节活动度和肿胀等四项指标上均优于空白对照组。此外，与正常细胞外囊泡组相比，工程细胞外囊泡组在第4周时有更好的疼痛缓解，在第8周时膝关节活动能力更好。影像学检查结果显示，空白对照组关节炎进展最快，正常细胞外囊泡组进展相对较慢，工程细胞外囊泡组进展最慢。大体组织学观察结果显示，空白对照组有关节炎征象最明显，正常胞外囊泡组有关节炎征象，工程胞外囊泡组无明显关节炎征象。使用Pelletier评分评估，工程细胞外囊泡组的关节炎进展最慢。两种染色结果显示，正常细胞外囊泡组和工程细胞外囊泡组大鼠关节软骨明显优于空白对照组，工程细胞外囊泡组软骨细胞和关节表面条件最好。免疫组化II型胶原和蛋白多糖检测显示，正常胞外囊泡组和工程胞外囊泡组软骨细胞细胞外基质优于空白对照组。与正常细胞外囊泡组相比，工程胞外囊泡组对软骨细胞的细胞外基质有更好的调节作用。

结论：装载miR-29a的工程Exos可发挥抗炎作用，维持细胞外基质的稳定性，从而保护关节软骨，减缓骨性关节炎的进展。

关键字：外泌体、骨关节炎、间充质干细胞、MicroRNA-29a、关节内注射

ID 122

生物打印水凝胶的孔结构调控及其生物医学应用

应国量
四川大学

目的：生物3D打印技术以其快速、精准、个性化等优点，可构建模拟人体组织的细胞负载水凝胶模块，在生物医学

中应用前景广泛。生物墨水打印成型后，相互交联形成密集的网络，往往阻碍了营养物质的传输和代谢产物的交换，并且其网络本身也会在一定程度上直接限制封装在生物材料内细胞的伸展。多孔水凝胶由于其内部存在可作为生物代谢、物质传输、及细胞伸展的大量孔道，而被认为是提高细胞活性以及促进细胞生长和增殖的一种最佳的生物材料。开发可打印的3D生物墨水需要同时满足合适的生物相容性、力学强度、打印可塑性等要求，并且保持多孔结构的稳定性，因此目前仍面临诸多挑战。

方法：课题组制备出一种双水相乳液生物打印墨水，可实现细胞负载多孔水凝胶的直接快速打印成型。该生物墨水是由负载细胞的明胶甲基丙烯酰（GelMA）水溶液和聚环氧乙烷（PEO）水溶液两个不混溶的相组成的双水相乳液。通过降低温度的方法调节该生物墨水的粘度使之适合挤出打印，同时通过光交联GelMA相，实现水凝胶的快速成型。将此水凝胶置于细胞培养液中培养可快速除去PEO相，形成具有连通孔结构的细胞负载水凝胶模块。这项研究为构建细胞负载多孔水凝胶模块，实现人体组织或器官的模拟提供了新的方法。

结果：利用甲基丙烯酰化明胶本身具有的纳米级分子网络结构，结合双水相乳液原理制备出具有微米级别的连续孔结构，并采用3D生物打印技术构筑出宏观孔结构，实现了具有纳米孔-微孔-大孔多级孔结构的水凝胶的3D生物打印。并且证明这种可注射等级孔水凝胶在微创组织再生和细胞治疗方面的应用前景。

结论：具有纳米孔-微孔-大孔等级孔结构的水凝胶，不仅提高了受压及注射前后的形貌保持功能，同时可以在形成水凝胶的过程中直接加载细胞，细胞活性、增殖、伸展和分化性能良好。同时，可以采用3D生物打印的优点使之形状可控性得到极大的提高，可望在组织工程、再生医学和个性化治疗方面得到应用。

关键字：生物打印；水凝胶；双水相；等级孔结构

ID 307

组织工程血管体内功能重塑与增强

曾文、巴召静

陆军军医大学

目的：心脑血管疾病的发病率和死亡率逐年攀升，成为威胁人类健康的第一大杀手。血管移植是治疗血管疾病的有效方法，然而，口径小于4mm的小口径组织工程血管（以下简称小血管）由于早期血栓与中远期内膜增生和钙化等“卡脖子”难题至今尚未走向临床。本研究聚焦病理环境下小血管如何抑制血栓，中远期如何抑制内膜增生和钙化防止血管再狭窄等难题，并提供有效的干预策略。

方法：解析临床药物难溶性血栓中成分，揭示病理环境下血栓形成的关键链条，构建基于超声的诊疗一体策略。关注Gli1+细胞在小血管植入后的时空募集规律，研究在糖尿病等病理情况向成骨分化而导致血管钙化的机制，构建工程化外泌体在体靶向Gli1+细胞并对其进行重编程，抑制血管钙化。进一步拓宽血管与周围组织的交互，将电子化工程血管尺寸缩至微米级别，对局部组织进行有效灌注和治疗，赋予传感监测和辅助诊断功能。

结果：发现病理环境下NET-异肽键-纤维蛋白是血栓难溶的关键靶点，创建程序性溶栓的诊疗一体化平台，其效果是药物溶栓效能的2.58倍。构建的工程化外泌体有效抑制Gli1+细胞向成骨表型分化，其糖尿病下工程血管平滑肌正常重建效率是对照组的8.53倍。将再生缝合线应用于心梗的治疗，通过蓝牙在手机端实时显示心电信号，实现对疾病的跟踪反馈。利用再生缝合线递送一氧化氮前药后，心功能分析比对照组上升50%，超声心动图显示再生缝线治疗组左心室射血分数是对照组2倍。

结论：阐明了血栓难溶性的关键靶点和内皮再生障碍机制，为小血管无创溶栓提供有效策略，推动其临床转化。进一步揭示长期再狭窄的机制，诱导平滑肌和神经重建，有效抑制小口径血管内膜增生和钙化。针对组织工程血管移植后难以实时监测干预的痛点，开发了一种智能缝线，可以监测生理状态和周围组织，精准递送药物和细胞，重建运输通

道，促进组织修复。同时注重转化应用，成功研发一款小口径组织工程血管并获批临床试验，有望为小口径血管重建提供可用产品。

关键字：小口径组织工程血管，溶栓，钙化，神经重建，功能增强

ID 322

用于感染性骨缺损修复的具有高效抗菌和成骨活性的多功能复合水凝胶

陈强龙[1,2]、韩凤选[1,2]、李斌[1,2]

1. 苏州大学附属第一医院骨科

2. 苏州大学骨科研究所

目的：感染性骨缺损是严重的开放性骨折，常发生于四肢骨。因四肢骨相对薄弱的血供，以及暴露于外界的骨缺损微环境，导致反复的感染和骨修复的迁延不愈，因此感染性骨缺损的治疗在临床上仍然是一个非常棘手的问题。感染性骨缺损的修复是一个涉及成骨、抗菌、血管化以及损伤微环境活性氧（ROS）调控等多个方面的复杂过程。为了有效治疗感染性骨缺损，增强缺损处骨再生，我们从骨缺损处反复的细菌感染、薄弱的血供以及ROS异常升高的微环境着手，开发一种能够同时解决上述三个问题的多功能复合水凝胶。

方法：甲基丙烯酰化聚谷氨酸水凝胶和甲基丙烯酸明胶因其优异的生物相容性被广泛应用于组织工程。但其较差的细胞黏附性和不受控制的降解速度限制了他们的应用。硼酸酯键是常见的微环境响应性化学键。本研究先将槲皮素通过简单的水热合成反应制备成槲皮素碳点。接着将苯硼酸接枝到甲基丙烯酰化聚谷氨酸(m-PGA)水凝胶中，并与GelMA按一定比例混合，最后与我们所合成的槲皮素碳点在一定条件下经405nm 波长的蓝光光源照射后，形成具有硼酸酯键的CPG复合水凝胶。

结果：CPG水凝胶可以智能响应骨损伤周围的ROS水平。通过一系体内外实验发现，CPG复合水凝胶在体外表现出良好的抗氧化和血管化、突出的抗菌和促成骨能力。在大鼠感染性股骨髁缺损模型中，复合水凝胶在体内同样展现出出色的杀菌和成骨能力。最后，我们分别通过细胞和金葡菌转录组学测序进一步探索复合水凝胶潜在的促成骨和抗菌机制。

结论：CPG复合水凝胶在体外表现出良好的生物相容性以及优越的抗菌和促成骨能力。在大鼠感染性股骨缺损模型中，复合水凝胶在体内同样展现出出色的杀菌和成骨能力。CPG复合水凝胶在体外及体内展示出其优越的抗菌、抗氧化和成骨的能力，为修复感染性骨缺损开发潜在的碳点基纳米材料提供一种新的思路与参考。

关键字：感染性骨缺损、槲皮素碳点、纳米材料、微环境调控

ID 350

未交联猪胶原蛋白作为人工血管涂层对人工血管新生内膜形成和内皮化的影响

杨超[1]、苏超[2]、魏民新[2]、李鉴墨[1]
1. 康膝生物医疗（深圳）有限公司
2. 香港大学深圳医院心血管医学中心

目的：交联胶原蛋白(后称胶原)涂层的人工血管尽管在临床上有尚可接受的应用效果，但在是否能成功引导人工血管内壁新生内膜和内皮化还没有一致意见。未交联胶原相较交联胶原具有更好的生物相容性，本研究探讨了未交联猪胶原涂层的人工血管体外和体内性能,以及涂层是否能引导新生内膜和内皮化。

方法：用SDS-PAGE凝胶电泳结合影像分析系统对胶原分子量和纯度进行了表征，用圆二色谱表征了胶原的高级结构。制备了含胶原的涂层液，以浸渍涂覆方式对人工血管PET血管基材进行了涂层。SEM证实了涂层封堵了人工血管基材缝隙。评价了人工血管的水渗透性和体外循环时是否渗血。体内性能评价以人工血管置换猪腹主动脉的动物实验形式开展，植入期间以血管造影技术对人工血管的工作状态进行了检查。采用HE、马松三色和范吉森染色的组织学染色方法和vWF抗体染色和α-SMA抗体染色的免疫组织化学对植入5周后的人工血管和组织样本进行了分析。

结果：未交联国产猪胶原具有高纯度和完整的三螺旋结构，分子量和结构与I型牛胶原标准品基本一样，具备生物活性基础。未交联胶原涂层的人工血管水渗透率与主流人工血管产品的性能无显著性差异。肝素抗凝猪血循环测试4h内不漏血，可以保证围术期不漏血。DSA血管造影显示人工血管植入3周后形态保持良好，与两端的天然动脉匹配性良好，未发生狭窄；植入5周后的解剖结果表明人工血管正常工作，内外表面都完整覆盖了一层新生膜，新生内膜厚度合理，没有发生增生。组织学分析表明新生内膜含有新生细胞外基质和细胞成分；免疫组织化学结果的vWF抗原和α-SMA抗体染色显示阳性，证实了新生内膜中内皮细胞和平滑肌细胞的存在，实现了内皮化。

结论：未交联猪胶原具备生物活性，涂层后的人工血管体外性能与商品人工血管无显著性差异，植入大动物体内工作正常，较快产生了新生内膜，并能实现内皮化，未发生内膜增生。

关键字：胶原蛋白；涂层；人工血管；新生内膜；内皮化

ID 357

丁苯酞联合间充质干细胞治疗神经系统疾病临床研究

王焕君
沧州市中心医院

目的：本研究以间充质干细胞经鞘内或经颈动脉注射治疗神经系统疾病—:㈠、迟发性脑病；㈡、脑血管疾病；㈢、脑血管痴呆；㈣、顽固性旋晕；㈤运动神经元疾病；㈥、帕金森氏病，都取得了明显效果，有的可以说是奇效。

方法：以间充质干细胞每次2个单位鞘内或经颈动脉注射，每周一次，每次2（2X107）个单位，4周一个疗程，同时给于静脉输入丁苯肽液100ml，每天2次共2周，治疗前后按以上每种疾病的评分量表评分如迟发性脑治疗前后要进行MMSE、Barthl评分；㈡、脑血管疾病治疗前后Barthl，Nihss，牛津残障OHS评分；㈢、脑血管痴呆治疗前后要进行MMSE、Barthl评分；㈣、顽固性旋晕治疗前后要进行DHI评分。㈤运动神经元疾病治疗前后要进行MMSE、Barthl、OHS评分㈥、帕金森氏病，治疗前后要进行UpdS评分。并经统计学分析处理，于治疗后1个月，3个月，6个月观察疗效。

结果：结果:丁苯酞联合间充质干细胞治疗神经系统疾病疾病：迟发性脑病；脑血管病痴呆；脑血管病：脑梗死；脑出血；顽固性眩晕，运动神经元疾病；帕金森氏病。经每种疾病相关评分量表评分及统计学处理显示治疗疗效显著。另每种疾病治疗前后都有视频证实；（因系统原因治疗前后视频不能上传）。

结论：结论:丁苯酞联合间充质干细胞治疗神经系统疾病疾病：迟发性脑病；脑血管病痴呆；脑血管病：脑梗死；脑出血；顽固性眩晕，运动神经元疾病；帕金森氏病。疗效显著，二者联合应用有明显的相关性，并可减少干细胞的用量，减少治疗费用，无任何毒付作用。其有关论文发表于Sci，中华干细胞与细胞杂志等学刊。

关键字：丁苯酞，间充质干细胞，颈动脉注射， 鞘内注射， 神经系统疾病。

ID 460

生物活性纤维增强水凝胶促肌肉-肌腱接口再生研究

陈佳林[1]、孙裕智[2]、盛仁旺[1]

1. 东南大学

2. 南京医科大学附属南京第一医院

目的：肌肉-肌腱接口(MTJ)损伤无法有效修复，主要是因为所涉及的两种组织性质复杂，各自具有独特的生物结构和机械性能。本研究旨在开发一种新型复合支架来调节病理微环境并影响组织驻留细胞和外源植入干细胞，以有效促进MTJ再生。

方法：本研究通过复合3D打印的PLGA有序支架、可光交联SilMA水凝胶、Klotho重组蛋白和外源MSCs，构建了一种新型生物活性纤维增强水凝胶。首先评估了该水凝胶系统的理化性质和细胞相容性。随后，将其植入大鼠MTJ缺损模型中，以评估其原位促进MTJ结构和功能再生的功效。进一步通过蛋白质组学分析和细胞学实验，解析该水凝胶系统如何调控多种组织驻留细胞和外源植入MSCs从而促进MTJ再生的内在机制。

结果：大鼠MTJ修复后的组织学和免疫组化结果发现，该生物活性纤维增强水凝胶显著促进MTJ再生修复。蛋白质组学分析表明，其功效可归因于强大的抗氧化和抗炎特性。进一步的体外研究证实，Klotho蛋白的加入使该水凝胶系统具有显著的降低氧化应激的能力，从而维持了肌腱干/祖细胞 (TSPCs) 和成肌细胞在病理微环境下的细胞表型，并提高了植入MSCs的存活率。此外，该水凝胶系统表现出强大的抗炎特性，可通过抑制NIK/NF-κB信号通路驱动巨噬细胞从促炎状态极化为再生表型。

结论：这种新型生物活性纤维增强水凝胶可通过有效清除氧化应激、诱导巨噬细胞转变为再生表型以及增强干细胞疗法的潜力来促进MTJ再生，为MTJ损伤的治疗提供了全新的解决思路。

关键字：MTJ；水凝胶；病理微环境；组织工程；再生

ID 797

仿生自组装多肽凝胶对间充质干细胞的成骨重编程

刘文佳、何旺晓

西安交通大学第二附属医院

目的：本课题拟开发一种高生物相容性的可注射自组装多肽水凝胶用于拔牙窝填充止血，同时促进拔牙窝骨组织修复再生。开发一种适用于不规则创口，既能快速止血，又能促进骨再生的高生物相容性且具有力学可塑性的可注射自组

装多肽水凝胶。

方法：1）多肽设计与合成：利用半自动多肽合成仪通过从头合成的方法合成L型多肽，经0.1mg/ml CaCl2溶解后，即可自组装形成水凝胶；2）动物实验：正常6-8周雌性SD大鼠经1%戊巴比妥钠麻醉后，取仰卧位，拔除上颌右侧切牙。拔牙后大鼠随机分为明胶海绵止血组（填充50mm3明胶海绵）和水凝胶止血组（注射50 μL 的多肽水凝（30mg/mL）），每组6只，记录出血时间。1周后，取大鼠上颌骨进行micro CT扫描和组织学染色。取全血进行血常规检测，分离血清进行血生化以及炎症因子检测。3）细胞实验：分离培养大鼠BMMSCs，与自组装水凝胶共培养7天及21天后，进行Alp及茜素红染色。

结果：1）TEM表明水凝胶能自组装形成交叉网状结构，SEM显示自组装水凝胶具有疏松多孔的微观结构；2）水凝胶组的止血时间（176.83±30.93s）低于明胶组（274±31.8s）；3）水凝胶组BMD（17.95±1.29）和新生骨体积比（0.060±0.007）显著高于明胶组（BMD =10.35±1.39，新生骨体积比=0.034±0.06）；4）免疫荧光结果表明水凝胶组Alp（3.68±0.50）、Runx2（3.57±0.14）表达量显著高于明胶组（Alp 0.81±0.14，Runx2 1.08±0.12）；5）TNF-α，IL-1β ELISA、血常规及血生化结果表明多肽水凝胶无明显生物毒性；6) ALP和茜素红染色结果表明自组装水凝胶能够促进BMMSCs成骨分化。

结论：可注射自组织装水凝胶的多孔结构能够迅速凝集血液达到止血效果，同时促进MSC成骨分化，是一种安全有效的新型止血材料。

关键字：自组装水凝胶；拔牙窝；止血；新生骨；力学性能

ID 1048

功能化壳聚糖水凝胶促进类风湿关节炎软骨修复与再生

张维东[1]、李斌[2]

1. 南通大学附属医院
2. 苏州大学骨科研究所

目的：类风湿性关节炎（RA）是一种以滑膜增生和慢性炎症为特征的慢性全身自身免疫性疾病。RA的主要症状是炎症、关节肿胀、伴随关节软骨的不可逆性损伤，甚至功能障碍。传统的抗风湿药物副作用较为明显，并且持续频繁的药物治疗不仅会造成严重的肝脏负担，还存在严重的毒副作用及药物耐受性。药物缓释体系可提供长期有效的治疗效果，通过减少给药次数，降低药物毒副作用。为此我们设计了一种可注射具有基质金属蛋白酶（MMP）响应性的黏附性功能化壳聚糖水凝胶缓释体系，特异性地控制钙离子（Ca2+）含量，降低炎症水平，时序性募集干细胞，有效促进RA的软骨再生。

方法：采用实时荧光定量分析（qRT-PCR）、流式细胞分析、蛋白免疫印迹（Western Blot）、转录组测序、荧光探针、细胞免疫荧光等研究评估复合水凝胶控制炎症、耦合游离钙、促进软骨再生的效果。体内实验中，采用伊红染色、番红固绿、组织免疫染色等方式评估复合水凝胶控制类风湿性关节炎模式大鼠(CIA)踝关节内的炎症水平、促进软骨再生的效果。

结果：流式细胞分析及荧光探针等检测结果提示，复合水凝胶可有效降低细胞内ROS水平，降低钙离子含量。细胞免疫染色结果表明复合水凝胶促进巨噬细胞由M1型（促炎）向M2型（抗炎）极化。体内实验结果表明该复合水凝胶可抑制CIA大鼠的踝关节内炎性滑膜增生，降低组织内的炎症表达，有效恢复软骨结构。

结论：本研究设计的功能化壳聚糖水凝胶可下调炎症、长效清除ROS协同维持炎症微环境平衡促进纤维环再生；通过时序性干细胞募集，诱导细胞外基质分泌；通过化学共价结合，促进新旧组织有效整合。本研究对阐明调控炎症微环境、促进RA的软骨再生具有重要意义，为RA的治疗提供理论基础和新思路。

关键字：类风湿关节炎；壳聚糖水凝胶；炎症与氧化应激；软骨再生

ID 1083

基质囊泡免疫调控铁代谢促进深部组织压力性损伤愈合

张菊、李启龙、黄平升、冯祖建、王伟伟
中国医学科学院生物医学工程研究所

目的：深部组织压力性损伤（DTPI）是临床最常见的慢性难愈合创面，损伤进展迅速。申请人前期发现巨噬细胞铁代谢紊乱与DTPI进展密切相关，而基质结合囊泡（MBVs）可免疫调控巨噬细胞，发挥血运重建的效果。此外，MBVs免疫调控铁代谢改善组织修复的作用机制尚不清楚。本研究中，我们拟阐明MBVs改善DTPI创面愈合的免疫调控作用机制。

方法：首先，我们提取并鉴定MBVs的生物活性，通过透射电子显微镜负染技术、颗粒纳米跟踪仪以及miRNA高通量测序分析MBVs的形貌、粒径和浓度和miRNA表达谱；此外，利用枸橼酸铁胺构建小鼠骨髓来源巨噬细胞铁死亡模型，通过流式细胞仪、普鲁士蓝染色和活性氧检测分析巨噬细胞极性、铁离子水平以及ROS释放量；同时选用脐静脉内皮细胞检测MBVs的血管再生功能；另外，构建小鼠DTPI模型在肌肉损伤部位注射MBVs或生理盐水，分别于注射后3天和14天收集组织分析病理学变化和局部血运情况。利用qRT-PCR和Western blot方法验证铁代谢信号通路基因和蛋白质的表达量；

结果：MBVs可促进M0向M2型巨噬细胞极化，有效抑制细胞中铁离子水平和ROS的释放，促进HUVEC成管和迁移，促进血管新生和骨骼肌修复。

结论：MBVs通过抑制巨噬细胞铁超载促进DTPI愈合，为临床治疗难愈合创面提供了科学依据，为揭示DTPI进展迅速的病理机制以及开发新的治疗策略提供依据。

关键字：深部组织压力性损伤；创面愈合；铁超载；巨噬细胞；MBVs；

ID 1160

高压氧通过激活Prrx1+骨骼干细胞中的力学敏感蛋白Piezo1促进骨修复

周航[1]、刘宏栋[1]、周晶晶[1]、杨雪[2]、付桂兵[2]、刘超[1]
1. 南方科技大学
2. 深圳市儿童医院

目的：骨缺损极大降低生活质量，增加患者死亡风险。高压氧（HBO）治疗提供高压和纯氧以促进损伤修复。本研究旨在阐明HBO对骨再生的影响和生物机制，填补研究空白。HBO可能通过氧和机械敏感机制实现其作用。因Piezo1既是力学敏感蛋白，又会受到膜氧化影响，我们推测HBO激活骨骼干细胞中Piezo1以促进骨再生。我们还比较了HBO和机械载荷激活Piezo1对骨修复影响的差异。

方法：对12周龄野生型和Prrx1-Cre；Piezo1fl/+的雌性小鼠进行手术，在胫骨制造穿透单面皮质骨的直径1mm的圆形缺损。术后第1天起每天施加HBO治疗，即压强为2.4个大气压的纯氧，持续90分钟。术后5到8天每天对胫骨施加机械负荷，即峰值为6N，频率为2 Hz，持续120循环的正弦波轴向压力。术后第10天安乐死小鼠并收集胫骨。使用μCT评估骨缺损内新生骨体积和形态学参数。使用深层免疫荧光成像评估骨缺损内Prrx1蛋白和H型血管体积，以及骨骼干细胞与H型血管的空间相关性。使用qPCR评估骨缺损内骨骼干细胞的mRNA中力学敏感和成骨相关基因的表达。

结果：μCT结果显示与对照组相比，HBO提高了野生型小鼠骨缺损中新生骨体积和骨形态学参数。HBO和机械负荷的组合对骨再生具有中度协同作用。免疫荧光结果表明，HBO显著提高了骨缺损内Prrx1蛋白及H型血管的体积，并减少骨

骼干细胞与H型血管的距离，促进成血管-成骨偶联。通过qPCR，我们发现HBO显著增加了力学敏感蛋白Piezo1及YAP的表达，并提高了成骨相关基因Runx2与Col1的表达。然而，在Prrx1-Cre；Piezo1fl/+小鼠模型中，无论是HBO治疗还是机械负荷，与对照组相比，骨再生、血管以及成骨基因的表达均未显示显著提升。

结论：HBO通过激活Prrx1+骨骼干细胞中的Piezo1增强骨缺损修复与成血管-成骨偶联。本研究为HBO在骨缺损修复的临床应用提供了科学依据。

关键字：高压氧、骨骼干细胞、Piezo1、骨再生、成血管-成骨偶联

ID 1814

骨科植入材料表界面调控

王怀雨

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：骨骼是人体至关重要的结构支撑系统。近年来，由于物理损伤和自体疾病造成的骨缺损病例逐年增多，造成病人身心痛苦的同时也给社会带来了巨大的经济负担。一般认为，骨缺损尤其是大段骨缺损需通过医学手段进行治疗，在此过程中骨科植入材料的使用必不可少。然而，随着现代社会发展和人民生活水平的不断提高，医用钛合金等传统的骨科植入材料愈发难以满足骨缺损患者对术后生活质量的高要求。因此，市场亟需发展出一种更为理想的人工骨科植入材料以同时实现缺损骨组织的结构修复与功能重建。

人工骨科植入材料研究要以骨组织的结构与功能及其修复的动态过程为范本，从材料的物理、化学、生物等多方面性质进行考究。目前临床上广泛使用的是金属基(钛及钛合金、钴铬合金等)骨科植入物，主要基于其强度高、耐腐蚀、对人体无明显毒副作用等优点。但无论是哪种材质的金属基骨科植入物，其力学强度和弹性模量远高于人体骨骼的问题不容忽视：金属假体在人体内服役的过程中会对毗邻骨组织产生应力屏蔽效应(Stress shielding effect)，这一效应的长期累积将导致毗邻骨组织萎缩，进而增加植入物因骨整合效果不佳而发生无菌性松动的风险。近年来，医用高分子材料聚醚醚酮(Poly-ether-ether-ketone，简称PEEK)的兴起为骨科植入材料的研究者们提供了新的研究方向

方法：基于上述研究背景，本项目拟在前期的研究基础之上进一步优化PEEK植入材料的表界面功能构建策略，使其能够通过“抗感染-免疫调控-促成血管/成骨”的时序调控作用来匹配骨科材料植入后的动态功能需求，从根本上解决糖尿病体征下PEEK植入材料骨整合效果不佳的难题。

关键字：骨科植入材料；表面改性；抗感染；促成骨；免疫调控

ID 1818

工程化心肌组织重塑机制及材料生物学研究

周瑾

军事科学院军事医学研究院

目的：缺血性心脏疾病是全球主要的死因之一，临床发病率高。组织工程技术有望从根本上实现心脏再生修复，但因生物材料仿生设计制造水平不足，心肌仿生构筑原理不清等问题，现有治疗效果仍十分有限。

方法：基于此，本团队开展了系列基于干细胞、纳米生物材料的心肌组织体外构建与心梗治疗修复研究，并结合高通量蛋白质组学以及单细胞测序技术，系统阐明了工程化心肌组织重塑及材料调控心肌细胞发育的生物学基本原理。

结果：研究团队构建了系列基于天然细胞外基质材料的仿生心肌组织与类器官，并利用全器官脱细胞-再细胞化技术将薄片心肌组织构建发展到全器官水平，实现了工程化心肌组织构建跨越式发展。此外，深入探索了工程化心肌组织重塑机制，发现“心肌细胞去分化-再分化重构”是心肌组织体外发育与再生的关键；揭示了工程化心肌组织中只有心肌细胞在粘着连接与桥粒引导下的缝隙连接在闰盘结构中有序组装后，才能发挥闰盘正常的电化学传导与耦联作用的闰盘自组装时空发育规律；明确了心脏特异性细胞外基质通过Integrin介导的细胞-ECM相互作用，激活细胞内Wnt /β-catenin途径诱导神经干细胞向心肌转分化的机制。在此基础上，进一步开展的基于导电纳米材料的工程化心肌组织仿生构建研究工作，成功构建了系列基于碳基、导电聚合物、离子导电等新型导电材料的心肌补片，并重点阐明了碳纳米管通过β1-integrin介导的信号通路促进心肌发育与闰盘三维组装的规律与分子机制以及揭示了碳纳米管通过下调心肌miR-135a增强NCX1及心肌收缩关键蛋白的表达，促进心肌收缩与发育成熟的新机制。

结论：相关研究成果显著提升了工程化心肌组织的心梗治疗效果

关键字：工程化心肌组织；导电纳米材料；材料生物学；心梗治疗；

ID 2029

基于透明质酸的新型骨再生修复材料的研发

张勇杰、石莉、徐宝艳

陕西佰傲再生医学有限公司

目的： 随着人工骨修复材料的大量临床应用，在解决骨缺损修复的同时也存在着以下问题：（1）缺乏骨引导/诱导性，成骨活性不足；（2）操作不便，塑型困难；（3）作用单一，难以满足临床骨缺损部位止血、成骨的一体化需求。本项目组设计开发了一款新型骨再生修复材料，将去蛋白生物骨与透明质酸钠复合形成国内首款复合透明质酸的骨修复再生材料，具有引导、富集骨髓干细胞、可实现与天然骨的高效整合。

方法： 将牛股骨松质骨经脱脂、去蛋白后制备而成生物骨颗粒，进一步将生物骨颗粒与透明质酸钠复合而成复合透明质酸的骨修复再生材料。开展了脱细胞工艺质量研究、理化性能研究和生物相容性、动物有效性、稳定性研究等研究。最终通过修复颌骨缺损的临床试验评价其安全性和有效性。

结果： 复合透明质酸的骨修复再生材料（1）接近天然骨成分和三维结构，具有合适的孔径与孔隙率利于骨细胞、营养物质交换、为细胞生长提供足够空间；（2）具有足够的机械强度，承受周围组织的负荷，为骨再生提供支架；（3）具有极低的免疫原性，植入体内生物相容性好；（4）降解与天然骨再生速率相匹配，保持与成骨重塑相匹配的降解速率，引导新骨再生的同时被新生骨组织替代整合。（5）临床试验证明本产品具有良好的引导骨再生的作用，可有效修复重建颌骨的缺损。

结论：复合透明质酸的骨修复再生材料具有优异的生物可降解性，解决了现有产品降解时间长的缺陷。生物大分子与去蛋白生物骨颗粒的有机结合改善了传统单纯骨颗粒在临床使用中难以操作的问题，提高了临床使用的便利性。

关键字：组织工程；再生医学；骨再生，透明质酸钠；生物骨

ID 2252

复杂类器官构建及其疾病应用

冷泠
北京协和医院

目的：疑难罕见性疾病因患者基数小、用药难，且发病原因不明确，极大地阻碍了基础研究和临床诊疗。多种人类多能干细胞（hESC/hiPSC）衍生的类器官已被用来建立体外感染模型来研究病毒和宿主的相互作用机制来进行有效的药物筛选；或者模拟因基因突变而导致的临床疑难重症与罕见病致病机制的研究。但是，迄今为止，应用皮肤类器官来研究或解析临床疾病的研究仍然很少。本研究旨在构建近似生理环境和功能的类器官模型，用于机体损伤修复、器官替代和药物筛选。

方法：本研究利用iPSC分化体系，创建了一种具有表皮、真皮和皮下组织完整细胞极性的皮肤类器官，并富含毛囊和皮脂腺等附属器及不同神经细胞类型的神经系统。其中，毛囊系统包含了角质、内根鞘、皮层、真皮鞘、玻璃膜、髓质、外根鞘、毛球、毛干、立毛肌、赫氏层、亨氏层、黑素细胞等完整结构。我们利用该类器官进行新冠病毒的体外感染，发现新冠病毒能够感染皮肤毛囊干细胞和神经系统，从而导致毛发脱落和神经元死亡，首次为新冠肺炎和脱发后遗症之间的关联提供了证据。接着，我们利用皮肤类器官对皮肤难愈性伤口进行治疗，快速实现了难愈性伤口表皮附属器和血管的新生。

结果：我们通过构建出生缺陷的罕见病皮肤类器官结合多组学技术（蛋白质组学和单细胞测序），从细胞内、外环境研究该疾病在生理和病理发育过程中的细胞和蛋白层级的致病机制。

结论：类器官对难愈性损伤修复的组织再生、器官替代中都具有广阔的前景，为临床疑难罕见疾病的发病机制和药物筛选提供新的有效研究手段。

关键字：类器官，难愈性伤口，多组学，组织替代，药物筛选

ID 2281

蚕丝材料与再生修复

张薇
东南大学

目的：因创伤、疾病和衰老造成的组织器官缺损或功能障碍是人类健康面临的主要危害。随着人口老龄化加剧，组织器官修复重建需求愈加庞大，单纯依靠传统器官移植治疗模式难以解决。再生医学是克服组织器官移植供体短缺的有效手段，有助于实现国家中长期科技发展战略部署并满足人民健康需求。

方法：蚕丝是美国FDA认证的生物医用原材料，其产量大、生物相容性好、可加工性强，在再生医学领域受到广泛关注，被誉为最具转化潜力的新一代人体可吸收生物材料。尽管全球蚕丝医用材料领域发展迅速，但其临床应用仍面临重要挑战：蚕丝材料和机体相互作用知识有限、再生能力强化尚需开拓、临床转化路径和案例缺乏。中国作为最早培育蚕丝并拥有悠久蚕丝文化的国家，但在蚕丝医用化和医疗器械产业方面未充分发挥中国特色材料的优势，亟待进一步发展。

结果：针对以上挑战，课题组十余年来围绕“蚕丝材料与再生修复”方向，开展“基础-应用-转化”成体系研究：1) 原创性解析蚕丝蛋白调控干细胞功能和组织再生的效应和机制，获得蚕丝生物学基础理论新知识，指导未来蚕丝医用材料的设计应用；2) 以组织器官修复重建的重大科学问题和临床挑战为导向，研发化学/物理诱导活性蚕丝材料制备技术，

有望实现临床移植供体的有效替代；3) 完成多中心随机对照临床试验，获批中国首个蚕丝第三类医疗器械注册证和欧盟CE证书，为患者提供更优的新治疗选择。

结论：围绕蚕丝材料开展“基础-应用-转化”系统性研究，开发具有临床转化前景的新型蚕丝医用材料，促进临床常见损伤组织再生修复，有望缓解临床供体长期短缺的挑战。这将有助于提升我国医疗领域创新能力，满足人民不断增长的对组织器官替代产品的需求，对实现健康中国目标具有重要的战略意义。

关键字：蚕丝，生物材料，再生修复，临床转化

ID 2331

短肽水凝胶支架负载调节性免疫细胞用于周围神经损伤修复

接晶[1,2]、姚筱敏[1]、杨宇民[1]、杨鹏翔[1]

1. 南通大学

2. 南通大学第二附属医院

目的：成功的周围神经再生经历残端的瓦勒变性、组织清理和重塑，这些过程均存在免疫系统的参与。周围神经再生微环境存在的免疫反应加剧、血管化不足、缺乏生物和化学线索等因素，阻碍了周围神经损伤修复效果。调节性免疫细胞具有调控免疫反应和促进组织再生的作用，在组织再生、同种异体移植周围神经、神经性疼痛等方面显示出巨大潜力。短肽具有良好的生物相容性，作为可调节性质的材料，在力学性能和降解性等方面可以通过改变氨基酸的序列实现调节。自组装短肽序列形成稳定的三维网状结构，为细胞的存活提供适宜的环境和物质基础。利用短肽水凝胶作为调节性免疫细胞存活和表型维持的载体，探究调节性免疫细胞调控微环境反应，提高周围神经损伤后修复效果。

方法：提取小鼠脾脏的Treg细胞；利用流式细胞仪、qPCR、免疫荧光染色等方法对Treg细胞鉴定。制备纳米短肽凝胶，使用透射电镜、圆二光色谱进行材料表征。不同比例的Treg细胞与巨噬细胞共培养后，通过流式细胞检测巨噬细胞M1/M2表型基因变化；将短肽凝胶负载Treg细胞注入壳聚糖导管构建神经移植物，构建小鼠坐骨神经长距离缺损模型，将神经移植物植入坐骨神经缺损部位，缝合近远端伤口。对术后4周和8周的小鼠进行小鼠神经功能恢复评价。

结果：圆二光色谱和透射电镜显示，短肽呈现β折叠的纤维结构。成功从小鼠脾脏中分离Treg细胞。短肽水凝胶负载调节性免疫细胞及衍生物治疗组M2巨噬细胞表达上调，M1显著下调；短肽凝胶负载调节性免疫细胞及衍生物组运动及感觉功能恢复评价指标均优于其他组别。

结论：调节性免疫细胞及衍生物在调控再生微环境免疫反应，减轻炎症、促进组织血管化、神经损伤修复方面具有优势。

关键字：Treg细胞；短肽凝胶；免疫微环境；周围神经；组织工程

ID 2387

脂肪组织的再生与构建

范军

中国医科大学智能医学学院组织工程学教研室

目的：手术切除、外伤或先天性缺陷引起的软组织缺损，是临床整形外科面临的难题。目前采用自体组织移植和填

充假体或生物材料的治疗方法均存在局限性。脂肪组织工程为软组织缺损的修复重建提供了有效的治疗方法。课题团队围绕脂肪干细胞、生物材料和组织构建策略开展探索研究，综合考虑多个因素进行组织工程脂肪再生与构建。

方法：我们通过探讨抗衰老基因、非编码RNA和中药单体等调控脂肪干细胞（ASCs）的增殖及分化作用，从细胞发育角度阐释ASCs成脂分化机制，应用基因修饰的成体干细胞（衍生囊泡）促进脂肪干细胞成脂肪分化，修复重建脂肪；探索脂肪脱细胞外基质材料（DAT）及复合生物材料的改性和构建策略，应用3D打印、静电纺丝、材料表面修饰等技术，进行生物材料的制备与加工，从促脂肪生成、血管生成、细胞浸润以及力学特性和延缓降解等关键问题出发，仿生构建脂肪微环境；采用生物材料或联合干细胞、生物因子、药物等制备脂肪组织构建物，在鼠和兔等动物体内再生修复脂肪组织，综合评估后，进行相应的应用和转化。

结果：证实抗衰老基因Klotho、关键miRNA和circRNA等信号分子（药物）参与调控ASCs增殖和成脂肪分化过程，体内可有效调控ASCs增殖分化促进脂肪组织再生；基于具有成脂诱导活性的DAT制备了复合生物材料，在满足填充需求基础上构建了有成脂活性且保留率高的脂肪组织移植物，能够促进脂肪组织再生与构建，部分相关成果进行转化。

结论：本研究通过明确ASCs增殖分化机制和构建脂肪组织工程生物支架材料，为临床应用干细胞和生物材料修复治疗脂肪等软组织损伤和皮下软组织填充提供解决方案和参考。

关键字：脂肪组织工程；生物材料；干细胞；成脂分化；血管化

ID 2694

超动态结构水凝胶调控三维培养干细胞力学感知促进组织修复

边黎明

华南理工大学

目的：具有异质结构的天然细胞外基质提供了稳定和动态的生物物理框架和生化信号来指导细胞行为。 开发一种模拟具有宏观稳定性和微观动力学的异质纤维结构并包含感应生化信号的合成基质具有挑战性但迫切需要。具有异质结构的天然细胞外基质提供了稳定和动态的生物物理框架和生化信号来指导细胞行为。 开发一种模拟具有宏观稳定性和微观动力学的异质纤维结构并包含感应生化信号的合成基质具有挑战性但迫切需要。

方法：在此，我们介绍了一种肽纤维增强水凝胶，其中坚硬的 ß-片层纤维充当多价交联剂以增强水凝胶的宏观稳定性。 肽纤维和 水凝胶网络之间的动态亚胺交联赋予水凝胶微观动态网络。

结果：获得的纤维状纳米复合水凝胶及其细胞适应性动态网络增强了细胞-基质和细胞-细胞相互作用，因此显着促进了封装干细胞的机械转导、代谢能量学和成骨分化。 此外，水凝胶可以共同递送纤维附着的诱导药物，以进一步增强成骨和骨再生。 我们相信，我们的工作为设计用于治疗应用的细胞适应性和生物活性生物材料提供了有价值的指导。

结论：这项工作证明了超分子水凝胶中物理交联是决定细胞-水凝胶相互作用和3D细胞行为的控制因素之一。我们的实验结果表明，水凝胶中具有大解离动力学常数的主客体交联，通过细胞力介导的网络重组促进有效的细胞铺展和机械力传导。此外，细胞粘附多肽序列与通过高动态的交联的水凝胶网络的稳定的化学结合对于3D水凝胶中干细胞的代谢活动及机械感应依赖性分化至关重要。综上所示，新型超动态水凝胶在再生医学领域是一种颇具潜力的支架材料，为研究细胞对其3D微环境中的动态生物物理信号的响应提供可调节的平台。

关键字：水凝胶，干细胞，力学感知

ID 2696

去铁铁蛋白纳米笼搭载SM04690治疗骨关节炎应用研究

张小磊
温州医科大学附属第二医院

目的：骨关节炎(Osteoarthritis， OA)影响全球15%以上的人口。然而，目前针对OA仅仅只有缓解症状的方法，尚缺乏针对其病因的有效治疗策略。本研究拟开发OA治疗的靶向药物及其输送体系。

方法：1.通过western和PCR检测ECM调控蛋白（Collagen II, Aggrecan, MMP13, ADAMTS5等），对比了小分子药物SM04690与经典促软骨再生药物KGN对软骨细胞ECM代谢的调控作用；2.构建去铁铁蛋白纳米笼搭载SM04690材料（SM04690@ApoFn），通过粒度仪、液相色谱等对材料及其药物缓释效果进行表征；3.通过细胞活力检测以及对材料进行FITC标记，检测材料的体外相容性及体内分布；4.通过ECM蛋白检测，评估材料对软骨细胞ECM代谢的调控作用；5.通过铁死亡相关蛋白表达、铁探针等方法，评估材料对软骨细胞铁死亡的调控作用；6.通过免疫荧光等方法，评估材料对炎症软骨细胞的靶向作用；7.通过构建DMM小鼠OA模型，检测SM04690@ApoFn对小鼠OA疾病的治疗效果。

结果：1.SM04690具有比KGN更高效的促软骨再生效果；2.去铁铁蛋白纳米笼可有效搭载、缓释SM04690；3.SM04690@ApoFn具有良好的生物相容性和较长的关节腔存留时间；4. SM04690@ApoFn可有效促进软骨细胞ECM代谢；5.SM04690@ApoFn可有效抑制软骨细胞铁死亡；6. SM04690@ApoFn可特异性靶向炎症软骨细胞；7.SM04690@ApoFn可在OA小鼠中有效延缓OA疾病进展。

结论：SM04690@ApoFn新型材料科有效促进软骨细胞ECM代谢、抑制铁死亡，并且可靶向炎症软骨细胞，是一种潜在的多功能OA治疗材料。

关键字：骨关节炎，SM04690，纳米笼

ID 2760

干细胞治疗口腔溃疡的新策略

罗丽花
温州医科大学附属口腔医院

目的：口腔溃疡是一种常见的口腔黏膜慢性炎症性疾病，具有患病率高、易复发等特点，可致剧烈疼痛，并引起咀嚼、进食和说话困难等症状，目前尚无完全根治的有效方法。随着干细胞技术发展，基于干细胞的无细胞疗法已经成为传统口腔溃疡治疗的替代方案。因此，本项目拟通过粘性水凝胶携载乳牙牙髓干细胞裂解液治疗口腔溃疡并探讨其相关作用机制，有望为临床上治疗口腔溃疡提供新的治疗策略及作用靶点，并进一步推进干细胞治疗口腔溃疡的临床转化研究。

方法：首先，通过纤维蛋白原、多巴胺修饰的明胶和凝血酶原为原料，构建半互穿网络粘性水凝胶；然后，利用该水凝胶携载乳牙牙髓干细胞来源裂解液构建活性复合体；最后，通过该活性复合体治疗大鼠口腔溃疡并评价其治疗效果。其中，主要通过SEM、力学性能、体外释放、降解实验等检测评价其理化性能；通过CCK-8和活死细胞双染检测评价其生物学性能；通过与Raw264.7和HUVEC细胞共培养分别评价其炎症调控和成血管功能；通过溃疡面观察、大鼠擦嘴以及组织学和PCR、WB等检测综合评价其治疗效果。

结果：纤维蛋白/凝血酶原水凝胶具有明显的多孔网络状结构，具有良好的粘弹性、降解性和生物相容性，同时对乳牙牙髓干细胞裂解液具有明显缓控释作用。另外，携载有干细胞裂解液的水凝胶材料在体内外均能够明显抑制M1型巨噬细胞表面标志物的表达，并促进M2型巨噬细胞表面标志物的表达，具有明显调控巨噬细胞极化作用；同时能够明显促进血管形成，并促进上皮细胞的增殖，从而促进口腔溃疡的愈合。

结论：在本研究中，我们提取了人乳牙牙髓干细胞，并通过反复冻融方法制备细胞裂解液，最后通过纤维蛋白/凝血酶原水凝胶携载干细胞裂解液，局部应用于口腔溃疡治疗。结果表明，携载干细胞裂解液的纤维蛋白/凝血酶原水凝胶不仅避免了药物的稀释和降解，同时显著促进了大鼠溃疡面的愈合，且在溃疡愈合的各个阶段，分别起到了抑制炎症、促进上皮细胞增殖以及促进新生血管生成等作用。

关键字：乳牙牙髓干细胞、裂解液、纤维蛋白原、凝血酶原、水凝胶

ID 2847

基于逆向结构设计的用于生物软组织再生的柔性网状支架

曹舜泽

四川大学

目的：由于外伤或者病变引起的软组织损伤会导致人体运动功能障碍，严重影响患者健康和生活质量。软组织的大段缺损在没有手术干预的情况下难以完全修复，且移植治疗的供体有限，并会出现排异反应、以及尺寸不匹配等问题。生物组织支架虽为软组织修复提供了替代治疗方案，但由于支架与再生软组织之间的力学不匹配导致的再生效果不佳甚至修复失效一直以来是阻碍其临床应用的重要问题。

方法：基于以上重要问题，课题组将前期研制的仿生软质网状材料作为支架基本结构，采用软质网状材料的逆向设计方法，结合光刻与静电纺丝制备技术，开发出了能够精准复刻不同生物软组织非线性力学响应的柔性网状支架为用于坐骨神经修复的支架样品。

结果：通过对大鼠坐骨神经与肌腱损伤模型的修复结果显示，由曲梁微结构构成的柔性网状支架有效避免了坐骨神经再生过程中由于力学不匹配导致的支架褶皱、坍塌、脱线等造成修复失效的问题。在神经轴突的再生方面，相比于纺丝神经导管，在柔性网状支架中再生的神经轴突质量更高，数量更多。大鼠肌腱损伤模型显示，纺丝导管支架与肌腱间的应力遮蔽阻碍了胶原蛋白纤维的改键以及取向性再生，而柔性网状支架能够很好地将外界力学刺激传递至细胞，促进胶原蛋白纤维的改键与取向性再生。在运动能力恢复能力方面，大鼠在植入网状支架后能够在短时间内恢复运动功能，且运动功能在中后期逐渐恢复并接近于健康状态。

结论：该工作以研究论文的形式在Science Advances以Inversely engineered biomimetic flexible network scaffolds for soft tissue regeneration为题发表，并被Science Advances评选为2023年第39期的特色论文（Featured article），同时受到Science网站的报道。

关键字：柔性网状支架；软组织缺损再生；组织支架工程

ID 2866

可注射型具多级结构生物活性水凝胶实现三重药物异步释放用于帕金森病治疗

徐俊鹏、王周光
温州医科大学

目的：帕金森病（Parkinson’s disease）是最常见的长期神经退行性疾病之一，并发多种精神和行为异常。作为神经内科疾病，帕金森病具有复杂的疾病机制以及目前不可治愈的特性。目前的临床治疗药物均具有治疗的单一性，所以针对不同症状的临床药物与智能水凝胶相结合以实现异步释放具有很高的转化性和挑战性。在此，我们根据帕金森病的病理，设计了一种具有异步释放功能的具多级结构生物活性水凝胶，更好的符合复杂性神经退行性疾病治疗的流程。

方法：本研究使用胶束纳米交联剂交联了咖啡酸接枝两嵌段聚合物主链的水凝胶，该水凝胶具有足够的模量、抗氧化活性、可注射性和形状适应性。三种药物（咖啡酸、FGF21和依达拉奉）分别掺入水凝胶的不同微结构或纳米结构中，并以一阶释放、零阶释放或与Korsmeyer-Peppas模型相匹配的非同步动力学进行释放。利用帕金森病大鼠模型进行原位注射的方式进行给药，并且仅施以极小剂量给药治疗。

结果：在体外实验中，三重负载水凝胶可以明显促进神经干细胞向神经元方向分化。而后，将三重负载的水凝胶注射到帕金森病大鼠的大脑中，结果显示大鼠的行为得到了显著改善。组织学分析表明，三重负载的水凝胶能有效实现即时神经保护，即减少黑质和纹状体中酪氨酸羟化酶的损失（与对照组相比保留了约 10倍），降低星形胶质细胞和小胶质细胞的活化，同时还体现出刺激 AMPK/PGC-1α 轴以调节线粒体功能。

结论：本研究提供了一种多维度、多阶段的帕金森病治疗方法，从三重途径对患处进行组织学调节。三重负载水凝胶的异步释放为帕金森病和其他神经退行性疾病的治疗提供了新的概念。

关键字：帕金森病; 生物活性水凝胶；FGF21；异步释放；三药物递送系统

ID 2901

促肌肉再生材料研究

朱美峰
南开大学

目的：战创伤、肿瘤切除和交通事故等造成大体积肌肉缺损易导致瘢痕形成，受损肌肉组织形态和功能重建一直是临床外科和基础研究的难题。针对“肌肉促再生材料适配性”关键科学问题，依据组织再生生物学规律，研发以脱细胞基质为主的材料构建新方法和新技术，精确调控材料结构和活性，引导内源性细胞快速迁移，增强组织再生潜能，从而实现肌肉组织功能再生与整合。

方法：主要方法如下：1）采用PLA纤维模板沥滤技术，冷冻干燥技术和烷基化修饰技术相结合构建了具有可控孔道结构的止血海绵材料；2）通过微流控技术、模板沥滤技术结合温敏水凝胶技术制备了脱细胞基质水凝胶与聚合物微球可注射复合材料；3）通过旋切法结合3D打印和编织技术建立了脱细胞基质纤维织造技术，可实现脱细胞基质纤维基材料定制化和精细化制备。

结果：主要结果如下：1）针对组织贯穿伤止血困难，研发了微通道烷基化壳聚糖材料，实现了原位高效止血促再生，并阐明止血机制，解决了创伤修复材料“止血效率低”的问题；2）针对天然材料水凝胶力学弱的问题，研制脱细胞

基质水凝胶/弹性聚合物微球复合注射功能材料，实现了水凝胶活性和聚合物材料力学优势互补，显著提升了肌肉组织血管化和神经化；3）发明了脱细胞基质纤维织造技术，实现了脱细胞基质纤维材料定制化和精细化织造，解决了脱细胞基质材料“细胞化差”难题，显著增强了组织内源性再生，实现了肌肉结构与功能重建。

结论：针对组织创伤不同时期，设计构建了可注射微创式和植入式生物材料，显著增强组织内源性再生潜能，实现了肌肉等组织原位再生与功能整合，为适配促再生生物材料设计与构建提供了新范式。

关键字：肌肉修复材料；脱细胞基质材料；高效止血；组织原位再生

ID 3177

重组生长因子的创新研究与产业转化

章培标

中国科学院长春应用化学研究所

目的：重组生长因子的应用是增强组织或器官再生能力的关键技术之一。临床上常用于患处直接注射，但由于普通的重组生长因子蛋白在常温或体温下的不稳定性，时效短，费用高，使其应用受到限制。而通过植入材料携带具有与材料特异结合能力的生长因子至损伤局部的应用策略，可有效解决上述问题。

方法：为获得生长因子的长效和安全应用，通过分子设计和基因工程技术，我们设计开发了系列可与生物材料特异或非特异结合的重组生长因子，包括碱性成纤维细胞生长因子（bFGF）、表皮细胞生长因子(EGF)、胰岛素样生长因子1(IGF-1)、神经生长因子(NGF)、神经营养因子3（NT-3）、转化生长因子(TGF-β)、骨形态发生蛋白2(BMP-2)、干细胞生长因子-α（SCGF-α）、趋化因子（SDF-1a）等，应用于创面、骨骼、中枢和外周神经等组织的再生与修复研究，并取得了显著进展。同时，在实验室制备的工作基础上，通过工程菌的构建和筛选、大肠杆菌高密度发酵和蛋白纯化等的放大工艺探索，逐步实现了试剂级和医用级原料的规模化生产和商品化。

结果：这些生长因子表现出较高的生物诱导活性、控制释放和促进皮肤、骨骼或神经的组织再生愈合功能。在产业化方面，实现了g级以上生长因子重组蛋白的规模化批量生产，数十个品种和规格产品开始上市销售。

结论：开发的重组生长因子产品在细胞和类器官培养、急慢性创伤修复等方面具有广泛的研究和应用价值，以及临床应用前景，有利于进一步开发生物诱导的再生医学材料和高端植入修复器械。

关键字：重组生长因子，材料识别与结合，生物诱导，组织再生，商品化

ID 3362

生物降解伤口止血材料的制备探索

王宗良、章培标

中国科学院长春应用化学研究所

目的：战场、意外事故等创伤性死亡近三成是由过度出血造成的。因此对于危及生命的外伤性出血，及时有效止血非常必要。目前止血带、明胶海绵、粉剂、纤维蛋白绷带等材料被广泛应用，已商业化的有Celox、HemCon、TraumaDEX、QuikClot 和 XStat 等。然而，传统的止血材料对于穿透性伤口，特别是战场子弹、刀扎等造

成的深部、大创面伤口，止血效果较差，难以迅速有效控制深度伤口以及手术大出血，且大多存在不可降解、无抗菌性和生物相容性差等缺陷。

方法：本研究针对穿透伤及临床大出血亟需性能有效可靠的填充止血材料，目前商用的产品大多存在不可降解、生物相容性差、缺少抗菌性等缺陷。立足探索如何通过有效的工程化改性技术，提高填充材料的功能性，基于环境友好、生物相容性优异的可生物降解聚乳酸（PLLA）材料，通过熔体纺丝技术制备成PLLA纤维棉，进一步修饰了海藻酸钠/聚多巴胺复合物和偶联Fe3+。在该体系基础上，进而采用海藻酸钠、壳聚糖、明胶等天然高分子材料探索了止血海绵和止血微球两类新型深部伤口止血材料。

结果：PLLA抗菌止血纤维棉显示了优异的止血性能和抗菌作用，止血时间被显著缩短。基于海藻酸钠、壳聚糖、明胶等的止血海绵和止血微球两类新型深部伤口止血材料，具有良好的生物相容性、血液相容性、抗菌性和可降解性，以及良好的形状记忆性能和填充性，明显地缩短了止血时间和失血量。

结论：PLLA抗菌止血棉为穿透性伤口以及临床手术大出血等提供优良的可填充止血棉材料。该系列材料对于不规则、狭窄深部伤口填充止血具有重要意义，在战场急救、交通事故等军民领域均展现出广阔的应用前景。

关键字：止血材料；生物降解；抗菌；纤维；微球

ID 3429

OKGM增强脂肪基质水凝胶实现快速构建血管化脂肪的机制研究

张雁慧、范军、王宇晨、李梦、候亚鹏、佟浩

中国医科大学

目的：因衰老、肿瘤切除手术等导致脂肪组织缺损及功能缺陷，是临床组织修复重建的难题。目前，自体脂肪移植是修复脂肪缺损常用的治疗手段，患者接受度较高，但移植后吸收率高，长期结果不确定，需多次手术治疗。因此，需要开发新的治疗策略来进行脂肪组织原位重建

方法：本研究创新性地构建了具有脂肪及血管诱导活性的复合生物材料OKGM/DAT（氧化葡甘聚糖交联的脂肪脱细胞外基质)。本研究通过SEM、FTIR及DSC等方法，对复合水凝胶的微观形貌、化学构成及分子结构等指标进行了检测。并进一步通过压缩实验、流变学实验、降解实验等检测其力学性能及降解特性。同时，通过凝胶时间及可注射性实验对其临床应用的适宜条件进行筛选。此外，我们进一步通过CCK8、细胞迁移、成脂分化、成管实验、降解实验等，对其细胞相容性、促血管生成及促成脂等特性进行考察。在以上指标获得明确结果后，进一步利用大鼠皮下异位成脂模型，对复合水凝胶的脂肪组织原位重建能力进行考察。

结果：OKGM可与DAT形成紧密结合，赋予DAT更紧凑的结构，有效减少凝胶促发时间。16%及32%复合比的OKGM/DAT水凝胶降解速率减缓，结构稳定性和弹性提高，并保留了水凝胶的可注射特性。体外实验中，OKGM/DAT复合水凝细胞相容性良好，且具有显著的促血管生成及促成脂特性。体内实验中，16%及32%复合比的OKGM/DAT水凝胶植入大鼠背部皮下1周后，生物相容性良好，且对宿主细胞具有显著募集作用；植入4周后，相较于单纯DAT水凝，复合水凝胶体积保留率显著提高，且极显著地促进了脂肪和血管的生成。

结论：OKGM与DAT交联可引起水凝胶分子结构的改变，显著改善单纯DAT力学性能不佳、降解速率过快、弹性较差等问题；此外，OKGM赋予复合水凝胶较强的巨噬细胞募集能力及M2极化能力，显著提升了成血管及促成脂能力。综上，OKGM/DAT是脂肪组织原位重建中极具治疗前景的生物材料。

关键字：氧化葡甘聚糖；脂肪脱细胞外基质；成脂分化；成血管；脂肪组织缺损修复

ID 3448

具有定向中空管双层结构和PVA压电特性的仿生毛竹复合导管加速周围神经再生

张进、李风录、张莹、陈莹
福州大学

目的：周围神经损伤（PNI）是一种通常由创伤、手术并发症或神经系统疾病引起的常见的临床疾病，往往造成感觉和运动功能障碍甚至终身残疾。尽管外周神经系统具有固有的再生能力，但是当神经束或神经干完全断裂、缺损大于5 cm时，临床上无法进行无张力缝合，故较大间隙（>5 cm）的神经损伤的快速生长依然是当今临床面临的重大挑战。轴突生长缓慢是导致长段PNI再生效果不足的关键因素。受毛竹快速生长的启发，通过静电纺丝联合预凝胶交联技术制备了一种具有定向中空管双层结构和压电特性的仿生复合支架，用于加速神经再生。

方法：首先，得益于密集的物理纠缠、强分子氢键缔合和高物理交联，外层单宁酸改性钛酸钡@聚乙烯醇/甘油(TA-BaTiO3@PVA/glycerol，TP）水凝胶层具有1.40 ± 0.07 MPa的机械强度和5.65 ± 1.67 MJ m2的韧性。它甚至在100次拉伸循环后表现出优异的抗疲劳性，有效地避免了手术移植过程中支架的弯曲损伤，并确保了其在修复过程中与神经残端的紧密结合。

结果：基于大量的实验数据，我们首次证实了PVA具有压电性能。由于非中心对称结构含量的增加、永久偶极矩的增加和电子⊠空穴分离的增加，外部PVA基水凝胶的压电性能得到了协同增强，并产生了0.94 ± 0.02 V的电压来加速轴突分化。根据体外、体内和转录组测序结果，这种仿生支架不仅促进了轴突的快速延伸（3.5倍）、SC的定向迁移，并基于Notch和丝裂原活化蛋白激酶信号通路的调节增加了血管生成程度，还表现出与自体移植相当的坐骨神经功能指数、复合肌肉动作电位和再生效率。

结论：天然毛竹启发的PVA基仿生支架通过定向中空管双层结构和压电性能的有机整合效应，为有效修复长段PNI提供了一种新的选择。

关键字：仿生毛竹支架；PVA压电性；加速轴突生长；新血管生成；周围神经再生

ID 3549

钒掺杂介孔生物活性玻璃诱导创面/骨组织再生修复的研究

李江峰[1]、尹光福[2]
1. 中国人民解放军陆军军医大学第一附属医院
2. 四川大学生物医学工程学院

目的：创面和骨缺损再生修复一直是组织工程研究的热点领域。目前诸多新型材料诞生，应用于诱导组织再生修复，旨在解决组织再生难的医学难题。前期设计了一种钒掺杂介孔生物活性玻璃，本研究重点阐明钒掺杂介孔生物活性玻璃诱导创面和骨缺损组织再生修复的作用及其新机制。

方法：采用模板法合成钒掺杂量介孔生物活性玻璃V(V)-MBG，并对其形貌和介孔结构进行表征；在修复效果上，构建糖尿病小鼠创面模型以及小鼠颅骨缺损模型，验证V(V)-MBG对创面和骨缺损的修复效果；在分子机制探究上，利用转录组学和代谢组学筛选关键分子信号和代谢通路，并系统研究关键通路的有效性；在递送体系上，构建V(V)-MBG/PVA微

针、V(V)-MBG/PCL-PGA支架和V(V)-MBG/GCP凝胶体系，向缺损组织递送V(V)-MBG微粒，并验证其治疗效果。

结果：V(V)-MBG微球粒径为156.5±9.3nm，介孔孔径为6-8nm，可缓释V(V)、Si、Ca和P离子；V(V)-MBG降低了组织高糖和炎症水平，促进巨噬细胞表型M1向M2转化，加速糖尿病创面愈合；V(V)-MBG 主要通过调控PI3K-Akt信号轴以及重编程巨噬细胞能量代谢，加速创面修复。V(V)-MBG 显著促进了rBMSCs增殖和成骨分化，并良好地修复了动物骨缺损，展现出优异的体内外促成骨效应。这种效应主要通过Itga 2b-FAK-MAPK(pERK1/2) 信号通路实现。

结论：V(V)-MBG是一种新型生物活性材料，可用于创面和骨缺损再生修复领域。

关键字：钒掺杂；介孔生物活性玻璃；创面修复；骨再生

ID 3634

仿生复合骨膜的制备及作用于骨组织再生的研究

连小洁、芦镱、杨博、秦梃伟、冯浩楠、吕嵩

太原理工大学

目的：临床上对于伴有骨膜受损甚至缺失的骨折，延迟愈合甚至骨不连仍是一个亟待解决的问题，单层骨膜往往不利于满足构建骨膜仿生结构和成分最终有效实现骨再生的要求，而根据功能实现设计的仿生复合骨膜（比如梯度的孔径和力学强度，活性的成骨成分）将有助于有效的协同引导骨再生。

方法：本研究设计了仿生复合骨膜，其中一种具有梯度结构和矿化胶原(MC)成分的三层仿生骨膜UPLA / PCL-M / PM，模拟了天然骨膜的结构、力学和骨再生功能。将静电纺丝与超声方法相结合制备了具有疏松多孔、平均孔径为（13.00 ± 0.65）μm的聚乳酸外层纤维层(UPLA)；采用溶剂蒸发法制备了具有致密微孔、平均孔径为（2.82 ± 0.05）μm的聚己内酯中间屏障层(PCL-M)；具有成骨活性成分的聚己内酯/MC为内成骨层(PM)；经溶剂再固化实现各层梯度仿生复合骨膜的结合，以发挥各层功能的协同作用。

结果：仿生骨膜整体拉伸强度为（3.55±0.23）MPa，与天然骨膜（3-4）MPa相近，骨膜层间最低黏合强度可达（68.70±1.75）kPa。外纤维层展现出良好的成纤维细胞生长形态及向膜内生长能力，中间层阻挡了细胞向成骨层的生长；内成骨层的矿化胶原成分促进了成骨细胞前体细胞的增殖、迁移、黏附及成骨分化。本研究建立了5 mm大鼠颅骨双侧临界缺损模型来评价材料在体内的促血管和促成骨能力，材料组的骨体积分数和骨矿物质密度可达15.37%和0.42 g/cc；组织学染色表明仿生复合骨膜可有效抵御软组织的向内入侵，同时其接触骨缺损一侧表现出良好的成骨效果；同时，血管化CD-31蛋白以及成骨相关基因OCN、Runx2表达量升高。

结论：本研究制备的仿生复合骨膜具有与天然骨膜匹配的力学强度、仿生成分和结构，可促进早期血管化和骨再生，将为组织工程支架有效引导骨再生提供一定的理论依据。

关键字：复合骨膜，仿生，血管化，骨再生

ID 3655

生物活性3D打印生物墨水助力组织缺损个性化修复

刘海蓉、周征、陈微、陈鑫、朱文祥、孙晶晶、何晓莉
湖南大学

目的：软骨缺损修复、骨关节炎（OA）、肿瘤切除和细菌感染等因素引起的组织损伤修复领域，存在着迫切的临床需求。组织工程技术被视为应对这一挑战的希望，但当前缺乏针对适用于不同病理微环境的3D打印生物墨水。本研究致力于解决如何在不同病理条件下实现组织再生的核心问题。

方法：通过对各种生物墨水细胞培养和评估、体内外相容性评估、软骨再生性评估以及载细胞3D生物打印来探索不同材料和生物活性分子在软骨组织工程中的应用潜力。对于 TAN-SF 生物材料，鉴定了长链非编码RNA（lncRNAs）中核富集丰度转录本1_2（NEAT1_2）和软骨表型相关基因的转录水平，确定了某些炎症条件下软骨细胞的活力。使用甲基丙烯酸化修饰的芦丁（RTMA）和甲基丙烯酸化的丝素纤维蛋白（SFGMA）作为RT-SF生物墨水的组成部分。通过pH调节、乙醇沉淀和冻干，将豌豆分离蛋白（PPI）转化为可溶性形式，并用甲基丙烯酸缩水甘油酯（GMA）修饰以获得光可固化的PPI（PPIGMA）。

结果：TAN-SF能提高 NEAT1_2 的水平，从而在特定炎性条件下实现高效的软骨再生；RT-SF能显著增强氧化应激条件下的软骨组织的再生；PPI作为新型生物墨水材料，具备相比于明胶更好的促进软骨再生的效果。

结论：通过一系列的3D生物打印及动物实验，证实了这些生物墨水具有高的保真度和生物活性。总之，我们的研究成果为软骨缺损修复和组织再生提供了新的可能性，为个性化医疗和组织工程领域的发展提供新选择。

关键字：组织工程；3D打印；生物墨水；组织修复

ID 3679

基于级联协同效应的多功能 Janus 纳米纤维支架通过调节能量代谢促进骨再生

白燕
重庆医科大学

目的：骨再生受到多种生长因子的协同调控，理想的引导骨再生膜不仅要具有屏障、抗菌等功能，还应满足骨再生不同阶段对生长因子的需要进而有效促进成骨。本项目根据细胞增殖-成血管-成骨的级联逻辑程序控释aFGF和BMP-2，制备一种可控释不同生长因子的Janus复合纤维支架，实现生长因子的协同级联治疗和抗菌隔离等作用，以期有效促进骨再生。

方法：本研究制备了一种可控释多种生长因子的Janus复合纤维支架，外层为负载ZnO纳米颗粒的定向PCL/PLLA纤维，以阻止上皮细胞的入侵和细菌感染；内层采用同轴电纺和层层自组装技术制备核壳PLLA/Gelatin纤维，分别将BMP-2和aFGF负载于纤维的核壳结构中，根据细胞增殖-成血管-成骨的级联逻辑程序控释不同生长因子。研究核壳纤维中研究BMP-2和aFGF的释放顺序；将具有抗菌性能的金属纳米粒子ZnO NPs负载到定向排列的纤维膜中，考察ZnO 纳米颗粒的抗菌性能；将结构不对称的两层纤维膜复合，在体外通过细胞实验，考察Janus复合支架成骨和成血管的效应，并研究其成骨诱导机制；构建大鼠颅骨缺损模型，研究Janus复合支架在体内促进骨再生和血管重建的能力。

结果：Janus 复合纤维支架具有良好的屏障、抗菌、成血管和成骨诱导作用。复合支架的成骨诱导作用机制通过PI3K-Akt-Glut4通路促进葡萄糖入胞，提升胞内氧化磷酸化促进成骨分化，同时通过提升谷胱甘肽代谢过程清除胞内过量ROS，改善线粒体功能，以满足成骨分化对低ROS微环境的要求。本研究为基于级联协同效应的多功能骨再生支架的研究和应用提供了新的策略，具有良好的应用潜力。

结论：为基于级联协同效应的多功能骨再生支架的研究和应用提供新策略，具有良好的应用潜力。

关键字：Janus支架 级联效应 能量代谢 骨再生

ID 3688

成体微血管体外模型的建立及其在纤维化疾病研究中的应用

王栋

青岛大学

目的：微血管在组织发育过程中起重要作用，在许多疾病发生过程中往往伴随着微血管的结构和功能异常，如在纤维化疾病中，组织中的微血管退化，细胞分化形成肌成纤维细胞，分泌大量胶原蛋白，使得组织变硬，导致器官功能退化。体外微血管模型是疾病机理研究的重要工具，本研究旨在建立成体微血管体外模型，以及血管化肝脏类器官模型，并探索其在纤维化疾病研究中的应用。

方法：本研究以成年大鼠的皮下组织和肝脏组织为例，利用胶原酶消化获得微血管和肝脏上皮细胞，在自制培养基中进行培养。为了模拟纤维化组织，我们构建了不同杨氏模量的胞外基质基底，包括1、6和20 kPa，另外将普通培养皿作为一个对照组，其杨氏模量约为3 GPa。我们在所构建的二维血管化肝脏类器官模型中测试了两种TGFβ通路抑制剂（A83-01和吡非尼酮）的作用效果。利用免疫荧光染色、激光共聚焦成像、qPCR、WB等方法对微血管模型进行表征。

结果：（1）建立了体外长期培养成体微血管的方法，可同时保留来源于同一组织的内皮细胞和周细胞。

（2）利用纯天然胞外基质建立了一种调节基底硬度的方法。

（3）发现TGFβ通路抑制剂A83-01不能完全抑制在硬基底上周细胞分化为肌成纤维细胞，软基底和A83-01协同作用可有效抑制周细胞向肌成纤维细胞分化。

（4）构建了二维血管化肝脏类器官模型，通过调节胞外基质硬度，该模型可用于肝脏纤维化研究。

（5）利用血管化肝脏类器官模型系统研究了两种TGFβ通路抑制剂A83-01和吡非尼酮的抗纤维化效果，及其潜在副作用。发现A83-01可以有效抑制纤维化，但是对正常组织环境中的微血管有抑制作用，而且会促进一些肿瘤相关的基因表达。吡非尼酮的抗纤维化作用稍弱，但是没有明显副作用。

结论：本研究成功构建了成体微血管模型以及二维血管化肝脏类器官模型，通过调控胞外基质硬度，该模型可用于纤维化疾病研究及药物筛选。本研究建立的方法也可应用于构建其他器官的血管化类器官模型。

关键字：微血管；周细胞；组织特异性；血管化类器官；纤维化

ID 3750

氢化镁微粒对口腔致病菌的抑制作用及机制探究

张骞骞、陈雨潇、隋佰延、孙皎、刘昕
上海交通大学医学院附属第九人民医院口腔材料科，上海交通大学口腔医学院，国家口腔医学中心，国家口腔疾病临床医学研究中心，上海市口腔医学重点实验室，上海市口腔医学研究所

目的：龋病和牙周病是威胁我国成人口腔健康的最常见的两种疾病，主要由口腔细菌感染引起，而传统抗菌方法，如抗生素和化学消毒剂，存在耐药性和副作用等问题。微米/纳米技术的兴起为口腔抗菌材料提供了新的研究方向，氢化镁（MgH2）微米颗粒作为一种潜在的新型无机抗菌材料，尚未在口腔医学领域得到充分研究。

方法：本研究选择MgH2微粒作为口腔抗菌材料，探究其对多种口腔致病菌的抑制作用及抗菌机制研究。研究通过扫描电子显微镜（SEM）和X射线衍射技术对MgH2颗粒进行形貌和晶体结构表征，并对不同浓度的MgH2微粒溶液的pH进行检测。选择口腔常见致病菌（变形链球菌、牙龈卟啉单胞菌和金黄色葡萄球菌）对其进行抗菌性能评估。使用不同浓度的MgH2颗粒处理细菌，进行菌落计数（CFU）和生物膜形成实验，通过生物膜抑制实验评估MgH2对口腔病原菌生物膜形成的影响。通过溴化四甲基偶氮唑盐法（MTT）实验对MgH2颗粒进行细胞毒性评估，确保其生物安全性。对MgH2处理后的变形链球菌进行宏基因组测序，以探究其潜在的抗菌机制。

结果：MgH2微米颗粒能有效降解并释放镁离子，介导环境pH值的升高，进而对多种口腔致病菌展现出显著的抗菌效果。MgH2颗粒能够干扰细菌的生物膜形成，降低CFU，生物膜结晶紫染色和活/死细菌荧光染色实验进一步证实了其具有良好的抗菌效应。宏基因组学分析揭示MgH2处理后细菌群落的代谢相关基因表达发生显著变化。

结论：MgH2微粒对多种口腔细菌具有良好的抗菌性能，在缓冲液中能够迅速释放出氢气、镁离子和氢氧根离子，从而抑制细菌的生长和繁殖。这些研究结果为后续的氢化镁基多功能口腔复合型材料的研发奠定了基础，在临床应用方面有着良好的前景。

关键字：口腔感染性疾病；氢化镁；抗菌材料；抗生物膜

ID 3852

调控内源性干细胞的组织工程骨膜的研究

周苗[1]、文卓豪[1]、邱会国[2]、刘雪妍[3]、李树祎[1]
1. 广东省人民医院
2. 珠海市口腔医院
3. 广州医科大学附属口腔医院

背景：骨缺损常伴有骨膜的缺失。通过静电纺丝等技术制备人工骨膜以调控内源性干细胞成骨是骨组织工程的新策略。骨膜细胞外基质（ ECM）在去除免疫原性的同时保留了其成骨特异性微环境；M2型巨噬细胞外泌体（Exos）可以向骨髓间充质干细胞（BMSCs）传递多种信号分子，促进骨再生。三向连接（3WJ）是一种可用于Exos工程化改造的RNA纳米技术。

目的：构建可高效负载工程化Exos的仿生骨膜，并明确其募集内源性BMSCs、促进BMSCs增殖和成骨分化，以及修复颅面骨缺损的效能。

方法：利用同轴静电纺丝技术将聚己内酯（PCL）与ECM制备成PCL/ECM电纺膜（ PEC），然后通过3WJ技术将BMSCs

适配体（Ap）修饰到Exos上形成具有靶向BMSCs功能的工程化Exos，利用E酰胺缩合反应将工程化Exos与PEC偶联形成仿生骨膜。最后通过一系列体内外实验证明仿生骨膜的生物相容性、BMSCs靶向性以及成骨和成血管性能。

结果：TEM、纳米流式和WB结果显示纳米颗粒可以与Exos偶联形成工程化Exos。共聚焦显微镜观察到工程化Exos对BMSCs具有高亲和性，共培养后能够促进BMSCs的增殖和成骨分化。仿生骨膜构建后，共聚焦显微镜观察到工程化Exos与PEC成功偶联，偶联后能在7 d内缓释工程化Exos。CCK-8和活/死染色结果显示仿生骨膜能促进BMSCs的生长。Transwell和成骨相关实验结果显示仿生骨膜能够促进BMSCs的迁移和成骨分化。成血管相关实验结果显示仿生骨膜能促进BMSCs分泌VEGF，促进血管生成。植入小鼠颅骨缺损8W后的影像学结果显示仿生骨膜组生成最多的新生骨。成骨、成血管相关免疫组化结果观察到仿生骨膜组有更高的阳性表达。

结论：负载工程化外泌体的仿生骨膜能够靶向BMSCs并促进其迁移、生长和成骨分化，促进血管生成，从而促进小鼠颅骨缺损愈合。

关键字：仿生骨膜、骨再生、外泌体、适配体、同轴静电纺丝

ID 3869

明胶/海藻酸钠/纳米羟基磷灰石有机无机复合高强度大孔冷冻凝胶促进骨再生研究

曹玲燕、李卓远、郑奥、蒋欣泉

上海交通大学医学院附属第九人民医院

目的：水凝胶是一种具有三维网络结构的潜在支架物质，其特征是吸水性、多孔性、生物相容性和可生物降解性。目前，冷冻凝胶因其高度互联的孔隙率、形状记忆特性和优异的机械稳定性而在细胞递送领域引起了广泛的兴趣。

方法：本研究中，开发了双网络明胶/海藻酸钠/纳米羟基磷灰石（GA-HA）冷凝胶，作为使用1-乙基-3-（3-二甲氨基丙基）-1-碳二酰亚胺（EDC）与N-羟基琥珀酰亚胺（NHS）结合作为催化剂交联的明胶，并在冷冻条件下使用nHA释放的Ca2+交联海藻酸钠。研究了不同nHA含量的冷冻凝胶的物理化学和生物学性质。此外，还研究了冷冻凝胶的体外成骨特性及其在SD大鼠颅骨缺损中的体内性能。我们假设含nHA的冷冻凝胶释放的Ca2+促进了细胞成骨和血管生成，从而更好地修复颅骨异常。这可以为临床骨修复治疗提供一种方便可行的策略。

结果：当nHA含量增加到1%时，抗压强度增加到约10.1MPa。此外，由于添加了nHA，复合冷凝胶的降解速率显著减慢。GA-HA冷冻凝胶在体外没有明显的细胞毒性，促进了早期细胞粘附。当MC3T3-E1与GA-HA水凝胶共培养时，OCN免疫荧光染色、ALP和ARS染色分析、成骨和血管生成相关基因表达表明，随着nHA含量的增加，GA-HA冷冻凝胶系统可以积极促进MC3T3-E-1的成骨分化。此外，MicroCT、HE和Masson染色显示GA-HA1组有更多的新骨形成，这表明GA-HA1冷凝胶在体内获得了最佳的骨再生效果。

结论：因此，本研究制备的高强度双网络冷冻凝胶可以为骨修复和组织再生提供新的应用。

关键字：冷冻凝胶；羟基磷灰石；明胶；海藻酸盐；骨组织再生

ID 4088

再生医用材料与器械

王江林
华中科技大学

目的：报告人长期致力于生物医用材料领域的基础和应用研究，以生物医学工程的交叉视角为基础，致力于开发新型医用材料。我们以仿生设计为理念，通过多种制备方法，如3D打印，静电纺丝，冷冻铸造等，旨在提升材料生物相容性、人体内可吸收性和降解性，以及匹配不同修复部分的特殊功能性，并促进病损组织修复和器官再生。研究的重点领域包括心血管再生修复材料与器械、骨及软骨再生修复材料与器械，以及皮肤创面修复材料器械等。

方法：在基础医用材料设计与创新方面，报告人通过深入的材料科学和生物医学工程知识，结合先进的仿生学原理，设计开发出结构精确、功能多样的材料。这些材料不仅具有良好的生物相容性，以避免免疫排斥反应，还能在人体内逐渐降解吸收，避免二次手术和长期并发症。

结果：在材料加工与铸造成型技术方面，报告人采用先进的制造技术，如3D打印和生物材料铸造，精确控制材料的微观结构和整体形态，以确保材料的力学性能和生物活性的最大化。

结论：在体外细胞评价和体内动物模型评估方面，报告人通过系统研究手段，评估开发的医用材料在仿生环境中的表现。这些研究不仅验证了材料的生物相容性和功能性，还为进一步的临床应用提供了关键的数据支持。通过这些努力，报告人的研究旨在突破人体组织器官修复与再生的技术边界，推动医学领域向着更加个性化、有效和安全的治疗方向发展。未来，报告人将继续在生物医用材料领域深耕细作，致力于创新技术的应用和推广，为全球患者提供更好的医疗解决方案，推动生物医学领域的持续进步和发展。

关键字：生物医用材料，结构仿生，组织器官修复与再生

ID 4111

基于组织工程与再生医学标准网络的重要标准识别与合作情况分析

徐东紫、张婷、陈娟、欧阳昭连
中国医学科学院医学信息研究所

目的：总结组织工程与再生医学领域标准化进展，构建全球组织工程与再生医学标准引用网络和起草单位合作网络，以社会网络分析法中的节点中心性指标，对标准在网络中的重要性进行了评价。

方法：在中国国家标准信息公共服务平台、国际标准化组织ISO等公开平台检索组织工程与再生医学领域相关标准，构建标准引用网络和起草单位合作网络，以社会网络分析法中的节点中心性指标，包括点度中心度、中间中心度、接近中心度，结合与理想解决方案相似性偏好排序技术（TOPSIS）方法来衡量标准的重要性，识别对整个卫生标准体系系统性和协调性影响最大的标准，分析该领域起草单位的合作情况。最后进行结果可视化。

结果：（1）截至2024年7月，共获得组织工程与再生医学标准43项，目前该领域标准化工作目前处于发展阶段，目前主要聚焦于通用要求、支架材料等基础性标准的制定。（2）在核心标准的识别方面，《YY/T 1445-2016组织工程医疗器械产品 术语》《GB/T 16886 医疗器械生物学评价》《YY/T 0771 动物源医疗器械》等标准经过社会网络分析和TOPSIS算法分析被识别为核心标准。这些标准聚焦于术语和通用性要求，为组织工程与再生医学的发展奠定基础。（3）在起草单位合作情况方面。中国主要由全国外科植入物和矫形器械标准化技术委员会组织工程医疗器械产品分技术委员会

（TC110/SC3）负责标准研制，中国食品药品检定研究院作为秘书处承担了具体的标准研制工作。此外，起草单位以医院和企业为主。

结论：本研究构建了全球组织工程与再生医学标准引用网络和起草单位合作网络，评价了标准的重要性，识别《YY/T 1445-2016组织工程医疗器械产品 术语》《GB/T 16886 医疗器械生物学评价》《YY/T 0771 动物源医疗器械》等基础性标准为核心标准。此外，中国基本由中国食品药品检定研究院负责组织医院和企业等来研制标准。

关键字：组织工程与再生医学，标准网络，核心标准，起草单位

ID 4320

高镁环境中远程操控磁性纳米囊泡投递miRNA可促进血管化骨再生

吴林蔓、杨光正、蒋欣泉

上海交通大学医学院附属第九人民医院

目的：颌骨缺损修复是口腔临床的治疗难点和研究热点，新型骨修复生物活性材料仍有待开发。针对骨再生过程中成骨和成血管两大关键需求，设计可远程调控的基因投递磁性纳米囊泡，并固载于富镁生物活性材料用于骨缺损修复

方法：（1）通过微流控合成基因投递磁性纳米囊泡，检测其包封率；通过TEM、DLS/Zeta、VSM等表征囊泡形貌和材料学特征，并评价纳米囊泡对所递送基因的保护作用。

（2）检测磁性纳米囊泡的生物相容性，评价磁场作用下基因投递效率；通过体外细胞实验和分子实验等检验磁性纳米囊泡在磁场作用下对细胞的影响。

（3）制备负载磁性纳米囊泡的富镁生物活性支架，通过SEM、XPS、FTIR、VSM等表征其材料学特征，及对磁性纳米囊泡的负载情况；通过浸泡试验等检测材料降解和所递送囊泡的释放情况；通过裸鼠皮下植入检测材料在体内降解和基因投递效果。

（4）通过磁性复合材料与细胞共培养，检测磁场存在与否对材料投递基因的效率的影响，以及对细胞黏附、成骨、成血管等功能的影响。

结果：所合成的基因投递纳米囊泡粒径为100-200nm，于低温下保护递送基因超过24h。磁性纳米囊泡具有良好的生物相容性，基因投递效率超过50%；磁场作用下，磁性纳米囊泡递送miRNA可促进大鼠BMSCs成骨表型和HUVECs成血管表型。所制备富镁生物活性支架具有多孔隙结构，能有效负载磁性纳米囊泡，并对囊泡实现降解缓释，并释放镁离子营造高镁环境。在磁场作用下，磁性复合材料能有效促进细胞黏附、成骨和成血管功能。

结论：可远程调的控磁性纳米囊泡能有效保护并高效递送基因，富镁生物活性支架可有效负载和释放磁性纳米囊泡，并营造有利于骨再生的高镁环境。该磁性复合材料在磁场作用下，可显著提高细胞的黏附、成骨和成血管等功能，实现血管化骨再生。

关键字：磁性纳米囊泡、miRNA、磁控、血管化骨再生

ID 4331

破骨细胞及其外泌体参与骨重建的机理与应用研究

张杨[1]、赵书平[1]、Faqeer Abdullah[1]、王华楠[2]

1. 深圳大学

2. 大连理工大学

目的：人体通过精细协调骨形成和骨吸收过程以维持骨骼的完整性，这一骨重建过程通常由破骨细胞和成骨细胞的相互作用来调控完成。破骨细胞长期被视为发挥降解骨的功能，是引发骨质疏松症、骨关节炎等疾病的主要作用细胞。然而，近期的证据表明，破骨细胞具有更复杂的骨稳态维持的功能。

方法：我们通过免疫组化深入研究了骨愈合过程。通过体外共培养方法研究了破骨细胞如何影响干细胞的成骨分化行为。此外，我们利用胫骨骨缺损模型评估了破骨细胞及其外泌体促进骨再生的潜力。为了更好地了解成骨细胞和破骨细胞之间相互作用，我们利用微流体和干细胞技术制备了骨芯片模型来模拟骨重塑过程，并利用蛋白质组学和功能分析实验揭示了潜在的作用机制。

结果：我们首先观察到，在骨愈合过程中，破骨细胞比成骨细胞的成骨过程更早出现，并且破骨细胞具有显著促进干细胞成骨分化的作用。进一步实验证实，破骨细胞分泌的细胞外囊泡蛋白磷蛋白1 为主要作用途径，并在胫骨骨缺损模型下证实了利用破骨细胞外泌体促进骨再生的可行性。我们随后利用微流体和干细胞技术制备了骨芯片模型来模拟骨重塑过程，开发的骨芯片模型可靠地模拟了骨重塑中的关键过程，包括成骨细胞和破骨细胞的迁移与分化，以及它们在骨再生、骨稳态和骨质疏松条件下的耦合关系。

结论：本研究开发的骨芯片模型有望成为一种先进的技术以增强我们对骨病理生理学的理解，并为目前骨相关疾病的药物测试提供一种有前景的替代方案。研究中阐明的破骨细胞及其释放的细胞外囊泡参与骨吸收之外的功能以及机制解析可为理解和治疗骨/关节疾病提供新思路和新途径。

关键字：骨重建、骨芯片、破骨细胞、外泌体、骨再生

S10
生物材料与医疗器械

ID 76

骨髓间充质干细胞结合多孔钽/Bio-Gide胶原膜重建关节软骨和软骨下骨骼的探索性研究

杨帆
大连大学附属中山医院

目的：股骨头坏死（ONFH）是一种严重的骨科疾病，它会导致股骨头塌陷和髋关节的快速破坏，严重影响患者的日常活动和生活质量。在股骨头塌陷后，关节软骨和软骨下骨的修复变得尤为困难，因为塌陷导致了原本就复杂的骨与关节结构进一步破坏，使得修复过程充满挑战。本研究旨在深入探索塌陷后股骨头修复的可能性。

方法：首先，为了制作一个动物模型，我们中断了股骨头的血液供应，以模拟ONFH的发病过程。随后，通过X光检查，我们确认了ONFH的发生，并成功建立了一个全层关节缺损动物模型。在模型建立完成后，我们采用了多孔钽和Bio-Gide胶原膜这两种生物材料，并结合骨髓间充质干细胞（BMSCs）进行修复尝试。多孔钽因其良好的生物相容性和骨传导性，能够作为支架材料促进骨组织的再生。而Bio-Gide胶原膜则能够提供一个良好的细胞生长环境，促进细胞在缺损区的黏附和增殖。BMSCs作为一种具有多向分化能力的干细胞，能够在适当的条件下分化为成骨细胞、软骨细胞等，从而参与骨与关节的修复过程。我们将多孔钽和Bio-Gide胶原膜与BMSCs在体外共同培养，然后植入到动物模型的缺损区。

结果：经过12周的术后观察，我们在缺损边缘附近的钽顶部发现了透明软骨的生成。

结论：这一发现表明，多孔钽和Bio-Gide胶原膜与BMSCs的联合应用，在ONFH塌陷后的阶段具有重建血液供应和修复全层关节缺损的潜力。如果能在ONFH塌陷后的阶段成功重建血液供应，结合多孔钽和Bio-Gide胶原膜与BMSCs的联合应用，将有可能实现全厚关节缺损的有效修复。

关键字：骨髓间充质干细胞、多孔钽/Bio-Gide胶原膜、重建、关节软骨和软骨下骨骼

ID 77

镁钉辅助固定带血管蒂的大转子骨瓣移植物治疗距骨缺血性坏死的6个病例

刘保一
大连大学附属中山医院

目的：本研究旨在深入探讨带血管蒂的大转子骨瓣在距骨坏死重建中的实际应用价值。基于大转子区独特的血供特征，我们分析了其作为骨瓣来源的潜力，并评估了其在距骨坏死治疗中的可行性和效果。

方法：研究期间，我们回顾了从2020年9月至2021年12月，在我院接受治疗的6例距骨缺血性坏死患者的病例数据。这些患者中，男性占4例，女性占2例，年龄分布在51至56岁之间，平均年龄为53岁。所有患者均经过严格的临床评估和影像学检查，确诊为距骨缺血性坏死，并符合手术治疗的指征。手术过程严格遵循以下步骤：首先，我们通过细致的解剖，确保从大转子区获取到带有丰富血管蒂的骨皮瓣。随后，切除距骨坏死的部分，确保手术区域清洁无污染。接着，根据距骨术区的形状和大小，对大转子骨皮瓣进行精确的修饰和适配，然后将其植入到切除的坏死区域。最后，使用镁钉进行固定，确保骨瓣的稳定性和与周围组织的良好接触。同时，将横支与足背动脉进行吻合，以促进骨瓣的血管化和血供重建。术后，通过定期的影像学评估，观察患者的疾病进展和骨瓣的生长情况。同时，使用踝关节Kofoed评分系统，对患者的踝关节功能进行客观评价。

结果：经过术后9个月的随访，我们发现所有6例患者在术后3个月时，均能够正常承受踝关节的重量，疼痛也得到了明显缓解。X线片显示，所有患者的关节间隙均得到了有效恢复，镁钉逐渐退化和吸收，而新生骨则逐渐填充了连接区域。踝关节功能恢复相对较好，术后踝关节Kofoed评分从术前的平均51.3提高到了77。

结论：大转子与距骨在解剖结构上的相似性，这使得大转子骨瓣在距骨重建中更具优势。同时，由于该区域的血管解剖结构相对恒定，切开的骨瓣并未引起供区并发症，进一步证明了该手术方法的安全性和有效性。

关键字：镁钉、带血管蒂的大转子骨瓣、距骨缺血性坏死

ID 83

肿瘤特异性ONOO-纳米发生器增敏黑色素瘤免疫治疗

王佃余、刘鉴峰、杨丽军

中国医学科学院放射医学研究所

目的：针对黑色素瘤患者对免疫治疗不敏感的临床问题，拟设计一种可在黑色素瘤特异性生成$ONOO^-$的纳米材料，通过破坏黑色素瘤细胞代谢稳态来逆转免疫抑制肿瘤微环境（TME），增强黑色素瘤对免疫治疗的敏感性。

方法：通过固相合成得到对乙酰氨基酚（APAP）和一氧化氮（NO）偶联的多肽APAP-SA-FFFpY-Pen-NO；采用核磁、质谱等确证化合物结构和NO接枝率；采用ALP催化多肽自组装形成$ONOO^-$纳米发生器APAP-P-NO；通过TEM、DLS等多种表征手段对APAP-P-NO的微观形貌、Zeta电位、体外释药行为等理化性质进行考察；通过流式、共聚焦等验证APAP-P-NO于黑色素瘤特异生成$ONOO^-$的性能；通过WB、代谢组学、流式细胞术等考察APAP-P-NO对黑色素瘤代谢稳态的破坏和对免疫抑制TME的调节功效；通过标记^{125}I，利用SPECT探究APAP-P-NO的药代动力学性质；通过构建多种肿瘤模型评价APAP-P-NO和α-PD-L1联用对黑色素瘤的特异性治疗效果。

结果：目标多肽结构正确，NO接枝率高，在ALP作用下可组装形成纳米纤维APAP-P-NO，具有灵敏的GSH及酸响应释药能力；APAP-P-NO可特异性地于黑色素瘤细胞过量生成$ONOO^-$；WB结果显示$ONOO^-$可通过对半胱氨酸的S-亚硝基化来抑制代谢关键酶的活性；代谢组学分析显示，$ONOO^-$诱导参与三羧循环的代谢物大量减少；流式分析显示，代谢的改变有效逆转了免疫抑制性TME；SPECT/CT显示材料可有效靶向富集于肿瘤组织；APAP-P-NO和α-PD-L1联用对黑色素瘤模型具有显著的肿瘤抑制效果，且未对机体造成明显的毒副作用。

结论：成功制备了一种黑色素瘤特异性的$ONOO^-$纳米发生器，通过破坏肿瘤代谢稳态逆转了免疫抑制TME，实现“冷”肿瘤到“热”肿瘤的转变，为通过靶向干预细胞代谢来提高肿瘤免疫治疗的敏感性提供了新策略。

关键字：过氧亚硝酸盐、代谢稳态破坏、免疫治疗

ID 89

多功能智能响应水凝胶用于糖尿病创面愈合

潘盼盼、陈景帝
山东大学（威海）

目的：近年来，糖尿病等代谢性疾病引发的慢性创面治疗已成为全球重要的公共卫生问题。糖尿病慢性创面病理微环境中高水平的血糖、ROS和MMPs表达严重阻碍了伤口愈合过程。智能响应策略，以其非接触式远程操作、精确快速的反应调控以及高度时序可控性，在组织再生领域展现出巨大的应用潜力。因此，开发能满足糖尿病创面特殊病理需求的新型多功能智能响应伤口敷料面临严峻挑战。

方法：本研究开发了一种具有MMP-9响应的双载药仿生糖肽水凝胶（HPDM）。首先，通过甲基丙烯酰化透明质酸（HAMA）和巯基化聚谷氨酸（PGA-SH）通过“点击”化学原位交联模拟细胞外基质（ECM），进一步复合负载二甲双胍的明胶微球（Met@GMs）和多西环素（Dox）分散在凝胶网络中。

结果：核磁共振氢谱、红外光谱、扫描电镜结果验证了水凝胶及明胶微球的成功合成。此外，水凝胶表现出可调控的凝胶化时间，形状自适应性以及良好的粘附性，可适用于深层创面的闭合与修复。细菌和细胞学结果表明Dox的引入赋予HPDM水凝胶优越的抗菌和减轻氧化应激特性。同时，药物释放曲线和微球形貌变化结果显示高水平MMP-9环境可刺激Met@GMs响应性释放Met。此外，仿生糖肽结构赋予HPDM水凝胶良好的细胞增殖和迁移能力，以及生物可降解性。在SD大鼠糖尿病全层缺损模型中，局部施用HPDM水凝胶显著促进直径为10 mm的全层伤口愈合，同时伤口的氧化应激得到明显缓解（ROS和M1巨噬细胞水平降低），再生组织中MMP-9的分泌降低，还表现出上调表达的成纤维细胞、再上皮化和胶原沉积。

结论：基于糖尿病创面治疗中存在愈合延缓的特点，本研究瞄准天然多糖和多肽为糖尿病创面组织的细胞外基质成分，以双重药物的负载实现水凝胶的功能富集，以光聚合的点击化学理论为指导，以糖尿病伤口过表达的金属基质蛋白酶为切入点，构建了新型多重响应性、多功能适配的载药水凝胶。

关键字：水凝胶；智能响应；糖尿病创面；组织修复

ID 141

一种新的放射性损伤敏感性监测方法的探讨

徐汉友
诸暨店口中康医院

目的：为了减轻放射性损伤，特别是放射性医疗损伤，探讨一种监测人体对放射性损伤敏感性的方法。

方法：通过一例临床放射性损伤敏感性的特点，明显表现在皮肤在CT照射后，发生明显损伤的病情，得到启发，研究发现一种监测放射性损伤敏感性的方法。

结果：鉴于放射性诊疗的必要性，及其放射性损伤副作用的严重性，探索一种新的放射性损伤敏感性监测方法势在必行，要达到有效放射性损伤敏感性监测，从而达到精准、个性化治疗的目的，应该在放射性损伤敏感性监测时，不能再做全身性放射性照射，或不做放射性照射。

结合上述病例，病人对放射性损伤敏感，对于放射性损伤敏感性监测，我们可以监测病人的皮肤，对病人做相关刺激，观察病人的敏感性，若观察到病人高敏性，说明病人对外界刺激高度敏感，从而指导病人尽可能不做放射性诊疗，

或做低剂量的放射性诊疗操作。

对于病人皮肤敏感性试验的刺激因子的选择，最好的刺激因子应该是，皮肤放射性照射，利用特制的非常局限的放射性照射仪器，局限性、不同剂量的单纯小片状照射皮肤，然后检测皮肤的损伤程度，得出皮肤对放射性是否敏感及相关照射剂量，从而判断病人是否对放射性诊疗是否敏感，及敏感病人对所需要的健康低剂量照射的剂量，从而达到精准、个性化有效治疗的目的。

该检测方法适用于对病人的监测，和对医务人员的监测，还可以应用到其他与放射性损伤有关的职业人员的监测。

结论：本研究总结一个敏感病人皮肤放射性损伤的临床特点和表现，结合当今放射性损伤防治现状和迫切需要精准、个性化有效放射性诊断和治疗的现状，创新一种新的放射性损伤敏感性监测方法，该方法简单易行，对病人损伤小或几乎无损伤，值得进一步研究和实施，以减少放射性诊疗操作时的放射性损伤到最低程度，达到理想的放射性诊疗效果。

当然，本研究仅仅是研究设想和方案，需要进一步研究实施，及临床实验性应用，最终广泛应用于临床。

本研究应该有巨大的经济效益和社会效益，值得国内外参考应用。

关键字：放射性损伤；放射损伤敏感性；检测方法；精准放射性诊疗；临床病例。

ID 196

智能响应可注射水凝胶用于乳腺癌术后复发和重建治疗的应用研究

吴元昊[1]、刘文广[2]、刘鉴峰[1]

1. 中国医学科学院放射医学研究所

2. 天津大学

目的：手术治疗是临床上乳腺癌最常用且最彻底的治疗方式，但是术后肿瘤的高复发率、局部组织缺损、创面修复和感染问题严重影响患者的生命健康。鉴于此，本文针对乳腺癌术后生理微环境特征，开发了一系列智能响应可注射水凝胶，其中利用N-丙烯酰基甘氨酰胺和丙烯酰胺为单体，并复合多巴胺修饰金纳米粒子，通过紫外光引发聚合制备了一种具有溶胶-凝胶转变特性的可注射自显影纳米杂化水凝胶。通过注射到小鼠乳腺癌手术切除部位原位成胶，并利用远程操控近红外光来调控凝胶的非共价可逆交联结构，实现阿霉素的响应释放，结合光热治疗原位杀死乳腺癌术后残留的部分肿瘤细胞，控制乳腺癌的复发并完成乳腺组织的重建。

方法：进一步，针对乳腺癌术后高复发和创面易感染问题，开发了一种放射性核素标记的可注射双网络水凝胶，通过原位注射海藻酸钠（ALG）、聚乙二醇二丙烯酸酯（PEGDA）和放射性标记金纳米棒的复合注射液，利用近红外光原位热引发低分子量PEGDA聚合形成刚性第一网络，以肿瘤细胞间隙液中的Ca2+与海藻酸钠结合形成柔性第二网络，将放射性核素标记金纳米棒紧密固定于肿瘤未清除病灶部位。通过光热治疗和短距离放疗联合，能够有效清除残留肿瘤细胞和潜在感染病菌，实现乳腺癌术后复发和感染治疗。

结果：针对乳腺癌放疗增敏和皮肤辐射损伤修复的矛盾，提出一种ROS时空精准调控策略，构建了一种可降解丝素蛋白凝胶和抗氧化粘附贴片，通过“内置外敷”策略，内层利用全氟化碳持续充氧增敏放疗，同时外层光热响应没食子酸释放清除过量ROS，实现乳腺癌术后放疗增敏和辐射损伤修复的协同治疗。

结论：综上所述，智能响应可注射水凝胶的构建，为乳腺癌术后复发和重建的协同治疗研究提供全新视角，将为开发新型乳腺癌术后辅助治疗模式提供新策略。

关键字：水凝胶，乳腺癌，光热治疗，放射治疗，组织修复

ID 299

一种促进子宫内膜修复的温敏可注射胶原蛋白凝胶制剂的开发

王琳、邹杰、丁皓川、李鉴墨
康膝生物医疗（深圳）有限公司

目的：良好的宫腔微环境、适宜的内膜厚度是维持月经和胚胎着床的前提。轻度内膜损伤可随体内雌孕激素水平的变化生理性修复，或应用人工周期刺激内膜再生。然而，对于中重度损伤患者，上述治疗效果欠佳，内膜缺损处的子宫壁易发生粘连而进展为宫腔粘连，引发子宫性闭经和继发性不孕等临床病症。宫腔粘连分离术（TCRA）联合辅助治疗（如球囊、生物凝胶等）是目前临床常用的干预方式，主要以物理防粘连为主，且对中重度粘连和内膜损伤患者的效果不理想，存在治疗周期长、复发率高的问题。此外，粘连后的手术治疗会进一步导致内膜变薄，而内膜过薄导致内膜容受性失常也是早期流产、胚胎反复移植失败的重要原因。目前，全球范围内尚无同时具备防粘连和促内膜再生的产品。因此，亟需开发新型治疗型产品，在预防粘连同时，促进内膜的修复，改善子宫微环境，提高内膜容受性，为受精和胚胎着床提供可能。本项目旨在开发一款同时具有防粘连和促内膜修复的产品，并实现临床转化应用，弥补现有市场空白。

方法：首先以猪皮为原料，通过独创的提取、除菌等工艺，制备出高生物活性、低免疫原性的胶原蛋白。通过体外试验评估其温敏性、可注射性、细胞相容性及修复机理，明确该凝胶作为宫腔可注射修复材料的可行性。随后构建大鼠宫腔粘连模型，通过形态学和组织学分析评估其对于防粘连和促内膜修复的安全性和有效性。

结果：体外试验表明，胶原蛋白可以在低温时呈流动态，生理温度下快速固化形成凝胶；细胞学试验表明该凝胶具备良好的细胞相容性，可有效促进干细胞及上皮细胞的粘附和增殖。动物试验证实，和阴性及透明质酸钠组对比，胶原蛋白宫腔注射可以达到更好的防粘连效果，促进大鼠子宫内膜和腺体再生，提高大鼠受孕率。

结论：胶原蛋白凝胶制剂具有温敏性、可注射性、高生物活性的特点，可有效防粘连和促进子宫内膜再生，具备标准化、规模化生产和临床转化的条件，有望成为一种新型的防粘连和促内膜修复的植入器械产品。

关键字：胶原蛋白；子宫内膜修复；宫腔粘连

ID 475

可主动调控药物递送的多功能诊疗一体可吸收柔性电极

牛旭锋、刘帅印、樊瑜波
北京航空航天大学

目的：随着现代医学技术的进步，诊疗一体化装置在疾病监测和治疗中的应用越来越受到重视。传统的药物递送系统通常仅具有单一功能，难以满足复杂疾病的治疗需求，特别是对于需要实时监测和即时干预的急性疾病，如癫痫，心血管疾病等。本研究旨在设计并构建一种具有主动调节药物递送功能的诊疗一体化装置,用于实时监测患者病情变化,并根据变化情况及时递送相应药物,对疾病进行干预和治疗,从而提高治疗的精准性和有效性。

方法：首先设计并构建具有主动控制药物递送能力的多功能药物递送装置。对装置进行结构优化,增加疾病诊断和监测功能,实现诊疗一体化。通过体外药物释放实验,检验系统的主动控制、组织压力和生物电信号采集能力。使用动物体内实验研究该装置的临床应用能力，并通过细胞和动物实验,考察该系统的生物安全性。

结果：体外实验表明,该系统能够通过主动控制实现精准的多种类、多次数和多时间线药物递送。动物体内实验显示,

该系统能够在动物体内进行疾病监测和诊断,并在急性疾病发作时及时进行药物干预。细胞和体内生物相容性实验结果显示,该系统能够满足作为长期植入物的生物安全需求。

结论：本研究通过结构设计和优化，成功构建了一种诊疗一体化植入装置，该装置能够通过力学信号或电生理信号采集，实现疾病的监测和诊断，并能够及时进行多种类、多次数、多时间线药物递送。实验结果证明，该系统不仅能够满足临床对于急性疾病的监测和治疗需求，还可以在多并发症疾病的药物递送中发挥重要作用。未来，这一诊疗一体化装置有望在临床应用中得到广泛推广，为患者提供更加精准、高效的治疗方案。

关键字：主动控制；诊疗一体；可穿戴；柔性电极

ID 889

自润滑可降解输尿管支架（双J管）的研发

何斌、李静、陈玥

四川大学生物医学工程学院/国家生物医学材料工程技术研究中心

目的：目前临床使用的输尿管支架（ureteral stent）也称为双J管为非降解高分子材料，其二次取出过程增加了患者疼痛，加大了感染几率，一旦忘记取出还会引发严重的并发症。本项目研发新型的自润滑可降解双J管医疗器械产品，通过分子结构设计，规模化合成新型自润滑生物降解高分子材料，通过精密挤出结合热压成型的加工方法，开发原创性的无需二次手术取出的自润滑可降解双J管。

方法：开环聚合结合高分子扩链技术合成自润滑可降解双J管的原料。研究反应温度、压力、时间、组成配比对材料粘度、分子量、强度、性能等的影响。确定最佳合成制备工艺，检测溶剂残留、单体残留、重金属含量、水份含量等指标参数，看其是否满足医用生物降解材料的要求。

通过精密挤出的加工方式成型双J管，将其截短成一定长度后放入模具，通过热压成型两端的弯管。研究塑化温度、螺杆转速、轴向拉伸比例、冷却方式和温度、模具温度、压力大小、热压时间等参数对双J管的模口膨胀率、拉伸强度、支撑硬度、扭曲强度、断裂伸长率、亲水性和表面润滑性等性能的影响。验证加工工艺参数的稳定性。

自润滑可降解双J管的性能研究：（1）体外模拟尿液中的降解，包括外观、组成、失重、分子量、拉伸强度、亲水性、润滑性、钙沉积等参数情况的研究检测；（2）动物体内降解研究，将自润滑可降解双J管植入动物尿道体内，验证其功能及动物体内降解情况，通过尿液和血液相关参数的检测，验证其功能性。

结果：降解时间为14-28天，拉伸强度7天下降20%，与现有商品化双J管相比，尿液中的钙镁离子沉积量减少80%，细菌粘附量减少70%。

结论：自润滑可降解双J管产品轴向支撑强度高、生物相容性好、在尿液中降解可控、降解碎片及产物可溶于尿液排除体外，自润滑功能不仅使细菌难以附着，降低了细菌感染，同时也避免了钙镁离子沉积形成尿结石。

关键字：输尿管支架，自润滑，降解，抗细菌粘附，钙镁离子沉积

ID 897

微热特性纳米生物活性玻璃设计与调控血管化组织修复作用研究

雷波、李婷
西安交通大学

目的：纳米生物活性玻璃材料因其独特的组织修复活性和生物安全性在生物医学领域已经展现出重要的应用前景，如何设计制备精确功能特性的纳米生物活性玻璃材料并实现高效组织修复应用是该领域重要的研究方向之一。本研究通过无机-有机界面组装技术构建具有可控低温光热特性的纳米生物活性玻璃，深入研究其理化结构和功能，探究纳米玻璃离子、热效应对典型细胞如炎症巨噬细胞、血管内皮细胞等行为的影响，并利用动物耐药菌感染创面缺损模型研究了其体内组织修复作用。

方法：采用溶胶-凝胶模板化技术合成了单分散纳米生物活性玻璃，利用多酚-金属在玻璃表面的氧化组装技术制备了光热抗菌特性纳米生物活性玻璃，采用巨噬细胞和血管内皮细胞研究了那么材料的抗炎活性和血管化能力，利用细胞感染创面缺损模型评价了多功能纳米玻璃的体内抗感染和促修复作用。

结果：多功能纳米生物玻璃表现出强大的抗菌/抗氧化/温和光热活性，具有强效的MRSA抑制、活性氧清除、温和的光热刺激（41℃）和止血能力，抗氧化活性、热刺激和持续的生物活性离子释放可通过激活缺氧诱导因子HIF-1α和热休克蛋白HSP90通路显著逆转巨噬细胞的炎症表型并增强血管生成。体内MRSA感染创面模型表明，纳米材料能显著抑制MRSA感染，加速创面修复，与商用生物玻璃敷料相比，愈合率提高了2倍。

结论：纳米材料的生物活性离子释放与轻度热刺激相结合是设计用于血管化组织再生的多功能生物活性生物材料的一种有效策略。

关键字：生物活性材料；纳米生物活性玻璃；微热刺激；组织修复；

ID 991

钙稳态纳米扰乱器用于增强钙超载介导的癌症治疗

陈林飞、王士斌、陈爱政
华侨大学厦门园区

目的：细胞钙稳态与细胞命运息息相关。其中，钙超载疗法在肿瘤学领域受到广泛关注，但由于肿瘤部位钙离子不足，钙离子进入肿瘤的效率不高，其疗效受到限制，导致治疗效果不理想。漆黄素（FIS）是一种具有良好抗癌能力的黄酮类化合物，可以有效破坏钙稳态调节，促进细胞内钙离子浓度上升。碳酸钙（CaCO3）纳米颗粒具有良好的生物安全性、优异的pH响应性，是理想的钙离子供应商。基于此，本文通过气体扩散法制备了负载FIS的CaCO3纳米颗粒，并用丝素蛋白（SF）进行表面修饰，最终成功构建了核壳型钙稳态扰乱器（CaF@SF NPs）用于实现增强的钙超载介导的癌症治疗。

方法：利用气体扩散法制备负载FIS的CaCO3纳米颗粒，并用SF进行表面修饰，最终构建了核壳型的CaF@SF NPs，对该NPs进行系统理化性质表征，考察其酸响应药物和钙离子释放性能，并在细胞和动物层面评价CaF@SF NPs介导的钙超载癌症治疗效果。

结果：成功制备了分散性良好，平均粒径在200 nm左右的CaF@SF NPs。其中，SF涂层通过β-折叠和静电相互作用结合在颗粒表面作为保护层。CaF@SF NPs到达肿瘤后，对肿瘤微环境产生特异性反应，释放FIS和钙离子。FIS可有效地打破

肿瘤细胞内钙平衡，而CaCO3供应的外源钙离子进一步加剧和放大FIS介导的钙超载。随后，癌细胞线粒体结构和功能被破坏，导致细胞骨架崩溃和氧化应激，导致癌细胞凋亡。CaF@SF NPs通过协同放大的钙超载癌症治疗在体外和体内均取得了相当大的肿瘤抑制作用。

结论：本研究设计的基于CaF@SF NPs的钙稳态扰乱器作为一种示例，为未来用于癌症治疗的钙稳态扰乱药物和外源钙离子供应协同纳米平台的设计提供了一定的指导意义。

关键字：碳酸钙；漆黄素；丝素蛋白；钙超载；癌症

ID 1034

无毒抗菌材料及应用转化研究

高长有

浙江大学

目的：由病毒、细菌、支/衣原体等微生物感染诱发的疾病已呈现高发、频发和低龄化的趋势；使用抗菌、抗病毒材料构筑抵御微生物的防线是降低人群感染率的有效手段。然而，现有抗菌剂存在高抗菌性能、量产和高生物安全性无法兼顾的技术难点。植介入医疗器械如何实现无毒抗菌，是一个急需解决的科学与技术问题。为此，研发无毒抗菌材料并实现其在医疗器械应用中的转化具有重要的价值。

方法：通过化学合成具有无毒、能量产的广谱抗菌材料，表征其理化性能和生物学新能。通过与其他材料复合制备具有转化价值的医疗器械，并在动物实验中验证其效果。

结果：成功实现高纯超支化聚赖氨酸的生产，不含重金属离子和内毒素，耐水解和多种酶解，不引起溶血与凝血，具有优异的广谱抗菌抗病毒、促组织再生和抗炎性能。基于超支化聚赖氨酸的优异性能和市场需求，进一步研发了高端医疗器械（抗菌种植体、抗菌骨针、抗菌敷料和抗菌导管等）、核酸/疫苗的传递试剂、皮肤黏膜抗菌/抗病毒喷剂、宠物抗菌/抗病毒清洁用品和抗菌/促再生医疗美容制剂等产品。相关材料正在进行备案，获授权国家发明专利10余件，发表核心论文10余篇。

结论：化学合成的超枝化聚赖氨酸兼有ε-PL和α-PL结构与功能，广谱抗菌、抗病毒，抗炎，促进组织再生，且安全、无毒，加工性和应用性能良好，具有广阔的应用价值。

该材料的应用和推广有助于填补国内外高安全性、高抗菌性产品的市场空白，解决急需的医用级抗菌原材料难题，为日益紧迫的微生物感染控制提供新解决方案，提升我国在前沿创新医用材料的行业创新水平和国际竞争力。

关键字：聚赖氨酸；抗菌；抗病毒；生物材料；医疗器械

ID 1349

Study on melanin from sepia and its application in biomedical materials

Jing Chang,Baoqin Han,Zhiyang Gu,Lili Guo,Lan Guo

Ocean University of China

Objective: Cephalopod marine organisms are rich in melanin components. Melanin is a heterogeneous polymer com-

posed of DHI and DHICA, which has unique near-infrared light responsiveness. However, due to its poor water solubility and uneven dispersion, the application of melanin is severely limited. In this study, new melanin derivatives are constructed and their application in photo-thermal therapy of tumors was studied. At first, the melanin nanoparticles (MNPs) were extracted from cuttlefish by enzymatic hydrolysis method. A novel kind of vitamin E succinate - chitosan - RGD (VES-CS-RGD, VCR) nanomicelles were prepared by chitosan, which could self-assemble to encapsulate MNPs and form MNP@VCR nanoparticles. The photo-thermal properties and antitumor effects of MNPs were studied, and the combined therapy of MNPs and chemotherapy drugs (DOX) was carried out. Then, an injectable photo-thermal hydrogel (HPCS/MP) was designed, which was composed of melanin-PEG (MP) and hydroxypropyl chitosan (HPCS). The structure and properties of HPCS/MP were studied, and the hydrogel was used to load doxorubicin hydrochloride (DOX·HCL) to form HPCS/DOX/MP hydrogel. The HPCS/DOX/MP hydrogel was applied in combined chemotherapy and photo-thermal therapy, and the antitumor effect was studied by intratumoral injection method. Finally, the size of synthetic melanin-like nanoparticles (SMNPs) was regulated by controlling the reaction conditions. Moreover, the novel separation and purification method of SMNPs was established. SMNPs were obtained, and their structure and characteristics were studied, which were compared with those of MNPs.The results showed good synergistic anti-tumor effect of MNPs and DOX·HCL, the tumor inhibition rate was up to 71.4 in vivo. HPCS/MP hydrogel had good temperature responsiveness and biocompatibility, with satisfying injectable ability. The hydrogel had high photo-thermal conversion efficiency and stability. The encapsulation efficiency of the hydrogel was 90%, the drug release behavior had typical pH sensitivity and laser controllability. The tumor inhibition rate reached 86% after therapy for 14 days. By comparing the properties of MNPs and SMNPs in many aspects, it was found that the photo-thermal ability of the two nanoparticles was similar. However, the nanostructure and stability of MNPs were better than those of SMNPs. The MNPs of cephalopod have good photo-thermal property and photo-thermal stability, showing attractive advantages in the photo-thermal therapy and combined therapy of tumors, which have a potential application prospect.

Methods: (1) The melanin nanoparticles (MNPs) were extracted from cuttlefish by enzymatic hydrolysis method. A novel kind of vitamin E succinate - chitosan - RGD (VES-CS-RGD, VCR) nanomicelles were prepared by chitosan, which could self-assemble to encapsulate MNPs and form MNP@VCR nanoparticles. The photo-thermal properties and antitumor effects of MNPs were studied, and the combined therapy of MNPs and chemotherapy drugs (DOX) was carried out. (2) An injectable photo-thermal hydrogel (HPCS/MP) was designed, which was composed of melanin-PEG (MP) and hydroxypropyl chitosan (HPCS). The structure and properties of HPCS/MP were studied, and the hydrogel was used to load doxorubicin hydrochloride (DOX·HCL) to form HPCS/DOX/MP hydrogel. The HPCS/DOX/MP hydrogel was applied in combined chemotherapy and photo-thermal therapy, and the antitumor effect was studied by intratumoral injection method. (3) The size of synthetic melanin-like nanoparticles (SMNPs) was regulated by controlling the reaction conditions. Moreover, the novel separation and purification method of SMNPs was established. SMNPs were obtained, and their structure and characteristics were studied, which were compared with those of MNPs.

Results: (1) MNPs had excellent photo-thermal ability and stability, and also had π-π conjugation effect with DOX. MNP@DOX/VCR showed high drug loading capacity and encapsulation efficiency. Moreover, it had tumor targeting due to RGD group. The drug release behavior of MNP@DOX/VCR demonstrated the sensitivity to pH value of tumor tissue. The results showed good synergistic anti-tumor effect of MNPs and DOX·HCL, the tumor inhibition rate was up to 71.4 in vivo. (2) HPCS/MP hydrogel had good temperature responsiveness and biocompatibility, with satisfying injectable ability. The hydrogel had high photo-thermal conversion efficiency and stability. The encapsulation efficiency of the hydrogel was 90%, the drug release behavior had typical pH sensitivity and laser controllability. The tumor inhibition rate reached 86% after therapy for 14 days. (3) By comparing the properties of MNPs and SMNPs in many aspects, it was found that the photo-thermal ability of the two nanoparticles was similar. However, the nanostructure and stability of MNPs were better than those of SMNPs.

Conclusion: The MNPs of cephalopod have good photo-thermal property and photo-thermal stability, showing attractive advantages in the photo-thermal therapy and combined therapy of tumors, which have a potential application prospect.

Key Words: melanin, photo-thermal therapy, injectable hydrogel, tumor inhibition

ID 1374

可注射型骨源性脱细胞外基质水凝胶及其骨修复应用研究

罗升昌、王士斌、陈爱政
华侨大学厦门园区

目的：制备出一种猪胫骨脱细胞外基质水凝胶（BdECM）并考察其理化性能，以及其在大鼠临界骨愈合过程中对免疫炎症、成骨分化等修复事件的调节作用。

方法：将猪胫骨进行脱细胞处理制备BdECM，考察脱除过程对组织结构和成分影响，并评价其免疫原性和生物活性。之后，采用酶消化法制备BdECM水凝胶，研究其凝胶化过程，以及消化对活性成分的影响。以脂多糖（LPS）刺激的巨噬细胞（RAW264.7）为炎症细胞模型，研究不同浓度条件下的BdECM水凝胶的抗炎促再生性能。进一步将大鼠骨髓间充质干细胞（rBMSCs）与BdECM水凝胶共培养，初步考察其成骨诱导效果。构建大鼠临界骨缺损模型，将BdECM水凝胶植入于骨缺损部位，借助显微影像学和组织学成像方法评价缺损部位的新骨形成及成熟效果，并结合免疫荧光方法检测颅骨缺损部位的炎症水平和成骨活性。

结果：脱除工艺去除了DNA组分，保留了胶原蛋白、GAGs成分；所制备的BdECM水凝胶具有较为稳定的理化性质及生物学性能。体外实验结果表明，BdECM水凝胶能够提高LPS刺激下RAW264.7的增殖基因表达，也能够降低细胞的凋亡比例。同时显示出较为显著的M2诱导效果。进一步将BdECM水凝胶与rBMSCs细胞共培养，显示其能够促进rBMSCs的增殖活性。同时，BdECM水凝胶促进了细胞伸展及细胞连接的建立；上调了成骨相关的基因（RunX2、OPN），相比于同等浓度的一型胶原促进效果更为显著。体内实验结果表明，BdECM水凝胶能够提高修复部位的新生骨体积分数、骨小梁数量以及骨密度。组织学和免疫荧光染色结果显示，BdECM水凝胶组的新生骨组织相比于对照组更多，并且缺损部位的成骨细胞活性较高，炎症因子水平较低。

结论：BdECM水凝胶具有良好的可注射性能和生物学活性，能够降低炎症因子表达，上调促再生相关的基因表达水平，并显示出一定水平的体内外成骨诱导效果。

关键字：可注射水凝胶；脱细胞外基质；间充质干细胞；骨修复

ID 1543

可降解钼金属的的增材制造——从粉末到血管支架

边东[1]、童之沛[1]、龚根承[1]、顾闻达[1]、俞辉[2]、郑玉峰[3]
1. 广东省人民医院
2. 广州医科大学附属第三医院
3. 北京大学

目的：血管支架显著改善了血运重建，已成为治疗血管狭窄的主要医疗器械。可吸收血管支架可在短期内提供力学支撑抵抗狭窄，并随着时间的推移逐渐消失，以释放血管，最终实现“介入无植入”治疗目标。可降解金属材料因其独特的生物相容性和降解性，已在血管支架领域展现出巨大的应用潜力。钼金属具有极其优异的力学性能和近乎完美的均匀腐蚀特性，是极具潜力的可降解金属支架材料。然而，由于钼本身的高熔点、高强度和高硬度，很难通过传统的加工方法制成薄壁件，尤其是结构复杂的血管支架。在此，我们试图通过增材制造方法来摆脱这种困境。

方法：本研究选用高品质钼粉，通过选择性激光熔化（SLM）技术直接制备出了近乎致密且无裂纹的薄壁钼件，并

对其成形质量、壁厚、微观结构、力学性能、降解行为和生物相容性进行了系统研究。随后，通过优化的single-track打印路径成功获得了壁厚≤100 μm的钼血管支架，并对该支架的体内降解行为和生物学效应展开了研究。

结果：增材制造的薄壁钼件具有与镁和锌基材料相当的力学强度，同时展现出优异的生物相容性（细胞活力~100%）。体外实验中，血管相关细胞可以很好地粘附在3D打印钼上，并且铺展良好，同时材料显示出低的溶血率（< 0.5%）和血栓风险。在动物体内植入实验中，3D打印钼金属支架降解温和，与大鼠腹主动脉组织兼容，并能作为血管外支架，为静脉移植段提供足够的力学支撑。

结论：本研究通过3D打印技术首次获得了钼金属血管支架，并初步验证了该技术方案及钼金属作为血管支架的可行性。相关研究可能引领难熔/难加工可降解金属血管支架研发，为心血管疾病的治疗带来技术革新。

关键字：可降解钼、增材制造、血管支架

ID 1649

基于主客体相互作用的蛋白质药物的有效递送及其应用探讨

刘王子[1]、李红[1,2]

1. 暨南大学化学与材料学院

2. 人工器官及材料教育部工程研究中心

目的：MOFs因其巨大的比表面积及孔隙率，丰富的主客体分子间相互作用，及良好的生物相容性特征，成为了一种极具潜力的药物递送载体。蛋白质药物具有高活性、特异性强、低毒性、生物功能明确、有利于临床应用的特点。本研究以ZIF-8为蛋白药物骨形态发生蛋白2（BMP-2）的载体，研究了ZIF-8金属离子和有机配体与BMP-2的相互作用，提供一种递送BMP-2到细胞内的纳米递送体系，为蛋白质药物的临床应用提供技术支撑，同时拓展金属有机框架材料在生物医药中的的应用。

方法：采用分子动力学模拟方法，研究ZIF-8中主客体分子与BMP-2的相互作用。采用仿生物矿化的方法，制备负载BMP-2的ZIF-8纳米颗粒（BMP-2@ZIF-8）；并在纳米颗粒外层包裹一层无定形磷酸钙（ACP），制备得BMP-2@ZIF-8@ACP纳米材料。对BMP-2@ZIF-8@ACP进行表征，测试包封率，载药量和药物的缓释曲线，细胞相容性，干细胞分化性能等分析。

结果：制备得BMP-2@ZIF-8@ACP纳米尺寸为120 nm ±5 nm，包封率为89.2%，负载量为6.43 μg/mg，缓释时间长达14天。40 μg/mL时具有良好的生物相容性。BMP-2@ZIF-8@ACP具有良好的细胞内递送效果，通过网格蛋白和小泡介导的内吞作用进入细胞内。体外实验中，通过细胞内递送BMP-2的实验组表现出更高的促ALP和钙结节表达效果。并且明显上调OCN、OPN、ALP、Runx2等成骨基因的表达，具有更好的促成骨效果。

结论：本体系能有效实现细胞内递送BMP-2，具有更高的ALP、钙结节表达，以及上调成骨基因表达。

关键字：BMP-2，ZIF-8，分子动力学模拟，蛋白质药物递送

ID 1650

3D构建类器官微环境模型

刘纯
中山大学附属第一医院

目的：恶性肿瘤是威胁人类生命及健康的主要难题之一。尽管化疗、放疗、免疫治疗等治疗方式在一定程度上可以遏制肿瘤的发展，然而耐药性的出现依然是根治肿瘤的严重障碍。近年来针对肿瘤的靶向药物开发成为领域研究热点，越来越多新的分子靶标及免疫治疗靶点被发现。然而尽管大量新靶点在体外及动物模型测试效果显著，在临床试验的患者体内却收效甚微。既往针对耐药研究多集中在肿瘤细胞本身，而对其生存的微环境关注较少。新近研究表明，肿瘤微环境（TME）对于肿瘤的耐药发生有巨大影响。然而由于缺乏可视化的体外仿生模型，TME中主导耐药发生的关键因素尚不清楚。

方法：我们将纳米复合材料原理应用于天然生物材料改性，制备了一系列仿生细胞外基质（Extra cellular Matrix ECM）水凝胶。以ECM主要成分天然一型胶原蛋白为基底，通过与钙离子交联的海藻酸钠形成互穿的多级网络结构，实现对材料硬度、微观结构、孔隙率等可控调节，并加入硅氧烷纳米离子，对胶原蛋白的固有自组装成胶机制进行干预，形成更为稳定，且胶原纤维形貌精细可调的新型纳米复合水凝胶。

结果：在以上材料创新基础上，我们更深入研究了3D仿生ECM水凝胶的微环境对肿瘤细胞、肿瘤间质细胞、骨髓间充质干细胞等的作用规律及调控机制，发现胶原纤维的形貌及排列方式可以改变癌细胞的运动轨迹，进而影响肿瘤入侵及迁移。另外还发现，ECM的硬度对类器官的增殖、分化、及代谢表型皆有显著影响，可以调控类器官的发育过程。

结论：体外构建3D肿瘤类器官模型能够为临床提供新的治疗靶点及药物筛选平台。本研究对提高临床患者药物治疗获益率具有重要意义。

关键字：类器官，水凝胶，肿瘤微环境

ID 1705

用于椎体强化的新型磷酸钙骨水泥的制备

陈嵩、刘大川、李斌
苏州大学

目的：椎体压缩性骨折作为一种常见的临床疾病，严重影响了患者的生活质量。对于症状较为严重的患者，椎体成形术是主要的手术手段。磷酸钙骨水泥具有良好的生物相容性、生物活性以及可注射性等，但较低的力学强度限制了其在椎体成形术中的应用。本研究以一水合磷酸二氢钙和β-磷酸三钙为主要原料，通过调控其溶解再结晶过程，制备了一种高强度、可注射的透钙磷石骨水泥，具有应用于椎体成形术的潜力。

方法：以一水合磷酸二氢钙和β-磷酸三钙作为固相，采用柠檬酸盐溶液和聚羧酸盐溶液作为液相，将两者按一定比例均匀混合之后制备透钙磷石骨水泥。分别对不同组成骨水泥的理化性能如固化时间、抗压强度、可注射性和降解性能等进行表征，并对其体外体内的成骨性能进行了研究。

结果：通过调节柠檬酸盐的浓度和水泥的固液比可以调控透钙磷石水泥的固化时间、压缩强度，并且随着液相浓度的增加，水泥的注射性能和降解性能也随之提高。随后的细胞增殖实验证明透钙磷石水泥具有较好的细胞相容性。构建大鼠股骨缺损模型并将水泥注射到缺损部位，分别在第四周和第八周观察新骨生成情况。结果表明该新型磷酸钙水泥在

体内具有良好的骨组织修复效果。

结论：成功制备高强度、可注射的透钙磷石头骨水泥，该磷酸钙骨水泥具有可控的固化时间和良好的降解性能。体外实验证明该透钙磷石水泥具有良好的生物相容性和细胞贴附性能；动物实验表明，制备的透钙磷石水泥在体内具有较好的骨修复效果。该骨水泥有应用于骨质疏松椎体压缩性骨折治疗的潜力。

关键字：椎体成形；磷酸钙骨水泥；透钙磷石

ID 1739

多功能氟化镁基亚纳米线制备及其在耐药菌感染创面修复中研究

曲晓艳、雷波

西安交通大学

目的：细菌感染一直是影响皮肤组织快速愈合的重要原因之一，如何实现高效抗菌，并有效促进创面愈合进程是亟需解决医学瓶颈。随着纳米医学的不断发展，无机纳米材料基于其独特的理化性质已应用于创面修复中。但开发具有高度生物相容性兼具多种生物活性的无机纳米材料仍面临挑战。本研究利用湿化学合成法可控制备具有多种生物活性的氟化镁基亚米线，通过深入研究其生物学功能及潜在机制，以实现耐药菌感染创面的快速愈合。

方法：我们通过改变前驱体种类、调控反应时间等反应体系优化可控制备不同元素掺杂的氟化镁基亚纳米线。通过体外抗细菌实验，炎性巨噬细胞抗炎研究以及检测内皮细胞血管相关因子表达情况等生物学实验明确不同元素掺杂的氟化镁基亚纳米线的抗菌、抗炎及促血管化生物活性。通过构建MRSA感染的小鼠皮肤缺损创面，明确氟化镁基亚纳米线促组织修复性能。

结果：我们首先利用湿化学合成法可制备出不同元素掺杂的氟化镁基纳米亚纳米线。通过体外生物学功能验证发现，相对于Na元素，K元素掺杂的氟化镁亚纳米线具有更好的抗细菌感染、抗炎、促血管相关因子表达等多种生物活性。此外，我们通过构建MRSA感染的小鼠皮肤缺损创面发现K元素掺杂的氟化镁亚纳米线可有效促进MRSA感染的小鼠皮肤缺损创面快速修复。

结论：本研究探讨了不同元素掺杂的氟化镁基亚纳米线的合成方法及生长机理，并深入研究了氟化镁基亚纳米线的多级生物学功能。不仅提供了一种有效的促耐药菌感染创面修复新策略，还为无机纳米材料自身作为纳米药物实现耐药菌感染创面快速修复提供新思路。

关键字：氟化镁；亚纳米线；抗感染；创面修复

ID 1845

3D打印磷酸钙陶瓷的骨诱导性评价及应用研究

朱向东

四川大学

目的：尽管传统发泡法制备的骨诱导磷酸钙生物陶瓷已在临床中广泛应用，但仍存在一定的局限性。为此，本研究基于前期利用数字光处理（DLP）的3D打印技术制备磷酸钙陶瓷的研究基础，进一步评价不同孔结构特征磷酸钙陶瓷的骨

诱导性，并通过不同的骨缺损动物模型等评估3D打印磷酸钙陶瓷的临床应用潜能。

方法：利用改性磷酸钙粉料和光敏树脂配制用于3D打印的陶瓷浆料，研究其流动铺展和光固化性能，优化打印参数；设计和3D打印制备不同孔结构特征（单一结构或多结构集成）的磷酸钙陶瓷样品，体内外评价它们的骨诱导性；分别构建了股骨节段性缺损、大面积颅骨缺损模型和胫骨高位截骨术（HTO）模型，体内评价个性化3D打印磷酸钙陶瓷植入物的修复效能。

结果：通过对比研究不同粒径大小磷酸钙前驱粉体对光固化浆料性能的影响，发现较小的初始粒径有利于获得浆料更高的固含量和更低的粘度，从而提高坯体的可打印性和精度；基于优化的打印参数和打印坯体二次光固化处理，可减少坯体层间裂纹并提高烧结后陶瓷的强度近50%；基于浆料和打印工艺优化，成功3D打印制备了7种不同孔形的单特征样品，以及具有24结构特征（4种孔形、6种孔隙率）一体化的多特征集成样品；利用小鼠或比格犬背肌内植入模型，对比不同孔结构特征样品的骨诱导性，发现不同孔形的样品均有骨诱导性，但强弱程度不一，具有与传统发泡陶瓷类似相互贯通球形孔结构的反向面心立方（fcc）和密排六方（hcp）表现出更强的骨诱导性；相对于单特征样品逐一制备和评价的耗时耗力，通过构建的24特征集成样品一体化制备及u-CT评价策略，可实现磷酸钙陶瓷骨诱导性的高通量实验；利用构建的不同动物模型，证实3D打印磷酸钙陶瓷修复体可较好修复大面积骨缺损和实现个性化精准治疗。

结论：3D打印磷酸钙陶瓷仍能保持其骨诱导性，但与孔结构特征密切相关；3D打印磷酸钙陶瓷在临床骨缺损修复中有较好的应用潜能。

关键字：磷酸钙陶瓷；3D打印；孔结构；骨诱导；骨再生

ID 1955

多功能微凝胶组装体的构建及其软骨再生修复应用

冯琦、董华、曹晓东

华南理工大学

目的：髓核和关节软骨作为人体内典型的软骨组织，其健康和生理稳态维持对于关节和椎间盘健康至关重要。目前，基于生物材料的软骨治疗策略在临床和科学研究中已取得积极效果，但依然面临再生软骨易纤维化的关键瓶颈。如何通过调控生物材料的组成、交联网络以及内部结构等物理化学特性，实现因子的可控释放和细胞行为的精准控制，改善再生软骨质量，成为关键所在。

方法：首先，本团队从设计了一种顺序释放药物的微凝胶组装体MA-TNS。SDF-1α和负载TGF-β1的纳米颗粒被同时包封于微凝胶中，微凝胶通过动态苯硼酸酯键交联形成微凝胶组装体（MA-TNS）。在时序性药物药物释放的基础上，本团队对微凝胶组装体的结构进行独特设计；分别制备负载HAV多肽的慢速降解微凝胶（S-Microgels）和负载SDF-1的快速降解微凝胶（F-Microgels），并以thiol-ene反应形成降解异质性微凝胶组装体（F/S-MA）。

结果：MA-TNS在初始阶段快速释放SDF-1α，从而有效募集干细胞；同时，在后续长期持续释放TGF-β1，促进干细胞成软骨分化；进一步，其连通大孔结构，促进ECM沉积，实现髓核再生，有效延缓食蟹猴腰椎间盘退变。在时序性药物药物释放的基础上，本团队对微凝胶组装体的结构进行独特设计，从而以材料调控干细胞的募集、凝聚、成软骨分化等关键行为。F/S-MA被注射到软骨损伤部位后，F-Microgel先降解形成“微巢”，并释放SDF-1，募集干细胞，进而在 HAV 多肽作用下，干细胞凝聚并成软骨分化，最终达到促进关节软骨再生修复的目的。

结论：综上所述，本团队以乳液法制备出一系列负载药物的微凝胶，进而基于bottom-up理念，以动态苯硼酸酯反应和thiol-ene反应构建多功能微凝胶组装体，精准调控药物释放和细胞行为，改善再生软骨质量。

关键字：髓核；关节软骨；微凝胶组装体

ID 2007

自发电神经导管构建及周围神经修复研究

高会场、王琪琪、曹晓东
华南理工大学

目的：长距离周围神经缺损修复是再生医学难点。自体移植是临床黄金标准，但受到供体来源和修复距离的限制，电活性神经导管因其能产生有利于神经再生的电刺激而受到普遍关注，电活性神经导管对免疫微环境的调控作用及其分子机制尚未被阐明。本研究拟构建一个具有双重电活性的自发电神经导管，研究其促进周围神经修复、调节免疫微环境及其作用机制。

方法：以PLCL为基底材料，复合压电材料PVDF和导电材料PEDOT，采用相分离和退火结晶工艺，制备了一种具有导电压电双重电活性的PVDF/PLCL/PEDOT电活性材料，对其进行材料学表征、体外细胞学评价和体内大鼠10mm坐骨神经缺损修复效果评价，并探究电活性材料促进周围神经再生的分子机制。

结果：电活性材料具有良好的力学性能、耐缝合性和抗扭结性，同时也具备良好的导电性、压电性和自发电性能，可在修复初期作为“人工神经”替代缺损神经传递电信号，避免靶肌肉萎缩；细胞学实验表明，电活性材料具有良好的细胞相容性，能够有效促进雪旺细胞增殖、成熟和成髓鞘，促进巨噬细胞增殖、募集和M2抗炎表型转化，且导电和压电具有正向协同效应；构建大鼠坐骨神经缺损模型，发现电活性神经导管能够有效促进再生神经中轴突与髓鞘形成以及神经内血管的生成，且修复效果与自体移植无显著差异；机制研究发现，电活性神经导管能够通过激活PI3K/AKT-Nrf-2信号通路有效调节免疫微环境。当PI3K/AKT免疫信号通路被阻断，电活性神经导管对周围神经修复效果显著减弱，证明了电活性神经导管调节免疫微环境的有效性以及调节免疫微环境对促进受损坐骨神经修复的关键性作用。

结论：成功构建一种PVDF/PLCL/PEDOT自发电神经导管，其能够有效促进轴突再生及髓鞘化，调节神经再生免疫微环境，实现大鼠坐骨神经从近端到远端的完全再生，修复效果与自体神经移植无显著差异，对周围神经导管的设计和构建具有重要的指导意义。

关键字：周围神经修复；神经导管；电活性材料；电刺激；

ID 2065

精准医疗在肿瘤热消融治疗中的应用：一种具有化疗协同、免疫增效的TME响应型水凝胶药物递送平台

张鹏、刘杰
中山大学

目的：肝细胞癌（HCC）是癌症死亡的第三大常见因素，常规手术切除治疗的预后并不理想，此外部分情况不适用手术切除。射频消融（RFA）是一种微创、无/低副作用得治疗手段，在前中期的肝细胞癌治疗中广泛应用，尤其在尺寸<3 cm的单发或多发实体肿瘤中正逐步取代手术切除。受限于肿瘤异质性和器械的限制，RFA对>3 cm直径的肝肿瘤和多转移灶的癌症无法完全消融，可能在于肿瘤形状的不规整性以及RFA的亚致死区域内存在未根除的癌细胞导致原位复发，因此寻找有效的HCC治疗策略仍是迫切需要的。

方法：原位可注射载药水凝胶由于其高载药量和药物持续释放等优势，可配合RFA在HCC的治疗中取得更理想的效

果。在此，我们开发了一种原位注射的化疗免疫增效水凝胶体系，该体系基于之前研发的HA-Dc隔热水凝胶材料，使用磷酸钙纳米颗粒负载米托蒽醌包载于HA-Dc水凝胶中，用于在RFA的亚致死区域增效并提高免疫反应。制备的MR@CaP@HA水凝胶具有良好的可注射性和组织内滞留性，该水凝胶可以通过GSH响应及代谢释放MR@CaP纳米颗粒，达到局部的化疗增效及免疫增效功能。

结果：通过前期实验表明，水凝胶装载的MR@CaP纳米颗粒兼具pH响应性释放和化疗、免疫增效的效果，在离体实验中对肿瘤细胞有更高的毒性以及一定的自噬抑制效果，此外MR@CaP负载的免疫佐剂R848兼具巨噬细胞的M1型极化和诱导DC细胞成熟的效果，在RFA治疗实体瘤的亚致死温度区域具有优异的肿瘤杀伤和免疫增强效果，可实现肿瘤体积的根治并防止复发。

结论：本研究制备的可注射多功能水凝胶材料，该材料在可控释放的同时，兼具化疗和免疫增效的作用效果。这种MR@CaP@HA为未来的临床转化带来了巨大的希望。此外，考虑到多种癌症治疗（如微波消融、HIFU等）也会产生一定的温度效应，这种肿瘤内固定的MR@CaP@HA在未来的临床实践中将在各种类型的的癌症治疗方法中产生有效的协同作用。

关键字：射频消融 化疗增效 免疫增效 局部药物递送 水凝胶

ID 2211

使用蛋白质从头设计编程生物材料

李喆

南方科技大学

目的：生物大分子通过自下而上的自组装形成了高度有序且功能丰富的生物结构，为生命的起源、维持和进化提供了重要基础。受此启发，生物纳米技术的一个关键目标是模仿自然界的自组装系统，对生物大分子的三维结构和相互作用进行精确设计，实现具有全新结构和功能的生物纳米材料。随着生物大分子物理模型的进步和深度学习算法的兴起，一个重要的发展方向是通过计算机设计具有特定结构功能和自组装性质的全新蛋白质编程新型生物材料。

方法：我们以蛋白质三维晶体材料为例，根据目标材料的对称性和分子组织方式，设计蛋白质分子的多级有序自组装以实现新型蛋白质材料。第一种设计思路从蛋白质纳米笼基元出发，在基元之间设计新型的蛋白质相互作用。第二种设计思路从预设的蛋白质相互作用出发，构建新的蛋白质自组装基元。方法中针对在特定对称性束缚下的蛋白质分子，应用蛋白质设计软件Rosetta对蛋白质-蛋白质相互作用界面进行设计筛选，并应用蛋白质深度学习模型RFdiffusion生成多样性的结构骨架，最终使用表达纯化的蛋白质验证组装过程，并使用透射电镜和X射线衍射表征材料结构。

结果：这样的计算策略成功设计了多种新型的蛋白质晶体材料：包括大孔隙率和高热稳定性的蛋白质三维晶体，可用于构建具有动态光学性质的无机纳米粒子超晶格；以及类似有机金属框架结构的网络状蛋白质晶体，可利用人工智能模型对孔隙结构进行定向改造。

结论：结合深度学习算法和生物物理模型可以对蛋白质三维晶体材料实现原子级别精确的从头设计，展示了蛋白质设计技术在编程新型生物材料中的潜力。可编程性的蛋白质生物材料将为生物医学应用提供新的工具和平台。

关键字：蛋白质从头设计；生物纳米技术；自组装；蛋白质三维晶体；人工智能

ID 2266

肽基双链缠绕聚合物的熵驱动水凝胶化用于微创介入的心室重构

吴冬冬
四川大学

目的：开发基于多肽的高模量可注射微创植入体，用于潜在的模量匹配的心肌、肌肉、软骨等刚性软组织的修复

方法：多肽通过固相合成法制备；肽基双链聚合物通过多肽的聚合形成；pH调节诱导双链聚合物的解螺旋以形成水凝胶；不同浓度的水凝胶前驱液注射到受损心肌梗死组织中，在体内加热下快速原位形成水凝胶；心梗修复实验持续28天。

结果：基于一种全新设计的能模仿DNA双螺旋结构的微米级多肽双链缠绕聚合物开发了一种熵驱动水凝胶体系。该聚合物同样能够模拟DNA的解螺旋过程在外界刺激下分裂成两条单链。双链聚合物的解螺旋可以引发聚合物溶液的凝胶化。实验和分子动力学模拟的结果表明凝胶化过程是吸热的且由疏水作用力驱动，升高温度能同时加快成胶速率和提升胶的模量，表明成胶过程是由熵驱动的。该熵驱动水凝胶体系具有一些重要的特征，例如室温下缓慢的凝胶化速率，但升高温度能显著加速凝胶化，以及能形成高模量水凝胶的高浓度聚合物溶液在室温能维持一定时间的易于注射的液态。该凝胶化体系有希望通过溶液注射以及随后的体温加速的原位快速凝胶化来实现高模量水凝胶材料的体内微创植入。此外，该多肽水凝胶体系具有良好的生物相容性且本身就具有较强的抗氧化能力。我们利用该凝胶化系统将不同模量的水凝胶微创植入到心肌梗死组织中，其中与心肌组织模量接近的水凝胶（储能模量~20kPa）展现出最好的心室重构效果，反映出模量匹配的重要性。该水凝胶在心梗初期能有效抑制梗死部位的炎症反应，在心梗治疗过程中能促进心肌细胞蛋白的表达，有效防止心肌细胞功能的丢失以及维持心肌细胞的正常形状。此外，该水凝胶能有效促进心梗后血管新生、增加心室壁厚，防止心脏的负性重构并促进心跳节律的回复，最终促进了受损心肌组织的重构。

结论：我们开发了一种性能强大的肽基微创植入体，有希望用于组织修复，特别是一些高模量的组织，如心肌。

关键字：多肽、水凝胶、熵驱动、植入体、心肌梗死

ID 2307

左旋聚乳酸纺丝膜介导巨噬细胞重编程及乳酸化修饰双重驱动干细胞成骨分化的机制研究

唐代远、何飞
昆明医科大学第一附属医院

目的：骨缺损是临床治疗难题，免疫-成骨调控是影响骨缺损修复的重要因素。通过生物材料介导免疫调控，减少炎症反应促骨修复是新的研究方向。本研究拟通过静电纺丝技术制备特定微观形貌左旋聚乳酸（PLLA）骨组织工程修复材料，通过“PLLA纺丝膜调控巨噬细胞重编程及IL-10乳酸化修饰激活JAK2/STAT3通路促进BMSCs成骨分化”作用机制角度，探索大段骨缺损修复与功能重建的关键理论与技术。

方法：基于前期所制备的有效促成骨PLLA纺丝膜，将其与巨噬细胞和BMSCs进行共培养，检测材料生物相容性，并通过经PLLA纺丝膜处理极化后的巨噬细胞培养基与BMSCs共培养，验证其对促成骨作用的影响，同时探究PLLA降解产物乳酸对IL-10组蛋白乳酸化修饰促基因稳态表达的作用机制，验证IL-10对BMSCs中JAK2/STAT3通路存在激活作用，并进一步在

动物实验中验证“PLLA纺丝膜—巨噬细胞M2极化—IL-10—STAT3通路—BMSCs成骨分化”分子轴。

结果：本研究首先利用静电纺丝技术，制备了直径分别为600nm、1200nm的有序和无序纤维共4种仿生微纳米纤维材料。其次将RAW264.7与不同直径和纤维走行的纺丝膜共孵育，结果表明有序600组材料可明显促进巨噬细胞由M1向M2极化，同时发现PLLA纺丝膜分解代谢可使胞内局部乳酸水平增高进而引起巨噬细胞组蛋白乳酸化修饰的发生，二者双重驱动促进IL-10稳态表达进而激活后续相关通路，PLLA纺丝膜促进BMSCs成骨分化与巨噬细胞M2极化后激活JAK2/STAT3信号通路有关。

结论：左旋聚乳酸纺丝膜通过巨噬细胞重编程及组蛋白乳酸化修饰促进IL-10稳态表达，并介导JAK2/STAT3促成骨分化。本研究揭示仿生纤维材料调控骨免疫微环境的内在因果关系和相关机制，为进一步将特定形貌左旋聚乳酸纺丝膜开发为新型促成骨生物材料奠定基础。

关键字：骨缺损，巨噬细胞极化，乳酸化修饰，左旋聚乳酸纺丝膜，成骨机制

ID 2518

硅胶输尿管支架的失效分析

张超博、李颖欣、魏龙君、冷永祥

西南交通大学

目的：泌尿系统疾病是发病率最高的几种疾病之一，仅在我国就有数千万患者。在泌尿系统疾病的临床治疗中，双J型输尿管支架是一种常用的医用导管，其主要功能是辅助引流以及缓解各种原因导致的输尿管梗阻。目前输尿管支架的主要材料多为聚氨酯和硅胶，但这些材料的植入会带来很高的泌尿系统感染风险，并且导致尿石的产生，在支架表面形成结垢包覆，影响支架的引流功能甚至导致输尿管梗阻。为了研究支架肾盂端、中间段以及膀胱端的结垢程度、结垢成分，确认更易结垢的位置，用以指导后续的支架改进工作，本研究对22根在患者体内留置2-4周的黑色硅胶输尿管支架进行了系统性分析。

方法：本研究中，使用光学相机拍摄支架表面，经处理后得到支架表面展开图，并使用图片处理软件（ImageJ）标记其结垢部分，获得支架表面结垢覆盖率；使用高精度电子天平测量支架酸处理前后的质量差，获得支架结垢质量，将获得的结垢覆盖率与结垢质量进行统计学分析；使用扫描电子显微镜对支架内外表面形貌特征进行了微观层面的分析；使用傅里叶变换红外光谱仪（FTIR）、X射线衍射仪（XRD）分别对结垢的成分、晶体结构进行了表征；使用原子吸收光谱仪（AAS）对支架酸处理后的硝酸溶液进行离子种类和含量的分析。

结果：研究结果表明，支架肾盂端、膀胱端的结垢覆盖率与结垢质量都明显高于支架中间段（$p<0.001$），支架肾盂端和膀胱端的结垢并无明显差别（$p>0.05$）；支架内表面结垢明显多于外表面，且由无机盐和的蛋白质组成；FTIR结果和XRD结果表明支架表面结垢是由二水合草酸钙以及磷酸镁组成，并含有少量的蛋白质；AAS结果表明酸溶解后的结垢中Ca离子含量是Mg离子含量的十倍以上，说明结垢中Ca盐的含量远高于镁盐。

结论：因此，在输尿管支架的服役过程中，支架结垢的主要成分为草酸钙和磷酸镁，并含有少量的蛋白质；且肾盂端与膀胱端的结垢风险更大，需要着重改进。

关键字：输尿管支架、失效分析、结垢成分、统计学分析

ID 2522

关节置换术用金属掺杂氧化锆增韧氧化铝陶瓷润滑性能的研究

李颖欣、经佩佩、冷永祥
西南交通大学

目的：第四代陶瓷人工关节Biolox@delta因具有优异的力学性能、耐磨性和生物相容性而受到广泛关注，其主要成分为氧化锆增韧氧化铝（ZTA）。但第四代陶瓷人工关节在服役过程中仍存在假体碎裂、异响、磨损等临床并发症问题。针对上述临床并发症，本文提出过渡金属元素掺杂氧化锆增韧氧化铝陶瓷，利用金属离子的催化作用及陶瓷材料表面物理化学性质介导蛋白质在陶瓷材料摩擦界面吸附、变性、分解，最终转变成生物蛋白膜，增加界面润滑层厚度，降低界面接触应力。

方法：本研究采用快速热压烧结炉成功制备出不同铜含量的氧化锆增韧氧化铝陶瓷（0 wt.%、5 wt.%、10 wt.% 和 20 wt.%）和不同锰含量的氧化锆增韧氧化铝陶瓷（0 wt.%、1 wt.%、3 wt.%、5 wt.% 和 10 wt.%），采用场发射扫描电镜（FE-SEM）、X射线衍射技术（XRD）对陶瓷材料的微观结构和成分组织结构进行表征，采用显微硬度计对材料的硬度进行测试，采用压痕法计算材料的断裂韧性，并对材料的长期稳定性和摩擦学性能进行表征和分析，摩擦磨损实验分别在磷酸盐缓冲液（PBS，0.01 M）和白蛋白溶液（BSA，20 mg/ml）中进行。

结果：研究结果发现，当向ZTA分别添加Cu和Mn时，Cu以富铜相存在，Mn以$MnAl_2O_4$存在。随着铜含量的增加，陶瓷的孔洞增多，硬度降低，断裂韧性增加；随着锰含量的增加，陶瓷的硬度和韧性下降。长期稳定性结果证明，铜掺杂和锰掺杂都可以延长ZTA在潮湿环境的使用寿命。摩擦磨损结果证明，铜掺杂和锰掺杂都能改善ZTA在BSA溶液中的摩擦磨损性能。椭圆偏振结果发现，5Cu和3Mn的磨痕内沉积了更厚的蛋白膜。显微红外光谱结果发现，这层蛋白膜主要由变性蛋白质组成。

结论：因此，向ZTA中掺杂Cu和Mn都可以改善在BSA溶液中的摩擦学性能，这是由于磨痕内形成更厚的蛋白质膜，降低界面接触应力，减少磨损。

关键字：金属掺杂；氧化锆增韧氧化铝；生物蛋白膜；摩擦磨损性能；变性蛋白质

ID 2664

内镜病理标本采集与存储的系列研究

苏彬
承德市中心医院

目的：在内窥镜检查（又称内镜检查）过程中的病理标本取样，是临床消化医生判断胃肠道良恶性肿瘤以及慢性炎症的重要依据，检测结果直接影响到疾病的诊断、治疗和预后分析，内镜检查时快速采集病理标本可以有效缩短内镜检查的时间，减少病人痛苦，保障病人安全。

在内镜检查过程中，传统的病理标本收集方法是将取出体外的病理标本一个一个的粘取在滤纸上，如果遇到需要多点活检并分瓶送检的病理标本，尤其是炎性肠胃病患者可能需要取材多个部位的病理标本，此时患者就需要等待护士每取完一个部位先将病理标本装瓶，再准备好下一张滤纸，然后再取下一个部位的病理标本。

上述相关技术中存在以下缺陷，在病理标本的粘取过程中，需要护士重复操作粘取棉签和重复病理标本的装瓶工作，尤其是遇到取材多个部位的病理标本时，医护人员的操作较为繁琐，加长了病理标本的取样时间，增加了医护人员

的工作负担。

本研究的主要目的是:

为了解决上述技术问题，本实用新型的目的在于提供一种用于内镜检查取样的病理标本采集瓶，能够简化医护人员的病理标本取样操作，缩短取样时间，降低医护人员的工作负担

方法：第一步研发了内镜病理标本采集夹子、第二步研发了病理标本采集盒、第三步研发了病理标本储存转移器、第四步研发了内镜检查取样的病理标本采集瓶

结果：本研究获得发明专利一项，实用新型专利三项。

结论：本研究所发明的一系列创新产品，使得病理标本的取用流程大大简化；滤纸和存放室(甲醛溶 液)巧妙的整合在一起，有效地提高了内镜护理人员 的工作效率，而且避免了护理人员自己向病理瓶内灌 注甲醛溶液和收集滤纸，有效地降低了护理人员的劳动强度和避免了护理人员灌注甲醛溶液对身体带来的伤害，提高了器具使用的安全 性。

关键字：内镜病理标本 内镜病理标本存储 内镜病理标本采集

ID 2734

一步法制备不对称粘附水凝胶及防术后粘连

刘珍珍

广州医科大学

目的：目前，手术缝合仍然是临床上最常用的闭合伤口组织的方法，特别是对于体内伤口。然而，手术缝合存在一定的缺陷，如缝合过程中造成正常组织损伤、伤口二次出血、缝合时间长、组织液易渗漏等。对于应用于体内伤口组织修复的粘接剂来讲，最大的挑战在于湿态的体内环境以及不同组织器官之间持续动态的相互接触，特别是对于腹部器官创伤组织。因此，作为能高效修复体内创伤组织的水凝胶粘合剂，不仅要求其一面与湿组织产生高强粘附闭合伤口，而且要求其另外一面不能与其它组织发生粘连。

方法：本文通过机械力诱导乳滴在水凝胶上下表面的分布，调控自由羧基在水凝胶上下表面的暴露，继而导致水凝胶上下表面呈现不对称粘附性能，首次利用一步法构建了不对称粘附的水凝胶。

结果：低转速600RPM制备的水凝胶（MAH-600），其上下表面的粘附强度差值为20倍，下表面对湿组织的粘附强度为300J/m2，韧性值远高于文献报道值，同时抗张强度远高于人体最大腹压值；离体组织粘附实验表明，该水凝胶下表面可以对注满水的猪胃创口、水下肺部创口，甚至麻醉状态下活体兔子的心脏表面，都表现出高强粘接和粘附性能。作者通过光学显微镜、3D轮廓仪、XPS、SEM、接触角测试等方法，系统表征了MAH-600水凝胶的不对称结构。

结 论：作者将该MAH-600水凝胶作为兔子胃穿孔组织修复的粘接剂，实验结果表明，相比于手术缝合线组，MAH-600组不仅能高效修复胃穿孔组织，而且防止了术后粘连。该材料由于其高效简便的制备方法以及优异的粘附及体内组织修复效果，在体内创口组织修复领域展现出了巨大的应用潜力。

关键字：水凝胶，不对称粘附，一步法，防术后粘连

ID 2827

合成生物型医用材料用于组织再生型医疗器械的制造

郭佳怡、Jiayi Guo
新加坡科技研究局

目的：再生医学是利用生物学及工程学的理论方法创造丢失或功能损害的组织和器官，促进机体自我修复和再生，为心血管疾病、肿瘤、糖尿病、神经系统疾病等疾病带来了 新希望。目前临床最常用的手段包括自体移植、异体移植及生物活性类医用材料，但普遍依赖于使用动物组织成分、干细胞、生长因子、骨髓抽吸物等生物制剂达到促进组织再生的功效。此类技术往往引发排异炎症反应、时间及经济成本高昂、对材料的运输及储存都具有极高要求。合成类生物医用高分子材料具有优良的化学稳定性，力学顺应性，易于加工，可根据终端产品需求制造各种类型医疗产品，可广泛应用于皮肤、骨科、心血管、眼科、口腔、医美等领域， 修复缺损皮肤、软组织、关节软骨等。

方法：本团队以经典的开环加成聚合反应为核心技术,设计并合成了新颖的具有生物活性的合成类高分子材料，我们称之为“组织再生诱导因子”,该组织再生诱导因子不添加任何会带来感染、癌症和神经损害风险的动物组织或活性细胞及生长因子等，具有优良的稳定性，力学顺应性，易于加工，可根据后期的产品需求制造各种组织再生型医疗产品，如3D打印，静电纺丝等材料加工技术。同时，该材料具有良好的组织相容性和诱导性，植入人体后不产生免疫排异反应。

结果：本团队已成功制备了多款组织修复产品，包括创面修复敷料，真皮基质，皮肤修复水凝胶，软骨栓塞等。 此平台技术已获得国际专利，通过实验室细胞模型对材料安全性及修复性能的论证，多项动物实验已完成，正积极投入临床测试的计划中。

结论：目前有待进一步的临床测试，注册申报，积极寻求产品推向市场的平台，合成生物材料是近些年热门研究领域，本团队也正努力拓展核心技术更广泛的应用面，希望以大众能接受的成本打造更先进的组织再生产品，为生物材料及医疗器械领域再来革新技术。

关键字：再生医学 生物活性 高分子 医疗器械

ID 2851

3D打印锶镁黄长石生物活性陶瓷骨再生支架的构建及性能表征

甘俊贤、石海山
暨南大学

目的：生物活性硅酸盐陶瓷因其具有良好的生物降解性和生物相容性而广受关注。其中，镁黄长石型生物陶瓷可释放多种活性离子（如锶、镁、硅等）协同促进骨再生，借助3D打印技术，还可被构建出多孔支架用于复杂形状骨缺损修复。煅烧制度是影响生物陶瓷降解和力学性能的关键参数之一。然而，锶镁黄长石型陶瓷支架的煅烧机制尚未明确，在解决其降解过快、力学性能不匹配等问题方面存在局限。本研究通过3D打印技术构建出多孔锶镁黄长石型陶瓷（$Sr_2MgSi_2O_7$）支架，研究在不同温度下，支架材料的组成、形貌、理化性能以及细胞相容性，以期明确该类陶瓷支架的构建和应用策略，为硅酸盐陶瓷用于骨缺损修复研究提供依据。

方法：本研究通过溶胶-凝胶法合成含锶镁硅酸盐前驱体，与粘接剂配制打印浆料后用DIW 3D打印技术在不同煅烧温度下制备多孔硅酸盐陶瓷支架。使用综合热分析仪、XRD、SEM、万能试验机等分析支架的组成、形貌及理化性能，通过模拟体液浸泡分析支架的降解与矿化行为，通过细胞活性和成骨分化检测考察陶瓷支架的细胞相容性和成骨活性。

结果：在>1100℃的煅烧温度下成功制备了以$Sr_2MgSi_2O_7$相为主的陶瓷支架，打印浆料中的粘接剂（F127）可促进陶瓷的烧结。随着煅烧温度的升高，陶瓷支架的抗压强度增高，其降解率、离子释放量及其微环境pH则呈先降低后升高的趋势；陶瓷支架具有良好的细胞亲和性，不同的煅烧温度不影响材料的细胞活性；相比于对照组（β-TCP支架），$Sr_2MgSi_2O_7$陶瓷支架有更高的成骨活性，显著促进了细胞成骨分化相关基因的表达。综合来看，经1250℃煅烧制备的$Sr_2MgSi_2O_7$陶瓷支架兼具良好的降解性、力学性能及细胞相容性。

结论：煅烧温度显著影响了锶镁黄长石型硅酸盐生物陶瓷的理化性能和生物活性。其中，在1250℃下制备的Sr2MgSi2O7陶瓷支架具有适宜的力学性能，且有良好的细胞相容性和促成骨潜力，或可用作理想的骨缺损修复材料。

关键字：锶镁黄长石；3D打印；生物陶瓷；骨修复

ID 2881

铪基层状生物材料调控炎症性肠病微环境

缪昭华

合肥工业大学

目的：炎症性肠病（Inflammatory bowel disease，IBD）是一类病因不明的慢性肠道炎症性疾病，包括溃疡性结肠炎和克罗恩病。尽管发病机制尚不明晰，但通常认为肠道微环境在IBD发生、发展及治疗过程中起着关键作用。基于层状材料高比表面积和丰富活性位点特性，通过在分子尺度上设计二硫化铪等铪基层状生物材料，阐明其调控肠道微环境机制及缓解IBD的潜在信号通路（如TLR9-MyD88-NF-κB），为以肠道微环境为切入点缓解IBD的防治策略提供实验支撑。

方法：利用液相剥离技术制备二硫化铪等铪基层状生物材料，采用酶联免疫吸附试验等手段评估层状材料清除ROS和cfDNA等生物活性；将生物活性层状材料与细胞共孵育或口服递送到小鼠体内，通过统计结肠长度、小鼠体重以及疾病活动指数来评价治疗效果；利用免疫组化和Western blot法分析治疗前后相关通路蛋白的变化，阐明治疗机制。

结果：通过液相剥离法成功制备了单宁酸包裹的二硫化铪纳米片（HfS2@TA）和氢化铪纳米片（HfH@TA）等铪基层状生物材料。得益于还原性S2-向氧化性S6+的电荷转移和巨大比表面积，HfS2@TA具有高效淬灭多种常见活性氧（ROS）特性。HfS2@TA还可以通过肾脏和肝肠系统排出体外，具有生物可降解性。在溃疡性结肠炎和克罗恩病两种动物模型中，带负电荷的HfS2@TA通过静电引力富集在正电荷积聚的炎症部位，降低活性氧水平，减少促炎细胞因子，恢复结肠微结构。进一步地，我们发现HfH@TA不仅可淬灭多种ROS，还可高效吸附肠道内细胞外游离DNA（cfDNA），抑制TLR9-MyD88-NF-κB信号通路，有效缓解小鼠IBD的多项症状。

结论：该研究将可降解铪基层状生物材料用于IBD微环境调控，扩大了铪基层状生物材料的生物医学应用范围。

关键字：炎症性肠病、层状材料、肠道微环境、活性氧、细胞外游离DNA、信号通路

ID 2888

微球和3D打印框架共价组合构建类骨支架用于骨修复

郭良雨[1]、陈敬华[2]、陈景帝[1]
1. 山东大学
2. 江南大学

目的：骨修复支架大多为多通道连接结构，但空心结构不利于活性因子、细胞等的传递。由双键改性明胶(Gel-MA)和纳米羟基磷灰石(nHAP)仿生天然骨结构形成外框架，由Gel-MA和硫酸软骨素A (CSA)制成的微球能够像桥梁一样连接框架，为细胞迁移提供通道。此外，复合支架能构在体外环境下与小鼠前成骨细胞（MC3T3-E1）构建类骨植入物，在体内显示出不同于支架材料的小鼠颅骨缺损修复策略，是增强骨修复的有希望的候选材料。

方法：甲基丙烯酰胺（MA），纳米羟基磷灰石（HAP），二甲基亚砜（DMSO）和多聚甲醛购自上海麦克林生化科技有限公司。3D 打印框架和微球通过光交联在低温下组装在一起。3D 打印的框架充满了微球。组装后，去除表面和未交联的微球，形成GM 支架。MC3T3-E1 （3 × 104/well）接种在6 孔板的GM10 支架上，形成GM@C 支架。植入C57 小鼠（8 周龄，雄性）颅骨缺损处，评估其骨形成能力。

结果：制备了不同GM 外框。G10 和G12 表现出比其他比例油墨更好的溶胶- 凝胶过渡和稳定性。在SEM 下可以观察到其表面的多孔结构。将Mc 填充到骨架的孔隙中，并进行光交联，构建了复合支架（GM10，GM12）。GM@C 类骨支架在植入8 周后促进了显着的新骨形成。类骨支架在4 周时RANKL 和OPG 的表达量高于8 周时的表达量，而TRAP 含量保持平衡。Masson 染色所示在类骨支架处理的小鼠中具有明显胶原沉积，并伴有骨修复的血管生成。

结论：综上所述，成功构建微球-支架（GM）。体内实验表明，GM@C支架可以诱导骨间充质干细胞成骨细胞分化，加速骨修复，显示出作为填充骨缺损的生物材料支架的潜力。

关键字：3D打印；微球；硫酸软骨素；类骨植入物

ID 3107

基于脱钙骨基质的软骨再生及探索性临床转化研究

慈政、周广东
上海交通大学医学院附属第九人民医院

目的：软骨缺损临床常见，治疗困难。组织工程技术为软骨缺损治疗提供了新方法。脱钙骨（Decalcified Bone Matrix，DBM）具有强度可控、生物相容性好、降解产物中性等特点，是一类理想天然支架材料，但因孔径大接种细胞后易流失，使其难以直接用于软骨修复；此外，DBM具有显著的成骨诱导活性，负载BMSC易发生骨化无法稳定维持软骨表型，同样制约了其在软骨再生领域的应用。因此如何克服DBM上述缺点，实现基于DBM的稳定软骨再生就成为了亟待解决的关键科学问题。

方法：本研究使用软骨细胞制备无支架软骨凝胶（ECG）并接种于DBM支架，随后回植大动物自体；使用明胶溶液，结合冻干交联技术将DBM孔径精准调控，并提升其力学性能；随后接种种子细胞（软骨细胞/BMSC），回植大动物皮下及关节软骨-骨复合缺损部位；此外，结合共培养技术使用少量软骨细胞与BMSC共混接种，以期实现稳定软骨再生。在完成大动物验证后，经伦理审核，将基于DBM的软骨再生技术成功应用于唇腭裂鼻畸形、半侧颜面萎缩、关节软骨-骨缺损等

多种骨软骨畸形/缺损患者的治疗。

结果：成功制备了具有良好流动及粘附能力的ECG，与DBM结合后成功大动物皮下再生高质量软骨组织；使用明胶对DBM孔径精准修饰后，有效改善了DBM细胞粘附率及孔径结构，负载软骨细胞或BMSC后成功实现大动物皮下高强度软骨再生及关节软骨-骨复合缺损修复；成功利用软骨细胞共培养实现BMSC体内稳定再生软骨。随后项目组完成伦理审核后，在上海交大附属九院、杭州整形医院、胜利油田中心医院等多家三甲医院开展了力学增强型软骨再生技术的探索性临床转化，治疗效果显著。

结论：本研究整合ECG制备、孔径精准调控、软骨体外构建等系列技术，建立了基于DBM的系列软骨再生技术，并实现了探索性临床转化，为多种高强度力学需求软骨、软骨-骨复合缺损患者提空理想的组织再生移植物，具有良好的临床应用前景。

关键字：组织工程；软骨再生；骨髓间充质干细胞；力学强度；临床转化；

ID 3597

多酚介导硫化氢-生物电双相耦合水凝胶重塑再生微环境促进糖尿病牙周炎缺损修复及机制研究

方欣怡[1,2,4]、王军[2]、叶程心月[1,2]、林赳[2,4]、冉金辉[3]、贾占荣[3]、巩靖蕾[2]、张一鸣[3]、向杰[2]、鲁雄[3]、谢超鸣[3]、刘瑾[1]

1. 四川大学华西医院
2. 四川大学华西口腔医院
3. 西南交通大学
4. 浙江大学口腔医院

目的：糖尿病牙周炎组织缺损因其病情严重且预后不佳，是临床面临的棘手问题。过度氧化反应、免疫调节失衡和间充质干细胞功能受损是糖尿病牙周炎实现组织修复再生的巨大挑战。本研究旨在合成一种基于多酚化学的硫化氢-生物电双相耦合水凝胶并探究其促进糖尿病牙周炎缺损修复的作用机制。

方法：基于多酚化学原理，合成多酚介导PEDOT装载的丝素微纤维（PEDOT-PDA-mSF）和缓释硫化氢的牛血清白蛋白纳米颗粒（H2S@BNP），并将其包封于海藻酸钠/明胶水凝胶体系（AG）中，构建一种新型的硫化氢-生物电双相耦合水凝胶。在体外构建高糖炎症微环境（33mM葡萄糖，100 μg/L脂多糖)下的水凝胶-牙周膜干细胞及水凝胶-巨噬细胞共培养体系，探究水凝胶对牙周膜干细胞与巨噬细胞功能状态的影响，通过细胞转录组测序揭示水凝胶效应机制。通过腹腔注射链脲佐菌素及上颌第一磨牙丝线结扎构建SD大鼠糖尿病牙周炎模型，植入硫化氢-生物电双相耦合水凝胶材料，通过Micro-CT及组织学染色检测牙周组织再生效果。

结果：硫化氢-生物电双相耦合水凝胶具备良好的导电性、抗压性及硫化氢缓释特性。水凝胶在体外具有抗氧化和抗炎活性，在高血糖炎症微环境下能够传输内源性生物电，调节细胞排列，增加钙离子内流，促进随后的血管生成和成骨活动。在大鼠糖尿病牙周炎中，水凝胶有效促进牙周软硬组织再生，抑制组织炎症及破骨细胞活性。转录组测序结果提示，硫化氢-生物电耦合的协同作用通过放大干细胞自噬促进骨形成，并通过影响脂质代谢调节巨噬细胞极化。

结论：本研究基于多酚化学机理合成可缓释硫化氢且机械性能匹配牙周力学环境的多酚介导硫化氢-生物电双相耦合水凝胶，为实现糖尿病牙周炎的功能性组织再生提供了一种新策略。

关键字：牙周再生；硫化氢；多酚水凝胶；生物电；免疫调控；脂代谢

ID 3599

金纳米粒子抑制巨噬细胞炎症招募的生物学机制研究

徐剑雄[1,2]、邱菊辉[1]、王贵学[1]

1. 重庆大学 生物工程学院

2. 西华大学 大健康管理学院

目的：纳米粒子因其独特的物理、化学性质，在疾病的靶向治疗、医学成像等方面具有极其广泛的应用和研究。然而，关于纳米粒子在生物体内免疫效应的相关研究却较少。损伤修复和重建是一个复杂且漫长的过程。在这一过程中，处于损伤部位的细胞会大量释放炎症因子/趋化因子招募巨噬细胞到达损伤部位参与组织的重塑和炎症的消退。因此探究巨噬细胞对纳米粒子的摄取以及之后的生物学反应对研究纳米粒子的功能具有重要意义。

方法：本研究C57BL/6小鼠构建皮肤损伤模型，观察纳米粒子对巨噬细胞炎症招募过程的影响。实验首先提取小鼠骨髓造血干细胞，并利用粒细胞-巨噬细胞集落因子将其诱导为小鼠骨髓来源巨噬细胞（BMDMs）。随后对C57BL/6小鼠进行辐照处理，并在辐照5天后，通过小鼠尾静脉注射将金纳米粒子处理后的BMDMs移植到小鼠体内，并构建小鼠皮肤损伤模型，观察金纳米粒子处理后的BMDMs在损伤区域的募集情况，以及小鼠损伤皮肤的愈合情况。

结果：研究发现在小鼠皮肤损伤模型中，金纳米粒子处理后，BMDMs的损伤响应速度明显减慢，其损伤招募过程受到了抑制。进一步的研究发现在损伤发生12小时后，金纳米粒子处理组的巨噬细胞才被部分招募到小鼠皮肤损伤区域。对金纳米粒子处理后的巨噬细胞进行转录组测序分发现趋化因子受体，尤其是Ccr5的表达受到了明显的抑制。同时，金纳米粒子导致的巨噬细胞招募延迟，会影响小鼠损伤皮肤的愈合

结论：通过构建小鼠皮肤损伤模型，结合转录组测序分析发现，金纳米粒子能够通过降低Ccr5的表达抑制巨噬细胞的炎症招募过程。同时巨噬细胞在损伤区域的招募迟缓会进一步对皮肤损伤区域的伤口愈合产生影响。

关键字：金纳米粒子；巨噬细胞；炎症招募；损伤修复

ID 3616

可降解载药微粒构建及其介入栓塞化疗应用研究

郭琼玉

南方科技大学

目的：原发性肝癌预后极差，在全球癌症死亡率中排名第三。经肝动脉化疗栓塞术（TransarterialChemoembolization, TACE）疗法作为局部介入疗法，已成为全球无法手术切除中期肝癌一线疗法，同时也被广泛用于晚期肝癌。然而，目前TACE治疗普遍采用的载药栓塞剂均不可降解且缺乏药物缓释能力。本课题目的是研发降解型药物载体，通过调控降解速度获得在数周内较为恒定的释放曲线，为介入栓塞化疗药物缓释带来新的驱动力。

方法：我们制备基于明胶的可降解载药微粒，通过微流控液滴法精准调控微球形状及载药性能，应用系统的检测手段对所制备的改性明胶微粒的生物相容性、载药能力、降解速度、以及不同降解条件下的药物缓释特性进行系统研究；并通过兔耳模型、兔VX2肝癌模型以及小鼠H22皮下瘤模型测试改性明胶微粒在体内微环境的降解速度和肿瘤局部栓塞化疗及免疫治疗效果。

结果：我们成功开发了改性明胶载药微球，利用反离子聚合效应实现了针对阿霉素等正电药物的高效静电载药（即载药量 >34 mg/mL，包封率 >98%，加载时间 <10 分钟）。这种载药微球在体内表现出表面逐层降解模式，对微球内静电

吸附的药物持续释放方面发挥着至关重要的作用，而且在生物降解过程中可以保持机械完整性，最大限度地减少降解过程中非靶向迁移的风险。在体内实现了长达2个月基于微球降解的持续药物缓释，获得了优越的肿瘤杀伤效果，为 TACE 治疗提供持续的局部药代动力学和持久的深部肿瘤保留能力。

结论：本课题开发的可降解的离子交换药物载体为增强各种局部化疗的长期治疗反应提供了一种有效的策略。

关键字：肝癌，经肝动脉化疗栓塞术，生物降解，载药微球，药物缓释

ID 4359

人工智能促进生物医学工程专业产教研结合

黄棣、魏延、梁紫微、安美文、陈维毅

太原理工大学

目的：随着人工智能技术的发展，生物医学工程领域正经历着前所未有的变革。本文旨在探讨人工智能在生物医学工程专业产教研结合中的应用与影响。通过文献综述、案例分析以及专家访谈等方法，本研究详细描述了人工智能技术在生物医学工程教育、研究和产业实践中的应用现状和潜在价值。结果表明，人工智能不仅提高了生物医学工程教育的互动性和个性化水平，而且促进了科研工作的创新性和效率，同时也为产业发展提供了新的增长点和竞争优势。最终，本文得出结论，人工智能技术的融入对生物医学工程专业产教研结合具有重要的推动作用，并提出了未来研究方向和应用策略。

方法：本研究采用的方法包括：

文献综述：系统地回顾了近年来人工智能在生物医学工程领域的应用文献，以了解当前的研究趋势和热点问题。案例分析：选取了若干个在生物医学工程教育、研究和产业中成功应用人工智能技术的案例，进行深入分析。专家访谈：邀请了生物医学工程领域的专家学者，就人工智能技术的应用前景和挑战进行讨论。

结果：研究结果表明：

在教育领域，人工智能技术的应用使得生物医学工程的教学更加个性化和互动化，提高了学生的学习兴趣和效果。在科研领域，人工智能技术显著提高了数据处理的速度和准确性，促进了生物医学工程领域的研究创新。在产业实践中，人工智能技术的应用为生物医学工程产业带来了新的产品开发和市场机会，增强了企业的竞争力

结论：人工智能技术的融入对生物医学工程专业产教研结合具有显著的促进作用。它不仅改变了教育方式，提高了科研效率，还为产业发展提供了新的动力。未来，应进一步探索人工智能技术在生物医学工程领域的深度应用，以实现更广泛的产教研结合

关键字：人工智能；生物医学工程；产教研结合；教育创新；产业应用

S11
计算×数据×模型驱动医疗范式变革

ID 197

基于移动设备与主题引导注意力网络的日常心理健康预测

王昌宏、许泽举
中山大学

目的：日常心理健康的预测对个人健康和社会稳定具有深远的影响。先前的研究显示了通过移动设备收集的个人多模态行为数据来预测个体日常心理健康指标的潜力，如压力、情绪和焦虑。然而，如何有效地捕捉行为时间序列数据中的长距离依赖性，同时准确地表示特定时期内各种行为的统计分布模式是一个重大挑战。

方法：在本文中，我们提出了一种基于主题引导自注意网络（TGSAN）的端到端日常心理健康预测模型，该模型分别从长距离依赖性和行为分布模式的角度深入挖掘多模态行为数据。在自注意网络中，我们提出了一种多粒度时间编码方法，以注入具有不同粒度的绝对时间信息（即监测期间的哪一天和哪一小时，或者哪一周和哪一天）。通过这种方式，该模型可以从多模态行为数据的时间序列中捕获丰富的长距离依赖性信息，从而有效地表示每个个体的行为周期节律。此外，为了利用行为分布模式来提高模型性能，我们提出了一个主题注意力网络，用于指导长距离依赖性特征的权重分配。该网络利用神经主题模型所提取的主题向量来描述行为分布模式，从而帮助实现对日常心理健康的精确预测。

结果：与最先进的方法相比，所提出的TGSAN在具有不同心理健康指标的数据集上实现了最佳性能。具体地，在Crosscheck和StudentLife数据集上，与DA-LSTM-AE-CR、LGIBG等性能最优的深度学习模型相比，TGSAN在压力和情绪分类任务上的F1分数提高了4.5%和2.3%。在GLOBEM数据集上，与GPT4.0、PaLM2等大语言模型相比，TGSAN在焦虑分类任务上的准确率提高了4.4%和3.3%。

结论：这一研究结果证明了将自注意机制与神经主题模型相结合的有效性和可解释性，以更好地理解不同个体的行为与其心理健康之间的关系。

关键字：心理健康检测，多模态行为数据，自注意力网络，神经主题模型，智能移动设备

ID 1195

基于医疗数据暴露脆弱性分析的临床预测模型差异化隐私保护方法研究

柏菀[1]、田雨[1]、陆遥[2]、李配贤[1]、赵振淞[1]、邓晴[1]、周天舒[2]、李劲松[1,2]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心，杭州310027
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心，杭州311121

临床预测模型训练过程中涉及的患者数据存在着遭受攻击和泄露的风险，这使得在数据安全与模型效用之间寻求

平衡成为一项挑战。本研究旨在通过分析医疗数据的暴露脆弱性，以在确保医疗数据安全的前提下，最小化对模型预测性能的影响。研究提出了一种差异化隐私保护策略，通过多轮成员推理攻击得到数据暴露概率分布并依此进行脆弱性聚类，随着数据脆弱性的增加，添加噪声的层数和噪声等级随之加大。本研究使用了MIMIC-III数据集中的49617份出院报告数据构建预测模型，提出的方法相较已有的保护方法，攻击成功率下降了11.67%，同时模型预测性能有所提升。实验结果表明，本研究针对高暴露脆弱性数据实施强化保护，对于低暴露脆弱性数据采取较为宽松的保护措施，能够确保数据安全性的同时，最大化模型的预测效能。

关键字：差异化隐私保护；医疗数据；临床预测模型；成员推理攻击；暴露脆弱性分析

ID 2588

基于扩散反演的高结构一致性非配对病理图像虚拟染色

熊兵、彭月、张冉冉、陈富强、秦文健

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：虚拟染色利用计算机辅助技术将组织化学染色的组织样本的风格转移到其他染色类型。尽管许多研究人员使用基于 GAN 的虚拟染色方法取得了显着的性能，但这些方法仍然面临着内容和风格无法解释的分离的挑战。基于扩散模型反演的图像编辑技术以高度的内容与风格分离在自然图像中被广泛关注。然而，即便基于扩散反转的图像编辑方法提供了高度分离的内容和风格的潜力，但它们在虚拟染色中的应用仍受到像素级不配对数据、严格的结构一致性要求以及缺乏相应的预训练模型的阻碍。

方法：我们提出了一种精确的反转技术，可以促进可控的样式和内容分离，从而实现有效的染色转移。我们提出的反演技术包括两个关键部分：（1）使用 StainStructPrompt 进行枢轴反演，其中 StainStructPrompt 图像的枢轴噪声反演将结构一致性和风格信息集成到风格迁移的前向过程中；（2）StainPromptLoss，一种针对空提示图像的优化策略，在采样过程中以双链轨迹为指导，以实现对输入图像的保真度和对目标染色风格的真实性。我们的方法提供了一种可靠地对风格可控的高结构一致性虚拟染色方法。

结果：我们对公开的多域未配对染色数据集进行了广泛的评估，证明了高度的结构一致性和忠实的风格转移结果。我们是首个使用扩散模型实现的非配对数据虚拟染色迁移的方法。

结论：在本文中，我们提出了一种基于扩散模型的新型不成对多域染色转移方法。利用图像编辑中扩散反转所表现出的高度内容和风格分离，我们设计了一种双轨迹采样视觉提示优化方法。通过双轨迹采样独立优化视觉提示图，我们学习在反演过程中纠正关键噪声和结构偏差以及风格特征差异，在不改变组织病理学图像语义内容的情况下实现高度结构一致性。 这些改进使我们的方法在临床实践中更加可靠，为病理学家提供了更大的便利。未来，我们的目标是利用空间相关性较低的任意目标类别的参考图像来校正风格特征，从而获得更真实可靠的结果。

关键字：非配对数据图像翻译，虚拟染色，扩散反演

ID 2600

基于双轨逆向LSTM的类风湿关节炎并发症预警模型

余华玉[1]、田雨[1]、欧阳姝羽[1]、李杜白[1]、童丹阳[2]、姜楠[3]、王迁[3]、田新平[3]、李劲松[1,2]

1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院、电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心

2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心

3. 中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院风湿免疫科、国家皮肤与免疫疾病临床医学研究中心（NCRC-DID）、疑难重症及罕见病国家重点实验室、风湿免疫病学教育部重点实验室

目的：过往对RA并发症预测的研究大多未充分考虑病情的动态时序性变化和医疗数据的时间敏感性，限制了其准确性和应用范围。本文旨在开发一种基于双轨逆向LSTM的新型RA并发症预警模型，以解决RA患者病情的动态时序性变化处理与医疗数据时间敏感性问题，从而提高预测的准确性和鲁棒性。

方法：本研究基于中国类风湿关节炎直报项目中的32494名患者。通过构建双轨LSTM，本模型在就诊层级与医疗特征层级上实现了并行数据处理，同时引入逆时序结构用以优先处理患者最新的数据，提升了对医疗数据时间敏感性的响应能力。

结果：实验结果证明，本模型在预警类风湿关节炎并发症方面的性能优于现有模型。通过多次实验评估，模型的F1分数为 0.7497，AUC为0.7723，准确率为0.7081，在95%的置信区间内均表现出统计学显著性。

结论：本研究为RA的并发症预警提供了新的方法与见解，为精准医疗和预防性健康管理在RA的治疗领域的应用奠定了基础。

关键字：类风湿关节炎；并发症预警；时序预测模型；长短期记忆网络；临床决策支持

ID 4036

Study on the Classification of Major Depressive Disorder Based on Individualized Brain-Gut Connection Network Analysis

Wei Wang,Kai Wu

South China University of Technology

Objective: Major Depressive Disorder (MDD) is a prevalent mental illness characterized by low mood and a lack of interest or pleasure in daily activities, often accompanied by cognitive and behavioral changes, and in severe cases, a risk of suicide. The subjectivity of clinical diagnosis and the complexity of the condition make accurate diagnosis of MDD challenging. Research has shown that analyzing the "microbiota-gut-brain" axis through multi-omics approaches holds promise for addressing this challenge. This study aims to diagnose MDD based on individualized brain-gut connection networks and explore the potential biological mechanisms underlying the condition.

Methods: This study enrolled 236 participants from the Affiliated Brain Hospital of Guangzhou Medical University, consisting of 118 MDD patients and 118 healthy controls. First, resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI) data and stool samples were collected from both groups. The rs-fMRI images were preprocessed using the Matlab toolbox, and functional brain networks were constructed using a 246-brain template. Based on fecal metagenomic sequencing, gut microbiota abundance information was obtained, and individualized SparCC methods were used to construct gut networks. Twenty node importance indicators were calculated for each node in the brain and gut networks for each participant.

Individualized brain-gut connection networks were then constructed through Spearman correlation analysis, and feature matrices were built based on the node importance indicators. Next, the connection networks and feature matrices of the two groups were divided into training and test sets in an 8:2 ratio. The Kolmogorov-Smirnov test was used for feature dimension reduction in the training set to identify classification-related features, which were retained in the test set. The dimension-reduced training set data were input into a graph convolutional network (GCN) for five-fold cross-validation and Bayesian hyperparameter optimization. Based on the optimal hyperparameters, the model was retrained and validated using the training and test sets. Finally, the GNNExplainer module was used to identify brain-gut connections that contributed most to the classification performance of MDD, exploring the potential biological mechanisms underlying the occurrence of MDD.

Results: Using the rank-sum test and Bonferroni correction, 7,749 connections were found to be significantly different in the individualized brain-gut connection networks between the MDD group and the healthy control group. Based on the Kolmogorov-Smirnov test, 35 classification-related connections were selected in the training set. These connections were used for five-fold cross-validation hyperparameter optimization in the GCN, resulting in an optimal learning rate of 0.045, weight decay of 1.37e-5, and batch size of 15. The average accuracy of the five-fold cross-validation was 88.8%, with sensitivity, specificity, and F1 scores all at 0.89, and an AUC of 0.97. The model was retrained and tested based on the optimal hyperparameters, yielding a classification accuracy of 83.3%, with sensitivity, specificity, and F1 scores all at 0.83, and an AUC of 0.94. Among the top ten connections contributing the most to MDD classification, the primary brain regions involved were the thalamus, hippocampus, and parahippocampal gyrus. The gut microbiota included Candidatus Cardinium, Dolichospermum, Paraburkholderia, Acidobacterium, Floricoccus, Haematobacter, Koinonema, and Catenulispora.

Conclusion: This study constructed individualized brain-gut connection networks for both MDD patients and healthy controls by integrating connectomics and metagenomics data. We developed comprehensive networks that map the intricate interactions between the brain and gut microbiota at an individual level. Through the application of GCN model, we successfully classified the two groups with high AUC, demonstrating the robustness and efficacy of our method. Moreover, the GNNExplainer interpretability module provided valuable insights by pinpointing specific brain-gut connections that may contribute to the development of MDD. These identified connections offer a deeper understanding of the biological mechanisms involved in the disorder's onset, potentially illuminating new pathways for therapeutic intervention. Our findings underscore the promise of multi-omics analysis of the "microbiota-gut-brain" axis as a novel and powerful tool in the diagnostic process of MDD, potentially leading to more personalized and precise treatment strategies.

Key Words: major depressive disorder; cerebral connectome; metagenomics; deep learning; Individualized brain-gut connection network

ID 4108

A Novel Ensemble Feature Selection for High-Dimensional Electronic Health Records based on Nested Integration Strategy

Xiaoyun Zhang[1],Jianyu Huang[2],Wanqing Wu[1]

1. Sun Yat-sen University

2. General Hospital of Southern Theater Command

Objective: Feature selection, a vital component in classification tasks, is particularly challenging when dealing with Electronic Health Records (EHRs) due to their high-dimensional, low-sample-size (HDLSS) nature. The complexity arises from the need to simultaneously achieve high classification accuracy and select a minimal set of features. Ensemble Feature Selection (EFS) methods have traditionally been employed to address this predicament. Despite their effectiveness, this

study seeks to further refine the feature selection process. We introduce a novel technique, the 2-level Cascading Embedded Feature Selection (2CEFS). This method, specifically tailored for EHRs data, aims to streamline the process by unifying coding and reducing dimensionality, thus offering a more efficient approach to feature selection in EHRs.

Methods: The 2CEFS (Two-layer Comprehensive and Efficient Feature Selection) method is distinguished by its unique two-layer architecture that offers a detailed and effective approach to feature selection in Electronic Health Records (EHRs) data. This method is designed to address the challenges of selecting the most informative and relevant features while maintaining a balance between classification accuracy and feature set size. In the first layer of the 2CEFS method, a parallel filtering structure is utilized, which combines the benefits of filtering, embedding, and packing techniques. This integration is accomplished through a meticulously designed patchwork mechanism, governed by a specific threshold. This innovative approach enables a more efficient and effective selection of features by striking the right balance between classification accuracy and the size of the feature set. Upon completion of the filtering process, the second layer of the 2CEFS method is activated. This layer is dedicated to fusing the findings obtained from the first layer. The fusion process is designed to ensure the extraction of the most informative and relevant feature set, ultimately optimizing the feature selection process. By merging the insights from the first layer, the second layer enhances the overall quality and effectiveness of the selected features.

Results: To evaluate the effectiveness of 2CEFS, we constructed a cardiology clinical laboratory dataset (CCL) with HDLSS properties. This dataset, with nearly hundreds of dimensions, was uniformly coded and processed through 2CEFS. The results indicate that the feature set selected by 2CEFS significantly contributes to the accuracy and generalization performance of the downstream classification task. In the context of myocardial ischemia (MI) pre-diagnosis, the accurate extraction of MI information from high-dimensional EHR (HD-EHR) data is critical. Thus, we applied a feature selection model based on multi-dimensional fusion to perform learning on HD-EHR sequences, achieving feature importance evaluation and dimensionality reduction. The selected features were then fitted through 12 classification models, including a random forest. The performance of our method was evaluated using indices such as receiver operating characteristic curve (ROC), area under the curve (AUC), Accuracy (Acc), and F1 Score. The reduced features trained on a random forest yielded an ACC exceeding 98% on both the training and test sets, and an ACC over 90% on 11 classifiers.

Conclusion: The results of this study highlight the model's ability to skillfully reduce dimensionality while maintaining high interpretability and extensive applicability. In essence, this model makes a notable contribution to the realm of "Computational × Data × Model-driven Medical Paradigm Shifts". It exemplifies the 'computation' facet by employing a cutting-edge feature selection method, which improves the efficiency and effectiveness of data processing.Another key contribution of this research is the development of a cardiac laboratory dataset, representing the 'data' element. This dataset, specifically tailored for myocardial infarction, expands the available health data resources and establishes a solid foundation for continued research and innovation in cardiovascular health.The synergy between the computation and data components drives the model, paving the way for the creation of clinical decision support systems. These systems aid in myocardial infarction screening and early detection, ultimately enhancing patient outcomes and fostering progress in patient care.

Key Words: Electronic Health Records, Feature Selection, Cascading Embedded Feature Selection, Myocardial Ischemia, High-Dimensional Low-Sample-Size Data.

ID 4181

癫痫传播的智能自适应抑制

李彤、王江
天津大学

目的：闭环神经刺激是治疗癫痫的有效方法，目前大多数闭环神经刺激策略都依赖于精确的神经模型。然而，由于神经系统的复杂性和不确定性，建立精确的神经模型十分困难，给控制器的设计带来了巨大挑战。为此，我们提出了一种自适应模糊迭代学习控制（Adaptive Fuzzy Iterative Learning Control, AFILC）框架，旨在无模型或模型不确定的条件下实现有效的神经调控。

方法：本文将癫痫抑制问题转化为跟踪控制问题，通过迫使脑皮层网络模型输出跟踪正常状态的EEG信号，从而抑制癫痫在网络中的传播。基于神经刺激和神经元放电的周期性特点，我们采用迭代学习控制（Iterative Learning Control, ILC）作为主要控制器，并设计了一个模糊优化模块来实时更新ILC控制器的内部参数，以增强控制系统的抗干扰能力，降低初始控制器参数对控制效果的影响。此外，本文基于小世界网络拓扑结构建立了一个由80个节点构成的脑皮层网络模型。基于该网络我们分析了脑网络异常诱发癫痫及致痫区在脑皮层网络中传播的机制。

结果：当脑皮层网络中存在致痫区时，增大节点耦合强度会导致其他区域也出现癫痫样放电。研究结果表明，当脑皮层网络受到干扰时，AFILC算法能快速抑制癫痫在网络中的传播，而ILC算法需要更多的迭代次数才能成功抑制。同时，控制器初始参数对ILC算法影响较大，而AFILC能够实时优化控制器参数，在任一控制器参数初始值下，都能使控制器保持更快的收敛速度，实现癫痫传播的快速抑制。

结论：AFILC算法对癫痫节律性放电及其传播具有显著的抑制效果，具备良好的抗干扰性能，在应用过程中也无需预设控制器初始参数。此外，AFILC算法能够在无模型或模型不确定的条件下对被控系统进行精准控制，展现出其在神经系统疾病治疗过程中的巨大潜力。

关键字：迭代学习控制；模糊控制；癫痫传播；脑皮层网络

ID 4222

A Specialized Chinese Medical Chatbot for Oncology Using Large Language Models

Yiyan Deng[1],Jin Li[1],Yu Tian[2],Jinsong Li[2,3]
1. Nanjing University of Information Science & Techlonogy
2. Zhejiang University
3. Zhejiang Lab

Objective: As global healthcare resources become increasingly constrained and demand for medical services rises, enhancing efficiency and patient experience is crucial, particularly in specialized fields such as oncology. Natural Language Processing (NLP)-based medical dialogue systems are increasingly recognized for their ability to enhance communication between healthcare providers and patients, thereby meeting personalized healthcare needs. Such systems need to provide precise and reliable responses, especially when dealing with critical decisions such as diagnosis and treatment recommendations. Traditional medical language models based on Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT),

such as MedBERT and BioBERT, have shown significant limitations in practical medical dialogue applications in terms of accuracy and efficiency. These models often struggle with efficiency in processing long and complex medical texts and maintaining coherence across multiple dialogue turns. Additionally, they may lack comprehensive coverage of specialized medical terminology, resulting in inaccurate or even harmful responses. Recent advancements in medical Large Language Models (LLMs) such as MedAlpaca-7B and Llama3-OpenBioLLM-70B have advanced the development of medical dialogue systems. However, the lack of high-quality Chinese medical corpora presents a substantial gap in developing LLMs tailored specifically for Chinese medical chatbots. To overcome such limitation, this study introduces Medipac, an 8-billion-parameter model built on the Llama architecture.

Methods: Focusing on lightweight large language models, Llama3-8b exhibits outstanding performance. Therefore, we utilize Llama3-8b-chinese-v2, which has undergone domain-adapted pre-training with extensive Chinese corpora, as our baseline model. Medipac leverages and refines Chinese medical corpora specific to oncology, enhancing these datasets through a comprehensive expansion process. The model is then fine-tuned using the QLoRA (Quantized Low-Rank Adaptation) technique, which efficiently adjusts large models by reducing their memory footprint and computational requirements during training, with minimal trade-offs in fine-tuning effects compared to full-parameter fine-tuning. We employ LLaMA-Factory, an efficient and scalable toolbox for fine-tuning large models, to facilitate this process. The downstream tasks include disease diagnosis, treatment plan recommendation, medication prescription, and guidance on postoperative care and rehabilitation. This approach ensures that Medipac is well-suited to address the needs of oncology-related tasks in Chinese, bridging the gap exhibited in current models.

Results: To evaluate performance of Medipac, we conducted a series of experiments comparing it to a baseline model (Llama3-8b-chinese-v2) across several metrics. Medipac significantly outperforms the baseline model on all BLEU scores, indicating a notable improvement in N-gram precision after fine-tuning. This means the generated text is more similar to the reference text at the lexical level. ROUGE-W increased from 8.47 to 9.64, demonstrating that the fine-tuned model also improved in terms of the overall structure and sequence of the generated text, aligning better with the semantic order of the reference text. The Distinct-1 score increased from 66.62 to 99.45, indicating that the fine-tuned model generates more diverse text. Overall, these results show that Medipac enhances both textual accuracy and content diversity, leading to richer, more varied output and a marked improvement in model quality compared to the baseline.

Conclusion: Our evaluation reveals that Medipac outperforms existing models in the domain of oncology Chinese medical chatbots, demonstrating superior performance and scalability. This suggests that Medipac has the potential to contribute significantly to the development of advanced, high-quality Chinese medical dialogue systems. The model's ability to generate accurate, diverse, and contextually appropriate responses across various oncology-related tasks positions it as a valuable tool for both healthcare professionals and patients. Future work could focus on further expanding Medipac's capabilities, such as integrating it with electronic health records (EHRs) for more personalized responses, extending its knowledge to cover emerging cancer treatments, and adapting it for use in other medical specialties. Additionally, exploring ways to make the medical LLMs more interpretable and transparent in its decision-making process could enhance its acceptability among healthcare professionals.

Key Words: Large language models, Medical dialogue system, Fine-tuning, Oncology

S12
医学人工智能与智慧医疗

ID 143

快速解决泌尿道等腔道感染疼痛等不适症状的创新药物方案研究

徐汉友
诸暨店口中康医院

目的：在临床上，常见到常见病多发病泌尿道感染尿频、尿急、尿痛；急慢性细菌性痢疾的大便疼痛和里急后重；炎症性肠病的大便疼痛和里急后重；及呼吸道感染的咳嗽、咽痛，等多种腔道感染性疾病所造成的疼痛和不适症状，但相关快速解决这些常见病多发病疼痛等不适症状的药物很少，特别是快速解决泌尿道、消化道炎症性疾病疼痛不适症状的药物很少。为了快速解决泌尿道、消化道感染、炎症所造成的疼痛等痛苦症状，本人特研究一项新的创新药物方案。

方法：参照复方甲氧那明、茶新那敏片、复方氨酚烷胺片等符合药物的配方组成，结合现金药物发展，创新研究新的快速解决泌尿道、消化道等腔道炎症性疾病疼痛不适症状的药物。

结果：根据复方甲氧那明胶囊、茶新那敏片及复方氨酚烷胺片的配方组成原理，研究新药。

结论：总结上述研究，创新新的快速解决泌尿道、消化道等腔道炎症性疾病的疼痛不适症状的药物作用原理就是，从现有的消炎镇痛药物和第二代抗组织胺药物组胺H1受体拮抗剂中选出，乙酰氨基酚消与氯雷他定组合，氯雷他定片为长效抗组织胺药物，而且作用迅速，副作用较少，每天常用量为10mg。乙酰氨基酚也为常用的消炎镇痛药，副作用也很少，除了肝功能不全慎用外，临床应用广泛无明显限制。

因此，设计的药物方案为每片含乙酰氨基酚250mg，加上3.5mg的氯雷他定片，组合成复合药物，设计常用量为，1片一天三次，适应症为：可快速治疗泌尿道感染尿频、尿急、尿痛；急慢性细菌性痢疾的大便疼痛和里急后重；炎症性肠病的大便疼痛和里急后重；妇科阴道及附件炎症或疼痛；及呼吸道感染的咳嗽、咽痛、鼻塞、流鼻涕，对于病人的轻度发热也有治疗作用。

本研究创意值得进一步研究，并应用与临床，定能解除病人的痛苦，从而获得巨大的经济效益和社会效益。

经检索，未发现有类似研究报道，因此，值得参考应用。

关键字：新药研究；腔道炎症疼痛；对乙酰氨基酚；氯雷他定；研究设计。

ID 144

居家智能康复对脑卒中患者的有效性及安全性

岳挺[1]、杨国法[1]、宋云锋[1]、毛明明[1]、赵菲[1]、张典[1]、潘钰[2]

1. 晋城市人民医院

2. 北京清华长庚医院

目的：脑卒中是导致残疾和死亡的主要原因之一，迫切需要更加有效的康复策略。近年来，家庭康复技术的进步，包括虚拟现实、康复机器人和经颅直流电刺激，为传统的医院内康复方法提供了潜在的替代方案。本评述旨在评估家庭康复技术在改善中风患者的运动、语言和认知障碍方面的有效性、安全性和依从性。

方法：我们对相关文献进行了全面回顾，重点关注将家庭智能康复技术与传统医院内康复进行比较的研究。纳入的研究包括随机对照试验、单盲研究和自身前后对比的研究，评估了虚拟现实技术、康复机器人和经颅直流电刺激在中风后康复中的效果。

结果：研究发现，家庭虚拟现实技术在中风发作后六个月内显著改善了上肢功能，对轻中度运动缺陷的改善效果可持续超过六个月。康复机器人在中风后早期和晚期阶段均能显著增强上肢功能，Fugl-Meyer评估得分显著提高。早期实施VR康复显示了其可行性和安全性。然而，经颅直流电刺激在认知恢复中的效果呈现混合结果，表明需要进一步研究。此外，研究表明家庭康复对感官障碍的改善有限。

结论：家庭智能康复技术为传统康复方法提供了有前景的替代方案，为中风患者提供了有效、安全且依从的康复选择。这些技术有助于提供持续且可及的护理，可能减少对医疗设施的依赖，并改善患者的生活质量。然而，尤其是在感官和认知结果方面，疗效差异显著，强调了继续研究以优化这些干预措施的必要性。

智能康复系统的引入，为脑卒中患者的居家康复提供了新的解决方案。虚拟现实技术和康复机器人在改善患者上肢和下肢运动功能方面展现了显著潜力，而经颅直流电刺激在认知功能康复中的应用也表现出良好前景。尽管目前证据支持其安全性和有效性，但仍需更多的大样本临床研究以优化干预参数和进一步验证其长期效果。总体而言，这些技术的应用为脑卒中患者提供了灵活、高效且个性化的康复选择。

关键字：中风，家庭智能康复，虚拟现实，康复机器人，经颅直流电刺激

ID 161

面向纸质心电图的大模型研究与应用

章德云[1]、耿世佳[1]、王悦[1]、傅兆吉[1]、洪申达[2]

1. 安徽心之声医疗科技有限公司

2. 北京大学健康医疗大数据国家研究院

目的：心电信号（ECG）能够测量心脏的电活动，是心血管疾病（CVD）的重要筛查工具。尽管对ECG的直接分析更加高效，但近一个世纪以来，纸质心电图（纸质心电图的扫描图或照片）一直是ECG的常见形式。因此，纸质心电图的分析对于CVD管理是至关重要的。本研究旨在研究面向纸质心电图的大模型（EIFM），用于从真实的纸质心电图中准确检测和筛查CVD，以期改善全球CVD的诊断和管理。

方法：我们构建了EIFM，并在一个包含52357名患者的大规模、多地区心电数据集上对两类任务（检测任务/筛查任务）进行内部和外部验证。此外，我们结合微信小程序和CardioLearn®算法开发了一款名为“心声识图”的应用程序。该

应用能够通过拍照或上传纸质心电图实现实时分析，并采用Grad-CAM技术对EIFM分析结果进行可视化解释，辅助医生进行诊断。

结果：EIFM在检测任务中展现了卓越的性能，其在内部测试集和不同外部测试集的平均ROAUC分别为0.996（内部）、0.994（外部1）、0.984（外部2）和0.979（外部3）。在与CVD专家诊断的相关性分析中，EIFM检测结果与专家诊断高度相关（专家1: R=0.794, p<1e-3；专家2: R=0.812, p<1e-3）。在筛查任务中，EIFM的ROAUC在内部测试集和外部测试集中分别为0.894和0.850。此外，在使用真实世界数据进行筛查测试时，其筛查性能（ROAUC）优于CVD专家（EIFM（0.846）vs.专家1（0.520）vs.专家2（0.480））。此外，“心声识图”与大模型在相同数据上的筛查结果高度相关（R=0.999, p<1e-3）。

结论：EIFM作为一种创新的CVD检测和筛查工具，以其准确性、客观性、易用性、快速性和成本效益，为医疗保健专业人员、护理人员以及普通用户提供了一种有效的纸质心电图评估方法，具有在真实世界环境中广泛应用的潜力。

关键字：纸质心电图；人工智能；大模型；真实世界分析；移动健康应用

ID 207

基于深度学习的ECG-PPG无创连续血压估计算法研究

王悦[1]、章德云[1]、耿世佳[1]、傅兆吉[1]、洪申达[2]

1. 安徽心之声医疗科技有限公司
2. 北京大学健康医疗大数据国家研究院

目的：心血管疾病是世界上最常见的死亡原因之一，其中血压水平的变化与心血管疾病风险密切相关，持续监测血压对于评估健康状态意义重大。目前，大多使用袖带和侵入性导管进行血压测量，既不方便，更无法实现长期连续的血压监测。因此，本研究基于深度学习模型，研究了使用同步ECG-PPG信号进行连续无创血压估计的人工智能算法，并进行了真实世界验证。

方法：首先，我们将包含同步ECG-PPG信号的公开数据集MIMIC-II按照人以8:2划分为训练和测试数据。接着，我们构建了一个浅层U-Net模型作为基础网络，使用MSE损失作为损失函数。然后，我们将ECG与PPG拼接后输入U-Net模型，并通过跳跃连接将ECG-PPG信号作为补充信息嵌入到模型特征提取的过程。在模型训练完成后，我们将算法部署为云服务，通过便携式设备问心无恙®采集ECG-PPG信号，并进行血压实时估计。最后，我们随机选取了10位具有不同生理特征的测试人员，使用问心无恙®进行了真实世界验证。

结果：本研究提出方法在公开数据集的测试集上收缩压（SBP）和舒张压（DBP）的平均绝对误差（MAE）分别为5.0mmHg、3.1mmHg，标准差（SDE）分别为7.9mmHg、4.7mmHg。在真实世界验证中，SBP的MAE和SDE分别为4.9mmHg和6.6mmHg，DBP的MAE和SDE分别为3.9mmHg和4.9mmHg。实验结果的平均绝对误差小于5mmHg，绝对标准差小于8mmHg，满足美国医疗器械促进协会（AAMI）的标准要求。

结论：我们提出了基于深度学习的无创连续血压估计算法，该方法能够结合同步ECG-PPG信号，实现较为准确的血压估计，实验结果表明了该方法的有效性和实用性。

关键字：ECG；PPG；U-Net；血压估计

ID 208

基于联邦学习预测多中心非小细胞肺癌患者治疗反应

刘源、邱建峰
山东第一医科大学

目的：多中心的非小细胞肺癌患者数据具有丰富的信息，但由于涉及不同医疗机构和法规的限制，直接整合这些数据变得异常困难。传统的集中式机器学习方法需要将这些敏感的医疗数据集中进行训练，可能会引发患者隐私泄露和数据安全问题。在这一背景下，联邦学习作为一种分布式机器学习框架，引起了广泛关注。联邦学习通过将数据保留在本地进行模型训练，后将模型参数聚合，成功地解决了这一矛盾，使得多中心数据能够在保障隐私的同时发挥最大的效益。

本研究基于非小细胞肺癌患者放化疗前的放疗靶区计划图像，通过联邦学习方法，设计一个多中心治疗反应预测模型，用以预测接受放化疗的非小细胞肺癌患者的病情缓解概率，使其既能保护医疗数据的隐私，又能得到较高的准确率，为临床治疗决策提供参考依据。

方法：回顾性收集中国四家医院接受放化疗治疗的非小细胞肺癌患者放疗前的计划CT图像，依据纳排标准，共收集到245例非小细胞肺癌患者资料。基于处理后的3D形式的CT图像，在模拟环境下使用两个站点数据比较了集中式深度学习模型和联邦学习模型的性能。由于第四家医院（医院D）数据不可获得，另在真实世界中构建了三个站点训练的联邦模型。使用准确度、受试者工作特性曲线下面积以及混淆矩阵等进行评估。

结果：使用联邦学习方法得到的模型预测性能优于传统集中式学习方法。其中在模拟环境下建立的深度学习模型AUC值为0.718/0.695，联邦学习模型AUC值为0.725/0.689。在真实环境下建立的联邦学习模型AUC值为0.698/0.672。

结论：现有研究在多样性方面存在显著局限性，特别是联邦学习在疗效评价方面的研究尚未得到充分探索。另外，在真实环境的应用方面同样存在局限，大多数研究主要集中在有限的模拟环境中进行实验。本研究通过协调多个医疗中心的数据，结合卷积神经网络开发的联邦学习模型性能和传统集中式深度学习模型性能相当，可以在保护隐私的前提下有效预测非小细胞肺癌患者的放化疗治疗反应。

关键字：非小细胞肺癌；放化疗；深度学习；联邦学习；治疗响应

ID 382

基于生成式人工智能的DSA图像实时插帧算法研究和大规模临床验证

赵煌旋[1]、王兴刚[2]、刘志成[3]、郑传胜[1]
1. 华中科技大学同济医学院附属协和医院
2. 华中科技大学电子信息与通信学院
3. 首都医科大学生物医学工程学院

目的：数字减影血管造影（Digital subtraction angiography，DSA）成像技术已用于全身各种疾病的微创介入手术，每次手术需对患者实施多次DSA扫描，导致医生和患者都暴露于显著的辐射伤害。受生成式人工智能（Generative artificial intelligence，GenAI）技术的启发，本研究将提出一种基于生成式AI模型的DSA图像插帧算法GenDSA，显著降低DSA放射辐射剂量。

方法：我们首先开发了GenDSA算法用于在每个真实帧之后生成1帧、2帧和3帧图像序列；然后构建了一个用于预训练、微调和验证算法的大规模数据集，该数据集包含来自10家医院27,117名患者的约300万张DSA图像；最后使用了另外两个来自25家医院的数据集进一步评估GenDSA的效果。客观评估指标包括SSIM和PSNR。主观评分由五名介入放射科医生使用Likert量表和视觉图灵测试独立评估生成帧的质量；使用KendaII一致性系数（W）测量放射科医生之间的评分一致性；Fleiss' kappa值用于视觉图灵测试的一致性分析。

结果：GenDSA生成的DSA视频序列仅需使用1/3的扫描帧率就能生成与全帧率几乎一致的视频序列，即使用我们的GenDSA后辐射剂量可降低至临床现有方案的1/3。客观评估表明，GenDSA的性能（PSNR=36.83，SSIM=0.911，生成时间=0.07秒/帧）超越了视频插帧领域最先进的算法。五位医生的主观评分和统计结果表明，真实视频和我们生成的视频之间没有显著差异。此外，生成视频在整体质量（4.905 vs. 4.935，5分制）和病变评估（4.825 vs. 4.860，5分制）方面与真实视频得分相当。

结论：GenDSA具有明确的临床转化价值，可以在DSA引导的手术过程中显著减少医生和患者的辐射损伤。

关键字：低剂量数字减影血管造影技术；图像插帧；生成式人工智能；GenDSA算法

ID 461

腰椎穿刺手术机器人针头与组织交互状态辨识与精准定位控制

李红兵

上海交通大学

目的：腰椎穿刺手术在重大危急类疾病的快速诊断与精准治疗以及常规麻醉中都有着巨大的临床实际应用价值。然而，当前基于“手动盲穿”的手术方式存在针头定位难、医生负担重、患者痛感强、一次成功率低、手术效果差、装备智能化水平低、易产生并发症等问题，制约了腰椎穿刺手术临床应用价值的实现，限制了腰椎穿刺手术的诊疗效果。为此，将机器人技术与腰椎穿刺手术相结合，研究特别适用于腰椎穿刺手术的机器人机构设计技术、主从控制方法以及相关针头位置控制方法具有重要的科学意义和临床实际应用价值。

方法：针对当前临床腰椎穿刺手术装备智能化水平低的问题，本研究提出了一种主从式遥操作腰椎穿刺手术机器人系统，该机器人系统可以模拟现有临床医生的穿刺手术操作手法，实现对穿刺针姿态的调整；为了实现手术操作者对从端机器人与人体组织的交互力感知，本研究提出了主从式穿刺手术末端针头穿刺力的增强力反馈方法；为了实现针头在组织内的精准定位，本研究提出了基于神经网络的针头与组织交互状态智能辨识方法，实现了遥操作穿刺机器人的针头精准定位控制。

结果：通过人体组织模型的主从式穿刺手术实验表明，本文所提出的主从式遥操作穿刺手术机器人能够将针与组织的交互力增强反馈给操作者；本文所提出了基于神经网络的针头状态辨识方法可以实现对针头与组织的交互状态进行精准判断，实现了针头在组织内的精准定位控制。

结论：本文提出的多自由度主从式遥操作腰椎穿刺手术机器人系统有望提高当前腰椎穿刺手术装备的智能化水平，提高腰椎穿刺手术的诊疗效果。

关键字：手术机器人，腰椎穿刺手术，主从遥操作，针与组织交互力感知，神经网络

ID 472

Development and External Validation of A Machine Learning Prediction Model for Intraoperative Blood Transfusion Risk in Patients With Severe Lumbar Disc Herniation Undergoing Posterior Lumbar Interbody Fusion: A Cohort Study Based on Large-sample Multi-center Electronic Health Data

Antian Chen[1],Zhaohui Hu[2],Qiang Liu[3],Wenle Li[2,4,5]

1. Fuwai Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College/National Center for Cardiovascular Diseases

2. Department of Spinal Surgery, Guangxi Medical University Affiliated Liuzhou People's Hospital

3. Department of Orthopedics, Xianyang Central Hospital

4. State Key Laboratory of Molecular Vaccinology and Molecular Diagnostics & Center for Molecular Imaging and Translational Medicine, School of Public Health

5. Key Laboratory of Neurological Diseases, The Second Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University

Objective: Research on blood transfusion for Lumbar disc herniation (LDH) patients after posterior lumbar interbody fusion (PLIF) is limited. In this multicenter retrospective study, we aimed to provide an experience from China in using a comprehensive machine learning model to predict intraoperative blood transfusion.

Methods: This registered multicenter study included 6,241 patients from 22 medical centers across China. Inclusion criteria included: 1. Patients diagnosed with LDH by imaging and examinations and accompanied by clinical symptoms; 2. Patients who have received PLIF treatment; 3. Complete clinical records; 4. Blood test results before surgery, including blood routine, coagulation parameters, and liver and kidney function; and 5. Patients without other obvious surgical complications. Exclusion criteria included: 1. Patients without LDH; 2. Patients not treated with PLIF; 3. Accompanied by other obvious comorbidities or malignant tumors; 4. Lack of necessary medical records (>5% missing). A comprehensive analysis was achieved by applying 8 feature selection approaches, including Boruta, univariate screening (US), least absolute shrinkage and selection operator (Lasso), support vector machine recursive feature elimination (SVM-RFE), simulated annealing support vector machine recursive (SA-SVM), and genetic algorithm support vector machine recursive (GA-SVM). We developed 10 machine learning algorithms, including decision tree (DT), efficient neural network (ENet), k-nearest neighbors (KNN), light gradient boosting machine (LightGBM), logistic regression (LR), multilayer perceptron (MLP), random forest (RF), SVM, extreme gradient boosting (XGBoost), and Lasso meta-model based stacked ensemble model. The comprehensive stacking model was built using the stack R package. First, the training set is divided into several (usually 5 or 10) groups. A basic model, such as DT, is then fitted on 4/5 or 9/10 of them and used to predict the left group. The process is repeated for each divided individual group. Subsequently, the basic model is applied to the entire training dataset and predictions are made on the test set. This process was repeated for all basic models. The predictions from the training set were used as features to construct a new comprehensive ensemble model. Finally, this ensemble model is employed to perform ultimate predictions on the test prediction set. The optimal model was chosen based on the receiver operating characteristic area under the curve (AUC-RCO), and the parameters needed. Calibration curve and decision curve analysis were adopted for evaluation.

Results: Among 80 combinations of feature selection approaches and machine learning models being evaluated on 4 test datasets, we first evaluated all possible joints by AUC-ROC. GA-SVM + stacking showed the highest 0.886 AUC-ROC, followed by SA+SVM + stacking with an AUC-ROC of 0.884. Simply pouring all features without selection into the KNN model led to the worst AUC-ROC, which was only 0.755. Though GA-SVM + stacking led SA+SVM + stacking by 0.002, it required more features (18 versus 16 features). Taking the clinal convenience of usage into consideration, SA-SVM + stacking was regarded as the best combination since it achieved an almost optimized AUC-ROC with few features. For further analysis, the calibration curve and DCA were evaluated for the SA-SVM + stacking model in all 4 test datasets. DCA aimed to assess the clinical benefit of the chosen prediction models. In DCA, the x-axis refers to the range of threshold probabilities from

0% to 100%, indicating where a clinician would decide that the benefit of treatment outweighs the harm. The y-axis represents the net benefit reflecting the benefit of predicting true positives minus the harm of predicting false negatives. In all 4 test datasets, the curve of the predictive SA-SVM + stacking model was spotted to be almost entirely above the 'Treat All' and 'Treat None' lines with a threshold of more than 90%, indicating that the model could provide better guidance in decision-making than either extreme approach. The calibration curve measures how well the probabilities of the event correspond to the actual outcome in real cases. It is represented with the predicted probability midpoints on the x-axis and the observed event rates on the y-axis. In our analysis of all 4 test datasets, the line of the model deviated from the line of perfect calibration when predicted probabilities were lower, suggesting underestimations of the event risk. However, as the predicted probabilities increased, the model's calibration line approached closer and nearly coincided with perfect calibration, implying a more accurate prediction for a higher risk of blood transfusion after PLIF. Also, the Brier score was lower than 0.01 in all test datasets, indicating that the prediction of the SA-SVM + stacking model was overall accurate. The SHAP approach was adopted to make the SA-SVM + stacking model explainable by quantifying the impact of each feature on the prediction. A publicly accessible web calculator was constructed for clinical usage (https://nicolazhang.shinyapps.io/TransFusion_LDH_PLIF/).

Conclusion: This study successfully established a comprehensive integrated machine-learning approach to predict intraoperative blood transfusion for LDH treated with PLIF. The integrated model has been published online for usage by clinicians.

Key Words: lumbar disc herniation; posterior lumbar interbody fusion; blood transfusion; machine learning; calculator

ID 619

Risk Factors Analysis on The Pedicle Screw Placement Deviation Between Robot-assisted MIS-TLIF and UBE-LIF: A Comparative Study

Tianci Yang,Jiaguang Tang

Beijing Tongren Hospital Affiliated to Capital Medical University

Objective: To investigate the potential risk factors influencing the pedicle screw placement deviation between robot-assisted minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MIS-TLIF) and unilateral biportal endoscopic lumbar interbody fusion (UBE-LIF).

Methods: Clinical data of 65 patients treated with robot-assisted MIS-TLIF and UBE-LIF from July 2020 to April 2023 in the Department of Orthopedics of Beijing Tongren Hospital Affiliated to the Capital Medical University were included. The research data were collected from the medical record system and the imaging system of the hospital. The potential risk factors of both patient characteristics and surgical factors for poor placement of robot-assisted pedicle screws were examined by single factor analysis. For variables statistically significant in the univariate test, logistic regression analysis was further used to identify the independent risk factors for the poor pedicle screw placement.

Results: A total of 65 patients were included in the analysis, including 53 cases of MIS-TLIF (81.53%) and 12 cases of UBE-LIF (18.46%), with 290 pedicle screws placed in total. The patients include 37 males and 28 females, aged at 58.85±13.41 years old (from 26 - 81). Among whom, 26 cases (or 40%) were of lumbar disc herniation, 36 cases (or 55.38%) of lumbar spinal stenosis, and 3 cases (or 4.62%) of lumbar spondylolisthesis. The mean BMI was 25.63±3.48 kg/m2. In addition, 11 cases were smoking patients (16.92%) and 54 cases non-smoking patients (83.08%).Among the 290 pedicle screws placed, 215 screws were of grade A, 35 of grade B, 25 of grade C, 7 of grade D, and 8 of grade E. The satisfaction rate (grades A and B) was 86.21% (n=250), and the dissatisfaction rate (grades C, D, and E) was 13.79% (n=40). Single factor analysis was performed

on the potential risk factors, and the statistical analysis results of each risk factor were shown in Table 3. The results show that sex (p=0.067), age (p=0.083), smoking history (p=0.760), and screw position (p=0.307) were not statistically significant between the satisfied and the dissatisfied groups. But the difference in BMI was found statistically significant between the satisfied group and the dissatisfied group (p=0.045). In the obese patients (BMI≥ 30 kg/m2), the screw dissatisfaction rate (15.38%, 4/26) was higher than that in the normal and the overweighted patients (13.63%, 36/264). The screw accuracy of the patients with lumbar disc herniation (23.63%, 26/110) was lower than that of those with lumbar spinal stenosis (8.54%, 14/164) and lumbar spondylolisthesis (100%, 0/16). During decompression, there was a statistical difference between the two groups (p=0.041). The screw dissatisfaction rate on the decompression side was 17.93% (26/145), and that on the non-decompression side was 9.66% (14/145). There was a statistical difference between the two groups in the operation time (p=0.002). The screw placement deviation rate was 9.80% (20/204) when the operation time was longer (≥180 min), and 23.81% (20/84) when the operation time was shorter (< 180 min). The location of the pedicle screws inserted has a statistically significant influence between the satisfied group and the dissatisfied group (p=0.000). The dissatisfaction rate of S1 pedicle screws (52.63%, 20/38) was higher than that of L3, L4, and L5 pedicle screws (7.94%, 20/252) (p=0.000). The binary logistic regression analysis on the above variables with statistical differences include: BMI, diagnosis, intraoperative decompression side, operative time, and screw-placed vertebral body. Binary Logistic regression analysis showed that the independent risk factor for unsatisfactory pedicle screw placement was intraoperative decompression (on the decompression side) (OR, 3.156; 95% CI, 1.362-7.311; p=0.007). The ROC curve was plotted for the independent risk factor of the intraoperative decompression, and the area under the curve was 0.602.

Conclusion: The decompression is found to be an independent risk factor influencing the screw placement deviation during the robot-assisted MIS-TLIF and UBE-LIF surgeries. And special attention should be paid to the guide needle and screw orientation during the screw placement after decompression.

Key Words: Robot-assisted surgery; minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MIS-TLIF); unilateral biportal endoscopic lumbar interbody fusion (UBE-LIF); pedicle screw placement accuracy; risk factors

ID 709

“AI+药物计算”-新时代的临床个体化精准用药

于泽[1]、张津源[1]、郝昕[2]、李雪纯[2]、张夏菲[1]、陈世璠[1]、高飞[1]

1. 北京诺道认知医学科技有限公司
2. 大连诺道认知医学技术有限公司

目的：传统临床用药方式多基于药品说明书、指南共识，常出现千人一药、千人一量的情况，难以实现因人施治的个体化用药。而治疗药物监测（TDM）与药物基因组检测（PGx）是临床个体化精准用药的两大技术手段。临床上常用PGx来选择适合的药物，而用TDM来观测药物在体内的暴露情况从而进行剂量调整。既往TDM应用需要基于群体药动学模型和药动/药效学模型等提供剂量建议，但这些模型仅靠有限的临床参数和指标，并不适用于临床复杂情况。人工智能(AI) 技术可通过挖掘大规模真实世界用药数据，筛选出更多影响药物作用的特征，并构建更加实用并且准确的个体化精准用药模型。

方法：本研究团队从2019年起应用 AI 技术构建个体化用药模型，构建流程主要包括数据准备、特征工程、模型训练和预测、测试和验证，其中使用多种先进的算法，如XGBoost、LightGBM、Tabnet等，最后将模型软件化并在医院信息化系统中布署应用。

结果：本团队自主设计了一体化技术平台，并建立了万古霉素、华法林、他克莫司、利培酮等多种窄治疗指数药物的个体化用药模型，覆盖感染类疾病、精神神经疾病、移植及自身免疫性疾病等多个病种，已在国内10余家头部三甲医

院上线使用。其中成人万古霉素、华法林剂量计算模型得到中国药理学会定量药理学专委会“模型引导的精准用药2021版专家共识”引用，儿童万古霉素剂量计算模型收录于美国辛辛那提儿童医疗中心发表的综述。2023年10月，国家药品监督管理局正式受理“万古霉素个体化用药计算软件”创新医疗器械特别审批申请，这也是国内外首款申报III类医疗器械的“AI+药物计算”软件。

结论： AI 技术在临床个体化精准用药领域的应用取得了显著进展，极大提高了临床个体化治疗水平，减少药物不良事件的发生，同时显著降低患者住院总费用，为临床提供了更精准、安全、经济的个体化精准用药方案。

关键字： 人工智能；药物计算；真实世界数据；个体化精准用药

ID 749

基于轻量化卷积神经网络的可穿戴睡眠呼吸暂停智能检测系统

雷昊、刘官正

中山大学

目的： 睡眠呼吸暂停（SA）是睡眠呼吸障碍中最常见的疾病，全球约有十亿人受其影响。SA会导致睡眠碎片化，影响神经认知功能，并与中风、糖尿病、高血压等疾病相关。在临床中，多导睡眠监测仪（PSG）是诊断SA的金标准，但其过程复杂且耗时。本研究旨在基于单导联光电容积脉搏波（PPG）信号，开发一种适用于基层医疗和家庭环境的SA自动检测系统，以实现低成本的大规模SA筛查。

方法： 我们与中山大学第六附属医院合作，收集了92例患者的PSG数据和可穿戴手环的PPG信号。基于这些数据，我们构建了一种轻量化多尺度部分通道卷积网络SA检测模型，该模型在轻量化的同时实现了SA事件的快速高精度检测。模型由多尺度特征提取模块和部分通道卷积模块构成。多尺度特征提取模块通过提取不同尺度的特征并在尺度层面进行注意力标定，挖掘信号与SA事件之间的时间依赖关系，显著提升模型的识别精度和表征能力。部分通道卷积模块只处理部分特征图，减少了计算冗余，且模块中间层特征会与未处理特征间交叉互换，以实现特征复用，从而更好地融合浅层和深层信息，提升模型识别能力并防止退化。为应对数据类别不平衡，我们引入了平衡自适应方法和Focal Loss。我们基于该轻量化算法开发了一套SA检测系统，通过手环实时检测并记录睡眠时的PPG信号，并将数据发送至手机进行分析，生成诊断报告。

结果： 通过五折交叉验证对模型进行评估，在片段检测层面模型实现了81.9%的准确率、75.1%的敏感性和84.6%的特异性；在个体诊断层面，模型的准确率、敏感性和特异性为92.7%、76.0%和97.6%，AHI的绝对平均误差仅5.29。模型的参数量仅为1.58M，易于模型的部署。基于该模型开发的可穿戴SA检测系统能够在开放环境下实现高精度的SA自动检测。

结论： 本研究构建了一种高精度的轻量级SA检测模型，并针对性的设计开发了一套可穿戴SA检测系统，实现了在真实开放环境下SA的居家检测。

关键字： 睡眠呼吸暂停；轻量化卷积神经网络；可穿戴睡眠监测系统

ID 870

人工智能在体外生命支持（ECLS）中的应用、挑战与未来展望

邓丽
高州市人民医院

目的：本文旨在探讨人工智能（AI）在体外生命支持（ECLS）领域的应用现状、面临的挑战以及未来的研究方向和可能性。ECLS作为重症患者的重要治疗手段，其应用过程中的决策支持和患者监测对医疗效果具有重要影响。本文通过分析AI在ECLS中的应用，为未来的研究和实践提供参考

方法：本文首先深入探讨了ECLS的重要性和其所面临的挑战，然后详细阐述了AI在ECLS中的应用。AI通过数据驱动的决策支持，能够整合并分析来自患者监护仪、实验室检测及影像资料等多源异构数据，为医生提供实时的病情评估与治疗方案推荐。此外，AI还能构建高精度的预测模型，例如，基于深度学习算法的预后预测模型，其预测ECMO患者生存率的准确率可达90%以上。同时，AI技术还能实现对患者生命体征的连续、无间断监测，及时发现异常信号并预警潜在风险。然而，AI在ECLS中的应用也面临诸多挑战和限制，如数据质量和可用性、模型的解释性和可靠性以及伦理和法规问题。

结果：AI在ECLS领域的应用已逐渐展现出其巨大潜力。通过数据驱动的决策支持和预测模型，AI能够辅助医生进行更加精准、高效的决策，从而优化患者监测流程，提高ECLS的治疗效果。然而，尽管AI在ECLS中取得了显著成效，但仍面临诸多挑战和限制。数据质量与可用性是制约AI性能的关键因素，而模型的解释性与可靠性问题也可能引发临床信任危机。此外，伦理与法规问题也是AI在医疗领域推广过程中必须面对的重要议题。

结论：人工智能在ECLS领域具有巨大的潜力和未来的可能性。通过克服当前面临的挑战和限制，AI有望为ECLS提供更加精准、高效的决策支持和患者监测，从而提高重症患者的生存率和生活质量。

关键字：人工智能 体外生命支持 数据驱动

ID 1042

“数字化赋能精准医学新技术”—3D导板在小儿先天性脊柱侧弯临床应用与研究

詹美智[1]、蔡幸健[1,2]
1. 南昌大学江西医学院
2. 南方医科大学南方医院赣州医院

目的：本研究旨在结合医学数字建模与3D医学影像新技术，探讨3D数字导板在辅助小儿先天性脊柱侧弯椎弓根螺钉内固定的治疗效果。

方法：根据纳入标准以及排除标准，回顾性分析2020年6月至2023年6月在院治疗的35例小儿先天性脊柱侧弯患者资料，其中2020年6月至2022年1月中有17例采用传统徒手操作进行螺钉内固定（传统手术组），2022年1月-2023年6月中有18例采用个性化3D数字导板辅助螺钉内固定（数字导板组）。比较两组在围手术期、术后恢复效果（随访）以及影像数据等资料，采用SPSS 23.0软件分析数据结果，所有数据以`X±s表示，组内两时间点比较采用配对T检验，P≤0.05认为有统计学意义。

结果：1.两组患者均完成手术，术中神经电生理监测均无神经损伤，数字导板组的手术损伤、手术时间、术中出血

量等指标均显著优于传统手术组，差异具有统计学意义（P<0.05）；2.术后随访数字导板组Cobb角显著小于传统手术组，具有统计学意义（P<0.05），有效矫正率优于传统组；3.影像复查显示:数字导板组螺钉内固定无失效、无松动，而传统手术组出现2例置钉失败。

结论：1、本研究基于数字影像数据所建立的脊柱畸形模型，能真实反映脊柱的三维立体结构，具有三维可视化的优点；2、3D数字导板能有效的辅助小儿先天性脊柱侧弯的治疗，保证精准植入椎弓根螺钉，降低神经、血管损伤的风险；3、现行常规术式通过徒手置钉，不仅手术难度大、风险高且术后易发生并发症，通过3D打印导板可清晰展示每枚椎弓钉的植入位置与角度以及椎弓根、椎管、椎体的关系，可有效防止误伤椎管内神经和椎体附近重要结构，提高手术安全性。实现椎弓根螺钉的精准植入，同时为小儿先天性脊柱侧弯治疗提供数字医学的新思路与新方法。

关键字：数字化；3D导板；先天性小儿脊柱侧弯；智能医学

ID 1068

基于光流和深度信息的立体腹腔镜姿态估计方法

连若琪、贾富仓
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：微创手术已成为现代外科手术的一个重要发展方向。微创手术难度高，增强现实导航可以有效提高手术的精准性和安全性。增强现实导航中精确估计腹腔镜的姿态至关重要。有效的腹腔镜姿态跟踪能够实现低负荷长时间增强现实导航。然而经典的腹腔镜姿态跟踪主要单纯依赖光流或深度方法，精度低；在手术动态视觉场景下，稳定性经常受到影响。本文旨在通过融合光流和深度信息提高姿态估计的准确性。

方法：本文提出了一种基于深度和光流估计的立体腹腔镜姿态估计方法。本方法是在视觉测距框架下，首先利用深度声明网络（DDN）从立体腹腔镜视频中提取关键视觉特征如深度和光流，得到权重图。基于提取的权重图计算2D残差和3D残差两种几何损失，这些损失用于准确评估相机姿态估计中的误差。引入结构相似性指数（SSIM）来优化学习过程中的权重图，以提高姿态估计的精度和适应性结合SSIM指数的权重图不仅基于像素级误差，还根据图像区域之间的结构相似性动态调整，使得权重分配更加合理，尤其是在图像中有高度变化或模糊区域时。在深度信息和光流信息的提取中，微调层次立体匹配HSMNet网络进行深度估计，充分利用其在处理高分辨率图像方面的优势；利用循环全对域变换（RAFT）算法进行光流估计，以其适应性强和精细的运动捕捉能力确保了动态场景中的高精度跟踪。 最后，使用优化后的权重图，通过准牛顿方法L-BFGS来精确估计视频每一帧的相机姿态。

结果：在公开数据集SCARED数据集和部分体内数据集StereoMIS进行实验。本文使用绝对轨迹误差ATE-RMSE来评估轨迹的整体形状，在同一测试序列中本文的方法误差为10.6mm，比现有先进的SLAM方法误差更小，精度提高。实验结果表明，本文提出的融合光流和深度信息的相机姿态估计方法提高了准确性和鲁棒性。

结论：该基于图像结构相似性信息权重融合光流和深度信息，有效地进行不同几何损失计算，提高了3D腹腔镜姿态估计的性能。

关键字：腹腔镜 姿态估计 光流信息 深度信息 结构相似性指数

ID 1094

基于SAM的三维自适应并行医学图像分割模型

吕金轩、董续豪、周谊航、朱燕杰、王海峰、梁栋
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：SAM是由Meta提出的第一个通用分割大模型，在众多自然图像分割任务中表现出了令人印象深刻的性能。然而，由于医学图像和自然图像之间存在巨大的差异，直接将SAM应用于医学图像分割任务的效果并不理想，甚至与现有的医学图像分割模型相比还有较大的差距。基于上述挑战，本研究旨在提出一种基于SAM的高性能三维医学图像分割模型，以实现在不同的三维医学影像数据集上均能保持较高的分割性能，为临床诊断和治疗提供更为可靠的辅助工具。

方法：首先我们使用一种高效的参数微调方法来实现将SAM模型快速迁移至医学图像领域，同时为了克服现有研究在细节感知和信息丢失方面的局限性，我们采用基于CNN的多级级联解码器来替换原始解码器。此外，由于原始的SAM二维骨干网络无法利用医学图像中的三维信息，为此我们额外设计了一个三维分割分支来提取有用的三维信息，同时使用一个特征融合模块来为二维骨干网络注入丰富的三维信息。

结果：我们分别在BTCV数据集、Sliver07数据集、MM-WHS数据集、以及来自三个公共数据集的六个前列腺T2加权MRI数据上验证了我们的方法。同时我们还与行业内其他方法进行了对比，包括：3D UNet、nnUNet、UNETR、Swin UNETR、nnFormer、SAMed、MA-SAM，相较于这些方法我们提出的方法无论是在分割精度、分割细节还是分割结构完整性上都有显著提升，最高可达20%的性能提升。

结论：从最终的实验结果看，我们提出的方法相较于传统的基于CNN和Transformer方法提升巨大，这主要得益于大模型强大的特征学习能力。同时，由于我们的模型更加注重医学影像三维信息的利用，因此相较于现有基于SAM的医学分割模型也具有显著的提升。此外，值得注意的是，由于我们方法强大的特征学习能力，相较于现有基于SAM的工作，模型的收敛速度得到了显著提升。

关键字：SAM、3D、分割、医学影像、特征融合

ID 1210

全球AI医疗器械临床试验注册现状分析

卢岩、陈娟、张婷、欧阳昭连
中国医学科学院医学信息研究所

目的：分析全球AI医疗器械临床试验注册现状，为AI医疗器械的临床研究及应用提供参考。

方法：在ClinicalTrials.gov中检索AI医疗器械相关临床试验，运用文献计量学方法，分析全球AI医疗器械临床试验的注册数量和年度变化趋势、国家/地区分布、申办者类型及构成情况、代表性临床试验机构和PI、研究类型及试验分期、适应证分类和特征。

结果：全球AI医疗器械临床试验共2494项。全球超过60个国家/地区开展了AI医疗器械临床试验，美国相关临床试验908项，包括我国在内的其他国家/地区均不足300项。全球申办者中，高校/医院占比63.96%，企业占比22.36%，个人、政府机构等占比不足15%；全球资助临床试验数量排名前5位的申办者是VA研究与发展办公室、长庚纪念医院、斯坦福大学、梅奥诊所和中山大学。全球开展AI医疗器械临床试验的代表性临床试验机构包括美国加州大学、梅奥诊所、斯坦福大学、约翰斯·霍普金斯大学和密歇根大学等，中国长庚纪念医院、中山大学眼科中心和郑州大学第一附属医院等；代表

性PI包括Shirley Ryan AbilityLab的Arun Jayaraman、Fondazione Don Carlo Gnocchi Onlus的Irene Aprile和长庚纪念医院的Ching-Yi Wu。所有临床试验中，干预性研究1995项（占比79.99%），其中大多数属于设备和行为干预；观察性研究499项（占比20.01%）。全球AI医疗器械临床试验适应证以神经系统疾病、精神疾病为主，神经系统疾病包括中风（159项）、认知功能障碍（100项）和阿尔兹海默症（88项）等，精神疾病领域包括抑郁症（59项）、精神分裂症（41项）和焦虑症（36项）等。

结论：全球AI医疗器械临床试验呈现逐年增长趋势。截至检索日期，我国AI医疗器械临床试验291项，与美国尚存在较大差距但增长趋势基本一致。

关键字：AI医疗器械；临床试验注册；ClinicalTrials.gov；文献计量

ID 1224

基于提示词工程和检索增强生成的跨模态心电大语言模型问答系统

唐功政[1]、俞杰[2]、章德云[2]、耿世佳[2]、王悦[2]、傅兆吉[2]、洪申达[1]

1. 北京大学健康医疗大数据国家研究院
2. 安徽心之声医疗科技有限公司

目的：心血管疾病是临床上最常见的死亡原因之一，而心电图则是诊断和监测心血管健康最直观便捷的工具，准确解读心电数据对于评估和管理心血管健康意义重大。现有的心电问答系统在理解复杂心电问题时存在局限，难以提供准确且易懂的解释。本研究基于提示词工程和检索增强生成技术，构建一种跨模态心电大语言模型问答系统，以提高心电数据的解读准确性和易懂性，并验证其有效性。

方法：首先，我们通过设计和优化一系列提示词，引导大语言模型准确理解心电相关问题的语义，从而提取关键信息并生成有针对性的回答。提示词工程确保模型能够理解复杂的医学术语和心电特征，生成专业性强的回答。接着，我们在系统中集成了一个信息检索模块，从庞大的心电数据和医学文献中检索相关信息，补充大语言模型的知识库。通过将检索到的信息与大语言模型的生成能力相结合，系统能够提供更准确和全面的回答，显著提升对心电问题的解答能力。此外，系统将从患者指标和分析得到的风险评估中抽取数据，填充至预定的prompt模板中，转化为模型可理解的格式。在回答过程中，本系统能够有效整合心电数据与相关文本信息，生成准确且易懂的文本回答。最后，我们邀请心电图领域的专家进行评审系统生成解释的准确性，并请用户评估解释的易懂性。

结果：本研究开发的跨模态心电大语言模型问答系统在回答心电相关问题方面表现出色。经过专家评审，验证了系统在心电数据理解和解释方面的准确率得到提升，相比于传统的单一模态问答系统，准确性有了明显提升。用户评估显示，系统生成的心电解释通俗易懂，易于非专业人士理解。通过结合提示词工程和检索增强生成技术，系统在处理复杂心电问题上的能力得到增强，能够为用户提供更加全面且可靠的解读。

结论：我们提出了基于提示词工程和检索增强生成的跨模态心电大语言模型问答系统，该系统通过设计和优化提示词并结合信息检索模块，提高了心电数据解读的准确性和易懂性，结果表明该系统在心电数据的处理和解读能力上有显著提升。

关键字：提示词工程；检索增强生成；跨模态；大语言模型；心电问答系统

ID 1553

基于动态有向图神经网络的帕金森足压步态异常检测方法

王晓甜[1]、周冠海[2]、张晓毅[2]、姜一鸣[2]、杨易凡[2]
1. 西安电子科技大学
2. 西安电子科技大学广州研究院

目的：帕金森作为一种典型的神经退行性疾病，直接破坏患者的神经中枢，并且目前无法被根治。有效的帕金森诊断和评估方法对于患者的规范化治疗和康复至关重要。在现行的帕金森评估中，步态评估是帕金森诊断的重要评分指标。然而现有评估主要依靠医生观察或患者自述，这一过程引入主观因素，对病症诊断带来极大困难。足底压力信号能够客观地反映足部生理和运动状态，涵盖了静态和动态过程中诸多关键因素。基于深度学习的足压信号分析，可以有效检测帕金森患者的异常步态。然而，现有基于深度学习的帕金森诊断方法忽略了足压信号的图结构以及图结构的动态变化，而这些特征对于捕获复杂的步态模式至关重要。

方法：本文提出一种面向足压信号异常步态检测的动态有向图神经网络，通过引入动态图表示学习方法，将动态图学习方法与有向图结构相结合，实现基于足压信号的精准步态分析。首先，本文提出了一种多尺度动态图学习模块，能够在五个尺度上学习足压信号在不同时间段的图结构，并通过融合，输出综合的动态图结构。其次，本文探索集成预定义的图结构与学习动态图结构的集成方法，将动态邻接矩阵生成的动态边数据实时更新于模型中，实现网络动态更新。该方法可以有效利用传感器节点和压力传递边的数据，提取出足够的时空动态特征，进而捕获足压信号的有向图结构的动态性，实现对帕金森病患者的异常步态的精准检测。

结果：我们主要设计了两个实验：混合数据交叉验证和跨数据集验证。本文采用公开数据库PhysioNet，其中包含93名帕金森病患和73名正常人的足压数据。我们采用准确率、F1分数和几何均值来评估模型的分类效果。在跨数据集验证的三组实验中，我们的模型与现有的最优方法相比，在三个指标上分别平均提高了3.92%，2.09%和2.10%。在5折交叉验证中，我们的模型的三个指标分别达到98.5%、98.8%和98.8%。

结论：实验结果表明，我们的模型在性能指标上明显优于其他模型，能够有效辅助帕金森诊断。

关键字：帕金森病 地面垂直反作用力 步态分析 动态有向图神经网络

ID 1591

Swin-UKan++在脑肿瘤分割中的应用研究

刘静茹、陈汉波、李炳辰、赵东东
桂林电子科技大学

目的：脑肿瘤在我国具有很高的发病率和死亡率，并且对患者具有固有的致残作用，已经成为危害我国国民健康的重大疾病。近几年来，许多以U-Net结构为基础的网络广泛应用于从CT或MRI图像中脑部肿瘤分割研究。然而，肿瘤与周围正常脑组织之间的对比度通常较低，并且多变的肿瘤形状和大小等因素给脑肿瘤的准确分割提出了严峻的挑战。U-Net作为医学图像处理中的里程碑，广泛用于医学图像分割。现有研究在U-Net的基础上引入注意力机制或者监督学习模块，使得U-Net网络进一步优化，在原来的基础上增加了许多创新性的设计并获得了性能的提升，但网络仍然局限于线性建模模式以及缺乏可解释性。

方法：为了解决这些问题，本文基于KAN卷积设计新型Swin-Unet网络，利用Swin-transformer作为编码器和解码器，

在网络的底层采用KAN卷积网络连接，在编码器和解码器之间集成了基于CSP-net（Cross Stage Partial Network）网络的多个融合密集跳变连接，以补偿图像处理在下采样过程中不可避免造成的空间信息缺失，采用基于KAN卷积的网络增强图像特征融合的细粒度，同时为了补偿密集连接过程中产生的内存成本，在密集连接网络中采用CSP模块。

结果：在本文中，我们探索了基于KAN卷积网络在改善医学图像处理任务的主干方面尚未开发的潜力。试验结果显示该方法在Kaggle_3m脑肿瘤分割挑战赛数据集上的Dice相似系数为83.02%，Jaccard系数为76.31%，召回率为78.08%，精确率为93.70%。

结论：这些研究结果表明，我们的方法在脑肿瘤分割任务中表现出优异的性能，可以提高脑肿瘤自动分割的准确性和可靠性，并为临床医生提供强大的辅助诊断工具奠定坚实基础。

关键字：KAN卷积；Swin-Unet；CSPnet；脑肿瘤分割

ID 1687

基于超声射频信号与机器学习的HIFU焦点温度预测

吴鑫垚[1,2]、李成海[1,2]、吴纪伟[1,2]、李美漫[1,2]、李发琪[1,2]
1. 重庆医科大学超声医学工程国家重点实验室生物医学工程学院
2. 重庆市生物医学工程重点实验室

目的：针对高强度聚焦超声（HIFU）消融过程中焦点温度难以实时、准确监测的难题，本文基于HIFU辐照过程中的射频信号结合机器学习（ML）模型实现焦点温度的实时预测，旨在为HIFU治疗提供一种智能化的温度监测手段。

方法：通过控制不同声功率（35-80W，间隔5W）、脉冲重复频率（1Hz、2Hz）、占空比（80%、90%）的HIFU分别辐照新鲜离体猪肌肉组织10s，在辐照过程中分别采集对应的射频信号共776组，使用热电偶监测获得焦点温度。通过原始射频信号获得二次谐波、Nakagami参数分布，使用Resnet50进行特征提取，基于支持向量机（SVR）、随机森林（RF）、多层感知机（MLP）和XGBoost模型分别对HIFU辐照的焦点温度进行预测，通过决定系数（R2）、平均绝对值误差（MAE）、最大相对误差对比分析模型性能。

结果：射频数据结合RF模型用于预测焦点温度具有最佳性能。单独使用声学特征结合RF模型的R2=0.93，MAE=3.06；基于原始信号、二次谐波、Nakagami参数并使用Resnet50进行特征提取所建立的Resnet50-RF模型在测试集中的R2和MAE分别为0.91、0.89、0.87和3.51、3.51、4.03。二次谐波结合Resnet50-RF模型用于随机实验组的焦点温升预测具有最佳性能，其R2和MAE分别为0.96、2.23，预测值与实际温升的最大相对误差为0.097。

结论：二次谐波结合Resnet50-RF模型组合可以有效预测HIFU辐照中的焦点温度，模型预测结果与真实温升具有最小相对误差，有望用于HIFU辐照过程中的实时焦点温升预测。

关键字：聚焦超声；射频信号；机器学习；焦点温度

ID 1849

Machine Learning Radiomics based on Intra and Peri Tumor PAUS Images Distinguish between Luminal and Non-luminal Tumors in Breast Cancers

Sijie Mo[1],Fajin Dong[1,2]
1. Shenzhen People's Hospital
2. Shenzhen People's Hospital, Longhua Branch

Objective: This study aimed to evaluate a radiomics model using PA/US imaging at intra and peri-tumoral area to differentiate Luminal and non-Luminal breast cancer and to determine the optimal peritumoral area for accurate classification.

Methods: The operators with at least five years of experience in breast US conducted multimodal PA/US examinations using the Myriad L9-5 probe outfitted with a custom-mounted divergent beam fiber. This configuration facilitated both the delivery of laser light and the detection of resulting photoacoustic signals. Photoacoustic imaging was performed using an OPO tunable laser (Spitlight 600-OPO, Innolas Laser GmbH), which emits across a wavelength range of 680-980 nm. In this study, the wavelengths of 750 and 830 nm were utilized to quantify tissue oxygen saturation (So2), selected for their high absorption rates by deoxyhemoglobin and oxyhemoglobin, respectively (see Figure S1). This approach ensures enhanced precision in measuring the photoacoustic signals from the tissues.From February 2022 to April 2024, this study continuously collected 322 patients at Shenzhen People's Hospital, using standardized conditions for PA/US imaging of breast cancer. Regions of interest were delineated using ITK-SNAP, with peritumoral regions of 2 mm, 4 mm, and 6 mm automatically expanded using code from the Pyradiomic package. Feature extraction was subsequently performed using Pyradiomics. The study employed Z-score normalization, Spearman correlation for feature correlation, and LASSO regression for feature selection, validated through 10-fold cross-validation. The radiomics model integrated intra and peri-tumoral area, evaluated by ROC curves, Calibration and Decision Curve Analysis.

Results: Multimodal PA/US imaging has been recognized for its utility in diagnosing breast tumors. Dogan et al highlighted the correlation between photoacoustic imaging features and the molecular classification of breast cancer, particularly distinguishing between invasive and noninvasive types. While previous studies primarily relied on subjective, naked-eye scoring of PA image features and grayscale US image features to explore correlations with BC molecular types, comprehensive and objective analysis using PA/US images has been less frequently addressed. In our study, we employed quantitative feature extraction and analysis from tumor PA/US images across intratumoral and various peritumoral regions (2mm, 4mm, and 6mm) to more thoroughly and objectively assess the association of photoacoustic imaging with Luminal BC and non-Luminal BC, which includes triple-negative breast cancer and HER2 overexpression. We developed a comprehensive Nomogram model that integrates clinical features with radiomics features. Notably, the model for the intratumoral and 4mm peritumoral region exhibited superior diagnostic efficacy, achieving an AUC (95% CI) of 0.898 (0.78- 1.00) in the test set. This performance surpassed that of the single clinical model, which recorded an AUC (95% CI) of 0.839 (0.71- 0.97), and the nomogram model in the test set, which achieved an AUC (95% CI) of 0.868 (0.72 – 1.00).

We extracted and selected features from intratumoral and peritumoral PA/US images regions at 2mm, 4mm, and 6mm. The comprehensive radiomics model, integrating these regions, demonstrated enhanced diagnostic performance, especially the 4mm model which showed the highest AUC:0.898(0.78- 1.00) and comparably high accuracy (0.900) and sensitivity (0.937). This model outperformed the standalone clinical model and combined clinical-radiomics model in distinguishing between Luminal and non-Luminal breast cancer, as evidenced in the test set results.

Conclusion: This study developed a radiomics model utilizing intratumoral and peritumoral features derived from PA/US images of BC, facilitating the analysis and differentiation of Luminal BC from non-Luminal BC. It confirmed that the peritumoral region harbors characteristic information pertinent to the molecular typing of BC. Moreover, the intra-peritumoral radiomics model established in this study offers an auxiliary diagnostic method that aids in the formulation of neoadjuvant chemotherapy regimens and reduces the necessity for invasive biopsy procedures in patients with BC. And our study highlights the critical impact of the selection of tumor surrounding size on the predictive accuracy of radiomics models. In particular, the radiomics model of intratumoral and the 4mm peritumoral area demonstrated the highest diagnostic effi-

cacy for distinguishing between Luminal and non-Luminal BC. It underscores the necessity to optimize tumor surrounding features in future radiomics research, with the aim of enhancing the overall predictive performance of these models.

Key Words: Breast Cancer, Molecular Typing, Photoacoustic Imaging, Radiomics, Ultrasound.

ID 1896

Deep Learning Ensemble Models for CT-Based Differentiation of Malignant and Benign Sacral Bone Tumors: Development and Evaluation

Fei Zheng,Wenjia Zhang,Ping Yin,Nan Hong
Peking university people hospital

Objective: Bone tumors rank as the third leading cause of death among cancer patients under 20 years old. However, due to the low incidence rate of bone tumors, doctors lacking experience may misdiagnose them, leading to unnecessary bone biopsies, patient discomfort, and increased costs, or they may miss a diagnosis altogether, resulting in treatment delays or patient mortality. Radiologists often face challenges in differentiating benign from malignant sacral bone lesions due to their similar imaging characteristics and benign and malignant sacral tumors are treated differently. The objective of our study was to develop an ensemble deep learning (DL) model that is capable of preoperatively distinguishing between benign and malignant sacral tumors using non-contrast computed tomography (NCCT) images.

Methods: A total of 569 histopathologically confirmed preoperative sacral CT scans were retrospectively collected. Data from Center 1 were utilized for model development and internal test via 5-fold cross-validation, while data from Center 2 and 3 were employed for external test. To differentiate between benign and malignant sacral tumors preoperatively, different ensemble model based on human readable interpretation and DL have been developed. The ensemble model consists of two distinct phases: one for training and the other for inference. During the training phase, two DL models were established, utilizing 2D DenseNet121 and 3D DenseNet121 architectures. In the inference stage, the prediction outcomes from the 2D and 3D models, along with those from senior radiologists, were combined with weighting to derive the prediction outcomes of the ensemble models. Finally, the predictive performance of the ensemble model was compared with the interpretations of senior radiologists. The efficacy of the model was assessed in comparison to that of radiologists, employing metrics including the area under the curve (AUC), F1 score, and confusion matrix. Furthermore, the clinical benefits derived from radiologist interpretations supported by the DL model were also evaluated.

Results: For Cohort 1, a total of 514 patients diagnosed with sacral tumors were enrolled, comprising 277 men and 237 women. The mean age of the participants was 42.0 years, with an age distribution ranging from 6 to 81 years. Cohorts 2 and 3 collectively included 55 patients with sacral tumors, consisting of 27 men and 28 women. The mean age for these cohorts was 47.8 years, with participant ages spanning from 13 to 82 years.

The 3D DenseNet121 model demonstrated superior performance over the 2D DenseNet121 model on both internal and external test sets. It achieved an AUC of 0.8871 and an F1 score of 0.8823 in the internal test set, and an AUC of 0.7465 with an F1 score of 0.7778 in the external test set. Compared to the DL model, the manual interpretation exhibited comparable performance in the internal test set with an AUC of 0.8574 and an F1 score of 0.8879. In the external test set, manual interpretation outperformed the DL model, achieving an AUC of 0.8553 and an F1 score of 0.8406.

Within the external test cohort, all radiologists demonstrated improvements in AUC, accuracy, and sensitivity, with junior radiologists also exhibiting enhanced specificity under AI assistance. Junior radiologists exhibited more substantial enhancements in predictive performance with AI support compared to their senior counterparts.

Among the array of ensemble models evaluated, the combination of 3D-DenseNet121 with human interpretation exhibited the most robust performance. This ensemble model attained an AUC of 0.9139 and an F1 score of 0.9054 in the internal test set, and an AUC of 0.8713 and an F1 score of 0.8571 in the external test set.

Conclusion: In summary, we have developed ensemble DL models that can accurately assess the malignancy of bone lesions preoperatively. Furthermore, we demonstrate that integrating the DL model enhances the radiologist's decision-making process. This work underscores the potential of DL to assist radiologists in characterizing the malignancy of bone lesions with greater confidence and accuracy.

Key Words: Deep learning · Radiomics · Sacral tumors · Classification · Computed Tomography

ID 1899

NCCT-based Habitats and Peri-tumoral Radiomics Enhance Pre-operative Prediction of Benign and Malignant Sacral Tumors

Fei Zheng,Wenjia Zhang,Ping Yin,Nan Hong
Peking University People's Hospital

Objective: Differentiating between benign and malignant sacral tumors is essential for guiding treatment strategies. These various tumor types exhibit distinct biological behaviors, and the treatment strategies for benign versus malignant sacral tumors differ markedly.

To our knowledge, no previous studies have endeavored to develop a habitat-based radiomics analysis for differentiating benign from malignant sacral tumors. In this study, we utilized a novel radiomics approach to identify imaging biomarkers within peri-tumoral and sub-regional zones. Our study aims to prove that NCCT-based habitats and peri-tumoral radiomics could significantly enhance the preoperative prediction of benign and malignant sacral tumors.

Methods: From July 2021 to September 2023, we retrospectively included 112 patients with pathologically confirmed sacral tumors. Habitats are determined using voxel and entropy values derived from NCCT images to segregate tumor regions of interest (ROIs) into distinct sub-regions. Specifically, a $3 \times 3 \times 3$ moving window is employed to compute local entropy on each slice. Additionally, ROIintra are segmented into sub-regions based on clusters of Hounsfield Unit (HU) values and local entropy measurements derived from the NCCT images. The K-means algorithm, employing Euclidean distance to measure correlations between sample distances based on voxel and entropy values, is used for clustering ROIintra into multiple habitats. The Calinski-Harabasz (CH) index serves as the criterion for determining the optimal number of clusters. We specifically implemented K-means clustering with k values ranging from 3 to 10, aiming to identify cohesive groups of voxels characterized by homogeneous voxel and entropy values.To enhance understanding of the peri-tumoral regions, the original ROI mask, termed ROIintra, was incrementally expanded at radial distances of 3 mm intervals up to a maximum dilation distance of 6 mm using standard image morphological dilation techniques. A comprehensive radiomics analysis of the peri-tumoral and habitat-defined regions was conducted, utilizing features extracted from NCCT images. An ensemble methodology integrating clinical indicators with the habitats and peri-tumoral models was employed to develop a fusion model, termed the ensemble nomogram. The efficacy of these models was assessed using the area under the receiver operating characteristics curve (AUC) via the DeLong test, calibration curves through the Hosmer-Lemeshow test, and decision curve analysis.

Results: We recruited 112 patients with pathologically confirmed sacral tumors, who were randomly divided into two cohorts: a training set comprising 89 patients and a test set consisting of 23 patients. The mean age of the participants was 43 years, with a range from 11 to 79 years. There was a statistically significant difference in age between the benign and malignant tumor groups ($P < 0.05$).

The Multi-Layer Perceptron (MLP), based on ROI3mm, exhibited enhanced performance relative to that utilizing ROI6mm. The MLP-based habitats model achieved an AUC of 0.877 in the test cohorts, outperforming the ROIintra-based model. The ensemble nomogram, integrating age, peri-tumoral, and habitats models, attained the highest performance with an AUC of 0.892 in the test sets. The calibration curve of the nomogram demonstrated good concordance between predictions and

observed outcomes, and DCA revealed a high overall net benefit. In summary, the implementation of the nomogram for preoperative differentiation between benign and malignant groups of sacral tumors has demonstrated significant clinical advantages.

Conclusion: NCCT-based habitats and peri-tumoral radiomics substantially improve the preoperative prediction of benign and malignant sacral tumors. The habitat-based radiomics signature offers precise predictions and provides valuable insights to physicians in formulating personalized treatment plans.

In summary, this study introduces a pioneering radiomics signature that combines habitat-based and peri-tumoral approaches to predict benign and malignant sacral tumors. This habitat-based radiomics signature holds significant potential for advancing precision medicine and shaping targeted treatment strategies. The prospective application of this approach in the realm of personalized medicine warrants consideration for optimizing patient management strategies in treating sacral tumors.

Key Words: Sacral tumor, Radiomics, Habitat imaging, Peritumoral micro-environment, Classification

ID 2208

人工智能诊断肺栓塞并预测肺栓塞患者溶栓风险的研究

朱红玲[1]、王涛[2]、买日哈巴买买提[1]、程骋[2]、曾和松[1]
1. 华中科技大学同济医学院附属同济医院
2. 华中科技大学人工智能与自动化学院

目的：肺栓塞是一种严重的肺循环疾病，其确诊手段 CTPA 有创、耗费高且耗时长，同时患者在接受溶栓治疗后也面临较高的出血风险。本研究旨在构建基于多模态数据的肺栓塞诊断和溶栓风险预测模型，用以智能诊断肺栓塞患者并评估其溶栓后出血的风险。

方法：回顾性搜集华中科技大学同济医学院附属同济医院2001年至2023年住院治疗的肺栓塞患者的心电图、性别、年龄、病史等电子健康记录（electrical health record, EHR）,并依据溶栓药物使用记录筛选接受了溶栓治疗的患者，使用非肺栓塞的健康患者作为正常对照组。采用深度神经网络基于12 导联 ECG 来智能诊断肺栓塞，同时使用 SVM、逻辑回归、随机森林和XGBoost 四种机器学习算法作为患者溶栓出血风险的预测模型。

结果：行心电图检查和溶栓治疗的肺栓塞患者共计3044 份，其中出血患者235份。4297 份健康患者作为对照组。该项目获得同济医院医学伦理审批（审批号TJ-IRB202406025）。深度神经网络智能诊断肺栓塞的AUC 为0.72；在四个溶栓预测模型中，SVM、随机森林和XGBoost 的AUC值分别为 0.887、 0.848 和 0.851，此外三者都有较高的准确率、特异性和阴性预测值，均优于逻辑回归模型的结果。进一步使用 SHAP 分数评估了 XGBoost 中特征的贡献度，其中手术史、年龄增长、高收缩压和舒张压等因素都会极大地增加肺栓塞患者溶栓后出血的概率值。

结论：本研究基于 ECG 和 EHR 等多模态数据分别建立了肺栓塞诊断与溶栓风险预测的智能模型，可以作为辅助医疗专业人员检测肺栓塞与评估患者溶栓风险的有效工具。

关键字：肺栓塞，心电图，机器学习，预测，溶栓风险

ID 2487

基于时空图卷积网络和脑灰-白质因果关系的阿尔茨海默病影像标记物提取

张颖、王敏、王璐瑶、王青敏、蒋皆恢
上海大学

目的：阿尔茨海默病(AD)是常见的神经退行性疾病，其病程不可逆。因此，探究AD影像标记物实现其早期防治具有重要的临床价值。目前，多个国内外研究团队结合功能磁共振成像(fMRI)与深度学习技术提取AD影像标记物。其中，时空图卷积网络(ST-GCN)可联合fMRI从脑功能网络层面获得由AD病理引起的细微影像变化。但现有研究还存在以下不足：首先，现有的脑功能网络构建方法大多侧重考虑脑区间的线性关系，而忽略了其非线性特性；其次，现有研究局限于脑灰质功能网络，忽略了脑白质中的有效信息。

方法：针对以上不足，本文提出了基于ST-GC的混合注意力多尺度融合网络(HAMSFNST-GCN)。首先，基于神经格兰杰因果关系(NGC)计算脑灰质和白质功能网络；其次，基于HAMSFNST-GCN提取脑灰质和白质功能网络中的有效表征；最后，评估模型性能、提取影像标记物并进行分析。本研究从宣武医院、同济医院和ADNI数据库中收集了1012名受试者的fMRI和结构磁共振成像数据，其中包括340名认知正常(CN)被试、439名轻度认知障碍(MCI)患者和233名AD患者。

结果：结果表明，基于结合NGC脑灰-白质功能网络的HAMSFNST-GCN模型在CN与MCI、CN与AD和MCI与AD诊断任务上的准确率分别为0.85±0.007、0.75±0.008及0.87±0.005，优于基于皮尔逊相关系数构建的脑功能网络。此外，本研究结合梯度加权类激活映射模块，发现了与疾病相关的重要脑区主要分布在颞叶、额叶、皮质下核叶和枕叶。相关性分析表明，边缘叶(CN vs MCI)、颞叶(CN vs AD)和颞叶(MCI vs AD)的特征权重与认知水平显著相关 ($p<0.05$)。

结论：本研究强调了结合基于NGC的脑灰-白质功能网络的HAMSFNST-GCN模型在AD影像标记物提取研究中的重要作用，有助于进一步理解AD的病理机制。

关键字：阿尔茨海默病；脑灰-白质功能网络；时空图卷积网络；影像标记物；神经格兰杰因果

ID 2705

基于毫米波雷达与呼吸模式识别的哮喘监测系统研究

侯军
成都京东方医院

目的：哮喘是一种常见的慢性呼吸系统疾病，严重影响患者的生活质量。传统的哮喘监测方法通常依赖于患者自我报告或复杂的医疗设备监测，不仅操作繁琐，且监测数据缺乏连续性和实时性。毫米波雷达技术因其非接触性和高分辨率的特点，在医学监测领域得到广泛关注。本研究旨在设计并验证一种基于毫米波雷达与呼吸模式识别的哮喘监测系统，以实现对哮喘患者呼吸模式的实时监测与识别，从而提供更为便捷和高效的哮喘管理方案。

方法：研究方法包括毫米波雷达信号的采集与处理、呼吸模式识别算法的设计与实现、系统的硬件开发与集成，以及实际案例的测试与评估。首先，利用毫米波雷达进行信号采集，通过高斯滤波和带通滤波进行去噪和滤波处理，提取出呼吸信号的特征参数。然后，采用深度学习技术设计呼吸模式识别算法，选择卷积神经网络（CNN）和长短期记忆网络（LSTM）相结合的模型进行呼吸模式分类。最后，开发集成毫米波雷达、数据处理模块和通信模块的硬件系统，并通过家庭环境、医院环境和运动状态下的实际案例进行测试和评估。

结果：该非接触式哮喘监测系统有望展现出卓越的性能。系统对哮喘发作的准确识别率将明显提高，显著高于传统

方法。在提前预警方面，能够在哮喘发作前提供可靠警报，为患者采取紧急应对措施提供充足时间。此外，针对不同年龄、性别、身体状况的患者群体，系统的准确率波动将在较小范围内，具有良好的稳定性和通用性。通过与临床医生的合作评估，系统的监测结果与医生的专业判断有望高度吻合，进一步验证其可靠性。

结论：本研究有望成功构建高效非接触式哮喘监测系统，基于毫米波雷达信号处理与呼吸模式识别的哮喘监测装置设计，能够实现高效、实时、非接触的哮喘监测，对提高哮喘患者的生活质量，显著提升患者的自我管理水平，降低急性发作风险，具有重要意义。未来的研究将进一步优化算法和系统设计，为哮喘患者提供更加智能化和舒适化的疾病管理方式。

关键字：毫米波雷达，信号处理，呼吸模式识别，哮喘监测，非接触式监测

ID 2756

A Deep Learning Approach to Assessing Essential Tremor Severity with Handwritten Image

Yumeng Peng,Songliang Han
PLA General Hospital

Objective: This study introduces an innovative approach for assessing the severity of Essential Tremor (ET) using handwritten images. By leveraging pre-trained models such as ConvNeXtTiny, DenseNet121, MobileNetV2, and ResNet50, we aim to predict the Clinical Rating Scale for Tremor (CRST) scores, offering a reliable and convenient method for ET evaluation. Traditional methods often rely on electronic handwriting boards, which can be cumbersome and alter natural writing habits. Our approach, utilizing simple paper and pen, provides a more realistic assessment environment. We collected 1,397 high-definition scanned images from 147 ET patients, rigorously evaluated by a panel of neurological experts. The proposed method achieved an overall accuracy of 85.95% in classifying tremor severity, demonstrating its robustness and generalizability. This method offers a practical solution for non-invasive, cost-effective early detection and management of ET.

Methods: Handwritten image data from ET patients were collected at PLA General Hospital. Patients, guided by neurologists, used paper and pen to draw a large Archimedean spiral from the CRST scale. This process was recorded, resulting in 1,397 high-definition scanned images from 147 ET patients. An expert panel of neurologists assessed tremor severity using the CRST scale based on multiple handwriting tasks. Each image was independently scored by three neurologists, and a consensus score was reached for use as labels in model training.

We employed transfer learning techniques for classifying handwritten spiral images, utilizing pre-trained models as a starting point for our task. We selected four commonly used pre-trained models from the PyTorch torchvision library: ConvNeXt-Tiny, DenseNet121, MobileNetV2, and ResNet50.

To ensure compatibility with these models, we applied preprocessing steps such as resizing images to 224x224 pixels, normalizing pixel values, and data augmentation. Normalization used mean and standard deviation values from the ImageNet dataset ([0.485, 0.456, 0.406] for means and [0.229, 0.224, 0.225] for standard deviations). This process stabilized training and enhanced model convergence by focusing on relevant features instead of variations in color, brightness, or size.

We enhanced the model's generalization capability through data augmentation, applying random transformations to artificially expand the training dataset. This ensured the model could effectively learn and extract relevant features under various conditions such as different orientations, sizes, noise levels, and more.

The dataset was divided into training, validation, and test sets in a ratio of 6:2:2. To prevent data leakage and ensure realistic assessment, data from the same patient did not appear in multiple dataset segments.

In the initial training phase, we added a fully connected layer corresponding to the five CRST-defined severity levels to each pre-trained model, with the other layers' weights frozen. This allowed the initial layers to remain unchanged and utilized

without retraining.

ResNet50 demonstrated superior performance and was chosen for fine-tuning. Excluding the final fully connected layer, ResNet50 can be divided into four parts, each comprising multiple bottleneck blocks and skip connections to reduce computational complexity and mitigate the vanishing gradient problem. During fine-tuning, each part was assigned different learning rates, gradually increasing from the earlier layers to the later layers. This strategy balanced the stability of pre-learned representations with the flexibility needed for specific task adaptations, leading to a more efficient fine-tuning process.

Results: The overall accuracy in generating CRST scores reached 85.95%, reinforcing its potential as a reliable tool for ET severity assessment. Comparative analyses with human clinicians' scores revealed noteworthy concordance.

We plotted ROC curves for each category and used a confusion matrix to evaluate the classification performance of the model on the test dataset. All categories had high AUC (Area Under Curve) values, and most of the samples were correctly classified along the diagonal of the confusion matrix, further verifying the model's strong performance.

To present the classification results more intuitively, we used principal component analysis (PCA) and t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE) methods to reduce the dimensionality to a two-dimensional space. The results showed a clear separation between the five categories, and the classification effect between categories was significant.

Conclusion: This study introduces a novel method for assessing ET severity using handwritten images and deep learning models. We collected and processed 1,397 high-definition Archimedean spiral images from 147 ET patients, creating a robust dataset evaluated by a panel of neurological experts. Utilizing pre-trained models such as ConvNeXtTiny, DenseNet121, MobileNetV2, and ResNet50, we achieved an overall accuracy of 85.95% in classifying CRST tremor severity levels. This approach mitigates the subjectivity and low accuracy inherent in traditional manual assessments, offering a straightforward and cost-effective solution that requires only paper, pen, and scanning or photographing of the drawings.

Future work will focus on multidisciplinary collaboration to refine this technology and address its limitations. We aim to develop user-friendly interfaces for seamless clinical integration, enhancing the accuracy and efficiency of ET diagnosis and management. This will provide more precise and accessible care for individuals with essential tremor, improving their quality of life and offering practical tools for clinical practitioners.

Key Words: Essential Tremor, deep learning, transfer learning, Pre-trained Models

ID 2758

0.1 mT 极低场磁共振成像技术

董慧、陶泉、任雪、谢晓明
中国科学院上海微系统与信息技术研究所

目的：主磁场在mT以下的极低场磁共振成像（ULF MRI）系统具有结构简单、成本低廉、对金属不敏感、可与其他影像手段融合开发多模态成像技术等优点。更重要的是，缺血性脑卒中、肿瘤等疾病在极低场下可获得更佳的本征对比度差异。但是ULF MRI磁场强度比高场MRI低4个量级因而面临信噪比差、成像速度慢的挑战。

方法：灵敏度达10-15 T量级的低温超导量子干涉器件（SQUID）作为最灵敏的实用化磁传感器之一，可以工作于复杂外场环境中，因此被引入到ULF MRI中来提升信号检测灵敏度。我们设计优化了SQUID传感器，开发了国内首套七通道0.1 mT ULF MRI原理样机，借助深度学习技术实现对环境噪声干扰的抑制，还研究了k空间填充方式及并行成像算法对ULF MRI成像的加速效果。

结果：结果表明，在傅里叶重建和Radial重建中，相较于部分傅里叶及传统GRAPPA并行成像，基于压缩感知的并行加速方法可以在获得4倍加速的同时更好地保留图像细节，并且借助深度学习网络实现了在图像重建及后处理过程中的干扰抑制。基于上述七通道ULF MRI系统，我们开展了ULF MRI成像及弛豫机制研究。

结论：深度学习技术的引入对0.1 mT ULF MRI图像质量有显著提升，但由于其与高场MRI主要噪声干扰来源不同，因此后续开发针对极低场的深度学习技术对ULF MRI技术快速推广有积极意义，为将来开展极低场磁共振生物医学应用奠定重要基础。

关键字：极低场磁共振；超导量子干涉器件；深度学习；并行成像；信噪比

ID 2817

MCICSAM: Monte Carlo-guided Interpolation Consistency Segment Anything Model for Semi-Supervised Prostate Zone Segmentation

Guantian Huang,Shu Chang,Xiaotian Lu,Shouliang Qi,Wei Qian,Dianning He
Northeastern University

Objective: Accurate segmentation of the peripheral zone (PZ) and transition zone (TZ) within the prostate is crucial for diagnosing and treating prostate-related diseases. Precise delineation of these regions is essential for understanding disease progression, planning targeted treatment strategies, and monitoring patient outcomes. However, the scarcity of labeled data, particularly in specialized medical fields like prostate imaging, poses a significant challenge. Segment Anything Model (SAM) is a new large model for natural image segmentation, but there are some challenges in medical imaging. In order to better utilize the powerful feature extraction capability of SAM as well as to address the problem of low data volume for medical image annotation, we use Low-Rank Adaptation (LoRA) and semi-supervised learning methods of Monte Carlo guided interpolative consistency (MCIC) to enhance the fine-tuned SAM named MCICSAM. This method is expected to bring new possibilities in the field of prostate image segmentation.

Methods: We utilized the public ProstateX dataset comprising 346 T2w axial volumes, of which 98 volumes are labeled for TZ and PZ. Crucially, 248 volumes remain unlabeled, facilitating our semi-supervised learning strategy. The MCICSAM backbone framework enhances SAM by incorporating LoRA layers. These layers allow the fine-tuning of only a small subset of parameters, keeping the image encoder frozen to ensure efficient feature extraction. Additionally, the segmentation header in the mask decoder is modified to provide deterministic category predictions for medical image segmentation, eliminating the need for prompts during inference. In the context of unlabeled data, the MCIC technique is applied. The MCIC framework consists of a student model and a teacher model, where the teacher model generates learning goals for the student using an Exponential Moving Average mechanism. The student model is trained to provide consistent predictions on interpolations of unlabeled images, promoting better fitting of the unlabeled data distribution. An uncertainty-aware analysis is added to improve segmentation accuracy, with the teacher model generating target predictions and estimating uncertainty using Monte Carlo Dropout. This approach enhances the model's reliability and accuracy by optimizing the student model with consistency loss guided by the estimated uncertainty. The consistency constraints imposed on these interpolated samples help the model better fit the distribution of the unlabeled data, ultimately improving its performance in semi-supervised learning scenarios. By focusing on fine-tuning a limited number of parameters, LoRA allows MCICSAM to be more efficient in terms of deployment and storage, without compromising on segmentation performance. This approach significantly reduces the complexity associated with training and storing the fine-tuned model compared to adjusting all parameters in SAM. To further streamline the process for fast and automated medical diagnosis, MCICSAM is designed to operate without requiring any hints during the inference stage. This capability makes it a highly practical and efficient solution for medical image segmentation, particularly in scenarios with limited labeled data.

Results: MCICSAM yielded Dice scores of 79.38% and 89.95%, with improved HD95 values of 3.12 and 2.27 for PZ and TZ, respectively. In contrast, SAM achieved Dice scores of 40.07% and 49.51%, with HD95 values of 40.00 and 45.65 for PZ and TZ. After fine-tuning SAM with LoRA, the Dice scores improved to 72.25% and 85.50%, with HD95 values of 4.93 and 3.30 for PZ and TZ. Results of MCICSAM surpassed those obtained by various semi-supervised methods combined with U-Net and Swin Transformer.

Conclusion: By integrating the strengths of SAM, LoRA, and MCIC, the MCICSAM framework establishes a new benchmark for prostate zone segmentation, combining high accuracy with efficient parameter adaptation. SAM's versatile segmentation, LoRA's efficient fine-tuning with limited labeled data, and MCIC's robust semi-supervised learning enhance the framework's performance. This synergy results in a powerful tool that requires less labeling data while maintaining professional efficiency in prostate zone segmentation tasks.

Key Words: Prostate zone segmentation; Segment Anything Model; Semi-supervised learning

ID 2825

Multiparametric MRI-based Artificial Intelligence Analysis to Predict Hormone Therapy Effectiveness for Prostate Cancer: A Clustering-driven Ensemble-learning Approach

Haoming Zhuang,Bixuan Xia,Huiwen Luo,Shouliang Qi,Wei Qian,Dianning He
东北大学

Objective: Prostate cancer (PCa) is a common malignancy in men. Although most patients with PCa respond to hormone therapy, some of them may develop castration-resistant PCa (CRPC). This study aimed to evaluate the radiological characteristics of multi-parameter magnetic resonance imaging (mpMRI) and the potential value of ensemble learning and deep learning in predicting the effect of hormone therapy for prostate cancer. A prognostic model of hormone therapy for PCa was established to predict patient response to hormone therapy, promote personalised treatment, and improve prognosis.

Methods: A total of 100 PCa patients with baseline clinical data who underwent mpMRI between September 2018 and September 2022 were included in this retrospective study, including 60 patients with hormone-sensitive prostate cancer and 40 patients with hormone-resistant prostate cancer. Feature extraction is divided into two categories: statistical and textural. Statistical features described the distribution of voxel intensities on MRI, reflecting the grey-scale distribution of the pixels. Texture features reflected the spatial distribution of image pixel intensities in different directions, and these features helped assess the heterogeneity of the lesion region. Additionally, the images were decomposed into different scales for multiscale analysis and feature extraction using the Symlet 8 wavelet transform. Feature selection is performed by means of 'sequential forward floating selection' (SFFS) and 'least absolute shrinkage and selection operator' (LASSO) to identify biomarkers related to disease progression and treatment response. SFFS is an iterative feature selection method that progressively optimises a subset of features by iteratively adding and removing features to obtain a more informative combination. Then, according to the heterogeneity of the tumor, three models are established: the T2-weighted (T2W) -only model, the mpMRI (T2+ dynamic contrast-enhanced (DCE)) model and the ensemble model. The ensemble learning algorithm is applied to optimize the combination of various models. Finally, the T2, signal enhancement rate (α) and selected radiomics features of Long Run High Gray-Level Emphasis (LRHTLE) maps are utilized to stack into three-dimensional data for each channel. A deep learning model was constructed and combined with patient age, prostate specific antigen (PSA), Gleason score and TMN staging information to perform classification using machine learning. The Dense-multimodal fusion artificial intelligence (MFAI) model was constructed by incorporating a squeeze-and-excitation block and a spatial pyramid pooling layer into a dense convolutional network (DenseNet), as well as integrating the eXtreme Gradient Boosting machine learning algorithm. The accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value, receiver operating characteristic curves, area under the curve (AUC) and confusion matrices were used as classification performance metrics. The performance of these models was validated by five cross-validations.

Results: In this study, the mpMRI (T2+DCE) model showed significantly higher predictive accuracy for hormone therapy outcomes compared to the T2W-only model (Area Under the Curve (AUC): 0.925 vs. 0.747). The ensemble model based on tumor heterogeneity exhibited an AUC of 0.958, sensitivity of 83% and specificity of 100%. The selected features were pre-

dominantly derived from DCE sequences, which played a pivotal role in predicting hormone therapy outcomes. The deep learning model that integrated patient clinical information with feature mapping achieved an AUC of 0.947, sensitivity of 80% and specificity of 94%. The ensemble learning approach demonstrated the highest predictive performance, emphasizing the efficacy of integrating multiple models to improved predictive accuracy.

Conclusion: Ensemble models based on tumor heterogeneity and multimodal deep learning model can reliably predict the prognosis of hormonal therapy for prostate cancer. This finding provides important insights into the application of radiomics and deep learning in the personalized treatment of prostate cancer. Our study plays an important role in exploring the prognostic prediction of hormonal therapy for PCa. The establishment of individualized treatment plans is of critical clinical importance to improve the overall prognosis of patients with advanced PCa.

Key Words: Prostate cancer; mpMRI; Hormone therapy; Radiomics; Ensemble learning

ID 3185

Safe Bayesian Optimization for the Control of High-Dimensional Embodied Systems

Yunyue Wei,Yanan Sui
Tsinghua University

Objective: Learning to move is a primary goal for animals and robots, where ensuring safety is often important when optimizing control policies on the embodied systems. For complex tasks such as the control of human or humanoid control, the high-dimensional parameter space adds complexity to the safe optimization effort. Current safe exploration algorithms exhibit inefficiency and may even become infeasible with large high-dimensional input spaces. Furthermore, existing high-dimensional constrained optimization methods neglect safety in the search process. In this paper, we propose High-dimensional Safe Bayesian Optimization with local optimistic exploration (HdSafeBO), a novel approach designed to handle high-dimensional sampling problems under probabilistic safety constraints. We introduce a local optimistic strategy to efficiently and safely optimize the objective function, providing a probabilistic safety guarantee and a cumulative safety violation bound. Through the use of isometric embedding, HdSafeBO addresses problems ranging from a few hundred to several thousand dimensions while maintaining safety guarantees. To our knowledge, HdSafeBO is the first algorithm capable of optimizing the control of high-dimensional musculoskeletal systems with high safety probability. We also demonstrate the real-world applicability of HdSafeBO through its use in the safe online optimization of neural stimulation-induced human motion control.

Methods: We introduce HdSafeBO, an innovative algorithm designed for ensuring probabilistic safety while optimizing in a high-dimensional space. HdSafeBO first uses the isometric encoder to reduce the problem dimension, converting the original dataset from original space to the low-dimensional latent space. Isometry means the embedded subspace is able to preserve the distance of the original space. Leveraging the historical record of function observations, we compute the posterior and confidence interval of both the objective and safety functions through distinct Gaussian processes. Then we define a local region to search over, and identify the safe space within the local region using GP upper confidence bound. We optimize the acquisition function over the safe space, and project the recommended latent point back to original input space using the decoder. Thompson sampling (TS) was selected as the acquisition function due to its compatibility with the discrete nature of our safety estimation and search space, and its innate ability for batch optimization by sampling the GP posterior—an appropriate choice for high-dimensional tasks that support parallel evaluations. Finally the history data is updated via evaluating new inputs, and the local region parameters are updated based on the sample results.

Results: We first utilize synthetic functions to evaluate the algorithm performance. we sample both objective and safety functions from Gaussian processes with high-dimensional input space and low-dimensional effective space. HdSafeBO

achieves significantly better optimization performance, higher safety decision ratio, and lower cumulative safety violation compared against all baselines.

We establish an upper limb control task utilizing a musculoskeletal system. The objective is to optimize the activities of 55 hand-related muscles to rotate and hold a bottle in vertical position. We find that all baselines fail to improve the objective when optimizing over the original parameter space. Even within the subspace from isometric embedding, all the baselines demonstrated lower efficiency and sampled more unsafe parameters compared to HdSafeBO. Our proposed method stands as the pioneering algorithm to achieve efficient and safe optimization over high-dimensional musculoskeletal system control.

We showcase the success of HdSafeBO in optimizing the control of intricate neural stimulation-actuated human motion through simulation and real experiments. we want to improve the control of lower limb muscles via an electrode array implanted in the human spinal cord.

In simulation, we use a human neuromuscular model as the function oracle. We choose to optimize the selectivity of emitendinosus (ST) and gastrocnemius (GA) for their importance during human walking. HdSafeBO achieves safe exploration by optimizing on the continuous manifold, which obtains the best control performance while maintaining the highest safety selection ratio and lowest cumulative safety violation compared to other algorithms.

We further applied HdSafeBO to improve the motor function of a paraplegic patient with the same electrode array implanted. During the whole experimental procedure, only three configurations recommended by HdSafeBO were rated as unsafe, which evoked large lower limb movements but no physical damage or pain. Our real-world experiment underscores the practicality of HdSafeBO in safely optimize the control of complex neuromuscular systems.

Conclusion: We develop HdSafeBO for the optimization of the control over high-dimensional embodied systems under safety constraints. Our proposed method employs a local optimistic safe strategy to optimize the objective function and expand the safe region, with probabilistic safety guarantee and cumulative safety violation bound. HdSafeBO is able to optimize high-dimensional input ranging from a few dozen to several thousand variables with safety guarantee. The algorithm can efficiently optimize the control of high-dimensional musculoskeletal systems with high safety probability, and successfully optimize the human neural stimulation-induced motion control in real clinical experiments. HdSafeBO has great potential to safely optimize the control of real-world high-dimensional embodied systems online.

Key Words: Safe Bayesian optimization, high-dimensional embodied systems, clinical application.

ID 3249

基于跨模态双向监督视觉语言模型的病理图像识别

庄艳[1]、侯凌轩[2]、陈科[1]、韩霖[1]、谢宇华[1]、林江莉[1]
1. 四川大学
2. 新加坡国立大学

目的：显微镜级别的数字病理学图像分析是癌症诊断、分期和术后预测的金标准。在病理图像的识别中，除图像特征外，对于细胞形态、分裂情况以及细胞核等临床描述也极大地影响了诊断结果。近年来，人工智能技术在病理图像分析领域取得了显著进展，但现有方法在处理图像多尺度空间信息和跨模态特征融合等方面仍存在局限。因此，本研究提出一种基于提示词的病理图像识别方法，以提升病理图像的识别准确性与泛化性。

方法：本文提出了基于跨模态双向监督的零样本泛化视觉语言模型的病理图像识别方法，提出了视觉-语言模态间双向对比学习策略，建立了结合临床医生提示词和病理图像特征的视觉-语言模型；通过将图像和文本特征映射入统一代码本并引入了跨模态代码匹配损失来促进代码本有效分配，实现从成对的多模态数据中学习统一的离散表示；为了处理模态信息不完全对齐的问题，提出了信息协同压缩与交叉指数移动平均策略进行互信息上下界的优化，促进了共享代码本

中语义特征的等效信息对齐和无关信息分离，有效增强了模型对不同模态的细粒度特征的表征与对齐。

结果：在膀胱癌病理图像公共数据集上，预测准确率和F1分数达到了90.51%和92.5%，相比基线模型分别提升了18%和25%，展示了优异的预测性能。实验进一步评估了模型零样本泛化性能及不同下游任务中的有效性，在CrisisMMD图像数据集中，预测准确率达到了83.49%，相比SOTA模型提升了5%以上；在内窥镜图像的私有数据集中采用单一模态输入，以测试模型的对缺失模态的泛化能力，准确率和F1分数分别达到了87.13%和82.10%，分别提升了约6%和4%。

结论：本文的方法不仅提高了病理图像识别的准确性，也证明了跨模态泛化能力及其在不同下游任务中的有效性，提升了决策的信任度，展示了其在实际医疗环境中的应用潜力。

关键字：病理图像 图像识别 视觉语言模型 提示词学习 零样本泛化

ID 3395

基于深度学习的单张超低剂量X射线投影的实时三维肿瘤追踪方法

戴晶晶、梁晓坤
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：放射治疗是治疗恶性肿瘤的主要方法之一。然而，由于患者的呼吸运动和心脏运动等生理性因素，胸腹部肿瘤的形状和位置会发生变化，从而影响放疗的准确性。因此，实时跟踪肿瘤的位置至关重要。尽管现有的肿瘤跟踪方法在定位准确性方面有所进步，但仍存在定位时间较长和辐射剂量过高的问题，给患者带来了潜在的健康风险。为了解决这些问题，本研究开发了一种极低剂量的高精度、实时肿瘤追踪方法，以减少患者的辐射暴露并提高治疗效果。

方法：本文提出了一种基于深度学习的三维肿瘤追踪方法，通过单张单角度、超低剂量的 X 射线投影图像实时获得术中肿瘤及危及器官的三维位置。具体步骤如下：

1. 模型训练：在治疗前，使用混合数据增强，蒙特卡洛模拟仿真和基于二维 / 三维配准的肿瘤追踪网络，训练了患者特定的肿瘤跟踪模型。该模型能够生成从二维超低剂量的 X 射线投影图像到三维肿瘤和危及器官的位置映射。肿瘤追踪网络采用 UNet 与柯尔莫哥洛夫 - 阿诺德网络（Kolmogorov–Arnold Networks， KAN) 相结合的机制，在较少参数量下，快速实现高精度定位。

2. 实时位置获取：在治疗过程中，将单张、超低剂量的 X 射线投影图像带入特定患者的 U-KAN 网络进行实时配准，即可得到靶区及危及器官的三维位置。从而在保证跟踪精度的同时，极大地减少了患者的辐射暴露。

结果：本研究采用肺癌患者和肺部体模进行了验证。测试结果显示：

1. 准确性：肿瘤质心偏差小于 1.0 毫米，肺部 DSC 平均精度为 0.97，显示了高精度的肿瘤和危及器官定位能力。

2. 实时性：肿瘤定位时间小于 100 毫秒，满足了实时跟踪的要求。

结论：本文提出了一种基于深度学习的三维肿瘤追踪方法，通过单张超低剂量的 X 射线投影图像，实现了高精度、实时的术中肿瘤跟踪。与现有方法相比，该方法显著降低了患者的辐射剂量。所提出的方法有望简化放射治疗和介入治疗的影像引导硬件设备，同时显著提高影像引导治疗的精度。

关键字：影像引导，影像配准，肿瘤追踪

ID 3716

基于多模态数据的皮肤肿瘤智能辅助诊断研究

黄凯[1]、许静[2]、王宇[2]、孙凯[3,4]、赵爽[1,3,4]、陈翔[1,3,4]
1. 中南大学湘雅医院皮肤病医院
2. 阿里巴巴达摩院
3. 中南大学
4. 芙蓉实验室

目的：构建包含临床图像、皮肤镜图像以及病史元信息在内的皮肤肿瘤多模态数据库；基于多模态信息融合技术，进一步探究皮肤肿瘤高精度辅助诊断算法，模拟真实世界中医生的诊断决策思维。

方法：建立多中心皮肤肿瘤数据采集机制和数据管理体系，形成皮肤肿瘤多模态数据库；基于数据库和医生真实决策思维，设计了一种有效结合皮损全局和局部特征信息的病灶选择模块，形成临床图像分支；对高分辨率皮肤镜图像特别设计了一种可学习细粒度结构和纹理特征的两级分层框架，组成皮肤镜图像分支；结合患者病史元信息分支，最终构成皮肤肿瘤多模态辅助诊断模型；在公开数据集以及自建数据集上验证模型在各类任务中的性能，并完成与现有模型的性能对比。进行人机对比。

结果：皮肤肿瘤多模态数据库XY-SkinTumor共采集12种常见皮肤肿瘤的临床图像、皮肤镜图像以及病史元信息，包含10,351名患者的29,263张图像，其中7967名患者具有完整三种匹配的模态数据。成功构建皮肤肿瘤多模态辅助诊断模型，并在PAD-UFES-20、ISIC系列、Derm7pt等数据集上，多模态模型明显优于已经报道的其他模型性能；模型诊断性能随着输入模态种类的增加而相应提升，且在肿瘤多模态数据集中获得92.6%的整体分类诊断准确率；以AUC为97.1%的表现，分别将皮肤科专家在单一临床图像模态、双模态和三模态中的最佳表现继续提升了7.9%、8.2%以及14.3%。

结论：基于皮肤肿瘤多模态数据，构建多模态辅助诊断智能算法，提高了皮肤肿瘤诊断准确率，符合真实世界中临床医生的诊断决策思维，并超过各资质医生的平均水平，具有较好的应用潜力和临床价值。

关键字：辅助诊断；医学人工智能；多模态；皮肤肿瘤

ID 3998

基于多组学联合分析的肝细胞癌综合表征研究

杨万霞、尤崇革
兰州大学第二医院

目的：肝细胞肝癌（HCC）的复杂发病机制和多变症状成科研难点。对HCC患者进行多组学综合分析，有助于发现潜在生物标志物，揭示发病机制，对HCC的诊治具有重要意义。

方法：采用DIA定量蛋白组学和非靶向代谢组学分析方法比较HCC患者的肝细胞癌组织（HCT）和远端癌旁组织（DNT）。单因素等统计分析鉴定差异表达蛋白(DEPs)和差异表达代谢物(DEMs)。利用GO和KEGG数据库对DEPs和DEMs进行功能注释和通路富集分析，筛选候选标记物。最后，通过生物信息学分析，整合蛋白质组学和代谢组学的结果，寻找HCC的关键差异蛋白、代谢物等潜在的生物标志物。

结果：本研究对6例HCC患者的HCT与DNT进行蛋白组学分析，鉴定出1556个差异蛋白，主要为氨基酸降解、脂肪酸代谢及DNA复制相关。随后，对相同样本进行代谢组学分析，发现500个差异代谢物，主要关联甘油磷脂、胆碱及磷脂酶D信号通路。联合分析显示，这些差异蛋白与代谢物共同参与多条关键代谢途径及生理活动，包括胆汁分泌、肾小管功

能及多种氨基酸与脂肪酸代谢，揭示了HCC的复杂分子机制。最终，结合分析数据与现有研究，本研究共确定了16个HCC潜在生物标志物。其中蛋白质包含9个，分别为：TYMS、GTPBP4、GRWD1、BRIX1、PTP4A3、B4GALT5、GAB1、ME2和PKM，代谢物包含7个。

结论：本研究联合蛋白质组学与代谢组学技术，深入分析了HCC患者组织样本，揭示了关键差异蛋白与代谢物在多个生物过程中的作用，并鉴定出9个蛋白质和7个代谢物作为潜在HCC生物标志物。

关键字：肝细胞癌；蛋白组学；代谢组学；生物标志物

ID 4124

A Novel Method of Operation Parameter Determination for Water-isolation- Assisted Microwave Ablation Therapy Based on Numerical Simulation and Deep Learning

Chang Yuan,Kai Yue,Xiaotong Yan,Jiahao Xiang,Haixin Wang
University of Science and Technology Beijing

Objective: Percutaneous microwave ablation (MWA) is widely used as a minimally invasive treatment for malignant tumors in the liver, kidneys, bones, and other organs due to its high efficiency, minimally invasive nature, and low side effects. When tumors are located near the diaphragm, beneath the liver capsule, or near the gastrointestinal tract, Hydrodissection technique are required to prevent local high temperatures generated by MWA from damaging adjacent tissues or organs. Specifically, in microwave ablation procedures for liver tumors, the use of Hydrodissection is an effective technique to safeguard nearby organs and prevent thermal injuries to the stomach, intestines, or bile ducts. However, if patients leave the operating room immediately after surgery, their movement may compromise the integrity of the water isolation layer. Consequently, the residual heat within the tumor and surrounding fatty tissues may still inflict thermal injury on adjacent organs. This can lead to severe complications such as biliary tract infections, peritoneal infiltration, or gastric perforation, and may even result in patient mortality. Therefore, it is of great significance for clinical treatment to study the characteristics of energy transmission and tissue damage during microwave ablation with hydrodissection, tailored to the specific tissue differences of various patients, optimize key operational parameters, and conduct accurate preoperative planning.

Methods: A three-dimensional model of the target liver and stomach based on medical images was reconstructed in the study. Numerical simulation method was carried out to investigate the characteristics of heat transfer and tissue damage before and after the failure of the hydrodissection layer. A multi-physics coupling mathematical model of electromagnetic, thermal, and porous media flow fields was developed to simulate the formation process of the ablation necrosis zone in tumor tissue and to clarify the influence mechanisms of key factors. The model takes into account the processes of evaporation and condensation of water in the tissue, variations in blood perfusion, and uses a linear stretch mapping method to achieve the regulation and failure mechanism of the hydrodissection layer. Based on the adaptive moment estimation method, key operational parameters were optimized with the goal of achieving complete tumor ablation and minimal damage to adjacent tissues. Building on this foundation, a dataset was constructed to optimize treatment conditions, including various tumor sizes and locations as well as different adjacent tissue structures.This dataset was used to train a deep neural network, thereby establishing a quantitative relationship between individual patient differences and optimal surgical operational parameters.

Results: Results show that the hydrodissection layer can effectively protect adjacent tissues by isolating a distance of approximately 1 cm and creating a microwave barrier due to its low conductivity. By keeping the patient still for more than 3-5 minutes postoperatively and adopting a low ablation power with a long ablation time, effective ablation can be ensured while reducing burns to the stomach wall. For tumors with high fat content, the stomach wall may suffer irreversible perforation damage of 1-2 cm within 1.5-2 minutes if the patient moves immediately after a 5-minute ablation at a power above

40W, causing the failure of the hydrodissection layer. Utilizing the optimization methods and deep neural network model established in this study, the optimal ablation power, time, and patient stationary time can be determined according to the specific conditions of the patient's target area and adjacent tissues, with an error margin of less than 2%.

Conclusion: Numerical simulation and deep learning methods were employed to elucidate the energy transmission characteristics and hydrodissection regulation mechanisms during microwave ablation. The optimization method for microwave ablation operational parameters and preoperative parameter setting schemes was developed . This research provides important theoretical foundations and treatment plans for clinical treatment of reducing the risk of postoperative burns to adjacent tissues and minimizing the occurrence of complications.

Key Words: microwave ablation, deep neural network, hydrodissection technique, multi-physics

ID 4176

基于视网膜OCT图像的眼底常见疾病分类与罕见病筛查

黄辉阳[1]、戴钧[1]、陈新建[1,2]

1. 苏州大学电子信息学院

2. 苏州大学放射医学与辐射防护国家重点实验室

目的：随着人口老龄化及电子产品过度使用，年龄相关性黄斑变性和近视性脉络膜新生血管等疾病的发生率不断上升。点状内层脉络膜病变（PIC）和视网膜色素变性（RP）等罕见疾病对视力危害大。因此，研究常见眼底疾病自动分类和罕见病自动筛查对眼底疾病的诊断与治疗具有重要意义。

方法：本研究主要工作和贡献如下：

提出了一种基于多尺度通道注意力和交互注意力的特征融合网络，实现十二种眼底常见疾病的自动分类。深度学习特征提取支路以ResNet为骨干网络，设计嵌入多尺度通道注意力模块，有效提取并融合多尺度通道信息。设计采用交互注意力模块计算深度学习特征和影像组学特征的相关性，实现有效融合。采用多支路优化策略优化各模块，提升分类性能。

针对PIC和RP等罕见病样本稀缺问题，本研究提出基于筛查元任务和元参数重要性的元学习算法。该算法利用L2F元学习框架，设计筛查元任务模拟筛查情景；通过元参数重要性量化提升算法泛化能力；结合特征增强框架，利用十二类常见眼底疾病数据集训练的特征提取器作为辅助特征提取器。

结果：

方法1采用十二类眼底疾病和正常眼底的1720张视网膜OCT图像验证，加权分类准确率、加权精确率、加权召回率、加权F1系数和Kappa分别达到83.48%、84.11%、83.48%、83.15%和79.46%，表明本研究方法较好地融合深度学习特征和影像组学特征。

方法2在十二类常见眼底疾病数据集上训练，在PIC和RP数据集（分别包含42张和122张视网膜OCT图像）上进行微调和测试。微调后，在PIC筛查任务中，1shot和5shot测试准确率分别达到64.90%和72.65%，在RP筛查任务中，1shot和5shot测试准确率分别达到67.55%和73.45%，表明本研究方法可较好实现PIC和RP两种罕见病的自动筛查。

结论：本研究提出的两种方法在眼底常见病分类和罕见病筛查任务中均达到较好性能，对眼底疾病的临床辅助诊断具有重要意义。

关键字：眼底疾病；眼底罕见病；注意力机制；元学习；影像组学

ID 4220

探讨医学人工智能与智慧医疗对患者隐私保护的影响

杨莹
襄阳市中心医院

目的：随着医学人工智能与智慧医疗技术的快速发展与运用，导致患者隐私保护问题日益凸显。本研究旨在探讨医学人工智能与智慧医疗在实际应用中对患者隐私的影响，并提出相应的保护措施。

方法：本文采用文献综述法、案例分析、问卷调查相结合的方式进行。首先，通过检索国内外相关学术数据库，筛选出近五年内关于医学人工智能、智慧医疗及患者隐私保护的相关文献，识别出患者隐私保护的关键问题；其次，选取了襄阳市中心医院三个院区（南院区，北院区，东津院区)作为案例研究对象，对其在使用医学人工智能技术过程中遇到的隐私保护问题进行了深入访谈与分析；此外，还通过问卷调查的方式收集了医务工作者和患者的意见，以评估隐私保护措施的有效性。最后，结合理论分析与实践经验，总结归纳出一套针对智慧医疗环境下患者隐私保护的有效策略。

结果：研究发现，医学人工智能和智慧医疗在提高医疗服务效率和质量的同时，主要存在数据泄露、未经授权的数据访问和使用以及数据的不当处理等问题。案例分析发现，襄阳市中心医院三院区在实施医学人工智能与智慧医疗项目时，采取了数据加密、权限控制、匿名化处理等措施来保护患者隐私，但保护机制并不完善。问卷调查结果表明，医疗工作者和患者对隐私保护的意识较高，但对现有措施的认可度不高。

结论：虽然医学人工智能与智慧医疗为提升医疗服务质量和效率提供了强有力的支持，为患者带来便利的同时也带来了一系列患者隐私保护方面的问题。建议医疗机构加强患者隐私保护意识，提高技术保障，采用加密、权限控制等技术手段，降低患者隐私泄露风险。加强医护人员、患者及家属的隐私保护意识，提高他们对医学人工智能与智慧医疗的认知。在保障患者隐私的前提下，推动医学人工智能与智慧医疗的科学发展。

关键字：医学人工智能；智慧医疗；患者隐私；保护意识

ID 4364

基于机器学习方法构建知识库预测急性白血病的预后以及复发综述

黄三妹、谢文韬、毕志升
广州医科大学

目的：白血病是一种起源于骨髓或淋巴组织的恶性血液疾病，根据其发病速度和影响的细胞类型进行分型，不同亚型的白血病治疗方法和预后存在差异性。其中白血病的治愈率和复发率也会受到患者年龄、疾病阶段以及治疗时的反应等多种因素的影响。由于慢性白血病的长期生存率通过现代治疗得到了显著改善，而急性白血病的治愈率相对较差，复发率又较高，其中AML复发率高达60%，因此本文将着眼于基于机器学习的方法，并结合现有数据库进行整合，对急性白血病的治疗、预后和复发进行综述。通过对现有的临床-基因数据整合，构建急性白血病知识库，并利用数据的时间依赖性、异质性以及高维性，实现对白血病的预后和复发的精准预测。

方法：从大型基因组-临床数据库中提取数据，如TCGA数据库，提取到基因组特征、基因-基因相互作用、人口统计学特征、临床危险因素和接受的治疗等类型的数据，基于随机效应和疾病发展的多阶段统计设计模型，利用机器学习，对提取到的信息构建知识库，并对其效用进行评估，以针对个体患者定制个性化的预后及复发情况预测。最后将患者的总生存期作为分析的主要终点，并使用正则回归的方法预测患者的生存，研究患者的预后和复发情况。

结果：急性髓系白血病患者在不同年龄组之间存在许多的差异性，这些差异在临床和遗传变量中可以被捕捉到。同时，通过量化不同类别的预测变量对每个患者间也会存在差异性，其中患者年龄、运动情况、血球计数这些参数对疾病的早期死亡率影响最大。

结论：知识库可以提供患者预后的有意义的信息，对于急性髓系白血病的患者而言，我们除了能够帮助患者选择同种异体造血干细胞移植，以及是否应该在首次完全缓解或复发后移植，还能对患者治疗后复发的风险进行评估，帮助医生制定更优的个性化治疗方案。

关键字：急性白血病；知识库；预测；预后和复发

S13
生物医学光子学

ID 84

基于空间频域成像的组织成分无标记定量测量

赵雁雨
北京航空航天大学

目的：漫反射光谱成像、空间频域成像等漫射光学技术可无标记、定量、在体测量组织的吸收和散射系数，进而计算氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白浓度及氧饱和度等生理信息。人体的60-80%由水和脂肪构成，二者与细胞及组织功能密切相关。此外，水和脂肪在组织中含量和分布的改变对炎症、糖尿病、心血管疾病、癌症等诸多疾病及相关生理过程有着重要意义。因此，研究一种可定量测量上述成分的成像方法有望用于多种疾病的诊断和治疗。

方法：空间频域成像是一种新兴的漫射光学技术，可无标记、非接触、宽视场、定量测量散射介质的吸收系数和约化散射系数。通过不同测量波长的吸收系数，利用比尔朗伯定律即可定量计算散射介质内的成分浓度及其空间分布。

结果：研究了基于漫射光的漫反射光谱成像和空间频域成像技术，利用水和脂肪在近红外及短波红外波长独特的光学吸收特性，针对光在生物组织中的传播建立计算模型，实现了在近红外、短波红外波段利用光时空调制对生物组织的光学吸收和散射系数进行测量，并实现了对组织中水和脂肪含量的无标记、大视场量化成像。此外，针对传统空间频域成像测量速度和数据处理速度受限的问题，提出了半色调编码方法，突破传统连续调编码方式造成的调制速度瓶颈，将成像速度提高近百倍；进一步提出基于深度学习的数据处理方法，将空间频域成像数据处理速度提高超过十万倍。

结论：本研究提出的是一种散射介质的通用测量方法，可对离体和在体组织中的血红蛋白、水、脂质、黑色素等成分浓度进行高时空分辨率的无标记、非接触、宽视场、定量测量。

关键字：空间频域成像，无标记，组织光学

ID 117

基于拉曼内窥镜的术中无创光学活检

陈珣
北京航空航天大学

目的：脑胶质瘤是最常见的颅内原发肿瘤，根据2021年新版指南将IDH、1p/19q、TERT、EGFR、7号染色体、10号染色体、CDKN2A和CNKN2B相关的分子特征纳入高级别脑胶质瘤的分级分类标准，分子特征的检测对确定高级别脑胶质瘤的类型、级别和手术策略有着重要意义。目前，分子特征检测的金标准方法难以在术前或术中提供检测结果，无法指导手术切除策略。因此，临床上亟需一种无创、准确、快速的术中脑胶质瘤多分子特征检测方法。

方法：针对上述问题，本文建立了一种基于拉曼光谱的高级别脑胶质瘤多分子特征检测方法。首先，本文搭建了一

套高灵敏度的拉曼光谱内窥镜系统，自主研发了国产化的一次性拉曼探头；术中采集了44例高级别脑胶质瘤患者的2358条原始光谱；建立了基于深度学习的脑胶质瘤分子分型诊断模型。

结果：基于深度学习模型的九个分子特征检测的 AUC 均大于0.8，其中 IDH、1p/19q、CDKN2B 相关的三个分子特征检测的 AUC 大于 0.95 且灵敏度、特异度、准确度均大于 85%，MGMT 甲基化、EGFR、CDKN2A 相关的三个分子特征检测的 AUC 介于 0.85~0.9，TERT、7 号染色体、10 号染色体相关的三个分子特征检测的 AUC 介于 0.82~0.85。本文还发现细分肿瘤类别有助于提高分子特征的检测效果，胶质母细胞瘤亚组的 AUC 呈现大于高级别脑胶质瘤组的一致性趋势。在模型的生物可解释性方面，本文发现脂质和胶原蛋白分子含量在分子分型诊断中的贡献度更为显著。通过优化深度学习算法，利用数据结构的AI辅助模型，进一步提升深度学习诊断方法的准确性，对比基础模型提升5-10%。

结论：综上所述，本文建立了一种基于拉曼光谱的快速准确的高级别脑胶质瘤多分子特征检测的新方法，有望推动脑胶质瘤术中分子特征检测方法的发展。

关键字：拉曼内窥镜；脑胶质瘤；分子分型；深度学习；

ID 506

An Unsupervised De-scattering Framework for High-performance Speckle Correlation Optical Scattering Imaging With Speckle Noise

Xiangru Liu[1,2],Ruifeng Zhang[2],Liang Fei[2],Qi Cui[2],Shutian Liu[1],Zhengjun Liu[1],Wei Liu[2,3]

1. Harbin Institute of Technology

2. Optical Imaging Laboratory, Harbin Institute of Technology, Shenzhen, China

3. Quantum Science Center of Guangdong-Hongkong-Macao Greater Bay Area, Shenzhen, China

Objective: Speckle correlation optical scattering imaging (SCOSI) is an emerging technology for imaging through turbid media, where there is an increasing focus on translation to preclinical practices. However, state of the art SCOSI approaches are suffering from low-resolution and low-SNR reconstructions due to diffusive scattering, especially in the presence of speckle noise for which additional image-degradation filtering is mandatory. In this work, a de-scattering framework is designed to improve the reconstruction performance of SCOSI with speckle noise, which is composed of an adaptive phase retrieval algorithm and an unsupervised generative adversarial network. Compared to the existing deep learning methods, the implementation of the framework is more aligned with the practical imaging applications, as the designed network doesn't need pairwise experiment datasets for training and validation. SCOSI experiments are carried out to verify the effectiveness of the proposed framework.

Methods: The overall structure of the proposed framework is composed of an adaptive phase retrieval algorithm and a transformer-based generative adversarial network. The phase retrieval process utilizes an adaptively updated physical constraint to output a primary inadequate reconstruction for the subsequent unsupervised refinement network. The network is used to further optimize the reconstructed image to have a high resolution and to compensate for the missing edges of the target, which is the problem commonly found in the reconstructed results obtained by phase retrieval. And after refinement by the trained network, the output with smoother and more complete edges is used as a new constraint to feed back into the phase retrieval iteration. Finally, a high-fidelity reconstructed result of SCOSI is obtained. During the training process, the network is fed with simulated data, which is successfully transferred to the experimental data due to the delicate structure of the network. The refinement network is composed of a generator and a discriminator. The generator consists of four parts, including a convolution head, a transformer body, a convolution tail and a style manipulation module. The convolution head with partial convolution layers extracts local inductive priors in early processing, which remains essential for better representation and also downsamples the input to reduce computational complexity and memory cost. The transformer body contains five transformer blocks and a convolution layer with a global residual connection. Each of the transformer blocks is compromised with multi-head contextual attention (MCA), fully connected layer (FC) and multi-layer

perceptron (MLP), which replaces the commonly used layer normalization (LN) + multi-head self-attention (MSA) + LN + feed-forward network (FFN) structure in a transformer block, leading to more stable and superior results under harsh environmental noise. The convolution tail has an encode-decode structure to refine high-frequency details, drawing on the local texture refinement capability and efficiency of CNNs. The style manipulation module allows the model to produce different predictions by modulating the weights of the convolutions and improve diversity. In the iterative generation process, a discriminator is designed to give the score of the generator's output and feed back to the next iteration.

Results: The experimental verifications were separately performed on the reconstructions of fluorescent beads and DMD-displayed targets (such as numbers and characters) using customized SCOSI setups. The iterative phase-retrieval-based reconstruction is highly dependent on the speckle pattern quality. Unfortunately, there will always be strong disturbances from ambient light in many practical applications, such as the strong surface reflections in imaging deep tissues. These kinds of ambient noise would definitely destroy the structures of the speckle patterns and thus result in failed reconstructions. Therefore, applying noise filters to the speckles is generally a mandatory step. In addition to noise robustness, the proposed framework shows an additional advantage in resolution improvement in reconstructing both fluorescent and digital targets from noisy scattering speckles.

Conclusion: In the presented work, an unsupervised physical-priors-guided transformer-based network method is proposed for high-performance SCOSI with speckle noise. It performs well on both reconstructing fluorescent and digital targets, which provides an important reference for the reconstruction optimization of SCOSI towards practical applications.

Key Words: high-resolution scattering imaging, transformer model involved generative adversarial network, phase retrieval guided network, unsupervised network

ID 791

精子形态和活力的光学检测方法

周金华

安徽医科大学

目的：不育问题在全球范围内持续恶化，越来越多不育夫妇需要借助辅助生殖技术实现繁衍生物学后代的愿望。卵细胞胞质内单精子注射技术（ICSI）采用人工挑选的单个精子直接注射到卵母细胞内，适合少精子症、畸形精子症、弱精子症、少弱畸形精子症和无精子症等多种男性不育疾病，此外也适合非男性因素引起的不育疾病。在ICSI中，缺乏原位检测单个精子活力、形态参数和DNA碎片化程度的方法评估其质量。本研究针对活精子需要非标记观测和分选的需求，研究单个活精子的形态参数和活力的光学检测方法，并评估该精子的质量，为ICSI提供优选技术。

方法：鉴于定量相位成像技术可实现高衬度定量化观察细胞内结构和光镊操纵单个活精子，拟通过定量相位成像技术检测精子形态参数；采用光镊技术检测精子活力与运动手性，以及单精子的分离；通过图像处理和深度学习方法追踪精子运动轨迹分析活力。

结果：

（1）基于定量差分相衬的定量相位成像各类相位恢复算法，获得高质量的精子的相位成像；（2）在衍射相位显微术（DPM），提出基于稀疏先验相位展开算法实现了对精子的相位成像；（3）基于DPM检测了单个活精子的几何形态参数，以及量化精子顶体的相位分布评估精子顶体反应的潜力；（4）设计并制作了便携式多模式照明的显微镜，实现了高分辨的相位成像等多种成像模式，结合AI和暗场成像方面，追踪精子的运动评估其活力；（5）应用自研光镊系统检测单个精子的运动手性为右手螺旋运动，其旋转频率与活力参数有相关性，结合旋转玻片方法可实现任意轨迹的精子分选。

结论：相位成像等技术能提供高衬度成像，可应用于精子形态检测；光镊技术可检测单个精子活力；将相位成像、光镊技术和AI相结合，有望推动优选单精子的技术。

关键字：定量相位成像；光镊；人工智能；精子；

ID 986

A live cell drug efficacy image analysis method based on FRET information constraints of drug target molecule

Lu Gao,beini Sun,xinlei Li,tongsheng Chen
South China Normal University

Objective: High-content drug screening has been playing a crucial role in new drug research and development as well as precision medicine for cancer. Traditional research methods usually targeting single target or parameter have become inadequate for studying certain diseases with multiple genetic factors and viral infections. While cell-based high-content screening techniques can achieve simultaneous detection of multiple parameters or targets of compounds. It allows researchers to study the mechanisms of action, metabolic pathways, and potential toxicity of drugs at the level of disease-related gene regulatory pathways and networks. And it also makes it possible to comprehensively evaluate the druggability of active compounds at the cellular level. Currently, there are two mainstream approaches to high-content screening. One is image-based high-content living cell drug screening, which primarily uses characterizing morphological changes in living cells as a basis for screening. By analyzing thousands or even tens of thousands of subtle morphological features within living cells in image, the effectiveness of active compounds can be evaluated. However, this method only has higher accuracy during the mid-late stages of drug efficacy when significant morphological changes occur. If phenotypic changes are not obvious or unrelated to drug efficacy, it cannot provide accurate screening results. The other is biochemical analysis-based high-content drug screening that uses characterizing biological properties associated with multiple targets as a basis for screening. Typically, a large amount of information related to genes, proteins, and other cellular components is detected in a single experiment to determine their biological activity and potential toxicity. However, this method requires cell disruption and therefore cannot be used for screening in living cells.Furthermore, the biochemical-based screening often lacks correlation with drug efficacy and it can only be used to detect information such as biological activity, potential toxicity and so on.

Methods: Based on FRET technology, we developed a live cell drug efficacy image analysis method based on FRET information constraint of drug target molecule (FRET-HCS).The FRET-HCS method is based on live cell fluorescence resonance energy transfer microscopy, and the FRET information of drug target molecule is used to constraint the cell phenotype information obtained by HCS technology, so as to achieve accurate live cell drug efficacy analysis.Because of FRET technology is the only technology that can visualize molecular structure and function in situ in real time in living cells, and HCS technology enables drug analysis by image phenotypic features in live cells.. The combined FRET-HCS method enables us to simultaneously obtain the phenotypic information of cells and the structural and functional information of drug targets, so as to establish methods and systems for rapid and accurate screening of personalized cancer clinical drugs. The HCS-FRET method mainly consists of two parts: image preprocessing and image analysis. In the image preprocessing stage, the modified Unet++ convolutional neural network is employed for cell-level instance segmentation of bright-field images, subcellular fluorescence images and others. In this stage, we can achieve the accurate segmentation of cells and various subcellular structures. In the image analysis stage, the HCS-FRET method utilizes a combination of cross-attention and self-attention mechanisms to enable both FRET information and phenotype information strongly correlated with FRET information can be simultaneously extracted by the image analysis network. And this study constructed the two modules respectively attention Cross Swin Transformer Block and Swin Transformer Block in order to realize the phenotype and FRET information fusion in the model.

Results: The experimental results demonstrate that compared with using only either HCS or FRET method, the FRET-HCS image analysis method has significantly improved its accuracy and robustness in drug screening. We also validated the FRET-HCS image analysis method by using a drug-induced cancer cell apoptosis system. The results showed that FRET-HCS can not only accurately distinguish the effects of two positive drugs and three negative drugs on cancer cell apoptosis, but

directly provide a pharmacological score for the positive drug's action. In addition, to demonstrate the generalization of the FRET-HCS image analysis method, we tested it on three different cancer cell lines and five drug target molecules, and the experimental results all showed significant advantages over traditional drug screening methods.

Conclusion: Overall,We developed FRET-HCS method can simultaneously obtain the cell phenotype information and drug target molecular structure and function of information, so as to establish a quick accurate screening method and system for personalized cancer clinical treatment drugs.

Key Words: FRET; high-content screening; deep learning; image analysis.

ID 997

Phosphorylated MFF Recruits Drp1 Dimers to Promote Mitochondrial Fission

Chunchun An,Yuxuan Zheng,hongce Chen,beini Sun,Zewei Luo,Tongsheng Chen
激光生命科学教育部重点实验室

Objective: Mitochondria are highly dynamic organelles whose proper morphology and physiological functions are regulated by fusion and fission. Mitochondrial fusion is mediated by three mitochondrial membrane proteins: mitofusins (Mfn1 and Mfn2) for outer mitochondrial membrane fusion and optic atrophy 1 (OPA1) for inner mitochondrial membrane fusion. The master executioner of mitochondrial fission is another dynamin-related GTPase, dynamin-related protein 1 (Drp1), which is predominantly diffused in cytoplasm and must be recruited to mitochondria by recruitment factors for mitochondrial fission. Once recruited to mitochondria, Drp1 further oligomerizes and self-assembles into ring structures to wrap around the mitochondrial tubule. Upon GTP hydrolysis, Drp1 changes conformation to shrink the oligomeric ring, which then divides the mitochondrion into two. Mutations or deletions of Drp1 inhibit mitochondrial fission and result in mitochondrial hyper-fusion, which in turn leads to neurological dysfunction and developmental lethality.

There are four recruitment factors of Drp1: mitochondrial fission factor (MFF), mitochondrial fission 1 protein (Fis1), and mitochondrial dynamics proteins of 49 and 51 kDa (MiD49 and MiD51). MFF is an essential recruitment factor of Drp1 that promotes mitochondrial fission. However, the mechanism of how MFF recruits Drp1 is unclear. MFF phosphorylation is critical for the recruitment of Drp1. MFF oligomerization also is required for Drp1 activity and oligomerization, and affects the efficiency of Drp1 recruitment. MFF mutations or deletions lead to excessive mitochondrial elongation, causing severe developmental abnormalities and neurodegenerative diseases.

Another controversy is the oligomerization state of Drp1. In vitro studies have suggested that Drp1 exists in a variety of assembly states in solution, including dimers, tetramers and higher-order oligomers (higher than tetramers). Biochemical experiments indicated that Drp1 dimers are recruited by MFF. However, Yeast two hybrid experiments suggested that MFF recruits Drp1 tetramers because Drp1 is likely active in this state. But chemical crosslinking experiments in vivo demonstrated that MFF preferentially recruits higher-order oligomers of Drp1 to mitochondria to promote fission. The molecular assembly state of Drp1 recruited by MFF in intact living cells remains to be elucidated.

Methods: Here, fluorescence imaging technologies, Super-Resolution Structured Illumination Microscopy (SR-SIM) analysis and live-cell fluorescence resonance energy transfer (FRET) assays were performed in wild-type cells and MFF/Drp1 knockout cells to study the mechanism of MFF recruiting Drp1 to mitochondria.

Results: Live-cell fluorescence imaging showed that the cells co-expressing CFP-MFF S172D (phosphorylated MFF) and YFP-Drp1 exhibited 72% of mitochondrial Drp1 localization and 76% of fragmented mitochondria, much high than the 11% and 37% of the cells co-expressing CFP-MFF S172A (dephosphorylated MFF) and YFP-Drp1, indicating that phosphorylated MFF, rather than dephosphorylated MFF, recruits Drp1 to mitochondria to promote mitochondrial fission. Live-cell FRET assays of cells co-expressing CFP-MFF S172D/CFP-MFF S172A and YFP-Drp1 demonstrated that MFF S172D instead

of MFF S172A directly bound to Drp1, indicating the direct interaction between the phosphorylated MFF and Drp1. Furthermore, cells co-expressing CFP-MFF and YFP-Drp1 A395D (tetramers) exhibited a uniform distribution of Drp1 A395D in cytoplasm and a normal mitochondrial morphology, while cells co-expressing CFP-MFF and YFP-Drp1 C505A (dimers)/M482D (higher-order oligomers) exhibited significant mitochondrial localization of Drp1 C505A/M482D and mitochondrial fragmentation, indicating that MFF recruits the Drp1 dimers and higher-order oligomers instead of the Drp1 tetramers to mitochondria. FRET assays further demonstrated that MFF S172D, like wild-type MFF, bound to Drp1 C505A in cytoplasm, but to Drp1 C505A and Drp1 M482D in mitochondria, indicating that the phosphorylated MFF directly interacts with the Drp1 dimers in both cytoplasm and mitochondria, but with Drp1 higher-order oligomers exclusively in mitochondria. Notably, chemical cross-linking and oligomerization analysis, immunofluorescence imaging and live-cell quantitative FRET assays demonstrated that both phosphorylated and dephosphorylated MFF were always oligomerized independent of Drp1.

Conclusion: Taken together, our findings firmly uncover a mechanism wherein the phosphorylated MFF instead of the dephosphorylated MFF recruits cytoplasmic Drp1 dimers to mitochondria to promote mitochondrial fission.

Key Words: MFF, Drp1, Mitochondrial fission, Live-cell FRET assays

ID 1593

多模态光声成像技术：提升在类风湿关节炎 评估中的灵敏度

黄志彬[1]、吴淮宇[2]、董发进[2]

1. 深圳市人民医院

2. 深圳市人民医院龙华分院

目的：准确评估类风湿关节炎（RA）的活动仍是一项挑战。多模态光声/超声（PA/US）关节成像是一种新的成像模式，能够描绘与类风湿关节炎相关的发炎关节中的微血管和氧合水平。然而，大规模研究的缺乏限制了对关节氧合状态与疾病活动相关性的探索。评估多模态 PA/US 成像在测量 RA 受损关节滑膜组织 So2 和 PA 评分方面的功效，并确定其与标准 RA 临床评分的相关性

方法： 对 RA 患者777个小关节进行多模态 PA/US 成像检查，以确定受影响关节的 So2 值和 PA 评分。以 0-3 PDUS 分级表和简化 US-7 评分系统为参考，对包括 MCP、PIP、MTP 和腕关节在内的临床优势侧关节进行了全面的影像学评估。将关节的 PA-sum 评分与 PD-sum 评分进行比较，以确定敏感性。

结果： 对 111 名患者的 777 个关节面进行的分析表明，PA-sum 评分（CDAI ρ = 0.738，SDAI ρ = 0.739，$p < 0.001$）明显高于 PD-sum评分（CDAI ρ = 0.575，SDAI ρ = 0.581，$p < 0.001$）。这凸显了 PA 成像比 PDUS 更高的灵敏度，尤其是在检测厚滑膜和发炎腱鞘中的小血管方面。PA 评分、PA+So2 模式和标准临床 RA 评估之间存在显著的相关性。值得注意的是，高氧血症 RA 患者在某些临床指标上的得分更高。

结论： 多模态 PA/US 成像为 RA 评估带来了潜在的进步，尤其是在滑膜组织的 So2 评估和相关 PA 评分方面。然而，还需要进一步的研究，尤其是在多中心环境下进行更多样本量的研究。

关键字：类风湿性关节炎，光声成像，氧饱和度； 超声，临床研究

ID 1696

FRET two-hybrid assay-based target drug screening in living cells

Beini Sun,Tongsheng Chen
College of Biophotonics

Objective: Accelerating and optimizing drug screening methods is crucial to reducing the time and cost of developing new drugs. Drug development is a lengthy and costly process, taking an average of 12 years, costing $6.6 billion, and requiring the efforts of hundreds of researchers to move from laboratory to pharmacy, with a success rate of only 0.01-0.02%. The first step in drug development is to screen compounds with specific physiological activities from a large number of compounds. Precise targeted drug screening is the key to improve the efficiency of tumour targeted therapy. Drug screening is achieved mainly through two strategies, target-based and phenotypic approaches. Target-based screens use high-throughput and label-dependent molecular assays to measure the effect of compounds on a specific target protein in vitro, while phenotypic screen use unbiased phenotypic assays to examine the effect of compounds on a specific phenotype of cells, tissues or animals. Target-based drug discovery (TDD) is the dominant paradigm in drug discovery. Since the dawn of the genomics era in the 1990s, the main focus of drug discovery has been on drug targets, which are typically proteins that appear to have a key role in disease pathogenesis. Target-based drug screening begins with the determination of a biomolecule as a therapeutic target. Subsequently, appropriate assay methods are used to assess the effect of potential drug compounds on the target, and a large number of compounds need to be screened to determine the 'active compounds'. Finally, the action mechanism of these active compounds is validated, and their efficacy is evaluated. Researchers have used TDD method to screen effective drugs against many diseases, including neurological disorders, depression, and cancer. Gefitinib, Bortezomib, and Sorafenib were all discovered through TDD. TDD screening has the shortcomings of poor disease relevance, the need for sophisticated instruments, and the inability of some technologies to perform in situ detection of living cells; while PDD screening is complex, costly, and incapable of determining the mechanism of drug action. Therefore, in order to solve the problem of difficult drug selection for cancer patients, prolong the survival period of cancer patients and improve the cure rate, the development of efficient clinical tumour-targeted drug screening methods is an urgent need for the current cancer clinical precision drug therapy. Förster resonance energy transfer (FRET) is a sensitive and easy-to-use method for studying the molecular structure of proteins and has been used in drug screening.

Methods: This report presents a live cell FRET two-hybrid assay-based targeted drug screening method (FRET-HBTDS). In FRET-HBTDS, the cells co-expressing donor- and acceptor-labelled targets were cultured in 96-well plates, quantitative FRET imaging was then performed on a self-built automated FRET microscope (FRETscope) well-by-well, and FRET two-hybrid assay was used to obtain the maximum donor-centre FRET efficiency (EDmax), maximum acceptor-centre FRET efficiency (EAmax) and stoichiometric ratios (NA/ND).

Results: The FRET-HBTDS method was performed on the FRETscope with a 20× objective for the cells co-expressing CFP-Bcl-xL and YFP-Bak to assess the action of eight compounds (A131852, S63845, AC, DSF/Cu, Met, REGO, SOFA, ABT199) on the interaction between Bcl-xL and Bak. After 7 h of treatment with these compounds respectively, only the A1331852 group showed significantly lower EDmax and EAmax compared to the control group, and a significant increase in NA/ND, suggesting that A1331852 unlocks the direct interaction between Bcl-xL and Bak, thus releasing Bak to induce cell death. In addition, DSF/Cu increased the NA/ND from 0.554 to 0.702, suggesting that DSF/Cu altered the stoichiometry of the Bcl-xL-Bak complex.

Conclusion: Our data firmly demonstrate that A1331852 unlocks the binding state of Bcl-xL and Bak, while DSF/Cu modifies the structure of the Bcl-xL-Bak complex. These findings demonstrate that FRET-HBTDS can be used to assess the efficacy of a drug by revealing the binding state and complex molecular structure of the target proteins using FRET technology in living cells, which may be a potential targeted drug screening method.

Key Words: Förster resonance energy transfer; drug screening; FRET two-hybrid assay; Bcl-2 family

ID 2437

Patient-Specific 3D Coronary Reconstruction Utilizing Angiography and Intravascular Optical Coherence Tomography

Cuiru Sun,Songchen Wang,Guorui Du
Tianjin University

Objective: The integration of Digital Subtraction Angiography (DSA) with Intravascular Optical Coherence Tomography (IVOCT) offers a comprehensive 3D arterial model, which is invaluable for the analysis of vascular anatomy and biomechanics. However, the process of image fusion is often hindered by the challenge of accurately orienting IVOCT images. We propose an innovative dual-path based method of fusing IVOCT and angiography images to reconstruct 3D vascular models with high accuracy.

Methods: The 3D vascular model reconstruction from IVOCT and DSA involves three principal steps. (1) establishment of cross-sectional direction vectors for IVOCT images. This involves identifying a vector that extends from the guidewire to the center point on the IVOCT images aided by U-Net convolutional neural network-based image segmentation. This vector serves as an indicator of the orientation of the IVOCT cross-sectional image within the imaging plane. (2) Creation of spatial direction vectors from DSA: This step involves extracting 3D vascular centerline and guidewire trajectory from DSA and creating spatial direction vectors. These vectors determine the spatial orientation of the vascular cross-sections. (3) Alignment of IVOCT image sequence along the guidewire trajectory: This is achieved by matching the cross-sectional and spatial direction vectors. Once all IVOCT images are correctly inserted and aligned according to these vectors, the 3D vascular model can be constructed.

To establish cross-sectional direction vectors of IVOCT images, image segmentation was applied firstly. U-Net neural network with residual and depth supervision modules was used to segment the lumen and outer boundary of the vessel wall automatically. After the segmentation, the centroid of the lumen was located, which corresponds to the center of the cross-section of the blood vessel in DSA. The guidewire on the IVOCT image was located by searching for the brightest spot within the fan-shaped region. The cross-sectional direction vector was then established by pointing from the guidewire to the center of the blood vessel. The 3D trajectories of the vascular centerline and guidewire were extracted based on the multi-scale enhancement method. The guidewire length scanned by IVOCT was divided evenly by the number of IVOCT images. Spatial direction vectors were formulated based on the dividing point as the origin, perpendicular to the tangent of the of the guidewire at the position of the dividing point, and pointing towards the vascular centerline.

Results: To evaluate the accuracy of the dual-path co-registration method, a simplified experiment using an 3D printed elastic resin vascular phantom was conducted. 43 IVOCT cross-sectional images along the full length were acquired. Based on the specific model design, the trajectory of the catheter was estimated as a straight line. After inserting the IVOCT cross-sectional images at the corresponding points, and aligning the cross-sectional direction vectors with the spatial direction vectors, the vascular model was reconstructed. The reconstruction error is ~5% compared to the designed model.

Patient-specific 3D coronary model was reconstructed by the proposed dual-path based method. IVOCT and DSA datasets of coronary arteries were obtained from clinical trials using the IVOCT system. The lumen of the coronary was segmented on IVOCT image using the U-Net based segmentation method. The centroid of the lumen and the guidewire were located in each image, based on which, the cross-sectional direction vector was established. The 3D trajectories of the guidewire and centerline were reconstructed by external polarization line matching. The 180 frames of IVOCT images were inserted into the insertion points sequentially along the guidewire trajectory and aligned by matching the cross-sectional direction vectors and spatial direction vectors. Then the point cloud model and 3D solid model of the coronary were constructed.

To evaluate the impact of the shape of vascular model to the hemodynamics, simulation was conducted based on the models constructed by our dual-path-based model and the traditional centerline-based model. Blood velocity distributions at different cross-sections and wall shear stress (WSS) are compared. Results show that geometry affects the flow field and

WSS, which can influence vascular disease diagnosis.

Conclusion: This study proposes a 3D reconstruction method for coronary arteries based on the guidewire and the blood vessel centerline. This method simplifies the localization process during the fusion of DSA and IVOCT images and effectively eliminates distortions caused by non-uniform rotation and vibrations of the IVOCT catheter. This highly accurate 3D coronary artery reconstruction method is crucial for comprehensive understanding of vascular anatomy, vascular biomechanics analysis, and providing information for clinical decision-making.

Key Words: optical coherence tomography, digital subtraction angiography, intravascular, 3D vascular model reconstruction

ID 2452

Spatiotemporal Pattern of Angiogenesis and Vessel Remodeling in A Flap Transplantation Model Visualized By in Vivo Dynamic Imaging

Sijia Feng[1],Mo Chen[2],Huizhu Li[1],Jun Chen[1]

1. Department of Sports Medicine, Huashan Hospital, Fudan University

2. Department of Bone and Joint Surgery, Department of Orthopedics, Renji Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China

Objective: In recent years, skin flaps have become an indispensable technique in the realm of surgery, serving as a cornerstone in the management of skin defects. Angiogenesis, a biological process involving the sprouting of new blood vessels from existing vascular networks under the guidance of endothelial cells and remodeling, the process involving changes in vessel diameter, branching, and connections, are pivotal for the construction and sustenance of vascularization in securing the success of flap transplantation surgeries. This study pinpointed the critical spatiotemporal pattern of angiogenesis and vessel remodeling necessary for flap survival based on in vivo dynamic shortwave infrared (SWIR) imaging, with a focus on obtaining preoperative vascular mapping, monitoring flap tissue conditions, and observing the morphological alterations of vessels. These insights are expected to enhance the clinical application of flap transplantation significantly.

Methods: The establishment of the flap transplantation model was based on our previously reported method. The mice were anesthetized using isoflurane and placed in the prone position with depilation and disinfection of the surgical area on the back. A 4.5 cm×2.5 cm dorsal island perforator skin flap was established. After injection of PbS quantum dots (QDs), in vivo SWIR imaging was done in a time course. The SWIR fluorescence images were obtained by the imaging system developed by Shanghai Institute of Materia Medica, Chinese Academy of Sciences. The 808 nm of excitation sources were provided by two fiber-coupled lasers and the emitted fluorescence signal was caught by InGaAs camera NIRvana 640 (Princeton, USA) with NIR long-pass filter of 1250 nm. SWIR images were taken 1 d, 14 d and 21 d after the establishment of the flap transplantation model. The vessels area, vessels percentage area, average diameter of vessels, vessels length, number of junction and number of endpoint were measured from SWIR fluorescence images. Then immunohistochemistry and quantitative analysis were done to verify the vascularization process.

Results: The vessel area was measured and an increase was shown from 1 d to 21 d, but no significant difference was discerned throughout the period of observation. To demonstrate the perfusion area more accurately, the vessel percentage area was calculated. A constant increase from 1 d to 21 d was displayed, along with a significant increase between 1 d and 21 d, indicating an increased perfusion during 21 d after surgery. This result illustrated the reality of flap perfusion with accuracy compared with gross inspection. Moreover, the average diameter of the four main perforator vessels was measured to identify the vessel details. It was shown that the vessel diameter increased from 1 d to 14 d, and then decreased at 21 d but without significant difference. A steady rise was also discerned of the vessel length from 1 d to 21 d but without significance, suggesting constant angiogenesis throughout 21 d after surgery. As for vessel junctions, no significant difference

was detected of the number between 1 d and 14 d. However, a significant increase in junction number was shown from 14 d to 21 d, implying an accelerated remodeling during this time period. Interestingly, significantly more endpoints was identified from 1 d to 14 d, confirming the initiation of remodeling. However, the number of endpoints decreased significantly from 14 d to 21 d, suggesting the vessels connected together to form a capillary network based on the sprouting at 14 d. The trend of endpoints of vessels indicated the connections of neovessels occurred in the late remodeling process.

Conclusion: In vivo SWIR imaging based on QDs is a promising candidate for vascularization demanding intricate visualization and functional assessments by providing high resolution and real-time images. The remodeling process of flap mainly lies in branching and connections regarding in vivo and in situ models. The trend of endpoints of vessels indicated the connections of neovessels occurred in the late remodeling process from 14 d to 21 d.

Key Words: in vivo imaging; shortwave infrared imaging; quantum dots; angiogenesis; vessel remodeling

ID 2469

基于PbS量子点的SWIR荧光成像对淋巴功能的活体评估

陈俊
复旦大学附属华山医院

目的：由于现有技术在成像质量和功能评估方面存在显著不足，本研究旨在探索使用具有高空间和时间分辨率的SWIR荧光成像技术，并利用PbS量子点作为荧光造影剂，以更有效地实现淋巴系统的精准可视化及动态功能评估。

方法：本研究应用微波反应器制备RNase A酶包裹的PbS量子点作为活体淋巴系统荧光造影剂，在大鼠模型中注射PbS量子点进行体内成像实验，利用SWIR荧光成像技术活体实时动态观察其尾部和后肢的正常及功能障碍的淋巴系统，识别淋巴管和淋巴结的结构的同时评估“淋巴泵”的功能。

结果：注射的PbS量子点在4 min内迅速填充大鼠淋巴管，PbS量子点组的发光信号明显优于ICG对照组。同时，“淋巴泵”收缩的灌注速度为0.35 mm/s，相较于ICG的0.1 mm/s明显更快。此外，PbS量子点的荧光在注射后6天内逐渐衰减，主要器官未见显著炎症，具有良好的生物安全性。活体成像结果验证了PbS量子点在淋巴系统成像中的有效性，尤其在淋巴系统功能监测中提供了新手段。

结论：使用PbS量子点的SWIR荧光成像技术与ICG相比能够更清晰地展示大鼠尾部和后肢的淋巴管和淋巴结的形态。通过SWIR荧光淋巴造影，可以直接识别大鼠中约1 cm大小的淋巴泵，为精确评估淋巴功能提供了客观证据。因此，基于PbS量子点的SWIR荧光成像技术有望改善淋巴造影，并深化对淋巴系统的形态和结构以及淋巴功能的理解，有助于未来深入诊断淋巴功能障碍。综上所述使用PbS量子点进行SWIR荧光成像可以更好地评估淋巴功能，为淋巴疾病的诊断改进提供了重要的参考。相关学者可以从这些发现中学习到使用SWIR荧光成像技术进行淋巴成像的方法和优势，并理解淋巴泵和淋巴功能评估的相关原理。在未来的生物医学应用中，这些发现对于了解示踪剂的清除特性以及优化成像方案也具有重要的意义。

关键字：光学成像；活体成像；功能成像；脉管系统；实时动态

ID 2761

基于结构光照明的超分辨定量FRET显微成像

罗泽伟[1]、范骏超[2]、陈同生[1]
1. 华南师范大学
2. 重庆邮电大学

目的：荧光共振能量转移(Fluorescence Resonance Energy Transfer, FRET)显微术通过测量蛋白分子动态相互作用及其空间分布，提供了对细胞生命活动的独特洞察。然而受限于衍射极限对显微成像空间分辨率的约束，FRET显微成像在观测亚细胞区域内蛋白分子相互作用及空间定位时只能解析常规荧光显微镜分辨率约束下多分子事件的平均行为。近年来发展的结构光超分辨(Structured Illumination Microscopy, SIM)显微成像技术可以更精细观测小于100 nm尺度空间结构，其照明光强度低，成像速度快，具有多色成像能力，融合SIM和FRET技术将为解析活细胞中亚细胞器精细结构上的分子结构及其功能提供可能。

方法：为了消除SIM重建伪像对FRET定量分析的影响，本文提出了基于空间共定位掩模过滤的超分辨SIM-FRET图像重建方法(SIM-FRET)。其可有针对性地过滤去除SIM重建伪像带来的FRET假阳性信号，同时保留具有超分辨精细结构的FRET信号，进而实现FERT的定量超分辨检测。

结果：利用搭建的多色SIM系统进行了活细胞靶向线粒体FRET标准质粒的超分辨成像实验。与传统宽场FRET成像相比，SIM-FRET提供了120nm分辨率的超分辨定量FRET结果，证明了SIM-FRET研究活细胞亚衍射区域分子时空分布和功能状态的可行性。

结论：相比传统的宽场FRET技术，SIM-FRET具有更高的时空分辨率，能够更准确地定位和解析供受体之间的FRET信号，从而提高解析活细胞内精细结构上分子互作的能力。通过这项技术，我们能够更深入地了解细胞内复杂的分子动态过程，为研究生物体的功能和机制提供有力的工具。

关键字：FRET，结构光照明，超分辨，活细胞

ID 2921

Towards High-throughput Single-molecule Localization Microscopy

Shuang Fu,Wei Shi,Yiming Li
Southern University of Science and Technology

Objective: Single-molecule localization microscopy (SMLM), as a type of super-resolution microscopy with high three-dimensional resolution and excellent single-molecule quantification capabilities, has facilitated a series of discoveries and applications in life science research. However, the growing demand for observation and data analysis has posed new problems and challenges to SMLM. In this work, we addressed the current issues of insufficient imaging throughput and aberration-induced localization artifacts in SMLM. By carrying out a series of research including more accurate point spread function (PSF) modeling, shift-variant localization algorithm development, and large field of view (FOV) imaging hardware design, this work has successfully broken the throughput limit of current super-resolution imaging technology. Finally, we demonstrate high-accuracy three-dimensional SMLM over a volume of ~180×180×5 μm3, allowing us to image mitochondria and nuclear pore complexes in entire cells in a single imaging cycle without hardware scanning; a 100-fold increase in throughput compared to the state of the art.

Methods: Considering that SMLM relies on the precise modeling of the PSF, first we built an imaging model of strong

focusing objective based on vectorial diffraction theory, and fully considered the pixel integration effect of the camera sensor. This led to the development of a tool to evaluate the accuracy of single-molecule localization under varying optical sampling rates and noise levels. A systematic and detailed analysis of the commonly used PSF engineering in the field has been carried out, and the optimal pixel sampling rate related to the FOV size has been summarized. To solve the problem of mismatch between the theoretical wavefront design and the actual wavefront when applying PSF engineering, this work further developed a PSF optimization framework based on deformable mirrors, DMO PSF (Deformable mirror optimized PSF). This framework uses the experimentally calibrated response functions of the deformable mirror actuators as the basis for wavefront design. By deriving the partial derivative analytical expression of the theoretical localization accuracy with respect to the response function, the design of the PSF is transformed into an optimization problem. DMO PSF can flexibly adjust the DOF according to experimental needs and avoids device projection errors. This method significantly improves the localization accuracy of the engineered PSF. In particular, the DMO PSF with a 6 μm DOF can achieve whole-cell nucleus imaging without the need for axial scanning.

Then we built a large-FOV SMLM system. For the illumination path, the excitation power is increased by coupling multiple laser outputs through a multimode fiber, and uniform large-FOV illumination is achieved using a vibrator. The imaging path uses a deformable mirror and large-size lenses, combined with a large-array camera to achieve full-frame imaging. In addition, to describe the position-dependent aberrations in the FOV, we established a shift-variant PSF model and developed the corresponding fast calibration method based on maximum likelihood estimation, successfully characterizing various aberration distributions of the large-FOV system. Since traditional SMLM algorithms are based on the assumption of linear shift invariance, they are no longer effective in large-FOV systems. This work further proposed a field-dependent deep learning localization algorithm, FD-DeepLoc (Field-dependent deep learning localization). The algorithm introduces a coordinate convolution strategy to overcome the insensitivity of convolutional neural networks to spatial positions. Through loss function and training strategy design, combined with a divide-and-conquer analysis method, FD-DeepLoc enables precise single-molecule localization in the large-FOV shift-variant system.

Results: To verify the effectiveness and superiority of the developed technology, we selected several representative biological samples for experimental imaging. For example, observing nuclear pores of multiple cells in a large FOV and quantitatively analyzing their fine double-layer ring structure; combining high-throughput imaging of mitochondria with downstream image analysis, summarizing three different types of cells based on parameters such as morphology and network connectivity; observing a wide range of neurite and analyzing the periodic membrane skeleton structure on the axon. The imaging throughput of a single experiment can reach up to about 180×180×5 μm^3, which is 100 times higher than traditional methods.

Conclusion: In summary, this work has carried out a series of research on the key techniques of large-FOV and high-DOF SMLM. Through the innovation of models, algorithms, and hardware, it has successfully broken the throughput limit of current super-resolution imaging technology. It has achieved the ability to observe minor differences between cell populations while resolving subcellular structures with ultra-high resolution, providing new perspectives and tools for biomedical research.

Key Words: Super-resolution imaging; Large field of view imaging; Single-molecule localization microscopy; Point spread function; Deep learning

ID 3122

Accelerating the Discovery of Novel Photosensitizers: Machine Learning and Deep Learning Strategies for Predicting Singlet Oxygen Quantum Yield

Liqiang He,Yan He,Xujie Liu
广东工业大学生物医药学院

Objective: Photodynamic therapy (PDT) is a promising cancer treatment that mainly relies on photosensitizer (PS) to generate cytotoxic reactive oxygen species, particularly singlet oxygen, for tumor destruction. The effectiveness of PDT is critically dependent on the PS's singlet oxygen quantum yield (SOQY), a measure that dictates the amount of singlet oxygen generated. Traditional experimental methods for developing novel PSs and measuring their SOQYs are laborious and time-consuming, impeding the rapid screening of new PS candidates. Recent advancements in machine learning (ML) and deep learning (DL), present a compelling alternative to these conventional experimental techniques, providing a rapid and cost-effective means to predict complex chemical properties. This study aims to streamline the development and screening of PSs by introducing ML and DL models that accurately predict SOQY across various conditions.

Methods: In this study, to develop more universally applicable models, we established a dataset for PSs using the 1,3-diphenylisobenzofuran (DPBF) consumption method to determine the SOQY, which includes information on the structure of PSs, SOQYs data, and various experimental conditions. We developed models using both ML and DL algorithms. For the ML models, we employed two feature extraction methods: Morgan fingerprints and descriptors, to characterize the molecular structures. By combining the resulting feature vectors with the conditions under which the SOQY was experimentally determined, we obtained the final feature vectors. The interpretation of the ML models was achieved through SHapley Additive exPlanations (SHAP) analysis and quantum chemical calculations. For the DL model, we chose an architecture that includes bidirectional long short-term memory (BiLSTM) networks and attention mechanisms. Additionally, we introduced a substructure masking interpretation strategy based on SMILES (SMIS-SMILES) to interpret the DL model. Finally, after analyzing and comparing the performance of the ML and DL models, we built a front-end and back-end separated website based on the DL model to facilitate more convenient prediction and interpretation of the SOQY of PS.

Results: We utilized four ML algorithms—Random Forest Regression (RFR), Support Vector Regression (SVR), eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) and Adaptive Boosting (AdaBoost)—to build models based on two types of feature matrices. The model evaluation results indicated that among the models established with Morgan fingerprint matrices, the XGBoost model performed the best, achieving an R^2 of 0.8648 on the test set. Within the models built using descriptor matrices, the AdaBoost model showed the highest performance, with an R^2 of 0.8460 on the test set. Feature importance analysis of these two models revealed that conjugated systems containing iodine atoms and carbon-sulfur double bonds positively affect the SOQY of PS. Additionally, the model BA-SOQY, which we established using BiLSTM with attention mechanisms, achieved an R^2 of 0.9140 on the test set. Furthermore, through SMIS-SMILES, we can analyze the impact of different substructures of PSs on their SOQYs. Considering the superior performance of the BA-SOQY model and its advantage of not requiring manual feature extraction, we selected the BA-SOQY model as the backend processing model for our website. Combined with the front end built using vue 3, we have created a user-friendly SOQY prediction platform—PSoSOQY. Users simply need to enter the photosensitizer SMILES and relevant condition information on the frontend to quickly obtain information about the SOQY of the PS and the contribution of its different substructures to the SOQY.

Conclusion: The study successfully establishes several interpretable ML and DL models with outstanding predictive performance for SOQY. The introduction of the PSoSOQY platform, which offers real-time predictions and interpretive analysis, is a significant advancement. This platform empowers researchers to design and screen PS candidates more efficiently, thus accelerating the development of PDT. The work underscores the potential of ML and DL in transforming the development and application of photosensitizers in PDT.

Key Words: Photosensitizer, singlet oxygen quantum yield, machine learning, deep learning, photodynamic therapy.

ID 3282

基于图像导引的皮肤色素疾病激光自动祛除系统

菅浩浦、王成
上海理工大学

目的：各种激光在皮肤治疗领域发展迅速，然而激光治疗的各种副作用也是不容忽视的问题。主要原因应该是疗效评估主要依赖临床医生的主观判断，存在重复性差和易受主观因素影响的问题。为提高激光皮肤治疗的效果，降低副作用和医生的工作强度，建立图像导引的激光自动色素祛除系统。

方法：由皮秒激光器、红外相机和扫描振镜为主体的图像导引下的皮肤色素疾病自动祛除系统。通过高清摄像头获取皮肤图像，结合改进的OTSU算法进行处理与分割，精准识别色素病变区域；再通过聚类算法合理规划覆盖病变区域的激光路径；系统将规划结果输入扫描振镜，控制激光束按照预定轨迹治疗色素病变部位。此外，系统还具备疗效评价功能，通过图像反馈机制监测治疗效果。建立SD大鼠纹身模型，将本系统的作用效果与传统的大光斑治疗效果比较。每次激光扫描治疗结束后采集皮肤镜及反射式共聚焦显微镜（RCM）图像，与常规手动治疗比较色素去除效果和皮肤组织损伤程度。

结果：本研究所提出的基于图像导引的皮肤色素疾病激光自动祛除系统在治疗效率和效果方面均表现出显著优势。在光斑覆盖方面，与传统方法相比，本文方法的激光光斑覆盖率更高，重叠率更低（平均覆盖率为92.36% vs. 90.79%,平均重叠率为9.41% vs. 23.83%）；在治疗效果方面，实验结果显示规划扫描下的色素去除率比手动操作激光治疗的去除率更高(平均去除率为89.01%vs.83.76%)且皮肤损伤程度更小。

结论：提出的基于图像导引下的皮肤色素疾病激光自动祛除系统，可以对皮肤的状况进行全面定性分析。通过算法精确识别治疗区域，避免了人为主观因素对治疗效果的影响。这种智能化的系统使得皮肤病患者拥有更便捷、高效的治疗体验，同时还提高了治疗的效果，有望优化针对个体患者的治疗，从而实现更有效和个性化的激光治疗方案。

关键字：皮肤色素性疾病，激光，治疗，图像导引，自动

ID 3432

利用光镊实现对单个精子光损伤的实时定量检测

钟振声、何俊、周金华、王奕、陆凤雅
安徽医科大学

目的：男性因素约占所有不孕症病例的一半，而精子活力是诊断男性不孕的重要标准。由于精子的游动速度很快，标准的精子活力分析方法，如计算机辅助精子分析，难以多次追踪同一个精子。另一方面，为了提高操作效率、一致性和可重复性，激光被广泛计划应用于精子固定、精子分选和胞浆内精子注射等辅助生殖技术中。然而，目前缺乏关于激光诱导精子损伤的单细胞水平的定量研究。为了减少精子光损伤导致的生物安全风险、优化激光在辅助生殖技术中的应用，我们利用光镊实现了一种可以实时评估单个人类精子活力的方法。

方法：人类精子的头部绕其最长轴360°旋转。由于光镊的“风车”效应，当精子被光阱捕获时其头部倾向于垂直于成像面，使得可以根据其头部投影的运动轨迹分析其绕自身长轴旋转行为。这使得实时测量长时间内绕长轴旋转参数成为可能。为了证明可以使用绕长轴旋转参数来评估精子活动性，我们测量了自由游动精子的活力参数和同一精子在被光阱捕获时的绕长轴旋转参数。此外，我们还定量测量了不同激光功率、不同辐照时长下精子绕长轴旋转频率和暂停旋转

时间占比。

结果：1、在本研究所有实验条件下，人类精子总是绕其长轴右旋。

2、绕长轴旋转频率与光阱离底面高度无关

3、对于同一个精子，其自由游动的活力参数与在光阱中的绕自身长轴旋转的频率和暂停旋转时间占比相关。

4、精子绕自身长轴旋转参数与精子被光阱捕获时长以及激光功率均有显著的相关关系。

结论：我们证明了利用光镊可以通过测量精子绕长轴旋转参数来实时表征其活力。我们的研究还揭示了，随着捕获时间和激光功率的增加，光阱中精子绕长轴旋转频率降低，同时暂停旋转时间占比增加，从而定量揭示了激光辐照对单个精子细胞光损伤的剂量效应。

关键字：光镊，光损伤，精子，辅助生殖技术

ID 3477

AI-assisted Dye-free Screening of Cardiomyocytes Electrophysiology Based on Widefield Optical Imaging

Xueshuo Guo[1,2,3],Yao Tian[3,4],Yu Yong[3],Fenfang Li[3],Wei Liu[1,2,5]

1. Harbin institute of technology, Shenzhen

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Integrated Photonic-Electronic Chip, Harbin institute of technology, Shenzhen, China

3. Shenzhen Bay Laboratory, Shenzhen, China

4. School of Future Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China

5. Quantum Science Center of Guangdong-Hongkong-Macao Greater Bay Area, Shenzhen, China

Objective: Heart action potentials, calcium responses and mechanical contractions are highly coupled with disturbances leading to arrhythmias. Current optical screening of cardiac electrophysiology was majorly focused on fluorescent labelling, which is not applicable to long-term monitoring due to the bio-toxicity of fluorescent indicators. This work aims to 1) present a low-cost dye-free optical cardiac imaging system and 2) develop an AI-assisted local and global predictions of action potential and calcium excitation transients using the dye-free measurements.

Methods: Human induced pluripotent stem cell-derived cardiomyocytes (iPSC-CMs) were cultured using the voltage indicator, and subjected to electrical stimulation via a bipolar platinum electrode at various frequencies. The dye-free electrophysiology quantification method was verified using two low-cost industrial cameras for multiparametric optical imaging: Camera 1 for action potential transients and Camera 2 for dye-free mechanical transients, facilitated by a 5× objective lens and additional condenser lenses under oblique transillumination. Data processing involves preprocessing steps like temporal period-shift enhancement, event start boosting filter, locally weighted spatial bartlett filtering and temporal smoothing, followed by a deep learning model to correlate the electrophysiological and mechanical activities.

To explore the high-dimensional features and potential complex nonlinear relationships among features in cardiomyocytes, gated recurrent neural networks were considered for establishing the correlation of electrophysiological and mechanical activities. gated recurrent unit (GRU) is a deep learning model designed to handle sequential data by effectively addressing long and short-term memory challenges through a gating mechanism, offering a simpler structure and lower computational cost while maintaining high accuracy compared to other models like Long Short-Term Memory (LSTM).

Results: For the periodic stimulated-mechanical and calcium activities, the action potential periods predicted by GRU and its control algorithms (Recurrent Neural Network (RNN), LSTM, Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM), GRU, Bidirectional Gated Recurrent Unit (BiGRU), Temporal Convolutional Network (TCN), and Transformer) were compared based on several metrics: APD80 (action potential duration), relaxation duration (duration of the mechanical/voltage event start to the maximum change), contraction duration (duration of the maximum change to the event end), total action duration

and maximum slope time (time point of getting the steepest transient slope), with root mean square error (RMSE) as the accuracy evaluation criterion. All algorithms exhibited low prediction errors for the durations of relaxation, contraction and APD80 (below 10 ms), indicating that the mechanical and action potential transients' rise and fall phases were well-matched, and they all showed apparent depolarization before the next action potential instead of maintaining a stable resting potential. Specifically, prediction accuracy for the plateau and resting phases varied among algorithms. Among them, LSTM and GRU performed best in matching action potential changes during these two phases, and GRU consistently had shorter computation times compared to LSTM but was not as fast as RNN; RNN, TCN, and transformer methods showed the most significant discrepancies, including mismatched plateau heights and significantly slowed repolarization, leading to elevated resting potentials.

Furthermore, the GRU network, which performed the best in periodic stimulations, was also applied to predict the spontaneous action potentials about to happen. Predicting the unfolding series of spontaneous action potentials is challenging due to their less periodic nature compared to the periodic stimulations. In our work, the first two spontaneous beating cycles were applied to predict the next four beating cycles. The accuracy of the spontaneous cycle characterizations was also quantified using the RMSE of different phases. Prediction accuracy showed no significant trend of deterioration over all six beating cycles, except for showing some discrepancies in the plateau phase and consistently overestimating repolarization in stage 4. These results align closely with the performance of knowledge-based models.

Conclusion: This study evaluates the performance of GRU and its control models (such as RNN, LSTM, TCN, and Transformer) in predicting cardiac action potential changes using the mechanical characterizations. The results indicate that LSTM and GRU perform the best in predicting periodic action potentials, with GRU also performing well during the plateau phase but tending to have early depolarization. In terms of computation time, GRU was only second to RNN, maintaining a relatively fast training speed. For spontaneous action potential prediction, GRU performed the best, maintaining high accuracy over six beating cycles, though some deviations exist during the plateau and repolarization phases.

Our research demonstrates that LSTM and GRU models can accurately predict cardiac action potentials for both stimulation and spontaneous activities, showcasing the great potential of AI-assisted dye-free screening of cardiac electrophysiology. These models can aid in a better understanding of the relationship between cardiac dynamic systems and arrhythmia conditions. This study lays the groundwork for improving arrhythmia diagnosis and treatment strategies.

Key Words: hiPSC-CMs; dye-free imaging; action potential; mechanical transients; gated recurrent unit; electrophysiology prediction

ID 3538

光声成像及其在肝脏疾病诊断中应用

黄国家
南方医科大学广东省人民医院

目的：肝脏是最大的代谢器官，然而目前仍然缺乏原位、高分辨评估肝脏疾病中组织微观结构和代谢功能变化的影像技术和方法。本研究旨在发展跨尺度光学影像技术，评估酪氨酸血症和胆汁淤积性肝病中肝小叶微观结构、血氧、肝储备功能和胆管通透性的变化，进而为疾病的诊断提供影像学依据。

方法：运用基因编辑法构建酪氨酸血症小鼠模型；通过2-辛炔酸偶联牛血清白蛋白诱导构胆总管结扎法构建了胆汁淤积性肝病小鼠模型。通过光声显微成像技术，观察肝小叶微结构形态和血氧饱和度；同时，采用伊文思蓝（EB）作为造影剂进行胆管逆行注射，以观察EB在小叶间胆管中的扩散情况。运用光声断层成像和近红外二区荧光成像，尾静脉注射吲哚菁绿（ICG）作为造影剂，结合药代动力学模型，计算ICG的达峰时间和代谢半衰期，评估肝脏的代谢功能及胆汁淤积的表现。

结果：研究结果表明，在酪氨酸血症演进过程中，肝小叶和肾小管严重受损。血红蛋白含量、血管密度、血氧饱和度和肝功能储备降低。ICG达峰时间为健康组11.4s，疾病早期20.1s，晚期22.8s；代谢半衰期从健康时的59.8s降至早期189s和晚期262.6s。胆汁淤积性肝病会显著改变肝脏的血管微环境，导致局部缺氧，血氧饱和度降低。严重的胆汁淤积不仅会形成血管结节，还会破坏微血管结构。EB胆管逆行注射表明，随着胆汁淤积加重，门脉区胆管渗透性升高，EB信号扩散面积增大，且EB清除速率变慢。同时，胆汁淤积性肝病的肝储备功能出现明显下降。

结论：光声影像提供了肝脏跨尺度的结构和功能信息，为酪氨酸血症和胆汁淤积性肝病等疾病诊疗提供了原位、快速、高分辨的影像学技术和方法。

关键字：光声显微成像；光声断层成像；肝功能；代谢动力学

ID 3982

Study on The Mechanism and Function of Cofilin in Regulating The Formation of TNTs Using Super-resolution Live-cell Quantitative FRET Imaging

Hongce Chen,Zhirui Wu,Lingyu Wang,Tongsheng Chen
South China Normal University

Objective: Tunneling nanotubes (TNTs) are tubular membrane structures connecting distance cells. The intercellular communication and substance transfer mediated by TNTs play an important role in tumor metastasis, drug resistance, recurrence, and immune escape. Numerous studies have shown that TNTs can mediate intercellular signaling and various substance exchanges, including ions (Ca2+, etc.), macromolecules (proteins, nucleic acids, etc.), organelles (vesicles, mitochondria, lysosomes, autophagosomes, etc.). Highly invasive tumor cells transfer miRNAs or mutated oncogenes to low invasive tumor cells through TNTs, allowing the latter to have higher proliferation rates and invasiveness; Drug resistant cells transfer substances such as mitochondria to drug sensitive cells through TNTs, leading to drug resistance and disease treatment failure in the latter; Residual tumor cells can transfer mitochondria to normal cells through TNTs, leading to their malignant transformation; Tumor cells can also capture immune cell mitochondria through TNTs, leading to immune escape. Therefore, targeted inhibition of TNTs mediated intercellular communication and substance exchange has significant potential as a new cancer treatment approach. The structure of TNTs is small (with a diameter of 50-200nm) and very fragile, and it is currently impossible to isolate them from cells for individual study using biochemical methods such as Western Blotting and qPCR; Fluorescence imaging techniques such as confocal microscopy have spatial resolution (>250nm) that cannot analyze the fine structure of TNTs; Although cryo electron microscopy can achieve a spatial resolution of 1nm, it requires cell fixation, which can severely damage the structure of TNTs. The current research technology limitations are the biggest challenge facing the study of the fine topology, mechanism, and function of TNTs.

Methods: This study will use super-resolution SIM-FRET molecular structure and functional imaging technology to analyze in situ the molecular regulatory mechanism and function of Cofilin on TNT formation in living cells. In response to the difficulty in separating small and fragile TNT, an in situ study model of TNT live cells between tumor cells was established by simulating the internal microenvironment of tumors in vitro (low oxygen, low sugar, low pH, etc.). Developed image processing algorithms and information extraction for automatic segmentation and recognition of cytoplasm and TNT, as well as live cell super-resolution and FRET imaging analysis methods for TNT structure and function; Use microfilaments, microtubules, organelles, DNA, ion fluorescent probes, and fluorescent proteins to label corresponding structures and substances within cells, and analyze the fine structure of microfilaments and microtubules in TNT using multi-color super-resolution SIM imaging technology; Based on the commonality of actin in different cellular TNT structures, gene functional plasmids were constructed, and the molecular mechanism of Cofilin mediated formation of TNT by low pH sensitive G protein coupled receptors GPR4/GPR68 was studied using super-resolution SIM-FRET microscopy. The anti-tumor effect of inhibiting TNT was verified by flow cytometry and cell viability detection.

Results: Low pH environment can significantly induce the formation of TNTs between tumor cells, and TNTs are mainly composed of microfilaments, microtubules, and cell membranes, which can mediate the transfer of mitochondria, lysosomes, vesicles, DNA, and proteins between tumor cells. GPR4 and GPR68 play an important role in the formation of intercellular TNTs induced by low pH, and the fibronectin Cofilin is activated in TNTs and only interacts with actin in TNTs. Cofilin inhibitors can significantly inhibit the formation of TNTs and enhance the anti-tumor effect of chemotherapy drugs.

Conclusion: Through the above research, this study will establish a living cell super-resolution molecular structure and functional imaging analysis method for studying the fine topological structure and mechanism of TNTs, revealing the new mechanism of Cofilin regulating the formation and function of TNTs structure, providing new ideas for clinical treatment and drug development of tumor diseases, and providing important research ideas for the study of subcellular fine structure and function that is difficult to conduct in vitro structural and functional research.

Key Words: Tunneling nanotubes (TNTs); FRET; Super resolution; Cofilin

ID 4289

超声微泡空化治疗的超声/光声联合成像评估

王艺涵[1]、李辰璐[1]、李庆[2]、朱守平[1]

1. 西安电子科技大学

2. 西北大学附属西安国际医学中心医院

目的：临床研究表明，超声靶向微泡破坏治疗（UTMD）可增强肿瘤治疗效果，其通过微泡在超声作用下产生空化效应。UTMD可引起血管无菌性炎症反应，从而造成血管扩张，改善血管通透性，增强血流灌注，进而缓解肿瘤乏氧状态以抑制血管内皮生长因子释放，抑制肿瘤血管生成。肿瘤血管血氧功能和血管结构信息与肿瘤治疗效果密切相关。现有研究主要从宏观的超声影像模态评估UTMD治疗对肿瘤血流灌注的影响，而面向UTMD对肿瘤血氧功能和血管结构影响的多模态评估研究较少。本工作提出超声联合多尺度光声成像的多模态研究方案，为超声微泡空化治疗的临床推广提供更丰富的评价信息。

方法：本研究提出超声联合多尺度光声成像探究UTMD治疗前后肿瘤血管信息变化，并结合活体氧探测和病理切片分析进行UTMD疗效多模态评估。在光声成像中，从宏观及介观尺度精准分析UTMD前后肿瘤血管血氧以及血红蛋白分布的变化情况。根据超声造影及超声灌注，评估UTMD前后肿瘤血流灌注的变化。以及通过磷光活体氧探测技术评估UTMD对肿瘤氧分压的影响和在病理切片中分析肿瘤血管的变化。

结果：模式动物实验中，光声成像的结果表明，UTMD后肿瘤血管中血红蛋白信号增强，血氧饱和度升高，SaO2上升约15.5%，且瘤体内部的肿瘤微血管结构较UTMD前更清晰。超声造影结果显示，在UTMD后肿瘤中微泡的充盈区域变大，肿瘤血流灌注能力增强，灌注指数WipI升高约371.75，峰值强度PE增加约591.04。活体氧探测结果表明UTMD后肿瘤氧分压上升约45.3%。及从病理结果发现，肿瘤微血管扩张，红细胞出现外溢现象。

结论：综上，本研究联合超声及光声成像对UTMD疗效进行多模态评估，探究肿瘤血管血氧及血管结构等多方信息，UTMD后肿瘤血流灌注能力增强，血管血氧升高，血管结构更清晰。

关键字：UTMD；超声及光声成像；多模态；肿瘤血管血氧；肿瘤血管结构

S14
医学检验工程

ID 165

基于并联滚环扩增的便携式适体传感器用于肿瘤源性外泌体液体活检

陈飘飘、应斌武
四川大学华西医院

目的：由于肿瘤源性外泌体(TEXs)在血液中的高丰度和稳定性，其作为非侵入性癌症诊断的生物标志物受到了广泛关注。然而，大多数常用的检测系统是非均相耗时，对大型仪器和专业人员有依赖性。其中，基于荧光的方法因其实验操作简单，样本需求量小且通量大，易于小型化而受到青睐。然而，开发免标记和免分离的便携式荧光外泌体传感器仍然是一个迫切的需要。

方法：本研究将免标记和免分离的均相适体传感器与自主研发手持式荧光仪相结合，用于快速、便携式的外泌体定量分析。以肺癌为例，选择外泌体上两个典型的生物标志物mucin 1和程序性细胞死亡配体1 (PD-L1)。该传感器的核心为适配体与蛋白质的特异性结合，从而影响后续的滚环扩增 (RCA)反应并调节RCA产物(T-Hg2+-T和富含胞嘧啶(C)单链DNA)。然后，荧光报告信号分子(量子点(QDs)和亚甲基蓝(MB))选择性识别特定的核酸构象，实现信号输出和放大。最后，该系统与纸基手持式荧光计整合，用于快速和便携式定量。

结果：结果表明，纸基手持式荧光仪的灵敏度与荧光仪相当，对TEXs的检测限低至30个颗粒/mL。对40例临床样本(25个阳性和15个阴性)进行了测试，结果显示灵敏度和特异性分别为92% (23/25)和93% (14/15)。此外，随机抽取5例阴性样本和11例阳性样本，使用手持式荧光计进行定量分析。所得外泌体浓度结果与荧光计、临床计算机断层扫描(CT)和病理结果吻合良好。

结论：该传感器采用均相反应系统，无需标记和分离，简化了操作步骤。同时，平行RCA系统实现了单一酶的多重利用，提高了酶的利用率和扩增效率。纳米粒子的阳离子交换反应(CER)和MB的电子转移促进了信号的放大和输出，从而获得了高灵敏度。手持式荧光计的设计对资源有限的环境特别有利。简而言之，方便，经济，灵敏，准确的外泌体传感器为液体活检辅助癌症诊断提供了额外的选择。

关键字：外泌体；便携式均相检测；适配体传感器；并联RCA；手持式仪器

ID 212

Related Factors of Renal Injury in Primary Sjögren's Syndrome

Nan Duan,Zhiyan Li,Haixia Li
Peking University First Hospital

Objective: Primary Sjögren's syndrome (pSS) is a common chronic systemic autoimmune disorder which primarily affects the exocrine glands. Patients may have extraglandular disease involving multiple organs, including the kidneys. Compared to other systemic complications, renal disease in pSS is less frequent and has been reported to occur in about 1% to 33% of the patients due to between-study differences in the population, nature of the study and criteria used for diagnosis. In the present study, we investigate the demographic, immunological features and prevalence of renal injury in patients with pSS. Moreover, we investigated the clinical data and laboratory markers which were associated with kidney function damage to conduct a thorough disease analysis, evaluation and prevention for pSS.

Methods: This retrospective cohort study enrolled a total of 1288 adult patients satisfying the 2002 AECG (American-European Consensus Group) criteria for diagnosis of pSS from the Department of Rheumatology and Clinical Immunology between 1 January, 2017 and 31 December, 2021 of Peking University First Hospital (a large-scale tertiary hospital). Demographic, clinical and laboratory data were collected from the pSS patients. In order to avoid potential interference from other secondary nephropathy, patients with suspected confounders of renal function such as diabetes mellitus, hypertension and malignancies were excluded in advance. Clinical characteristics and laboratory assessments of the study groups (totally 1288 patients) were summarized based on eGFR classes of the following eGFR strata: < 60, ≥ 60-90, and ≥ 90 mL/min/1.73 m2 as the G1, G2 and G3 group (all patients with eGFR < 60 mL/min/1.73 m2 were merged into one group. And there were 334 patients of them followed up for more than two years for analyzing demographic, clinical data and laboratory markers. A 20% or more decrease of eGFR was defined as progression of renal injury, and the enrolled subjects were then classified into progression group and non-progression group for comparisons. This study has been reviewed and approved by Institutional Ethics Committee of Peking University First Hospital.

Results: Of the 1288 subjects included in the study, 1223 were women (95.0%), and 159 (12.34%) presented renal dysfunction with eGFR< 60 mL/min/1.73 m2. The main immunological markers of pSS, such as ANA, anti-SSA and anti-SSB were found positive in 92.16%, 63.12% and 26.93% of enrolled subjects, respectively. The mean age of hospital presentation (63.89±12.94 years), serum creatinine (127.75±108.03 μmol/L) and urea (7.857±3.643 mmol/L) were the highest (all P < 0.001) and ANA-positive (ANA ≥ 1:100, 93.7%), anti-SSB-positive (29.8%) and anti-scl-70-positive (3.5%) were more prevalent in the G1 group (pSS patients with eGFR < 60 mL/min/1.73 m2) among all groups. Multivariate analyses showed that age, urea, chlorine and anti-SSA indicate a significant association with renal dysfunction. Potassium, sodium and Jo-1 were also confirmed to be related with decreased renal function. The ROC analysis including the above factors showed a good performance on the evaluation of renal injury including eGFR< 60 mL/min/1.73 m2 and eGFR 60 -90 mL/min/1.73 m2 in pSS, with AUC values of 0.957 and 0.821, and high sensitivity (77.1% and 84.4%) and specificity (95.5% and 70.5%).

Among the 334 follow-up patients, 287 patients were positive for anti-SSA, and we selected biochemical and immunological data from this cohort before and after two years for comparative analysis. After a more than two years follow-up, 98 (34.14%) subjects presented with decreased renal function and 39 (13.58%) of them experienced a progression of renal injury. In the renal injury progression group, eGFR was decreased about 23.64 (20.42-31.25)% and the levels of serum creatinine and urea were significantly higher than non-progression group (P < 0.01).

Conclusion: Age, urea, chlorine and anti-SSA were highly associated with renal injury in pSS. Early screening for autoantibodies would be needful for evaluation and prevention kidney function damage or renal involvement in pSS.

Key Words: primary Sjögren's syndrome, autoimmune disorder, renal injury

ID 223

AI融合显微拉曼光镊技术快速鉴定临床常见细菌及其耐药类型

常欣魁（研究生）[1]、李海霞[2]、叶安培[3]、于丽美[3]、朱佳琪[3]、常欣魁

1. 北京大学口腔医院
2. 北京大学第一医院
3. 北京大学电子学院

目的：拉曼散射效应是光子在量子化系统中非弹性散射的现象，能够反映物质中分子内部的振动状态。由于分子的振动状态是特异的，因此拉曼光谱可以被视为分子的“振动指纹”。光镊又称为单光束梯度光阱，它兼有微纳米颗粒的操纵和测量功能，可以对微纳米颗粒或者分子皮牛顿量级精度的力进行测量。随着临床微生物学的快速发展，快速鉴定临床病原微生物种类及其耐药型的需要日益迫切。近年来，拉曼结合光镊技术成为一种潜力巨大的新技术，其结合了拉曼光谱和光镊的优势，能够实现快速、准确的微生物鉴定。此技术的优势是快速、无损、原位检测，不经过特殊处理，即可对单细胞进行检测。

方法：将细菌接种到哥伦比亚血琼脂，经过37℃培养24h，选取生长良好的单个菌落进行挑取，转移至PBS缓冲液，研磨均匀，配置成菌悬液后进行检测。在显微镜下测量单个活细胞表面或内部的微区拉曼光谱，并将收集的光谱进行汇总形成数据库，结合AI技术，训练模型，将未知的细菌种类及常见耐药型进行快速分类。

结果：细菌鉴定光谱集中，目前已对于50余种,150余株临床常见细菌进行光谱检测，获得大规模拉曼单细胞光谱数据集。同时对不同分类模型进行试验和调整，以得到更佳的分类模型。

结论：目前可以对小样本模型中的细菌进行准确的分类，后续还将对大样本集的数据库进行测试，希望可以获得更好的分类结果。拉曼结合光镊在微生物鉴定作为一种无标记、非侵入性的分析技术，拉曼结合光镊能够实现对微生物的实时监测和鉴定。未来将在基于光镊拉曼平台的检测基础上，探究更适合大样本的深度学习方法的常见病原菌快速检测方法，实现较高的分类准确率。验证该方法的临床应用潜力；基于光镊拉曼平台的检测基础上，在深度学习方面探究更适合的常见病原菌耐药性快速鉴定方法。取得较高的准确率，验证该方法的临床应用潜力。

关键字：微生物鉴定，耐药型鉴定，拉曼光谱，光镊

ID 403

细胞外囊泡肿瘤精准诊疗

朱凌

国家纳米科学中心

目的：细胞外囊泡携带和传递分子信息，与肿瘤进展和转移相关，是重要的肿瘤标志物，也是良好的药物递送载体。发展基于细胞外囊泡的肿瘤无创诊断和靶向治疗方法，推动精准医疗的发展。

方法：我们针对细胞外囊泡个体异质性强的问题，发展基于原子力显微镜和纳米红外光谱的单囊泡表征和物性测量技术。构建纳米压痕单囊泡力学性质定量分析方法，以及单囊泡原位红外光谱表征和蛋白质结构分析方法。同时，利用细胞外囊泡作为细胞间通讯天然载体的优势，构建工程化细胞外囊泡靶向治疗体系，克服纳米药物递送屏障，提高递送效率。

结果：我们证明细胞外囊泡的刚度、弯曲模量和渗透压可高灵敏高特异性评估肿瘤恶性程度，受试者工作特征曲线下面积可达0.9以上。细胞外囊泡近场红外分子指纹图谱可高灵敏检测肿瘤早期转移，受试者工作特征曲线下面积可达0.9

以上。CD47高表达工程化细胞外囊泡可介导循环系统种单核细胞吞噬逃逸，有效提高小干扰RNA的递送效率，实现N6-甲基腺嘌呤核苷酸甲基化（m6A）YTH　N6甲基腺苷RNA结合蛋白1（YTHDF1）的靶向敲降和m6A依赖方式介导的肿瘤表观遗传调控和免疫治疗。细胞间粘附分子1（ICAM-1）高表达工程化细胞外囊泡可介导跨血脑屏障、胶质瘤深部组织穿透和胶质瘤干细胞靶向递送，通过深部乏氧调节实现化疗增敏和免疫抑制的双重抗肿瘤治疗。

结论：细胞外囊泡的蛋白表达、蛋白质结构和力学性质可以作为肿瘤精准诊断的重要指标。同时，细胞外囊泡的生物和物理特性也有助于发展以工程化细胞外囊泡为载体的瘤精准治疗方法。

关键字：细胞外囊泡、生物力学、红外光谱、药物递送、肿瘤

ID 1271

基于单颗粒追踪的高通量多重生物标志物传感检测技术研究

马金标、刘笑音、王云潇、崔柏岐、杨德红、徐嘉豪、张芸瑞、王镝、刘清君、张芬妮
浙江大学生物医学工程与仪器科学学院

目的：单一生物标志物的传感检测在复杂生物过程解析和疾病精准诊断方面存在局限性。为了更好的进行临床关键疾病的早期筛查与疾病机制研究，高通量、高灵敏的多重标志物检测技术研发具有重要意义。目前，多标志物检测技术大多依赖于荧光标记，在样本制备、信号检测与读取分析等方面存在一定局限，难以满足急性疾病快速诊断的应用场景。因此，亟需开发一种高效、快速的多重标志物传感检测技术与方法。

方法：在溶液-芯片界面，单颗粒探针的布朗运动与其表面电荷量息息相关，而生物标志物的特异性结合会改变布朗粒子的表面电荷，进而调控其在芯片界面的布朗运动状态。基于这一原理，本研究开发了一种数字化的高通量单颗粒追踪传感检测技术，利用微加工图案化阵列芯片与多通道微流控系统，对不同功能化的单颗粒探针进行限域和区域编码，结合大视场高速显微成像系统进行单个颗粒的实时定位和追踪，提取粒子布朗运动轨迹并通过表征其表电荷变化，实现多种生物标志物的同时检测。

结果：本研究通过对微纳传感芯片与成像系统参数的设计与优化，实现近7000个高通量单颗粒探针阵列同时检测追踪。系统通过梯度pH校准电荷检测能力，并在0.5-128 nM范围内能够对蛋白质进行准确检测，具备生物标志物的定量检测能力；同时具有良好的特异性和鲁棒性，对典型疾病标志物的联合检测具有较好的检测效果。该技术具有显著的成本效益，无需额外的芯片功能化，且可重复使用。

结论：本研究开发的多重生物标志物检测技术不仅可以实现快速疾病诊断，还能够深入分析不同标志物之间的相互关系，从而提供更全面的疾病诊断信息和更可靠的疾病进展预测，为精准医疗的实现贡献力量。

关键字：多重检测、高通量、布朗运动、单颗粒、成像

ID 1724

微液滴纳米孔道技术实现单个生物标志物高通量检测

张琳琳、应佚伦、龙亿涛
南京大学化学化工学院

目的：生物标志物在疾病的诊断、预测和治疗中扮演着关键角色，在人体代谢过程中起着重要作用。然而，生物标

志物通常在生物样本中的低丰度、低含量和小分子等特性，这给其准确检测带来了巨大挑战。同时，由于实际样品中生物标志物含量极低，在检测过程中不可避免的稀释步骤让其检测更加苦难。近年来，单分子检测技术得到快速发展，其具有高灵敏度、低样本量和高通量检测等优势。基于生物纳米孔道的单分子电化学检测技术，由于其具有高灵敏、无标记、实时、低成本和便携性等特性，有望成为单个生物标志物超灵敏检测的关键工具。目前生物纳米孔道技术已被应用于单分子水平的DNA、多肽小分子等检测，然而当前技术仍需要对待测物进行大量稀释，并且难以并行检测以提高准确性。

方法：这里提出了一种液滴纳米孔道技术，可以实现亚微升级单一生物标志物的高通量检测。通过微纳加工技术制备的16通道阵列芯片，内置Ag/AgCl微阵列电极及微井阵列，可以实现多通道“膜-孔”体系构建。在传感过程中，预混生物纳米孔道蛋白、待测生物标志物和缓冲液形成液滴，操纵液滴与阵列芯片接触，此时在界面处形成阵列化磷脂双分子层膜，当纳米孔道蛋白插入时，可以实现分析检测。

结果：该纳米孔道传感平台不仅能够实现多通道记录，还可将寡核苷酸链、血管紧张素II等生物标志物的检测限分别降低到51 pg和42 pg。

结论：与传统方法相比，该技术可以使用0.4 μL液滴进行实验，试剂消耗下降2000多倍，实现皮克水平上生物标志物的无标记检测。这一微液滴纳米孔道技术有望推动纳米孔道传感进入临床市场，实现生物标志物即时检测。

关键字：纳米孔道；生物标志物；低含量

ID 2537

基于Fe3O4@ZrO2磁珠材料的细胞外囊泡快速分离纯化的方法及初步应用

许智慧、郝昆、樊玲玲、杜文谦、许立达、高琦
北京热景生物技术股份有限公司

目的：开发一种简单、快速的细胞外囊泡分离技术，利用Fe3O4@ZrO2磁珠作为载体。通过ZrO2和磷酸基团之间的相互作用捕获EVs。

方法： 细胞外囊泡的表征鉴定：

TEM显示超速离心（UC）、Fe3O4@TiO2磁珠和Fe3O4@ZrO2磁珠 3种分离方法得到的均具有杯状结构，NTA显示3种方法捕获到的EVs是的粒径符合要求。通过Western blot，可检测到EV标记蛋白CD9和TSG101，未检测到阴性对照蛋白标记calnexin。结果显示，Fe3O4@ZrO2磁珠分离到的EVs与超速离心纯化的EVs大小和形态基本一致。

结果：

细胞外囊泡提取效率鉴定：

我们评估了方法的捕获EVs的效率，测定了3种分离方法提取到的细胞上清的EV miRNAs，包括miR-21、miR-125a、miR-16。基于Fe3O4@ZrO2磁珠得到分别是超离的78%，74%，74%。而基于Fe3O4@TiO2磁珠得到的分别是超离的38%、41%、39%，Fe3O4@ZrO2磁珠的提取效率比Fe3O4@TiO2磁珠更高。

Fe3O4@ZrO2磁珠纯化细胞外囊泡在临床诊断中的初步应用

采用该方法从健康人(n =16)和前列腺癌患者(n =24)的尿液样本中纯化出EVs，以miR-16作为内参，检测文献报道和前列腺癌相关的hsa-miR-148a，hsa-miR-26b，hsa-miR-29a的相对表达含量。建立逻辑回归模型AUC为0.961，灵敏度为0.92，特异性为0.94。

结论：在本研究中，我们成功开发了基于Fe3O4@ZrO2磁珠的细胞外囊泡分离技术，将EVs从细胞上清和尿液样本中分离，结合RT-qPCR技术检测捕获效率，并在前列腺癌的尿液样本中验证了相关的3个EV miRNAs的差异表达。我们期望能够将这一方法推向更高水平，为细胞外囊泡研究领域和相关领域的发展提供更有力的支持。

关键字：细胞外囊泡；microRNAs；ZrO2；纯化；前列腺癌

ID 2723

Rapid Antimicrobial Susceptibility Testing based on Single-Cell Motility Tracking with Large-Volume Scattering Imaging

Yunrui Zhang,Jiahao Xu,Baiqi Cui,Jinbiao Ma,Di Wang,Qingjun Liu,Fenni Zhang
Zhejiang University

Objective: Antimicrobial resistance (AMR) has emerged as a critical threat to global public health, leading to almost five million deaths in 2019. Alone in China, 602,600 deaths associated with this medical burden, resulting in significant damage to health and economy. In the ongoing battle against AMR, rapid and precise antimicrobial susceptibility testing (AST) is indispensable. Traditional AST methods, based on populational growth phenotypes, have proven valuable in acute infections. However, these technologies are typically impractical for rapid diagnostics due to the prolonged growth phase and their insensitivity to cell-to-cell variations, as they focus solely on population-wide average variations. To address these limitations, it is imperative to develop growth-independent, single-cell detection systems and analysis algorithms for antimicrobial susceptibility. These advanced approaches would enable more accurate and timely assessments of microbial resistance, ultimately enhancing patient outcomes and combating the spread of AMR more effectively. More significantly, growth-independent rapid AST techniques can resolve the response of individual bacteria to antibiotics at single-cell resolution, which possesses a greater superiority in analyzing bacterial antibiotic resistance heterogeneity.

Methods: The real-time tracking of bacterial motility phenotype in single-cell resolution using large-volume scattering imaging (LVSi) demonstrates significant potential in addressing this critical issue of AMR. It serves as an excellent indicator for assessing antimicrobial susceptibility heterogeneity between sensitive and resistant strains. By quantifying the proactive and metabolic characteristics of bacterial motility in single-cell level, our method can provide both indicative susceptibility profiles and minimum inhibitory concentrations (MIC) covering a wide range of pathogens and antibiotics, enhancing clinical anti-infection therapy. With our LVSi system, high throughput single cell can be imaged as a bright spot simultaneously. For accurate motility tracking, each single cell was analyzed based on the combination of a Laplace of Gaussian (LoG) detector and the simple linear assignment problem (LAP) tracker to precisely identify and track individual bacteria, regardless of varying morphologies due to different antibiotic mechanisms.

A significant challenge in bacterial motility analysis arises from cluster motility caused by thermal flow in the solution, which can obscure the micromotion of individual bacteria. To address this, an optimization algorithm based on Savitzky-Golay filtering is employed to correct trajectories and extract micromotion. Statistical analysis and Gaussian fitting then allow for the visualization of bacterial velocity distributions. Notably, a peak shift in these distributions exceeding the 95th percentile confidence intervals in response to antibiotics directly indicates antimicrobial susceptibility. This innovative approach enables differentiation of motility heterogeneity at single-cell resolution within composite samples, making a significant contribution to understanding and addressing AMR heterogeneity.

Results: Our results demonstrate the direct detection of bacterial motility at 60 frames per second (FPS), unaffected by thermal flow. Notably, this approach enables rapid and precise AST within 60 minutes and MIC determination within 90 minutes for six representative pathogens isolated from clinical plate cultures, including both resistant and sensitive strains of Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, and Staphylococcus aureus. Furthermore, our findings indicate that even a subset of sensitive pathogens exhibited an attenuation of motility at the single-cell level within 30 minutes of antibiotic exposure. This early detection of motility changes underscores the potential of our method to provide rapid and reliable assessments of antimicrobial susceptibility, which is crucial for effective clinical decision-making and combating antimicrobial resistance. Another potential insight in this research is that bacterial motility can directly and rapidly reflect bacterial heteroresistance. As a consequence, motility resolved at single-cell resolution can be used as a valuable high-throughput parameter to characterize certain types of heteroresistance.

Conclusion: The single bacterial motility imaging and analysis demonstrate significant advantages in rapid and accurate

AST, greatly facilitating prompt and appropriate treatment for clinical infection patients, potentially revolutionizing traditional growth-dependent AST technologies, and help alleviating the escalating challenge of antimicrobial resistance AMR.

Key Words: Antimicrobial resistance, Antimicrobial susceptibility testing, Bacteria motility tracking, Single-cell analysis, Scattering imaging

ID 2736

基于大视场散射显微成像的临床血流感染样本的直接抗菌药物敏感性检测技术研究

徐嘉豪、张芸瑞、李铭浩、崔柏岐、王镝、刘清君、张芬妮
浙江大学

目的：全球每年约有800万人死于临床血流感染，特别是脓毒症患者，全球的平均死亡率超过20%。从出现症状到给予正确的抗菌药物之间的时间长短与死亡率直接相关。目前，临床抗菌药物敏感性检测（AST）依旧依赖于传统的微生物培养方法，需要2-5天的时间，无法满足血流感染患者快速抗生素治疗的需求，导致临床经验性用药，进一步加重细菌耐药问题。因此，迫切需要开发一种快速AST方法，及时为血流感染患者提供精准诊疗，从而改善患者治疗效果及应对日益严重的细菌耐药性威胁。

方法：我们构建了大视场散射成像系统，开发了自动化细菌识别算法及基于单细胞计数的生长/抑制分析模型，能够精确量化细菌的有效生长率，实现对临床血流感染样本中超低浓度病原菌的直接抗菌药物敏感性检测。

结果：本研究在临床血流感染样本上对具有不同作用机制的抗菌药物实现了快速、全面的敏感性检测，准确检测了最低抑菌浓度（MIC）和敏感性分类结果，为临床抗菌治疗提供了有效指导。结果表明，本技术可以对临床血流感染样本中浓度低至101 CFU/mL的病原菌进行直接药敏检测，并能够在120分钟内得到临床阳性血培养样本的药敏检测结果。在对16个临床血流感染患者及11种常用的抗菌药物的100次临床验证试验中，120分钟内准确率（分类一致性）可达96%，小错误（minor error）为4%，无大错误（major error）和重大错误（very major error）。

结论：本研究能够为血流感染患者提供准确的抗菌药物检测结果并快速开展精准的治疗，改善患者的预后，有望优化现有的血流感染诊断和药敏检测程序。

关键字：抗菌药物敏感性检测（AST），血流感染，散射成像，阳性血培养样本

ID 3026

关注糖化血红蛋白变异体对糖化血红蛋白检测的影响

逄璐、李海霞
北京大学第一医院

目的：糖化血红蛋白目前已纳入了糖尿病的诊断标准，血红蛋白变异体是血红蛋白珠蛋白链基因突变后的产物，其对糖化血红蛋白的干扰取决于检测方法和变异体类型，但目前尚缺乏对此干扰现象的总结与归纳，本述评系统总结了糖化血红蛋白变异体对糖化血红蛋白检测的干扰。

方法：本述评通过查阅文献，结合临床实际案例，系统总结了血红蛋白变异体对离子交换色谱法糖化血红蛋白检测的干扰。

结果：本述评总结了离子交换色谱法检测糖化血红蛋白的14种可能情况的峰图，并将其归纳为4类。其一，当HbA1c与变异体的糖化部分能区分开时，不管HbA与变异体是否能区分，此时HbA1c的检测结果将会假性降低，共有9种不同的色谱图，包括Hb J Baltimore、Hb Camden、Hb J-Lome等。其二，当HbA1c与变异体共洗脱，此时HbA1c的检测结果将会假性升高，仅有1种色谱图会出现这种情况，常见的变异体包括Hb Beckman、Hb Raleigh、Hb Yamagata、Hb Hope、Hb Wayne等。其三，当HbA1c与变异体的糖化部分共洗脱，这种情况时，HbA1c的检测结果能真实反应体内的糖化状态，共有3种不同情况的色谱图，常见的变异体为Hb Russ。其四，当血红蛋白的珠蛋白链发生纯合突变时，色谱图中会仅体现变异体的峰图，而不会出现非变异体部分。

结论：当血红蛋白变异体存在时，应该慎重解读糖化血红蛋白的检测结果，必要时可采用其他指标比如糖化白蛋白等用于监测患者血糖水平。

关键字：HbA1c, 血红蛋白变异体, 离子交换高效液相色谱法, 糖尿病, 方法学干扰

ID 3029

基于蛋白质组学神经外科术后细菌性脑膜炎标志物的筛选、验证及开发

史一君

首都医科大学附属北京天坛医院

目的：细菌性脑膜炎是神经外科术后最严重的并发症之一。如果不及时治疗，患者死亡率可达 20%-50%。临床上对于神经外科术后细菌性脑膜炎（PNBM）的诊断主要基于患者临床症状和细菌性培养。然而，以体液为基础的生物标志物很大程度上仍未被广泛发掘；传统的脑脊液（CSF）生物标志物的敏感性和特异性均较低，这也限制了它们的应用价值。因此，临床亟需开发PNBM新型诊断生物标志物。

方法：收集PNBM患者及非炎症性神经系统疾病对照组（NINCs）CSF标本进行蛋白质组学检测，对实验数据进行生物信息学分析进而筛选候选标志物。使用 ELISA 法在一个更大的队列中验证候选标志物，对标志物的诊断效能进行评价。使用BV2小胶质细胞系构建脑膜炎细胞模型，检测CFL1的表达情况。制备 CFL1检测试剂盒，进行性能评价及临床样本检测。

结果：与NINCs相比，我们发现PNBM组有412个差异表达蛋白（DEPs）。PPI网络分析显示，热休克蛋白90AA1（HSP90AA1）、丝切蛋白1（CFL1）和真核延长因子2 （EEF2） 被认为是PNBM三个候选标志物。ELISA 验证结果与蛋白质组学一致，PNBM 组三个候选标志物均显著上调。且CFL1对 PNBM 的诊断及革兰阴、阳性的鉴别诊断效能均较好。在体外水平，BV2脑膜炎细胞模型中，CFL1也显著上调。自主研发的CFL1检测试剂盒CV≤15%，灵敏度不高于170pg/mL，性能合格。

结论：这项研究首次对PNBM患者进行了大规模的蛋白质组分析，筛选出CFL1作为PNBM潜在诊断及鉴别诊断的生物标志物。为临床探索PNBM的诊断及治疗方案提供有益的补充。

关键字：蛋白质组学；生物标志物；神经外科术后细菌性脑膜炎；CFL1

ID 3802

基于深度学习的鼠脑TBA图像自动识别模型研究

曹子健[1]、谢东霖[2]、宗盛华[3]、邹思家[3]、张宗久[1]
1. 清华大学
2. 北京大学
3. 南京金域医学检验所

目的：自身免疫性脑炎（AE）是一类由自身免疫机制介导的脑炎，其诊断复杂、致死和致残率高。基于鼠脑组织切片的抗体检测方法（TBA）是目前抗神经抗体广谱检测最有效的手段，对AE的诊断、靶向治疗和预后评估起着关键作用。然而，目前TBA检测结果高度依赖具有丰富检验经验的医师进行人工识别，存在耗时长、成本高和缺乏标准化等问题。因此，本研究旨在开发一种基于深度学习的鼠脑图像自动识别模型，以辅助TBA检测，并通过实验验证其有效性。

方法：首先，本研究收集某第三方医学检验实验室从2022年1月-2024年5月的1112张TBA检测图像，经旋转、裁剪、伽马因子标准化等预处理后，构建数据集。本研究以YOLOv5作为预训练模型，对TBA图像按照7:1:2划分为训练、验证和测试数据，进行迁移学习。使用置信度损失和边界框损失作为损失函数，对于鼠脑海马和小脑区域的识别分别构建了检测任务进行模型训练。模型训练完成后，在测试集上进行数据测试。模型评价指标包括准确率、召回率、平均精度均值mAP50及mAP50-95等。

结果：本研究提出的方法在测试集共514例数据中，海马和小脑区域识别平均准确率和mAP50均超过99%，召回率均超过98%；海马区域识别模型mAP50-95为76.7%，小脑区域则为99.5%。该研究的算法模型为TBA检测中鼠脑图像自动识别提供了一种精准、高效的方法，并展示了其在便捷性和实用性上的潜力。

结论：本研究提出了一种基于深度学习的鼠脑图像自动识别模型，显著提升TBA检测的效率和准确性，有助于AE及其他神经系统自身免疫性疾病的筛查和精准诊断。此外，该技术的应用将进一步推动新型抗神经抗体的发现和验证。

关键字：自身免疫性脑炎；TBA；图像识别；神经网络；鼠脑；

S15
超声诊疗技术创新与融合

ID 82

基于双模态超声的融合人工智能模型鉴别胆囊肿瘤性与非肿瘤性息肉

汤丛语、耿志丹、陈建飞、王丽璠、金赟杰、俞清、王文平、袁海霞
复旦大学附属中山医院

目的：胆囊肿瘤性息肉和非肿瘤性息肉的鉴别在超声诊断仍然存在困难，本研究旨在构建一个能自动识别并鉴别肿瘤性和非肿瘤性息肉的人工智能模型。

方法：我们回顾性的收集了2011.1-2022.3年复旦大学附属中山医院及复旦大学附属中山医院厦门医院病理证实为胆囊息肉的患者，术前灰阶、彩色多普勒超声图像及临床资料被纳入研究。将数据按比例划分为训练集和验证集，进行模型的建立。同时回顾性的收集了2022.3-2023.6复旦大学附属中山医院的54例胆囊息肉患者作为测试集。超声医师手动勾勒超声图像上胆囊的轮廓，据此模型在超声图像上识别并分割出胆囊的小图像块作为诊断模型的输入。使用融合深度学习和迁移学习网络建立胆囊息肉样病变的诊断模型，模型诊断效能在验证集与测试集中进行评估，并与三位不同年资医师进行比较，并评估计算机辅助下医生诊断效能的改变。最后比较模型与现有胆囊息肉超声指南对比能否减少不必要的胆囊切除术。

结果：最终共有332名患者被纳入，其中非肿瘤性息肉171例，肿瘤性息肉161例。基于Unet-efficientnet-b4模型的Dice系数达到0.91。在灰阶超声联合彩色血流图像的双模态超声下，融合resnext101与resnet34网络构建的人工智能模型在验证集中AUC为0.83。在测试集中，模型的诊断性能（AUC=0.80）稍高于两位低年资医生（AUC=0.78 和 AUC=0.78），并且两位低年资医生在模型辅助下诊断效能得到不同程度提升（AUC=0.82，p＞0.05 和AUC=0.89，p＜0.05）。模型不必要的胆囊切除率在验证集和测试集中分别为15%和20%，均低于现有指南，能有效降低不必要的胆囊切除术。

结论：基于融合深度学习和迁移学习技术建立的人工智能模型可实现胆囊的准确自主分割，并在鉴别超声图像中胆囊肿瘤性与非肿瘤性息肉表现出良好的诊断效能，可为作为低年资医生辅助诊断方法。

关键字：人工智能；胆囊息肉；肿瘤性息肉；双模态超声

ID 262

基于深度学习的超声一站式左心室功能智能评价

王永槐[1]、杨金柱[2]、马春燕[1]
1. 中国医科大学附属第一医院
2. 东北大学

目的：超声是评价左心室功能的首选方法，但目前方法多基于手动测量，且只能进行单一 功能的逐步评价，存在经验依赖性强、重复性差、工作流程复杂、费时、费力等局 限性。本研究旨在基于深度学习方法实现超声一站式智能评价

LV 整体和局部收缩功能及舒张功能。

方法：基于二维超声心尖 3 个切面，首先构建切面分类模型及 LV 整体收 缩功能评价模型，完成心尖 3 切面的自动分类及射血分数 (EF)、整体纵向应变 (GLS)、二尖瓣环位移 (MAD) 的自动测量；然后，构建 LV 局部收缩功能评价模型， 自动诊断是否存在节段性室壁运动异常 (RWMA)；最后，构建 LV 舒张功能评价模 型，自动诊断舒张功能是否减低，最终实现一站式智能评价 LV 收缩和舒张功能。

结果：数据集

共纳入患者 300 例，进行切面自动分类模型、LV 整体收缩功能评价模型及 LV 舒张功能评价模型的训练和验证。

切面自动分类及 LV 整体收缩功能评价

切面分类模型对 A2C、A3C 及 A4C 心尖 3 个切面在训练集和测试集中均具有 良好的分类效能，准确率为 0.97~0.99。以超声专家 在机或商业化软件手动测得的 LV 整体收缩功能测值为金标准，模型预测值与金标准测值具有良好的一致性 (ICC 约 0.80~0.97)。

LV 局部收缩功能自动评价

RWMA识别模型具有良好的诊断效能，5折交叉验证的平均AUC为0.83，准确率 为0.84，灵敏度为0.62，特异度为0.88。

LV舒张功能自动评价

LV舒张功能分类模型具有良好的诊断效能，5折交叉验证的平均AUC为0.89，准 确率为0.91，灵敏度为0.91，特异度为0.85。

结论：基于二维超声心尖切面图像的深度网络模型，可一站式智能评价 LV 整体和 局部收缩及舒张功能，从而为临床快速、全面评价 LV 功能提供新方法。

关键字：左心室功能；超声心动图；深度学习

ID 824

多模态光声/超声成像技术在乳腺病变良恶性定量评估中的临床应用研究

黄志彬、唐淑珍、莫思洁、董发进

深圳市人民医院龙华分院

目的：缺氧是乳腺癌 （BC） 的标志。基于激光产生的超声 （US） 的光声 （PA） 成像可以检测乳腺病变患者组织中的氧饱和度 （So2 ）。本研究旨在使用多模式光声/超声 （PA/US） 成像系统评估BC参与者肿瘤内部和周围组织的氧合状态，并研究PA成像测得的So2与良性或恶性疾病之间的关系。

方法： 在2022年至2023年期间，对连续的BC参与者进行了多模式PA/US成像和乳腺肿瘤的灰度超声 （GSUS）。采用双波长PA成像技术，量化了肿瘤内部和组织两侧的So2值，并基于So2值区分良性和恶性肿瘤。通过接收者操作特征曲线 （ROC） 评估So2在区分良性和恶性乳腺肿瘤方面的诊断效能。

结果：研究纳入了120名BC参与者 （中位年龄42.5岁）。恶性肿瘤的So2水平明显低于良性肿瘤 （恶性：71.30%；良性：83.81%；p<0.01）。此外，PA/US成像表现出较GSUS更优异的诊断性能，AUC为0.89与0.70，敏感性分别为89.58%与85.42%，特异性分别为86.11%与55.56% （So2 cut-off为78.85，p<0.001）。PA/US诊断减少了GSUS中假阳性率30.75%，假阴性率减少4.16%。另外，恶性肿瘤组织两侧的So2值明显低于良性肿瘤组织两侧。

结论：本研究采用多模态 PA/US 成像评估乳腺病变患者的 So2 水平。PA/US 测量的 So2 比 GSUS 具有更高的诊断效率和更低的假阳性和假阴性。PA/US 成像显示恶性病变患者的 So2 较低，与良性病变相比，两侧组织的 So2 也较低。为了进一步探讨 PA/US 成像在乳腺病变管理中检测缺氧的临床效用，有必要对管理良好的乳腺病变患者群进行进一步的 PA/US 成像研究。此外，表现出良性病变但内部或外周 So2 较低的患者应接受密切监测。

关键字：超声，乳腺癌，光声成像，氧饱和度，临床研究

ID 832

原位大鼠胶质母细胞瘤核心和浸润区异质性超声定位显微镜探查

胡星
复旦大学附属华山医院

目的：胶质母细胞瘤（GBM）微循环功能障碍在整个病程中起重要作用，新生血管的形成对肿瘤进展和侵袭有积极的影响，在精细的空间尺度上揭示微血管(MV)结构和功能改变有望提高对疾病基本机制的理解和促进患者的临床管理。本研究基于超声定位显微镜（ULM）可视化和量化原位SD大鼠GBM的MV结构和功能特征。

方法：通过开颅探查对Sprague-Dawley大鼠MV进行体内研究，运用ULM阐释肿瘤核心区、肿瘤诱导浸润区的微血管形态（CP）、微血流动力学 (CH)和功能灌注异常，并进行离体MicroCT和SEM比较。使用Kruskal-Wallis H检验或ANOVA均值多重测试并进行Bonferroni校正比较核心区、浸润区、正常脑组织之间的CP、CH和功能定量。评估量化参数与病理血管密度(VD-H)、增殖指数（PI）、血管成熟度指数(VMI-H)之间的相关性。

结果：相较于肿瘤核心区，浸润区MV结构异常紊乱、复杂，血流动力学异质性增高（$p<0.05$），局部血流灌注量明显增多（$p<0.05$），平均流速降低但不显著($p=0.873$），浸润区与正常脑组织各参数也均呈显著性差异（$p<0.05$）。相较于MicroCT，ULM对微结构的分辨率更高（$p<0.05$），而与SEM无统计学差异（$p>0.05$）。浸润区VD($r=0.784$, $p<0.05$)与VD-H呈正-强相关性，血管内径（$r=0.960$, $p<0.05$）、血流速度（$r=0.487$, $p=0.025$）和血流量（$r=0.858$，$p<0.05$）与PI显著正相关，弯曲度($r=-0.438$, $p<0.05$）与PI显著负相关，VD（$r=-0.444$, $p=0.044$）和分形维数（$r=-0.93$，$p<0.05$）与VMI-H显著负相关。

结论：ULM为MV无创体内高分辨率成像提供了依据，作为GBM微循环结构和功能障碍的高精度可视化手段，可能为治疗的早期评估提供新的见解。

关键字：胶质母细胞瘤，超声定位显微镜，微血管，侵袭性

ID 1457

基于本征维度的超声影像分割泛化性能评估

李梧桐[1]、郭翌[1]、周世崇[2]、陶倩[3]、汪源源[1]
1. 复旦大学
2. 复旦大学附属肿瘤医院
3. 代尔夫特理工大学

目的：深度神经网络的不透明性和复杂性是临床可解释的阻碍。对分割网络的性能评估通常依赖于其在外部测试集上的Dice系数、Iou等指标。然而测试数据的选取具有不确定性和随机性，用来评估泛化性能较为局限，迫切需要一个只与训练网络本身有关的指标。本征维度（Intrinsic Dimension，ID）是数据在其固有特征空间中的维度，反映数据的内在结构，在深度神经网络的可解释性中具有重要意义。本文旨在将训练网络的ID作为指标，无需依赖外部测试数据，实现对超声分割网络泛化能力的评估。

方法：基于ID的超声分割泛化性能评估流程如下：首先，训练任务所需网络并逐层获取隐藏层特征。接着，采用Reduced Two Nearest Neighbors(Redu-Two-NN)方法计算ID，利用主成分分析将每个隐藏层特征投影到低维空间，用Two-NN方法计算降维后的特征，以更少计算需求实现高效ID计算。最后，整合网络在整个训练过程中逐层的ID指标，得到基于ID

的分割网络解耦模式，并用瓶颈层的ID来评估泛化性能。

结果：本文采用复旦大学附属肿瘤医院采集的乳腺超声数据集，在乳腺肿瘤分割任务上进行实验。逐层、逐训练轮次分别验证Redu-Two-NN方法在深度神经网络计算ID的有效性；基于ID解耦分割网络隐层，得到先上升后下降的信息流；证明分割网络瓶颈层ID与Dice评估的泛化性能呈现高度的负相关：随着瓶颈层ID增加，测试集性能下降，训练集与测试集的泛化性能差距增大。

结论：本文提出了一种实用且高效的ID计算方法Redu-Two-NN，并将ID作为评价超声图像分割泛化性能的新度量指标。实验结果表明，分割网络中基于ID的解耦结果与分类网络中的“驼峰状”解耦类似，符合对分割任务的本质是分类任务的认知。分割网络瓶颈层的ID与评估性能的测试集Dice系数高度相关，说明ID可以作为无需额外测试数据的分割性能泛化评价指标。

关键字：本征维度，超声分割，泛化性能

ID 1658

Bubbe Dynamics and Sonoporation in Vessel-mimicking Microchannel by Rapid Short Pulse and Long Pulse of Ultrasound

Yicong Cai[1],Fenfang Li[1],Yuanyuan Shen[2]

1. 深圳湾实验室

2. Department of Biomedical Engineering, Shenzhen University

Objective: Ultrasound driven microbubble oscillations within the microvasculature have demonstrated good potential for transient permeabilization of blood brain barrier (BBB) and drug delivery. Conventional long-pulse ultrasound with higher acousticpressure and pulse repetition frequency in the order of Hz has successfully delivered drugs across the BBB. However, Damage associated with long pulse and higher acoustic pressure such as erythrocyte extravasation and cell necrosis has also been observed. Recently, some in vivo studies have suggested that rapid short pulses result in less damage than long pulses. However, the bubble population dynamics and the resultant sonoporation in these circumstances are not fully elucidated, hindering a fundamental understanding of the underlying biophysical mechanisms. Therefore, our goal is to compare the bubble dynamics and sonoporation between long and rapid short pulse ultrasound in vessel-mimicking microchannes.

Methods: The vessel-mimicking microchannel was fabricated by standard soft photolithography, PDMS (Sylgard 184, Dow Corning) casting and plasma bonding with #1 cover glass. Each microfluidic chip consists of three independent microchannels with dimensions of 200 μm × 200 μm × 17000 μm (width ×height × length). For bubble dynamics experiments, homemade polydisperse microbubbles (the average volume-weighted mean diameter 3.1±0.28 μm) are sonicated with a 1.125 MHz ring shaped ultrasound transducer using rapid short pulse ultrasound sequences (individual pulse length 100 μs) and long pulses (each pulse length: 9.09 ms). All bubble dynamics are recorded by a high-speed camera with a 63× objective on an inverted microscope. The high-speed videos were imported into MATLAB (The MathWorks, Natick, MA, USA) for processing of bubble size. All data were pre-processed by upscaling two times with bilinear interpolation. The central locations and diameter of bubbles in each frame were detected by the circular Hough transform. And volume-weighted mean bubble diameters were calculated in each frame.

For sonoporation experiments, murine brain microvascular endothelial cells (bEnd.3) were cultured in the microchannels with a perfusion flow rate of 2 μL/min for 8 hours to form cell monolayer. Before experiments, cells are loaded with Hoechst and calcein-AM to label cell nuclei and indicate cell viability. Then the channels were perfused with medium containing microbubbles (diluted 1:20 v/v) and propidium iodide (PI) at a flow rate of 8 μL/min using a syringe pump. A sCMOS camera simultaneously records the fluorescence signals of cellular PI uptake and calcein release before, during and after sonication

with rapid short pulse or long pulse with a 5 × microscope objective.All data analysis is conducted using home-made script in MATLAB (The Mathworks Inc., Natick, MA, USA) and ImageJ.

Results: We found that the bubble dynamics are sensitive to the acoustic pressure, with more obvious bubble clustering, larger bubble size during expansion and stronger collapse under higher acoustic pressure. Under acoustic pressure without causing obvious inertial cavitation, we observed rapid displacement of the microbubbles upon rapid short pulse actuation while at long pulse mode, many microbubbles undergo sustained stable cavitation after initial displacement. Besides, under these conditions, the maximum bubble sizes during sonication did not show a statistically significant difference between the two pulse mode. Both long and rapid short pulses led to sonoporation of the endothelial monolayer, indicated by PI uptake and a decrease in cellular calcein. Notably, we observed up to 50% of cell population sonoporated at long pulse mode compared to around 20% at rapid short pulse mode, while corresponded well to the bubble dynamics at the two different pulse modes.

Conclusion: Recent in vivo studies on ultrasound mediated BBB opening have shown that pulse length has a significant impact on the delivery efficacy as well as side effects. Our results may provide new insights into the behaviour of microbubbles in small vessels and reveal the biophysical mechanisms for vessel permeabilization.

Key Words: Ultrasound, Cavication, microfludic chip

ID 1975

基于超声造影和临床指标预测肝细胞癌VETC和MTM表达的nomogram模型的开发和验证

徐明、许文欣、谢晓燕
中山大学附属第一医院

目的：开发并验证一种基于术前超声造影（CEUS）和临床指标的nomogram模型以预测肝细胞癌中VETC和MTM表达。

方法：本前瞻性研究共纳入273名HCC患者（182名在训练队列中，91名在验证队列中）。所有患者均接受常规超声和CEUS检查并获得病理诊断。对VETC-HCC和MTM-HCC的独立相关因素进行多变量逻辑回归，形成列线图。通过受试者工作特性（ROC）曲线、校准图和决策曲线分析（DCA）评估诺模图模型。采用Kaplan-meier曲线分析和Cox回归分析来评估风险分层与术后早期复发之间的关系。

结果：VETC-HCC和MTM-HCC阳性分别是109例（39.9%）和51例（18.7%）。多因素logistic回归分析显示，AFP水平[OR 2.26（1.49-3.42），P<0.001]，肿瘤内未增强[OR 2.40（1.02-5.64），P=0.044]和CEUS动脉期灌注模式[OR 2.27（1.05-4.91），P=0.038]是VETC-HCC的独立预测因素。此外，前两个指标也与MTM-HCC独立相关[AFP水平OR 2.36（1.36-4.09），P=0.002，肿瘤内非增强OR 3.72（1.02-13.56），P=0.046]。两个模型都具有良好的判别、校正和泛化能力。Kaplan-Meier曲线分析表明，预测的VETC-HCC或MTM-HCC表现出更高的早期复发率（Log秩分别为P<0.001和P=0.002）。Cox回归分析显示VETC-HCC的高风险与早期复发独立相关（P=0.011）

结论：基于CEUS图像和临床数据，本研究建立并验证了预测VETC-HCC和MTM-HCC的无创列线图模型，有助于术前预后预测和个体化治疗决策。

关键字：超声造影，肝细胞癌，VETC，MTM，nomogram

ID 3041

LIPUS辐照db/db小鼠胰腺/肝脏调控T2DM血糖水平的实验研究

杨语昕[1,2]、周慧娟[1,2]、李发琪1,2、李成海[1,2]
1. 重庆医科大学超声医学工程国家重点实验室 生物医学工程学院
2. 重庆市生物医学工程重点实验室

目的：2型糖尿病（T2DM）作为一种慢性代谢性疾病给人类健康带来了巨大负担，现有治疗的长期服药及饮食控制存在患者依从性差的问题。本研究使用低强度脉冲超声（LIPUS）辐照T2DM小鼠胰腺和肝脏区域并研究其调控血糖的有效性和安全性，旨在为可穿戴超声调控血糖提供实验依据。

方法：有效性实验分为US治疗组（db/db小鼠，n=8）、假辐照组（db/db小鼠，n=8）。安全性实验使用C57BL/6J正常小鼠随机分成实验组（n = 6）和对照组（n = 6）。超声辐照参数：频率1.0MHz、声强87.89 mW/cm2、脉冲重复频率2KHz、占空比30%，每天辐照一次每次10分钟，辐照周期为8周。通过血糖、葡萄糖耐量（GTT）、胰岛素耐量（ITT）、甘油三酯（TG）及肝脏HE染色切片进行有效性分析，通过血常规、血生化以及多器官HE染色切片进行安全性分析。

结果：（1）经过LIPUS辐照8周后，US治疗组血糖上升至基线的时间相比假辐照组，延缓了 4.5 周，体重增长延缓，GTT得到改善，胰岛素抵抗程度减轻，TG 含量降低；治疗结束后，假辐照组肝细胞排列混乱、肝索消失、肝小叶结构破坏、肝细胞水样变性，而US治疗组中的上述症状得到改善。（2）LIPUS辐照8周后，c57实验组和对照组小鼠均没有发生贫血、炎症及造血系统缺陷等异常情况，肝功能和肾功能指标两组无明显差异，小鼠的心、肝、脾、肺、肾等没有发生病理改变。

结论：LIPUS可以有效调控db/db小鼠血糖水平而不影响组织的结构和功能，具有较好的安全性和有效性。研究可为LIPUS调控血糖水平的相关研究提供参考。

关键字：2型糖尿病，低强度脉冲超声，db/db小鼠，血糖水平

ID 3456

Deep Learning Enhanced Beamformer for Ultrasound Localization Microscopy

Hengrong Lan,Jianwen Luo,Lijie Huang
清华大学

Objective: Ultrasound localization microscopy (ULM) has emerged as an effective tool to visualize the structural and hemodynamic information of microvessels with a scale of 10 μm, through localization and tracking of injected microbubbles (MBs). Due to the unfocused transmit of ultrafast plane wave imaging, high background noise is introduced. In addition, commonly used localization methods cannot balance the noise suppression and weak MB localization well. Adaptive beamformers usually utilize the signal coherence of different channels or transmit angles, improving the distinction between noise and MBs with low scattering intensity and potentially improving the performance of ULM. However, a trade-off exists between computational cost and imaging quality of adaptive beamformers, hindering their application on ULM. To accelerate the high-quality beamforming procedure of ULM from a mass of data, in this study, we propose a deep learning enhanced beamformer (Uformer-ULM) to break this trade-off. Contrast-enhanced in-vivo rat brain and rat liver experiments were conducted. Results show that the proposed method can visualize more subtle vessels in ULM velocity maps, which

are invisible using conventional delay-and-sum beamformer-based ULM (DAS-ULM). In addition, it can also achieve better delineation of relatively large vessels in the velocity maps. The results demonstrate that the proposed Uformer-ULM method can facilitate high-quality ULM.

Methods: To shorten the computational time of adaptive beamformers in ULM imaging, we propose a deep learning enhanced beamformer (Uformer-ULM) in this study, which uses the united spatial-angular adaptive scaling Wiener postfilter beamformed MB images as high-quality ground truth and the delay-and-sum (DAS) beamformed MB images as input to perform a supervised task. We use a superior U-shaped Transformer model, Uformer, to enhance the DAS result. Uformer is a Unet-like hierarchical model with skip connections between the encoder and the decoder. Specifically, given a DAS image I (256×256), the adaptive weights were output by Uformer. In-vivo contrast-enhanced rat brain data (80,000 frames in total) were used to validate the effectiveness of the proposed method, which were acquired using a Vantage 256 system equipped with an L20-10 probe at a transmit frequency of 15.625 MHz. The acquired channel RF data were first divided into different groups according to the transmit angle, and each group was then clutter filtered using the singular value decomposition method to extract MB signals individually. Each group of channel MB RF data were beamformed and compounded to in-phase/quadrature (IQ) data using the DAS method (as the input of the model) and the uSA-ASW method (as the ground truth of the model), respectively. Then, the MB envelope data were obtained from the IQ data and were localized using radial symmetry method. Finally, the positions of MBs in each frame were tracked using the Hungarian algorithm. Thus, the microvascular velocity maps were obtained. It should be noted that respiratory introduces obvious out-of-plane motion during the data acquisition of rat liver, so the MB data influenced by the motion were discarded and the final number of frames for the rat liver data was 4,000.

Results: The velocity maps of the rat brain obtained by DAS-ULM and the proposed Uformer-ULM method are demostrated. The zoomed-in views of these results show some superb subtle vessels are invisible in DAS-ULM, but they are visible in Uformer-ULM. To further show the detailed difference, velocity maps within the orange boxes are zoomed-in, and the velocity profiles along the green lines shows the proposed Uformer-ULM method can delineate small vessels than DAS-ULM. Our method can significantly improve the visualization of velocity maps for both small vessels and large vessels and has potential to facilitate high-quality ULM for clinical applications.

The computational complexity and runtime of uSA-ASW is so high that hinders its feasibility for enormous data of ULM. It is estimated that the runtime of uSA-ASW to process one frames of channel RF data is 6 s, while the runtime of Uformer-ULM is about 0.056 s using Nvidia GeForce RTX 3060. Therefore, Uformer-ULM indeed helps high-quality ULM, and with high computational efficiencyis introduced.

Conclusion: In this study, we proposed a Uformer-ULM method for improved ULM imaging to break the trade-off between noise suppression and small vessel preservation with high computational speed. Results of in-vivo experiments demonstrate that it can significantly improve the visualization of velocity maps for both small vessels and large vessels and has potential to facilitate high-quality ULM for clinical applications.

Key Words: Ultrasound localization microscopy, adaptive beamformer, signal coherence, deep learning, microvessels

ID 3884

基于超分辨率重建超声图像的影像组学模型预测乳腺导管原位癌术后病理升级

杨亮、周建华
中山大学肿瘤防治中心

目的：本研究旨在利用超分辨率超声图像和临床病理因素，构建预测乳腺导管原位癌术后病理升级的模型，并探索超分辨率技术在超声影像组学中的应用价值。

方法：纳入2015年1月至2021年12月在确诊为乳腺导管原位癌的681名患者作为训练集，验证集和外部测试集。根据手术病理结果分为病理升级组和病理未升级组。使用超分辨率重建模型放大原始高分辨率图像，得到超分辨率图像。基于影像组学提取图像特征，并结合临床病理因素构建模型.另外由两名独立超声专家判断病理升级情况，对比各模型的诊断效能。以手术病理为金标准，绘制受试者工作特征曲线并计算曲线下面积，结合各项诊断效能指标对比模型与超声专家的效果。

结果：本研究共纳入681个乳腺导管原位癌病灶，其中的验证集和外部测试集分别包含106个和153个。在内部验证集和外部测试集中，超分辨率融合模型的曲线下面积（AUC）最高，在验证集达到了0.819 (95%置信区间 0.732-0.887)，在外部测试集中则为0.800（95%置信区间 0.728-0.860）。其在外部测试集中与临床模型(AUC = 0.682; P = 0.02)、高分辨率融合模型（AUC=0.724；P=0.03）、超声医师（AUC=0.600；P<0.001）均存在显著差异。

结论：基于超分辨率超声图像和临床病理因素构建的融合模型在预测乳腺导管原位癌术后病理升级为浸润性癌方面优于超声专家并具有良好的泛化能力，为乳腺导管原位癌腋窝淋巴结手术的临床决策提供支持。此外，本研究探索了超分辨率重建技术在超声图像中的应用，为超声影像组学研究提供了新思路。

关键字：超声；影像组学；乳腺癌

S16
电磁与健康

ID 265

肿瘤微波与蒸汽热消融精准治疗关键技术研究

晋晓飞、宋毅、钱志余
南京航空航天大学

目的：肝肿瘤作为人类健康的主要威胁之一，除了手术切除和化学疗法之外，目前临床上肝肿瘤治疗的主要方式还有基于微波、射频等电磁场进行治疗；但是微波消融治疗存在无法进行术中实时2D评估、难以避免碳化以及电磁场损伤免疫系统及周边神经血管等瓶颈问题。本团队主要从事肝肿瘤微创热消融精准治疗和疗效评估关键技术的基础及应用研究，具体针对微波热消融的临床瓶颈问题和新型蒸汽热消融的关键技术问题进行攻关。

方法：在肝肿瘤微波消融的疗效优化和实时疗效评估开展了系统研究，确定了两种新的肿瘤微波消融疗效评估因子：约化散射系数和杨氏模量；原创提出了基于约化散射系数、温度场和2D杨氏模量联合的微波消融多模态术中疗效评估技术和基于组织吸热速率/热相变温度微波消融碳化优化调控技术。此外，针对肿瘤物理治疗的新策略、新技术和新方法这一需求，在肝肿瘤蒸汽消融的精准治疗和疗效评估方面开展了探索性的基础研究，提出了一种基于蒸汽微创介入的肝肿瘤热消融新技术，构建了离体肝脏蒸汽速度场模型和适形热场分布方案，实现了基于离体肝脏的蒸汽热消融速度场、温度场和热损伤场动态仿真。

结果：研制了3款新型肿瘤微波消融治疗设备及配套探针，其中NY-MA-10微波消融仪实现产业转化500万元，通过国家三类医疗器械注册标准检验。研制了球形、定向及特定形状蒸汽消融针，并开发了一种智能蒸汽热消融治疗系统，整个系统由蒸气传输单元、消融评估单元、上位机软件单元三个部分组成。

结论：提出了微波消融碳化优化技术和术中多模态2D评估技术，有利于微波消融临床治疗的精准、可控、可视和智能，助力微波消融的进一步临床推广。开发了一种肝肿瘤蒸汽热消融微创治疗新技术及样机，对于抢占肝肿瘤蒸汽消融治疗研究制高点、打破国外技术垄断、研制自主知识产权的新型肿瘤治疗医疗器械具有重要意义。

关键字：微波消融，蒸汽消融，肝脏，疗效评估

ID 360

生物医学应用的磁性微凝胶制备及调控研究

薛乐、孙剑飞
东南大学

目的：磁性微凝胶在生物医学领域发挥着重要作用，具有安全无毒、可非侵入控制性、快速响应性等优点。由于磁

性微凝胶的拓扑结构决定了其性能和应用，以良好可控的方式制备微凝胶十分重要。微流控法是制备可控微凝胶的强大工具，然而依然存在着高技术壁垒、高设备成本、材料安全性等问题。因此，本文致力于基于微流控技术开发简单、绿色的复杂结构磁性微凝胶制备方法，并探讨其磁控药物释放、细胞封装等生物医学领域应用。

方法：基于微流控电喷雾技术，通过调控两相流体浓度、流速、组成等参数，制备不同结构的磁性水凝胶微球，并进行结构、磁性表征；通过计算流体动力学（CFD）研究微流体的结构演化过程和规律，并通过实验进行验证，进一步研究三相流的复杂结构微凝胶制备及调控；研究核壳结构微凝胶在交变磁场下的药物释放行为，与普通微凝胶进行对比，研究其定量封装细胞应用。

结果：实验结果表明基于聚合物浓度控制界面张力可以连续控制内外相流体的流动模式，使用单个微流控装置就可以制备得到一系列拓扑结构的磁性水凝胶微球；基于CFD的理论模拟验证了流体的演变与微球结构的形成；基于该理论制备了多种水凝胶材料（海藻酸钠、聚乙烯醇、壳聚糖）微凝胶；磁性微凝胶具有良好的生物安全性，可以用于细胞的可控定量封装和培养，核壳结构磁性微球在高频磁场下可以进行可控的药物释放。

结论：综上，本研究提出了一种基于界面张力控制微凝胶结构的微流控方法，通过实验和仿真验证了该方法的通用性，可以方便地制备出多种复杂拓扑结构的磁性微凝胶。同时在磁场遥控下，这些磁性微凝胶可以实现可控药物释放。本研究将有力促进微流控技术的发展，拓宽微凝胶生物医学应用。

关键字：磁性微凝胶；微流控；界面张力；神经刺激；药物释放

ID 408

Terahertz waves alleviate inflammation and promote functional recovery after TBI in mouse

Chunhai Chen
Amy Medical University

Objective: Developing effective therapeutic strategies for traumatic brain injury (TBI) remains a significant challenge in clinical brain science research. The unique properties of terahertz (THz) waves have generated significant interest in their potential for treating brain injuries. In this study, we created a stable and uniform THz wave field and applied it to a TBI mouse model. The mouse cortex was injured by stabbing with a blade, and the affected areas were immediately exposed to a 0.22 THz wave field. Our data showed that THz wave exposure significantly enhanced neural behavior recovery following brain injury. Additionally, THz waves exposure reduced inflammatory responses after TBI and modulated the functions of astrocytes and microglial cells. These changes helped maintain the integrity of the blood-brain barrier and rescue cell death after TBI. We also demonstrated that THz waves regulate inflammation by regulating phospholipase A2 (PLA2) activity and arachidonic acid (ARA) production. This study demonstrated that THz wave exposure alleviates acute inflammatory responses and promotes functional recovery following TBI in mice. These findings suggest that THz therapy may emerge as a valuable tool in neurotherapeutic treatment.

Methods: The objective of this study is to explore the potential beneficial effects and underlying mechanisms of THz wave exposure in the treatment of TBI. To determine this, we first generated a stable and uniform THz wave field and applied it to treat a TBI mouse model. The mouse prefrontal and somatosensory cortex were cut with a blade to a depth of 0.5 mm, after which the injured areas were immediately exposed to a 0.22 THz wave field. The exposure power density of the THz field ranged from 25 to 50 mW/cm^2, and the exposure time varied from 15 to 30 minutes. Neural behavior changes were assessed using the open field test and elevated plus maze 24 hours post-injury. Global gene expression changes were analyzed using RNA-seq 6 hours post-injury. Inflammatory factors were quantified by quantitative PCR (Q-PCR) at 0, 3, 6, 12, and 24 hours following TBI. Glial cell functions were evaluated by Immunofluorescence staining and Sholl analysis 24 hours following TBI. The activity of phospholipase A2 (PLA2), arachidonic acid (ARA), and its metabolites were measured using

ELISA and metabolomics analysis in injured brain cortex tissues and culture cells.

Results: Our findings indicated that THz wave exposure significantly promoted neural behavior recovery following brain injury. Anxiety-like behaviors caused by TBI were notably reduced by THz waves, as evidenced by the open field test and elevated plus maze. RNA-seq analyses revealed that THz wave modulated inflammatory responses, with Q-PCR verifying specific individual inflammatory factors showing that THz wave exposure alleviated the expression of TBI-induced inflammatory factors. Moreover, THz waves were found to modulate the functions of astrocytes and microglial cells, altering their morphology and gene expression to shift from a pro-inflammatory to an anti-inflammatory phenotype. These changes helped maintain the integrity of the blood-brain barrier and rescue cell death after TBI. We also demonstrated that THz waves regulate inflammation by modulating PLA2 activity, which is a key enzyme regulating the production of ARA. THz waves inhibited PLA2 activity in injured mouse brains, cultured astrocytes, and microglial cells, thereby reducing the production of ARA and its metabolites. These mechanisms and effects were also observed in human primary cultured astrocytes and embryonic stem (ES) cell-induced astrocytes, suggesting the potential application of THz therapy in humans.

Conclusion: The study demonstrated that THz wave exposure alleviates acute inflammatory responses, modulates astrocyte and microglial cell functions, and promotes functional recovery following TBI in mice. PLA2 might be a direct target through which THz waves regulate immune responses and glial cell functions. These findings indicate that THz therapy may emerge as a valuable tool in neurotherapeutic treatment.

Key Words: 0.22 THz; traumatic brain injury; glial cell function; inflammation; PLA2

ID 507

超高场磁共振新型行波发射系统研究

高阳[1]、王启龙[1]、刘通[1]、张孝通[2]

1. 西安电子科技大学

2. 浙江大学

目的：超高场磁共振成像面临射频发射场不均匀问题，成为制约其临床应用的主要技术瓶颈。经典的射频发射线圈多采用谐振腔设计，电磁场以驻波形式覆盖成像物体。在准静态假设成立的前提下，该经典方案可以产生均匀的射频发射场。但是在超高场磁共振电磁环境下，人体趋于电大尺寸，驻波的波节和波腹会导致磁共振图像出现无信号区和“中心亮”效应。在行波磁共振方法中，超导磁体和梯度线圈的金属内壁可作为圆波导传递电磁波辐射场能量，通过发射单一方向的行波电磁波减小驻波效应影响。但是现有方法面临行波发射效率低的问题，且缺少有效的电磁波调控手段。

方法：通过深入分析经典磁共振行波发射系统的能量传输机理，将其面临的传输效率低的重大缺陷归结为：1）波导内部介质不连续性；2）波阻抗失配；3）填充因子低以及辐射损耗大；4）主模TE11横向磁场比例低。将波导系统内部的次生驻波问题归结为：相速度失配。针对上述关键技术问题，研究团队创新性地将光学领域常用的介质波导引入到磁共振成像领域，并在亚波长尺度开展结构设计，以调控金属波导内主模和复杂介质中的波行为。

结果：采用优化后的介质波导结构，人体头部MRI信号强度提升了114%以上；同时其发射效率保持与经典容积线圈（鸟笼线圈）相近，有效抑制了驻波效应带来的“中心亮”效应，MRI信号的全局均匀度比传统商用发射线圈提升了22%以上，显著提升了超高场MRI的图像质量和准确性。

结论：研究提出了一种新型的磁共振行波发射系统，通过引入空心介质波导结构包绕成像物体，实现了电大尺寸生物体内的电磁波高效调控，解决了经典方法面临的发射效率低和大尺度空间内自旋质子激励偏差问题。

关键字：磁共振成像，超高场磁共振，射频线圈，行波磁共振，介质波导

ID 542

基于声电效应的高时空分辨声电脑成像方法研究

宋西姊
天津大学

目的：脑电信号是大脑神经活动的最直接反映，对观测大脑的工作状态、研究疾病的发病机制等具有重要意义。传统的无创电学检测方法获取到的头皮脑电信号(Electroencephalogram，EEG)，具有毫秒级时间分辨率。然而，大脑组织的容器导体效应，使得EEG信号的空间分布信息不足，空间分辨率有限（厘米级）。本研究拟在传统电学检测基础上，基于声场与电场的耦合作用（声电效应），利用聚焦超声波在脑电信号激活源源头对脑电信号进行空间编码，从信号源头上丰富脑电信号的空间分布信息，实现毫米级空间分辨无创脑信息检测，为诸如癫痫病灶定位等神经生理、神经心理性疾病的研究提供新契机。

方法：在黑暗环境，以平面二极管向麻醉大鼠施加稳态绿光刺激(8, 9Hz)诱发大鼠视觉皮层产生SSVEP信号。每只鼠共进行20次光刺激，一次光刺激持续5s，两次光刺激间隔5s。同时，聚焦超声波对初级视觉皮层编码SSVEP信号，超声波中心频率和脉冲重复频率分别为1MHz和80Hz。利用电极同时检测SSVEP信号和声电信号。基于Hilbert变换对声电信号进行解码获得解码声电信号。对SSVEP和解码声电信号进行快速傅里叶变换（Fast fourier transform， fft），对比分析SSVEP和解码声电信号的频谱响应、功率变化、时域波形，并基于不同脑区的解码声电信号映射大鼠大脑激活状态变化。

结果：时域波形：解码声电信号与SSVEP信号的波形变化存在显著正相关关系(r= 0.635, p< 0.001)；脑功能成像：利用一个记录电极，在4mm×4mm的测量区域内实现了内径小于2mm的激活源的检测。

结论：本研究从频域响应、功率变化和时域波形的角度证实了解码声电信号和SSVEP信号间的一致性。基于声电脑成像实现了毫秒级时间分辨、毫米级空间分辨大鼠SSVEP信号的检测，证实了声电脑成像的高时空分辨性能。

关键字：脑电；声电脑成像；高时空分辨率

ID 971

静息态下成年健康人脑网络状态切换过程

刘冠兰[1]、张孝通[3,4]、吴占雄[2]
1. 浙江大学 生物医学工程与仪器科学学院
2. 杭州电子科技大学 电子信息学院
3. 浙江大学 电气工程学院
4. 浙江大学医学院附属第二医院

目的：本研究利用rs-fMRI图像分析静息态下成年健康人脑网络状态的动态切换过程。结合滑动窗口与K-means聚类算法，识别出三种脑功能网络状态，为理解脑功能网络的动态变化提供了新视角。

方法：研究数据源自Beijing EOEC公开数据集，包含20-30岁49名健康对象rs-fMRI与结构磁共振成像数据。预处理流程包括去噪、时间校正、头动校正、干扰变量剔除、空间标准化及平滑处理。将全脑划分为8个功能网络，并配准至每位被试者fMRI成像空间。

在功能连接矩阵的构建中，运用滑动窗口技术，计算每个窗口内ROI对时间序列间的皮尔逊相关系数，以捕捉脑区域间的动态交互。通过优化滑动窗口参数，获得了反映脑功能连接变化的动态矩阵。应用K-means聚类算法对动态连接矩阵进行聚类分析，并利用Elbow准则确定最优聚类数，最终从复杂的功能连接模式中解析出三种具有代表性的脑网络状态。

结果：基于fMRI图像，构建了能连接矩阵，揭示了脑区域间动态交互关系。通过聚类分析，识别出三种脑状态，反映了脑网络的不同激活状态。

还发现脑状态间的切换并非随机，而是遵循一定的规律性。不同状态间的切换频率和路径显示出显著的统计特征，表明脑在静息态下仍保持着高度的动态平衡与适应性。

结论：本研究通过动态分析方法，深入探讨了静息态下健康人脑网络状态的切换过程，成功解码出三种代表性脑网络状态。这些发现有助于脑功能动态变化的理解，也为神经科学和神经精神疾病的研究提供了新的理论支撑和研究方向。

下一步可进一步结合其他神经影像学技术和认知行为实验，以更全面揭示脑状态切换的神经机制及其与认知功能的关系。同时，探索不同疾病状态下脑状态切换的异常模式，也将为神经精神疾病的早期诊断和治疗提供重要参考。

关键字：静息态脑网络；动态切换；rs-fMRI；脑状态

ID 1270

电极倒角曲率半径对氦大气压等离子体射流的影响：真实的电场建模

王嘉磊、董守龙、姚陈果、陈开
重庆大学

目的：在现代生物医学工程领域，大气压等离子体技术凭借其独特的生物相容性和卓越的物质转化能力，逐渐成为研究热点。其中，大气压等离子体射流作为一种特殊形式的冷等离子体，其内部富含大量高活性粒子，包括自由基、离子及激发态分子等。这些高活性粒子在与生物组织的相互作用中，表现出显著的生物效应，尤其在生物组织处理、病原体灭活以及药物递送等多个方面，展现出巨大的应用潜力和前景。如何实现对大气压等离子体射流中活性粒子浓度及分布的调控是上述应用场景的技术关键。本文旨在提高等离子体射流在生物医学应用中的工作效率与处理能力，从物理几何角度探讨优化策略及作用机理。

方法：基于一种适用于生物医学的空心单电极结构，对电极出口处的物理几何进行倒角操作优化，介绍了空心电极倒角半径对氦大气压等离子体射流粒子活性和分布的影响，分别从电场、流场及等离子体化学角度进行理论机制探究。

结果：实验表明，电极几何的改变会引起APPJ发展的变化，包括射流长度、击穿电压、粒子分布等。具体来说，我们观察到随着倒角半径的增加，流注内部的活性粒子浓度增加，射流运行地更加均匀稳定。基于基础理论物理，建立了真实的圆环曲面电场模型，可以解析任意空间位置处电场的真实情况，从本质剖析倒角处理对电极在空间产生电场的影响；结合混合层模型，阐述倒角处理对流体分布及等离子体化学反应的影响机理；联系实验和数值模拟结果，发现倒角处理具有增强流体混合、均匀化电场分布的作用，最终导致射流活性增强和分布更加均匀两个现象。更高的活性有利于提高等离子体与生物体系相互作用的效率，和更均匀的放电是其安全稳定处理的前提和保证。

结论：本文为大气压等离子体射流装置的优化策略提供了新的思路，为大气压等离子体技术在生物医学中的应用提供了更为有效的设计指导和理论支持。

关键字：大气压等离子体射流，活性氮氧化物，电场，混合层

ID 1387

基于组合加权激励模式的电阻抗断层成像方法

赵志博、杨琳、付峰
中国人民解放军空军军医大学

目的：电阻抗断层成像(Electrical impedance tomography, EIT)，是一种利用生物组织电阻抗特性进行成像的技术。EIT通过体表电极向人体特定部位施加安全电流激励，同时测量体表电压，从而重构出人体内部的电阻抗分布图像。经典的电流激励模式为相邻激励和对向激励，两种激励模式有着各自的优势与不足，因此，应用范围均存在一定限制。

方法：本文通过将两种激励模式组合并加权，提出了一种组合加权激励模式。相邻激励模式共有208个测量通道，对向激励模式共有192个测量通道。根据互易定理，两种激励模式的独立测量通道分别为104与96个。组合激励利用独立测量通道进行图像重构，仅需200个测量通道，保证了计算复杂度的稳定。EIT逆问题基于最小二乘准则，以电导率为EIT正问题的参数计算边界电压，寻找最接近实际测量电压时的电导率分布。通过对组合激励中相邻激励对应的测量通道和对向激励对应的测量通道的电压误差进行加权，实现组合加权激励成像。相邻激励对成像区域的边界位置敏感性强、中心位置敏感性差，对于边界位置的电导率扰动的成像往往会在图像中心存在较大的反向伪影，但对于中心位置的电导率扰动的成像良好。对向激励的敏感性相对更均匀，对于边界位置的电导率扰动的成像良好，但对于中心位置的电导率扰动的成像发散，不集中。通过适当调整权值，抑制边界位置扰动的图像的反向伪影的同时，使中心位置扰动的图像更集中。另外，增大或调小权值，可使成像结果分别逼近对向激励或相邻激励成像结果，使得该激励模式有着更广泛的适应性。

结果：组合加权激励模式在EIT成像中有着更好的稳定性和准确性，图像集中且无伪影。在开展的仿真实验、物理模型实验和人体实验上均表现出了良好的成像效果。

结论：针对不同激励模式的优势与劣势，通过组合加权实现优势互补，劣势消除，为EIT提供了一种适应性更强的激励模式。

关键字：电阻抗断层成像，激励模式，组合加权

ID 1561

基于跨模态空间信息融合的增强时间差分电阻抗断层成像方法

田翔[1]、叶健安[1]、王欣怡[1]、史学涛[2]、徐灿华[1]
1. 中国人民解放军空军军医大学军事生物医学工程学系军事生物医学工程教学实验中心
2. 中国人民解放军空军军医大学军事生物医学工程学系医学电子工程学教研室

目的：电阻抗断层成像（EIT）作为一种新型无损成像技术，其基于不同生物组织的阻抗频谱特性重建人体内部的电导率分布图像，可用于脑损伤检测、肺功能实时监测、乳腺癌筛查等多个领域。然而，非线性、病态性的逆问题使得传统的EIT成像算法重建图像中含有较多伪影，图像重建精度不高，本文提出一种新型EIT成像方法，实现高质量的EIT成像。

方法：本文提出一种跨频率空间信息融合网络（CFSF-Net）成像方法，该方法主要由初始化模块、跨频率空间信息提取模块和信息融合模块组成。首先在初始化模块通过传统时差成像算法得到N个频率下的初始化电导率变化图像，随后通过Inception-V3模块构建的多路径结构将N个频率下的时差EIT图像输入到网络中，进行跨频率的空间信息提取，获得多个频率下电导率图像中稳定的目标分布信息，消除伪影干扰信息，最后在信息融合模块实现跨频率空间信息的融合，得

到具有较高空间分辨率的目标分布图像。

结果：相较于传统使用单频率信息的Tikhonov正则化算法、Noser算法，本文提出的CFSF-Net方法重建图像中具有更少的图像伪影，重建结果与真实模型分布更为接近，位置误差平均减少了34.4%，面积误差平均减少了41.3%。此外，在不同噪声水平情况下，CFSF-Net算法展现出优异的抗噪性能，在大多数噪声水平下均能保持较好的图像重构效果。

结论：现有传统时差EIT算法大多采用单一频率信息进行图像重建，其空间分辨率仍需进一步提升。本文提出的CFSF-Net成像方法通过融合不同频率下时差EIT图像的空间信息，与传统的单频时差算法相比具有更高的重建精度，重构目标与真实目标更为接近，为后续的EIT算法研究提供了新的思路。

关键字：电阻抗成像 信息融合 图像重建 深度学习

ID 2194

米诺地尔微针贴片协同冷等离子体重塑毛囊周围微环境治疗雄激素性脱发

黄月烨[1,2]、陈支通[1,2]

1. 深圳高性能医疗器械国家研究院有限公司
2. 中国科学院深圳先进技术研究院

目的：大气压冷等离子体（Cold Atmospheric Plasma，CAP）能产生丰富的活性氧（Reactive Oxygen Species，ROS）和活性氮（Reactive Nitrogen Species，RNS）等生物活性物质，在生物医学应用方面表现出巨大的潜力。雄激素性脱发（Androgenetic Alopecia，AGA）是一种慢性且渐进的脱发类型，主要表现为毛囊周围微环境的血管退化，导致细胞凋亡和毛囊的最终丧失。传统的治疗方案如米诺地尔（Minoxidil，MXD）酊剂在重塑毛囊周围微环境方面效果有限。本研究旨在开发一种多重协同治疗平台，通过结合CAP和负载MXD的微针贴片（Minoxidil-loaded microneedle patches，MXD-NLC-MNs），以高效促进毛发再生。CAP通过产生RONS可以促进血管内皮生长因子的表达，从而促进新血管的形成，此外，通过微针在皮肤中形成的暂时性微通道不仅有助于MXD的透皮传递，也有助于CAP产生的一氧化氮（NO）到达毛囊损伤部位。NO与MXD的协同作用促进了毛囊周围血管的扩张，从而有效重塑了毛囊微环境，而且通过促进细胞增殖和血管新生，加速了毛发的再生过程。

方法：通过在AGA小鼠模型上进行体内实验，评估该多重协同治疗平台对毛发再生的效果。

结果：实验结果表明，CAP联合MXD-NLC-MNs在提高药物递送效率和促进毛发再生方面具有显著优势。MXD-NLC-MNs展现出足够的机械强度穿透皮肤屏障，将MXD高效递送至目标细胞，刺激细胞增殖。相比MXD酊剂单独使用，联合治疗组在渗透量和皮肤滞留量分别提高了2.70倍和11.11倍。在AGA小鼠模型中，这种联合治疗显著增强了毛发覆盖率、密度和直径。

结论：该多重协同治疗策略不仅重塑了毛囊微环境，还加速了毛发的恢复和再生，为AGA及其他皮肤疾病的治疗提供了创新性的解决方案。

关键字：纳米医学、雄激素性脱发、微针、大气压冷等离子体、药物递送

ID 2340

脑电相位同步经颅磁刺激技术研究

买文姝[1,2]、庞紫胭[1,2]、靳静娜[1,2]、刘志朋[1,2]、殷涛[1,2,3]
1. 中国医学科学院生物医学工程研究所
2. 天津市神经调控与修复重点实验室
3. 中国医学科学院神经科学中心

目的：由于人类个体差异性与脑状态动态性导致应用经颅磁刺激（TMS）进行神经调控效果有限。本研究旨在构建脑电相位同步经颅磁刺激的低延时系统，通过采集个体的大脑瞬时状态信息实时反馈调整刺激方案，提供更有效且实时的大脑刺激，优化TMS调控效果。

方法：设置脑电采集与传输模块、实时信号处理模块、IO板卡和经颅磁刺激器四个部分。利用脑电采集与传输模块采集脑电信号，并通过UDP协议实现最高采样率5kHz、64通道的脑电数据流式传输。实时信号处理模块内置Simulink Real Time操作系统，其中运行的Simulink实时模型内嵌时间约束算法和实时数字信号处理算法，将脑电采集与传输模块输出的信号进行个性化滤波、Yule-Walker模型预测、希尔伯特变换，计算得到脑电实时相位。当脑电实时相位为预设相位时产生数字TTL触发信号，该TTL触发信号通过IO板卡输出到经颅刺激器的外部触发端口，触发磁刺激输出。系统搭建完成后，以感觉运动脑区μ节律的实时相位同步经颅磁刺激为例，进行系统延时与实时相位准确性检验。

结果：本研究建立了脑电相位同步的闭环TMS实验系统，可实现根据实时处理后的脑电信号在特定相位时进行TMS的刺激输出。经检验，系统延时为2-3 ms，具有毫秒级时间精度；脑电μ节律实时相位算法的相位误差为 -8.3° ±45.9°。

结论：本研究的脑电相位同步TMS系统延时性低，实时性好，且能够实时获取脑电相位，尽管相位计算精度有待进一步提高，但仍对后续高时空分辨率的大脑皮层反应性和连通性研究，利用大脑瞬时状态的实时信息提高TMS调控效果具有重要意义。

关键字：脑电相位 经颅磁刺激 同步 闭环 神经调控

ID 2876

癫痫小鼠的“皮层-海马”神经纤维结构连接异常：一项基于DTI的研究

张李君、张广浩、吴昌哲、何世纪、张竞兮、霍小林、张丞
中国科学院电工研究所 生物电磁学北京重点实验室

目的：扩散张量成像（DTI）对白质和灰质的区别以及白质纤维的走行有很好的成像效果，其在阐明神经系统疾病的脑部结构变化中具有重要作用。本研究拟基于DTI技术建立正常及癫痫小鼠大脑神经纤维结构连接，探究癫痫急性期小鼠脑部神经纤维连接变化规律。

方法：选取雄性C57BL/6J小鼠，尾静脉注射制备海人酸（ KA）癫痫模型，随机分为对照组（NS, n=3）和致痫组（KA, n=3），对比分析给药前后两组小鼠行为学、体质量及DTI图像的变化规律。基于DTI图像，利用确定性纤维追踪技术构建小鼠全脑白质纤维结构，并选取小鼠“前额叶皮层”和“海马”作为感兴趣区（ROI），基于Waxholm空间图谱筛选连接ROI的神经纤维束。

结果：①行为学：KA组给药后2小时内先出现癫痫样发作并进入分级发作状态，而NS组均未出现痫性发作。②体质量（单位：g）：给药0d、1d、3D时NS组小鼠体质量为26.10±0.56、26.33±0.51、26.57±0.57； KA组为25.93±0.65

、25.47±0.72、25.70±0.70，结果显示KA组体重显著低于NS组（P＜0.05）。③全脑纤维束分布：给药3天后，NS组与KA组小鼠全脑神经纤维束数目分别为55722±3798、50969±1948，表明KA组小鼠全脑纤维数目明显减少（P＜0.05）。④ROI纤维束的连接及分布：NS组与KA组小鼠“皮层-海马”神经纤维束数目分别为146±39、70±61，其中NS组ROI连接位点主要集中在前额叶皮层的边缘前/边缘下区域与海马的CA1区，而KA组主要分布在前额叶皮层的边缘前/边缘下区域与海马的DG区。

结论：本文成功构建了两组小鼠的全脑纤维连接，研究发现KA组小鼠连接“前额叶皮层”和“海马”的神经纤维数量减少，同时可能产生了新的纤维结构连接。研究结果为后续增加样本量继续探究提供实验基础，也为无创神经电磁调控治疗癫痫提供理论支撑。

关键字：癫痫；确定性神经纤维追踪；扩散张量成像；无创电磁调控

ID 3206

环指蛋白185 (RNF185)介导DNA损伤反应和肿瘤放化疗敏感性研究

姚志成[1,2]、赵国平[1]

1. 中国科学院合肥物质科学研究院

2. 中国科学技术大学

目的：放化疗当前被广泛应用于各类实体瘤的治疗，但大部分肿瘤患者的预后仍然较差。因此寻找肿瘤放化疗增敏的新靶点，进一步提高肿瘤的放化疗效果，具有十分重要的临床意义。

方法：通过Crisper-cas9测序手段筛选出肿瘤放疗增敏新靶点RNF185，以人类乳腺癌细胞系MCF7、MD-MBA-231为研究材料，利用Crisper-cas9技术构建RNF185基因敲除细胞系，在辐照或顺铂给药条件下通过克隆形成、CCK8、流式检测细胞凋亡、WB和IF检测γH2AX水平等实验验证RNF185为损伤敏感性基因；利用DR-GFP和EJ5-GFP质粒报告系统检测RNF185对DSBs的修复方式，再通过对RNF185进行质谱，结合质谱结果得到RNF185参与损伤修复的下游调控因子RPA1；通过构建RNF185和RPA1不同结构域缺失的截短体并通过CO-IP确定其互作结构域，检测RPA1的泛素化水平和RNF185磷酸化水平等翻译后修饰水平，并结合互作结构域的结果，进一步确定作用位点；最终通过裸鼠成瘤实验，体外验证RNF185的放化疗敏感性。

结果：作为损伤敏感性基因，当发生DSBs时，RNF185上的106位苏基酸能够迅速被磷酸激酶ATM/ATR磷酸化，随后RNF185通过其跨膜结构域与核孔蛋白NUP88等相互作用后转位到细胞核。RNF185在损伤前期通过募集RPA1和Rad51等HR修复因子到损伤位点参与损伤修复，损伤后期随着其不断入核积累，开始促进RPA1-ssDNA的解离，并与去泛素化酶OUTB1竞争性结合RPA1，通过促进RPA1多个赖氨酸位点上的K48位泛素化，将RPA1从损伤位点移除，使后期损伤修复因子及时加载到损伤处来进一步完成HR修复过程。

结论：RNF185作为HR介导的DSBs修复的重要调节因子，有助于细胞对辐射以及临床化疗药物诱导的DNA损伤的应答。

关键字：CRISPR-Cas9 sequencing；RNF185；RPA1；损伤修复；放化疗敏感性

ID 3336

颅内植入电极电场治疗抑制大鼠脑胶质瘤生长的研究

杨鑫、胡春华
清华大学航天航空学院

目的：肿瘤治疗电场（Tumor treating fields，TTF）作为一种非侵入性疗法，通过中频交变电场抑制肿瘤细胞增殖，在脑胶质瘤治疗中展现出潜力。然而，现有的体外TTF疗法受到颅骨等高阻抗组织的限制，导致患者依从性差和治疗效果不佳。本研究旨在通过颅内植入针状电极的方式，提高TTF疗法的疗效，并评估其抑制大鼠颅内肿瘤生长的有效性与安全性。

方法：本研究采用SD大鼠（8周龄，雌性）作为动物模型，通过脑立体定位技术在右侧大脑注射C6-luc细胞，并在同一位置植入两根针状铂铱电极。实验组（n=5）大鼠接受频率为200kHz、幅值为10V的正弦电压电场刺激，对照组（n=5）仅植入电极，空白组（n=5）仅注射细胞。实验持续两周，期间利用荧光成像监测肿瘤生长，记录电极阻抗和电流变化，以及大鼠体重变化。实验结束后，对脑组织进行切片和HE染色分析。

结果：荧光成像分析显示，实验组大鼠肿瘤生长明显受到抑制，其荧光信号强度仅为对照组的61%，空白组的17%。电极阻抗在植入后3天内达到稳定，波动幅度小于10%。组织学分析表明，中频电场刺激未对正常脑组织造成电、热损伤。在整个实验周期中，各组大鼠的体重变化无显著差异。

结论：本研究结果表明，颅内植入针状电极并施加中频电场刺激能有效抑制大鼠脑胶质瘤的生长，且对正常脑组织无明显损伤，未影响大鼠的日常活动。电极阻抗和电流的稳定性表明该植入式电场刺激方法具有良好的应用前景。本研究为脑胶质瘤的侵入式电场治疗提供了实验依据，有望为临床治疗提供新的策略。

关键字：肿瘤治疗电场；脑胶质瘤；颅内植入电极；组织损伤；阻抗监测

ID 3357

用于血管温热治疗的无线射频磁场增强方法

任莎莎、邹金成、张爱丽
上海交通大学

目的： 支架置入术是治疗动脉粥样硬化最有效、广泛的方法之一。然而置入支架的机械扩张可能发生动脉损伤，引起血管壁平滑肌细胞增生并导致血管再狭窄。无线“温热”支架通过抑制平滑肌细胞的增殖，可用于再狭窄治疗。现有研究的“温热”支架表现出较低的加热效率和功率传输距离。本研究开发了磁场增强的射频铁氧体-天线，及配合的天线匹配电路，以实现对“温热”支架的高效无线供电，拓展了支架的部署深度。

方法：本研究在COMSOL建立射频铁氧体-天线仿真模型，探索铁氧体的形状参数对磁场分布的影响，根据适宜的形状参数加工铁氧体。装配好的铁氧体-天线装置为环状，内径6cm，外径10cm，高度40cm。天线匹配电路将功率放大器的负载调制50Ω，可获得最大的功率输出效率。支架采用304不锈钢丝绕制，线径0.5mm，直径6mm，长度5cm。支架放置在天线的中心。使用频谱仪探头检测铁氧体-天线在不同频率、电流下的磁场分布。在空气、离体猪肉组织中测试支架的加热能力，热电偶记录支架的升温情况。

结果：仿真实验表明，铁氧体-天线可以大幅提高中心的磁场强度；频谱仪探测的结果与仿真保持一致，相比于普通天线，铁氧体-天线中心的磁场功率增强~3DBm；提高射频的频率、电流大小，磁场增强的效果更加明显。加热实验表

明，相同的射频电流下，支架在铁氧体-天线中升温速度约为普通天线的3倍；使用40w功率，支架在空气中60s可以达到~110° C，在猪肉组织中120s可以达到~50° C。

结论：本研究设计的射频铁氧体-天线，大幅增强了天线中心的磁场，可以有效拓展支架的部署深度~3cm，离体组织中验证了支架可达到温热治疗的温度（50° C）。本文的天线装置设计为环形，对外周狭窄血管的“温热”支架治疗具有重要意义。

关键字：温热治疗，无线射频，磁场增强，天线

ID 3431

Theaflavin-3, 3’-digallate Relieve Radiofrequency Electromagnetic Radiation, Improves Cognition Function in Male Mice via GR/RORα/BMAL1 Pathways

Fenju Qin,Yuanchen Sun,Yu Yang
苏州科技大学

Objective: Recently, with the rapid development of wireless communication technology and the widespread popularization of mobile phones users, the global number of the Internet user has added up to approximately 4.9 billion people (63 per cent of the world’s population) in 2021, which induced the rapid increase of background radiofrequency (RF) radiation in the human environment. It is well known that the central nervous system involved in many intricate electrical activities is one of the most sensitive targets of radiofrequency radiation. When talking over radio, mobile phones are often held closely to the brain, which makes it vulnerable to radiofrequency radiation. From results of human epidemic statistics and animal experiments, considerable amount researchers found that radiofrequency exposure induce various adverse impacts such as headaches, sleep disturbances, impairment of cognitive function including learning, memory and attention. It is necessary to develop preventive and therapeutic strategies against cognitive impairment caused by radiofrequency radiation.

Theaflavin-3,3’-digallate (TFDG), one of the theaflavins present in black tea, is well known to possess excellent bioactive properties, and theaflavins was proven to possess protection against neuronal cell injury. Among these four theaflavin monomers, the proportion of TFDG components is highest and has the greatest antioxidant effect. Nevertheless, the functional role of TFDG in the regulation of cognitive impairment induced by radiofrequency radiation remains unclear.

Here in, we aimed to explore the salutary effects of TFDG on RF radiation-induced cognitive damage in mice. The regulatory effects of TFDG on hippocampal histopathology, oxidative stress, neurotransmitter was also evaluated. Furthermore, their effects on the GSK-3α-mediated GR and clock genes pathways were analyzed to explore the possible related mechanisms.

Methods: The 5-week-old male healthy clean grade C57BL/6J mice were randomly divided into Blank group, solvent control group (SC), radio frequency radiation group (FR) and four TFDG+ FR groups. The four TFDG+ FR groups were given 0.1 mL TFDG solution at the dosage of 12.5, 25, 50 and 100 mg/kg TFDG, respectively, for 28 consecutive days. The blank group was given equal volume of distilled water, the solvent control group and the radiofrequency radiation group were given equal volume of 0.5% dimethyl sulfoxide. Since the 15th day, 1.8 GHz RF radiation (240μw/cm2) was administered for 14 days, and continued gavage was performed simultaneously. The learning and memory ability was measured, and the pathological sections of brain tissue, antioxidant capacity, neurotransmitter levels were analyzed. The expression of signal pathway proteins was analyzed by immunohistochemistry, immunofluorescence, western blot and real time PCR.

Results: Radiofrequency radiation decreased the learning and memory ability (increased the number of learning attempts and decreased the memory rate), caused pathological damage to hippocampal pyramidal neurons of mice, increased the levels of GLU and NO, decreased the levels of Ach, decreased the activities of T-AOC and GSH-Px, and increased the content of MDA in hippocampal tissue. It induced the accumulation of GSK-3α/GR protein in hippocampus and down-regulated the expression of RORα/BMAL1/D5R gene/protein. Oral administration of TFDG can effectively alleviate the cognitive impair-

ment caused by radiofrequency radiation, including reducing the number of learning attempts and improving the memory rate, alleviating the pathological injury of hippocampal pyramid-neuron of radiofrequency radiation mice, reducing the levels of hippocampal neurotransmitters GLU and NO, increasing the levels of Ach, increasing the activity levels of T-AOC and GSH-Px, and reducing the content of MDA. GSK-3α/GR protein accumulation induced by RF was alleviated, and the gene and protein expression of RORα/BMAL1/D5R were up-regulated. The effect of 50 mg/kg TFDG was most significant.

Conclusion: TFDG can improve radiofrequency radiation induced cognitive impairment, which may be related to the reduction of radiofrequency radiation induced hippocampal pyramid-neuron injury, the regulation of neurotransmitter disorders,theimprovementofantioxidantcapacityreduction,andtheregulationofGR/RORα/BMAL1pathwayabnormalities.

Key Words: Cognitive ability, Radiofrequency radiation, TFDG, Hippocampus, Clock gene

ID 3539

复合射频辐射对肥胖鼠脂代谢的影响研究

许静、王长振
军事医学研究院

目的：随着通讯方式的日新月异，复杂的电磁辐射影响人们的身体健康。肥胖是机体摄入过多或代谢改变造成体内脂肪堆积并引起机体一系列生理生化的改变的机体状态，肥胖能增加心血管疾病以及癌症的风险，严重会造成机体瘫痪甚至死亡。诸多研究表明单频射频辐射能引起焦虑抑郁情绪、影响糖脂代谢等，但复合射频辐射很少被研究，同时相关的潜在机制研究也较少，也未关联射频辐射与肥胖。本研究旨在探究复合射频辐射对肥胖鼠脂代谢的影响以及其机制。

方法：实验选取40只SPF级C57BL/6J小鼠[5周龄]随机分为4组：Control组、RF组、HFD组、HFD-RF组，HFD组、HFD-RF组需要进行为期八周的高脂饲养，Control组、RF组辅以正常维持饲料进行饲养；高脂饲养结束后，RF组、HFD-RF组进行0.9/1.5/2.65GHz复合射频辐射，每频40min/d，共2h/d，SAR值为4W/kg，辐照4周，期间对体重进行监测，辐照结束后，取血清、肝脏、棕色脂肪组织等进行相关分析。

结果：体重结果显示，与Control组相比，RF组体重降低；与HFD组相比，HFD-RF组体重降低。血生化结果显示，与Control组相比，RF组血清中TG、LDL含量降低，HDL含量升高；与HFD组相比，HFD-RF组血清中TG、TC含量降低，LDL含量有降低趋势，HDL含量有升高趋势。棕色脂肪组织UCP1结果显示，辐射后，UCP1的含量升高。脂联素结果显示，与Control组相比，RF组脂联素含量升高；与HFD组相比，HFD-RF组脂联素含量升高。肝脏脂联素通路结果显示，辐射后，脂联素相关通路蛋白AdiponR2、APPL1、LKB、AMPK蛋白表达升高，ACC酶活性降低.

结论：复合射频辐射能够激活棕色脂肪组织，诱导脂联素分泌，通过脂联素及其受体相关通路促进肝脏中脂肪的β-氧化进程，影响脂代谢，最终造成体重减少。

关键字：复合射频辐射；脂代谢；脂联素；肥胖鼠

ID 4383

1.3GHz聚焦微波甲状腺癌热疗系统

奚梓钧、王雄
上海科技大学

目的：甲状腺癌是世界上最常见的内分泌恶性肿瘤。近年来，随着高频超声和细针穿刺活检的发展，甲状腺乳头状微癌这类进展缓慢死亡率的疾病发现率逐渐提高。通常手术是治疗的首选，但也被认为是一种过度治疗，因为其缺点包括创伤大、并发症风险高以及需要长期药物治疗。放疗、化疗作为成熟的临床治疗手段，由于其放射性或药物的副作用，同样具有损害人体健康的缺点。热疗，作为一种非电离的治疗方式，通过使得肿瘤被加热到43°C以上的消融温度，实现对肿瘤细胞的破坏。目前射频消融技术已经应用于临床甲状腺癌治疗，但需要将消融针插入肿瘤处，给脖子部位留下疤痕会加重患者的心理负担，影响患者的治疗积极性。聚焦微波热疗作为一种非电离性的无创治疗手段，它采用相控阵天线，通过调整每个天线元件的激发相位和振幅，将受辐射的微波能量聚焦于目标肿瘤上，使得肿瘤被加热到43°C以上的消融温度，可以选择性地加热和破坏肿瘤组织，而不破坏健康组织。本文设计了一个由13个工作在1.3GHz天线组成的聚焦微波甲状腺肿瘤热消融系统。

方法：它使用食用油作为电磁波的传播介质，并且通过循环食用油，并对食用油降温的方式，控制热疗时人体表层组织的温度。我们用真实人体组织作为模型，在其中嵌入了9种不同高度与深度的直径8mm的肿瘤，并通过CST仿真的方式验证了我们的系统的有效性。

结果：该系统可以有效地将不同位置的肿瘤在8分钟左右加热到43°C以上的消融温度并避免损伤健康组织。

结论：相比于传统的治疗方法，这种基于相控阵天线的无创聚焦微波热疗技术可以有效节省治疗成本，能够通过精准控制天线相位幅度参数实现精准治疗，减少对患者健康的损害，为临床肿瘤治疗提供了新的思路。

关键字：微波热疗，甲状腺癌，温度监控

S17
介入医学工程与血液接触材料

ID 229

基于藤壶仿生改善血管支架耐蚀性以及生物相容性的研究

张忠娜、李杭、李敬安
郑州大学

目的：相较于会长期留存于人体内的不可降解金属，可降解金属由于具有良好的机械性能和生物相容性，且在人体服役完成后被人体完全吸收的特性被认为是优异的血管支架材料。本课题组自主研发生物可降解镁合金ZE21B（Mg-2Zn-0.46Y-0.5Nd）在置入完成服役后被人体完全吸收，且有临床研究表明，且降解产生的Mg2+可以通过减少细胞内钙离子超负荷、改善脑血液灌注和维持缺血后的脑能量代谢三种机制改善脑缺血性损伤，能够解决支架内再狭窄的问题并降低缺血性卒中复发的风险。但目前镁合金的应用仍受制于降解速率过快、促内皮功能不足以及治疗后内皮损伤引起的血栓和再狭窄。

藤壶在各类基质上实现牢固结合，cp19k起到主要作用，它是通过自组装和非共价相互作用来实现粘附。另一方面，藤壶胶蛋白具有介导M2型巨噬细胞作用，对支架置入后的炎症反应进行调控。因此，尝试在镁合金表面制备cp19k涂层，从而降低镁合金的降解速率并提高生物相容性。

方法：本研究通过在可降解镁合金ZE21B表面静电喷涂构建仿生涂层藤壶胶蛋白cp19k，提高其耐腐蚀能力和促内皮化能力。通过材料分析方法对其表面形貌、化学成分、润湿性等性能进行表征。采用电化学性能和失重测试对镀层的耐蚀性进行了评价。此外，通过体外血液试验、内皮细胞(ECs)、SMCs和巨噬细胞试验评估生物相容性。

结果：实验结果表明成功地制备了藤壶胶蛋白cp19k涂层。涂层具有良好的结合力、适当的粗糙度和纳米厚度。同时，含有cp19k的样品具有较高的自腐蚀电位、较低的腐蚀电流密度和较低的体外长期降解率。藤壶胶蛋白cp19k涂层能够介导M2型巨噬细胞，抑制促炎因子的表达，促进抗炎因子的表达，调节巨噬细胞的梭形形态，收缩平滑肌细胞的表型，促进内皮细胞的增殖和迁移。

结论：Cp19k涂层能够较好的抑制ZE21B合金的降解，并且具有较好的生物相容性，能够提高体内生物安全性。

关键字：脑血管支架;可生物降解镁合金;藤壶胶蛋白cp19k;促内皮化;M2表型

ID 232

镁合金血管支架表面MOF/S-HA复合涂层的构建及其评价

段慧敏、孙晓静、李敬安
郑州大学

目的：人类疾病死亡的原因之一是动脉粥样硬化，其已接近第一位，主要受影响部位有主动脉、冠状动脉、颈动脉

和脑动脉，因此心肌梗塞和脑梗塞已成为这些血管疾病的主要后果。血管疾病的治疗已成为当务之急，血管内支架置入是目前最有效的治疗方法。近年来，金属有机骨架材料（MOFs）、透明质酸（HA）、肝素等功能分子在心脑血管植入材料表面改性领域得到广泛研究。镁合金可降解支架在血管疾病的治疗中脱颖而出，镁几乎影响生命体的每一个功能，它是人体内第四丰富的元素，镁离子也是仅次于钾离子的第二大细胞间离子。镁在所有活细胞中发挥着重要作用，它是许多酶的辅助因子，而且它对人体神经系统起到保护作用。期望解决镁合金脑血管支架植入后的耐腐蚀性能差、促内皮化功能不足、治疗后内皮损伤和抗凝血功能不足引起的血栓等问题。

方法：本研究将有机配体邻苯二酚（HPT）与Cu（II）螯合后形成的MOF-Cu通过磺化透明质酸（S-HA）涂覆在ZE21B镁合金表面形成复合涂层。

结果：该涂层不仅继承了S-HA在具有优异的抗凝、抗炎特性的同时，还通过合理调节一氧化氮（NO）催化释放的浓度，显著提高涂层的生物相容性，促进内皮细胞的增殖、迁移和特定因子的表达（ECs），调节平滑肌细胞（SMCs）向收缩表型的转化，在促进巨噬细胞（MA）向抗炎M2表型转化方面具有重要而显著的表现。

结论：这些实验结果为MOF/S-HA复合涂层在促进血脑屏障重塑、促进内皮化调节血脑屏障、维持心脑血管弹性、抑制炎症反应等方面提供了重要的研究价值，为未来解决颅内动脉粥样硬化提供了极具前景的疗法。

关键字：心脑血管疾病；金属有机骨架-Cu；磺化透明质酸；一氧化氮释放浓度；生物相容性

ID 305

ZE21C镁合金表面导电涂层的制备与研究

冯栋博[1]、朱珊珊[1]、钟演[1]、周礼贤[1]、晁育栋[1]、常蕾[1,2]、关绍康[1,2]

1. 郑州大学

2. 河南省先进轻合金重点实验室

目的：骨质疏松、关节炎、糖尿病等疾病容易导致患者骨折部位的免疫紊乱和代谢紊乱，从而影响骨折愈合。通过对镁合金的表面改性，实现镁合金骨植入器械的耐蚀性提高，并赋予其特定的生物功能，改变局部免疫微环境以及代谢促进骨愈合。

方法：本研究采用旋涂工艺，在ZE21C合金表面制备了氟化镁涂层，之后在氟化镁涂层上沉积了聚多巴胺涂层，以丝素蛋白（SF）和聚3,4-乙烯二氧噻吩:聚苯乙烯磺酸盐（PEDOT:PSS）作为功能成分，通过聚多巴胺的贻贝效应将SF-PEDOT:PSS化学结合在聚多巴胺涂层上，制备了具有耐蚀、骨免疫调控和促成骨的多功能SF-PEDOT:PSS（SP）复合涂层。

结果：结果表明，SF-PEDOT:PSS复合涂层发生了化学接枝反应，其中SF与聚多巴胺反应生成-CO-NH-键，PEDOT:PSS与聚多巴胺反应生成NH3+键。此外，与基底相比，SF-PEDOT:PSS复合涂层的腐蚀电流密度(icorr)为2.998 × 10⊠7 A/cm2降低了一个数量级，腐蚀电位(Ecorr)为 1.483V正移107V,容抗弧直径为也提高了一个数量级。血液相容性实验表明，SF-PEDOT:PSS复合涂层可以促进血小板和纤维蛋白的黏附和变形，有利于凝血反应。溶血率为0.79±0.028%，低于其他对照组。细胞相容性结果表明，该涂层能有效促进骨愈合相关细胞(MC3T3-E1和RAW264.7细胞)的黏附、铺展和增殖，促进M2表型因子(IL-4、IL-10、TGF-β1)的释放，抑制M1表型因子(IL-6、TNF-α)的释放，从而实现对巨噬细胞表型转化的调节。此外，ALP、COL I和OCN的较高释放表明骨矿化的加速。

结论：本研究通过旋涂工艺在ZE21C合金表面所制备的SF-PEDOT:PSS复合涂层具有良好的耐蚀性、免疫调控性和成骨诱导性,同时其导电性也有望实现促进骨骼愈合的功能。

关键字：丝素蛋白；PEDOT:PSS；导电涂层；耐腐蚀性

ID 515

钝化蛋白吸附平台：一种调控血液接触材料微环境的新策略

李林华
四川大学华西医院

目的：血液接触设备包括植入器械、留置医疗器械和体外循环器械等广泛用于临床实践，但作为异物与血液接触时，水、蛋白质和细胞会分别以不同的速度粘附在材料表面，其中水分子的吸附和固定决定了蛋白质的吸附行为，进而影响材料在体内的生物相容性和生物功能性。因此，利用表面改性工程技术从源头调控材料对水和蛋白质的吸附是提升血液接触材料生物学性能的一种有效方法。

方法：在酸性条件下，用双电子氧化剂辅助氧化多酚中的多巴胺，并原位负载活性物质，构建具有钝化蛋白吸附特性的纳米涂层。

结果：通过水接触角实验发现，用此类方法制备的涂层具有优异的超亲水性；通过单一蛋白质和全血浆蛋白黏附实验证实，涂层植入后在快速形成的水合层的作用下可以显著抑制蛋白质的黏附和变性；但随着接触时间延长，表面的活性官能团如醌基、氨基、酚羟基和苯环等会通过共价和非共价作用吸附蛋白，使蛋白的黏附量缓慢增加，但表面依然保持着良好的润湿性。该实验结果证实，区别于传统的超亲水表面，此类新型涂层具有优异的钝化蛋白吸附特性，即宏观尺度——超亲水的抗污性能，抑制急性血栓和炎症；微观尺度——活性基团的蛋白吸附特性，为需要细胞的黏附和生长提供条件。同时，在钝化蛋白吸附平台的支撑下，涂层中的活性药物可以更有效地发挥其生物学功能，包括抗氧化、调节炎症、选择性促进需要细胞的生长等，这对调节材料微环境稳定及促进病灶部位快速愈合具有重要的意义。

结论：综上所述，我们首次构建了具有钝化蛋白吸附特性的多酚涂层，为血液接触材料的表面改性提供了一种新的策略。

关键字：血液接触材料；钝化蛋白吸附；微环境；聚多巴胺；活性药物

ID 703

基于视网膜眼底照片的房颤患者认知障碍筛查：深度学习模型

王震[1]、李明宵[1]、夏鹏[3]、董力[2]、马彤[3]、琚烈[3]、陈羽中[3]、戈宗元[4]、蒋超[1]、桑才华[1]、魏文斌[2]、马长生[1]
1. 首都医科大学附属北京安贞医院
2. 北京同仁医院
3. Airdoc鹰瞳科技
4. 莫纳什大学

目的：房颤（AF）患者有更高的认知障碍（CI）风险。然而，CI诊断过程复杂且缺乏简单的筛查方法限制了对AF患者进行早期筛查和干预。本研究旨在基于眼底照片开发深度学习模型，以便于检测AF患者的CI。

方法：中国房颤登记研究是一项多中心前瞻性登记研究，涵盖中国31家临床医院。从2021年5月至2023年4月，我们选择完成认知评估和眼底摄影的患者作为训练集或内部验证集。我们还收集了登记患者的临床数据。训练集和验证集按8:2比例随机分割。北京眼科研究的参与者在2011年完成了认知评估和眼底摄影，并作为外部验证集。

认知评估和眼底图像 所有参与者的认知功能由训练有素的医生测量。采用蒙特利尔认知评估（MoCA）得分<26或简易智力状态检查（MMSE）得分<27的参与者被归类为CI组，其余为正常认知组。

深度学习模型 我们训练了四种不同的卷积神经网络（CNN）架构用于CI检测，并通过模型集成生成了视觉集成模

型。基于临床数据的元模型选择了与CI强相关的变量，并构建了用于CI检测的全连接神经网络。通过模型集成，生成了结合视觉特征和元特征的多模态模型。通过显著性图增强AI模型的解释性，显示检测CI的重要区域。

结果：共纳入了899名中国房颤登记研究的患者。在验证集中，基于眼底图像的视觉集成模型在CI检测中的受试者工作特征曲线下面积（AUC）为0.855（0.816-0.894）。基于眼底照片和四个临床变量的多模态模型（AUC: 0.861 [0.823-0.898]）性能与视觉集成模型相当。在外部测试集中，视觉集成模型的CI检测AUC达到0.773（0.709-0.837）。在显著性图中，视觉集成模型主要关注视网膜血管和视盘周围的区域。

结论：基于眼底图像的视觉集成模型可能在AF患者的CI筛查中具有实用性。

关键字：认知障碍；房颤；人工智能；眼底

ID 741

Endeavors on Tailored Degradation and Bioadaptability Through Surface Modifications for Mg Vascular Stents
(可降解镁基血管支架的“降解-生物”表面一体化调控)

Tianxiao Yin[1],Lingyu Li[4],Jia Pei[1,2,3],Guangyin Yuan[1,2,3],Wenjiang Ding[1,2,3]

1. Light Alloy Net Forming National Engineering Research Center
2. State Key Laboratory of Metal Matrix Composites, Shanghai Jiao Tong University
3. Center of Hydrogen Science, Shanghai Jiao Tong University
4. Qilu hospital of Shandong University

Objective: The emerging biodegradable metals have revolutionized the concept of biomaterials from merely permanent mechanical replacement devices towards biological solutions for temporary use with considerable efficacy. Magnesium (Mg) is prone to undergo electrochemical and chemical corrosions under aqueous environment in body. However, the overfast, uncontrolled degradation presents an innate drawback that arouses concerns on the risk of early structural failure, and moreover, deterioration of biocompatibility caused by excessive release of degradation products, thus posing a critical obstacle for clinical translation. Hence, the question which then arises is how we can better modulate and harness the degradation of Mg to exploit its full potential for compelling outcomes? Herein, to overcome the limitations of conventional anti-corrosion organic coatings, we present a biocompatible, self-assembly, ultrathin polymeric coating strategy, with tailored multiple anti-corrosion mechanisms to efficiently control Mg degradation while simultaneously bestowing desirable biofunctions, thus holding promise in promoting the application of Mg-based vascular stents.

Methods: The emerging biodegradable metals have revolutionized the concept of biomaterials from merely permanent mechanical replacement devices towards biological solutions for temporary use with considerable efficacy. Magnesium (Mg) is prone to undergo electrochemical and chemical corrosions under aqueous environment in body. However, the overfast, uncontrolled degradation presents an innate drawback that arouses concerns on the risk of early structural failure, and moreover, deterioration of biocompatibility caused by excessive release of degradation products, thus posing a critical obstacle for clinical translation. Hence, the question which then arises is how we can better modulate and harness the degradation of Mg to exploit its full potential for compelling outcomes? Herein, to overcome the limitations of conventional anti-corrosion organic coatings, we present a biocompatible, self-assembly, ultrathin polymeric coating strategy, with tailored multiple anti-corrosion mechanisms to efficiently control Mg degradation while simultaneously bestowing desirable biofunctions, thus holding promise in promoting the application of Mg-based vascular stents.

Results: The emerging biodegradable metals have revolutionized the concept of biomaterials from merely permanent mechanical replacement devices towards biological solutions for temporary use with considerable efficacy. Magnesium (Mg) is prone to undergo electrochemical and chemical corrosions under aqueous environment in body. However, the

overfast, uncontrolled degradation presents an innate drawback that arouses concerns on the risk of early structural failure, and moreover, deterioration of biocompatibility caused by excessive release of degradation products, thus posing a critical obstacle for clinical translation. Hence, the question which then arises is how we can better modulate and harness the degradation of Mg to exploit its full potential for compelling outcomes? Herein, to overcome the limitations of conventional anti-corrosion organic coatings, we present a biocompatible, self-assembly, ultrathin polymeric coating strategy, with tailored multiple anti-corrosion mechanisms to efficiently control Mg degradation while simultaneously bestowing desirable biofunctions, thus holding promise in promoting the application of Mg-based vascular stents.

Conclusion: The emerging biodegradable metals have revolutionized the concept of biomaterials from merely permanent mechanical replacement devices towards biological solutions for temporary use with considerable efficacy. Magnesium (Mg) is prone to undergo electrochemical and chemical corrosions under aqueous environment in body. However, the overfast, uncontrolled degradation presents an innate drawback that arouses concerns on the risk of early structural failure, and moreover, deterioration of biocompatibility caused by excessive release of degradation products, thus posing a critical obstacle for clinical translation. Hence, the question which then arises is how we can better modulate and harness the degradation of Mg to exploit its full potential for compelling outcomes? Herein, to overcome the limitations of conventional anti-corrosion organic coatings, we present a biocompatible, self-assembly, ultrathin polymeric coating strategy, with tailored multiple anti-corrosion mechanisms to efficiently control Mg degradation while simultaneously bestowing desirable biofunctions, thus holding promise in promoting the application of Mg-based vascular stents.

Key Words: Mg, degradation, bioadaptability, ultrathin coating

ID 839

骨植入镁合金表面碳酸钙涂层的可控构筑与调控

李柚青、侯瑞青
郑州大学

目的：镁（Mg）及其合金具有良好的可降解性和生物相容性，作为可降解骨植入材料具有良好的临床应用前景。但是，其快速降解和严重的局部腐蚀阻碍其在临床上的广泛应用。表面涂层是提高镁合金抗腐蚀性能的最常用和有效的策略之一，如微弧氧化（PEO）涂层、有机涂层和磷酸盐转化涂层等。PEO涂层具有良好耐蚀性能，但生物活性普遍较低；蛋白质、壳聚糖等有机涂层可以提供良好的生物活性，但其防腐蚀能力不足，仍有待提升改进。除了磷钙盐以外，碳酸钙（CaCO3）也是有机生命体的一种生物矿物质，具有良好的生物相容性和生物降解性。CaCO3作为一种新型涂层材料具有良好的生物相容性和耐腐蚀性，且它的晶型可调控，但目前的研究中仍存在一些不足。本研究通过在CaCO3涂层的基础上掺入牛血清白蛋白（BSA），之后进一步对BSA加入后涂层的耐蚀性能以及生物相容性能进行探究。

方法：本研究通过在CaCO3涂层的基础上，在80℃的温度下水热反应2h获得CaCO3基有机无机杂化涂层。

结果：结果表明：一方面，BSA的加入解决了CaCO3涂层表层沉积层脱落可能会引发体内的炎症的问题；另一方面，BSA的加入调控了碳酸钙涂层中间层稳态方解石和亚稳态球霰石两种晶型含量，进一步调控了镁合金CaCO3涂层植入物的降解速率；此外，加入BSA后CaCO3基涂层与基体之间的结合力有所提高，生物相容性更好。

结论：综上所述，加入BSA后的CaCO3基复合涂层综合性能提高，达到了骨植入镁合金降解可控、骨愈合过程加速、帮助骨骼重塑的多重目的。

关键字：镁合金；碳酸钙；方解石；耐蚀性能

ID 865

金属生物可吸收支架领域研究方向

陈协辉[1]、倪会芳[1]、郑玉峰[2]
1. 深圳市龙华区中心医院
2. 北京大学材料科学与工程学院

目的：与由于机械性能不足而在临床试验中表现出次优性能的聚合物生物可吸收支架(BRS)相比，机械强度提高的金属BRS已经进入临床并且已经显示出意料之外的效果。在金属BRS的研究开发路线图中，镁基和铁基可生物降解金属支架已经在临床上得到应用，锌基可生物降解金属支架已经在小型猪身上得到应用。在这篇简短的综述论文中，我们展示了当前的技术水平，并指出了金属BRS未来的研发方向。镁基BRS应以减小结构厚度为目标，同时保持足够的支撑强度。铁基BRS应朝着高效吸收、转化、代谢、消除的方向发展。锌基BRS应努力提高机械稳定性、抗蠕变性和生物相容性。未来金属BRS的发展方向应朝着钼、集成可降解生物传感器的智能支架、具有NO释放等多种生物功能的新型支架等新材料方向发展。

永久性金属药物洗脱支架（DES）被成功设计用于扩大闭塞的冠状动脉腔和恢复血流，不幸的是，冠状动脉内永久存在金属装置使其易发生晚期支架血栓形成、再狭窄、新动脉粥样硬化和缺乏正常血管反应性。由于这些与永久性DES相关的并发症，完全生物可吸收支架（BRS）的临床研究和发展已经发生了重大转变。BRS是最有希望的新兴支架技术，旨在通过作为一种机械支架，使宿主动脉在100%完全吸收血管内之前进行重塑和愈合，从而减轻慢性支架血栓形成、恢复和炎症。

方法：本综述指出了金属BRS未来的研发方向。镁基BRS应以减小结构厚度为目标，同时保持足够的支撑强度。铁基BRS应朝着高效吸收、转化、代谢、消除的方向发展。锌基BRS应努力提高机械稳定性、抗蠕变性和生物相容性。

结果：未来金属BRS的发展方向应朝着钼、集成可降解生物传感器的智能支架、具有NO释放等多种生物功能的新型支架等新材料方向发展。

结论：未来金属BRS的发展方向应朝着钼、集成可降解生物传感器的智能支架、具有NO释放等多种生物功能的新型支架等新材料方向发展。

关键字：金属BRS 镁基BRS 锌基BRS 铁基BRS

ID 1153

西罗莫司洗脱铁基生物可吸收冠状动脉支架植入猪冠状动脉研究

高雅楠、邱洪
中国医学科学院阜外医院

目的：本研究旨在通过多种影像学技术评价西罗莫司洗脱铁基生物可吸收冠状动脉支架（sirolimus-eluting iron bioresorbable coronary scaffold，IBS）的长期有效性、安全性和生物相容性，并观察降解吸收过程中的管腔变化。

方法：90枚IBS和70枚依维莫司药物洗脱支架被随机植入80头健康小型猪，在术后6个月、1年、2年和5年进行随访。检查项目包括光学相干断层成像、显微计算机断层扫描（micro-computed tomography，Micro-CT）、组织病理学、实时荧光定量聚合酶链反应（polymerase chain reaction，PCR）等。

结果：随访期间两组均无支架内再狭窄发生，且随访6个月、1年、2年、5年时面积狭窄率无显著差异；IBS组面积

狭窄率在相邻随访时间点相似。5年随访时IBS组出现管腔正性重构，表现为随访5年的平均管腔面积较随访9个月时显著增加。关于IBS的降解吸收，支架杆在6个月时仍保持完整结构，Micro-CT测量的支架失重值为0%；1年时支架杆连接处出现明显的腐蚀征象，支架失重值为21.2±27.6%；5年随访时已经观察不到支架杆，支架失重值为93.2±6.6%，提示IBS几乎降解完全。组织病理学评估发现IBS的部分降解产物被巨噬细胞吞噬并以含铁血黄素的形式转移至外膜层并被周围组织吸收。IBS降解完全后血管恢复正常结构，无慢性炎症和组织坏死。此外，所有实验动物均无局部或全身毒性反应，主要脏器组织均无异常表现。实时荧光定量PCR的结果显示，IBS植入段血管和非支架植入段血管的铁蛋白表达水平无显著差异，提示IBS植入段血管的铁代谢处于正常水平。

结论：IBS具有良好的长期有效性、安全性和生物相容性，且随着IBS逐渐被降解吸收，管腔出现晚期正性重构。

关键字：生物可吸收支架；西罗莫司洗脱铁基生物可吸收冠状动脉支架；临床前研究；晚期管腔扩大；正性重构。

ID 1300

湿环境多种伤口快速愈合神器-人体组织力学特性适配的抗溶胀聚电解质水凝胶

李心怡、汪璟、计剑
浙江大学

目的：水凝胶组织粘合剂因其卓越的生物相容性和柔软的机械性在生物材料领域受到极大关注，这些特性推动了其在止血、伤口封闭、生物传感和柔性电子设备等方向的迅猛发展。市面上常见的组织粘合剂在临床手术中广泛用于减轻伤口暴露，改善手术疗效。然而，由于较弱的粘合强度，这些产品通常只用于辅助缝合。为了解决这一问题，众多研究转向增强粘合层材料的性能，主要通过增强水凝胶的整体耗散能力和在组织与水凝胶接口处的稳固相互作用。然而，当水凝胶暴露于不同的生理条件下，如pH变化、多价离子、蛋白质和酶等因素时，不受控的溶胀行为成为稳固粘附的重大挑战。这种溶胀可能会显著降低水凝胶的内在相互作用力，并在界面处产生应力，从而导致生物粘合剂的变形或脱落。由溶胀引起的不稳定粘附可能会引起不适、急性炎症，并增加临床治疗失败的严重风险，从而挑战基于水凝胶的组织粘合剂的长期可靠性。

方法：本研究设计并制备了聚乙烯亚胺-聚丙烯酸（PEI-PAA，简称PEA）双网络聚电解质水凝胶，通过一步紫外光引发聚合赋予水凝胶材料抗溶胀能力和可调节的机械性能。这种PEA水凝胶在静电相互作用和聚合物链缠结的驱动下，展现出独特的微相分离行为，从而在机械性能上具有广泛的可调性。

结果：PEA水凝胶模量从0.4 MPa变化到106 MPa，而韧性则从1479 kJ/m³增至7641 kJ/m³。此外，微相分离赋予PEA水凝胶在盐水、TBS缓冲液和血液中显著的抗溶胀特性，使其能够与多种潮湿组织保持稳定的粘附。本研究进一步证明，本研究的PEA水凝胶能够提供匹配的机械性能和持久的粘附力，在活体内有效促进皮肤伤口愈合，并有效阻止动脉破裂出血。

结论：本研究为基于水凝胶的生物粘合剂抗溶胀设计提供新思路，并为满足具有多样化机械需求的组织伤口提供了一种新的策略。

关键字：抗溶胀；聚电解质；微相分离；组织粘附

ID 1319

茶多酚智能药物洗脱涂层与精准给药血管支架

李欣[1]、王克兵[2]、周磊[2]、张露[3]、蔡琳[1]、刘汉雄[1]、赵元聪[3]、叙俊波[1]、张震[1]、刘昌奇[3]、王进[3]
1. 成都市第三人民医院
2. 成都工业学院智能终端产业学院，宜宾，644000
3. 西南交通大学医学院，成都，610031

目的：随着药物洗脱支架（DES）的发展，支架术后晚期并发症的仍然大大影响了其临床疗效，特别是远期疗效不理想。本文根据动脉粥样硬化病变血管支架植入的病理微环境中活性氧（ROS）水，在血管支架表面设计构筑了一系列响应性载药涂层。通过构建微环境响应性药物洗脱支架，实现可控智能的药物释放，为新型血管支架的研发提供研究基础和理论指导。

方法：本文以茶多酚、胱胺、硒代胱胺、他汀等为原料制备了三种具有ROS响智能载药涂层，并成功用于支架表面。

结果：首先以茶多酚表没食子儿茶素没食子酸酯（EGCG）与胱胺二盐酸盐交联涂层作为载体，以匹伐他汀钙作为药物制备ROS 响应性载药涂层（EGCG-Cys-Pi）并应用与血管支架，EGCG-Cys-Pi 涂层能够有效促进内皮化进程并降低支架内再狭窄发生的风险。同时采用的二硒键替换上述涂层中的二硫键，构建出以二硒键为响应核心的ROS 敏感涂层（EGCG-SeCys-Pi）。EGCG-SeCys-Pi涂层相对EGCG-Cys-Pi 涂层具有更好的ROS 响应能力，具有较好的促内皮、抑制平滑肌的能力，并在氧化环境中保持着这种趋势。动物实验证明了EGCG-SeCys-Pi在服役时具有促进内皮化进程和抑制支架内再狭窄的潜力。

结论：本文基于对血管支架晚期并发症的影响因素的分析，提出了发展新型的动脉粥样硬化病理微环境RO响应性药物洗脱支架，实现了对血管支架涂层药物释放的主动调控，此策略为新型血管支架的设计和研发提供了理论基础。

关键字：智能给药；血管支架；动脉粥样硬化；ROS响应

ID 1392

医用镁合金表面硅酸根插层的层状双氢氧化物自修复涂层的制备及性能研究

武宁清、李健、金卫红、于振涛
暨南大学

目的：镁合金由于其生物相容性和生物降解特性，被认为是制造生物可降解医疗器械的理想选择，尤其是应用于血管支架。然而，其在体内过快的降解速度是目前限制其广泛应用的关键因素。过快的降解可能导致血管支架在其完成生理功能之前失效，从而影响治疗效果和患者的长期健康。本研究通过水热法和阴离子交换法在阳极氧化AZ31B镁合金上制备了硅酸根插层的镁铝层状双氢氧化物涂层（LDH-SiO3），以减缓降解并同时增强生物相容性。

方法：通过扫描电子显微镜观察样品的表面和横截面形态，并通过能量色散X射线光谱法（EDS）确定化学成分。通过X射线衍射（XRD）对相进行分析和傅里叶变换红外光谱（FTIR）分析涂层中的官能团，通过电化学测试和浸泡实验测试其降解性能。

结果：LDH-SiO3涂层微观形貌呈纳米片状，具有致密的内层和多孔的外层组成的双层结构，并且与阳极氧化后的镁合金牢固结合。电化学测试表明，LDH-SiO3涂层将镁合金基体在模拟体液中的腐蚀电流密度降低了266倍至0.8±0.1 μA

cm⊠2。在模拟体液中浸泡360 h后的的结果表明，镁离子和氢气的释放以及pH值变化得到抑制，说明LDH-SiO3涂层能有效延缓镁合金基体的过快降解，LDH-SiO3涂层在镁合金基体发生局部腐蚀后具有显著的长期防护能力。

结论：在腐蚀的初始阶段，致密的LDH-SiO3内层可以作为屏障，阻止腐蚀溶液的渗透，但在长期浸泡过程中，腐蚀不可避免地会发生。局部腐蚀区域被由LDH-SiO3涂层中释放的硅酸根和从镁合金表面释放的镁离子形成的硅酸镁沉淀物封闭。此外，由于与硅酸根交换，氯离子被LDH涂层捕获，从而增加了氯离子到达基体所需的时间，并且内层LDH涂层也有助于长期保护。

关键字：镁合金；涂层；自愈合；降解

ID 1476

膝下可降解支架的临床意义

王瑞罡
郑州美港高科生物科技有限公司

目的：膝下血管狭窄在临床上也叫CLTI（慢性肢体缺血）也称为 CLI（严重肢体缺血），是一种更为严重的外周动脉疾病 (PAD)，死亡率、发病率高，会使肢体血流和微循环功能严重受损。根据临床统计数据显示CLTI患者6个月内截肢率高达40%; 其中接近50%的大截肢发生时未进行事先诊断评估; 25%的CLTI患者会在1年内死亡; 60%的患者在5年内死亡。

当前的治疗方式：一种是外科手术但创伤大预后效果也不是非常理想; 另外一种就是目前的微创介入手术，BTK疾病的腔内治疗方法包括普通球囊血管成形术（POBA）、DCB（药物涂层球囊）、DES（药物洗脱支架）、减容等，但是都存在一定的局限性，只是从原来的基础上大大改善患者生存生活质量，都无法从根本是重塑重建修复血管。

方法：手术安全性更高：相对冠脉血管和颅内血管，膝下血管主要多发病变在胫前动脉、胫前动脉、腘动脉、膝下外侧和膝下内侧动脉等部位，这些血管和相对冠脉血管和颅内血管不是很迂曲。手术输送路径相对简单：不需要很复杂手术器械即可完成手术治疗，安全性相对于冠脉和颅内血管更高。受胫骨的正面保护血管收到直接压迫较小更适合支架治疗，彻底解决临床手术痛点。

结果：经过不断的实验和优化，目前已经稳定制备出外周可降解膝下镁合金管材，经过一系列工艺处理，管材厚度可以控制在100--140μm之间，根据需要可以调整支架厚度，支架经测试具备优良的径向支撑力，裸支架在大动物体内能持续抵抗2-3个月的腐蚀降解，具有防腐涂层的支架可在一个月内完成内皮化，3个月支架无降解，6个月仍然保持畅通，且仍然保持有效支撑，OCT显示支架内皮化良好。

结论：外周介入器械陆续快速上市使得临床手术有了更多的选择路径，随着可降解材料的日益成熟，膝下可降解支架将迎来相对快速地发展时期，期待能够早日造福患者，让可降解材料发挥科技力量造福社会。

关键字：可降解、膝下支架、临床应用

ID 1665

一种新型可降解薄壁高强度锌基支架

石佳慧[1]、杨宏韬[2]、郑玉峰[1]
1. 北京大学
2. 北京航空航天大学

目的：缺血性心脏病是全球死亡率最高的疾病，最常用的治疗手段就是冠状动脉支架置入术。传统的治疗方法大多使用药物洗脱支架，但金属异物永久存在于动脉中可能会导致血管炎症、晚期支架血栓形成等风险。因此近年来可降解支架逐渐受到人们关注。

方法：（1）基于课题组前期工作，在Zn-Li合金体系上进一步开发Zn-Li-Mn合金体系，设计出9种不同配比的成分点，并进行组织学、腐蚀学、力学和生物相容性测试。

（2）选择综合性能最优的成分点Zn-0.8Li-0.1Mn，利用有限元模拟设计出合适的支架构型，并进行兔腹主动脉动物模型植入，对照组选用微创CoCr药物洗脱支架。

（3）分别在1个月、3个月和6个月进行取材，通过造影、Micro-CT、SEM、EDS、XRF、HE染色、免疫荧光染色等手段，对支架的内皮化效果、支架的降解速率、管腔内再狭窄程度等关键指标进行评估。

结果：体外结果表明，挤压态Zn-0.8Li-0.1Mn合金抗拉强度达到550MPa，断裂延伸率为67%，综合力学性能优异。具有合适的降解速率且均匀性良好。Zn-0.8Li-0.1Mn对内皮细胞的增殖、粘附和迁移都具有一定的促进作用，对平滑肌细胞则相反。支架的径向回弹、轴向短缩等均符合产品标准。

体内结果表明，支架在一个月时已完全内皮化。支架在6个月时已经出现明显的降解。支架1个月、3个月和6个月时均无明显增生，管腔损失率低于临床50%的标准。新生胶原和弹力纤维状态良好，未见明显的炎症反应。

结论：本研究开发了一款新型冠脉支架，同时兼具可降解、薄壁和高强度的三大优势（1）支架成分为Zn-0.8Li-0.1Mn（wt%），全部为人体必需元素或功能性元素，可在人体内实现完全降解，不遗留任何腐蚀产物（2）支架壁厚仅为80um，有助于快速内皮化、减少再狭窄和血栓形成（3）径向支撑强度达到154Kpa，超过已报道的所有锌基冠脉支架，可与临床上常用的CoCr药物洗脱支架的强度相媲美

关键字：锌基支架、可降解、薄壁、高强度

ID 1947

医用镁合金微管加工研究

张亚博
郑州美港高科生物科技有限公司

目的：血管支架历经“金属裸支架---药物洗脱支架---生物可吸收/可降解药物洗脱支架”的发展，不可降解支架的发展已经进入瓶颈期，可降解支架呼之欲出，不仅能够实现力学支撑与血管组织修复过程的良好匹配，还能随着病变部位的修复被逐渐降解吸收，完成血管组织的原位再生。

可降解金属血管支架，材料主要铁基合金、锌基合金、镁基合金等。镁合金支架相较于不可降解支架具有可降解性、无慢性炎症、血栓发生率和再狭窄率低的优势；比可降解聚合物支架的支撑力强、急性回弹率低；并无铁基合金支架的磁性，对临床检测影响低；比锌基合金支架的综合力学性能优良、稳定性好。

方法：镁及镁合金塑性变形能力差，普遍采用热挤压制备镁合金管坯。针对镁合金管坯主要采用轧制和拉拔两种加工方式，但镁合金对于拉应力敏感度高，冷变形时易发生脆断，选择合适的退火温度和变形量是制备镁合金微管关键一步。

采用大塑性变形来细化镁合金坯料的晶粒，获得微管组织均匀细小的镁合金棒材；采用较大挤压比获得晶粒均匀细小的镁合金管坯，稳定其挤压工艺，例如挤压力、挤压速度、挤压温度等参数；将获得的镁合金管坯进行冷轧工序，轧制至外径3.2--3.5mm、壁厚0.16mm；为获得更加适用于临床的薄壁镁合金支架，采用冷拉拔的方式进行减壁至0.15mm以下，匹配稳定拉拔工艺及退火工艺。

结果：利用热挤压、冷轧和多道次拉拔制备2.5-3.5mm、壁厚0.15mm以下 的镁合金微管，抗拉强度高达　318 MPa，延伸率为21%，壁厚均匀度小于4%、尺寸精度小于0.01mm、直线度小于0.03mm/m,满足临床用的镁合金微管需求。

结论：热挤压+轧制+拉拔能够稳定有效的制备精细管材，壁厚最小可达到110--130μm，同时还可以提高壁厚均匀度，实现管材的整体均一。

关键字：镁合金、微管加工、可降解、血管支架

ID 2457

具有抗凝、促内皮、抗增生功能的生物活性界面构筑研究

范永鸿[1]、裴娟[1,2]、孙红玉[1,2]、翁亚军[2]、朱楚洪[3]

1. 中国人民解放军西部战区总医院，成都，610083

2. 西南交通大学医学院，成都，610031

3. 中国人民解放军陆军军医大学人体解剖学教研室，重庆，400038

目的：随着人口老龄化的加剧和各种不健康的生活方式日益流行，心血管疾病发病率呈逐年上升的趋势。血管支架和小口径血管移植物在治疗心血管疾病上应用前景广阔，但用于制备这些器械的血液接触材料在体内植入后往往还存在血栓形成和内膜增生的问题，导致其移植失效。如何构筑具有抗凝血、促进快速内皮化和能够抑制内膜增生的多功能生物活性界面是解决上述问题的关键。本研究通过仿生构筑具有抗凝、促内皮、抗增生功能的生物活性界面，提高血管支架和小口径血管移植物的长期通畅性。

方法：利用生物材料表面改性技术手段，通过仿生天然免疫逃逸或气体信号分子NO和CO释放对生理过程的调控机制、模拟干细胞归巢修复受损内皮的特性等，构建了一系列具有抗凝、促内皮、抗增生功能的生物活性界面。通过体外抗凝血实验、细胞实验、动物体内移植实验等对该多功能生物活性界面的生物学功能进行了评价，验证了其有效性。

结果：具有多功能生物活性界面的血管支架或小口径血管移植物不仅具有良好的抗血栓形成能力，还能够通过促进内皮细胞迁移和增殖或是在体内快速捕获内皮祖细胞的方式加速内皮化。此外，这些多功能生物活性界面还能抑制平滑肌细胞增生，并通过调控移植部位的炎症病理微环境而维持新生内皮功能，防止血管内膜病理性重塑导致管腔狭窄。

结论：通过在血管支架或小口径血管移植物表面构筑多功能生物活性界面，能够有效提高抗凝血性能并可在移植后快速形成功能性内皮层，从而防止血管狭窄，有效提高其移植后的通畅性。

关键字：表面改性；血管支架；小口径血管移植物；内膜增生

ID 2477

水合状态与透析相关性头痛：单中心回顾性分析

于洋[1]、熊于勤[1,2]
1. 四川大学华西医院
2. 四川大学华西第四医院

目的：头痛是维持性血液透析（maintenance hemodialysis, MHD）患者最常见的神经系统并发症。目前血液透析相关性头痛（hemodialysis-related headache, HRH）的病因和机制尚未阐明。本研究旨在阐明从透析期生化指标、血压及容量变化等方面探讨HRH的致病因素。

方法：前瞻性纳入 2022 年 11 月至2023 年 4 月于本透析中心接受MHD治疗≥3月的成年门诊患者。通过电子病例系统收集人口学信息及临床资料。记录每例患者连续12次血透治疗的透析0、1、2、3、4小时的脉搏、血压、指脉氧饱和度等生命体征指标。记录HRH组的头痛性质，并于头痛发作期间完善血气分析检查及人体成分分析，计算透析期（每小时）和透析间期（每透析日）生命体征指标的最大和最小差值、平均实际变异（average real variability, ARV）、广义模型推导的残差3个变异性指标，采用多变量Logistic回归分析探索HRH的危险因素。

结果：研究共纳入92例中国MHD患者，平均年龄59.3 ± 17.5岁，在1104次透析监测中，12例 （13%） 患者在42次透析期间出现头痛，其中8例（8.7%）符合HRH诊断。该8例患者头痛于透析开始100.3 ± 69.5分钟发作；疼痛为双侧性，位于颞部（4例）、顶部（3例）、枕部（3例）和额部（2例）；性质为钝痛（6例）、搏动性痛（1例）或刺痛（1例），其中1例伴呕吐；透析中头痛的持续时间为98.8 ± 68.1 分钟，总头痛持续时间为120 （65 ~ 217.5）分钟，疼痛VAS评分4.3 ± 1分。透析中低血钠、收缩期血压变异性增高、高浮肿指数是HRH的独立危险因素，年龄是HRH的保护因素。

结论：透析中血钠水平、血压变异性及水合状态对HRH的发展有显著影响。

关键字：维持性血液透析；透析性头痛；血压变异性；血钠；人体成分分析

ID 2917

可降解镁合金气管支架在兔气管狭窄模型中初步应用研究

李宗明[1]、王利国[2]、张全会[1]、李亚华[1]、任克伟[1]、韩新巍[1]
1. 郑州大学第一附属医院
2. 郑州大学

目的：探讨可降解镁合金气管支架制备及其在气管狭窄动物模型中应用的安全性及可行性。

方法：采用气管软骨环间横行切开气管， 并用毛刷环形破坏气管黏膜方法制备兔气管狭窄模型 30 例。镁锌钇钕（Mg-Zn-Y-Nd）合金经热挤压和冷拉拔工艺制备出直径 0.24 mm 和 0.28 mm 两种丝材，通过单丝一体化整体编织技术将两种合金丝编织成 8 mm×20 mm 气管裸支架各 15 枚， 并检测其物理性能。 透视下将两种支架分别植入气管狭窄模型兔气管内，并于术后 3、7、15、30、60 d 各处死两种支架 3 只兔， 评价支架金属丝断裂、支架压缩、支架降解及气管黏膜肉芽组织增生情况。

结果：两种镁合金支架支撑力 均略大于镍钛（Ni-Ti）合金支架，丝材直径 0.28 mm 支架支撑力大于直径 0.24 mm 支架；丝材直径 0.24 mm、0.28 mm 支架平均扩张率分别为 76.46%、84.66%；镁合金支架完全自膨性能略低于 Ni-Ti 合金 支架。 术后 3 d 支架结构完整，无坍塌；术后 7 d 支架结构基本完整，有部分丝材断裂，未见组织增生；术 后 15 d 支架基本坍塌，大部分丝材断裂，未见组织增生；术后 30 d 支架完全降解，气管内壁光滑，未见组 织增生；术后 60 d 气管内壁

光滑，未见组织增生。

结论：镁合金支架径向支撑力稍差于 Ni-Ti 合金支架， 金属丝易断裂，但生物相容性良好，可降低肉芽组织增生。

关键字：生物降解； 镁合金; 气管支架； 动物模型

ID 3003

Idarubicin-loaded Equalspheres: In Vitro Loading, Release Profiles and Application in Rabbit Liver Tumor Model

Yahua Li,zongming Li,Kewei Ren,xinwei Han
the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University

Objective: Primary liver cancer is the sixth most common malignancy in the world, with a mortality rate ranking third globally[1]. Among them, hepatocellular carcinoma (HCC) accounts for about 90%. Due to the asymptomatic nature of early hepatocellular carcinoma, patients are usually diagnosed with the advanced stage of the disease at the time of diagnosis and have lost the opportunity for surgical resection. Transarterial chemoembolization (TACE) is the first choice for patients with advanced stage HCC, which helps shrink or eradicate tumors by targeting them and blocking their blood flow and delivering chemotherapy directly to the tumor.

Compared with iodinated oil, drug-eluting beads have long-term embolization effects and sustained drug-release functions, which can improve the local drug concentration and reduce the concentration of drugs in other parts of the body, thereby reducing the systemic toxicity and adverse reactions of drugs. However, the current calibration drug-eluting beads are constituted with a more heterogeneous distribution, which could be problematic as larger beads could occlude vessels proximally and prevent the distal delivery of the smaller beads[2]. While, the uniform small beads can easily penetrate the vascular bed and achieve the embolization of deep and distant microvessels in the tumor, making the embolization more complete.

Idarubicin (IDA) is an anthracycline-class cell cycle-non-specific antineoplastic drug that can inhibit DNA synthesis, interfere with RNA polymerase, and inhibit topoisomerase II. It has high lipophilicity and a long biological half-life, making it easy to enter cells and exert antitumor effects. Its anti-tumor activity against hepatocellular carcinoma cells is stronger. In a study of screening anticancer drugs for chemoembolization of hepatocellular carcinoma. Among 11 chemotherapeutic agents including doxorubicin, cisplatin, and epirubicin, the most effective on SNU-398, HepG2, and SNU-449 human HCC cell lines was idarubicin[3]. A prospective single-arm phase II study demonstrated that Idarubicin-eluting beads showed a good safety profile and promising objective response rate and time to progression when used as part of a transarterial chemoembolization regimen for unresectable hepatocellular carcinoma[4].

With the development of drug-eluting beads, equalspheres (ES), a uniform drug-eluting beads with different diameters has emerged as a new choice for TACE. However, the data of ES loaded IDA is lacking. This study aims to explore the in vitro drug loading and release profiles of ES loaded IDA and its application in rabbit liver VX_2 tumor model.

Methods: The ES with sizes of 70μm and 100μm were divided into three groups according to different IDA and ES ratios and different IDA concentrations for the drug loading experiment. The optimal concentration group was selected for the drug release experiment. The diameter and Zeta potential of the ES was measured, and the shrinkage rate was calculated. The rabbit liver VX_2 tumor model was divided into control group and IDA-TACE group. The HE, and IHC staining data were compared and analyzed.

Results: Both the 70 and 100μm ES with IDA loaded exceed 20%. Both 70μm and 100μm ES can rapidly load IDA, and ES's loading efficiency with 10mg/ml IDA is higher than that with 5mg/ml. The encapsulation rate of 70μm ES with IDA concentrations of 10mg/ml and 5mg/ml after 5 minutes of drug administration were (90.75±3.57)% and (83.97±2.34)%, respectively. The encapsulation rates of 100μm ES with IDA concentrations of 10mg/ml and 5mg/ml after 5 minutes of drug adminis-

tration were (93.66±2.19)% and (89.92±1.52)%, respectively. The 1h and 24h release rates of 70μm ES were (62.64±1.88)% and (88.77±7.27)%, respectively. The 1h and 24h release rates of 100μm ES were (80.74±4.90)% and (96.42±9.48)%, respectively. The 70μm ES was choose to perform IDA-TACE, Pathological results suggested that the expression of PCNA in the tumor after embolization was significantly downregulated, while the expression of VEGF, CD31, and HIF-1 was increased after embolization in 1w and significantly decreased in 2w.

Conclusion: In conclusion, this study demonstrated that ES can rapidly load IDA, and achieve sustained IDA release. The shrinkage of ES needs to be a concern in clinical applications. The IDA-TACE is an effective procedure for achieving hepatic tumor locoregional treatment.

Key Words: Equalspheres; idarubicin; TACE; liver VX2 tumor

ID 3057

基于负压调控的冷冻治疗控制系统研究

曹博、邹金成、赵诗庆、张爱丽
上海交通大学

目的：冷冻消融是一种通过超低温条件来破坏病灶区域的微创技术。病灶组织的治疗情况同该区域的温度分布密切相关，快速的降温及精准的控温对于冷冻消融极为关键。节流制冷与高压液氮制冷等策略难以实时调控气体压力进行准确控温，高压气体材料昂贵且存在安全风险。因此，本研究目的在于实现安全常压下液氮制冷的精准控温。

方法：基于冷冻探针设计，建立了微通道中的二维非定常两相流和沸腾传热模型。通过数值计算，对比常规冷冻调控方法验证了PWM信号控制的负压调控策略的有效性。设计了包括换热制冷探头，液氮传输通道，负压调控单元，采集控制单元在内的冷冻治疗系统。通过温度信号采集和控制单元调节常压液氮流通管路中的负压强度，促使液氮沿管路进入制冷探头进行换热制冷。在体外和在体生物组织中验证了冷冻治疗的安全性、高效性和精准性。

结果：1. 相较于常规的低温制冷策略引起的±10℃误差，数值计算结果显示本研究方案平均误差±2℃。

2. 实验装置建立后仅包含小型常压液氮瓶，冷冻探针及控制电路等设备，小型化一起系统简洁且高效，可在常压下实现多次冷冻消融及温度控制。

3. PWM信号控制的负压调控策略能够实现常压液氮制冷，具备良好安全性；单次制冷液氮使用量极低，具有高效制冷效果；控温误差同仿真结论一致，精准可控。

结论：研究设计了一种负压调控式冷冻治疗系统及控制方法，创造性地提出了利用管路负压实现常压液氮的相变换热。在精准的低温控制（±2℃）下，充分提高了液氮的利用率和制冷的有效性。

关键字：冷冻治疗，液氮制冷，负压调控，PWM控制

ID 3501

血管支架材料表面具有NO催化释放功能的聚氨酯材料研究

李培闯
齐鲁工业大学（山东省科学院）

目的：心血管疾病是当前威胁人类生命安全的头号杀手。为此，人们通过药物、介入治疗等方式进行疾病干预和治疗。然而，在部分疾病的实际治疗过程中，如冠状动脉粥样硬化的支架植入治疗常常需要应对凝血、炎症、增生等问题。当前主流的药物洗脱支架在药物释放过程中有效抑制了内膜增生，但支架表面载药涂层自身缺乏功能性，会面临治疗过程中生物相容性不足等问题。为此，有必要对支架表面涂层进行必要的功能改性。本工作通过对聚氨酯进行分子结构设计，在制得具有模仿血液中谷胱甘肽过氧化物酶（GPx）功能的聚氨酯材料后，对血管支架材料进行表面改性，并对其进行相关的功能评价，以期为血管支架表面改性提供新的策略。

方法：一氧化氮（NO）作为血管舒张的重要调节分子，有效维持了血管功能的稳定。因此，若血管支架表面结合NO的多重功能，将大大提高血管支架的治疗效果。基于此，本研究以聚氨酯材料为基础，在聚氨酯分子结构中引入二硒键或固定铜离子，所得材料具有类似于GPx的作用。在对所得材料进行材料学检测后，通过NO催化释放速率检测、血液相容性评价、抗菌性等功能评价，分析所得材料的应用可行性和应用前景。

结果：所得聚氨酯涂层的NO催化速率可达到健康正常内皮细胞水平，且表现出良好的血液相容性，可显著抑制血液细胞黏附和凝血的发生。所得聚氨酯涂层相比与对照样品，显示出细胞选择性，内皮细胞生长良好，而平滑肌细胞的增殖受到了明显的抑制。此外，改性样品在动物实验中表现出良好的组织相容性、抗凝血、抗增生等多重效果。

结论：本研究成功制备了具有NO催化释放功能的聚氨酯材料，该材料具有类似于GPx的功能，可以持续可控地催化NO的释放。相关功能化评价结果表明，本研究所得聚氨酯材料具有优异的血管环境相容性，显示出可用于血管疾病治疗的巨大潜力。

致谢：本工作得到了山东省自然科学基金（ZR2022QE169）和山东省科技型中小企业创新能力提升工程（2023TSGC0075）的支持。

关键字：聚氨酯；谷胱甘肽过氧化物酶；一氧化氮；抗凝血；抗增生

ID 3890

The Pro-Inflammatory Functions of Type 1 CD8+ T Cells and Interleukin-17-Producing CD8+ T Cells Are Exhausted by Cholesterol in Atherosclerosis

Fen Huang
Tongji Hospital

Objective: Atherosclerosis features an imbalance of lipid metabolism and pathological inflammation in the endothelial lining of arteries. The formation of atherosclerotic lesions is mediated by the responses of endothelial cells and immune cells to lipid accumulation in the arterial wall. Low-density lipoprotein (LDL) cholesterol, especially its oxidized form, is one of the major forms of accumulated lipids in the arterial wall. In the pathological process of atherosclerosis, blood-derived monocytes, CD4+ T cells, CD8+ T cells, and other immune cells are attracted to and settle in the subendothelial space of the arterial wall. Monocytes differentiate into macrophages to internalize lipids and lipoproteins and subsequently provoke

the inflammatory reaction. T cells take part in subendothelial inflammation and play different roles depending on their subset identities. CD4+ T helper 1 cells secret interferon-gamma (IFN-γ) and T helper 17 cells produce interleukin-17 (IL-17) to exacerbate the subendothelial inflammation and aggravate atherosclerosis, while CD4+ regulatory T cells suppress the subendothelial inflammation by expressing anti-inflammatory mediators . To prevent and treat atherosclerosis, it is essential to elucidate the roles of each subendothelial immune cell population in atherosclerotic lesions.

The role of CD8+ T cells in the physiopathology of atherosclerosis remains incompletely understood. Cumulative evidence suggests that similar to CD4+ T cells, CD8+ T cells can differentiate into subsets under the instruction of various stimuli. Upon activation and educated by interleukin-2 (IL-2) and interleukin-12 (IL-12), CD8+ T cells are polarized towards Tc1 (i.e. cytotoxic T lymphocytes) phenotype featuring the expression of transcription factor T-box-containing protein expressed in T cells (T-bet), IFN-γ, tumor necrosis factor-alpha (TNF-α), and cytotoxic mediators. Therefore, Tc1 cells are functionally pro-inflammatory and cytotoxic. Besides, instructed by interleukin-6 (IL-6), interleukin-21 (IL-21), and transforming growth factor- beta (TGF-β), activated CD8+ T cells differentiate into Tc17 cells characterized by the expression of the transcription factors RAR-related orphan nuclear receptor γt (RORγt), interleukin-7 (IL-17), IL-21, interleukin-22 (IL-22), and other inflammatory cytokines. In this regard, Tc17 cells take part in protective or destructive inflammation in distinct conditions. Particularly, the contribution of Tc17 cells to pathological inflammation has been reported in multiple autoimmune and inflammatory disorders. However, the significance of Tc17 cells to atherosclerosis and their regulatory mechanisms in atherosclerotic lesions are largely unexplored. Recent research shows the accumulation of RORγt-expressing CD8+ Tc17 cells in aortic atherosclerotic lesions from apolipoprotein E-deficient mice. However, these Tc17 cells seem to produce limited IL-17 and have no impact on early atherosclerosis development. Therefore, the exact role of Tc17 cells in atherosclerosis demands elaborate studies.

In this study, we characterized the existence, phenotype, and function of CD8+ Tc1 and Tc17 cells in atherosclerotic mice. We found that these cells, especially Tc17 cells, were phenotypically and functionally exhausted, probably due to cholesterol-induced exhaustion.

To characterize the existence and functions of type 1 CD8+ T (Tc1) cells and interleukin (IL)-17-producing CD8+ T (Tc17) cells in atherosclerotic plaques.

Methods: Atherosclerosis was induced in Apolipoprotein E-deficient mice. Flow cytometry was used to identify and enrich aortic CD8+ T cell subsets, followed by in vitro culture to assess their pro-inflammatory activities. The cholesterol content was quantified in CD8+ T cell subsets.

Results: Tc1 cells and Tc17 cells were present in the aortas of atherosclerosis-bearing mice. Aortic CD8+ T cells showed a weaker pro-inflammatory activity compared to their counterparts in the spleen, as indicated by lower production of pathogenic cytokines ($p<0.01$). Surprisingly, aortic CD8+ T cells had little expression of IL-17 and IL-21, despite the accumulation of aortic Tc17 cells. Aortic Tc1 and Tc17 cells expressed high levels of 2B4 and programmed cell death protein 1 (PD-1). Furthermore, aortic Tc1 and Tc17 cells had higher cholesterol levels than splenic CD8+ T cells ($p<0.05$, respectively). Treatment with cholesterol reduced IFN-γ expression in Tc1 cells ($p<0.001$) and decreased IL-17 expression in Tc17 cells ($p<0.001$). Moreover, cholesterol increased the expreesion of 2B4 and PD-1 on either Tc1 ($p<0.001$) or Tc17 cells ($p<0.001$).

Conclusion: Exhausted aortic CD8+ T cells including aortic Tc17 cells, accumulate in atherosclerosis, possibly due to the effect of cholesterol.

Key Words: CD8+ T interleukin (IL)-17 atherosclerosis

ID 3937

小口径人工血管的替代性内膜构建

王子豪、王江林
华中科技大学生命科学与技术学院

目的：缺乏内皮化是造成小口径人工血管植入失败的重要原因之一。针对这一问题，基于代谢糖工程，制备叠氮基修饰的内皮细胞膜（ECVs-N3），并通过点击化学，构建小口径人工血管替代性内膜，实现小口径人工血管的远期通畅。

方法：兔ECs在含有10 μM Ac4ManNAz培养液中，培养48小时；消化收集细胞，并利用低渗缓冲液进行低渗处理；超声处理后，离心收集ECVs-N3并保存于4°C；制备15% (w/v)聚己内酯静电纺丝溶液，通过静电纺丝制备聚己内酯血管移植物。经过氨基修饰，DBCO基团修饰和点击反应得到工程化内皮细胞膜囊泡修饰的小口径人工血管（ECVG）。

结果：我们采用代谢糖工程和点击化学策略，使ECVs-N3稳定地移植到血管移植物上，得到工程化内皮细胞膜囊泡修饰的小口径人工血管（ECVG）。我们发现，ECVs-N3含有多种膜蛋白，在抑制血小板粘附、激活和抗炎方面具有与内皮细胞相似的功能。兔颈动脉血管置换的体内评价证实，工程化内皮细胞膜囊泡修饰的小口径人工血管，通畅率高，具有抗炎，抗钙化的能力。

结论：由工程化内皮细胞囊泡(ECVs-N3)生成的高度仿生血管内膜，通过携带膜蛋白等，在促进内皮细胞的粘附和迁移、抑制血小板的粘附和活化等方面发挥关键作用。这种基于代谢糖工程和点击化学的仿生涂层为血管移植物的定制化内皮构建提供一种有效的方法。ECVG在兔颈动脉模型血管置换实验中显著促进内皮化并增强长期通畅性。单细胞转录组分析进一步证实了ECV-N3在植入后的血管重构过程中，在内皮细胞迁移、分化、血管生成和抗炎过程中的重要作用。因此，基于ECVs-N3的定制内皮化为改善血管重构提供了一种类似活体内皮细胞功能的新途径，并在其他损伤组织重构中具有广泛的应用潜力。

关键字：小口径人工血管，定制内皮化，内皮细胞膜囊泡，点击化学，血管重塑

S18
血液疗法与工程新进展

ID 270

量子智能血液激活技术在大健康领域的临床应用与展望

彭罗民[1]、陈一文[1]、程玉云[2]
1. 深圳华夏鸿达润芝宝专科门诊
2. 四川省保健科技学会

目的：报告阐述大健康领域应用量子血液激活（UBIO）技术的国内外简史，国内慢性病和亚健康状况的趋势，量子血液激活微循环障碍疗法的原理，量子血液激活微循环障碍疗法的临床方法，量子血液激活微循环障碍疗法的临床应用，血浆去脂疗法，输液式量子血液激活微循环障碍疗法创新设计与临床使用及智能血液激活装置的研发与展望。

方法：描述量子血液激活（UBIO）在国内、外被认定的223历史，国内的进展现状，慢性病的增长势头，亚健康人群的年龄分布。简述量子血液激活微循环障碍疗法的原理，描述量子血液激活微循环障碍疗法的方法，量子血液激活微循环障碍疗法在亚健康人群、脑缺血、缺氧人群（脑梗塞）、心肌缺血、缺氧人群（冠心病、心绞痛）、病毒感染性疾病人群、代谢性疾病人群的临床应用案例；简述了血脂去除疗法；对输液式量子血液激活装置临床应用18例99例次情况进行了描述；简述了智能血液激活装置发明专利实审技术。

结果：量子智能血液激活技术以智能血液激活装置的形式已开发出产品样机；输液式量子血液激活装置及临床使用方法经临床18例99例次应用，临床应用安全、有效、可靠。在大健康领域因血液微循环障碍导致的亚健康状态，脑缺血缺氧（脑梗塞），缺血缺氧（冠心病、心绞痛）、病毒感染性疾病，代谢性疾病均可用上述技术进行预防、治疗抢救、康复。输液式量子血液激活装置和技术经临床实用，可适用于针对上述病症的各种临床需求。

结论：量子智能血液激活技术和装置是值得大力发展的临床实用技术和装置。输液式量子血液激活装置设计巧妙，应用方便，适合对亚健康人群；心、脑血管缺血、缺氧疾病；病毒感染性疾病；代谢紊乱性病症应用。对亚健康人群保健美容；心、脑血管缺血、缺氧性疾病人群进行预防治疗抢救康复；对病毒感染性疾病预防、治疗；对代谢性疾病进行调理、预防、治疗，都有实质性帮助。

关键字：智能血液激活　大健康领域　输液式血液激活　微循环障碍　UBIO

ID 874

血液灌流吸附材料血液相容性的研究进展

邓丽
高州市人民医院

目的：本文旨在全面综述血液灌流技术中吸附材料的血液相容性研究进展，探讨现有材料（如活性炭、硅基材料、

树脂等）及新型复合材料的血液相容性特点，并评估其在血液净化中的临床应用潜力。通过深入分析不同材料的表面改性技术和生物相容性优化策略，为吸附材料的未来发展提供科学依据和方向指导。

方法：本文采用文献综述的方法，系统梳理了近年来国内外关于血液灌流吸附材料血液相容性的研究进展。首先，介绍了血液灌流技术的基本原理和吸附材料在其中的关键作用。随后，详细分析了活性炭、硅基材料、树脂、分子印迹聚合物、混合基质膜以及新型复合吸附材料（如MXenes、MOFs、多糖类吸附剂等）的血液相容性特点及其表面改性技术。重点探讨了这些材料在提升血液相容性方面的研究进展，包括表面涂层、化学修饰、纳米技术等多种方法。同时，本文还总结了当前研究在材料选择、制备工艺、性能评估等方面的主要成果和存在的问题。

结果：研究结果表明，通过合理的表面改性技术和新材料开发，血液灌流吸附材料的血液相容性得到了显著提升。活性炭作为传统吸附材料，通过白蛋白-胶体包被、纤维素硝酸酯和醋酸纤维素涂层以及水凝胶和肝素涂层等技术，有效改善了其血液相容性。硅基材料、树脂及新型复合材料在血液净化中展现出广阔的应用前景，尤其是通过表面修饰和复合技术，这些材料在提升吸附性能的同时，也显著提高了血液相容性。分子印迹聚合物和混合基质膜材料因其独特的结构和功能特性，在选择性吸附和一体化血液净化方面具有独特优势。

结论：尽管当前吸附材料在血液相容性方面已取得显著进展，但仍需进一步深入研究和优化。未来研究应继续探索新型材料及其表面改性技术，以开发出更高效、更安全的血液灌流吸附材料。同时，加强跨学科合作和临床试验研究，推动吸附材料在血液净化领域的广泛应用和普及，为提高重症患者的治疗效果和生活质量做出更大贡献。

关键字：血液灌流、吸附剂材料、血液相容性、研究进展

ID 887

一种新型血液治疗病毒感染性疾病的管路设计

马印图、张怡
中国人民解放军联勤保障部队第九八〇医院

目的：我们在现有血浆单采机管路的基础上进行了改进，研制一种与血浆采集机配套使用的新型管路，将三氧自体血液疗法和血浆病毒灭活有效融合在一起，为临床病毒感染性疾病提供一种新的血液治疗技术。

方法：以XJC-2000型血浆采集机为模版设计一套新型耗材，将AOBT和APVI两项技术整合在一套管路内完成，只需一次采血即可完成血液采集、AOBT、APVI和回输治疗，避免了患者反复穿刺和操作者被感染的风险增加自体血液充氧和血浆病毒灭活环节，采用超微创单针模式，对采集管路和血液处理程序进行统筹优化，将血液采集、全血收集（三氧处理）、血浆分离（病毒灭活）和血液回输整合在一套密闭管道内完成，处理后的血液再依次回输给患者，达到充氧和残余病毒灭活的治疗目的。通过模拟运行过程验证管路与机器的融合效果。

结果：将改良后的管路与血浆采集机配套使用，模拟新冠肺炎感染者进行AOBT+APVI血液净化治疗过程，

新型超微创血液治疗管路在血浆采集机上运行良好，实现了免疫三氧自体血液回输+血浆病毒灭活功能于一体的多效能升级管路，相比于单独治疗，联合技术能够明显提高救治时效性。从开始采血、全血收集、血浆分离、AOBT和APVI处理至血浆回输完毕只需一次静脉穿刺，整个流程大约需要40-50min，而手工操作一次AOBT需要30min，APVI400mL血浆需要近90min，而且需要反复穿刺采血和回输，新型超微创配套管路明显提高了血液治疗的时效性。程序运行期间设备与管路融合性良好，改良后的管路安装方便，各部件接口无菌连接，无破损、漏液、污染等情况发生

结论：成功研制了一种新型超微创血液净化治疗管路，整个操作过程简单、流畅，无传染风险，为治疗病毒感染性疾病提供了新思路和技术方法。

关键字：超微创；血液净化治疗；病毒感染性疾病；血浆采集机；采集管路

ID915

全血置换术治疗溶血性贫血大鼠的疗效及机制探究

汪衍杰、裴思雅、梅城、李宁
中南大学湘雅医院

目的：目前全血置换术治疗危重症溶血性贫血获得良好临床疗效，但未见机制研究。课题组前期已经成功构建大鼠全血置换术方法，本研究通过大鼠全血置换术治疗盐酸苯肼（PHZ）诱导的大鼠急性溶血性贫血，旨在探究全血置换术治疗溶血性贫血的疗效及机制，为进一步评估全血置换术治疗效果，推广全血置换术临床治疗提供实验证据。

方法：1.通过腹腔注射盐酸苯肼，构建溶血性贫血大鼠模型，设置健康对照组、模型组、全血置换术组和输血组。观察生存率、记录体重和体温、检测血常规。

2.收集大鼠的血浆，使用生化分析法检测肝肾功能和溶血标志物；收集大鼠的组织样本，采用HE染色检测组织形态。

3.收集大鼠的血浆和外周血细胞，使用ELISA检测血浆炎症因子，流式细胞术检测外周血细胞氧化应激；收集大鼠的组织样本，做普鲁士蓝铁染色检测铁沉积，Western Blot检测组织膜铁转运蛋白表达情况。

结果：1.全血置换术可提高溶血性贫血大鼠的7天生存率，全血置换术组存活率达到100%，而输血组存活率为62.5%，模型组存活率为38.5%（P＜0.05）。全血置换术显著改善了溶血性贫血大鼠的血常规参数，全血置换术组的红细胞计数和血红蛋白含量恢复速度明显快于模型组和输血组（P＜0.05）。

2.全血置换术可显著减少溶血性贫血大鼠的溶血标志物，如游离血红蛋白含量和破碎红细胞百分比（P＜0.05），并改善溶血性贫血大鼠的肝功能，减轻肝脏坏死和脾脏肿大程度。

3.全血置换术减少了溶血性贫血大鼠的外周血氧化应激和器官的铁沉积。

结论：全血置换术通过清除游离血红蛋白引起的氧化应激，减轻炎症、病理损伤和铁沉积；以及及时补充红细胞，降低了溶血性贫血大鼠的死亡率。

关键字：全血置换术；氧化应激；铁沉积；溶血性贫血

ID 1111

肿瘤微环境响应红细胞-脂质体共递送系统的构建及其对小鼠肿瘤疗效的初步研究

游训仪[1]、朱珂慧[2]、王红[1]、钟锐[1]、曹晔[1]、刘嘉馨[1]
1. 中国医学科学院输血研究所
2. 四川省肿瘤医院

目的：肿瘤微环境缺氧的特征会抑制抗肿瘤治疗，同时加速肿瘤的恶化和转移。传统化疗手段协同改善肿瘤缺氧微环境的治疗方法，可以提高抗肿瘤疗效。脂质体是一种广泛使用的药物递送系统，但存在生物利用度低、靶向性差等问题。红细胞（Red blood cell，RBC）是一种良好的药物天然递送系统。基于此，本研究构建一种同时包封化疗药紫杉醇和氧载体血红蛋白的纳米脂质体——血红蛋白-紫杉醇脂质体（Liposome encapsulate hemoglobin and paclitaxel，LEHP），并通过红细胞-脂质体共递送系统将其靶向递送至肺部，改善肿瘤缺氧的微环境，增敏肿瘤治疗。

方法：通过磷脂薄膜法制备两种脂质体，分别是紫杉醇脂质体（LEP）和血红蛋白紫杉醇双载药脂质体（LEHP）。按

3 μmol Liposome与3×108个RBC进行孵育制备RBC-LEP和RBC-LEHP。通过建立肺转移瘤BALB/C小鼠，研究脂质体的体内有效性。

结果： LEP和LEHP粒径分别为（168.90±3.36）nm和（189.17±8.22）nm（n=6）；其药物包封率分别为（83.32±4.43）%和（58.27±2.55）%（n=6）；动物实验结果显示，RBC-LEP和RBC-LEHP组的肺部富集率为（43.44±1.70）%和（39.77±1.80）%（n=3），提示与RBC结合后能有效提高Liposome在肺部肿瘤内富集，可实现肿瘤靶向递送；LEP组肿瘤大小荧光定量为（2.19±0.37）×107，RBC-LEHP组肿瘤大小荧光定量为（7.70±2.86）×104，提示RBC-LEHP组由于具有主动和被动的肺靶向性，并通过改善肿瘤缺氧导致的化疗耐药，因此能显著抑制4T1肿瘤生长。

结论： 本研究成功构建了RBC-LEHP，能显著提高脂质体的靶向性，并通过改善肿瘤缺氧导致的化疗耐药，增强抗肿瘤疗效，有望为肿瘤治疗提供新方法。

关键字： 脂质体；血红蛋白；红细胞；药物递送；肿瘤靶向

ID 1157

富血小板血浆（PRP）在不同低温保存条件下其血小板储存损伤的实验研究

王文婷、党娥、徐金梅、陈要臻、尹文
中国人民解放军空军军医大学第一附属医院

目的： 对比富血小板血浆（PRP）在不同低温保存条件下其血小板储存损伤指标的变化，明确PRP在不同低温储存条件下，其血小板生物活性的维持状况，为进一步制定PRP的储存标准提供理论依据,并以期改善临床PRP应用效果。

方法： 将PRP在-30℃和-80℃低温冷藏环境下分别储存14d和18d，使用血细胞计数仪分析各组血小板的计数；通过流式细胞术检测PRP中血小板细胞凋亡率（Annexin V）、活性氧含量（ROS）、CD62P活化水平；通过ELISA方法检测血小板活化后释放胞内5-羟色胺的水平、炎症因子IL-1β变化水平；通过透射电镜分析在-30℃和-80℃条件下保存14天后，不同处理组血小板线粒体的形态；通过全自动酶标仪检测血小板线粒体膜电位（JC-1）。

结果： 经分析发现在-30℃低温条件下储存后血小板线粒体的形态和功能严重受损，而在-80℃储存条件对PRP中血小板线粒体形态和功能的影响较小（P＜0.05）；在-30℃和-80℃两种储存温度下，PRP中血小板ROS水平、细胞凋亡率和CD62P水平均升高，且血小板ROS、细胞凋亡率和CD62P的水平相似；但-30℃和-80℃保存后，PRP中血小板计数、5-羟色胺含量和炎症反应方面无显著差异（P＞0.05）。

结论： 将PRP保存至-80℃条件下对血小板质量影响较小，更适合于临床应用。本研究为PRP储存策略的制定提供指导和建议，也为制备标准化、高质量的PRP来满足临床治疗需求提供实验数据支持。

关键字： PRP；血小板；储存损伤

ID 1306

自体血回输治疗干燥症1例

王晗、丁思娇、骆群
中国人民解放军总医院第五医学中心

目的：研究自体血回输对干燥综合征（Sjögren syndrome，SS）患者症状改善的治疗疗效。

方法：纳入我院门诊收治的干燥症患者1例，女，40岁，经第七医学中心诊断为干燥综合征。治疗方案：采集患者自体血液总量5%，200毫升，迅速补充等量0.9%生理盐水。自体血冷藏储存7天后回输患者。治疗频次为1次/周，疗程为8次治疗。治疗前停用激素和其他免疫抑制剂。观察患者主要临床症状变化情况。

结果：治疗前血清学抗核抗体呈核颗粒型（++），抗SSA自身抗体（++），抗Ro52自身抗体（++）。经自体血回输治疗后，患者主观症状明显改善。唾液流率由0.34ml/min上升为1ml/min。眼部不适和视觉障碍，包括干涩感、烧灼感、异物感、针刺感、眼痒和眼部充血等症状消失。患者乏力和睡眠质量明显提升。焦虑和神经系统心动过速频次明显降低，由1-2次/日降低为1次/1-2周。患者面部脸颊部红斑消退。胃肠道功能紊乱症状、饮食后反酸症状得到明显纠正，饮食逐步恢复为引用牛奶等正常饮食。系统损害得到纠正：欧洲抗风湿病联盟（EULAR）制定的活动性评估ESSPRI评分由治疗前7分下降为2分。采用Sjögren应答评估工具（STAR）疗效终点评价，候选STAR细则为5分为候选STAR应答。治疗期间，患者肝脏功能、肾脏功能、电解质等实验室指标正常，血氧监测正常、心率正常，未出现过敏反应等不适症状。

结论：自体血回输治疗干燥综合征患者临床症状得到明显改善，治疗方法便捷、治疗过程安全可靠、经济负担小，具有较好的临床应用价值。

关键字：自体血回输；干燥综合征

ID 1495

无创胎儿血型基因检测技术的临床应用

任道菊[1]、李小薇[2]、肖军[2]、李翠莹[1,2]
1. 安徽医科大学第五临床学院空军特色医学中心
2. 中国人民解放军空军特色医学中心

目的：探究无创胎儿血型基因检测技术在孕妇妊娠期管理的临床应用研究。

方法：收集妊娠≥12周的O型和RhD阴性血孕妇外周血，运用磁珠富集法提取孕妇血浆中的胎儿游离DNA，应用实时荧光定量PCR检测胎儿cff-DNA血型基因，同时对胎儿游离DNA进行质控，验证是否成功提取出胎儿游离DNA；对孕妇妊娠期血浆进行血型抗体效价检测；追溯新生儿外周血或脐带血，进行血型血清学检测，其结果与产前无创血型基因结果对比，判断无创胎儿血型基因检测技术的准确性；同时对新生儿血样进行新生儿溶血病免疫血清学检测。

结果：收集到87例孕妇样本，其中包括2例RhD阴性孕妇及85例O型血孕妇；通过胎儿cff-DNA血型基因检测技术检测的胎儿血型结果为：2例RHD阳性、13例AO型、32例BO型、40例OO型，其中45.98%（40/87）的胎儿血型与母亲一致；目前追溯到26例新生儿，其余61例新生儿尚未出生。26例新生儿血型血清学结果为：RhD阳性2例、A型8例、B型11例、O型5例，其中21例新生儿母亲血型不一致，回溯其母亲在妊娠期血浆抗体效价结果显示，抗-D≤16为2例、抗-A＜1:64为4例、抗-B＜1:64为10例、抗-A≥1:64为5例、抗-B ≥1:64为5例。26例新生儿中有4例A型和2例B型新生儿的ABO新生儿溶血病免疫血清学检测阳性、其余均为阴性。

结论：无创胎儿血型检测技术检测的胎儿血型结果与新生儿血清学血型结果对比，血型结果均一致。对于RhD阴性

孕妇，可在孕早期便检测出胎儿血型，为发生同种免疫风险做出预警，对RhD阴性孕妇注射抗-D免疫球蛋白做出指导。对于O型妊娠期孕妇，当血浆抗体效价高于低风险阈值时，可根据无创胎儿血型检测技术，判断胎母血型是否一致，对临床中新生儿早期诊断HDFN有重要意义，结果显示母婴血型同型即可避免后续不必要检测。

关键字：胎儿游离DNA；无创胎儿血型基因；新生儿溶血病

ID 1679

急性心梗脑梗急救药的研发和产业化

王子元
湖景(苏州）生物技术有限公司

目的：急性心梗/脑梗是最大的未满足患者需求。WHO公布2019年全球因此死亡超过1500万人，我国每年死亡超过300万人；许多被救患者身体致残，给社会和家庭造成重大负担。采用溶栓和经皮冠状动脉介入急救方法有“黄金三小时”之说：只要患者心梗脑梗发作到血管开通不超过三小时，就会取得比较满意的急救效果。但许多患者不能在“黄金三小时”之内得到救助，血栓部位下游组织受缺血缺氧导致不可逆伤害，严重致残，甚至失去生命。只有患者安全渡过了这个危机，才有机会在医院采用溶栓或其它介入疗法救治，乃至用干细胞治疗残疾。

患者发病后到血管开通再灌注前的整个时间段是急救的空白期，目前没有任何急救手段，急需研发独辟蹊径的急救药。

方法：我们团队首次提出颠覆性创新机制“缺血不缺氧”的急救药，可以填补这个空白。

纯化的血红蛋白仍然保留结合和输送氧气的能力，它可以形成仅有红细胞直径几十分之一的、纳米级别的载氧体颗粒，很容易通过红细胞完全不能通过的血栓部位，在患者发病早期为下游缺血缺氧组织供氧，立刻终止组织受到的缺氧伤害，有效降低患者的死亡率和残疾率。

结果：本项目是颠覆性创新的生物制药项目，其原创性表现在一下两点：

1）创新的心梗脑梗急救机制，用人血红蛋白纳米颗粒通过血栓部位为下游组织供氧。

2）原创的、不依赖人血的人血红蛋白生产方式，超越重组技术，高质量、低成本生产人血红蛋白，是人类蛋白生产用于生物制药技术的突破。

结论：急性心梗/脑梗急救药是以人血红蛋白为基础原料的原创新药（First-in-class），是没有竞争对手的投资蓝海。

关键字：急救药 心梗 脑梗 基因编辑 人血红蛋白 纳米颗粒 血栓

ID 1834

负载紫杉醇的光敏脂质体的制备和其抗肿瘤效果研究

李琬晶、刘嘉馨
中国医学科学院输血研究所

目的：化学药物治疗是恶性肿瘤最常见的治疗方式，但其治疗效果因传递效率低下而被限制。纳米药物递送系统可极大改善药物溶解性，增强药物体内循环时间，降低药物毒性，从而增强治疗效果，如何实现药物按需，可控，靶向蓄积于肿瘤部位是实现理想药物治疗效果的难题。本文以近红外光和pH作为触发媒介，选取pH敏感磷脂构建药物载体，包载紫杉醇（Paclitaxel, PTX）和吲哚菁绿（Indocyanine green, ICG）作为抗肿瘤药物和光敏剂，构建光和pH响应纳米药物递

送系统，并对其抗肿瘤效果进行研究。

方法：采用薄膜水化法制备ICG-PTX-Lipo，通过马尔文粒径检测仪检测其粒径、电位；通过紫外分光光度法和高效液相色谱法分别检测ICG和PTX含量并计算包封率和载药量。将不同浓度的脂质体与细胞共孵育，用MTT法检测细胞活力。用808nm激光对不同浓度的脂质体辐照，并用热成像仪监测其温度变化。将脂质体通过尾静脉注射给小鼠，通过热成像仪监测温度变化，并采集相应图像。

结果：成功制备了ICG-PTX-Lipo，溶液呈灰绿色。粒径为（152.54±7.79）nm，PDI为（0.11±0.07），zeta电位约为（7.58±2.21）mV。PTX包封率为（66.75%±2.94%），ICG包封率为（89.21%±4.70%）。在缺氧条件下将ICG-PTX-Lipo与4T1小鼠乳腺癌细胞共孵育，经808nm激光照射后12hr后，ICG-PTX-Lipo显示出优越的肿瘤杀伤性能。ICG-PTX-Lipo经808nm激光辐照后在1min内，即可升温至42℃，同时发现脂质体的光热稳定性远优于ICG溶液，且在体内光热转化能力检测中也体现了良好的光热转换效率。

结论：成功制备光和pH响应脂质体，其大小均一，载药量高，具有良好光热转换效率，且可有效抑制肿瘤细胞生长，可为光响应药物递送系统在肿瘤治疗领域的应用提供了理论依据。

关键字：光响应脂质体，乳腺癌，紫杉醇脂质体，光热疗法

ID 1921

基于多波长的无创血红蛋白检测技术在高海拔环境中的应用

李小薇、肖军、任道菊、李治材、陈春月、张晓娟、李翠莹
中国人民解放军空军特色医学中心

目的：比较不同无创血红蛋白检测方法在高海拔环境中的检测成功率，并分析与微创血红蛋白检测结果的一致性，探讨高海拔环境中无创血红蛋白检测技术的适用性。

方法：选择健康志愿者36名，性别不限，年龄20~67岁，使用无创和微创血红蛋白仪进行检测。根据进入高原（海拔3700米）环境的时间不同，分为急进高原组（1~7天）（n=10）和高原习服组（>30天）（n=26）。在海拔3700米低氧环境下，急进高原组中采用美国Masimo RAD-57和国产MHS28无创血红蛋白检测装置连续检测7天，高原习服组中仅检测1天，SPSS 20.0软件比较不同装置的检测成功率，同时与微创血红蛋白检测结果对比。SPSSAU软件分析不同方法在血红蛋白检测结果中的一致性。

结果：在高海拔环境下，①检测成功率方面，MHS28检测成功率在全部检测人次和不同分组中均明显高于Masimo RAD-57（P<0.05）。②检测一致性方面，无创血红蛋白检测技术在检测人次和不同分组中均与POCT具有较好的一致性。③检测准确性方面，与POCT检测结果比较，全部人次血红蛋白检测值相对偏差不大于10%中Masimo RAD-57占比73.7%（28/38）略优于MHS28占比64.9%（61/94），没有统计学差异（P>0.05）。急进高原组中血红蛋白检测值相对偏差不大于10%中MHS28占比55.9%（38/68），Masimo RAD-57占比85.0%（17/20），Masimo RAD-57准确性显著高于MHS28（P<0.05）；高原习服组中血红蛋白检测值相对偏差不大于10%中MHS28准确性88.5%（23/26）略优于Masimo RAD-57 61.1%（11/18），没有统计学差异（P>0.05）。

结论：在高海拔环境下，MHS28无创血红蛋白检测成功率较高，且与POCT具有较好的一致性，可以作为无创血红蛋白监测的手段。

关键字：高原低氧; 血红蛋白; 微创检测; 无创检测

ID 1940

红细胞单采术治疗高原红细胞增多症的疗效及安全性研究

贺曾、赵芩、龙文春、李婷婷
西藏自治区人民政府驻成都办事处医院

目的：高原红细胞增多症是指在高原低氧环境下红细胞过量增多为主要特征的临床综合征，是久居高原人群中发病率最高、危害最大的慢性高原病。目前尚无根治高红的方法，临床主要采取放血疗法、药物治疗、高压氧治疗、藏医和中医等方式进行治疗。治疗性红细胞单采技术能特异性去除红细胞并将其余血液成分回输至患者体内，在青藏高原高红人群的治疗中有巨大应用潜力。本文选取2021-2023年在西藏自治区人民政府驻成都办事处医院进行红细胞单采治疗的243例高原红细胞增多症患者为研究对象，探讨红细胞单采术治疗HAPC患者的临床疗效及安全性。

方法：依据采血前HCT值确定HCT去除值，采血前HCT≥65%，设置HCT去除值为15%；采血前 HCT<65%，设置HCT去除值为2%-15%。采集量=患者血容量×HCT去除值。采集过程中行心电监护，严密监测患者生命体征及病情变化。分别统计243例患者在单采前、单采后次日的血常规指标，并记录其单采治疗全程的不良反应，收集患者治疗前、治疗后的生命体征。

结果：与治疗前相比，单采后高红患者的收缩压及舒张压均下降，血氧饱和度增加，差异均有显著统计学意义（P＜0.001）。治疗前后RBC（×1012/L）为 7.06±0.89 vs 6.08±0.93，HGB (g/L) 为 211.59±17.99 vs 182.76±19.83，HCT(%) 为65.30±6.45 vs 55.56±8.12（P＜0.001）。红细胞单采治疗后RBC、HGB及HCT均显著降低，血小板数显著升高，白细胞数无显著变化。本研究共计发生不良反应34例，不良反应发生率13.98%，主要包括枸橼酸盐中毒、穿刺部位血肿、血容量失衡三类事件。不良反应发生后，及时给予对症处理，症状均缓解或消失，预后良好。

结论：红细胞单采可短时间内迅速降低高红患者体内多余的红细胞，改善血液黏滞度和临床症状，且不良反应较少，适宜在青藏高原地区推广。

关键字：红细胞单采；高原红细胞增多症；血常规；不良反应

ID 1987

血小板来源的细胞外囊泡通过调节巨噬细胞极化治疗银屑病样皮肤炎症

李丹丹[1]、王冰[2]、王志成[1]、夏荣[1]
1. 复旦大学附属华山医院
2. 上海交通大学附属新华医院

目的：背景和目的：最新研究发现，富血小板血浆（PRP）在银屑病治疗中显示出一定的治疗效果，但其潜在机制仍然不清楚。PRP包含多种成分，包括血小板、白细胞、细胞外囊泡和细胞因子。其中，血小板来源的细胞外囊泡（PEVs）因其能改变目标细胞代谢并促进组织修复而受到越来越多的关注。 我们旨在验证PRP和PEVs在银屑病中的治疗效果，验证其治疗效果与PRP/PEVs浓度的相关性，并阐明它们在银屑病中的治疗作用机制。

方法：我们首先使用由咪喹莫特诱导的银屑病样炎症的Balb/c小鼠模型，并使用同源小鼠的PRP和PEVs对其银屑病样炎症模型进行治疗。治疗效果通过银屑病面积和严重指数评分（PASI评分）、苏木精-伊红（HE）染色、Ki67免疫组化染色观察、mRNA测序、Western印迹和实时荧光定量PCR（qPCR）来评估。在体外，我们培养HACAT和RAW264.7细胞来模拟银屑病表型，使用IL-17A、TNF-a来诱导其银屑病样表型，并通过Western印迹和qPCR检测PRP和PEVs对银屑病样表型的影响。

结果：PRP和PEVs减轻了Balb/c小鼠咪喹莫特诱导的银屑病样炎症，PASI评分显著降低，HE染色和Ki67免疫组化染色观察提示表皮增厚和炎症浸润得到改善。mRNA测序、Western印迹和qPCR结果提示治疗效果与PEVs中的细胞因子有关，这些细胞因子可能通过调节巨噬细胞极化和代谢来减轻银屑病样炎症。

结论：PRP和PEVs可以通过调节巨噬细胞极化治疗银屑病。

关键字：银屑病，富血小板血浆，血小板来源的细胞外囊泡，巨噬细胞

ID 2016

活化炎性细胞定向吸附-全新技术抑制体外循环诱导的全身炎性反应

杜磊[1]、李莉[2]、喻翔[1]、熊际月[1]、吴娟[1]、林静[1]、廖心怡[1]、罗丹[1]、陆盘中[3]、刘嘉馨[2]

1. 四川大学华西医院
2. 中国医学科学院输血研究所
3. 成都尚元太生物科技有限公司

目的：体外循环（CPB）诱导的全身炎性反应（SIR）的典型特征是大量白细胞活化而导致组织损伤，并通过上调炎性介质而放大SIR，至今无任何有效防治方法。根据活化白细胞特点，3家单位联合开发了一种高生物相容性活化炎性细胞吸附器，可选择性定向吸附活化白细胞。本研究评估该吸附器是否能减轻CPB相关SIR。

方法：6只长白猪随机分为2组。所有动物模拟临床，麻醉肝素化后常规建立CPB。CPB开始后10分钟阻断升主动脉，造成全心缺血。缺血115分钟后复温，复温5分钟后开放升主动脉，使心脏复跳。停机后观察24小时。试验组动物在复温时使用吸附器，持续20分钟。其余处理与对照组相同。在不同时间点收集血样评估SIR，试验终点收集主要脏器组织进行组织炎症因子检测以及病理检查。

结果：对照组循环白细胞、中性粒细胞数量在复温时开始升高，CPB后12小时达高峰，约为术前的2倍和5倍，并多表达CD11b、CD54，呈现典型SIR。使用吸附器20分钟可使白细胞、中性粒细胞数量分别降低8.67%、14.88%。而在停CPB后12、24小时，循环白细胞、中性粒细胞、CD11b+、CD54+细胞数量仅为对照组的1/2。整个试验过程中，两组动物血小板数量和功能、APTT、PT、TT无明显差异。试验终点，心肌抑炎因子IL-4含量试验组（19.3±16 pg/mL vs 11.1±5.6 pg/mL）、IFNg和IL-10均高于对照组；肝组织IFNg含量试验组也高于对照组。组织病理可见，试验组各脏器中性粒细胞数量平均值均低于对照组。滤膜免疫荧光染色可见多量CD11b+，CD54+，CD172a+白细胞。

结论：活化炎性细胞吸附器具有高生物相容性，能较好的抑制CPB相关SIR，减少活化炎性细胞数量和在重要脏器的浸润。

关键字：全身炎性反应；活化细胞；定向吸附；体外循环

ID 2064

三种主要脂蛋白对于心脏瓣膜病的影响：一项孟德尔随机化研究

罗达、陈静

武汉大学人民医院

目的：已有研究证实低密度脂蛋白（LDL）与脂蛋白（a）[Lp(a)]升高是动脉粥样硬化性疾病以及主动脉瓣狭窄的独立

危险因素。极低密度脂蛋白（VLDL）作为一种富含甘油三酯的脂蛋白，与LDL同样具有致动脉粥样硬化作用，其在心脏瓣膜病（VHD）中的作用尚不明确。本研究旨在探索VLDL对于VHD的影响，并且比较LDL、VLDL、Lp(a)三种主要脂蛋白在颗粒层面上的致病力强弱，以及验证脂蛋白对于不同瓣膜的影响是否具有异质性。

方法：本研究原理为每摩尔脂蛋白（LDL、VLDL、Lp(a)）含一摩尔载脂蛋白B（apoB），利用UK Biobank的全基因组关联分析（GWAS）汇总数据筛选与三种脂蛋白特异性相关的单核苷酸多态性（SNP），进一步提取这些SNP对应的apoB效应值，随后进行孟德尔随机化（MR）分析以及多因素MR分析。此外，利用UK Biobank个体化数据进行多基因遗传风险评分（PGS），并评估PGS关联的VHD风险。最后在以主动脉瓣狭窄、主动脉瓣关闭不全、二尖瓣关闭不全为单个结局事件做敏感性分析。

结果：与LDL、VLDL、Lp(a)相关的特异性SNP分别有152个、123个、103个。三种脂蛋白均与VHD有因果关系。Lp(a)及VLDL对于VHD的影响均独立于LDL。对于含1g/L apoB的脂蛋白，Lp(a)的致病力高于VLDL及LDL，其致病力[log(OR)]比值约为14.3:7.7:1。三种脂蛋白对应apoB的PGS与VHD的分析结果同样提示Lp(a)具有最强致病力。敏感性分析显示脂蛋白对于心脏瓣膜病具有异质性，与主动脉瓣疾病有因果关系，但在二尖瓣疾病中的作用并不显著。

结论：三种脂蛋白与VHD有因果关系，Lp(a)与VLDL的致病作用均强于且独立于LDL，其中Lp(a)的致病作用最强。三种脂蛋白对于心脏瓣膜病的作用具有异质性，影响主动脉瓣疾病，但对二尖瓣疾病无影响。

关键字：心脏瓣膜病，低密度脂蛋白，极低密度脂蛋白，脂蛋白（a）

ID 2246

血液病患者异基因造血干细胞移植后输血的相关影响因素分析

黎欢、彭涛
中国人民解放军西部战区总医院

目的：探讨血液病患者异基因造血干细胞移植后患者输血的相关影响因素。

方法：收集我院2018年1月至2022年12月异基因造血干细胞移植的血液病患者188例，移植后未输血患者104例，输血患者84例。分析两组患者基本资料：性别、年龄、粒系植活时间（d）、PLT植活时间（d）、供受者亲缘关系、HLA相合程度、供受者血型关系、预处理方案、移植前RBC、HB、PLT计数，外周干细胞量、单个核细胞数、总核细胞数、CD34细胞数，移植前红细胞、血小板、血浆输注情况、移植期间红细胞、血小板、血浆输注情况，移植后并发症发生情况：CMV、EB、膀胱炎、肺部感染、GVHD，以上资料纳入影响移植后输血的单因素分析。影响输血单因素分析中，在0.10显著性水平下纳入多因素分析中，进行二元Logistic回归分析。采用ROC曲线分析对CD34、GVHD及CD34联合GVHD对移植后输血的诊断效能进行分析。

结果：两组患者在移植前RBC计数、期间红细胞（U）、血小板（治疗量）输注量、肺部感染、GVHD上差异具有统计学意义（P< 0.05）。CD34（P<0.05，OR: 0.851，95%CI: 0.744~0.970）是输血的独立保护因素，GVHD（P<0.05，OR: 1.986，95%CI: 1.077~3.660）是输血的独立危险因素。CD34（AUC : 0.578; 95%CI:0.497~0.660; P>0.05）诊断输血效能较差，GVHD（AUC: 0.577; 95%CI: 0.495~0.660; P>0.05）诊断输血效能较差，联合指标CD34+GVHD（AUC: 0.629; 95%CI: 0.550~0.710; P<0.05）较单指标诊断效能一定提高。

结论：供者CD34细胞是血液病患者异基因造血干细胞移植术后的独立保护因素，GVHD是危险因素，应联合两个指标综合制定患者移植术后的用血预案。

关键字：异基因造血干细胞移植;血液输注；抗移植物宿主病；CD34；影响因素

ID 2900

血小板CD36阴性供血者快速筛选技术的建立及应用

王玉珏、王红梅、陈晔洲、段生宝
中国科学院苏州生物医学工程技术研究所

目的：亚洲人血小板CD36抗原缺失频率较高，此类人经妊娠、输血等途径可产生抗-CD36抗体，并引起新生儿血小板减少症、血小板输注无效症等。研发人血小板 CD36表型快速检测技术，为建立血小板CD36阴性供者库和相关的配合性输注提供有效方法。

方法：采用杂交瘤细胞融合技术研制特异性抗-CD36单克隆抗体，建立人血小板 CD36表型快速检测ELISA方法，测定批内、批间差异及变异系数。随机抽取健康献血者1691份抗凝全血样本，采用该方法检测血小板CD36表达情况，并通过流式细胞术(FCM)进行验证和分型鉴定，采用PCR-SBT基因分型检测CD36阴性供者基因突变位点。

结果：获得特异性抗-CD36单克隆抗体细胞株2株（2A2、3E12），均为IgG型，并建立了检测人血小板 CD36表型的ELISA方法，该方法35分钟内可完成检测，批内变异系数为2.1% ~ 4.8% ，批间变异系数为2.3% ~ 5.2%。通过对1691名健康献血者检测，有36例血小板CD36表达阴性。流式细胞术验证该36例样本血小板CD36表达缺失，且其中有3例单核细胞CD36表达缺失。因此，该研究人群中 CD36缺失频率为2.13% (36/1691)，I 型和 II 型 CD36缺失分别占0.18% (3/1691)和1.95% (33/1691)。此外，采用基因测序对其中27例 CD36阴性献血者外显子3~14进行检测，发现其中13例存在10种基因突变类型，其中 287G>C、1228-1239delATTGTGCCTAT和538T>C为最常见。

结论：研制了特异性良好的抗-CD36单克隆抗体，以及一种快速准确的人血小板 CD36表型检测方法，可用于血小板CD36缺失人群检测，为建立血小板CD36阴性供者库和相关的配合性输注提供技术支撑。

关键字：血小板、CD36缺失、供血者、特异性单克隆抗体

ID 3497

仿生型血红蛋白基携氧载体构建及供氧效能研究

齐延新、刘志、黄宇彬
东北师范大学

目的：人工携氧载体构建及其临床应用，一直是科学界和产业界的终极目标。自1957年，Chang提出了人工细胞的概念，用细胞膜成分中的脂质创造出囊泡，用于氧气传输开始，血红蛋白基人工载氧体如火如荼开展起来，但都以纳米囊泡（高分子和脂质体等）和交联血红蛋白为主，很少有工作触及到仿生型红细胞构建。目前常规的细胞型血红蛋白基携氧载体为球形，天然红细胞为双凹饼状，双凹形貌被认为是理想的细胞型血红蛋白基携氧载体形貌。基于此，我们通过“自下而上”的策略成功构建了具有天然红细胞形貌的仿生型血红蛋白基携氧载体，具有良好的携氧和释氧能力同时，也能够将二氧化碳进行清除，实现气体双向传输。

方法：采用生物相容性良好的生物材料作为仿生骨架材料，调控界面张力使得仿生骨架材料向界面迁移并固化在界面，最后形成双凹骨架结构，然后再经过后处理可得到多孔双凹骨架结构。最后利用磷脂层包覆仿生骨架与携氧单元和二氧化碳单元，形成仿生型血红蛋白基携氧载体，测定携氧载体的携释氧和二氧化碳清除能力。

结果：探索并实践了双凹形貌骨架及仿生红细胞的构建及表征，本方法具有普适性，可应用于小分子和高分子体系；探索了不同体系骨架形貌差异的原因，明确了双凹骨架形成的各影响因素及形成机制，评价了仿生红细胞型载氧体

双向传输氧气和二氧化碳气体的能力。

结论：本研究构建了仿生红细胞型载氧体，实现了与天然红细胞相同的气体传输能力（氧气和二氧化碳），与传统携氧载体的单一担载氧气功能相比，仿生型红细胞基载氧体的二氧化碳传输功能可以有效的避免体内二氧化碳对血红蛋白的毒副作用，延长仿生型红细胞基载氧体在体内的循环时间。

关键字：血红蛋白；载氧体，仿生红细胞，携氧能力

S19
柔性生物电子及可穿戴医疗

ID 220

柔性可穿戴胎儿母体心率记录仪在产程中应用效果的研究

蔡娟、黄振宇
清华大学附属北京清华长庚医院

目的：评估柔性可穿戴胎儿母体心率记录仪在产程中的应用对临床助产工作效率提升和医患满意度的提升。

方法：采用随机分组的方式，选取2022年6月至2023年6月在清华大学附属北京清华长庚医院住院分娩的106例单胎孕妇为研究对象，临产后同时采用多普勒胎心监护仪（对照组）和柔性可穿戴胎儿母体心率记录仪（研究组）对其进行监护，比较两种监护仪的使用效果、不良事件发生率，以及医护和患者对两种监护仪的满意度。

结果：两组数据在胎儿心率趋势图、母亲心率趋势图有较好的重合度；且佩戴过程中无设备不良反应发生；在产程中听胎心研究组平均护理工时8.0±2.1分钟，对照组为41.2±23.6分钟，两组差异有统计学意义（t=-14.351，P＜0.001）；患者对设备的使用满意度为99.09%，高于患者对传统胎心监护的满意度95.20%；医护人员对设备的使用满意度达97.12%，高于传统胎心监护仪的使用满意度91.20%；

结论：柔性可穿戴胎儿母体心率记录仪具有较高的敏感性、准确性及时效性，有利于突破传统时间与空间的限制，节约医患双方的时间与精力，更大程度的降低诊治压力、优化医疗资源配置。同传统胎心监护仪相比，柔性可穿戴胎儿母体心率记录仪不仅能评估产时胎儿宫内状态，还可提高助产士工作效率，提升医患满意度。后续在柔性可穿戴监控设备方面加强监测数据采集的准确性，降低其他设备对本监护设备的干扰，提升数据采集的准确度。随着网络技术和人工智能的不断完善，柔性可穿戴胎儿母体心率记录仪将得到更好的改善与推广。

关键字：柔性可穿戴记录仪、胎心监护、产房工作效率、满意度

ID 454

Self-powered, Bioresorbable Optoelectronic Devices for Electrotherapy and Drug Delivery

Yamin Zhang
National University of Singapore

Objective: Programmable engineering platforms for active control of medical devices include power sources, delivery mechanisms, communication hardware, and associated electronics, most typically in forms that require surgical extraction after a period of use. In this talk, I will introduce our self-powered optoelectronic platforms that bypasses key disadvantages of these systems and enables miniaturized devices for drug delivery and electrotherapy, with constituent materials being

bioresorbable that naturally degrade after a period of stable operation in the human body. Bioresorbable batteries serve as power supplies. Studies of various bioresorbable electrode materials define the key considerations and guide optimized choices in designs. Programmability relies on the use of external light sources to illuminate wavelength-sensitive phototransistors via wavelength-division multiplexing strategy. In vivo demonstrations of programmed release of lidocaine and multi-site cardiac pacing in small and large animal models illustrate the functionality in the context of drug delivery and electrotherapy. This platform can be readily adapted for a broad range of additional applications.

Specifically, I will introduce our following works in this talk.

1. Temporary pacemakers play a crucial role in managing transient bradycardia among postoperative patients and in various clinical settings. Traditional models necessitate either invasive open-heart surgeries or slightly less invasive endovascular procedures, which pose significant challenges for both pediatric and adult patients. Additional risks include infections, myocardial perforations, and the dislocation of external power and control systems. I will introduce a novel, millimeter-sized, bioresorbable optoelectronic pacemaker equipped with an integrated power source and a wireless optical control system that broadens the potential for electrotherapy. This device's ultra-compact form allows for minimally invasive placements. Our experimental research confirms its efficacy in pacing across diverse cardiac models, capable of targeting both single and multiple sites. Coupled with a skin-interfaced wireless unit, it supports autonomous, responsive activation when arrhythmias are detected.

2. Degradable polymer matrices and porous scaffolds provide powerful mechanisms for passive, sustained release of drugs relevant to the treatment of a broad range of diseases and conditions. Growing interest is in active control of pharmacokinetics tailored to the needs of the patient via programmable engineering platforms that include power sources, delivery mechanisms, communication hardware, and associated electronics, most typically in forms that require surgical extraction after a period of use. I will report a light-controlled, self-powered technology that bypasses key disadvantages of these systems, in an overall design that is bioresorbable. Programmability relies on the use of an external light source to illuminate an implanted, wavelength-sensitive phototransistor to trigger a short circuit in an electrochemical cell structure that includes a metal gate valve as its anode. Consequent electrochemical corrosion eliminates the gate, thereby opening an underlying reservoir to release a dose of drugs by passive diffusion into surrounding tissue. A wavelength-division multiplexing strategy allows release to be programmed from any one or any arbitrary combination of a collection of reservoirs built into an integrated device. Studies of various bioresorbable electrode materials define the key considerations and guide optimized choices in designs. In vivo demonstrations of programmed release of lidocaine adjacent the sciatic nerves in rat models illustrate the functionality in the context of pain management, an essential aspect of patient care that could benefit from the results presented here.

3. Batteries represent the dominant means for storing electrical energy, but many battery chemistries create waste streams that are difficult to manage, and most possess toxic components that limit their use in biomedical applications. Batteries constructed from materials capable of complete, harmless resorption into the environment or into living organisms after a desired period of operation bypass these disadvantages. However, previously reported eco/bioresorbable batteries offer low operating voltages and modest energy densities. I will introduce a magnesium–iodine chemistry and dual (ionic liquid/aqueous) electrolyte to overcome these limitations, enabling significant improvements in voltage, areal capacity, areal energy, areal power, volumetric energy, and volumetric power densities over any alternative. Systematic studies reveal key materials and design considerations. Demonstrations of this technology include power supplies for cardiac pacemakers, wireless environmental monitors, and thermal sensors/actuators. These results suggest strong potential for applications where commercial battery alternatives pose risks to the environment or the human body.

Methods: Bioresorbable batteries serve as power supplies. Studies of various bioresorbable electrode materials define the key considerations and guide optimized choices in designs. Programmability relies on the use of external light sources to illuminate wavelength-sensitive phototransistors via wavelength-division multiplexing strategy.

Results: In vivo demonstrations of programmed release of lidocaine and multi-site cardiac pacing in small and large animal models illustrate the functionality in the context of drug delivery and electrotherapy.

Conclusion: Our self-powered optoelectronic platforms enables miniaturized devices for drug delivery and electrotherapy. This platform can be readily adapted for a broad range of additional applications.

Key Words: Bioelectronics; self-powered; optoelectronic; electrotherapy; drug delivery

ID 912

智能可穿戴器件及微弱信号监测

胡本慧
南京医科大学

目的：生物界面的应用主要集中在电生理、药物输送和成像功能，而缺乏基于机械和分子信号的实时探测及调控。针对当前生物医学功能成像技术和临床方法在生物力学和多模态监测中的局限性，以及微弱生理信号监测面临的挑战，我们的研究团队提出了“维数约简以实现高分辨率长程监测”的策略，旨在实现高信噪比的实时监测与调控。

方法：可穿戴式器件可以长期、连续的健康监测，对于疾病的早期诊断、及时干预和预后健康管理具有重要意义。微弱生理信号由于幅值较小，易受噪声的干扰，因此需要先进的智能可穿戴式器件与皮肤形成稳定的生物接口，降低噪声（包括运动伪迹和环境扰动）对目标信号的干扰，实现高信噪比、高保真度的信号采集。此外，集成器件内信号处理功能的智能可穿戴式器件可实现信号的低功耗实时判别，降低了对复杂算法和电路的依赖，提高了系统集成度。

结果：我们研究团队取得的成果包括：1）在细胞水平上实现机械力传感过程中的降维，显著提高了检测分辨率和实时性，突破了细胞牵引力探测需要三维层扫的限制；2）发展出基于力学栅突触晶体管的触觉原位分析传感器，具有主动降噪和感内存储能力；3）构建递质分子感知控释的人工突触器件，复刻体内细胞基于分子受体实现双向通讯的功能，突破人机交互模态失配瓶颈，使生物接口具备生物神经元同样的信使模态。

结论：通过上述研究，弥补了当前生物医学功能成像技术和临床方法在生物力学和多模态监测中的局限性。我们的研究不仅提高了生物界面实时监测和调控的精度与可靠性，还为智能可穿戴式器件的开发提供了新的思路，有望在疾病早期诊断、及时干预和预后健康管理中发挥重要作用。

关键字：机械力传感，可穿戴器件，降维

ID 1040

Wearable sweat sensors for glucose monitoring: a review

Yuzhu Zhao,Guocheng Han
桂林电子科技大学

Objective: Diabetes is a growing global concern, and effective management hinges on regular blood glucose (BG) monitoring. Sweat, rich in biochemical information and easily collected, emerges as a promising alternative for disease diagnosis and health monitoring. Glucose, a vital cellular fuel source, can be measured in sweat to estimate blood glucose levels. This paves the way for non-invasive continuous glucose monitoring through wearable sweat sensors.

This review highlights the significance of wearable sweat sensors in glucose monitoring and categorizes them based on their substrate materials. We explore the exciting potential of novel nanomaterials in sensor development driven by scientific advancements. Finally, we discuss the challenges and opportunities researchers face in developing wearable glucose biosensors and envision the future of sweat-based glucose monitoring for enhanced diabetes management.

Methods: In this review, we use the wearable sweat flexible sensor substrate material categorization analysis and comparison method, first introduce the performance characteristics of various types of flexible substrate materials, and then classified into three categories: thin film substrate materials, textile substrate and paper substrate, with the development of technology, and the introduction of the introduction of a new type of nanomaterials substrate innovation research on the above four major categories were introduced to give an example of the above, access to a large number of documents In

order to summarize the more representative studies, a longitudinal comparison is used in each class of substrate materials, and a horizontal comparison is taken between each major class to analyze the different scenarios used and the advantages and disadvantages. Finally, we summarize the current limitations and prospects for future development.

Results: For the flexible wearable sweat sensor for glucose monitoring, researchers can optimize the choice of its sensor substrate material based on specific application requirements, including detection accuracy, wearing comfort, durability, cost and environmental requirements. If high precision and electronic integration are required, thin-film substrate materials are the best choice, although the cost is higher, but its detection accuracy and electronic integration capability is strong; if long wearing comfort and flexibility are required, textile substrate materials are more suitable, especially for daily health monitoring and sports monitoring applications that require long wearing time; if environmental protection and low-cost requirements are required, paper substrate materials are advantageous, suitable for single-use or short-term monitoring applications. If environmental and low-cost needs are required, paper-based materials are advantageous, suitable for single-use or short-term monitoring applications, low cost and environmental protection. As technology evolves, emerging materials often incorporate the benefits and improved performance of traditional substrates, or are entirely new materials to meet specific needs. Its use can often be categorized into several of the above substrate types, and these new materials often have unique advantages that make them excel in specific applications. New nanomaterial substrates offer extremely high detection accuracy and versatility for a wide range of sensing functions, such as electrical, optical, and thermal. These materials are lightweight, flexible and stretchable, and suitable for high-sensitivity sensing applications. Although sweat-based wearable sensors show great potential for glucose monitoring, they still face many challenges and limitations and require continuous innovative research.

Conclusion: In recent years, flexible electronics technology has been developing rapidly, and although sweat-based wearable sensors show great potential for blood glucose monitoring, they still face many challenges and limitations. The first is the collection and utilization of sweat. Due to environmental and physiological differences, there are variations in the amount of sweat produced by individuals and body parts. The chemical composition of sweat varies with the site and mode of collection, and age and gender differences can also affect the composition of sweat. Second, in most cases, the sensors are mostly based on polymer films and precious metals as conductive electrodes, so the sensors have disadvantages such as poor breathability, poor wearing comfort, and expensive. Third, it is not only necessary to consider the wearing comfort and sweat detection sensitivity of the sweat sensor, but also need to consider whether the human body movement and environmental changes during the wearing process will affect the detection performance and sensitivity.

Wearable flexible electronic devices are developing in the direction of digitization, intelligence, and refinement, and by establishing a standardized, personalized sweat composition database with a dynamic fluctuation range, the foundation can be laid for the further development and application of flexible sensors. The development of natural low-cost materials for the preparation of wearable textile sweat sensors has become a trend, such as textile substrate materials, paper substrate materials, etc., which can satisfy the comfort and breathability of its wearability and combine with its new nano-materials for in-depth research on it. Flexible wearable sensors will be more with a wide range of application prospects, wearable devices are expected to play an important role in the future of daily health and physical activity monitoring, as well as disease prevention, diagnosis, treatment and healing.

Key Words: Sweat; Wearable sensor; Glucose; Flexibility; Health monitoring

ID 1076

多功能电子皮肤力学设计与应用研究

宋吉舟
浙江大学

目的：生物皮肤中包含体感系统所需的多种感受器，如感知外界机械刺激的机械感受器、感知接触温度的温度感受器等，从而能对多种外界刺激做出响应。模仿生物皮肤体感功能的电子皮肤（E-skin）可以实现如同生物皮肤的触觉感知，并在智能机器人、人机交互设备和可穿戴健康监测设备等领域具有广泛的应用前景。对于集成了能对外界压力/温度刺激同时感知的电子皮肤的设备，从自我保护、接触识别和操作物体的角度来说是至关重要的。柔软且可变形的人类皮肤中高密度地分布着大量的各类感受器，能在多数情况下轻松地识别和区分出温度刺激和压力刺激，并都以生物电的方式传递给中枢神经系统。但这对机械系统来说却是一大挑战，因为压力传感器和温度传感器会受到来自温度、压力和变形刺激的耦合影响，因此为了尽可能贴近真实皮肤，电子皮肤需要在保证温度和压力传感器小型化、可拉伸以及高密度集成度的情况下，设计出能将温度/压力耦合刺激区分感知并产生相同种类信号（如电流、电压或电容）的温度微传感器和压力微传感器。

方法：提出微凸起力学设计，调控图案化金属薄膜的变形，将可忽略的面外压缩主导变形转换为所需的明显弯曲/拉伸主导变形，压力敏感性提高2个数量级，解耦了图案化金属薄膜力热效应，实现了基于单一电阻效应传感机制的压力和温度实时传感。

结果：通过微加工工艺制造了具有多个传感像素的多功能电子皮肤，系统表征了传感像素的力热解耦能力，实现了对压力/温度耦合刺激的区分，并展示了该多功能触觉感知器件在脉搏监测、吞咽监测和软抓手触觉感知方面的应用前景。

结论：这项工作探索了利用力学设计方法构建具有单一传感机制、压力/温度耦合刺激的解耦能力以及出色的可扩展制造性的多功能触觉感知器件的技术路径，对于高效制备大型触觉感知阵列和启发生物集成器件中不同传感器的受压变形力学解耦具有重要的参考价值。

关键字：电子皮肤、力学设计、多功能

ID 1135

运动系统的监测、调控及仿生构建

蔡平强、王玉莲、蒋青
南京大学医学院

目的：在柔性外骨骼等康复设备研发中，其驱动单元需综合考虑驱动能力、可控性、耐用性和功率密度等关键因素。开发一款人工肌肉作为驱动单元，并兼具高机械强度和断裂韧性、优异收缩量和收缩力、快速响应和超长循环寿命等特性，无疑将提升柔性外骨骼等康复设备的性能。

方法：液晶弹性体受热收缩量大且响应迅速，但其机械强度和驱动力相对较小。我们通过嵌套金属导线，作为液晶弹性体机械增强和焦耳热触发器，提高了其力学性能和电操控性，并将产生的复合纤维命名为HERACLES。

结果：HERACLES纤维具有优异的强度和驱动性能，其抗拉强度超过50 MPa，延伸率超过800%，韧性超过27000 MJ/m³，在人工肌肉领域树立了新标杆。在0.8 V/cm的超低电压下，直径仅0.9 mm的HERACLES纤维可在大约500毫秒内收缩70%以上，产生5.8 MPa的收缩应力，比人体肌肉的收缩力大14.5倍。同时，HERACLES纤维实现了8000 W/kg的功率密度以

及2000 GPa/kg的特定驱动应力，并在经历10,000次收缩循环后几乎无疲劳痕迹，显著优于生物肌肉。HERACLES纤维可通过表面肌电信号触发用于手指康复训练，初步可用于脑卒中康复患者肌无力或肌张力过大等情形，解决现有气动手套被动训练且佩戴难的瓶颈，改善康复训练过程脑不良塑形结局。

结论：基于HERACLES纤维的人工肌肉方面具有优异的机械和驱动特性，可构建基于患者自主运动意愿的高性能轻量化柔性外骨骼等康复设备，实现自主康复。

关键字：柔性驱动器，人工肌肉，运动康复

ID 1259

多传感融合的血管无创检测

石波璟
北京航空航天大学

目的：斑块可诱发中风等严重心脑血管疾病。如何早期诊断斑块具有重要的临床意义。目前，常规的检测方法主要是CT、MRI等医学成像方法，尚没有便携式居家的斑块检测技术或设备。为了实现简便的斑块无创检测，其潜在的解决方案是基于脉搏波和血流速度传感器来提取斑块特征信号。阐明这两种传感信号与斑块引起的血流动力学参数变化之间的关系，是开发可穿戴斑块连续监测器件的基础。

方法：将光电脉搏和超声血流速度传感器集成在一起形成传感阵列，然后放置在颈动脉、肱动脉或桡动脉上进行测试。本文应用计算流体力学分析了狭窄血管的血流动力学参数。将狭窄管模型导入到Fluent 中，设定血管壁宽度为0.5 mm，并通过缩短血管直径模拟斑块性狭窄。总共设计了10种不同的斑块形态，包括5种直管模型和5种分叉模型，每种模型都模拟了不同的长度和高度。为了进一步研究颈内动脉狭窄对桡动脉血流的影响，本研究还基于血管的弹性腔和集中参数模型，利用电路模拟人体动脉网络。

结果：最大流速点对应于斑块最窄的位置。在斑块最窄之前，一阶导数的最大值点对应斑块的起点，如果有多个相似的最大值点，则以第一个起点为准。在斑块最窄点之后，一阶导数的最小点对应于斑块的终点。此外，我们制作了无狭窄的直管模型，比较有斑块和无斑块血管的中心线速度分布。我们利用计算得到的位移和速度数据及其一阶导数来估计斑块尺寸，直线和分叉血管模型的误差分别为3%-7%和1.5%-9.5%。

结论：在本研究中，我们考虑了血管的流固耦合作用，建立了狭窄血管的局部流场。通过监测血管壁的表面变形和血管中心位置的流速数据，建立斑块与这两个物理量的关系。结合位移、速度及其一阶导数曲线，我们可以估算斑块尺寸，误差小于9.5%，可以作为斑块无创检测的参考方法。同时，我们利用血管网络模型研究了颈动脉、肱动脉和桡动脉信号对不同大小斑块的响应。

关键字：脉搏波，超声血流，可穿戴，数据融合，无创检测

ID 1346

神经工程生物电子材料与器件

罗志强
华中科技大学

目的：基于神经调控的电子医学作为临床疾病治疗的一种新型精准治疗方法在近年来备受关注。神经界面是神经调控生物电子应用的关键要素。由于神经界面的可靠性和长期稳定性在很大程度上依赖于电极材料与神经元的直接双向通信，因此开发先进电极材料是构建新一代神经界面的关键问题之一。此外，对于神经调控治疗相关慢性疾病的研究，基于大鼠的动物模型是实验验证的首选。研发可植入基于大鼠的小型可植入可编程电刺激器具有重大意义。

方法：（1）利用界面粘附策略，增强PEDOT涂层与金属电极的粘附，并研发了一系列组织粘附型水凝胶电极实现神经电极和外周神经的紧密耦合，从而构建长期稳固的电学交互界面；（2）基于体内植入发电器件小型化柔性化、体外控制器件无线化可编程化策略，发展了一系列小型可植入超声波响应压电和摩擦发电神经电刺激器件。

结果：（1）利用优异导电性能的聚(5-硝基吲哚)作为粘附界面层，增强PEDOT与金属电极的粘附，并展示了该神经电极捕获大脑神经动态的卓越能力；（2）应用可光刻、高导电、粘附水凝胶为界面粘附材料，利用其实现神经电极和外周神经的紧密耦合，构建稳固的电学交互界面；（3）基于体内植入发电器件小型化柔性化、体外控制器件无线化可编程化策略，发展了一系列小型可植入外场响应发电器件，并将其作为神经刺激器应用于神经调控疾病治疗和在体电刺激促进神经修复。

结论：神经界面电学交互的长期稳定性和可靠性取决于神经电极材料，我们开发的先进神经电极材料在神经调控研究中具有重大意义；此外，研发可植入于大鼠的小型可植入可编程电刺激器在神经调控治疗相关慢性疾病的电子医学模型研究中具有重大应用前景。

关键字：神经界面、生物粘附、神经调控、神经电刺激器

ID 1694

无线腕戴可延展高密度肌电极阵列及其人机交互应用

王成军[1]、宋吉舟[2]
1. 浣江实验室
2. 浙江大学

目的：针对运动医学和康复工程等领域对肌肉电信号大面积动态检测的迫切需求，发展适用于皮肤动态变形的可延展高密度电肌极阵列大面积批量制备新策略，突破传统表皮式电极阵列局限于小范围、静态测试的不足，并探索基于深度学习的新型大面积肌电极阵列在微动手势识别与人机交互方面的应用。

方法：提出软硬混合力学设计，建立了大变形服役环境下软电极阵列与生物软组织协调变形力学设计理论，实现了电极性能与皮肤变形的解耦。通过柔性电子技术和软材料加工方法，发展了一种无线腕戴可延展高密度肌电极阵列，用于捕获解码动态细微拇指动作的高分辨表面肌电图。通过构筑轻量化一维神经网络深度学习算法，用于识别九种动态拇指动作和二十种静态手势。

结果：该腕戴可延展高密度肌电极阵列具有柔软透气、易于使用和机械可靠性高等优势，并能够低成本快速制备，以满足大面积高密度覆盖多个肌肉的实际使用需求。在实际场景中，无线腕戴可延展高密度肌电极阵列表现出快速、精

确的拇指控制交互能力，能够熟练地管理数字平台和沉浸式游戏控制中的人机通信。

结论：本文报道了一种无线腕戴可延展高密度肌电极阵列，并展示了其在准确分类各种细微拇指动作和拇指控制的人机交互方面的潜力。通过全面比较信号信噪比和识别精度，我们强调了腕式肌电信号相对于传统前臂信号对解码动态精细拇指动作的重要性。通过策略性地优化电极设计和放置位置，并利用拇指无与伦比的移动性，本文工作弥合了神经肌肉活动和细微拇指动作之间的差距，并为新兴的沉浸式人机交互开辟了一条新途径。

关键字：腕戴；高密度肌电；人机交互；

ID 1755

细胞间质液的纳米微针检测：微创高精度健康监测的创新方法

柳程皓、魏珊珊、陈真诚
桂林电子科技大学

目的：穿戴式传感器通过连续检测生物标志物对人体健康情况进行评估，在人体长时段健康检测的应用中至关重要。然而，传统穿戴式传感器在检测无创性和检测精度等方面存在不足。为应对这些挑战，本研究探讨了基于纳米微针（MNs）技术对细胞间质液（ISF）进行特异性检测的潜力。

方法：MNs起初用于药物递送，其凭借微尺度特性能够有效穿透皮肤屏障，显著减少疼痛与组织损伤，适用于微创和高精度的检测。ISF作为富含生物标志物的皮下液体，其成分与血液样本标志物相似，采集过程更具微创性且生物标志物成分稳定，适用于连续、实时的健康监测，具有极高的临床应用价值。

结果：通过MNs技术提取ISF，不仅减轻了采样过程中的不适感，也提高了检测的灵敏度和特异性，确保了数据的准确性和可靠性。MNs技术在ISF检测中也展现出显著优势，其小型化提升了传感器的便携性和使用舒适度，其微创性和高灵敏度使其能够在复杂环境中具有良好的适应性。用于ISF检测的不同MNs器件，其材料、结构、制造以及应用等方面的不同也展示出相应的优势与不足。通过与先进智能穿戴设备相结合的集成化MNs能够实现实时的数据传输和分析，从而实现高灵敏度的长时段人体健康监测。

结论：本研究旨在通过MNs技术用于ISF中特异性生物标志物的创新检测，推动高精度、微创的穿戴式传感器在人体健康监测中的广泛应用，为实现更高效、更便捷的健康监测提供新的解决方案。在此基础上，进一步展望生物传感器用于人体健康监测的前景与趋势，为当前微创高精度健康监测的发展提供有益参考与建议。

关键字：纳米微针；细胞间质液；人体健康监测；生物传感器

ID 1779

Vertical-Separated Dual-Channel Artificial Synaptic Transistor

Jiaqi Liu,Wentao Xu
Nankai University

Objective: Inspired by the antagonistic and cooperative mechanisms of multiple neurotransmitters (such as amino acids and acetylcholine) in biological nervous systems, this study designed a vertically separated dual-channel three-terminal synaptic transistor. The device comprises an organic semiconductor C8-BTBT thin film and an inorganic IZO thin film, enabling four reconfigurable operational modes under different combinations of source-drain and gate voltages. This allows for the switching between forward and reverse long/short-term plasticity and various neural behaviors such as muscle memory.

Methods: This device is prepared using a layered solution spin-coating method, with the following steps: First, zinc acetate dihydrate ($Zn(CH_3COO)_2·2H_2O$) and indium nitrate hydrate ($In(NO_3)_3·xH_2O$) are dissolved in a weight ratio of 19:1 in trichloroethylene. The mixture is stirred at room temperature for 12 hours to form the IZO precursor solution. Next, this solution is spin-coated onto a SiO_2 substrate at 4000 rpm for 40 seconds, followed by a 1-hour calcination at 500 °C in a muffle furnace, resulting in the formation of an approximately 22 nm thick IZO solid film. Subsequently, a chlorobenzene mixed solution containing 0.4 wt% PMMA and 2 wt% C8BTBT is prepared and spin-coated onto the SiO_2/IZO substrate at 4000 rpm for 40 seconds. The prepared wafer is then inverted and placed on top of an upright beaker filled with chlorobenzene, and heated to 120 °C for 1 hour to remove residual chlorobenzene. Afterward, the wafer is annealed at 60 °C in a nitrogen atmosphere to ensure the orderly arrangement of C8BTBT molecules, thereby forming a high-quality organic semiconductor film. Next, a 60 nm thick source-drain gold electrode is deposited onto the wafer surface using thermal evaporation through a rectangular mask, which measures 4mm in width and 100 μm in length, ensuring high conductivity and stability of the source-drain electrodes. Finally, an ionic gel top-gate dielectric layer is prepared using a mass ratio of 1:3 of poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) (PVDF-HFP) and the ionic liquid EMIM-TFSI, which is transferred to the device's channel area. A tungsten probe is then used to apply presynaptic spikes, completing the device fabrication.

Results: The device exhibits distinct ambipolar charge transport behavior, where the presynaptic (VGS) and postsynaptic (VDS) inputs significantly influence the PSC. At low drain biases of ±0.5 V and gate pulses of ±4 V, both electron and hole-induced PSC (e−-PSC and h+-PSC) can achieve high current levels up to several hundred microamperes. Repeated voltage sweeps from −4 to 4 V reveal substantial hysteresis, indicating a high capacity for charge carrier trapping. The type of charge carriers in the conductive channel is determined by the polarity of the presynaptic input, while the direction of current flow is governed by the postsynaptic voltage. Negative VGS causes anions to gather around the conductive channel, leading to hole-dominated transport (HDT), whereas positive VGS results in cation aggregation, facilitating electron-dominated transport (EDT). Applying a VDS with opposite polarity to VGS reduces the injection barrier between the gold electrode and the active layer, thereby enhancing the PSC. Short-term plasticity (STP) and long-term plasticity (LTP) both represent the strength of neural plasticity, with biological synapses exhibiting different functions based on their STP and LTP characteristics. When subjected to 30 negative spikes, PSCs induced by hole charge carriers initially showed a transient decrease, followed by a significant increase, and returned to baseline within less than 1 second after the bias was removed—demonstrating typical STP behavior. Conversely, with 30 positive spikes, PSCs induced by electron charge carriers increased directly and, after the bias was removed, persisted for more than 5 seconds, maintaining a gain current of over 45%—indicative of LTP.

Conclusion: This study developed an artificial neuromuscular system with multiple response mechanisms, where the core synaptic unit simulates the competition between two excitatory neurotransmitters. By adjusting the external environment, the system can switch the dominant carrier characteristic between electrons and holes, thereby achieving various forms of synaptic plasticity. This system provides new insights for the development of next-generation artificial intelligence applications in cognition, auditory processing, memory, and motor neural information processing.

Key Words: Synaptic transistor; Artificial fferent erve; Bipolar

ID 1917

可拉伸超声阵列介入下的骨折愈合

刘航[1]、丁舒辰[2]、林欣怡[1]、王苏浩[1]、王跃[3]、封志云[3]、宋吉舟[1,4]

1. 浙江大学工程力学系，软物质研究中心，浙江省软体机器人与智能器件重点实验室，浙江大学脑机智能国家重点实验室
2. 中国人民解放军联勤保障部队第九零三医院骨科中心
3. 浙江大学医学院附属第一医院骨科，脊柱实验室
4. 浙江大学医学院附属第一医院康复医学系

目的：超声治疗越来越被认为是一种促进骨折愈合的非侵入性和有效的方法。然而，传统的刚性超声探头往往体积

庞大，需要繁琐的手动操作，并且在使用过程中可能引发不利的副作用，这限制了其在骨折愈合中的应用。

方法：在本研究中，我们开发并验证了一种可拉伸的超声阵列，旨在克服这些限制并加速骨折愈合过程。通过微纳加工工艺和异质集成转印技术制备该器件。该可拉伸的超声阵列由高性能1-3型压电复合材料作为换能器，具有岛桥结构的多层蛇形金属薄膜作为电路互连，柔软的弹性体薄膜作为封装层，以及低固化剂比例的聚二甲基硅氧烷（PDMS）作为粘合层构成。这种设计提供了超过15%的拉伸性，便于与皮肤的轻松结合，消除了繁琐的手动操作需求，从而提供了一种方便且高效的骨折愈合工具。

结果：本研究包括超声阵列的制造，并将其应用于大鼠延迟愈合骨折的股骨。施行超声治疗，并在六周期间观察骨痂生长和骨折愈合的进展。为了评估治疗的有效性，测量了各种骨质量指标，如骨模量、骨密度、骨组织/总组织体积和骨小梁厚度等。结果显示，骨折愈合显著改善，治疗六周后骨模量增加615%，骨密度增加30.2%，骨组织/总组织体积增加39.4%，骨小梁厚度增加35.7%。使用苏木精-伊红和马松三色染色的组织学检查显示，骨桥蛋白（OPN）和成骨相关转录因子2（RUNX2）的表达增强，从而促进了成骨细胞分化、骨形成和重塑。

结论：可拉伸的超声阵列能够显著加速骨折愈合并增强各种骨质量指标，使其成为临床和研究应用中的有效工具。该研究突显了应用先进超声技术在医疗应用中治疗骨折的潜力。未来的努力将集中于优化超声剂量以实现最佳治疗效果，进一步增强该技术在骨折愈合中的实际应用。本研究为使用先进的超声技术改善骨折愈合提供了一种有前景的方法，开创了在医疗应用中的工程机会，并有可能改变骨折的治疗方式。

关键字：骨折愈合、可拉伸超声阵列、延迟愈合模型、骨折治疗、成骨细胞分化

ID 2053

耳内柔性三维附壁螺旋形神经电子器件设计与应用

王宙恒、史楠林、冯雪
清华大学

目的：精准、实时连续获取脑电信号（EEG）在人机混合智能、临床脑疾病诊治等领域具有重要的意义。然而，颅骨的存在影响了EEG的获取，外耳道的腔道有望削弱颅骨对EEG的衰减作用，且所受运动干扰低，可更加有效的记录颞叶、顶叶及枕叶等脑区的神经活动。然而，外耳道内部蜿蜒曲折的几何形貌及因人而异的特点，对力学、材料、界面及电子器件的设计提出了极高的挑战。

方法：本研究基于形状记忆聚合物和平面微纳加工制备技术，发展了模量可调节、形态可重构的耳内柔性三维附壁螺旋形神经电子器件。该器件以小螺旋的构型深入外耳道，在电热驱动下膨胀并变形为预设大螺旋构型，受到耳道内壁的约束后自适应地贴合于耳道内表面。围绕该器件分别开展了基于稳态视觉诱发电位（SSVEP）和鸡尾酒会效应的视觉及听觉脑机接口（BCI）研究。

结果：对于九目标SSVEP，耳内导联在相应的刺激频段呈现峰值，分类准确率可达95%（8s），信息传输速率可达37 bpm，为已报道的耳-BCI中性能最高值；40目标SSVEP-BCI在线系统，受试者仅依赖耳内导联无训练成功打出“THU”、“INEAR”和“BCI”的短语。对于听觉BCI，结果表明，基于该器件的分类正确率可达84%。

结论：该器件的设计与成功制备为开发适用于三维复杂表面/结构的柔性电子器件提供了崭新的思路，同时其在视觉及听觉BCI中的应用提升了BCI的易用性与泛用性，推动了可穿戴电子和隐蔽通讯的发展。

关键字：柔性三维神经电子器件，脑电信号，脑机接口技术

ID 2178

基于磁性水凝胶的双模态信号无线感知器件研究及其在胃部的应用

袁月辉[1]、胡本慧[1]、顾宁[1,2]
1. 南京医科大学
2. 南京大学医学院

目的：胃肠运动障碍影响着全球约三分之一的人口，损害生活质量，对卫生保健系统负担极大。然而其症状具有非特异性，与黏膜或结构性疾病相似，仅凭单模态信号诊断的误判率较高，例如临床怀疑胃排空延迟的阳性预测值仅为29%。针对该问题我们设计并制备了一种基于磁性水凝胶的双模态信号（力学信号、pH值）无线感知器件，其具有无源及无需复杂电子电路的优势，可用于实时捕获异常胃部信号，进而协助早期精准诊断，并为后续的治疗提供反馈信号。

方法：设计具有多级跨尺度结构的磁性水凝胶，通过对微球与水凝胶网络间静电相互作用的调控，使力学信号难以传递到微球内部，pH信号只被微球响应，进而实现双模态信号感知及解耦。首先通过自由基聚合和离子络合反应，设计一种具有多级跨尺度结构的磁性水凝胶，实现对力学信号和pH信号的解耦。其中基于海藻酸钠的磁性微球响应pH变化，主体的水凝胶网络响应力学变化。其次，针对黏膜呈高度曲线，且常大幅度蠕动，导致黏膜电子难以长期驻留的问题。我们利用小分子量粘附高分子的扩散作用，结合高分子拓扑纠缠及化学键连接机制，设计主动适形贴合胃黏膜的粘附策略以增加驻留时间。

结果：通过对不同pH溶液下磁性水凝胶的循环拉伸，验证了磁性水凝胶形变和pH值的双模态响应能力。此外，对接枝有壳聚糖的磁性水凝胶进行粘附测试，验证了其可稳定粘附在胃壁上，并可抗水流冲击。通过内窥镜在体外模拟递送磁性水凝胶，验证了无创递送的可能性。

结论：我们设计了一种具有多级跨尺度结构的磁性水凝胶，并使多级响应网络间互不干扰，实现了对力学和pH双模态信号的感知及解耦，可通过提高诊断准确性、和扩大患者群体的可及性以助力胃肠道疾病管理。

关键字：黏膜电子，无线信号感知，磁性水凝胶

ID 2239

面向可穿戴医疗的光电传感系统设计及信号解算方法

周远志、徐伟良、陈叶珅、纪权宇、邹志彬、李昕明
华南师范大学

目的：随着医疗、运动、人机交互、虚拟现实等领域的发展，可穿戴传感技术在智能感知系统中的价值愈加凸显。可穿戴的光电传感器基于光电信号与柔性组织的形变的映射，实现对生理活动的感知。但生理活动、柔性组织形变与光电信号之间复杂的物理联系为光电传感器的准确感知带来了挑战。本报告将重点介绍面向可穿戴医疗的光电传感系统开发的相关工作，从硬件结构设计以及信号解算方法两个角度，建立光电信号和生理活动的准确映射，从而助力于可穿戴医疗传感的发展。

方法：面向可穿戴医疗的光电传感器针对复杂生理活动的感知难题，团队主要通过硬件设计构建生理活动的信号特征，并通过信号特征分析结合机器学习算法，实现信号的解耦、计算，实现对生理活动的准确感知。例如硬件上通过调节多个应变传感器的空间构形，诱导传感器的空间差异特征，或是在光学传感系统中引入光学起偏检偏结构，构建传感器的信号选通机制；结合软件上开发多支路、多头注意力机制的算法，实现复杂特征信号的解耦，并建立与生理活动的

准确映射。

结果：基于应变传感器的空间构形设计，利用多路电学信号对复合形变的解耦准确率达到95%，从而实现对人体的运动行为感知；通过引入前偏检偏设计，能够选择性地控制信号中的浅皮和深皮反射成分，利用单PPG模块实现运动行为和脉搏信号的双模传感；基于端到端算法开发了对于复杂光学信号的解耦算法，能够从单张光学图像中实现对接触物体、位置、接触力、接触姿态的解算，实现类人的“触觉感知”。

结论：总而言之，本报告将介绍面向医疗健康领域的光电传感系统的研究工作，并从系统设计、信号解算的角度分析光电传感系统在生理活动检测任务中开发的基本问题与难点。通过运动感知、触摸感知以及PPG的生理信号解析等场景展示团队工作在健康监测、人机交互领域的应用潜力。

关键字：可穿戴传感；生理活动；光电器件；信号解算

ID 2880

基于超可透气金属纳米网压力传感器的电子皮肤系统开发

韩杭[1]、罗赵雅婧[1]、蒲江山[1]、郑强[1]、曾祥堉[1]、董瑜[1]、孙晓敏[1]、滕丽晶[1]、叶川[2]、曾柱[3]、朱思勉[1]

1. 贵州医科大学，生物与工程学院（健康医药现代产业学院），贵阳，561113
2. 贵州医科大学附属医院，骨科，贵阳，550004
3. 贵州医科大学，基础医学院，贵阳，561113

目的：为实现电子皮肤系统的长期稳定穿戴，本研究开发了一种基于静电纺丝和磁控溅射技术的金属纳米网加工工艺，基于此制备了具有优良透气透湿性能的电容式电子皮肤压力传感器，开发了相应的穿戴式检测硬件，有望用于长期稳定舒适的皮肤表面压力监测应用。

方法：金属纳米网的制备工艺包括：①静电纺丝技术制备透气性柔性基底，②磁控溅射技术对基底表面进行导电图案化，③化学气相沉积技术进行耐久性改性。通过工艺和材料的调整制备了聚乙烯醇纳米纤维镀铜的亲肤电极层、P25二氧化钛增强聚氨酯纤维的介电层、聚氨酯纤维镀铜通过派瑞林加强的耐磨电极等多种金属纳米网材料，复合组装成电容式电子皮肤压力传感器。对器件进行了电气性能和传感性能的验证。利用pcap01电容数字转换器和STM32单片机开发了高度集成的穿戴式检测硬件并进行了人体穿戴验证。

结果：金属纳米网纤维直径0.5-1 μm，电极层表面电阻<20 Ω/□；传感器在0-5.4 kPa压力范围内灵敏度20.6 kPa-1（0-1 kPa）和3.8 kPa-1（1 kPa以上），5 kPa压力响应时间27 ms，恢复时间63 ms，10000次循环加载后基线漂移<8%（正压5 kPa、弯折180°），7天透气性测试>60%；利用开发的电子皮肤可穿戴系统，对不同表面（减压垫、普通床垫、坚硬表面）和姿势（躺、坐、倾斜）的受试者皮肤表面压力分布进行了探究验证。

结论：本研究成功开发了一种兼具柔软性、透气性和灵活性的金属纳米网制备工艺，通过基底材料改性和表面改性可提供自贴附、亲肤、高介电性、高耐磨性等多种性质。复合获得的电子皮肤具有优良的透气性、机械性能和压力传感性能，有望用于长期穿戴的皮肤护理及表面压力管理。

关键字：电子皮肤系统、金属纳米网、压力传感器、静电纺丝、磁控溅射

ID 3345

抗干扰高信噪比体表电极贴片与宽频生物电采集

陈士晟[1,2]、胡本慧[2]
1. 东南大学，电子科学与工程学院
2. 南京医科大学，生物医学工程与信息学院

目的：体表电生理信号监测可以实时监控人体各器官的功能状态，在临床诊断及长期健康状况跟踪中有着重大意义。然而，电生理信号低幅值、低频率、低信噪比的特点对监测手段的有效性及稳定性提出了挑战。现今临床上普遍使用的银-氯化银水凝胶电极虽然已实现低接触阻抗，但仍存在环境稳定性差和信噪比低的问题。因此，本文拟设计并制备一种高导电率、抗环境扰动的单离子导电聚电解质电极，从而避免电极耐用性差而带来的信号失真问题。

方法：通过优化聚电解质分子的极性侧链长度来协同调控电极模量和离子迁移速率，降低电极与皮肤的接触阻抗；重点研究极性基团占比对侧链-水分子氢键作用力的调控作用，进而研究其对电极保水性和离子迁移速率的影响，最终实现对电生理信号长期稳定高质量的监测。

结果：本文选择带有碳碳双键、醚键以及羧基的分子作为网络单体，选择离子半径小的锂离子作为网络内载流子。实现了电极的原位光固化、高皮肤顺应性（15 kPa, ~500%）、高离子电导率（30 mS/m）、抗脱水性（<0.5 %/h）、抗离子泄露性（p>0.05，kendall>0.96）。这些特性为该器件长期监测体表电生理信号提供基础，最终实现心电信号的超高信噪比（35 dB）。

结论：总之，本文设计了一种原位相变单离子导电聚电解质电极，通过其高离子电导率、皮肤顺应性以及抗离子泄露性实现对噪声的抑制和对环境干扰的抵抗。优异的电化学性能、超柔软及可拉伸性赋予电极实现与皮肤之间的无缝低损耗界面，提高了体表检测电生理信号的保真度。

关键字：电生理信号采集，抗离子泄漏，抗脱水，单离子导电聚电解质电极

ID 3652

生物电池与生物电子治疗器件

贾晓腾
吉林大学

目的：生物电池作为有前景的能源器件，其能量密度高、电化学稳定性好，被认为是为可穿戴医疗设备供电的理想选择。但当前对可穿戴生物电池的研究还多集中在电化学稳定性和生物安全性方面，对放电过程中电化学动态产物及电刺激的生物学效应关注较少，相关研究仍处于初步探索阶段，尚未有明确生物学机制研究。针对上述问题，本报告拟设计制备导电水凝胶作为一体化的阴极与刺激电极，构筑由生物相容电池驱动的电刺激贴片。

方法：制备了一种由丙烯酰胺单体、咪唑盐单体和导电聚合物PSS:PEDOT构成的混合导电水凝胶，由于其与组织具有良好的粘附性(100 kpa)、低界面阻抗(103 Ω)和高导电性(300 ms/cm)，可以与皮肤建立良好的保形接触，确保信号双向传递的准确性和稳定性。以导电水凝胶作为正极，聚乙烯醇/磷酸缓冲盐凝胶作为固态电解质，锌片作为负极，通过5 kΩ电阻组装成轻便可穿戴的抗菌贴片电池。

结果：以该导电水凝胶制备耦合电池电刺激抗菌装置时，该装置可以利用空气中的氧气快速充电，放电时利用电化

学反应的产物和产生的微电流对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌进行有效的杀菌，同时抑制生物膜的产生。

结论：在这里，我们制备了一种具有低阻抗、高粘附性的混合导电水凝胶并研究了其在制备耦合电池电刺激抗菌贴片的应用。以该导电水凝胶制备耦合电池电刺激抗菌装置时，该装置可以利用空气中的氧气快速充电，放电时利用电化学反应的产物和产生的微电流对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌进行有效的杀菌，同时抑制生物膜的产生。实验结果表明，该装置通过带有正电荷的电极和电化学反应产生的ROS，破坏细菌的膜电位，对细菌膜造成损伤，同时电化学反应产生的微电流干扰细菌中的电子转移增加细菌体内ROS产生，对细菌体内造成氧化损伤，导致细菌死亡，抑制生物膜的形成。该工作为实现可穿戴与抗菌治疗的一体化可穿戴电刺激贴片电池提供了一种策略。

关键字：生物电池；水凝胶；电刺激；可穿戴

ID 4153

可穿戴离电式肌肉力电耦合传感及肌力评估

李儒雅、邹佩锴、王俊瀚、樊瑜波
北京航空航天大学

目的：本研究提出了一种新型高灵敏度离电式薄膜传感器，对肌肉力学描记（FMG）和表面肌电信号（sEMG）进行同步采集并通过信号融合处理对肌力的精准评估，旨在实现长期肌肉运动状态监测及肌力评估，为运动功能康复评价以及制定个性化康复方案提供定量化参考。

方法：力电耦合传感器中压力信号使用基于PVDF-HFP聚合物和[EMIM][Otf]离子液聚合形成的离子凝胶材料实现高灵敏度传感，肌电信号由丝网印刷电极和离子凝胶的湿电极实现高信噪比信号采集。本研究由10名健康受试者参加肌力测试，利用肌骨超声测试了肱二头肌弯举和肱三头肌伸展在不同载荷下肌肉的曲率半径和厚度变化，利用本研究搭建的传感系统获取FMG和sEMG信号，探索了肌力与FMG信号之间的生理学对应关系。每位受试者的数据和特征均单独标准化，然后进行单向方差分析和基于SVR的回归模型训练以进行力量评估，并在10名肘关节损伤患者上进行了功能评估。

结果：首先，该力电耦合传感器对FMG信号采集具有高灵敏度和良好的重复性（变化<10%），sEMG信号也具有良好的信噪比（优于80dB）。其次，超声测量结果表明不同重量下肌肉曲率半径、厚度和FMG信号的变化具有相关性。最后，通过随机划分数据集并使用SVR回归模型，可以估计肌肉力量（误差小于10%）。

结论：本研究提出了一种可为长期肌肉监测及康复评估用的可穿戴传感装置，借助超声解释了FMG信号与肌肉形态之间的关系，也通过对于肌肉运动过程中的力电信号同步采集实现了肌力评估。

关键字：柔性传感，肌肉力学描记，肌电，肌力

S20
生命复杂系统的建模与仿真

ID 18

躺平的级别

刘承宜、唐璐、汪志胜
华南师范大学体育科学学院

目的：无论是中文的躺平，还是 的acedia，都以各种变奏形式流行，但缺乏科学研究。本文根据每日能量消耗模型研究躺平的级别。

方法：一个人每天的能量消耗分为食物热效应、主动活动和基础代谢三部分。主动活动新建构的靶组织称为活性组织，包括体力活动的骨骼肌或者脑力活动的神经回路。活性组织由主动活动建构，由基础代谢维持，将主动活动发展为例行活动可以维持主动活动建构的活性组织。基础代谢占比存在最小值，扣除这个最小值后剩余的基础代谢占比称为剩余能量消耗（surplus energy expenditure, SEE）。

结果：1. 一个人每天的能量消耗分为食物热效应、主动活动和基础代谢三部分，它们在每日能量消耗的占比的几何均值全生命周期守恒，对应于冯诺依曼的稳定过程，可以进行理论预测。2. 健康状态是由营养、主动活动和基础代谢三部分的有机互动构成的。3. SEE是罹患疾病的能量基础,罹患疾病通过增加SEE降低主动活动能量消耗占比。4. 躺平的SEE达到最大值，主动活动占比等于食物热效应占比。躺平个体必须从事至少一种低水平主动活动才能保持健康，网络尤其是短视频是其中最简洁的方式。5. 活性组织是一种解剖存在，级别越高，SEE越小，躺平、衰老和罢工分别维持、降低和停止活性组织活动水平。6. 阶段性躺平是积极的-无为而无不为，可以通过扩展参与活性组织活动的细胞数目提高活性组织的活动水平，可以通过维持活性组织活动水平抵抗疾病的恶化。7. 治疗降低SEE，如果配合主动活动能量消耗占比的上升，可以保卫SEE的下降成果—患者康复；如果躺平，疗效消失后SEE会重新上升-疾病复发。

结论：SEE可以表征躺平的级别。

关键字：acedia，能量消耗，几何均值，守恒量，活性组织

ID 259

群体数据驱动的神经计算认知工程应用

黄涌
广西产学研科学研究院

目的：本研究旨在探索群体数据驱动的神经计算认知工程在生命复杂系统建模与仿真中的应用。通过整合数据世界、实验室世界和真实世界的信息，建立疾病和健康状态的模型，以研究其机制并评估干预措施的效果。

方法：采用群体同步脑电图（EEG）数据，利用计算认知心理学方法，实时监测参与者的心理状态，不干扰其日常活

动。通过协作计算方法分析多主体脑-机接口（mBCI）数据，评估精神疲劳（MF）水平，以及探讨冥想干预训练（正念）对注意力和脑连接性影响机制。研究中使用了专注力网络测试任务（ANT）来测量持续注意力的变化，并通过量化评估执行ANT后的动作正确率、N1、P1、P3潜伏期和幅值协方差、Alpha节律、ERSP等指标来评估能量维持。

结果：研究发现，讲座持续18.9分钟时效果较佳，而43.1分钟则导致MF水平显著升高。群体级别的数据分析减少了个体差异的影响，提高了认知计算的效率。在冥想训练被发现可以改善持续注意力和能量维持，这一改善与大脑前额区域的脑电能量有关。研究共招募了32个冥想组参与者和45个对照组参与者，9283个trails，在冥想课程前后进行了ANT测试。在ANT表现期间收集了EEG数据。使用了重复测量协方差分析来评估冥想对持续注意力和EEG标记的影响。研究发现，参与冥想训练的正常人在持续注意力和能量维持方面有所改善，这些改善与前额区域脑电能量相关。出现了能量向前额区域移动现象。参与冥想的次数与ANT表现和EEG指标的改善呈正相关。

结论：一方面，提出的连续定量量表（CQS）为评估MF和注意力跨度提供了一种可靠、客观、无记忆和情感干扰的方法。这些发现对教育领域以及群体认知机制研究和心理健康质量的提高具有重要意义。另一方面，冥想训练的效果可能因个体差异而异，需要进一步深入研究。冥想训练可能有助于在工作压力下维持持续注意力。

关键字：群体数据驱动、神经计算、认知工程、生命复杂系统、精神疲劳、冥想干预

ID 1080

不同方向脉冲电场对胶质母瘤细胞电穿孔和电形变的影响

郭飞、罗智骏
重庆邮电大学

目的：胶质母瘤(GBM)是成人中最具侵袭性和最常见的原发性恶性脑肿瘤，约占神经胶质瘤的57%和原发性恶性中枢神经系统肿瘤的48%。具有发病率高、复发率高以及死亡率高的特点。近年来研究发现纳秒脉冲电场具有很高的皮肤穿透性和低神经肌肉效应，在GBM细胞的治疗中展现出了巨大的潜力。而纳秒脉冲方向变化对GBM细胞的电穿孔和电形变效应的影响并不明确，特别是三维不规则细胞的电穿孔模型研究较为匮乏。因此，我们建立了三维GBM细胞模型，研究了不同方向电场对细胞电穿孔效应的影响。

方法：为了还原最真实的细胞形态，我们使用细胞膜染料对GBM细胞进行染色，然后通过共聚焦显微镜对细胞沿Z轴方向进行层扫，每0.3 μm获取一张荧光图像。之后提取每张荧光图像中的细胞膜边界，对每个边界进行平滑处理之后，在COMSOL Multiphysics软件中用loft算子完成三维GBM细胞的重建。

结果：研究发现，当脉冲电场方向平行于Z轴时，GBM细胞平行于Z轴的部分更容易发生电穿孔，而垂直于Z轴的部分不发生电穿孔。对于平行于X轴和Y轴的脉冲电场也具有同样的规律。此外，我们还发现不同方向的脉冲电场也会影响GBM细胞发生形变的方向。当脉冲进入时，GBM细胞沿电场线方向会向内收缩，而垂直于电场线方向则会向外拉伸。

结论：不同方向的脉冲电场对GBM细胞的电穿孔和电形变的影响较为显著。电穿孔效应主要发生在平行于电场线方向，而不发生在垂直于电场线方向。GBM细胞在平行于电场线方向会向内收缩，垂直于电场线方向会向外拉伸。

关键字：三维细胞重建，脉冲电场方向，电穿孔，电形变

ID 1429

守恒量在学生体测与学业成绩中的全面运算

王译霆[1,2]、刘承宜[1]
1. 华南师范大学 体育科学学院
2. 惠州学院 体育学院

目的：体测成绩与学业成绩关系相关研究已持续多年，但目前尚未有相关研究以守恒量观点进行全面计算。因此本研究根据定量差异引入守恒量的概念，用几何均值进行定量整合，运用健康标尺与易流找出数据中的守恒量并建构相关理论。

方法：假定复杂系统的N个参数进行了M次测量，每次测量，N个参数的几何均值称为结构时中；每个参数的M次测量的几何均值称为功能时中。从疾病到健康，上升的参数称为阳性参数，下降的参数称为阴性参数，两类参数对冲可以维持结构时中守恒；将其中的阴性参数取倒数，然后联合阳性参数所计算的几何均值称为健康标尺。如果结构时中守恒，每个数据分别横向除以结构时中和纵向除以功能时中，所得数据流称为易流。健康标尺可以准确地将没有差异的学生归类在同一组，进而对整体进行统计分析；易流能确定数据流的守恒一致性与连续性，若能找到数据流中的守恒量，便可建构理论。本研究选取台湾地区北中南各一所高中的学生作为研究对象，并以学生的学业成绩以及体测成绩进行运算与统计。

结果：１．健康标尺可以准确的找出参数间的互动关系，进而提高相关性。２．将学业成绩直接与体测成绩比较或将学业成绩分为文科以及理科后再与体测成绩比较，健康标尺都能稳定呈现结果。３．易流的运算在不同性别、年级、人群都有相同的结果。４．根据易流结果，学生体测成绩与学业成绩的关系共分为六种区块，每个区块的参数互动关系皆不同。

结论：１．健康标尺能准确地且稳定的找出数据流间的关系。２．易流能找出数据流中的守恒量。３．学生的体测与学业成绩并非简单的线性关系。

关键字：守恒量；几何均值；台湾；成绩

ID 1624

民航飞行学员人因工程的生理守恒量分析

唐璐
中国民用航空飞行学院

目的：本研究旨在深入分析民航飞行学员在人因工程中面临的生理守恒量问题。通过探讨飞行训练过程中飞行学员的生理反应，本研究旨在揭示在飞行任务执行中，特别是在长时间飞行中，飞行学员面临的生理负荷和挑战，以及如何通过人因工程的方法来优化飞行学员的工作环境和工作效率。

方法：本研究采用了多种方法来实现研究目标。首先，通过实地观察和记录飞行学员在飞行训练中的生理指标变化，如心率、血压、呼吸频率等。其次，结合心理问卷调查和飞行模拟实验，收集和分析了飞行学员在不同飞行阶段的生理和心理反应数据。最后，采用定量差异和易流统计分析方法，深入挖掘和解释数据背后的趋势和关联性，以全面评估飞行学员在飞行任务中的生理守恒量问题。

结果：研究结果显示，在长时间和高强度的飞行任务中，飞行学员的生理负荷显著增加，体现在心理疲劳、身体疲劳和注意力分散等方面。具体而言，飞行学员的心率和血压在飞行任务进行中普遍呈现出增加的趋势，同时呼吸频率和

注意力水平也有所波动。这些数据表明，飞行学员在飞行任务中面临的生理负荷不仅会影响其身体健康，还可能对飞行安全产生潜在影响。

结论：综上所述，本研究强调了在民航飞行学员培训和操作中，人因工程设计对于优化生理守恒量的重要性。通过改善座舱设计、优化飞行任务安排、提供有效的休息和饮食支持等措施，可以有效减轻飞行学员在飞行中的生理负荷，提升其工作效率和飞行安全性。这些结论对于民航业界在提升飞行学员训练质量和保障飞行安全方面具有重要的理论和实际意义。

关键字：民航飞行学员、人因工程、生理守恒量、飞行安全、飞行训练

ID 1848

HIIT联合甘氨酸对衰老骨骼肌铁死亡和转录组的影响

李方晖
南京师范大学体育科学学院

目的：探究高强度间歇运动（High-ntensity Interval Training, HIIT）联合甘氨酸对衰老骨骼肌铁死亡和转录组的影响。

方法：采用以及19月龄雄性C57BL/6小鼠，分为4组：老年安静（OSED）、HIIT、HIIT联合甘氨酸（HG）、老年安静补充甘氨酸（OG）。甘氨酸补充组每天1次、每周5次灌胃给药甘氨酸溶剂，每次给药剂量为50 mg/100g体重。30%Vpeak热身5 min，80%Vpeak运动4 min，50%Vpeak间歇2 min，重复6个周期后30%Vpeak跑4 min后结束，共45 min，共干预8周。测试运动过程小鼠体重、最大前肢抓力、四肢抓力及最大跑速。比色法检测腓肠肌MDA、LPO、T-GSH、GSH和GSSG含量。TUNEL染色检测肌细胞凋亡；免疫荧光染色观察肌纤维横截面积、4-HNE和SLC25a25蛋白表达。Western blot和RT-qPCR检测铁死亡相关蛋白表达。RNA-seq检测腓肠肌转录组变化。

结果：与OSED和OG相比，HG组小鼠体重显著降低，最大抓力及最大跑速显著增加；HG组CSA显著增加，TUNEL阳性细胞数量显著降低；同时，HG组MDA、LPO水平显著降低，而SOD活性、GSH含量、GSH/GSSG比值显著增加。WB显示，TRIM63和FBXO32蛋白表达显著减少；铁死亡负向调控蛋白GPX4与SLC7a11蛋白表达上调，铁死亡标志蛋白HO-1与4-HNE蛋白表达下调。RNA-seq显示；与O组相比，OG组共筛选出713个差异基因。与H组相比，HG组共筛选出107个差异基因。KEGG分析显示，SLC25a25介导的氧化应激可能参与HG对铁死亡的抑制作用。

结论：HIIT联合甘氨酸能够有效降低衰老骨骼肌铁死亡，其机制可能与SLC25a25调控Ca2+摄取并诱导氧化应激有关。

关键字：HIIT; 甘氨酸；铁死亡；衰老骨骼肌

ID 1898

肝脏AMPK对不同运动情境的响应方式及其蛋白质构象解析

漆正堂
East China Normal University(CHN)

目的：采用1次急性运动和6周长期训练两种方案，探讨肝脏AMPK在不同运动情境下的响应方式及蛋白质构象变化，从而揭示AMPK可能存在的多种活性状态，为急性运动、运动适应中的能量代谢应激提出新的理论模型。

方法：采用非靶标代谢组学检测急性运动小鼠血清代谢物变化；采用磷酸化蛋白质组学检测急性运动小鼠肝脏磷酸

化蛋白以及修饰位点；采用实时荧光定量PCR技术检测所有小鼠肝脏AMPK不同亚基mRNA水平；采用Western Blot技术检测所有小鼠肝脏AMPK多位点磷酸化；采用分子对接技术预测AMPK结合能量代谢物肌酸或乳酸时的蛋白构象特征。

结果：（1）在定量的3000个磷酸化蛋白中共有9452个磷酸化多肽。与静息组相比，急性运动后表达显著上调的多肽有298个，显著下调的多肽有44个；恢复1小时后表达显著上调的多肽有1376个，显著下调的多肽有26个；恢复24h后表达显著上调的多肽有715个，显著下调的多肽有30个。

（2）分子对接实验预测，肌酸与AMPKγ1-Glu295残基对接形成最佳构象，结合能是-3.46kcal/mol，含2个氢键相互作用，键长分别是1.9A和2.4A。乳酸与AMPK的Lys12、Arg10和Gly9残基对接形成最佳构象，结合能是-3.45kcal/mol，含5个氢键相互作用，键长分别是2.3A、2.5A、2.0A、1.7A、2.1A。

结论：（1）急性运动诱导AMPK除α-Thr172外的多个位点磷酸化，包括α1-Ser506、β2-Ser107、γ2-Ser113和γ2-Ser138，进而调节下游信号通路。这表明α-Thr172磷酸化并不是AMPK激活的唯一标志。

（2）急性运动促进肝糖原分解和甘油三酯的短暂合成，诱导代谢物向产生ATP的分解代谢过程发展，能量代谢物如肌酸、乳酸可通过氢键等相互作用结合在AMPK的活性口袋，稳定其蛋白活性构象。

关键字：肝脏；AMPK；运动；响应；蛋白质构象

ID 2527

基于人体不对称视角的慢性踝关节损伤评价模型

李跃程[1]、张磊[2]
1. 华南师范大学
2. 广东二沙体育训练中心

目的：慢性踝关节不稳定患者容易反复发生踝关节扭伤，影响其运动参与和运动能力。功能表现测试的对称指数用于慢性踝关节不稳定患者的康复评估，以评估受伤患者重返运动的准备情况。但人体四肢之间先天就存在了不对称性，一方面是人体的肢体间存在先天的不对称，另一方面是单侧损伤对于肢体间对称性会造成影响，两方面的因素的叠加影响了使用对称指数这一标准来评估慢性踝关节不稳定患者损伤和康复情况的有效性，这对于评估和管理慢性踝关节不稳定患者以及预防损伤复发非常重要。本研究的目的是评估慢性踝关节不稳定患者功能表现测试对称性的差异，来构建对于慢性踝关节损伤的评价模型。

方法：将优势侧损伤的慢性踝关节不稳定患者30例纳入Dominant，D组;30例非优势侧损伤的慢性踝关节不稳定患者纳入Non-dominant，ND组;CAI组是上述两组的总和。按随机顺序完成 FMS测试中的下肢测试、Y-平衡测试、睁眼和闭眼的单脚稳定性测试、力量测试。计算单侧各测试项目得分，并计算对称指数。

结果：1.在研究单侧慢性踝关节不稳定患者的对称性时，需要仔细区分研究对象的损伤侧是优势侧还是非优势侧，以减少肢体间先天不对称性对数据造成的影响。2.优势侧损伤的慢性踝关节不稳定患者比非优势侧损伤的慢性踝关节不稳定患者表现出更好的肢体间对称性，这可能是由于先天肢体间不对称所致。

结论：因此，优势侧慢性踝关节不稳定的患者不应将固定数值的对称性作为康复评估的指标，应该根据个体受伤前后的肢体间对称性来建立个性化的评估模型。

关键字：慢性踝关节不稳定患者，对称性

ID 2640

易经算法

刘承宜、候骏
华南师范大学体育科学学院

目的：现代科学中，自然科学在不断进化，但数学定理一旦证明，就无法否定。易经是中华文化的群经之首，之所以历久弥新，可能在于拥有与数学同样的定位。易经还是分析心理学的经典。荣格将心理现象分为意识、个人无意识和集体无意识，并且认为64卦就是集体无意识可读的心理原型。早在17世纪，莱布尼兹就用0和1表述了易经64卦。后续研究陆续发现了易经不同的数学特征。本文分别用1与2和每日能量消耗来表述阳爻和阴爻，试图发展生活范式的易经表征。

方法：1. 用1和2分别表示阳爻和阴爻，将卦象表达为数据。引入两套不对称加法。加法1为：1⊕2=2和2⊕1=1。加法2为：1⊕2=1和2⊕1=2。2. 一个人每天的能量消耗分为食物热效应、主动活动和基础代谢三部分，它们在每日能量消耗的占比的几何均值全生命周期守恒，对应于冯诺依曼的稳定过程，可以进行理论预测。本文将阳爻和阴爻翻译为主动活动和基础代谢，将初爻为阳爻的卦代表主动活动，初爻为阴爻的卦代表基础代谢。

结果：1. 加法1的结果：64卦分为16组A类错卦对；任何卦⊠每组A类错卦对=该组A类错卦对。2. 加法2的结果：64卦分为16组B类错卦对；每组B类错卦对⊠任何卦=该组B类错卦对。3. 无论是A类，还是B类，每一组错卦对代表一种生活范式。每个人一生拥有同一种生活范式，拥有平均寿命。修行可以通过改变生活范式延长寿命。4. 精进逐渐提高主动活动水平，主动活动卦中的阴爻代表躺平，精进将阴爻转化为阳爻，可以通过改变错卦对类型延长寿命。5. 消除执念降低基础代谢水平，基础代谢卦中的阳爻代表执念，消除执念将阳爻转化为阴爻，可以通过改变错卦对类型延长寿命。6. 根据卦象数据可以将32种错卦对排序，得到错卦对能级。

结论：错卦对可以表征生活范式。

关键字：易经，加法，能量消耗，范式

ID 2658

新泓能AI踏板

杜文康
广东御天正康生物科技有限公司

目的：中医讲究系统，AI人工智能拓扑节点，正好产生强大互补。生命体征关键数据递归监测，能够让阴阳五行平衡的中医宏念落到实处。大脑皮层识别，下丘脑输出指令，系统组织器官形成新规律，把这些变化规律抓住，实施数据递归监测，与中医大数据模型进行匹配结论。

方法：基于空间环境远红外线热源，以坐姿让心率变异的模拟静态运动方式，适时补充水分。9-13微米的光波环境称之“阳”，期间补充的水量称之“阴”。把生命体征以五行“木火土金水”，对应拟合5个监测隐藏层“体质、活力、自愈力、循环、代谢”。以阴阳平衡为主导，以五行胜复为机制。

微电和光电为感知机采集数据，经大数据模型得出：BMI、体脂率、肌肉率、水分、骨重、基础代谢率、内脏脂肪指数、皮下脂肪、蛋白率、身体年龄、标准体重、体重控制量、脂肪量、去脂体重、肌肉量、蛋白量、肥胖等级、体型、身体得分、心率、血氧、微循环等。

用卷积神经网络算法，对拟合5个隐藏层权重和阈值进行识别，以马尔可夫时序，结合贝叶斯法则，重新规划生活方

式和健康训练环境变化值。

结果：实践测评，基本与其身体状况总评吻合，受试者非常认可该总评身体现状。受试者中，健康者更注重健康，不健康者却越不注重健康。于是，把不健康者的健康测评跟不健康因素再次结合，把不健康者的评分压低了10分，让他有危机感主动寻求健康。

结论：AI人工智能是一整套完善决策，它不应该只是冰冷的科学产物，它更应该是有烟火气的人间智慧同伴。虽然，目前我们还没能力把权重点设计出像ChatGPT达到2000亿个的水平，也没有加入深度学习的反向传播和交叉熵进行梯度下降，只是前馈自动、反馈手动方式。但中西结合的五行数据模型建立，一定会有益于中医大数据模型完整。

关键字：AI踏板，数字中医，训练环境，五行模型

ID 2895

阿尔兹海默症的肠-脑轴类器官芯片系统构建与应用

田甜、刘鋆、朱贺
重庆大学生物工程学院

目的：近年来越来越多的证据指向肠道可通过微生物和大脑产生双向通信，并引起阿尔兹海默症（AIzheimer’s disease, AD）相关病理状态的改变。目前，科学家主要通过动物模型和临床受试者对此进行研究，然而以上模型中很难精确定制微生物代谢物的实验参数且快速捕获它们对复杂脑结构病理状态的影响。亟需建立一个与人类生理病理相关性良好的、实验变量精准可控的肠-脑轴系统生物学模型，以深度挖掘微生物代谢物在AD发生发展过程中的作用机制。

方法：本文基于类器官芯片技术模拟肠-脑间的多器官通信并建立AD生理病理模型，将计算机数值仿真技术及微流控技术等工程化手段与干细胞来源的类器官诱导技术相结合，在多器官系统中仿生复杂动态微环境，从而研究肠-脑之间的分子通信机制。

结果：肠-脑轴中微生物及其代谢物经由体循环影响AD病理状态的过程中，涉及到的关键生理结构包括：生物屏障（肠道屏障、血脑屏障）和脑，故多器官芯片系统由以上子模块一体化耦合而成。

首先通过多物理场仿真技术构建具有仿生氧浓度梯度的肠道生理微环境，屏障的跨上皮电阻值可达到928.8 Ω·cm2，实现了需氧肠上皮层与严格厌氧菌超过一周的稳定共培养；在血脑屏障微通道中模拟生理水平剪切力（0.375 dyne/cm2），同时共培养脑微血管内皮细胞与星形胶质细胞，高度仿生体内微环境；其次，由人诱导多能干细胞衍生类脑器官并在芯片上实现超过4个月的类脑器官的高通量培养，并进一步诱导阿尔兹海默症的病理特征表达。在相同发育阶段，芯片上脑类器官的平均直径比常规培养方式大20%，形态差异平均小14%，实现了脑类器官的低异质性、高成熟度；最后，基于上述子芯片模块，结合多模块双层一体化设计、微流体多路混合和多出入口集成系统，构建符合人体生理结构和功能的肠-脑轴多器官芯片系统。

结论：本文针对AD建立全新的肠-脑轴高仿生模型，为相关药物筛选及疾病机制研究提供创新模型体系和系统解决方案。

关键字：类器官芯片系统；体外建模；肠-脑轴；阿尔兹海默症

ID 3135

针刺治疗闭经的时间模式探讨

Feizhi Mo
Hong Kong Academy of Chinese Medicine

目的：从人体气血发生、成长、转化、收敛、封藏的循环角度上看，如果发生、成长、转化不及，会导致气血不足；或收敛、封闭潜藏太过，会导致气滞血瘀。这两方面的循环障碍都可以导致闭经。本文根据闭经与脾统血的理论，选取脾经的穴位为主，在脾脏气血旺盛的时间，进行针刺治疗，探讨按照脾脏气血旺盛的时间针刺的理论和实践的程序和模式。

方法：在所治疗的31例闭经患者中，部分患有子宫肌瘤、巧克力囊肿、脑垂体腺瘤、多囊卵巢综合征等等；年龄在28 - 45岁之间。1. 穴位选择：阴陵泉为脾经的合穴，合穴具有封闭潜藏的特性，针刺阴陵泉的信息就是为了减弱太过的封闭潜藏，同时刺激血海以加强渗泄的信息，刺激地机以启动渗泄机关的信息，刺激三阴交的信息以调动肝、脾、肾的协同作用。要恢复正常的月经周期，就需要大脑皮层、下丘脑、垂体、卵巢、子宫等功能的协调互动，选取生殖区、血海、阴陵泉、地机、三阴交，均双侧。2. 子午流注纳子法：在脾脏经络气血旺盛的时间巳时（上午9 - 11时）进行针刺治疗。常规消毒后，用1寸针刺入穴位后，连接电针仪，用连续波，2 - 3 Hz，留针20分钟。然后，左右血海穴进行强刺激手法约30秒，患者感觉酸胀痛，然后拔出所有的针，完成治疗。1次/周，3次为1个疗程。

结果：12例患者在第1次治疗后1或8小时之内行经，19例患者需治疗2 - 3次行经。

结论：按照脾脏气血旺盛的时间针刺，调动恢复月经来潮的信息，取得较好的疗效，其中脏腑气血旺盛的时间节律的理论模式，值得深入研究和推广

关键字：闭经，子午流注，针灸，时间医学，气血旺盛节律

ID 3334

基于微生物-肠-脑轴器官芯片的抑郁症体外模型构建及其应用研究

郝梓凯[1]、王文鑫[2]、赵子玥[1]
1. 北京理工大学
2. 北京航空航天大学

目的：研究发现抑郁症的发生与微生物-肠-脑轴密切相关。然而，目前对抑郁症与微生物-肠-脑轴的研究主要使用动物模型或临床试验，由于宿主全身系统的高度复杂性难以严格控制单一实验变量、个体差异性大、实验周期长、伦理性等问题，使得肠道微生物组相互作用、宿主与微生物组相互作用、抑郁症与肠道菌群间的相关/因果关系和作用途径还未十分明确。因此，本研究基于器官芯片构建抑郁症体外模型以克服体内模型的不足，并借助其开展抑郁症与肠道菌群间相关/因果关系及地衣芽孢杆菌调节抑郁症的作用机制研究。

方法：本研究设计了一个模块化的双通道、双腔室的器官芯片模型，基于此构建了肠道单元、血脑屏障的流入和外排单元以及大脑单元，进一步基于微流控技术传送营养物质和创造不同氧气环境实现了人肠道上皮细胞和肠道微生物的共培养，并将这些单元连接实现体内微生物-肠-脑轴的代谢、免疫和激素等信号传导过程的模拟。将代表性抑郁症肠道菌群引入上述构建的芯片，建立了抑郁症肠道体外模型，并借助其开展抑郁症与肠道菌群间相关/因果关系及地衣芽孢杆菌调节抑郁症的作用机制研究。

结果：该抑郁症体外模型重现了抑郁症患者的肠道菌群结构，进一步产生了与抑郁症类似的肠道屏障功能降低、慢

性低度炎症反应（如IL-8显著增加）和神经递质5-HT含量降低等生理特征。并基于此模型明确了抑郁症肠道菌群变化产生的脂多糖等代谢物可能会破坏肠道屏障功能，引起炎症反应和5-HT释放减少，最终导致抑郁症的发生这一生理机制。基于构建的抑郁症体外模型进行了地衣芽孢杆菌对抑郁症的调节作用机制研究，结果表明，地衣芽孢杆菌对抑郁症肠道菌群存在显著的调节作用，改善抑郁症肠道屏障功能并降低肠道的炎症反应，对抑郁症存在一定的调节作用。

结论：本研究构建的抑郁症体外模型，可作为研究抑郁症与微生物-肠-脑轴相互作用的有效平台。这为基于微生物-肠-脑轴开发抑郁症防治药物提供了重要基础，并可作为个性化医疗的有力工具。

关键字：器官芯片，体外模型，抑郁症，微生物-肠-脑轴

ID 3378

基于深度神经网络的胚胎类器官发育过程研究

陈柯洁
昆明理工大学

目的：利用深度神经网络进行生物细胞和组织图像的分析和病理性特征识别是当前生物医学、影像学研究热点，然而在胚胎和基于干细胞的胚胎类器官研究中，由于生物样本数量稀少且受到伦理限制，目前尚难以实现将深度神经网络有效运用，深入揭示胚胎发育的动态过程和生物力学机制。

方法：在本研究中，我们利用人胚胎干细胞在体外构建三维胚胎类器官模型，模拟囊胚中内细胞群的生长分化和羊膜囊形成过程。在最长64小时培养过程中选取了10个不同时间点，采集了胚胎类器官的染色图像，利用transformer-CNN等算法进行图像分割和预处理，构建了包含超过3000张图像和标注的数据集。

结果：我们建立了基于自编码器的神经网络流行学习（deep manifold learning）算法，基于图像分析胚胎类器官的表型特征（phenotype）和隐性特征（latent feature）。结果显示仅5维的隐性特征矩阵中已包含足够多的有效信息，能通过解码器网络生成新的逼真的类器官图像；这些形态学特征和隐性特征主要在20-30、40-50小时期间发生显著变化，表明这两个时间段是类器官生长和分化的重要阶段。

结论：进一步的，我们利用混合高斯模型描述胚胎类器官在培养过程中的演化动力学，我们发现通过两个独立演化的高斯分布函数就能够较准确地拟合胚胎类器官的隐性特征的时空分布变化，表明在培养过程中干细胞球主要分化出两种类型的类器官，其中体积偏小的一类主要在50小时以后才快速发育和变化，而另一类则在30-60小时之间持续生长发育，成为体积较大的对称型中胚层类器官或者不对称的胚胎类器官。

这些工作维解析复杂多细胞体动态生长发育过程提供了新思路和新方法。

关键字：胚胎类器官，形态演化动力学，深度神经网络，混合高斯模型

ID 3493

利用智能助教从踢毽出版图书研究传统踢毽花样技术的传承

唐彦
北京大学体育教研部

目的：本文通过收集从民国以来的6本花样踢毽书籍：1934年《毽子运动》褚民谊、 1936《毽子谱》王健吾、1937

年《毽子游戏教材》鲍叔良、1955年《踢毽子》鲍叔良、 1987年郭七正《从小踢毽子》在1912年“踢毽子手稿（金幼申）”基础上完善而成、2010年《中国花毽》郭七正，研究花样踢毽的历史资料，整理花样技术，为传承传统踢毽做理论的积累。

方法：由于6本书籍其中四本书籍用繁体字出版，由北大中文学院古汉语专业硕士同学校对完成简体字稿，其中手写体的序，由北大原社科部前辈协助校对完善。把这些整理过的书籍录入智能助教系统，学生可以通过提问回答的方式，学习传承不同的踢毽花样和踢毽游戏方法。智能助教系统是基于文字的学习系统，基于文献的问答，对于答复做到有据可查，提高了大学课程的智能助教回答问题的学术性、客观性。

结果：问答系统目前并没有综合各种书籍的归纳总结的作用，系统还不能兼容图像，语音问答功能，文字答案有进一步提高完善的空间，但对于体育项目理论的研究推广已经有突破性的进步。

结论：分析书籍记载的花样踢法及命名、分类、书籍特色、综合各种书籍的踢法，整合名称，统一规范技术动作等工作需要教师人工操作，结果导入助教问学系统，可以有利于系统回答学生的提问，目前智能助教还是从属于老师的工作，是教师的得力助手，不能取代教师的科学研究工作。 从22年开始，笔者利用光学和惯性动捕了一批踢毽技术动作，建立了近100项踢毽技术的动画库。把踢毽动画库及语音对话与智能助教系统集成在一起，给学生以更好的用户体验。在后续研究中，利用语音播报书籍内容，动画演示书籍中的踢毽技术，可以让学习者快速了解图书内容，提高踢毽技术学习效率，利于传统文化的传承。

关键字：花样踢毽 出版图书 技术传承

ID 3531

发展中医身心科技 应对人类病谱改变

孙振华、徐公民
山东潍坊阳光音乐治疗研究所

目的：随着社会的快速发展和生活方式的深刻变革，人类疾病谱正经历着显著的变化。传统身体疾病逐渐减少，而心理和精神疾病的发病率却逐年攀升，成为当下及未来健康领域面临的主要挑战。面对这一转变，传统中医学凭借其深厚的理论底蕴和独特的诊疗方法，在身心医学领域展现出不可替代的价值。本文将五音（宫、商、角、徵、羽）音乐与中医经络理论相结合，为心理和精神疾病的防治开辟了新的途径。

方法：中医五音经络疗法的核心理念在于，通过五音音乐对特定经络的刺激，调和气血、平衡阴阳，进而达到调理脏腑功能、舒缓情志的目的。这一疗法不仅继承了中医的整体观和辨证施治原则，还融入了现代音乐治疗的元素，使得治疗过程更加人性化、个性化。由于这一疗法具有充分的科学性，有效性，安全性和经济性，尤其是在适用大规模人群干预方面可发挥独特作用，已成为当代医学干预精神心理障碍的有效补充，为解决抑郁症等精神心理障碍高发的世界难题提供了中国方案。

结果：本文详细阐述了中医五音经络疗法的理论基础、操作流程以及在临床实践中的应用效果。通过对比分析，证实了该疗法在缓解焦虑、抑郁、双向情感障碍、急性期精神分裂障碍等精神心理疾病症状，提高患者生活质量方面的显著优势。同时，文章也客观分析了该疗法在推广过程中可能面临的挑战，如标准化制定、疗效评估、行业接受度等。针对这些挑战，本文提出了相应的对策和设想，包括加强科研投入、建立完善的疗效评估体系、加强人才培养和学术交流等。期望通过这些努力，能够进一步推动中医五音经络疗法的发展和应用，使其在应对人类疾病谱变化中发挥更大的作用，为人类的心理健康事业作出更大的贡献。

结论：本文提出的“中医五音经络疗法”，成功地将五音（宫、商、角、徵、羽）音乐与中医经络理论相结合，通过与现代科技相结合，为心理和精神疾病的防治开辟了新的途径。

关键字：中医五音经络疗法；五音音乐；中医经络理论；心理精神疾病；整体观；个性化治疗

ID 3550

运动震荡生理机制及防治策略研究

郭思远
太原工业学院

目的：运动震荡（Sports Concussion）是指由于头部受到外力撞击或加速度变化引起的脑功能暂时性紊乱，常见于足球、橄榄球、拳击等高对抗性运动中。运动震荡不仅对运动员的短期表现造成影响，还可能对其长期健康产生严重威胁，包括认知功能下降、慢性创伤性脑病（CTE）等。尽管运动震荡的危害已广为人知，其生理机制和防治策略仍有待深入研究。目前，对运动震荡的理解主要基于其在脑组织、神经元和神经网络层面的生物学变化。然而，运动震荡涉及复杂的多系统相互作用，包括机械损伤、神经炎症反应、氧化应激和代谢紊乱等。此外，运动震荡的诊断和评估方法也在不断发展，从传统的临床症状评估到先进的神经影像学技术和生物标志物检测，为精准诊断提供了新的手段。在防治策略方面，预防性训练、防护装备的改进、运动规则的制定以及康复训练和药物治疗等方面的研究不断涌现。尽管如此，如何有效预防和治疗运动震荡，仍是一个亟待解决的难题。特别是针对个体化和智能化的康复策略研究，需要进一步深入。本研究系统探讨了运动震荡的生理机制及防治策略，旨在为其管理提供理论支持和实践指导。

方法：采用文献资料法，对既往统计数据与研究结果、结论进行梳理，简要报告运动震荡形成的生理机制及揭示其内在逻辑，并进一步提炼出行之有效的防治策略。

结果：运动震荡常见于高对抗性运动，青少年和年轻运动员为高危人群。其生理机制包括脑组织的机械损伤、神经炎症、氧化应激和代谢紊乱。诊断方法结合临床评估、神经影像和生物标志物检测，预防策略综合预防性训练、防护装备改进、运动规则实施和早期干预。康复策略应个性化，结合康复训练、药物治疗、心理支持和智能技术，促进脑功能恢复，减轻症状。

结论：未来研究应进一步揭示运动震荡的内在机理，运行逻辑，并基于此优化防治策略，提供更安全高效的健康保障。

关键字：运动震荡；氧化应激；防治策略

ID 3583

一种基于人物头颈部视频点阵AI 分析的泛癌早筛专利技术

齐中祥
沃民高新科技（北京）股份有限公司

目的：癌症是全球第2大死亡原因，中国癌症患病人群基数庞大，但癌症检出率低，患者5年生存率低。癌症的早期预防控制、早期筛查诊断和早期精准治疗是降低癌症发病和死亡的重要手段。

方法：癌症是一种高代谢疾病，机体会呈现代谢功能升高，引起机体组织细胞运动水平的显著变化，具体就体现为细胞与组织器官微振动的频率和频谱的变化。

主要技术方案包括：获取含测评对象头颈部的视频图像；根据所述视频图像确定测评对象头颈部像素点的运动振幅和震动频率；根据所述运动振幅和震动频率与肿瘤标准特征之间的关系对测评对象进行肿瘤风险辅助评估。

在这项研究中，我们开发了一种基于头颈部图像和深度卷积神经网络的泛癌风险的识别方法。该方法基于二维图像，量化了二元分类问题，并将有癌症风险的人群与健康参与者区分开来。

结果：一项基于真实世界200例病人开展的回顾性研究数据显示：

1、在检测出癌症风险的人员中，最早可提前4年预测到风险，最晚提前1年预测到风险。

2、敏感度高达93%，部分癌种敏感度高达100%。但风险检出率受入组人数、网络视频的质量（角度、光线等）、服药情况等影响；

3、未见人种差异。

结论：本技术综合运用人工智能与大数据等现代技术与传统中医的望诊与闻诊理论相结合，体现了中医理论研究的融合创新；本技术所用的方法与装备具有灵敏度高、使用简便、无痛苦、价格低廉、易于接受的筛查方法，更是一种肿瘤早筛方法的实践创新。

该技术已于2024年1月份入选东方卫视“预见独角兽”栏目，获得包括梅花创投、汉理资本等多家风险投资机构的认可。目前已取得欧盟CE认证，后续将在欧盟及中国推进医疗器械的注册事宜。

关键字：泛癌筛查、头颈部视频点阵AI分析、非侵入性检查、神经网络、深度学习

ID 3607

脉搏波形作为青少年抑郁症预测指标的有效性研究

何飞扬[1]、李云[1]、朱珠[1]、王晋中[1]、程祺[2]

1. 常州金姆健康科技有限公司

2. 常州全军904医院

目的：本研究旨在确定脉搏波形是否可以作为青少年抑郁症的可靠预测指标。青少年抑郁症是一种常见的心理健康问题，其早期识别和干预对改善青少年的整体健康和福祉至关重要。鉴于脉搏波形分析的无创性和便捷性，本研究探索了其作为抑郁症预测工具的潜力。

方法：研究于2023年10月在常州市洛阳高级中学进行，共有804名高一和高二的学生参与。使用患者健康问卷-9（PHQ-9）评估学生的心理健康和抑郁水平。为每位参与者使用无创脉搏血氧仪记录脉搏波形。收集的数据使用逻辑回归分析，以识别脉搏波形特征与抑郁得分之间的相关性。

结果：研究发现，特定的脉搏波形特征与抑郁症状之间存在显著相关性。例如，逻辑回归分析显示，对于15岁的女生，抑郁症状的严重程度（PHQ-9得分≥10）与脉搏波形参数显著相关（P=0.0003）。其他年龄和性别组也观察到类似的显著相关性，如16岁的女生（PHQ-9得分≥10，P=0.0008）和15岁的男生（PHQ-9得分≥5，P=0.0008）。这些发现表明，脉搏波形参数可以高精度地预测抑郁水平。

结论：本研究的结果支持脉搏波形可以作为青少年抑郁症可靠预测指标的假设。脉搏波形分析的无创性和易获取性使其成为早期发现和干预青少年心理健康的有前途工具。通过对脉搏波形的详细分析，我们能够在青少年抑郁症状出现前进行有效的预测，从而实现早期干预，减少抑郁症对青少年生活质量的负面影响。未来的研究应集中在优化预测模型和探索脉搏波形与抑郁状态之间的生理机制。特别是，进一步的研究需要扩大样本量，涵盖更多的年龄和性别组，以验证脉搏波形预测抑郁症的广泛适用性。

关键字：青少年; 心理健康; 抑郁; 脉搏波形; 预测指标

ID 4141

固柢自主健康、自我超越模型

姚武杰
杭州固柢生命科技有限公司

目的：身心健康改善过程中会有去病反应。练固柢也会有好转反应，或轻微或强烈。构建生命复杂系统自主健康、自我超越模型以发现规律、提升认知、仿真预测。

方法：综合运用多学科交叉、文献研究、经典研读、固柢内证体悟、群体智慧提炼、取类比象、公式推导等方法。

结果：构建固柢充气皮囊模型以表示通过扶正固本治病防病进而实现自主健康和自我超越。

假设用充气皮囊简化表示人体，内部有一个内存正气的空腔B，空腔壁装有可多级伸缩套筒T，T的顶端装有保护皮罩C,皮囊脚底有气门芯。空腔B的容积为V、内部正气量为Q、内部正气对皮罩C内部压强为Pi、外部空气对皮罩C外部压强为Po，多数情况下皮罩C内外压强动态均衡，日常消耗、熵增退化、自然衰老等使皮罩C慢性漏气，即Q缓慢减少。

皮套C在受到外部压力F时外表面局部形成压强Pof，局部Pof>局部Pi时，相应局部会向内凹陷变形，凹陷变形程度越高，皮罩C漏气速度越快，存在几种可能的内稳态——健康、亚健康、轻证、重证、崩溃等，也涉及治疗R对皮套C的对抗。

可通过脚底的气门芯向空腔B充入正气，即扶正固本、充进负熵使Q增加，内部正气越足Q越大，Pi越大，皮罩C向外绷得越紧，皮囊漏气速度越慢，也即人体效能越提升，皮罩C向外绷紧的形变存在一定阈值，超过形变阈值时，皮罩C内外形成压差D=Pi-Po，当D达到相变点Dpu时(Pi-Po≥Dpu)，量变累积形成质变(相变)，伸缩套筒T自动往上撑开一级，空腔B容量V跃升一级，依此类推，逐级进化突破/自我超越。充气过程中腔体内各组织受不同程度的振动影响也就表现出各种不同的好转反应，整体上会呈现螺旋式提升、波浪式前进趋势。

结论：正气存内，邪不可干；阴阳自和，阴平阳秘。进道若退，正言若反，反者道之动。固柢充气皮囊模型符合中华经典里揭示的规律，有助于直观形象地认识好转反应、指导健康实践。期待更多高人一起深入研究。

关键字：生命复杂系统 建模与仿真 自主健康 好转反应 固柢机器人

ID 4298

基于“经穴-脑相关”假说对钵音助眠机制的研究

赵燕平[1]、王婷婷[2]、任明[1]、吴诗婧[1]、林玛[1]
1. 华南师范大学
2. 音果空间健康管理(广州)有限公司

目的：本次研究基于中医“经穴-脑相关”假说，首次联用经穴生物电信号检测技术和功能性近红外光谱技术同步采集睡眠异常备考生原穴、八脉交会穴生物电信号和大脑皮层静息态功能连接性指标，进行失眠特征指标与相关性分析；首次以较好疗效的钵音音频助眠干预，动态观察该物理疗法短期助眠效用，并基于经穴-脑功能特征变化首次讨论其助眠内在作用机制。

方法：应用匹兹堡睡眠质量指数（PSQI）、睡眠损害指数量表（SII）等进行备考大学生筛查，联用经穴生物电信号检测技术和 fNIRS同步观测、采集受试经穴生物电信号与大脑皮层RSFC数据，分析睡眠量表因子、 经络能量值、RSFC、SII两两之间的相关性。随机抽取30名被试观察组每晚被动式钵音前、后两组进行PSQI、SII评分，联用经穴生物电信号检测和fNIRS同步观测、采集相关数据。

结果：多个失眠症状与神门穴、等多处经电信号值显著相关（P<0.05或P<0.01）；额上回RSFC与认知紊乱显著负相

关（P<0.05）、额中回RSFC与睡眠模式满意度显著正相关（P<0.05）；心经等多处经穴电信号值与多处脑区功能连接性显著相关（P<0.05或P<0.01）。钵音组可显著改善早醒和躯体功能紊乱（P<0.05），且右神门穴等生物电信号值有显著变化（P均<0.05），双侧额上回功能连接性显著降低（P<0.05）；空白对照组双侧额上回功能连接性显著增加（P<0.05），广义线性回归模型分析显示：观察组早醒会显著影响右太冲穴电信号值，早醒等得分和右太冲穴电信号值变化会显著影响双侧额上回功能连接性（P<0.05或P<0.01）。

结论：相关客观数据与相关分析则为讨论钵音助眠对机体内在响应精确定位、共振相关 途径、机制提供重要的从局部到整体多系统水平研究可能。所获结果为作为生命复杂系统的生命体在失眠状态及音乐响应下相关研究提供客观参考。

关键字：经穴-脑相关假说；同步；钵音助眠；

ID 4356

“The Longitudinal Impact of Analytic Thinking Training on Psychological Health and Performance: A Focus on High School Students and Working Professionals”

Zhuoxuan Li,Jiyun Ma
Peking University

Objective: In this longitudinal study, we examined the impact of analytic thinking training on psychological health, academic, and work performance among high school students and professionals. The experimental group showed immediate psychological health improvements, though academic gains were not significant. Long-term, the training's effect on psychological health persisted but not on performance metrics. The training notably enhanced recall and recognition, suggesting improved thinking strategy application. Results highlight individual differences in psychological interventions and the need for effective training integration into daily activities for sustained benefits. Future research should explore optimal training models and their neural correlates for broader societal implications.

Methods: Sample Selection and Grouping: The study targeted a random selection of 187 first-year high school students from two high schools and 117 working professionals from three companies within Hunan Province. These participants were further randomly assigned to either the experimental group or the control group to ensure that there were no significant differences in key variables at baseline, thereby ensuring the reliability of the study's outcomes.

Training Program: Participants in the experimental group were engaged in an analytic thinking training program designed by experts in psychology and education, aimed at enhancing participants' logical reasoning, critical thinking, and problem-solving skills.

Training Frequency and Duration: The training was conducted twice a week for 40 minutes each session over a period of six months, ensuring continuous exposure and practice of the new thinking paradigm.

Data Collection: Assessments were conducted at baseline, immediately post-training, and at one, three, and six months post-training for all participants. The evaluation tools included midterm and final science scores, psychological well-being scales, and workplace performance evaluations.

Psychological Health Assessment: Psychological well-being was assessed using standardized scales that covered various dimensions, including anxiety, depression, and life satisfaction.

Academic and Workplace Performance Evaluation: Academic performance was tracked through official midterm and final science scores, while workplace performance was evaluated using supervisor and peer assessments, along with quantifiable job performance metrics.

Statistical Analysis: Data analysis was performed using SPSS software to assess the immediate and long-term effects of the

intervention on participants.

Ethical Considerations: Informed consent was obtained from all participants or their guardians prior to the study, ensuring that the research process complied with ethical standards and protected participant rights.

Results: Immediate Post-Training Effects: Following the completion of the training program, participants in the experimental group demonstrated significant improvements in psychological health as measured by standardized well-being scales ($p < .05$).Such outcome indicates that the training had a positive and immediate influence on reducing symptoms of anxiety and depression, and enhancing life satisfaction.

Academic Performance: For the high school students, the analysis of midterm and final science scores did not yield significant differences between the experimental and control groups ($p > .05$). This suggests that while the training positively affected psychological health, its impact on academic performance, at least in the short term, was not discernible.

Workplace Performance: In contrast to the academic performance findings, the working professionals in the experimental group showed a significant enhancement in workplace performance evaluations when compared to the control group ($p < .05$). The improvements were noted across various aspects of job performance, including task efficiency, problem-solving capabilities, and overall contribution to team projects.

Long-Term Effects: The follow-up assessments conducted one, three, and six months post-training indicated that the initial improvements in psychological health were partially maintained in the experimental group. However, the long-term effects on academic and workplace performance did not show significant differences from the control group over time.

Cognitive Outcomes: A notable finding was the enhanced performance of the experimental group in recall and recognition tasks, suggesting that the training effectively facilitated the application of learned analytical strategies to novel problems ($p < .05$).

In summary, the results suggest that while the analytic thinking training intervention had a positive and immediate impact on psychological health and workplace performance, its long-term effects on academic performance were less pronounced. The training's success in enhancing cognitive outcomes such as recall and recognition indicates its potential to foster the application of analytical thinking in real-world contexts.

Conclusion: The positive impact of analytic thinking training on psychological health is evident, while its long-term effects on academic performance and work efficiency show variability. The findings of this study underscore the importance of considering individual differences in psychological health interventions and educational training, offering new perspectives for future research and practice. Further research is warranted to explore more effective training modalities and to integrate training content into daily learning and work more effectively, thereby achieving more enduring outcomes. Additionally, the potential changes in brain regions associated with long-term training in analytic thinking deserve attention and investigation. Such research could provide novel perspectives and solutions for a range of societal concerns, including psychological issues as well as academic and work performance.

Key Words: Analytic Thinking; Psychological Health; Longitudinal Tracking Study

S21
医学影像工程新技术与新进展

ID 1527

PET Imaging of Synaptic Vesicle Glycoprotein 2 Subtype A for Neurological Recovery in Ischemic Stroke

Xiaoyun Luo[1,2,3],Mei Tian[6],Hong Zhang[1,2,3,4,5]

1. 浙江大学医学院附属第二医院

2. Institute of Nuclear Medicine and Molecular Imaging of Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, 310009, China

3. Key Laboratory of Medical Molecular Imaging of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang, 310009, China

4. College of Biomedical Engineering & Instrument Science, Zhejiang, 310014, China

5. Key Laboratory for Biomedical Engineering of Ministry of Education, Zhejiang, 310014, China

6. Human Phenome Institute, Fudan University, Shanghai, 201203, China

Objective: Ischemic stroke is a devastating disease characterized by the sudden loss of cerebral blood flow, leading to hypoxic-ischemic injury of brain, and resulting in neurological deficit. Due to the weak regenerative capacity of brain tissue and limited therapeutic arsenal, stroke remains the leading cause of death and disability worldwide . Synaptic loss is a crucial hallmark of stroke, profoundly affecting the deficit of neurological functions. Establishing a noninvasive and quantitative methodology for evaluating synapse in vivo would facilitate the development of future physical and pharmacological strategies to enhance recovery after stroke. [18F]fluorodeoxyglucose (FDG) is the most widely used radiopharmaceutical to assess cerebral glucose metabolism. As a significant proportion of glucose consumption is closely coupled with synapse signaling, decreased [18F]FDG uptake can indicate a deficit in synaptic activity and neural function. However, it has been recognized that factors such as microglia activation and astroglia glutamate transport may influence [18F]FDG uptake in various neurological disorders, so that the significance of increased [18F]FDG uptake remains controversial. Recently, radiotracers targeting synaptic vesicle glycoprotein 2 subtype A (SV2A), such as [11C]UCB-J and [18F]SynVesT-1, have been developed for measuring synaptic density in vivo, and shown favorable ability to quantifying dynamic synaptic changes during disease progression. However, the potential of synaptic imaging in assessing stroke has been rarely reported.

[18F]SynVesT-1 is a novel radiopharmaceutical for assessing synaptic density in vivo. This study aims to investigate the potential of [18F]SynVesT-1 PET in evaluating neurological recovery in the rat model of ischemic stroke, and to compare its performance with [18F]FDG PET.

Methods: Sprague-Dawley rats were subjected to photothrombotic cerebral infarction, and safinamide was injected intraperitoneally from day 3 to day 14 post-stroke to alleviate neurological deficit. Cylinder test and forelimb placing test were performed to assess the neurological function. MRI, [18F]SynVesT-1 PET/CT and [18F]FDG PET/CT imaging were used to evaluate infarct volume, synaptic density and cerebral glucose metabolism pre- and post-treatment, respectively. [18F]SynVesT-1 and [18F]FDG PET images were compared with Statistical Parametric Mapping (SPM)- and region of interest (ROI)-based analysis. Post-mortem histological analysis including immunostaining and Golgi-Cox staining were performed to validate PET images.

Results: The cylinder test and forelimb placing test were used to test neurological functions of sensorimotor, spontaneous motor and forelimb asymmetry. Prior to treatment, rats with stroke exhibited significant abnormalities in both the cylinder test and forelimb placing test. Safinamide treatment significantly improved behavioral outcomes in stroke-damaged rats.

Despite the observed behavioral recovery, the infarct volume detected by MRI in the safinamide group showed a slight decrease compared to the saline group, but this difference was not statistically significant. Both [18F]SynVesT-1 and [18F]FDG PET could detect the stroke-caused injury, while the injured region was significantly larger in [18F]FDG PET than [18F]SynVesT-1 PET (16047 voxels vs. 1994 voxels). Ex vivo SV2A and GLUT1 immunostaining also identified a larger region of SV2A-positive area compared to GLUT1-positive area in the ischemia-injured cortex, which validated the PET imaging results. Compared with the saline group, radiotracer uptake in the injured area was significantly increased in [18F]SynVesT-1 PET after safinamide treatment, whereas no notable change was observed in [18F]FDG PET. In addition, [18F]SynVesT-1 PET imaging presented a better correlation with the recovery of neurological functions than [18F]FDG PET. Consistent with PET results, the intensity of SV2A in the safinamide group was significantly higher than that in the saline group ($P < 0.01$) and GLUT1-immunostaining showed no differences between two groups ($P = 0.062$). Golgi-Cox staining results indicated that safinamide treatment enhanced dendritic complexity and structural neuroplasticity after stroke. In addition, immunostaining indicated that safinamide treatment decreased the expression of GFAP ($P < 0.01$) and the number of Iba+ microglia ($P < 0.05$), while also increasing the number of NeuN-labeled neurons in the ischemia-injured area ($P < 0.01$). These findings suggest that safinamide treatment improved neurological function by attenuating persistent post-ischemic inflammation and rescuing ischemia-injured neurons. The elevated level of glial activation and the diminished neuronal numbers in the saline group may partly explain the limited correlation observed between the [18F]FDG signal and behavioral performance.

Conclusion: [18F]SynVesT-1 PET was able to quantify spatiotemporal dynamics of synaptic density in the rat model of stroke, and showed different ability to detect stroke injury and neurological recovery compared with [18F]FDG PET. The utilization of [18F]SynVesT-1 PET holds promise as a potential non-invasive biomarker for evaluating ischemic stroke in conjunction with [18F]FDG PET.

Key Words: Stroke, Positron emission tomography (PET), Synaptic vesicle glycoprotein 2A, Synaptic density

ID 1562

A β-galactosidase-activated Luminogen with Aggregation-induced Emission Feature for Cancer Senescence Imaging and Monitoring in Vivo

Peili Cen[1,2,3],Mei Tian[4],Hong Zhang[1,2,3,5,6]

1. The Second Hospital of Zhejiang University School of Medicine
2. Institute of Nuclear Medicine and Molecular Imaging of Zhejiang University
3. Key Laboratory of Medical Molecular Imaging of Zhejiang Province
4. Human Phenome Institute, Fudan University
5. Key Laboratory for Biomedical Engineering of Ministry of Education, Zhejiang University
6. The College of Biomedical Engineering and Instrument Science of Zhejiang University

Objective: Cellular senescence is a permanent state of cell cycle arrest characterized by increased activity of senescence associated β-galactosidase (SA-β-gal). Notably, cancer cells can also enter a senescent state induced by anticancer therapies and be considered for sequential treatment with pro-senescence followed by senolysis. However, there is currently no effective imaging agent targeting β-galactosidase (β-Gal) for imaging and monitoring senescent cancer cells in vivo. Aggregation-induced emission luminogen (AIEgen) demonstrates strong fluorescence, good photostability, and biocompatibility, making it a potential candidate for imaging and monitoring senescent cancer cells in vivo when endowed with β-Gal-responsive capabilities. This study aims to report a β-Gal-activated AIEgen called QM-β-gal for cancer senescence imaging and senolysis monitoring in vivo.

Methods: QM-β-gal was synthesized and characterized. The absorption/emission spectra, specific enzyme responses, and size changes were analyzed before and after activation by β-Gal. Doxorubicin (DOX) was used to establish senescent cancer cell models. Cells incubated with QM-β-gal were imaged and β-Gal targeting capability was evaluated by specific

small interfere RNA (siRNA) inhibition and colocalization with organelle dyes. The superior of QM-β-gal was assessed by comparison with commercial β-Gal fluorescence detection. And the biocompatibility was evaluated by CCK-8 assay. For in vivo investigations, tumor-bearing mouse model was induced into cancer senescence by DOX and injected with QM-β-gal through tail vein to image senescent cancer cells in vivo. Mice were sacrificed to collect serum, tumor, liver and kidney at various time points to quantify circulation half-time and metabolism of QM-β-gal. Blood serum biochemical tests and major organs H&E staining were implemented to evaluate biosafety in vivo. ABT263 was used as senolytics on DOX-induced senescent cancer cells and mice with senescent tumor via selectively inducing apoptosis. To monitor the process of senolysis, QM-β-gal was injected to monitor the process of senolysis induced by ABT263 on DOX-induced senescent tumor in vivo.

Results: QM-β-gal exhibited good amphiphilic properties and formed aggregates that emitted fluorescence upon β-Gal activation. The absorbance had two peaks at 358 nm and 445 nm, while nearly no emission and fluorescence in solvents. The enhanced fluorescence of QM-β-gal was only observed in incubation with β-Gal compared to other compounds, suggesting its good specificity to β-Gal. An emission peak at 558 nm of QM-β-gal appeared and noticeable nanoaggregates were formed after β-Gal activation. For in vitro studies, MDA-MB-231 and HCT116 showed typical cellular senescence phenotypes induced by DOX, including higher SA-β-gal and increased β-Gal expressions. QM-β-gal showed high specificity towards the increased activity of β-Gal in lysosomes and imaged DOX-induced senescent cancer cells with no cytotoxicity. QM-β-gal also showed higher fluorescence intensity, better photostability, and more sensitive response in vitro than commercial detection. For in vivo investigations, DOX also induced tumor senescence. QM-β-gal exhibited rapid metabolism in vivo with circulation half-time as 0.2~0.3 h, while accumulated and activated in senescent tumor and mainly cleared and excreted through kidney. QM-β-gal could image senescent cancer cells in vivo for over 14 days with excellent biocompatibility. Moreover, QM-β-gal could allow for monitoring DOX-induced senescent cancer cell clearance in vitro and in vivo during ABT263-induced senolysis.

Conclusion: We reported an enzyme-activated AIEgen (QM-β-gal) to target the increased expression and activity of β-Gal in lysosomes of senescent cancer cells. QM-β-gal could image and monitor senescent cancer cells during pro-senescence therapy with DOX followed by senolysis with ABT263 both in vitro and in vivo. It exhibited rapid clearance but stable retention over time after activation within DOX-induced senescent tumors. Notably, QM-β-gal demonstrated long-term imaging capabilities for senescent cancer cells lasting over 14 days throughout the sequential treatment process. It had the potential to be a promising candidate for labeling senescent cells with high specificity and stability for fluorescence imaging in vivo.

Key Words: Cellular Senescence, Cancer, β-Galactosidase, AIE, Fluorescence Imaging

ID 1576

Accelerating High-resolution Microstructure Mapping Based on Multi-shell Diffusion MRI for Acute Ischemic Stroke

Tanxin Dong[1,2,3],Jingguo Yan[1,2,3],Yutong Cao[1,2,3],Quanzhi Feng[4],Qiyuan Tian[5,6],Tong Han[4],Qiuyun Fan[1,2,3]

1. Tianjin University

2. Tianjin Key Laboratory of Brain Science and Neuroengineering

3. Haihe Laboratory of Brain-Computer Interaction and Human-Machine Interaction

4. Department of Medical Imaging, Tianjin University, Tianjin Huanhu Hospital

5. School of Biomedical Engineering, Tsinghua University

6. Tsinghua Laboratory of Brain and Intelligence

Objective: Diffusion MRI enables non-invasive probing of the microstructure of biological tissue and was commonly adopted in clinical examinations. However, the requirements of long acquisition time for many promising microstructural models based on multi-shell diffusion MRI preclude their application in clinical settings, especially for acute diseases. In previous work, we proposed the DeepHIBRID method, which takes 10 diffusion-weighted images as input that were acquired with a

designed sampling pattern in the k-q space to ensure balanced SNR and outputs 14 maps of microstructural metrics from 4 diffusion models (i.e. DTI, NODDI, SMT-MicroDT, SMT-McMicro), by leveraging the redundancy in both image domain and diffusion metrics domain. In this study, we aim to examine the feasibility and sensitivity of the DeepHIBRID method in reflecting the pathological alterations in clinical scenarios with tight time constraints, such as acute ischemic stroke.

Methods: Participants: 15 patients (66.6±11.49, F4) diagnosed with ischemic stroke were enrolled in this study and underwent an MRI examination on a 3T SIEMENS Prisma scanner in Tianjin Huanhu Hospital. With the confirmed diagnosis from the clinical standard examinations, the DeepHIBRID acquisition protocol described below was administered.

Data Acquisition: Three different b-values with different resolutions for each b-value were comprised in the DeepHIBRID acquisition protocol namely: 1.3mm iso. for b=1000 s/mm2, 1.8mm iso. for b=2000 s/mm2, 2.5mm iso. for b=3000 s/mm2. For each resolution, three b0 images, three diffusion-weighted images with orthogonal diffusion-weighting directions, and one b0 image with reversed phase encoding direction were acquired. The total acquisition time was 4 min and 43 seconds.

Data Preprocessing: All images were corrected for susceptibility distortions and linearly registered to the averaged b0 image of 1.3mm resolution for motion and eddy current correction. The nine normalized diffusion-weighted images and one b0 image were taken as the input of the DeepHIBRID network to predict the 14 diffusion metrics maps at the resolution of 1.3mm iso. The DeepHIBRID network was pre-trained using 80 subjects from the HCP adult dataset and fine-tuned with fully sampled data acquired in 12 healthy participants on the same Prisma scanner in a local hospital using an HCP-style protocol.

Results: The mapped diffusion metrics in normal-appearing tissue were largely consistent with their expected anatomical characteristics. In the acute lesions showed significantly decreased extra-cellular diffusivities (extraMD=1.20, 1.30 μm2/ms, extraTrans=0.84, 1.10 μm2/ms in stroke lesion and contralateral normal-appearing tissue, $P<0.001$ at paired t-test) and volume fractions (fh=0.34, 0.41, $P<0.001$), and significantly increased intra-cellular volume fractions (fr=0.52, 0.42, fintra=0.46, 0.40, $P<0.01$) compared with contralateral normal-appearing tissue.

This suggested cell swelling with a resultant increased tortuosity in the extracellular space, which was consistent with the characteristic of cytotoxic edema typically seen in the acute phase following ischemic stroke.

Conclusion: In this work, we demonstrated an accelerated diffusion microstructural imaging approach based on the DeepHIBRID framework and achieved 14 maps from 4 diffusion models with whole brain coverage and 1.3mm isotropic voxel size, which is otherwise very challenging within feasible scanning time for acute diseases. It is worth mentioning that the smaller-sized acute lesion barely showed up on the T1w, T2w, and T2-FLAIR images, but was revealed on the generated diffusion maps, evidencing a superior sensitivity of microstructural imaging compared to the clinical standard. Further, the microstructural information conveyed by the complimentary 14 diffusion maps altogether was in good agreement with the expected histological pathology, evidencing a plausible specificity to diseased tissue microstructures.

This preliminary study is limited in a few aspects. The network is hard to be tuned specifically for acute stroke patients due to the conflicts of ethics in urgent medical care versus the need for a long acquisition time of fully sampled data. Therefore, the potential significance of the approach remains to be further validated in future investigations with more variations of lesion type and larger sample sizes.

Key Words: Diffusion MRI; Ischemic Stroke; Accelerated Imaging;

ID 1881

光声影像组学特征和临床因素的整合：用于识别乳腺癌患者 Ki-67 状态的列线图模型

王梦云[1]、徐金锋[1]、董发进[1,2]
1. 深圳市人民医院
2. 深圳市人民医院龙华分院

目的：本研究的目的是开发和验证基于光声成像的放射组学列线图，以术前预测乳腺癌患者的 Ki-67 状态。

方法：本研究选取了从2021年至2022年在我院经病理确诊的280例乳腺癌患者，他们均接受多模态光声/超声成像和Ki-67检测。按照8：2 的比例随机分布到训练集（n =224） 和测试集 （n =56），勾画肿瘤的感兴趣区域，并提取光声图像的影像组学特征。用独立样本t检验和和最小绝对收缩与选择算子（LASSO）进行特征筛选。并计算各影像组学评分（Rad-score），然后，采用logistic回归方法整合Rad-Score和临床危险因素，生成列线图模型。通过绘制受试者工作特征（ROC）曲线、决策曲线分析（DCA）和校准曲线来评估模型的性能和效用。

结果：本研究纳入了223名乳腺癌患者，其中58名为低Ki-67表达，165名为高表达（通过免疫组化确定）。临床和病理特征，包括乳腺癌亚型、腋窝淋巴结转移、ER、PR和HER2状态，与Ki-67表达相关（P < 0.05）。训练组和测试组之间无显著差异（P > 0.05）。从超声和光声图像中提取的108个放射组学特征中，通过LASSO方法保留了8个超声特征和5个光声特征，用于构建放射组学模型。逻辑回归分析确定腋窝淋巴结转移是Ki-67的重要预测因素，进而开发了临床模型。结合临床评分和Rad-Score的列线图模型显示出优于单独的临床和放射组学模型的区分能力，ROC曲线显示了这一点。在测试组中，基于超声图像的临床、放射组学和列线图模型的AUC值分别为0.425、0.827和0.836，而基于光声图像的模型AUC值分别为0.858、0.796和0.871，表明光声成像的预测能力优于传统超声。校准曲线和决策曲线分析进一步证实了列线图模型的性能。

结论：基于光声影像组学的列线图模型有望成为预测乳腺癌Ki-67水平的潜在工具。

关键字：乳腺癌，Ki-67，光声，影像组学，深度学习，列线图

ID 2701

A Physics-Guided Deep Learning Modeling for Photon-Counting CT: System Response, Polarization Correction, Material Decomposition, and Denoising

Wenhui Qin[1],Xiaopeng Yu[1],Qianyu Wu[2],Tao Zhong[1],Xiaoxue Lei[1],Mengqing Su[2],Wenying Wang[3],Xu Ji[2],Guotao Quan[3],Yang Chen[2],Xiaochun Lai[1]
1. ShanghaiTech University
2. Southeast University
3. United Imaging Healthcare

Objective: Photon-counting computed tomography (PCCT) is an innovative spectral CT technology attracting widespread interest for its clinical application potential. This technology utilizes advanced photon-counting detectors (PCDs), comprised of semiconductor sensors such as Si, CdTe, and CdZnTe. Unlike conventional energy-integrated detectors (EIDs), PCDs convert incident X-ray photons directly into electronic signals using small pixels, thereby providing superior spatial resolution. Additionally, photon-counting application-specific integrated circuits (ASICs) enhance signal detection by in

individual photon events above the electronic noise floor, enabling reduced radiation exposure, which are then processed for material decomposition.

Despite its advantages, PCCT faces significant challenges in signal processing that affect the translation of theoretical benefits into high-quality clinical images. Key issues include complex physics and signal processes, such as charge-sharing and ASIC pile-up effects, complicating the development of accurate physics-guided models for PCDs and overall PCCT systems.

Furthermore, the semiconductor materials CdTe and CdZnTe used in PCDs are prone to polarization effects. These effects result from the progressive buildup of space charge within sensors, leading to electric field distortions and signal loss. Such polarization can vary between detector pixels or modules and, if unaddressed, may cause severe image degradation, including ring and band artifacts.

Material decomposition in PCCT, which involves analyzing imaging tissue into constituent materials based on X-ray attenuation at various energy levels, presents a nonlinear, nonconvex inverse problem. Imperfections in PCD physics can distort spectral sensitivity, adversely affecting decomposition accuracy. Although variational methods are commonly used at standard resolutions, their effectiveness at ultra-high resolution (UHR mode) remains underexplored. UHR mode exacerbates inter-pixel count variation due to the misalignment of anti-scatter grids (ASGs), leading to additional artifacts.

Lastly, PCCT imaging may experience elevated noise levels due to limited photon availability per small energy bin. The decomposition process is particularly sensitive to noise, which, combined with significant spectral overlap at different X-ray tube voltages, leads to substantial noise amplification in material decomposition images, posing a significant challenge in quantitative PCCT applications.

To address the identified challenges, we propose a comprehensive full-chain signal model for the PCDs, enabling PCCT system modeling, polarization correction, material decomposition, and denoising.

Methods: To model the PCCT system spectrum response, we first establish comprehensive full-chain signal modeling for the PCDs, encompassing both the detector and ASIC responses. This model integrates the dynamics of X-ray photon interaction and charge transport within the sensors, as well as the signal processing executed by the ASICs. Specifically, we utilize Monte Carlo simulations to model the energy deposition by X-ray photons within the detector material, and we accurately characterize the ASIC response, encompassing both amplification and signal shaping processes.

Subsequently, we utilized deep learning networks to construct a physics-guided foundational model that encapsulates the intricate responses of the detector and ASIC, incorporating key physical parameters adjusted through calibration with experimental datasets. This calibration aligns the model's output with actual PCCT system responses and measured experiment data. We use the calibrated model to generate sinograms representing varying material attenuation lengths and reconstruct them into material maps via the Filtered Back-Projection (FBP) algorithm.

To correct polarization effects in PCCT, we introduced a time-varying, dose-dependent nonlinear polarization spectrum response model. This model operates between the detector and ASIC responses and is fine-tuned through experimental calibration to identify the optimal response to compensate for its influence.

For addressing ring artifacts caused by count fluctuations between pixels in UHR material decomposition, we implemented a flux-dependent ASGs scattering correction. This method adjusts to energy response variations across detector pixels and compensates for the non-uniform effects caused by misaligned ASGs in the detector response modeling.

Additionally, to mitigate noise amplification during material decomposition, we developed a comprehensive noise propagation model for self-supervised denoising. This model accurately traces noise propagation from the detector counting to the projection domain. We also integrate prior noise information derived from the propagation model into self-supervised learning networks, improving noise characteristic predictions for each pixel's basic materials.

Results: In our study, all data were acquired using an engineering PCCT prototype by United Imaging. The water phantom's images showed no noticeable band artifacts after polarization correction. Similarly, following ASG scatter correction in UHR mode, The Material decomposition results of the water phantom were free of small ring artifacts. Furthermore, the implemented denoising method effectively reduced noise, maintaining the clarity of fine details in soft tissues, such as blood vessels, in the brain phantom.

Conclusion: PCCT is a promising spectral CT technology but still exist several challenges in generating clinical high-quality images, including physic-guided system modeling, polarization correction, UHR material decomposition, and denoise. The

methods we proposed show promising results in effectively addressing these challenges.

Key Words: photon-counting CT, material decomposition, ultra-high resolution, denoise, polarization

ID 2709

基于同步EEG-fNIRS信号的依托咪酯使用障碍者神经血流脑机制变化研究

陈超[1]、梁广耀[1]、范应威[1]、高天欣[1]、廖振江[2]、黄秋萍[2]、谌红献[2]、唐晓英[1]

1. 北京理工大学医学技术学院
2. 中南大学湘雅二医院精神卫生研究所

目的：依托咪酯是麻醉诱导常用的药物之一，长期吸食依托咪酯会对大脑产生影响，尽早发现依托咪酯使用障碍者脑机制的变化，有助于对依托咪酯使用障碍的预防与干预，但目前依托咪酯对功能性脑活动和神经血管耦合脑机制的影响尚不明确。

方法：本研究采用脑电-近红外设备同步采集依托咪酯使用障碍者（eto）和正常对照（HC）的多模态静息态脑信号，采用静息态功能连接分析、脑网络图论方法分析这两类人的两种信号在静息状态下的功能连接、脑网络参数的差异。同时研究不同频段下电信号和血流动力学振荡之间的潜在联系，即神经血管耦合程度，并将多种模态的差异特征位置映射到yeo 7网络上，分析两类人群差异特征的脑网络特异性。

结果：我们发现，在静息状态下，相比于正常对照，依托咪酯使用障碍者在近红外脑连接在额叶区域集中出现显著减弱，δ脑电脑连接在中央沟附近以及枕叶区域大面积出现显著减弱（FDR矫正后p<0.01）；δ和θ脑电的全局图论参数也出现了显著变化(p<0.05)；同时，在体感运动网络(Mot)，背侧注意网络(dATN)位置上出现了神经血管耦合的显著增强（FDR矫正后p<0.05），这与脑电单模态差异特征的频段位置高度重合。将出现频段位置聚集的特征作为感兴趣特征，利用机器学习分类器验证了其反映依托咪酯使用障碍者脑机制变化的高效能力（Accuracy表现为:支持向量机(SVM)-82.10%，随机森林(RF)-80.50%，梯度提升决策树(XGBoost)-78.40%）。

结论：综上所述，依托咪酯使用障碍者脑机制与正常对照相比出现显著差异，我们的研究为依托咪酯使用障碍者静息态神经血流脑机制的变化提供了新的见解，表明了EEG-fNIRS同步信号联合分析技术和方法在探索依托咪酯使用障碍者脑机制变化上的应用潜力。

关键字：依托咪酯、物质使用障碍、同步EEG-fNIRS、神经血管耦合、机器学习

ID 2715

中风患者恢复期间运动相关脑区功能连接与其运动能力之间的动态关系

梁广耀[1]、高天欣[1]、张瑞媛[1]、范应威[1]、刘海杰[2]、唐晓英[1]

1. 北京理工大学
2. 首都医科大学宣武医院

目的：中风后脑功能的恢复机制是神经科学研究的一个重要领域。运动能力的恢复对患者的生活质量有着直接影响。然而，运动相关脑区脑连接变化在这一过程中所扮演的具体角色尚未明确。本研究旨在通过功能性近红外光谱（fNIRS）技术，探索中风患者患侧运动相关脑区功能连接强度的变化及其与运动能力评分的关系。

方法：本研究招募了多名中风患者，利用fNIRS技术在康复训练期间多次采集他们的脑功能数据。通过对多个时间点的患侧主运动皮层（M1）与患侧前运动和辅助运动皮层（PMC and SMC）相关功能连接强度（Functional Connectivity, FC）进行分析，我们评估了其每次采集的变化情况。同时，记录患者的上肢运动能力评分（Fugl-Meyer Assessment- upper extremity, FMA-UE），以评估其康复进展。数据分析采用相关分析和统计模型，探讨功能连接强度变化与运动能力评分变化之间的关系。

结果：研究结果显示，患者 M1-患侧半球（r=0.441，p<0.001）、患侧 M1-全脑（r=0.620，p<0.001）、患侧 PMC and SMC-患侧半球（r=0.540，p<0.001）、患侧 PMC and SMC-全脑（r=0.654，p<0.001）、患侧 M1-患侧 PMC and SMC（r=0.498，p<0.001）五对功能连接的短期 FC 值变化量与短期 FMA-UE 变化量均存在显著正相关。

结论：这些发现表明，患侧主运动皮层以及患侧前运动和辅助运动皮层连接强度的变化可能是预测中风患者运动能力恢复的重要指标。多次数据采集和分析揭示了脑区连接强度的动态变化对运动功能恢复的潜在影响。这一结果提供了新的康复治疗靶点，为理解中风患者脑功能恢复机制提供了新的见解，并为个性化康复计划的制定提供了科学依据。

关键字：功能性近红外成像，中风恢复期，功能连接

ID 2841

Robust Fast Inter-Bin Image Registration for Undersampled Coronary MRI Based on a Learned Motion Prior

Fan Yang,Zhihao Xue,Haiyang Chen,Zhuo Chen,Yixin Emu,Ahmed Aburas,Juan Gao,Chenhao Gao,Chenxi Hu
Shanghai Jiao Tong University

Objective:

Accurate estimations of the respiratory motion are important for high-quality motion-compensated reconstructions of Coronary MR Angiography (CMRA). However, for highly accelerated acquisitions, strong artifacts and noise appear in the source images, leading to inaccurate displacement fields. In this work, we propose an unrolling-based framework for accurately estimating the displacement field from artifact-corrupted images.

Methods:

In this work, the cost function to minimize is given by:

$u = \text{argmin}_u \|f - m \circ (Id + u)\|_2^2 + \lambda \|Nw(u)\|_2^2,$

where f is the fixed image, m the moving image, Id the identity mapping, u the displacement field to estimate, Nw the denoising network to learn, and λ the learnable regularization parameter. To learn a task-specific motion prior from the existing data, we unrolled the optimization process of the half-quadratic splitting algorithm into a neural network. The network consisted of an alternation of the Data-Consistency (DC) module and the regularization module. The DC module was formed by a truncated gradient descent algorithm. The regularization module was a residual CNN of 30 layers. Three unrolled iterations were adopted in the motion estimation network. A U-Net was introduced to learn the initial displacements. The cascaded network was trained in an end-to-end manner.

The proposed method was compared with Free-Form Deformation (FFD) registration and Respiratory Motion Estimation network (RespME-net) for 6-fold accelerated CMRA datasets in a cohort of 10 healthy subjects.

Results:

A. Accuracy of Displacement Field Estimation

Compared with the gold standard displacement fields, which are generated from fully-sampled CMRA data, the motion fields estimated by FFD exhibited a large amplitude at locations of resting organs, which was physiologically infeasible. On the other hand, the motion estimated by RespME-net mainly occurred at the boundaries of moving organs, which was not

realistic either since respiratory movement changed continuously within the chest. Compared with FFD and RespME-net, UNROLL achieved a higher motion estimation accuracy with a more similar motion pattern relative to the gold standard.

Over 10 testing subjects, UNROLL led to significantly lower End-Point-Error (EPE) indexes compared with RespME-net (EPE-overall: 0.56±0.11 vs 1.38±0.18; EPE-FH: 0.34±0.06 vs 1.03±0.16; EPE-RL: 0.25±0.06 vs 0.58±0.10; EPE-AP: 0.24±0.06 vs 0.35±0.04; $p<0.001$ in all cases) and significantly lower EPE-overall, EPE-RL, and EPE-AP compared with FFD (EPE-overall: 0.71±0.23, $p=0.02$; EPE-RL: 0.31±0.10, $p=0.02$; EPE-AP: 0.36±0.12, $p=0.007$). The lower EPEs suggested that UNROLL led to a superior motion estimation accuracy with artifact-corrupted images compared with other methods.

B. Accuracy of Motion-compensated Reconstruction

Among all methods, UNROLL achieved the most similar reconstruction quality relative to the gold standard image, which refers to reconstruction based on the displacement field estimated from fully-sample data. The images reconstructed with FFD-estimated displacement field showed more artifacts. The images reconstructed with RespME-net-estimated displacement field showed more significant motion blurs.

Over the 10 testing subjects, UNROLL led to significantly higher PSNR, SSIM, and significantly lower NMSE than FFD (PSNR: 33.76±1.44 vs 32.44±1.21; SSIM: 0.71±0.04 vs 0.65±0.03; NMSE: 0.05±0.01 vs 0.07±0.01; $p<0.001$ in all cases) and RespME-net (PSNR: 31.92±1.39, $p<0.001$; SSIM: 0.68±0.03, $p=0.002$; NMSE: 0.08±0.01, $p<0.001$). The PSNR, SSIM, and NMSE were not significantly different between UNROLL and the gold standard (PSNR: 34.09±1.02, $p=0.09$; SSIM: 0.72±0.03, $p=0.72$; NMSE: 0.05±0.01, $p=0.06$). These results suggest that by using an implicitly trained motion prior, the proposed method not only improved the displacement estimation accuracy, but also led to superior reconstruction qualities to the baseline methods.

Conclusion:

In this work, we propose a novel unrolling-based method to estimate the 3D nonrigid respiratory displacement field from artifact-corrupted CMRA images. The results demonstrated that by learning a specific respiratory motion prior, the proposed method achieves an accurate motion estimation despite the high acceleration rates, yielding more accurate displacement fields and higher qualities of reconstructed CMRA images than state-of-the-art methods.

Key Words: Nonrigid image registration, Undersampled coronary magnetic resonance angiography, Unrolling network

ID 3596

基于大脑皮层网络功能差异的苍白球分区方法研究

来睿轩、闫天翼、刘田田
北京理工大学医学技术学院

目的：苍白球是一个与运动机能密切相关的皮层下核团，其前、后部被认为分别与高级认知功能和感觉运动功能相关，精细划分其亚区对于脑机制研究、疾病诊断和神经调控等领域至关重要。现有苍白球分区方法以全脑结构或功能连接为主要依据，忽略了不同皮层网络的功能差异。面向大脑的不同认知功能，如何绘制功能特化的苍白球分区，仍是研究难点。

方法：本研究使用了人脑连接组计划中170例被试的弥散和功能磁共振成像数据。在预处理后，对每个被试进行了概率性纤维追踪，以获取苍白球与全脑灰质的结构连接信息，并从中分别提取出苍白球与7个皮层功能网络的体素水平连接，由于视觉网络和边缘网络与苍白球连接较弱，后续分析中排除了这两个网络。进一步，计算结构连接模式的互相关，衡量苍白球体素间相似性，并在所有被试中平均，获得组水平的相似性矩阵。以0.5为阈值去除较低的相似性，通过谱聚类算法将苍白球划分为两个亚区。我们以Dice系数衡量了不同苍白球分区之间的相似性，并对比了不同亚区间结构连接模式的差异。

结果：通过对5种苍白球分区相似性的对比，我们发现躯体运动网络和背侧注意网络分区与默认模式网络、额顶网

络、腹侧注意网络分区的相似性较低（0.6-0.7），但这两个分区间相似性相对较高（0.8），其他网络的分区间相似性则在0.9以上。在与躯体运动网络和背侧注意网络的连接模式上，基于躯体运动网络和背侧注意网络划分的亚区间差异显著高于基于腹侧注意网络、额顶网络、默认模式网络划分的亚区间差异；而在与额顶网络和默认模式网络的连接模式上，基于腹侧注意网络、额顶网络、默认模式网络划分的亚区间差异显著高于基于躯体运动网络和背侧注意网络划分的亚区间差异。

结论：基于以上结果，我们推测苍白球存在两种功能分区模式，即躯体运动网络-背侧注意网络模式和默认模式网络-额顶网络-腹侧注意网络模式，它们分别对应苍白球涉及的两种不同类型的功能，并且这些功能是由苍白球与相应网络协同承担的。

关键字：苍白球，皮层功能网络，脑图谱，结构连接

ID 3779

基于在线计算的超快速超声微血流成像

陈胤燃
厦门大学

目的：超声微血流成像通过超高速波束合成和高灵敏度壁滤波获取微血管形态及微血流动力学，具有重要的临床意义。奇异值分解 (SVD) 和鲁棒主成分分析 (rPCA) 是超声微血流成像中广泛使用的时空壁滤波方法。然而，基于SVD 和rPCA的壁滤波技术都是以静态方式实现的，即滤波器需要获取一批图像数据（通常为数百帧）才能够从中提取出微血流信号。这种静态操作与超高速超声波束合成形成的图像数据流不匹配，严重阻碍微血流成像的快速实现。本研究提出了一种在线（online）的rPCA 壁滤波方法，可以从当前波束合成图像中即时提取微血流信号，实现超快速超声微血流成像。

方法：本项研究提出一种基于迭代再加权最小二乘（iterative reweighted least-square, IRLS）法的在线壁滤波方法。具体而言，超快速采集的超声回波信号通过逐帧的波束合成获得图像数据，在线IRLS-rPCA计算模型分别对低秩（low-rank）的组织信号和稀疏（sparse）的血流信号进行建模，然后充分利用已滤波的组织和血流信号的时空信息来逐帧地处理波束合成数据流，通过快速且稳定的求解算法即时地估计出当前帧图像中的血流信号，从而达到很高的计算速度，实现超快速的时空壁滤波。

结果：本项研究在造影剂增强的小鼠肾脏和无造影的健康志愿者肝脏上开展了在体实验。实验结果表明，在小鼠肾脏数据集中，本研究所提出的在线IRLS-rPCA方法相比其他rPCA方法，在提升了CNR的同时，显著提升了计算速度，达到了0.04±0.003秒/帧。在人体肝脏数据集中，在线IRLS-rPCA相比现有方法，CNR提升了至少2dB，且处理速度达到了0.03±0.003秒/帧。

结论：本研究所提出的在线IRLS-rPCA方法，可以在提升灵敏度的同时，显著提升时空壁滤波速度，实现了超快速的超声微血流成像。

关键字：超声成像，超声微血流成像，时空壁滤波，在线计算，快速实现。

ID 3819

基于NeRF的双阶段稀疏角度CBCT自监督重建研究

刘天帅、黄士恩、高鹏、李汪洋、卢虹冰、戎军艳
中国人民解放军空军军医大学

目的：基于平板探测器的锥束 CT（CBCT）作为一种新型的医疗成像技术，广泛应用于牙科、耳鼻喉科、骨科以及介入放射科等临床领域。过量的 CBCT 扫描剂量会对人体造成伤害，稀疏角度的 CBCT 成像可以减少采集角度，有效地降低辐射剂量。然而，由于只能从有限的角度收集投影数据，稀疏角度 CBCT 重建图像存在较大误差，比如模糊、失真和伪影等。

方法：为了有效地提高稀疏角度 CBCT 的成像质量，本文提出了一种基于神经辐射场 (NeRF) 和双阶段几何约束的稀疏角度 CBCT 自监督重建方法。针对神经衰减场中射线采样方法引入较大误差问题，设计了基于几何先验的射线精准采样模块，网络能够更集中地学习场景的重要特征，减少在不必要区域的计算资源浪费，从而提高训练效率。针对 NeRF-based 稀疏角度 CBCT 重建方法中没有深度融合成像系统几何信息的问题，设计了几何一致性约束模块，确保模型在优化过程中不仅学习数据的统计特性，而且有效利用了 CBCT 系统的几何特性。同时本文方法引入了双阶段重建的思想，充分利用稀疏角度投影图像信息，进一步对重建图像进行优化。

结果：为了验证本文所提出的方法的有效性，与当前主流的稀疏角度 CBCT 自监督重建方法以及传统的重建方法进行了对比实验，包括 FDK、 SART、 ASD-POCS、 IntraTomo、 NAF。使用人体器官 CT 的公开数据集进行方法评估，包括胸部、下颚和足部。通过在 LIDC-IDRI 数据集中胸部数据实验，验证了本文所提出的方法在图像恢复、边缘保持和降低伪影中的有效性。通过在 Open Scientific Visualization Datasets 数据集中足部数据和下颚数据实验，有效验证了本文提出的方法在不同成像场景下的泛化能力。

结论：本文提出的方法有效地提高了稀疏角度 CBCT 图像重建质量，适用于低剂量快速 CBCT 成像，具有重要的临床应用价值。

关键字：CBCT，神经辐射场，几何约束，稀疏角度，双阶段重建

ID 3892

基于图约束和通道注意力的GNN识别精神分裂症中的异常脑网络方法

龚津南[1,2]、马芮[2]、尧德中[1]、罗程[1]
1. 电子科技大学
2. 成都信息工程大学

目的：精神分裂症是一种以脑网络失连接为主要特征的重型精神疾病，目前其脑网络机制仍不明晰，特别是大尺度脑网络组织层面的疾病相关核心特征仍未得到充分发掘，这也为精神分裂症非药物干预策略的制定带来了阻碍，因此发展基于脑影像特征的精神分裂症机器学习方法具有重要的意义。

方法：本研究提出了通道注意力GNN模型（CA-GNN），对精神分裂症患者大尺度脑网络数据进行二分类任务，并利用可解释性技术，对精神分裂症患者关键异常脑区和特征定位。首先，使用功能磁共振和结构磁共振提取各脑区的影像学特征，作为节点特征。其次，应用弥散磁共振数据获取大脑结构连接作为边。使用图嵌入Node2vec方法对脑区节点进行有策略地游走采样和特征学习，以更准确地定义图中的边信息。最后，使用通道注意力机制的分支注意力模块和基于通道相似性的图约束方式实现对显著性脑区和多模态特征的关注学习。在模型训练完成后对显著性脑区可视化并对显著

性特征进行分析。

结果：该模型在精神分裂症二分类任务上取得的89.37%的准确率，并得到10个显著性脑区包括眶额皮质、舌回、中央岛叶、颞极、额下回、中央前回、颞上回，上顶叶等。模型训练完成后，绘制特征显著性图，发现gloabl_FCD,m_FOCA,皮层厚度,体积,ReHo等指标对模型结果有较大影响。再利用双样本t检验对显著性脑区进行组间对比，发现Alff，皮层厚度，ReHo等特征指标在患者和健康对照组的多个显著性脑区中存在显著性差异,特别是皮层厚度指标在所有关键脑区中都表现出显著性差异；并且额眶皮质、颞部枕部梭状皮质、颞部梭状皮质（前部）、中央前回、颞上回后部等显著性脑区的影像学特征。

结论：皮层厚度和ReHo指标被识别为精神分裂症鉴别任务中的关键特征，眶额皮质、颞枕联合区、颞部梭状皮质（前部）、中央前回、颞上回被识别为关键脑区。本研究是在国家重点研发计划2018YFA0701402的支持下完成。

关键字：机器学习，图神经网络，精神分裂症，神经影像

ID 4169

适用于移动设备的轻量化舌体自动分割算法研究

王安聪
北京理工大学

目的：舌头是人体口腔中的重要器官。它可以提供有关口腔和身体状况的信息，也是中国传统医学诊断的参考之一。舌头的精准分割是计算机辅助舌诊系统的关键步骤，而现有的舌头图像分割方法大都基于医院环境中采集的标准数据集，缺少对手机等非标准设备和复杂背景的支持，并且模型较为复杂，难以部署到小型移动设备上。

方法：本研究提出了一种结合传统图像处理和小样本深度学习的舌体自动分割新方法，可以从标准或非标准摄像设备采集的图像中准确分割舌体。首先，使用 YOLO网络作为该过程的前端模型，在原始图像中选择合适感兴趣区域，最大限度地减少图像背景的影响。然后使用均匀高斯分布来校正区域的 RGB 值，校正在不同光照环境下采集的舌头图像的颜色偏差，使所有输入图像的色调趋于一致，使新网络可以精确分割不同光照条件下采集的舌头图像。在舌体的精细分割任务重，我们在 UNet 主干上增加了 RFB 模块，以改善模型的整体感受野，使模型能从全局角度考虑舌头的轮廓，同时增加了多头注意力机制，使模型能更多地关注舌头区域。针对可能出现的欠分割和过分割，我们在后处理阶段结合形态学滤波和最大连接域选择来优化分割结果，使最终输出的舌头轮廓更加完整和平滑精确。

结果：在测试中，我们使用了四个不同数据集，包括标准数据和来自不同型号手机的非标准图象。与五种现有模型的对比测试表明，在标准数据集上，该方法的平均DSC和IOU分别达到97.83%和95.79%，略高于单独使用分割网络的方法；在非标准数据集上，该方法的平均DSC和IOU分别为95.62%和91.71%，明显高于单独使用分割网络的方法，说明该方法能适应多样性更强的舌头图像。此外，消融实验显示新模块能有效提高分割性能。模型的参数量级也显著降低。

结论：我们提出了一种新型舌体分割方法，包括目标识别、颜色校正、增强分割和形态学组合操作后处理，该算法有望在未来应用于移动舌诊辅助系统。

关键字：舌诊；舌体分割；深度学习；计算机辅助诊疗

ID 4195

基于IVOCT图像的生物可降解支架自动检测与分割

伏小丽、王安聪
北京理工大学

目的：新型生物可降解支架（Bioresorbable Vascular Scaffold，BVS）能够在支撑并稳定血管后逐渐降解消失，恢复血管的自然状态，给患者带来独特的长期收益。但其材质和尺寸特性对使用安全提出了更为精细的量化评估要求，包括BVS的贴壁状况及降解进程等。

方法：为实现这一目标，本研究构建了一种自动算法分割和分析IVOCT图像中的血管腔和BVS。首先，以YOLOv5为主干融合SE和CBAM注意力机制模块，以及C2f特征增强模块，构建了YOLO-BVS网络，用于BVS的自动检测；其次，针对BVS的IVOCT数据稀缺的普遍问题，在传统图像扩容的基础上，构建了Cycle BVS-GAN网络，利用普通IVOCT图像生成带BVS的伪图像进行扩容；研究对比了新模型与现有YOLOv5、U-Net、Mask R-CNN等网络的性能，并进行了消融实验。

结果：本研究的数据集包括1626张IVOCT图像，以8：1：1 的比例随机地划分为训练集、验证集和测试集。实验结果表明，YOLOv5性能优于其它两种网络，而CBAM模块提高了YOLOv5网络的AP，说明CBAM通过优化模型对图像内容的注意力分配，提升了分割准确性。SE模块提升模型的平均召回率至0.959，证实了其在小目标检测方面的优势。C2f模块使得YOLOv5在IoU=0.5阈值下的平均精度达到了0.973，表明C2f模块在提高模型对分割质量的要求上具有显著效果。YOLO-BVS网络结合Cycle BVS-GAN生成的伪图像训练获得的网络分割性能最佳，Dice系数为0.947。

结论：本研究以IVOCT图像中的BVS为研究对象，基于深度学习建立BVS降解全过程的自动检测及分割算法。这一研究不仅提高了BVS和血管腔分割的准确性，还增强了模型对不同类型IVOCT图像的泛化能力，有望为后续BVS研究提供有力工具，辅助BVS的研发和在临床中的安全使用。

关键字：生物可降解支架；深度学习；冠心病；支架检测；支架分割

ID 4225

磁共振兼容的非接触式心动雷达监测系统

任志华[1,2]、蔡正宇[1]、吴桐[1]、夏新源[3]、周咨成[1]、侯欧[1]、王礼慧[1]
1. 上海科技大学
2. 上海临床研究中心
3. 联影中央研究院

目的：为了减少心脏磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)时心跳和呼吸引起的伪影，MRI数据采集需要与心跳或呼吸周期同步。传统MRI中的心电门控依赖接触式传感器，其佩戴繁琐且不舒适，时间较长，且存在电气安全风险。降低心电与呼吸门控的安全风险、提高患者舒适与便捷性是目前心脏MRI领域亟待解决的重要问题之一。本摘要旨在开发一种安全、稳定、便捷的基于多普勒效应的非接触式磁共振兼容心跳呼吸监测方案，为心脏或腹部MRI成像提供另一种可选的门控方式，提升扫描效率及用户便捷度。

方法：本摘要所提出的系统包含 1) 柔性的窄带高增益贴片型天线，工作频率910MHz左右，基板法向方向定向传播（120～180。），使用时放置于用户胸口心脏位置附近；2）包含射频收发开关，A/D转换、滤波放大等功能的射频控制电路；3）对原始数据进行解包及滤波平滑的上位机程序。 为实现心动雷达的MRI兼容：(1 基于 CST Studio Suite 软件，对天线拓扑结构进行仿真优化，通过分布电容减少大面积连续金属导致的强涡流影像成像；(2 对天线馈线屏蔽外层加入陷波

电路结构，滤除MRI扫描时与射频系统耦合引起的共模噪声，保证采集的稳定性以及被试的电气安全。

结果：本摘要对被试佩戴心动雷达时进行心脏 MRI 扫描，其扫描图像与未佩戴心动雷达时的 MRI图像并无肉眼可见区别，验证了本摘要中所设计的心动雷达良好的 MRI 兼容性，且其在扫描过程中始终稳定采集和输出心动信号。

结论：本项目实现了MRI环境下的心动与呼吸非接触式检测，优化了系统检测位置的敏感性，简化了测试流程，提升了用户体验，验证了本项目的可行性。面向未来，算法部分：通过集成至 FPGA 的基于神经网络的滤波算法来提高信号质量与稳定性、同时降低系统延迟。天线部分：进一步优化天线设计，提升心动信号的信噪比与稳定性。

关键字：磁共振成像，电磁兼容，心脏磁共振

ID 4290

Joint Reconstruction of Dynamic PET Activity and Kinetic Parametric Images Using Learnable Descent Framework

Xiaowen Wang,Huafeng Liu
Zhejiang University

Objective:

Positron Emission Tomography(PET) is an advanced imaging technique in the field of nuclear medicine.It involves injecting radioactive tracers into the body and utilizing the distribution of tracer concentrations to determine the presence of certain cancers or other diseases.

Dynamic PET is capable of providing both spatial and temporal information of radio tracers in vivo. It has been the fundamental goal of many efforts in the dynamic PET imaging community to elucidate underlying biological and physiological processes in living tissues through reconstructing the spatiotemporal distribution of an injected radio tracer. With a suitable kinetic model, such as a compartmental model, the additional temporal information can be extracted from measured data—as in direct methods, or reconstructed distribution—as in indirect methods, and can be generalized into physiological parametric images which are of greater clinical use in tracking treatments of diseases and tumor diagnosis compared to conventional static PET imaging techniques. In practice, however, the data collecting process for each time frame is limited, due to the temporal resolution demand of acquiring a sequence of data at several time points during a continuous period of time. With increasing demands for temporal resolution, the limited photon counts in each frame measurement data continuously challenge the quality of dynamic PET imaging. At this point, due to the insufficient photon counts in a single frame which fails to effectively reflect statistical characteristics, methods that individually reconstruct each frame using statistical-based reconstruction algorithms often result in inaccurate reconstruction outcomes.Therefore, in dynamic PET reconstruction problems, the use of conventional image reconstruction methods will suffer from the low counts ,and the inner connection between different time frames can no longer be ignored. In this work, tracer kinetics are integrated into the frame-by-frame reconstruction algorithm, and thereby a direct estimation of the kinetic parameters of radio tracer is simultaneously performed during the optimization of the activity distribution.

Otherwise, the conventional image reconstruction problem has been considered for many years by many researchers. The majority of dynamic reconstruction falls into statistical iterative configurations, being usually a specific model for the measurement statistics, and the physical systems with designed priors. Learnable optimization algorithm (LOA) is a class of methods developed in recent years to imitate the iterations in optimization algorithms as blocks in a deep neural network with certain components replaced by learnable layers. Several LOA methods are proposed to incorporate certain prior knowledge about the solution, then unroll numerical optimization algorithms as deep neural networks so as to preserve their efficient structures with proven efficiency, such as the ADMM-Net and Variational Network. However, these LOAs themselves do not follow any provably convergent algorithm or correspond the solution of any properly defined variational problem. Moreover, certain acceleration techniques proven to be useful for numerical optimization algorithms are not ef-

fective in their LOA counterparts.In this work,we choose to use a novel algorithm named Learnable Descent Algorithm to address the aforementioned issue.

Methods:

In this paper, we present a novel joint estimation framework to reconstruct temporal sequences of dynamic PET images .This framework, based on the foundation of combining deep learning to construct a learnable network regularization term in the image domain, incorporates prior information from the temporal axis derived from the tracer's dynamic model. This enhances the quality of PET reconstruction images and directly estimates dynamic parameters. Moreover, the proposed algorithm's iterative process combines the advantages of the physical principles in PET imaging and the rapid reconstruction speed of model-based approaches, demonstrating certain advantages in terms of generalization and speed.

Results: In our experiments, the reconstruction algorithm is verified on synthetic Zubal brain phantom data. For comparisons, the traditional ML-EM method and ADMM+TV method, as well as deep learning frameworks such as DeepPET and Unet are presented. We test the robustness to noise on the Zubal phantom data and the proposed method presents a much better image of activity distribution under different noise levels with higher PSNR and SSIM. As for kinectic parameters, the additional regularization term makes the whole system less sensitive to noise and low counts with faster convergence.

Conclusion:

We summarize our contributions below:

1) The algorithm we proposed enjoys high interpretability, and thus requires a small training set.

2) The algorithm we proposed uses a residual structure, converges faster.

3) Our work offers guarantees of stability and convergence, reducing the number of hyper-parameters compared to traditional joint reconstruction algorithms.

4) In the Poisson PET reconstruction model, prior information from tracer kinetics models is also incorporated. This approach ensures that the reconstructed PET images not only have statistical characteristics but also adhere more closely to actual physi- ological conditions due to the inclusion of physiological constraints. Furthermore, by matching the physiological model in the objective equation, this framework also enables the direct estimation of single-tracer PET kinetic parameters.

Key Words: Dynamic PET image reconstruction, joint reconstruction ,learnable regularization term

ID 4338

Single-Step Assembly of NIR-II Nanoprobe for Highly Effective Imaging of Acute Kidney Injury with ICG Loaded Lipid Polymer

Jinxin Zhang,Jihong chen
深圳市宝安区人民医院

Objective:

Acute kidney injury (AKI) is a severe syndrome with a high prevalence among critically ill patients. It is characterized by a sudden decline in renal function, resulting in the accumulation of metabolic waste products and imbalances in electrolytes and blood fluids. However, the clinical diagnosis of AKI currently relies on markers of renal function, such as creatinine (Crea) and urea nitrogen (BUN), which lacks sensitivity in the early detection of renal injury. Moreover, no approved pharmacological agents have been specifically designed for AKI treatment, and management strategies are limited to supportive measures such as optimizing blood volume, providing nursing care, maintaining fluid balance, and preventing and managing complications. Renal replacement therapy remains the only available treatment for severe AKI patients. Despite the development of molecular optical probes for AKI diagnosis, the diagnostic process often takes too long, and

fails to effectively treat or alleviate the condition. Additionally, certain nanoparticles (NPs) only have a therapeutic effect on AKI but cannot be used for diagnosis. Therefore, we urgently need to be able to used in the nanometer medicine in the diagnosis of AKI.

Methods:

We measured the absorption and fluorescence spectra of ICG-NPS. Compared to free ICG, there was no significant shift in the absorption and emission peaks of ICG-NPS, indicating that ICG maintains its optical properties after being encapsulated in lipid-PLGA nanoparticles, which can be used for subsequent experimental research.We determined the nanoparticle size of ICG-NPS through dynamic light scattering. Transmission electron microscopy is a key parameter for evaluating the successful encapsulation of ICG-NPS nanoparticles. The detection results showed that ICG-NPS was successfully formulated into nanoparticles with an overall spherical shape and good dispersity. The magnified nanoparticle structure also revealed a core with a clear membrane wrapping around it. The stability and long-term exposure to 808 nm laser irradiation of both ICG and ICG-NPS indicate that ICG-NPS can be stored long-term and has good photostability.

Results:

We evaluated the cytocompatibility and toxicity of ICG-NPS on HK-2 cells. After treating the cells with different concentrations of ICG-NPS, cell viability was assessed at 24 and 48 hours using the CCK8 assay. The results showed no significant change in cell viability compared to the control group, indicating that ICG-NPS has no obvious cytotoxicity. We also investigated the effect of ICG-NPS on cell uptake. The subcellular localization of ICG and ICG-NPS in HK-2 cells was observed using confocal microscopy. Co-localization with the lysosomal marker lysotracker revealed that ICG-NPS was successfully taken up by HK-2 cells and localized to the cellular lysosomes, similar to ICG. Since ICG is a near-infrared II fluorescence dye, we incubated ICG or ICG-NPS with HK-2 cells for 2 hours and detected the uptake of ICG-NPS by HK-2 cells using near-infrared II imaging. The results showed that no fluorescence signal was detected in the control cells without dye staining. In HK-2 cells co-incubated with ICG or ICG-NPS, a significant fluorescence signal was detected, indicating successful uptake of ICG or ICG-NPS by HK-2 cells.These data indicate that ICG-NPS can be uptake by HK-2 cells without significant cytotoxicity, and ICG-NPS exhibits good near-infrared II imaging capabilities within HK-2 cells.

We constructed an AKI mouse model by intraperitoneal injection of cisplatin and monitored the near-infrared II fluorescence imaging of the kidney tissue in AKI mice at 24 and 48 hours after tail vein injection of ICG or ICG-NPS. Mice monitored with ICG showed diffuse fluorescence signals throughout the body, and the fluorescence signal gradually weakened after 1 hour, completely disappearing by 24 hours. In normal mice monitored with ICG-NPS, the fluorescence signal was mainly enriched in the kidney tissue after 1 hour, and the fluorescence signal of ICG-NPS was significantly enhanced in AKI mice at 24 and 48 hours. Notably, no fluorescence signal of ICG-NPS was detected in normal mice 24 hours after injection. However, in AKI mice at 24 and 48 hours, the fluorescence signal of ICG-NPS was still significantly enriched in the kidney tissue, clearly distinguishing between normal and AKI mice. Consistent with the in vivo imaging results, the anatomical examination of mice 24 hours after tail vein injection of ICG or ICG-NPS showed results consistent with the in vivo imaging, indicating that ICG-NPS can successfully perform near-infrared II fluorescence imaging and be applied to the early diagnosis of AKI.

Conclusion:

In this study, we observed the distribution of ICG-NPS in the body by encapsulating ICG in stealth liposomes for near-infrared diagnosis of acute kidney injury (AKI). This non-invasive imaging technique holds great promise for early detection and monitoring of AKI. In addition, we demonstrated that the nanoencapsulation of ICG by DSPE-PEG and lecithin was essential for renal accumulation in AKI. This nanosystem is expected to be a valuable tool for early diagnosis of AKI, helping to prevent the deterioration of AKI and timely intervention.

Key Words: Acute kidney injury, Indocyanine green, Stealth liposomes, Near-infrared II fluorescence imaging

S22
类脑智能展

ID 1942

Leveraging Attractor Dynamics in Spatial Navigation for Better Language Parsing

Xiaolong Zou,Xingxing Cao,Xiaojiao Yang,Bo Hong
Qiyuan Lab

Objective: Increasing experimental evidence suggests that the human hippocampus, evolutionarily shaped by spatial navigation tasks, also plays an important role in language comprehension, indicating a shared computational mechanism for both spatial navigation and language comprehension. However, the specific relationship between the hippocampal formation's computational mechanism in spatial navigation and its role in language processing remains elusive. To investigate this question, we develop a prefrontal-hippocampal- entorhinal model (which called PHE-trinity) that features two key aspects: 1) the use of a modular continuous attractor neural network to represent syntactic structure, akin to the grid network in the entorhinal cortex; 2) the creation of two separate input streams, mirroring the factorized structure-content representation found in the hippocampal formation. We evaluate our model on language command parsing tasks, specifically using the SCAN dataset. Our findings include: 1) attractor dynamics can facilitate systematic gener- alization and efficient learning from limited data; 2) through visualization and reverse engineering, we unravel a potential dynamic mechanism for grid network representing syntactic structure. Our research takes an initial step in uncovering the dynamic mechanism shared by spatial navigation and language information processing.

Methods: we build a dynamic model called PHE- trinity that simulates the structural and functional attributes of corresponding cortical regions. The model is characteristic of two features: first, the employment of a grid network that encodes spatial or syntactical structures, as illustrated in Figure 1B; second, the adoption of separate structure-content streams. Accordingly, the model is divided into three core modules: (1) the MEC (medial entorhinal cortex) network, implemented as a modular continuous attractor network driven by velocity inputs; (2) the HC network, functioning as an associative relational memory system; (3) the PFC network, configured as a recurrent neural network to encode language parsing rules. The whole model here can be understood as an encoder-decoder architecture from a machine learning perspective.

Results:

1) in the SCAN dataset, the attractor dynamics within PHE-trinity contribute to systematic generalization, achieve competitive performance across various language parsing tasks (here, language parsing refers to transforming sentences into another format based on underlying syntactic structures or rules), and enhance learning efficiency, particularly in data-limited scenarios;

2) through visualization and reverse engineering, the grammatical roles of words can emerge from training, serving as velocity inputs to leverage the grid-like system to represent syntactic structure.

Overall, our research provides initial insights into the shared computational mechanism behind spatial navigation and language information processing.

Conclusion In this research, we introduce a dynamic model called PHE- trinity, which integrates two key aspects of information processing within the HC-MEC system: a grid network for structure representation and separate structure-content

pathways. Our hypothesis is that preformed, velocity vector-driven modular attractor dynamics, shaped through spatial path integration tasks, are adaptable for facilitating language information processing. Experimental findings from SCAN tasks validate this hypothesis, indicating that these preformed attractor dynamics aid in systematic generalization, yield competitive results across various SCAN tasks, and improve learning efficiency, especially in limited data conditions. Moreover, we utilized visualization and reverse engineering methods to uncover a potential dynamic mechanism underlying command sequence parsing: utilizing grammar roles as velocity vectors and leveraging attractor dynamics in the grid system to integrate the syntactic structure information. Hopefully, this study could enhance our understanding of the computational dynamics shared by both spatial navigation and language information processing.

Limitations and Future Works: Currently, PHE-trinity only provides a rough simulation of the PFC, HC and MEC and lacks several critical features: 1) the model does not include the feedback connections from HC to MEC, which are essential for correcting path inte- gration errors (Whittington et al., 2020); 2) the biological HC has the capability to group and organize memory se- quences based on their underlying structures (Eichenbaum, 2017), rather than simply serving as a storage unit; 3) the PFC is able to abstract schemas from various similar expe- riences, thereby enhancing the reuse of learned knowledge and generalization (Gilboa & Marlatte, 2017). Therefore, it is important to integrate these features in future work to improve the model's capability in language information processing.

Key Words: Attractor; grid system; spatial navigation; language parsing

ID 2113

离子导电凝胶的仿生学习与记忆

雷周玥
东华大学

目的：对于集成性的人机交互系统而言，除了感知外界刺激，还需要对采集的信息进行信号处理和存储记忆。但是，相比于生物组织的高级智能，人工离子导电凝胶的功能和智能远远不足。这是因为普通导电凝胶没有固有逻辑方式去操纵离子电流以实现对信号的处理。而在生物系统中，跨细胞膜离子通道将细胞内和细胞外介质分开，并选择性地渗透阳离子（例如 Na+、K+ 和Ca2+）和阴离子（例如 Cl-），实现了对信号的感知、处理和记忆。

方法：通过对离子导电凝胶进行不对称结构设计，利用界面结构对离子流的选择性调控，来模仿生物系统的功能和智能，包括离子选择性、短期可塑性、多模态记忆和逻辑响应。

结果：离子导电凝胶实现了对离子流进行时空操纵以识别、处理和记忆信息。实现了本体水凝胶尚未证明的短期可塑性，还可以对从传感器接收到的信号进行实时处理，表现出刺激增强的电压感知和逐步遗忘的过程。此外，利用凝胶的信息记忆和遗忘，还可以实现动态的逻辑信号输出。相比于传统电子设备遇到的光学和力学限制，透明离子导电凝胶的优势也在于可以在大变形下稳定工作。

结论：离子导电凝胶因其良好的生物相容性、高度可拉伸性、高透明度和低成本等优势，在过去几年中获得了大量关注，成为了人机交互界面的重要候选材料。他们已经实现了许多有趣的应用，例如离子皮肤和仿生肌肉驱动器，但尚未实现类脑智能。而这一工作将为柔性离子器件的发展提供新的启发，也为未来实现可拉伸智能材料与生物组织的协同整合提供新思路。

关键字：离子导电凝胶，水凝胶，软物质，仿生材料，类脑智能

ID 2230

具有复杂时空相关可塑性的突触晶体管与仿生时序信号处理系统

倪尧
广东工业大学

目的：突触晶体管作为神经形态电子学的重要组成部分，通过模仿神经突触的工作原理实现信号的处理、学习和记忆。近年来，突触晶体管的研究取得了显著进展，尤其是可塑性在时间尺度上灵活可调方面，因其与生物神经系统类似的信息传递特性，被广泛应用于多元的人工智能应用场景。然而，鉴于该领域相对较新且发展时间较短，材料的选择、器件的设计以及功能的拓展方面仍具有巨大的潜力，并存在进一步提升的空间：虽然通过优化界面深陷阱浓度可以提高离子被捕获的几率，并在一定程度上增强双电层对沟道电流的短/长时程可塑性调控能力。然而，一旦脉冲刺激结束，部分未被捕获的离子仍会扩散并远离沟道，导致沟道电流不可避免地衰减；为了实现更复杂的时空相关可塑性调控，需要对栅介质层连续施加一系列刺激脉冲，以驱动更多离子掺杂到双电层中。然而，该调控过程通常需要复杂的刺激手段和冗长的过渡时间。尤其是在采用传统双电层突触晶体管构建的神经网络体系中，随着网络规模的增大，复杂的时序信息很难在整个网络中保持长期的依赖关系。特别是随着时间的推移和信息的更新，先前处理的信息特征逐渐减弱，导致网络中的每个连接都需要相应地调整和优化，增加了设计和调试的难度，同时降低了识别能力。

方法：为了满足仿生应用中复杂时空相关可塑性调控的实际需求，报告人结合多种性能优异的材料，并借鉴生物模式中“星形胶质细胞对不同神经递质的响应存在时间分辨率的差异”的特点，通过构建能够对阴/阳离子选择性捕获的多维异质结构，并设计离子延时性掺杂体系来调控迁移离子与扩散离子在沟道界面处的积累。

结果：从而仅需切换施加到栅介质层的脉冲的正/负极性，就能实现即时性与延时性的兴奋电流响应。在此基础上，进行人造突触阵列、传感模块以及特殊功能单元的集成。

结论：通过以上研究实现复杂时空突触可塑性的调控功能，并构建出具有复杂时空相关可塑性的仿生时序信号处理系统，为神经科学和人工智能领域的研究和应用提供新的可能性。

关键字：突触晶体管；复杂时空相关可塑性；离子延时性掺杂；延时性兴奋电流响应；仿生时序信号处理系统

ID 2381

3D neuMatrix：基于3D生物打印的具有多尺度神经网络结构的类脑模型

杨蕙钰[1]、张健刚[1]、李怡然[1]、钟子涵[1]、李文华[2]、杨华瑜[1]、王裕[1]、杨楠[2]、马文斌[1]、毛一雷[1]
1. 中医医学科学院北京协和医院
2. 中国医学科学院基础医学研究所

目的：体外神经元模型对中枢神经系统的研究至关重要，传统2D培养的原代神经元难以还原体内神经细胞的形态与结构。我们应用3D生物打印构建体外神经网络模型，验证其生物学还原性，并用于探究神经疾病机制及药物筛选。

方法：我们选取30%取代度的GelMA作为生物墨水，使用挤出式打印法构建了7×7×1.5mm的原代神经元3D生物打印模型，并将其命名为3D neuMatrix。

结果：3D neuMatrix在体外培养过程中具有良好的活性。对神经元标志物的免疫荧光染色显示，神经元在培养过程中逐渐聚集成直径为50-200微米的神经簇。这些簇之间伴随有明显的轴突互连，形成类似大脑的复杂网络结构。钙信号的功能学分析发现，3D neuMatrix具有微米尺度上的神经元簇内的自发放电以及毫米尺度上的同步放电。进一步研究表明，

使用谷氨酸能和GABA能受体拮抗剂处理3D neuMatrix可以显著改变放电频率和全局相关性。RNAseq显示3D neuMatrix的基因表达谱与2D培养的神经元相比更接近于E18的原位神经组织。进一步对体外培养第1、7天的3D neuMatrix进行snRNAseq发现，3D neuMatrix中具有兴奋性和抑制性神经元及其全部皮层亚群，同时3D neuMatrix在体外培养过程中，神经投射和神经递质分泌的通路富集逐渐增加，与结构和功能的变化相符。最后我们使用3D neuMatrix构建了脑卒中模型。3D neuMatrix在OGD/R处理后表现出活性和功能学的显著变化。与2D培养的神经元相比，3D neuMatrix在OGD/R处理后的转录组变化更接近于MCAO大鼠的表达特征。

结论：结论：3D neuMatrix中形成了多尺度的神经环路，与传统模型相比从结构、功能、转录组等方面均与原位组织更加相似，在神经发育、疾病建模、药物筛选和体外智能研究中具有巨大潜力。

关键字：3D生物打印，神经网络，原代神经元模型，中枢神经系统疾病

ID 2418

生物脑图谱结构嵌入神经网络

潘雨辰
中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心

目的：近年来，AI领域神经网络技术取得了显著进展。然而，这些模型在鲁棒性、泛化能力、可解释性等方面仍面临着挑战。与此同时，生物领域对于大脑中神经元及其环路的研究也在不断地深入，通过研究神经元的结构、功能以及脑区间的互联机制，科学家们逐渐意识到将生物结构与神经网络结合的可行性与光明的发展前景。因此在这样的背景下，我们旨在借鉴大脑中神经元的生物结构，进行结构抽提并嵌入至神经网络中，最终设计出更具鲁棒性、生物可解释性的神经网络模型。

方法：我们的研究首先受到了一种基于图的神经网络表示——关系图的启发，它将神经网络层与关系图的消息交换进行对应，从而研究神经网络的图结构与其预测性能间的关系。在此基础上，我们希望以这种图结构为媒介来将真实的生物结构嵌入至MLP、Transformer等神经网络模型中。为验证思路可行性，我们首先生成了与生物图谱数据等大的随机矩阵，并利用关系图思想将其转换为目标图的形式对MLP进行了嵌入工作，结果表明我们的思路可行，可以进行下一步生物脑图谱嵌入MLP的工作。因此，我们进一步对脑区中的生物脑图谱数据进行了结构抽提，从复杂的神经元连接中获得了精炼的数学邻接矩阵。通过将邻接矩阵转换为目标图形式并嵌入至MLP中，我们最终可以实现生物结构嵌入神经网络的目标。

结果：我们将生成的随机矩阵根据关系图思想转换为所需目标图的形式，并实现了嵌入至MLP架构的工作，随后在Cifar-10数据集上进行了相应的分类任务测试并得出了每轮的Top-1错误率结果。我们以此绘制了整个过程中正确率的变化曲线，结果表明曲线可以收敛且可以达到70%的正确率，说明嵌入工作可行，我们后续继续实现了将脑图谱数据抽提出邻接矩阵，并将进一步进行后续嵌入工作。

结论：我们的生物结构嵌入工作有了初步的思路与进展，后续会继续实现生物脑图谱数据的嵌入工作，提高模型的准确性、生物可解释性并推动类脑智能领域进步。

关键字：类脑智能；生物结构；关系图；MLP

ID 2632

氧化铌忆阻器混沌动力学与听觉仿真

曾飞、虞俊纬、卢子傲、万钦
清华大学

目的：通过对氧化铌忆阻器电学性质和结构的研究，阐明其混沌动力学。发现了氧化铌锁相的性质，并以此为基础模拟了听觉的锁相、音调拓扑、强度选择、声音定位和混频等特性。

我们演示了如何利用阈值开关忆阻器的混沌动力学来编码听觉信息中的频率和幅度。我们将Pd/Nb/NbOx/Nb/Pd的忆阻器设置在混沌的边缘，并使用周期性扰动对其进行激励。我们发现它根据锁相原理对信号进行响应和编码。它还可以通过调节锁定相位或尖峰数量中的响应尖峰来实现强度编码和拓扑。基于这两个特征的仿真，忆阻器系统演示了声音定位和混频。我们的研究提出了一种处理复杂时空信息的新方法。

方法：电学测试、微结构分析、动力学模拟

结果：仿真了听觉所有特性

结论：利用氧化铌忆阻器的混沌动力学可以精准处理频率信号，在类脑计算有广泛前景。

关键字：氧化铌，忆阻器，混沌动力学，锁相，声音定位，听觉

ID 3137

SDP: Spiking Diffusion Policy for Robotic Arm Action Generation

Zhixing Hou,Hang Yu,Tianlin Liang,Maoxu Gao,Mengyu Yang,Chio-In IEONG
Guangdong Institute of Intelligence Science and Technology

Objective: Recently, robotic arms have been widely applied in various fields such as healthcare, industrial automation, and embedded robotics systems. These diverse and intricate applications pose higher demands on robotic arms for advanced intelligence, low power consumption, and rapid responsiveness. To address this challenge, neuromorphic computing emerges as a promising direction, as it encompasses various brain-like characteristics such as neuron and synapse-inspired structures, spatial-temporal data processing, asynchronous operations, and spike signal transmission. Spike Neural Networks (SNNs) represent a typical neuromorphic computing model that mimics the neurons and synapses information processing paradigm.

Methods: In this paper, we implemented a spiking neural network as a vision-based conditional spiking denoising diffusion probabilistic model, for generating serialized action trajectories for robotic arm movements. The model utilizes U-Net as the backbone network for the reverse diffusion denoising process, which involves a series of convolutional operations, downsampling, and upsampling processes, with information transmission between neurons in the form of spike data. We adopted the most prominent leaky integrate-and-fire (LIF) spiking neuron model, where the membrane potential associated with each neuron represents its current state. The membrane potential accumulates spikes from previous neurons. Once it reaches the firing threshold, the neuron emits a spike signal to the next neuron and resets the membrane potential level. For training the SNN network, we employed the ArcTangent function as the surrogate function and straight-through estimator(STE) to compute gradients for backpropagation. Furthermore, we proposed several techniques for improving the network performance as follows:

A. Pre-spike skip connection

The additive operation in residual connections transforms the binary states {0,1} indicating spike emission of neurons into ternary states {0,1,2}, deviating from the intrinsic characteristics of neurons. To address this, we proposed pre-spike skip connections, where spike emissions by neurons are triggered after the residual connections.

B. Auto-encoding unit

During the diffusion training process, randomly generated noise is proportionally added to actions based on the diffusion time step. To enable continuous floating-point noisy actions to accommodate discrete and non-continuous Spiking Neural Network architectures, we propose an auto-encoding unit (AEU). This unit consists of multiple layers of linear transformations and Leaky Integrate-and-Fire nodes, encoding the noisy actions into a series of binary temporally arranged spiking pulses. These sequences serve as inputs to the spiking denoising network.

C. Trainable linear pooling decoder

We propose a trainable linear pooling decoder to obtain the final predicted noise. This decoder performs linear transformations and pooling operations on the discrete spike sequences, eliminating the temporal dimension of the activations within the Spiking Neural Network. All parameters of the decoder are trainable, allowing them to be learned through the training process.

Results:

A. Main results

To validate the effectiveness and efficiency of the proposed algorithm, we conducted extensive experiments on a task named Push-T. Specifically, in this task, a robotic arm generates motion trajectories based on data observed by two cameras to push a randomly positioned T-shaped object into a designated T-shaped frame of the same size. Setting the Spike's temporal dimension T to 4, our SPD model achieved a success rate of 89.9% in the Push-T task, with only a slight performance drop compared to the Artificial Neural Network's (ANN) success rate of 96.9%. Furthermore, by utilizing a spike neural network, we reduced the number of floating-point operations of the original ANN U-Net network to 12.6%, while introducing only low-power spike operations. The reduction in the number of floating-point operations has significantly lowered the overall energy consumption of the network. Estimated on 45nm hardware, our SNN architecture's UNet theoretical energy consumption is a mere 19.6% of the original network's energy usage.

B. Ablation studies

We conducted ablation experiments under different spike's temporal dimensions T of 1, 2, 4, and 8, with the highest experimental success rates for each condition being 32%, 84.3%, 89.9%, and 88.6%, respectively. We found the success rates of T=4 and T=8 are comparable, with T=4 even yielding a higher success rate. However, as T increased, our model exhibited increased stability, albeit at the cost of higher computational complexity and longer processing times. By selecting the best 5 checkpoints for each experimental condition, we calculated the average success rates to be 30.8%, 83.6%, 86.4%, and 87.3%, respectively.

Conclusion: In summary, this paper presents a spiking diffusion model for generating serialized motion actions for robotic arms. To ensure the effective operation of this network, we leverage pre-spike skip connections, an autoencoding unit, and a trainable linear pooling decoder to enhance network performance. our approach has shown comparable results to the equivalently sized ANN networks while significantly reducing computational complexity and power consumption, showcasing the advantages of neuromorphic computing in embodied intelligent applications. However, this current work represents our exploration of applying brain-inspired computing in embodied intelligence. Future research will focus on achieving a fully integrated SNN network and extreme compression of network parameters, computations, and energy consumption in embodied intelligence.

Key Words: Spiking Neural Network, Diffusion Policy, Robotic Arm Action

ID 4135

脑电信号微状态分析的神经动力学分析

王敏[1,2]、黄淦[1,2]、方乐烨[1,2]
1. 深圳大学医学部生物医学工程学院
2. 广东省生物医学信息检测与超声成像重点实验室

目的：脑电图微状态被认为是意识的基本组成部分，可以看作是“思想的原子”,与多种认知和临床现象密切有关。意识状态的改变，如睡眠、麻醉或精神疾病，会影响微观状态的时空动态，因此微状态分析在临床上已得到广泛应用。然而，大脑为何会形成稳定的微状态，以及影响其动态的时空特征因素，尚未得到深入探究。本研究旨在通过模拟生成具有特定时空分布特征的脑电数据，模拟微状态动态过程，并与真实脑电数据的微状态进行比较分析，以期深入理解微状态形成的内在机理，更好地分析临床现象。

方法：基于92名被试的736段静息态脑电数据进行数据生成，针对时空分布的特性，根据空间域和频谱域的数据分布特征模拟生成脑电数据。将模拟生成的脑电数据微状态分析与真实脑电数据间进行比较，同时通过调节空间分布和频谱特征等参数, 生成具有不同空间拓扑和频率成分的脑电数据，探究这些因素对模拟生成数据中微状态动态的影响，对微状态序列的转移概率、覆盖比例、持续时长和出现频率四个特征之间的关联进行分析。

结果：模拟生成的脑电数据能够产生与真实数据相似的微状态信息。进一步分析发现，模拟生成脑电数据的空间频率特征与转移概率高度相关。

结论：微状态分析是空间和频率特征的综合反映。本研究提出的脑电数据模拟生成方法为深入剖析微状态神经机制提供了新工具和视角，有助于更好地分析和解释临床脑电数据中的微状态。对脑电信号的模拟生成也为探索生物智能的信息编码和处理机制带来启示，这将为类脑智能体系的构建奠定基础。

关键字：脑电图；微状态；时空动态；数据生成

F08
呼吸疾病方面的研究或方法

ID 2612

慢性阻塞性肺疾病肺损伤与氧化应激-AGEs-RAGE通路的研究

李明子、夏书月
沈阳医学院附属中心医院

目的：讨论血管紧张素转化酶抑制剂（ACEI）对慢性阻塞性肺疾病（COPD）大鼠肺组织中氧化应激-AGEs-RAGE通路的影响及经ACEI治疗后的COPD大鼠肺组织中ACE2的表达。

方法：将48只成年大鼠随机分成8组：对照组，慢阻肺模型组，低、中、高剂量ACEI组，低、中、高剂量ACEI联合ICS组。使用脂多糖气管内注射联合香烟烟雾建造大鼠COPD模型，在熏烟中期给予ACEI灌胃治疗（共2周，每周6天），在COPD建模成功后的第2天给予糖皮质激素雾化吸入治疗（共1周）。检测大鼠肺功能FEF25%、FEF50%等，通过HE染色检测大鼠肺组织病理学变化，ELISA检测炎症因子TNF-α及IL-6表达水平、氧化应激相关因子SOD表达水平、AGEs及RAGE表达水平、ACE2及Ang Ⅱ表达水平，Wb检测AGEs、RAGE及ACE2蛋白的表达情况，qPCR检测肺组织ACE2

结果：与Control组相比，Model组肺功能明显下降，LA、MA、HA组较Model组肺功能有所升高，且LAI、MAI、HAI组肺功能进一步升高；HE染色提示，COPD组有明显的肺损伤，ACEI降低了肺损伤程度；ELISA检测结果提示COPD组氧化应激及炎症反应增加，ACEI治疗可以减缓氧化应激及炎症反应程度，ACEI+ICS治疗会进一步抑ACE2、Ang Ⅱ的表达；WB结果COPD促进了肺组织AGEs-RAGE通路，ACEI治疗抑制AGEs-RAGE通路，ACEI+ICS治疗进一步抑制AGEs-RAGE通路。

结论：氧化应激-AGEs-RAGE通路的激活可以导致COPD肺损伤；ACEI可以通过抑制氧化应激-AGEs-RAGE通路，可以抑制Ang Ⅱ，使ACE2增加，从而起到对肺损伤的保护作用；ICS治疗可以进一步抑制氧化应激-AGEs-RAGE通路，可以在低剂量ACEI治疗中使ACE2表达增加，在中、高剂量ACEI治疗中使ACE2表达减少。

关键字：慢性阻塞性肺疾病，氧化应激，AGEs, RAGE, ACE2

ID 3274

心衰患者心肺运动试验期间发生波浪式呼吸的机制探讨

刘方、孙兴国
中国医学科学院阜外医院

目的：基于整体整合医学新理论体系左心室及其前后的肺静脉、左心房和主动脉、颈动脉等心血管结构直接参与到传统呼吸调控主环路中，共同组成完成的调控环路；我们解释了左心衰发生陈施呼吸的机制。心衰患者心肺运动试验（CPET）发生波浪式呼吸（Oscillatory breathing，OB）现象高达半数以上，其发生机制解释尚不明确。

方法：选取 2016 -10 至 2019 - 2 期间于阜外医院进CPET心衰患者 261 例，签署知情同意书后进行CPET，对数据进行分析。OB定义为在CPET 期间波浪式运动通气振幅大于平均通气量的30%； VE 中超过3个周期或超过60% 运动时间；有三个以上指标连续出现3次以上呼吸呈波浪式形式变化。

结果：261例患者中144例出现OB。OB组中最常出现波浪式变化的指标主要有分钟通气量、潮气量、呼吸频率、摄氧量、呼吸商、摄氧有效性、二氧化碳通气有效性、潮气末氧分压和二氧化碳分压。OB组峰（值氧摄氧量、无氧域、摄氧有效平台、氧脉搏）预计值百分比较非OB组低（P＜0.05）。整体论认为心衰患者出现OB，主要源于“混合室效应”与“时相错位”的双重作用。心衰导致的每搏量、左心室射血分数下降、左心室舒张末容积增大，进一步减弱了从肺静脉到动脉系统的呼吸调控信号（PaO2、PaCO2和H+），且呈波浪幅度减弱，进而影响呼吸肌的收缩力，导致呼吸幅度渐次减弱。波浪式PaO2、PaCO2和H+信号到达外周组织时（约3秒），通过调节吸气和呼气动作实现对呼吸节律和频率的精细调控； PaO2、PaCO2和[H+]a的平均信号到达中枢化学感受器存在约30秒的时间差，导致中枢对低通气和高通气反应时机的不一致，即“时相错位”。这种时相错位与混合室效应相结合，导致CPET 期间出现波浪式呼吸。

结论：左心室为核心的心血管结构参与到呼吸调控环路是整体论的组成部分，据此可以对严重心衰患者出现OB现象进行全面解释。

关键字：波浪式呼吸 左心衰 心肺运动试验 发生机制

ID 3441

用于OSA病理机制研究的气道负压动物模型构建

李豪杰、王柏杨、叶京英、刘冉

清华大学

目的：阻塞性睡眠呼吸暂停（OSA）是一种发病率高、危害性大的睡眠呼吸疾病。神经-肌肉障碍是OSA致病主要因素之一，研究气道负压对上气道扩张肌活性的影响对于明确OSA发病机制有着重要意义。然而，现有动物模型仅针对OSA病理现象进行建模，难以反应气道负压-上气道扩张肌活性之间关系。这里，我们开发了一种负压水平可控的气道负压造模装置，并在小鼠和大鼠上进行了实验验证，结果表明该装置能够成功模拟OSA病理状态下气道负压情况，完成相应病理模型的构建。

方法：我们使用自主开发的装置完成大鼠气道负压模型的建立，造模装置由负压泵、负压腔室、比例阀、电磁阀、主控单元和连接套管组成，当收到触发信号时，电磁阀打开，气体负压经由套管传导至鼠咽喉处。我们使用13只大鼠和12只小鼠对装置功能进行了验证。包括对鼠进行气管后，于肺端气管通过导管维持正常呼吸，喉端气管连接造模装置。以0.5kPa为压力梯度，依次给予0~-3kPa范围的负压刺激，同步记录颏舌肌肌电信号。

结果：在给予上气道负压刺激后，颏舌肌肌电幅值的增大，当撤除对上气道的负压刺激后，颏舌肌肌电幅值逐渐降低。与刺激前后相比，刺激时相较于刺激前肌电RMS比值均值为1.66492，相较于刺激后肌电RMS比值均值为1.46805，刺激后静息状态下相较于刺激前静息状态下肌电RMS比值均值为1.14796。在施加同等负压水平的刺激时，密封口鼻相较于开放口鼻的颏舌肌肌电幅度有明显增强。在施加较长时间（≥20s）持续负压刺激时，颏舌肌肌电强度总体呈现下降趋势。

结论：该造模装置能够有效模拟OSA发病时气道阻塞引起上气道负压、上气道扩张肌肌张力提高以拮抗负压以及长时间维持高肌张力后肌肉疲劳情况。且不受动物体型限制，在大小鼠中均可有效实现负压造模。综上，该造模装置可用于OSA发病机制研究。

关键字：上气道负压刺激、动物模型、睡眠呼吸暂停、肌电

ID 4235

Feasibility of Electrical Impedance Tomography in Identifying Ineffective Inspiratory Effort during Mechanical Ventilation

Shuyang Jiang[1],Runze He[2],Lifeng Gu[1],Zhanqi Zhao[3],Huiqing Ge[2],Qing Pan[1]

1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology

2. Department of Respiratory Care, Sir Run Run Shaw Hospital, School of Medicine, Zhejiang University

3. Department of Biomedical Engineering, Guangzhou Medical University

Objective: Regional intensity fraction (RIF) was designed to capture the imbalanced ventilation distribution between the ventral and dorsal lung regions when IEE events happens.

Methods: The formulas for calculating RIF and ΔRIF are shown as:

(1) RIF(t)=Norm·I'V(t)/Norm·I'D(t)

(2) ΔRIF=RIFmax-RIFmin

Firstly, the first-order difference result I'V(t) and I'D(t) of IV(t) and ID(t) is normalized to 0.1 to 1 using min-max normalization to get Norm·I'V(t) and Norm·I'D(t). Then, the RIF index changing with time can be obtained by using equation 1. From equation 2, ΔRIF is defined as maximum change in RIF index during expiration.

When IEE happens, the patient's feeble inspiratory movements throughout the expiratory phase precipitated an anomalous rebound of dorsal gas. This phenomenon exacerbated the imbalanced distribution of ventilation, resulting in greater ventilation volumes in the dorsal regions compared to the ventral regions. Therefore, by analysing changes in RIF over the respiratory cycle, IEE can be recognized automatedly.

Results: We successfully differentiated breaths exhibiting ineffective efforts during expiration (IEE) from non-IEE breaths across both datasets using the ΔRIF metric. The optimal single-factor threshold for ΔRIF to discern IEE was determined as 0.5, yielding an area under the curve (AUC) of 0.94, demonstrating effective discriminatory accuracy.

Considering that IEE is not the only factor that increases RIF, we combined with other mature EIT parameters for advancing multi-parameter detection method. We tried a variety of parameter combinations, and recorded the performance of these methods on IEE recognition. Our test results on two datasets confirm that the multi-parameter recognition method can increase the accuracy of IEE recognition.

Conclusion: This study introduced a novel approach leveraging electrical impedance tomography signals to identify ineffective inspiratory effort during expiration, a typical type of patient-ventilator asynchronies (PVA), highlighting the promising potential of EIT as a non-invasive tool for PVA monitoring.

Key Words: Mechanical ventilation, patient-ventilator asynchrony, electrical impedance tomography.

F10
生物制造

ID 707

3D 打印具有全连通微通道结构的生物陶瓷支架用于促血管化骨再生的研究

罗永祥
深圳大学

目的：生物陶瓷支架是应用最广泛、最受欢迎的骨修复候选材料之一。特别是当支架具有微通道网络时，它可以促进快速的血管形成和营养交换。然而，具有完全互连的微通道网络和大孔的生物陶瓷支架的制备仍然是一个挑战。因此，本研究的主要目的是构建兼具开放大孔和全连通微通道结构的三维生物陶瓷支架，并在支架中选择性的掺杂生物活性离子，从结构和化学组分方面达到促成骨、成血管的目的。

方法：在本研究中，通过3D打印和表面交联，成功开发了具有开放大孔和完全互连微通道网络的β-磷酸三钙（β-TCP）支架。通过将3D打印的β-TCP/海藻酸钠支架浸泡在氯化铜/氯化锶混合液中，将支架的表面的海藻酸钠进行快速交联，而内部没有形成交联。然后将内部未交联的部分去除，形成了全连通微通道的网络结构，最后通过高温烧结形成结构稳定性较好的三维支架。在体外对支架的理化性能和生物相容性及成骨、成血管性能进行表征分析。最后将支架植入到大鼠的颅骨缺损部分，探究支架的体内骨缺损修复效果。

结果：采用传统的3D打印方法，将海藻酸盐和β-TCP粉末组成的混合油墨打印成具有大孔的3D支架。然后，使用铜和锶离子快速交联支架的表面。去除支架中心的未交联材料后，获得了具有完全互连微通道（CSH）的铜/锶离子掺杂的β-TCP支架。微通道直径和通道壁厚可以通过交联时间来控制。CSH支架的孔隙率由于全连通微通道结构的存在而显著增加，可进一步加速支架的降解和生物活性离子的释放。CSH支架在生物活性离子和微通道的协同作用下，显示出促进血管生成和成骨的增强作用。体内研究表明，CSH支架植入8周后，小鼠颅骨缺损完全愈合，微通道的外侧和内侧都形成了大量的骨组织和血管。

结论：我们的数据表明，CSH支架将是促进血管化骨修复的一种有前途的替代方案。也表明了三维支架的结构和化学组分对促成骨、成血管的良好联合效应。

关键字：3D打印、生物陶瓷支架、骨修复、微通道结构

ID 2092

三维肿瘤芯片系统及仿生分析应用

刘文明
中南大学

目的：细胞微工程（Cell microengineering）技术是现代生命分析领域热点关注的微尺度界面操控技术，主要涉及微流控技术和微图案化技术。自本世纪以来，这些技术在各种化学合成与功能材料制造、医学检测与即时诊断、器官组织重构与仿生分析、高通量细胞操控与药物筛选、环境监测与评估等领域都显示出了极强的科学价值和可应用前景。其中，开展高度精确控制性的体外器官组织重建与仿生分析应用是当前国内外生物医学工程领域的研究热点。

方法：近十多年来，作者实验室采用微流控和微图案化技术，开展了系列体外三维肿瘤模型与芯片系统构建及仿生分析研究，其中主要涉及了细胞精确捕获与定位、三维肿瘤及其微环境因素体外重构与模拟、肿瘤与基质微环境相互作用、大规模抗肿瘤筛选及动态检测分析等多种微型化操控与分析芯片平台的构建与应用。

结果：基于所构建的芯片系统，作者实验室目前已经能够很好地完成高度精确的数量均一性细胞定位与尺寸均一性三维肿瘤制备相关微尺度操控、多种类肿瘤组织及其微环境因素的体外仿生模拟与重建（如多种类细胞构成、组织细胞空间构成与多层次分布、不同细胞外基质沉积与分布、不同肿瘤组织细胞表型梯度分布、肿瘤缺氧与不同生化分子梯度分布等）、大规模肿瘤操作与抗肿瘤筛选分析等相关性研究工作。

结论：这些所构建的芯片系统对于发展各种三维器官组织仿生分析微平台具有很好的技术性参考和科学价值；同时，还有利于进一步推进其在肿瘤学基础（肿瘤发生与侵袭转移机制探索）、肿瘤临床、抗肿瘤药物研发等研究领域的广泛应用。

关键字：微工程；肿瘤芯片；三维肿瘤；组织仿生；大规模筛选

ID 2732

挤出式3D生物打印天然强韧水凝胶用于弹性组织再生

王迪
中国医学科学院整形外科医院

目的：生物水凝胶被广泛应用于整形外科基础研究与临床医疗之中。应用载细胞生物水凝胶3D生物打印仿生器官是当前热点研究方向之一，具有广阔的临床应用潜能。然而，载细胞生物水凝胶常机械性能较差，而强韧水凝胶又限制细胞的生物学行为，因此难以实现优异机械性能和生物功能的同步仿生。本系列研究旨在开发新型用于挤出生物打印的强韧生物水凝胶，以弥补以上当前基础研究中难以解决的重点问题。

方法：本系列研究开发了两种基于明胶和多糖的强韧生物水凝胶，用于挤出式3D生物打印弹性组织，包括血管及软骨等。两种生物水凝胶均基于双网络设计，通过系统、全面的材料学表征手段充分地验证水凝胶的理化性能、可打印性能等，其中重点表征了材料的机械性能，包括在单向应力及循环应力等多应力环境下的刚性、韧性、弹性、粘弹性、抗疲劳能力、断裂伸长率等。并通过细胞实验、动物实验表征材料的生物相容性及生物功能。

结果：两种强韧生物水凝胶体系具有纯天然材料构成，通过特殊的水凝胶设计，赋予了其优异的机械性能，并应用

其顺利打印出了多层仿生动脉、静脉以及耳、鼻、气管等组织器官。再生的器官同时还具备优秀的生物功能，如血管的药物响应下收缩与舒张、屏障、选择性透过、灌注、耐高压以及促进弹性软骨组织再生等功能。

结论：通过特殊的材料设计，实现了应用纯生物材料构建具有同时优异机械性能和生物功能的强韧天然水凝胶体系，并用其顺利3D生物打印出了满意的仿生组织器官。在相关领域基础研究和未来临床转化中都具有广阔的应用和再开发潜能。

关键字：强韧水凝胶、天然水凝胶、3D生物打印、弹性组织工程、机械性能

ID 3017

基于生物3D打印技术的原代卵巢癌模型用于肿瘤精准医疗及机制研究

张健刚、杨蕙钰、单莹、杨华瑜、潘凌亚、毛一雷、金滢

中医医学科学院北京协和医院

目的：卵巢癌是最恶性的妇科肿瘤，具有高度异质性。患者来源的肿瘤体外模型提供了一种精准医疗与肿瘤机制研究的良好平台。与异种移植模型和类器官相比，基于生物3D打印技术的原代卵巢癌模型具有高通量、高保真和8天的药物筛选周期，具有重要的临床意义。

方法：在2022年7月至2024年6月期间，我们在北京协和医院收集了卵巢癌患者的肿瘤组织样本，研究设计均获得知情同意并通过了北京协和医院伦理委员会的批准。肿瘤样本经组织消化、生物墨水配制后通过挤出式生物打印机构建原代卵巢癌模型（3DP-OC）。3DP-OC构建完成后在体外培养第5天（DIV　5）用化疗和靶向治疗药物进行梯度剂量处理，并通过ATP定量测定细胞活力，绘制剂量反应曲线并计算IC50值。

结果：我们在45例患者中建立了3DP-OC模型，包括38例高级别浆液性卵巢癌，4例卵巢透明细胞癌，1例卵巢肉瘤，1例子宫内膜样癌和1例神经内分泌肿瘤，模型构建成功率为100%。在生物3D打印和2周以上的培养期间模型中肿瘤细胞保持良好的细胞活性。免疫组化（IHC）和免疫荧光（IF）染色验证了3DP-OC与亲本肿瘤组织在卵巢癌生物标志物和Ki-67表达等方面的相似性。在紫杉醇、卡铂、顺铂、多柔比星、尼拉帕利、奥拉帕利、安罗替尼和仑伐替尼等药物敏感性测试中，我们观察到了显著的患者间的异质性。我们在5例患者中测试了紫杉醇和卡铂的药物协同效应，不同患者显示出差异化的响应。后续我们计划完善3DP-OC及亲本肿瘤的转录组、基因组测序，并结合药敏结果利用含CRISPR文库的慢病毒感染原代OC细胞，经耐药性区分后通过NGS测序鉴定与肿瘤耐药相关的基因集。

结论：我们在45例患者中高效地建立了3DP-OC模型。3DP-OC显示了具有患者间异质性的药物敏感性，突显了其在精准医疗及机制研究中的应用潜力。

关键字：卵巢癌，3D生物打印，精准医疗，肿瘤异质性

ID 4240

Bioprinting of patient-derived in vitro tumor organoid model: establishment, evaluation and anti-cancer drug testing

Shuangshuang Mao,Yuan PANG,Wei SUN

Tsinghua University

Objective: Towards personalized cancer treatment, tumor organoids that can faithfully recapitulate the pathophysiology of the parental tumor is strongly required for drug screening and personalized therapy evaluation. While the in vitro reproduction of this specific tumor organoids can be performed via the use of patient-derived tissues, the scarcity, coupled with the need for a broad range of samples, to account for patient-specific heterogeneous responses, has significantly impeded research in the field. Yet only a few studies using patient-derived renal cell carcinomas (RCC) heterogeneous organoids have been published with regard to drug testing.And current RCC organoid technologies require intensive manual manipulation, are hampered by variability, function immaturity, low throughput and limited scale. Here, we apply extrusion-based bioprinting to rapid generation of heterogeneous RCC organoids, with tunable mechanical properties and precise manipulation of biochemical properties. Bioprinted RCC organoids preserve the histological architecture, gene expression and genomic landscape of the parental tumor, even after long-term cultivation. They also possess both inter-organoid heterogeneity and inter-patient heterogeneity, allowing for discrimination between different tumor tissues and subtypes. These expanded RCC organoids could then be collected for high-throughput bioprinting using an integrated platform that generates uniform organoid with highly reproducible and quality control,which are amenable for preclinical patient-specific drug-screening testing, and reflecting the patient-to-patient variation in drug response and sensitivity. Finally, we created multicellular assembloids by reconstituting RCC aggregate with stromal components to represent an organized architecture with the in vivo-like vascular morphology and heterogeneous spatial tissue distribution. We thus demonstrated the wide-ranging biomedical utilities of bioprinted organoids in furthering the understanding of renal cancer biology and in developing personalized-medicine approaches for the disease

Methods: This study established a 3D bioprinting construction method for personalized tumor organoid models, and realized high-throughput drug screening for different patients. On this basis, personalized drug delivery strategies and translational research of new treatment methods were carried out, the development and metastasis regulation mechanisms of tumors in sequential pathological stages were investigated, providing new technical methods and application foundations for personalized tumor treatments and preclinical drug research

Results: 1.With the support of generic technologies, personalized renal cell carcinoma models were successfully constructed, which realized substitution of manual construction of tumor organoids and in vitro expansion culture. The histological morphology, genetic mutation and gene expression characteristics were highly consistent with the clinical results of patients.

2.Based on the integrated manufacturing platform of "bioprinting-culture", the 3D bioprinting and construction of a small volume high-throughput drug screening model was carried out in batches, providing stable drug detection with a coefficient of variation controlled below 5%. The heterogeneous drug responses of different patient samples, and the high correlation between drugs and organoid phenotype-genotype information show the translational value of the model for personalized and precision drug screening.

3.Taken altogether, this is a successful attempt to extend the bioprinting technique to construct RCC organoid models in a controlled manner, yet, still preserves the key features of the tumor of origin. Our innovative results pave the way to the exploitation of RCC organoid cultures, which could then be used for organoid-level mechanic analysis, disease mechanism, responses to therapy, clonal evolution, and emergence of drug resistance. However, it should be noted that there are still some unsolved problems. The lack of an immune system and stromal components represents, especially when aiming at studying tumor cell-stroma and immune interactions, making it impossible to verify the effect of immunotherapy in vitro which has good clinical application on RCC.

In this direction we wanted to speculate the potentiality of our systems evaluating several antigens associated with tumor immune-surveillance in the future.

Conclusion: The studies described herein demonstrate that integration of bioprinting and organoids can facilitate construction of personalized model with both physiological function and structure. BP-Organoids of RCC that we present here fulfill all the criteria of a reliable in vitro cancer model, possessing both inter-organoid heterogeneity and inter-patient heterogeneity with four different subtype. And they can recapitulate gene expression and genomic landscape of the parental tumor. Moreover, the automated bioprinting platform produces and patterns uniform organoids in high throughput, links heterogeneity of genotype and phenotype to patient drug responses.

Key Words: Bioprinting; tumor organoid model; drug testing

论文竞赛复赛
（会议现场口头报告）

S01
生物医学测量、信号处理及仪器

ID 187

基于傅里叶-贝塞尔级数的疼痛诱发信号提取

高文佳[1]、王治龙[2]、刘莹[2]、王启松[1]、孙金玮[1]、刘丹[1]
1. 哈尔滨工业大学
2. 黑龙江省医院

疼痛是多数疾病的主要伴随症状，临床上疼痛评估可为监测病情和衡量治疗效果提供重要指标，受感觉、注意、情绪、意识状态和经验等诸多因素影响，疼痛的主观性给痛觉的客观评估和科学诊断造成了非常大的困难。疼痛诱发信号被认为是研究伤害疼痛特性的有效方法，由于其幅值小经常被淹没在背景脑电信号中。为了更好地分析疼痛，有必要准确从脑电信号中提取疼痛诱发信号。本文对脑电信号进行傅里叶-贝塞尔级数展开，并对展开系数进行分析，通过保留关键系数来提取疼痛诱发信号。疼痛有无和疼痛强度的分类结果表明，所提方法获得了更高的分类准确率，这说明该方法可在保留关键疼痛脑电信息的同时有效去除无关的背景脑电信号。

关键字：疼痛诱发脑电信号；傅里叶-贝塞尔级数展开；疼痛强度分类

ID 683

An Intelligent Optimization Algorithm for Brain Stroke Imaging with Electrical Impedance Tomography

Yajun Lou,周璐,钱志余
南京航空航天大学

As a promising medical imaging technique, electrical impedance tomography (EIT) is able to provide an alternative for brain stroke imaging. With this technique, conductivity distribution variation caused by pathological change can be visualized. However, image reconstruction is a severely ill-posed inverse problem. Particularly in brain imaging, irregular and multi-layered head structure along with low-conductivity skull further aggravate the challenge for accurate reconstruction. To solve this problem, a novel image-reconstruction method based on modified tuna swarm optimization is proposed for visualizing the conductivity distribution in brain EIT. By introducing quasi-reverse learning method, the convergence speed and the solution precision can be improved. To evaluate the performance of the proposed method, extensive simulations are carried out on a three-layer head model. Image reconstruction of intracerebral hemorrhage and secondary ischemia in different brain lobes are performed. Meanwhile, blur radius and structural similarity have been introduced for quantitative evaluation of the proposed method in the reconstruction. Both reconstructed images and quantitative evaluations demonstrate that the proposed approach performs well in the reconstruction of simulated intracerebral hemorrhage and

secondary ischemia. This work would offer an alternative for accurate reconstruction in medical imaging based on EIT.

Key Words: electrical impedance tomography, stroke, modified tuna swarm algorithm, image reconstruction.

ID 688

多传感融合的足部监测智能鞋垫系统

袁妍[1]、王宋然[2]、穆景颂[1, 3]、陈品[1]、王勇[1]

1. 合肥工业大学
2. 南方科技大学
3. 安徽省立医院

智能鞋垫允许无干扰地实时监控生理参数，提供健康状况的反馈与评估。本研究设计了一种基于柔性材料的足部监测智能鞋垫系统，该系统采用柔性传感器和惯性传感器技术，用于测量5个足底区域的压力分布以及足部运动信息。本研究的设计和开发过程涉及柔性材料选择、结构设计、鞋垫制备、硬件设计、数据采集与分析等方面。系统原型经历了一系列性能验证试验，包括灵敏度（5mV/N）、线性误差（1.5%）、精准度（4.6%）及重复性（5.49%）。此外，为探究在实际运动监控中的应用潜力，系统已被测试用于区分行走、跳跃和奔跑等不同的动作模式。测试结果显示，智能鞋垫系统在各项性能指标上均表现出良好的稳定性和准确性，展望未来，该技术有望在运动医学、康复治疗和运动性能优化等领域发挥重要作用。

关键字： 智能鞋垫；足部监测；压力分布；姿态信息

ID 698

A zero-flow magnetic induction phase sensor with high sensitivity for cerebral hemorrhage detection

Jie Liu,秦明新,陈明生

中国人民解放军陆军军医大学

Magnetic induction phase shift is a promising technology for the detection of cerebral hemorrhage owing to its nonradioactive, noninvasive and real-time detection properties. Phase difference for electrical conductivity changes in biological tissues are very weak. Hence, to enhance the sensitivity and quantify hematoma detection, a zero-flow sensor was proposed. The uniform primary magnetic field and its counteraction were analyzed using electromagnetic simulation. Phase change responses to solutions of varying conductivities and rabbits with cerebral hemorrhage were investigated. The sensitivities in detecting solutions with different conductivities were 2.01 and 1.22 times higher than those for the traditional sensors. The result for rabbits with cerebral hemorrhage showed that sensitivities increased by 1.65, 1.67 and 6.3 times compared with traditional sensors, and indicated that this sensor can more accurately reflect changes in the pathologic process of the cerebral hemorrhage. The high linearity between bleeding volume and phase difference was achieved. The proposed sensor provides a novel method with high sensitivity for the quantitative detection of cerebral hemorrhage and facilitates the practical application of magnetic induction phase shift in bedside real-time detection.

Key Words: cerebral hemorrhage, zero-flow sensor, magnetic induction phase

ID 924

基于HMM的睡眠分期结果异常检测算法

王梓屹[1, 2]、刘航[1, 2]、丛丰裕[1, 2]
1. 大连理工大学医学部生物医学工程学院
2. 辽宁省集成电路与生物医学电子系统重点实验室

正确进行睡眠分期可以提供睡眠障碍患者的临床诊断信息。而自动睡眠分期结果与人工判读的结果存在一定差异，这些差异可以被解释为异常情况。为了使分期结果更接近于人工判读的结果，需要对这些异常情况进行修正。然而，当前大部分相关研究仅基于一些既定的条件进行分期修正，缺乏异常情况的定位和识别方法。本研究提出了一种使用隐马尔可夫模型（Hidden Markov Model）的异常检测算法用于定位睡眠分期结果的异常点，即分期错误的点。为了验证提出模型的有效性，本研究将四个经典的模型作为预分类器，并分别实现了0.760、0.577、0.631、0.613的异常检测精度。结果表明，本文方法平均可以提高每个睡眠阶段的识别准确性约10%，特别是对于N1阶段，经过异常检测及修正后准确率可以达到约75%。

关键字：自动睡眠分期；隐马尔可夫模型；深度神经网络；异常检测

ID 1343

Biomimetic organoids sensing chip based on real-time imaging and impedance detection for modeling olfactory dysfunction in Alzheimer's disease

Mengxue Liu[1,2],Nan Jiang[1],Qifei Wang[1],Wenwu Zhu[3],Liujing Zhuang[1,2],Ping Wang[1,2]
1. Biosensor National Special Laboratory, Key Laboratory for Biomedical Engineering of Education Ministry, Department of Biomedical Engi-neering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China
2. The MOE Frontier Science Center for Brain Science & Brain-machine Integration, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China
3. Evaluation Center of Medical Device of Zhejiang Province, Hangzhou 310000, China

Olfactory dysfunction is one of early symptoms in Alzheimer's disease (AD). However, the processes and mechanisms leading to pathological changes behind neurodegeneration in the olfactory system remain to be studied. There is still a lack of biomimetic models of early olfactory dysfunction in AD. Organoids are miniature organs with three-dimensional structures cultured from stem cells, which are an important tool for biological and pathological research. Olfactory epithelium (OE) organoid is an ideal model to study pathophysiology in vitro, yet the reliance on 3D culture condition limits continual in situ monitoring of organoid development. Here, we established a dynamic monitoring physiological model of AD olfactory dysfunction in vitro based on biomimetic organoids sensing platform. This system combined electrical impedance biosensors and live imaging for real-time spatiotemporal analysis of OE organoids morphological and physiological features during AD progression. The impedance measurements showed that organoids generated from basal stem cells of APP/PS1 transgenic mice had lower proliferation rate than that from wild-type mice. In concert with impedance measurements, live imaging enabled to visualize the spatial and temporal dynamics of organoid morphology. This organoid sensing chip provides a 3D research platform for further exploring onset pathological mechanisms of olfactory dysfunction, which would shed new light on early diagnosis and treatment of neurodegenerative disease.

Key Words: Organoids biosensing, real-time imaging, impedance detection, OE organoids, olfactory dysfunction

ID 1363

虚拟智能体引导的HSP患儿运动功能测量

朱业安[1]、吴小鹰[1]、钟敏[2]、肖农[2]、侯文生[1]
1. 重庆大学
2. 重庆医科大学附属儿童医院

在运动功能康复领域，对个体进行精准且细粒度的评估是确保治疗针对性和有效性的关键。为实现这一目标，引入和应用自适应测验方法十分关键。然而，针对遗传性痉挛性截瘫(Hereditary spastic paraplegia, HSP)患者步行运动功能表现的自适应测验在实际操作中仍面临诸多挑战。目前，主流评估方法多依赖于直线行走的单一任务范式，虽然能够揭示步态参数的异常，但信息获取始终有限，难以全面反映HSP患者的运动功能状态；增加任务类型的多样性可能会带来信息增益，但同时也使操作变得更为复杂。鉴于以上局限性，本文首先探讨了除直线行走外，是否存在其他任务类型能更有效地调控病理特征对行为表现的影响。随后，基于具有调节效应的任务元素，开发了一种自动化的增强现实评定程序，评定过程由虚拟化身引导完成，旨在实现信息增益的同时，降低操作复杂度，并提升评定过程的标准化和自动化水平。为了验证其性能，本研究进行了性能测验和用户体验分析。研究结果显示，任务类型的调整能够显著影响下肢痉挛程度与步行稳定性之间的关系。与直线行走相比，在连续转身和曲线变向任务中，下肢痉挛对步行稳定性的负面影响更为显著。此外，自动化的评定程序展现出了高度的可控性，有效降低了操作复杂度。用户体验分析进一步证实，该程序未对受试者步态参数产生显著影响，也未诱发晕动症，表明其对受试者的运动表现无额外干扰，具备良好的安全性。同时，该系统在运动、视觉和引导保真度等方面均获得了积极的反馈。本文开发的由虚拟化身引导的自动化增强现实评定程序，从内容和操作层面都有效满足了自适应运动能力测验的需求，为HSP患者步行运动功能的全面评估提供了新的解决方案。

关键字： 运动功能；精细评估； 自适应测验； 增强现实；遗传性痉挛性截瘫

ID 1780

Ultrasensitive Single-molecule Biosensor by Periodic Modulation of Magnetic Particle Motion

Qingqing Luo,Hui Yu
上海交通大学

Ultrasensitive detection of low-abundance biomarkers by modern single-molecule technologies are critical for better diagnosis of severe diseases. But one major challenge is that inevitable nonspecific bindings lead to the fluctuation in single-molecule counting results. Here we present an approach to improve the specificity in single molecule immunoassay by translating molecular binding signals into periodic nano-motion of magnetic particles. The sandwich binding assay is modified by using a long linker to tether one antibody onto a gold-covered substrate, and a magnetic particle with another antibody coated as the reporter. By actively driving the magnetic particles into oscillation with alternating magnetic fields, specific binding could be identified reliably by analyzing the intensity fluctuation in plasmonic images of single particles. As a proof of concept, we demonstrate the detection of IFN-γ at the femtomolar level. This active strategy is superior to existing passive motion based approaches in terms of sensitivity and speed, paving the way for disease diagnosis with low-abundance biomarkers.

Key Words: single molecule, biosensor, particle motion, kinetics, nonspecific binding

ID 2540

固定化酶结合数字微流控实现微量蛋白样本的高效酶解

赵梦磊[1]、郭宗良[1]、付斌[2]、李博宇[1]、郭力媛[1]、符荣鑫[1]、李航[1]、张帅龙[1]
1. 北京理工大学
2. 国家蛋白质中心（北京）

经典蛋白质组学研究中，自下而上的质谱分析虽能精确鉴定蛋白质，但受限于酶解时间长、酶稳定性差、样本损失等问题，难以实现对微量蛋白样本的快速、高效解析。基于此，本文提出一种结合磁珠固定化酶技术和数字微流控(DMF)系统的新策略，用于实现对微量蛋白质样本的高效酶解及深度蛋白质组学分析。我们通过点击化学反应将胰蛋白酶固定于NHS磁珠，有效提高了胰蛋白酶的热稳定性及抗pH变化能力，而且通过调控过量胰蛋白酶提高消化效率，大幅缩短了酶切反应时间。此外，利用DMF技术的微液滴操控能力，该策略在微流控芯片上实现了对牛血清白蛋白、转铁蛋白和酪蛋白等标准蛋白的快速酶解，仅15分钟即可分别达到93%、71%、52.8%的肽段覆盖率，并且能够在0.2 μg Hela细胞蛋白提取液中鉴定出6322个蛋白质组，优于传统方法10小时处理的效果。该方法显著提升了消化速度、肽段覆盖率和蛋白鉴定数量，降低了非特异性吸附造成的损失，为蛋白质组学样品前处理提供了一个快速、高效的解决方案，特别适合微量样本的分析，展现了在蛋白质组学快速酶解领域的巨大潜力。

关键字： 固定化酶；数字微流控；蛋白质组学；质谱分析

ID 3001

A Multi-Parameter Microphysiological System Sensing Platform for Multi-Organ Model Construction and Multidimensional Real-Time Drug Evaluation

Yuxuan Zhu[1],蒋德明[1,2],邱勇[1,2],田世超[1],胡家豪[1],黄志超[1],陈怡然[3],滕理送[3],王平[1,2],庄柳静[1]
1. 浙江大学
2. 浙江大学滨江研究院
3. 浙江大学第一附属医院

Organoids and spheroids are revolutionary models for disease research and drug screening. They can form microphysiological systems that simulate both individual organ functions and inter-organ communication. These systems allow for comprehensive drug effect evaluations, reducing variability and more accurately mimicking human drug responses. Unlike animal models, they use human cells, avoiding interspecies genetic differences and improving experimental efficiency. This makes microphysiological systems highly promising for personalized medicine and drug research. However, building customizable systems and performing real-time, multidimensional evaluations are complex and require multidisciplinary collaboration. In this study, we propose a Multi-Parameter Microphysiological System Sensing Platform (MSSP), which embodies the aforementioned advantages. This platform can construct microphysiological systems composed of up to four different spheroids or organoids and provide real-time monitoring from multiple sensing perspectives. The platform includes a total of 14 channels of cellular impedance sensors and 18 channels of cellular potential sensors, along with an imaging observation area for monitoring cellular morphological changes. This allows for real-time evaluation of microphysiological systems from the aspects of cellular impedance, potential, and morphology. By performing multidimensional real-time sensing monitoring of customized microphysiological systems, MSSP can serve as a practical platform for microphysiolog-

ical system research, making significant contributions to disease modeling, drug development, and personalized medical treatment.

Key Words: Microphysiological system; Organ-on-a-chip; Biomimetics; cell sensing; Multidimensional drug evaluation

ID 3104

基于相空间重构和黎曼几何的sEMG手势分类方法

王学甫（研究生）、王启松、刘丹、孙金玮
哈尔滨工业大学

针对当前表面肌电信号分类常用的时域、频域、时频域特征存在高维相空间潜在特征挖掘不足问题，本文提出一种基于相空间重构和黎曼几何的表面肌电信号分类方法，对表面肌电信号进行相空间重构提取协方差特征矩阵，在黎曼流形空间上将协方差特征矩阵映射到以黎曼均值中心为切点的切空间，利用KNN分类器进行分类。实验结果表明，该方法在NianPro DB2上8个常用手部动作的平均分类准确率可达89.21%，将该方法提取的黎曼切空间中的协方差矩阵特征与常用时域、频域、时频域特征融合以弥补潜在特征挖掘不足问题，在NianPro DB2上8个常用手部动作的平均分类准确率可达90.51%，相较于仅采用时域、频域、时频域特征的分类准确率提高了5.63%。

关键字：表面肌电信号；相空间重构；黎曼几何；手势分类

ID 3311

Upper Limb Traction Combined with Mechanical Vibration Promotes Corticomuscular Interaction

Binbin Liu,Houjun Chen,Xiaoying Wu,Wensheng Hou
Biomedical Engineering Department, Bioengineering College, Chongqing University

Upper-limb traction allows for high-dosage and high-intensity training, which is effective and economical for upper-limb rehabilitation. Mechanical vibration offers repetitive sensory stimuli, enriches the source of proprioceptive afferent and improves perceptual sensitivity. However, the corticomuscular effect of combined upper-limb traction and mechanical vibration is less known. In this paper, the UR5 robot was used to exert passive traction and mechanical vibration on the right wrist of the subjects. The effects of different combination schemes on corticomuscular interaction were studied by analyzing the dynamic changes of cortex, muscle, linear and nonlinear corticomuscular coupling. The results showed that passive upper-limb traction alone induced significant increase of EMG (brachioradialis) power spectrum and ERD of α and β band of EEG (C3), which were more significant in the first half (FH) of traction, and relatively flat in the second half (SH) of traction. Mechanical vibration combined with both fast (20cm/s) and slow (10cm/s) traction significantly improved the coherence of EEG and EMG in SH stage. Moreover, the mutual information of EEG and EMG increased only when mechanical vibration was applied during slow traction. These results indicated that mechanical vibration can be an effective proprioceptive stimulus during passive upper-limb traction, and slow and steady traction process is the basic premise for mechanical vibration to take an effect.

Key Words: Corticomuscular Interaction, Mechanical Vibration, Upper Limb Traction, Robot-assisted therapy.

ID 3320

Influence of music therapy on preoperative anxiety and perioperative hypertension

Binyang Ding[1],Jiajie Qian[3],Mengkang Deng[1],Ye Miao[1],Chentao Du[1],Li Shen[2],Tingrui Pan[1],Junbo Ge[2],Binyang Ding

1. Suzhou Institute for Advanced Research ,University Of Science & Technology Of China

2. Department of Cardiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai Institute of Cardiovascular Diseases, National Clinical Research Center for Interventional Medicine, Shanghai, China

3. Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou, China

Patients awaiting surgery often experience high levels of anxiety, which can lead to negative physical reactions such as elevated blood pressure or heart rate. In severe cases, this can cause perioperative hypertension. Therefore, preoperative BP monitoring is of great significance. Music therapy, as a form of digital therapeutics, can reduce perioperative hypertension while alleviating preoperative anxiety, offering advantages such as being non-invasive, effective, low-cost, and free of side effects. In this investigation, 10 female patients undergoing anesthesia and surgery were randomly assigned to two study groups. Subjects in the music group (n=5) listened to a 30-minute patient-selected music session, while subjects in the control group (n=5) received no intervention. Using self-report validated behavioral (State-Trait Anxiety Inventory) and physiological measures (blood pressure, heart rate), patients were evaluated before and after the administration of the intervention. We found that after the intervention, subjects in the music group reported significantly lower anxiety levels and systolic blood pressure (SBP) compared with the control group ($p<0.05$), demonstrating that the combination of physiological measures and preoeprative digital music therapy can effectively alleviate preoperative anxiety and reduce perioperative hypertension caused by such anxiety.

Key Words: blood pressure monitoring;perioperative hypertension; preoperative anxiety; music therapy ;digital therapeutics

ID 3375

用于高效葡萄糖检测的可重复使用 镓基电化学传感器

王倩、胡靓

北京航空航天大学

在可穿戴传感设备中，电化学传感器因其设计简单、灵敏度高而在生化检测领域占据绝对优势。大多数电化学传感器都是一次性的，这大大影响了其使用寿命。在这里，我们提出了一种可重复使用的镓（Ga）基多层电化学葡萄糖生物传感器，以扩展对组织间液中葡萄糖的无创监测。这种多层传感器包括作为导电互联器的镓层，作为电极层以防止氧化和金属泄漏的聚(3,4-乙烯二氧噻吩)层，用于增强电化学特性的纳米铂层，以及用于降低过氧化氢还原电位的纳米普鲁士蓝层。最重要的是，生物传感器可以通过电解产生的气泡自动去除改性纳米复合材料，也可以通过电镀进行更新，而不会损害生物传感器的整体结构。该生物传感器具有高灵敏度（131.91 μA mM-1 cm-2）、宽线性范围（0.01-26 mM）、优异的稳定性（即 pH 值、长期使用）和卓越的选择性，可与目前用于葡萄糖检测的电化学工具相媲美。总体而言，这种基于镓的电化学生物传感器应能为镓基软生物电子传感设备赋予新的功能，如生物流体中的生化分析，其中几乎都是物理传感器。我们相信，电化学可控过程的可重复使用性可能会进一步激励人们开发出更加集成和长期稳定的镓基生物传感设备。

关键字：可重复使用的电化学传感器，镓，PEDOT，葡萄糖检测

ID 3394

How Does The Selection of Parameters in Electromyography Processing and Synergies Identification Affect Muscle Synergy Analysis?

Yaowei Jin,冯乙洲,赵坤坤,李建清
南京医科大学

Muscle synergies offer valuable insights into the strategies employed by the central nervous system during movements, presenting a promising avenue for clinical applications. However, the absence of standardized methods for muscle synergy analysis has hindered cross-study comparisons and the translation of experimental results to clinical contexts. This study addresses this gap by a thorough investigation into the impact of the cut-off frequency of low-pass filters, normalization methods, and criteria for determining the number of synergies. The assessment is based on a running dataset, focusing on variables such as variance accounted for (VAF) and correlation coefficient (R2), the number of synergies, and synergy weights. The results showed that cut-off frequencies, normalization methods, and criteria had an interplay impact on the number of synergies, VAF/R2, and synergy weights. Compared to the R2, a significantly higher value was obtained from VAF. The criterion of Error VAF proved to be the most robust criterion for identifying the number of synergies in the current data, particularly when the data were normalized using maximum value, average value, or unit variance and when the cut-off frequency was within the high-frequency range. Additionally, the study highlighted the impact of predefined thresholds per criterion on the number of synergies. In summary, these results provide a foundation for standardized comparisons across studies and enhance the applicability of muscle synergy analysis in clinical settings, ultimately advancing our understanding and utilization of these insights in the field of human movement and rehabilitation.

Key Words: Cut-off frequency, electromyography, low-pass filter, muscle synergies, normalization method

ID 3511

脑深部电刺激对阿尔茨海默病小鼠海马神经振荡的持续性调控作用研究

罗尹培[1,2]、温惠中[4]、李卫娜[3]、郑小林[2]、田学隆[2]、侯文生[2]、吴小鹰[2]
1. 西华大学，大健康管理学院
2. 重庆大学，生物流变科学与技术教育部重点实验室
3. 陆军军医大学，第一附属医院神经外科
4. 陆军军医大学，重庆市神经生物学重点实验室

目的：探究脑深部电刺激（Deep brain stimulation, DBS）对阿尔茨海默病（Alzheimer's disease, AD）模型小鼠海马CA1区神经振荡的持续性调控作用及潜在机制。

方法：对4月龄的雄性APP/PS1小鼠内嗅皮层施加DBS（130 Hz，90 μs，100 μA，1 h）。在DBS前和后三周内采集小鼠CA1区的宽带神经信号。分析刺激后三周内theta和gamma振荡的功率和耦合度变化，以及刺激前后锥体神经元和中间神经元的放电率及其受theta和gamma振荡调制的情况。随后，通过组织学检测海马Aβ和兴奋性与抑制性神经元标志物的表达。

结果：经DBS治疗的APP/PS1小鼠的theta（4-8 Hz）、low gamma（30-50 Hz）和high gamma（50-100 Hz）功率呈现增加-降低-增加的随时间动态变化模式，且theta和high gamma耦合的增加能持续维持。与DBS前相比，DBS治疗的APP/PS1小鼠的锥体神经元的放电率显著增加，而中间神经元放电率显著下降，锥体神经元和中间神经元与theta和gamma振荡的平

均向量长度显著降低。此外，CaMKII-α和GAD67的表达也显著增加。

结论：急性DBS可能通过调控APP/PS1小鼠神经元兴奋/抑制失衡以调节神经元信息传递，进而使theta和gamma振荡功率发生代偿性的变化，从而改善AD神经元的异常功能状态。

关键字：脑深部电刺激；阿尔茨海默病；神经振荡；持续性调控

ID 3772

阿尔茨海默病体外多层次动态神经电生理检测平台

徐伟、高凡、肖彦、蒋威、杨天意、张鹏
南京航空航天大学

阿尔茨海默病（Alzheimer's disease，AD）是一种慢性中枢神经退行性疾病，AD的病理特征是由淀粉样蛋白-β寡聚物（AβOs）形成的老年斑在胞外沉积和细胞内神经原纤维缠结的积累。然而，由于缺乏有效的方法和实验模型来研究认知能力下降、细胞分辨率级的通讯和治疗措施，AD生理病理机制研究进展缓慢。本文基于AβOs诱导的海马神经网络芯片构建体外AD病理模型，通过长时程、无损观测神经元网络活动变化，实现AβOs毒性作用下神经凋亡往进程的动态分析，在细胞和网络分辨率水平上监测海马神经网络活动的变化，从早期神经毒性开始，长期、动态监测与神经网络功能相关的损伤过程。本项目提出的新型体外AD模型，旨在为未来的临床人体试验提供理论支撑，为进一步研究AD治病假说的机理过程，并可成为一种全新的多参数神经网络与脑功能研究平台。

关键字：阿尔茨海默病、微电极阵列芯片、神经电生理、体外模型

ID 3792

五脏相音视角下的心电低频谐振测试分析实验与结果分析

芦煜[1]、张学帅[2]、叶鹏飞[3]、于长颖[4]、牛婷立[4]、王轩[5]、牛欣[4]、李敬华[1]、张竹绿[1]、王超[6]、
杨学智[4]、李腾腾[4]、赵佳颖[4]、卢涛[4]、于彤[1]、王映辉[1]
1. 中国中医科学院中医药信息研究所
2. 中国科学院声学研究所
3. 首都儿科研究所附属儿童医院
4. 北京中医药大学
5. 山西中医药大学
6. 中国中医科学院中医基础理论研究所

目标：本研究致力于对中医五脏相音理论进行基于脏腑低频谐振视角下的分析与观察说明，并通过观察ECG信号视角下的心率模式的改变，尝试具体分析谐振干预的功能点。

方法：试验基于定行程-定转速的体外谐振源，设定阶梯式的增频干预模式，然后对给定的样本进行谐振干预。

结果：在干预的前中后ECG 信号比较的过程中，发现ECG信号傅里叶变换后频域曲线的低频段（0.03Hz-3Hz）共振峰幅值、频率、高度排序等出现了组间差异。一部分在干预过程中呈现峰值，另一部分则出现在干预后。ECG信号中的能量增益分布在了全频段中，并非仅仅增加干预频段，同时多尺度熵在大部分尺度范围下呈现出了无差异性，但是在局部尺度下呈现出相邻但不同趋势的变化特征，其生理内涵尚未能够明确。

结论：低频谐振对脏腑的干预效应有多种不同的特征，可基于多视角下的信号分析发现并提炼。

关键字：心电信号，五脏相音，脏腑谐振，多尺度熵，特征分析

ID 3881

基于正弦激励的相控阵超声聚焦控制系统设计

王是愉、刘煦、周晓青、殷涛、刘志朋
中国医学科学院北京协和医学院

经颅磁声刺激（transcranial magneto-acoustic stimulation, TMAS）是一种利用超声的高聚焦性在静磁场中实现mm级高空间分辨率电刺激的新型无创神经调控技术，其空间分辨率取决于所施加超声场的聚焦能力。为获得更为灵活可控的聚焦深度与靶点位置，一般使用相控阵技术进行聚焦声场的精确控制。现有的相控阵超声激励系统中，通常采用FPGA等逻辑器件产生多通道的方波，通过开关电路等手段进行信号放大后激励相控阵探头。此类方法具有尺寸小、成本低、集成性好等优点，然而基于方波的非线性驱动方式会引入高次谐波分量，从而引起聚焦误差。为解决此类问题，本文设计了一种用于多通道线性激励源的正弦信号相控阵超声聚焦控制方法，即使用FPGA与DAC形成正弦波阵列，并统一由Zynq主控控制。经测试，该系统可结合多通道线性功率放大器，实现64通道频率为0.5MHz、幅值±25V、延时误差均值小于10ns的相控阵激励，最终测得焦斑直径约4mm(-3DB)的聚焦声场。

关键字：超声聚焦控制；相控阵技术；多通道线性激励系统；经颅磁声刺激

ID 4166

Universal ECG Delineation: A Deep Learning Framework with Semi-Supervised Enhancement

Yuhang Liu,Qiang Li,Peng Zhang
华中科技大学

Accurate Electrocardiogram (ECG) waveform segmentation, including P-wave, QRS complex, and T-wave, is crucial for the clinical diagnosis of cardiac disease. Although existing methods have achieved promising performance, they primarily rely on single-lead ECG data, neglecting the potential benefits of multi-lead information. Furthermore, labeling data for ECG delineation is costly and time-consuming. To address these challenges, we developed Y-Net, a novel ECG segmentation model that leverages both single- and multi-lead data to enhance segmentation accuracy. Additionally, we proposed MUSE, a semi-supervised training method that requires only a small amount of labeled data alongside a large amount of unlabeled data to achieve high-performance automatic ECG delineation. The combination of the two is called Y-Net-MUSE. We evaluated this method using public datasets and achieved F1 scores of 97.86% under the condition of a 50ms threshold, outperforming other state-of-the-art methods. Moreover, it reduces the annotation workload by 90% and improves the utilization of unlabeled data, indicating good clinical practicability.

Key Words: Deep learning, Electrocardiogram, Semantic segmentation, Semi-supervised learning, Waveform analysis

ID 4283

一种用于脑卒中微波成像的新型网络架构

邓煌森、陈明生
中国人民解放军陆军军医大学

本文提出了一种新的深度学习方法来实现脑卒中微波成像的高分辨重建。传统微波成像方法中，微波雷达成像精度低，微波断层成像成耗时长。为了解决前述问题，我们提出了一种自编码器(AE)和Unet++结合的新型网络架构(AE-Unet++)。该方法将图像重构分为两步，包括使用AE对脑卒中进行粗成像，以及通过改进Unet++将粗图像进行分辨率增强。特别是，Unet++结构的特殊性，通过对其进行剪枝可以实现在最大不失真程度下更快得到重建结果。将本文提出的AE-Unet++与已有架构ED-Unet在二维场景下进行了比较。另外，还进行了3D电磁仿真实验，来验证AE-Unet++在模拟真实情况下的可用性。为此，作为本文的另一个新颖之处，在3D仿真实验中我们使用两步深度学习法来校正S参数。对模拟数据和仿真实验数据进行了数值测试，验证了AE-Unet++的有效性，与已有架构相比具有更好的重建质量。在仿真实验重建结果中也表明了基于数据驱动的S参数校正方法的可用性，并能够得到较好的重建结果。

关键字：电磁脑成像；深度学习；自编码器；Unet++;两步法

ID 4324

基于梅尔频谱特征系数的哮喘识别研究

李腾腾、张晶新、芦煜、卢涛
北京中医药大学

目的：本研究通过现代声学技术采集和分析受试者的语音信号，找出其中与哮喘相关的语音特征指标，为哮喘的评估提供客观参考。

方法：通过采集固定模式语音信号，从中挑选噪音较小、吐字清晰的41名哮喘患者及40名健康对照的固定模式语音信号纳入分析数据库，基于matlab　2017a平台，通过语音信号的分析处理，提取400余项具有诊断价值的语音特征指标，并筛选与哮喘相关的语音特征。

结果：存在100多项语音特征指标与哮喘显著相关（P<0.01），其中包括40项梅尔频谱特征系数相关特征指标。

结论：筛选出可体现哮喘的语音特征指标，可为哮喘诊断的数字化设计提供数据支持。

关键字：哮喘；诊断；特征指标；梅尔频谱特征系数

ID 4346

Intra- and Inter-Patient Congestive Heart Failure Detection Using Long-Term ECG Based on Dual-Channel Deep Class-Specific Broad Learning System

Wei Fan,Yi Guo,Yuanyuan Wang
Fudan University

Congestive heart failure (CHF) is a chronic cardiac condition with high mortality and morbidity rates. The early and accurate detection of CHF is of great significance for saving patients' lives. Some electrocardiogram (ECG)-based CHF detection algorithms have demonstrated outstanding performance, but they rely on short-term data, such as individual heartbeats or a few seconds of segments. Furthermore, most studies have only assessed performance under the intra-patient paradigm, without paying attention to the inter-patient paradigm, which is more realistic. In this study, we propose a novel dual-channel deep class-specific broad learning system (D2CBLS) to detect CHF using two-lead long-term ECG. Specifically, the raw ECG signals are first filtered to suppress noise and then segmented into non-overlapping 1-minute segments. Subsequently, a ConvNeXt-based multi-scale feature extraction network is proposed to capture both global and local information from two-lead segments. Finally, DCBLS leverages the information from both leads to accurately detect CHF by imposing view difference and target consistency constraints in the objective function. In addition, DCBLS adds weight coefficients inversely proportional to the number of samples to the training loss of normal and CHF classes, respectively, to alleviate the imbalance problem. Experimental results on two publicly available ECG datasets (BIDMC-CHF and MIT-BIH NSRDB) show that the proposed method achieves an overall accuracy (OA) of 100% and a G-mean of 100% in the five-fold cross validation under the intra-patient paradigm, an OA of 97.81% and a G-mean of 97.14% in the leave-one-out cross validation under the inter-patient paradigm. Therefore, this model has significant potential to be applied in practice as an auxiliary diagnostic tool for cardiologists by providing objective and accurate ECG interpretations.

Key Words: Auxiliary diagnosis, congestive heart failure (CHF), dual-channel detection system, deep multi-scale features, long-term electrocardiogram (ECG).

ID 4351

3d Multifunctional Array-Based Micro-Trap Biosensor Base On Gelma Microcarriers For Drug Assessment

Yong Qiu[1,2],Yuxuan Zhu[1],Deming Jiang[1],Wenwu Zhu[3],Ping Wang[1,2],Hao Wan[1,2]
1. Zhejiang University
2. Binjiang Institute of Zhejiang University
3. Evaluation Center of Medical Device of Zhejiang Province

3D cell models or engineered organoid models seem to be superior and more physiologically relevant to in vivo state in therapeutic drugs screening study. Microcarriers (MCs) not only can be used to provide sufficient surface area for cells to attach and proliferate in biomanufacturing but can be served as the built-in scaffold to minimize the limitations of 2D cell culture for 3D cell model construction, and biosensors are useful to monitor cell physiological status. In the field of drug assessment, real-time monitoring of engineered organoid model in a label-free and non-invasive manner is most crucial process. However, existing biosensors are unable to monitor cell viability, electrophysiological activity and contractile force simultaneously, which is of paramount important in studying cardiac excitation-contraction coupling. In this work, a novel

3D multifunctional array-based micro-trap biosensor based on microcarriers was successfully developed for non-invasive and label-free monitoring of engineered organoid model cell viability, electrophysiological activities and cell contractile force. Anti-cancer and cardiovascular drugs were utilized to verify the performance of this biosensor. The multimodal data then were selected as parameters for comprehensively evaluating the drug efficacy and cardiac toxicity.

Key Words: 3D cell models, Organoid-on-chip, GelMA microcarriers, multifunctional micro-trap biosensor, drug assessment

ID 4386

“滴管实验室”：基于纳米金枝电极的高稳定性便携式生化传感器用于现场尿液分析

孙先佑[1]、章绍翔[1]、林鹏[1]、张学明[1]、田世超[1]、朱文武[3]、胡燕婕[2]、王平[1]、万浩[1]

1. 浙江大学
2. 浙江大学医学院附属邵逸夫医院
3. 浙江省医疗器械审评中心

便携式生化传感器因其灵活小巧的特点，适用于现场高效生化分析。然而，现有传感器在现场清洗、重复使用和快速更换等方面存在挑战，影响了大规模、高稳定性的快速检测。为解决这些问题，我们提出了“Lab on pipette”概念，成功在电极表面制备了纳米金枝，以适应在弯曲界面上负载敏感材料，并作为示范了实现了其在尿液中过氧化氢、葡萄糖和草酸的高稳定性检测。我们采用激光诱导石墨烯（LIG）工艺在聚酰亚胺基底上雕刻电极图案，并通过激光切割成扇形，再将其卷折成圆锥形滴管，与仪器中的快速接口连接，实现电极与仪器检测电路的连接。为提高敏感材料在电极弯曲界面上的适应性，我们通过电化学沉积在电极表面生长纳米金枝，并进一步沉积普鲁士蓝（PB）和镍铁氰化物（NiHCF），随后修饰包埋有葡萄糖氧化酶或草酸氧化酶的多孔酶膜。酶膜将目标物转化为过氧化氢，PB催化还原过氧化氢产生电子，这些电子通过电极传导，产生电流信号被检测到。结果表明，修饰纳米金枝的电极在弯曲界面上可长时间稳定负载酶膜，而未修饰的电极则易脱落。NiHCF作为PB的金属替代类似物，具有更加稳定的面心立方晶格结构，显著提高了其化学和机械稳定性，同时不影响PB的催化效率。最终，滴管电极对过氧化氢、葡萄糖和草酸的灵敏度分别为-9.7 $\mu A \cdot mM^{-1}$、-1.2 $\mu A \cdot mM^{-1}$和-1.7 $\mu A \cdot mM^{-1}$，且表现出良好的稳定性，可连续监测2小时而无显著信号衰减，满足现场检测需求。"滴管实验室"不仅实现了传感功能，还可作为样本容器。使用后电极可快速拆换，并通过特制的滴管盒实现自动清洗。测试结果通过蓝牙与手机互动，传递给用户，展现出广阔的应用潜力。

关键字：生化传感；尿液分析；纳米金枝；多孔酶膜

ID 834

TransFMT: Transformers for Fluorescence Molecular Tomography

Peng Zhang[1],Xingyu Liu[1],Qianqian Xue[1],Ruhao Chen[1],Guanglei Zhang[2],Wenjian Wang[1]
1. Shanxi University
2. Beihang University

Fluorescence Molecular Tomography (FMT) is a representative optical imaging technique in molecular imaging, known for its high sensitivity, low cost, and absence of ionizing radiation, thereby holding substantial promise in preclinical research and clinical applications. However, the severe scattering effect experienced by photons within biological tissues leads to a severely ill-posed inverse problem in image reconstruction, rendering high-quality three-dimensional (3D) FMT reconstructions exceptionally challenging. Traditional iterative algorithms have problems such as complex calculations, long time consumption, and unsatisfactory reconstruction results. To address this challenge, this research departs from conventional approaches and adopts data-driven deep learning techniques. Prior studies have attempted to apply convolutional neural networks (CNNs) to FMT reconstruction, but their inherent limitations in local perception hinder the capture of global features. To overcome this limitation, we propose a novel deep learning model, called TransFMT, which ingeniously integrates Transformer's self-attention mechanism with CNNs, thereby combining CNNs' proficiency in extracting high-resolution details with Transformers' capacity for capturing global context. Furthermore, to enhance the model's performance, we introduce multi-head self-attention modules that bridge global and local information, along with an efficient convolutional feed-forward neural network. To verify the effectiveness of the algorithm, we tested it on the model dataset and evaluated it using a variety of evaluation indicators. The experimental results show that compared with the state of the art methods, TransFMT significantly improves the quality and efficiency of FMT reconstruction, achieving a Dice coefficient of 0.95, making it of great significance for the advancement of FMT technology and molecular imaging in clinical practice.

Key Words: Fluorescence Tomography, Transformers, Image Reconstruction

ID 1117

基于极坐标变换VM-UNet的肝脏肿瘤分割

廖恒、武薇、何超、席旭刚、厉力华
杭州电子科技大学

医学图像中肝脏和肝肿瘤的准确分割对于肝癌的诊断和治疗至关重要。尽管基于卷积神经网络(CNN)和Transformer的模型在医学图像分割领域取得了显著进展，但它们在处理长程依赖关系和计算复杂性方面存在局限性。为了克服这些挑战，本文提出了一种结合极坐标变换的VM-UNet模型(PVM-UNet)。VM-UNet利用状态空间模型的线性计算复杂性优

势，并通过引入视觉状态空间(VSS)块来捕获广泛的上下文信息。此外，采用极坐标变换将图像数据从笛卡尔坐标系转换到极坐标系，减少了图像中的冗余信息，从而提高网络的分割精度。通过在公开的LiTS 2017肝脏肿瘤数据集上对PVM-UNet进行评估，证明其在肝脏和肝脏肿瘤分割中的Dice相似性系数分别达到了96.75%和84.29%。实验结果表明，与其它算法相比，本文提出的方法取得了较好的分割效果，对计算机辅助诊断和实现肝脏及肝脏肿瘤的精细分割具有一定的参考意义。

关键字：医学图像分割；CT 图像；肝脏肿瘤分割；状态空间模型；极坐标变换

ID 1376

基于数据增强策略的左心房半监督分割方法研究

王嘉辉[1]、阮东升[2]、李杨[2]、王泽峰[3]、吴永全[3]、夏灵[4]、蒋明峰[2]

1. 浙江理工大学信息科学与工程学院
2. 浙江理工大学计算机科学与技术学院（人工智能学院）
3. 首都医科大学附属北京安贞医院心内科
4. 浙江大学生仪学院生物医学工程系

探究有效的数据增强策略对于提升左心房医学影像半监督分割性能至关重要。现有的数据增强策略依赖特定半监督框架来引入一致性约束，适用性差。本文提出一种新的数据增强策略和双注意力引导的一致性网络（DACNet），显著提升分割性能。针对标注数据，利用裁剪拼接有限标注样本，创建混合标注数据，拼接边界打破图像体素结构一致性，并引入新的公共语义。提出的DACNet在解码器中引入空间和通道注意力来强化子模型对不同维度特征的关注，利用一致性约束得到熵低的结果。实验结果验证了方法的有效性和通用性。提出的数据增强策略将现有方法准确率提高了0.3%~16.49%。提出的DACNet在左心房数据集上达到最佳性能。源代码将在https://github.com/Oubit1/DACNet公开。

关键字：半监督分割；裁切拼接；注意力机制；相互一致性约束

ID 1738

Transfer Learning Drives Automatic HER2 Scoring on HE-stained WSIs for Breast Cancer: A Multi-cohort Study

Zhiquan Lin[1],Ming Fan[1],Xiaoping Li[2],Hui Huang[3],Lihua Li[1]

1. Hangzhou Dianzi University
2. Breast Dept.Jiangmen Central Hospital, Jiangmen, China
3. Department of Breast Surgery, Jiangmen Maternity & Child Health Care Hospital, Jiangmen, Guangdong, China

Objective: Streamlining the clinical procedure of human epidermal growth factor receptor 2 (HER2) examination is challenging. Previous studies insufficiently explored integrating HER2 scoring into more nuanced tasks and lacked validation across multiple cohorts. To address this deficiency, this study collected data from multiple cohorts to develop a robust model for HER2 scoring utilizing only Hematoxylin&Eosin (HE)-stained whole slide images (WSIs).

Methods: A total of 578 WSIs were collected from five cohorts, including three public and two private datasets. Each WSI underwent adaptive scale cropping. Two frameworks, transfer-learning-based probabilistic aggregation and multi-instance

learning (MIL), were initially trained based on Cohort A and subsequently validated on Cohorts B-D. The model demonstrating superior performance was further evaluated in the neoadjuvant therapy (NAT) cohort. Scoring performance was assessed using the area under the receiver operating characteristic curve (AUC). Correlation between the model scores and specific grades (HER2 levels, pathological complete response (pCR) status, residual cancer burden (RCB) grades) were evaluated using Spearman rank correlation and Dunn's Test. Patch analysis was performed with manually defined features.

Results: For HER2 scoring, the transfer-learning-based probabilistic aggregation significantly outperformed the MIL-based framework under the same training conditions, achieving robust AUCs in four validation cohorts (Cohort A: 0.75, Cohort B: 0.75, Cohort C: 0.77, Cohort D: 0.77). Correlation analysis confirmed a certain degree of association between model scores and HER2 status (Coefficient(Spearman)=0.37, P(Spearman)=0.001) as well as RCB grades (Coefficient(Spearman)=0.45, P(Spearman)=0.0006). However, the scoring tendencies for internal grading in HER2-negative patients remain ambiguous compared to HER2-positive patients. In Cohort NAT, with the non-pCR as the positive control, the AUC was 0.77. Patch analysis revealed a core-to-peritumoral probability decrease pattern as malignancy spread outward from the lesion's core.

Conclusion: An effective HER2 scoring model based on HE-stained WSIs was established in this study, indicating a potential correlation between heightened stromal infiltration and elevated HER2 expression, along with a reinforced immune response.

Key Words: Breast cancer, HER2 scoring, Whole slide images, Multi-cohort, Transfer learning

ID 2167

基于瞬时透射肌声信号的手势识别

丁国华、王启松、王学甫、刘丹、张美妍、孙金玮
哈尔滨工业大学

手势识别已被应用于众多研究领域，对人机交互、医疗康复等都有重要意义。本文提出了一种基于透射肌声信号(tMMG)的手势识别方法，并设计了基于tMMG的臂带。该臂带包含三通道振动传感器和一个振动源，其余结构由3D打印制作。通过分析皮肤表面采集的调制振动信号，使用正交矢量型LIA提取特征，可以将肌肉的静息状态进行高效分类。本文演示了使用自制臂带采集tMMG信号并识别10个手势的方法。实验证明该方法相较于基于EMG、MMG的识别方法可以更准确，更快速、更舒适的识别手势，实现了高达99.8%的准确率和低至10ms的识别时间。

关键字： tMMG；LIA；手势；分类

ID 2177

TCA-Net：新上下文特征编码模块和注意力分割肝脏肿瘤

张诚俊、武薇、毛力、席旭刚、厉力华
杭州电子科技大学

CT图像中肝脏肿瘤的精确分割在计算机辅助诊断和治疗中具有重要意义。尽管现有的深度学习方法在分割任务中表现出色，但通常难以同时捕捉多尺度上下文信息和精准识别目标区域，导致分割精度不高。在本研究中，我们提出了TCA-Net用于肝脏肿瘤的分割任务，我们的改进模型包含多个关键模块：首先，通过长条形池化以引入位置信息的多核

池化模块，结合空洞空间金字塔池化替换传统的上下文模块，用于上下文特征提取。其次，在跳跃连接中加入了残差特征融合模块，以更好地集成多尺度特征。此外，设计了一种新的注意力模块，以增强模型对目标区域的识别能力。在LiTS2017数据集上进行的大量实验表明，所提方法的有效性为83.90%，显著提高了肝脏肿瘤分割的精度和鲁棒性。证明了TCANet在医学图像分割上优于其它现有分割算法，能为临床应用提供了有效的技术支持

关键字：深度学习；医学图像分割；肝肿瘤；注意力机制

ID 2191

TUF-Net：融合多重注意力机制的双编码器结构在肝脏肿瘤分割中的应用

何超、武薇、廖恒、席旭刚、厉力华
杭州电子科技大学

近年来，基于深度学习的语义分割技术在医学图像领域备受瞩目，其在临床诊断和治疗中的重要性日益凸显。然而，由于医学图像本身存在噪声较多、背景与目标区域相似度较高等挑战，现有的医学图像分割方法在准确率方面仍有待提高。本文提出一种融合多重注意力机制的双编码器结构分割网络(Transformer and U-Net Fusion Net，TUF-Net)，旨在将U-Net所提取的局部特征信息与Transformer获得的全局特征信息相结合，以提高分割的准确性和效率。为了有效地融合这些特征信息，通过采用多种注意力机制模块以及所提出的特征融合机制能够实现不同维度特征信息的有效整合。此外，网络中还引入了深监督机制，并设计了一种混合损失函数旨在加速网络训练过程并提高模型的稳定性。通过在LiTS2017数据集上进行的实验验证，TUF-Net在肝脏和肝脏肿瘤分割精度和效率方面均取得了显著的改进，展现出了深度学习在医学图像分割中的巨大潜力。

关键字：医学图像分割、深度学习、特征融合、混合损失函数、注意力机制

ID 2572

PRECISION: A Physics-Constrained and Noise-Controlled Diffusion Model for Low Dose Photon Counting Computed Tomography

Ruifeng Chen[1,2],Dong Liang[1],Yinsheng Li[1]
1. Research Center for Medical Artificial Intelligence and Key Laboratory of Biomedical Imaging Science and System, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, China.
2. Laboratory of Image Science and Technology, Key Laboratory of Computer Network and Information Integration, Southeast University, Nanjing, China.

Recently, there has been significant interest in using photon counting detectors for computed tomography (PCCT). Enhancing the quality of material basis images and the precision of elemental composition quantification are important in PCCT, especially when PCCT data is acquired at lower radiation dose levels. In this work, we introduce a physics-constrained and noise-controlled diffusion model, to address challenges such as compromised image quality of material basis images and imprecise quantification of elemental composition. These challenges primarily arise from inadequate noise modeling and the reliance on hand-crafted regularization techniques, such as local smoothness or sparsity employed in current direct material basis image reconstruction methods. Contrastingly, PRECISION adopts a distribution-level regularization

approach, learning to characterize ideal material basis images through training a noise-controlled diffusion model. This method enables the sampling of optimal material basis images for each subject, guided by the constraints of the physical model specific to a given PCCT and the measured data acquired from the subject.

Key Words: Spectral Computed Tomography; Photon Counting Detector; Deep Learning; Diffusion Model

ID 2616

Acceleration: Sequentially-Scanning Dual-Energy Computed Tomography Imaging Using High Temporal Resolution Image Reconstruction And Temporal Extrapolation

Qiaoxin Li,Dong Liang,Yinsheng Li
Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences

Dual-energy computed tomography (DECT) has been widely used to obtain quantitative elemental composition of imaged subjects for personalized and precise medical diagnosis. Compared with existing high-end DECT leveraging advanced X-ray source and/or detector technologies, the use of the sequential-scanning data acquisition scheme to implement DECT may make a broader impact on clinical practice because this scheme requires no specialized hardware designs. However, since the concentration of iodinated contrast agent in the imaged subject varies over time, sequentially- scanned data sets acquired at two tube potentials are temporally inconsistent. As existing material decomposition approaches for DECT assume that the data sets acquired at two tube potentials are temporally consistent, the violation of this assumption results in inaccurate quantification accuracy of iodine concentration. In this work, we developed a technique to achieve sequentially-scanning DECT imaging using high temporal resolution image reconstruction and temporal extrapolation, ACCELERATION in short, to address the technical challenge induced by the temporal inconsistency of sequentially-scanned data sets and improve io- dine quantification accuracy in sequentially-scanning DECT. ACCELERATION has been validated and evaluated using numerical simulation data sets generated from clinical human subject exams. Results demonstrated the improvement of iodine quantification accuracy using ACCELERATION.

Key Words: Dual-Energy Computed Tomography; Sequential Scan Scheme; Temporal Inconsistency; Material Decomposition; Deep Learning

ID 2663

ZygoPlanner: A Three-Stage Graphics-Based Framework for Optimal Preoperative Planning of Zygomatic Implant Placement

Haitao Li[1],Xingqi Fan[1],Baoxin Tao[2,3,4,5,6,7],Wenying Wang[2,3,4,5,6,7],Yiqun Wu[2,3,4,5,6,7],Xiaojun Chen[1,8],Haitao Li

1. Institute of Biomedical Manufacturing and Life Quality Engineering, School of Mechanical Egineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China
2. Department of Second Dental Center, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shang-hai, China
3. College of Stomatology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China
4. National Center for Stomatology, Shanghai, China
5. National Clinical Research Center for Oral Diseases, Shanghai, China
6. Shanghai Key Laboratory of Stomatology, Shanghai, China
7. Shanghai Research Institute of Stomatology, Shanghai, China
8. Institute of Medical Robotics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China

Zygomatic implant surgery is an essential treatment option of oral rehabilitation for patients with severe maxillary defect, and preoperative planning is an important approach to enhance the surgical outcomes. However, the current planning still heavily relies on manual interventions, which is labor-intensive, experience-dependent, and poorly reproducible. Therefore, we propose ZygoPlanner, a pioneering efficient preoperative planning framework for zygomatic implantation, which may be the first solution that seamlessly involves the positioning zygomatic bones, the generation of alternative paths, and the computation of optimal implantation paths. To efficiently achieve robust planning, we developed a graphics-based interpretable method for zygomatic bone positioning leveraging the shape prior knowledge. Meanwhile, a surface-faithful point cloud filling algorithm that works for concave geometries was proposed to populate dense points within the zygomatic bones, facilitating generation of alternative paths. Finally, we innovatively realized a graphical representation of the medical bone-to-implant contact to obtain the optimal results under multiple constraints. Clinical experiments confirmed the superiority of our framework across different scenarios. The source code is available at https://github.com/Haitao-Lee/auto_zygomatic_implantation.

Key Words: Preoperative planning, Zygomatic implant, Bone-to-implant contact

ID 3109

Enhance from Degraded: A Diffusion Model for Fluorescence Microscopy Image Restoration

Feng Xu

南方科技大学

All fluorescence microscopy images have significant applications in fields such as biology and medicine. However, due to imaging conditions, these images often suffer from issues such as noise, blurriness, and low contrast, which can impact the accuracy of subsequent analysis and diagnosis. Unlike using super-resolution methods, in this study, we adapted a conditional diffusion model to generate high quality images. This method surpassed the performance of traditional GAN-based methods for image generation-pix2pix [1], a very classic and effective model in the field of image restoration. To validate the effectiveness of our approach, we conducted experiments on a dataset obtained from two-photon microscopy imaging of mouse tissue. The results demonstrate that, compared to classical image enhancement techniques, our method signifi-

cantly improves the clarity and visibility of fine details in microscopy images.

Key Words: fluorescence microscopy, image enhancement, conditional Diffusion mode

ID 3129

Noise2average: An Iterative Residual Learning Strategy For Image Denoising Without Clean Data

Zihan Li[1],Berkin Bilgic[2,3],Ziyu Li[4],Kui Ying[5],Guochen Ning[1],David H. Salat[2,3],Jonathan R. Polimeni[2,3],Susie Huang[2,3],Qiyuan Tian[1,2,3],Hongen Liao[1],Zihan Li

1. School of Biomedical Engineering, Tsinghua University, Beijing, P.R. China
2. Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging, Department of Radiology, Massachusetts General Hospital, Charlestown, MA, USA
3. Harvard Medical School, Boston, MA, USA
4. Wellcome Centre for Integrative Neuroimaging, FMRIB, Nuffield Department of Clinical Neurosciences, University of Oxford, Oxford, UK
5. Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing, P.R. China

Magnetic resonance imaging (MRI) is a widely adopted non-invasive imaging tool for both clinal diagnosis and neuroscientific research. Nonetheless, the quality of MRI is often hampered by noise. Supervised deep learning based denoising has proven to outperform conventional methods but requires high-signal-to-noise ratio (SNR) reference data for supervising the training, which considerably reduces its practical feasibility. To address this challenge, we propose a new iterative residual learning strategy entitled "Noise2Average" for denoising empirical MRI data with multiple repetitions, which can be combined with transfer learning for subject-specific self-supervised training. Noise2Average learns to map each noisy repetition to the average of all noisy repetitions by fine-tuning parameters of a pre-trained convolutional neural network (CNN) and recovers higher SNR by averaging all denoised results at the first iteration, and performs this supervised residual learning based denoising process repeatedly with the denoising results from the previous iteration as the training target for several iterations. The efficacy of Noise2Average is systematically and comprehensively demonstrated on four types of commonly acquired MRI data, including two or more consecutively acquired highly accelerated T1-weighted (T1w) image volumes, two T1w image volumes acquired with different echo times, two diffusion-weighted image (DWI) volumes acquired with opposite phase encoding directions, and two DWI volumes synthesized using different sets of DWI volumes from a diffusion tensor imaging (DTI) scan. Quantitative evaluations prove that Noise2Average preserves more image sharpness and textural details and produces more accurate quantitative microstructural metrics from DTI signal modeling than the classic Noise2Noise denoising and conventional benchmark denoising methods BM4D and AONLM, with denoising performance slightly inferior to that of supervised learning based denoising. By reducing the requirement for training data and time, Noise2Average substantially increases the feasibility and accessibility of deep learning based denoising methods for MRI and potentially benefits a wider range of clinical and neuroscientific studies.

Key Words: magnetic resonance imaging, diffusion tensor imaging, self-supervised learning, transfer learning

ID 3354

Personalized Federated Multi-Center Brain Disease Diagnosis Based on Local and Global Uncertainty

Mingming Wang,朱旗,李胜荣,张道强
南京航空航天大学人工智能学院，脑机智能技术教育部重点实验室

Multi-center brain disease diagnosis is essential for the development of effective treatments and improving patient outcomes. However, concerns about data leakage have hindered its development, and data heterogeneity caused by differences in data collection devices and regional population characteristics is a significant challenge. In this paper, we propose a personalized federated multi-center brain disease diagnosis framework based on local and global uncertainty (LGU-PFL) and evaluate its performance in diagnosing autism and schizophrenia across multiple centers. First, we design two parallel classifiers in each center to generate uncertainty of samples. Second, based on the uncertainty, we utilized a min-max optimization approach for local training. Then, we use the samples' average uncertainty of each center as its weight for federated aggregation. At last, we obtain a personalized model on each center that effectively incorporates information from other centers. The experimental results demonstrate that the proposed LGU-PFL framework improves multi-center diagnostic performance for autism and schizophrenia.

Key Words: Multi-center brain disease diagnosis; Personalized federated learning; Medical image analysis

ID 3371

利用扩散模型和视觉Transformer从脑电进行零样本图像重建

曹煦浩、张道强
南京航空航天大学人工智能学院

大脑的视觉机制长期以来一直是人工智能和神经科学研究的重要内容。目前，随着对比学习和生成式人工智能的发展，新颖的基于神经信号的视觉解码和重建任务取得了显著进步。然而，fMRI的高成本和低时间分辨率限制了其在脑机接口（BCIs）中的应用，因此对基于脑电图（EEG）的视觉重建有很高的需求。在这项研究中，我们提出了一个基于脑电图的视觉重建框架。它由一个称为EEG-ViT的编码器和一个扩散先验模块组成，编码器与图像嵌入对齐，然后通过扩散先验将 EEG 特征转换为图像先验，然后使用预训练的图像生成器重建视觉刺激。我们的方法从脑电图生动地重建出了人类看到的图像，并取得了最先进零样本的性能。我们的结果有力的证明了具有便携性、低成本和高时间分辨率等优点的脑电图在视觉重建任务上的有效性。

关键字：脑机接口；视觉重建；扩散模型；零样本学习；脑电图

ID 3472

Distinct Neuroimaging Subtypes of ADHD among Adolescents Based on Semi-supervised Learning

Yiwei Chen,吴丹,Yiwei Chen
浙江大学

Attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) is a childhood-onset neurodevelopmental disorder diagnosed and subtyped solely based on clinical traits, which are prone to subjective judgment and lack of reliability. Also, the clinical subtyping does not offer a clear indication of the patient outcome. Here, we propose to use a neuroimaging data-driven approach for subtyping, using a semi-supervised learning method to decipher the heterogeneity among ADHD patients. We identified three distinct subtypes of ADHD with abnormal cortical thickness (CT) compared to the controls, namely, the under-developed (lower CT), over-developed (higher CT), and mixed subtypes, based on 6509 adolescents from the Adolescent Brian Cognitive Development (ABCD) study. The findings were reliably repeated in external datasets. With the neuroimaging-based subtypes, we significantly improved the diagnosis accuracy from 0.5 (without subtyping) to 0.82, 0.75, and 0.82 for the three subtypes, respectively. Interestingly, we found significantly lower cognitive scores together with worse socioeconomic status in the under-developed subtype, and the over-developed subtype had the worst response to stimulant medication. We further revealed significant differences in gene expressions and neurotransmitter distributions among the subtypes, pointing out that the upregulation of the dopamine and other excitatory pathways may play a strong role in the under-developed and mixed subtypes but not the over-developed subtype, which may explain their difference response to stimulant medication. Our study suggested that neuroimaging-based ADHD subtyping may improve disease diagnosis and uncover the disease heterogeneity in clinical presentations, treatment response, genetics, and neurobiology, and thereby, may potentially guide personalized therapy.

Key Words: cortical thickness; ABCD study; neurodevelopment disorder; stimulant medication; Allen Human Brain Atlas; neurotransmitters.

ID 3600

Inattention Prediction for Patients With Attention Deficit and Hyperactivity Disor-der Using Brain Radiomics Features Derived From Cortical Surface-based Morphology

Xun-Heng Wang,Lei Zhao,LIhua Li
Hangzhou Dianzi University

Attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) is a common brain disorder observed in children and adults. Inattention is the key clinical symptom of ADHD, which exhibits individual differences. The goal of this study is predicting inattention based on neuroimaging markers. In order to achieve this goal, three publicly available MRI datasets were collected for this study. Dataset 1 was designed for test-retest analysis. Datasets 2 and 3 were designed for training and validating the predictive models for inattention. To indicate the complexity and connectivity within and between brain regions, radiomics features (RFs) and brain radiomic networks (BRNs) were extracted from surface-based morphology (SBM) through regional parcellations and principal component analysis (PCA). Specially, the BRNs were built based on a subset of high reliable RFs according to the intraclass correlation coefficients (ICCs). The individualized inattention scores were estimated using RFs and BRNs and L1-penalty machine learning algorithm. The RFs and BRNs exhibited high test-retest reliability and individual differences. The predicted inattention based on RFs was significantly correlated to clinical symptoms ($r=0.5$, $p<0.01$), while

the performance of BRN-related models for inattention was r=0.32, p=0.04. Several predictive brain regions and interregional morphological links were discovered. The precuneus-related features suggested the dysfunction of default mode network (DMN) in patients. The frontal-related features implied the deficits of brain cognitive functions in ADHD. Furthermore, the predictive models and biomarkers were reproducible based on independent validations. Overall, the results suggested that the RFs and BRNs were reliable and predictive for inattention estimation, implying the potentials in clinical applications for ADHD.

Key Words: Attention-deficit/hyperactivity disorder, inattention, radi-omics features, radiomic brain network, predictive models.

ID 3668

3D Renal T1 Quantification using Modified Magnetization-prepared RAGE

Wenyan Zhang[1,2],Quan Tao[2,3],Zelong Chen[4],Yizhe Zhang[1,2],Yikai Xu[4],Yanqiu Feng[1,2,5,6],Wenyan Zhang

1. School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou, China

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Medical Image Processing & Guangdong Province Engineering Laboratory for Medical Imaging and Diagnostic Technology, Southern Medical University, Guangzhou, China

3. Department of Rehabilitation Medicine, Zhujiang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou, China

4. Medical Imaging Center, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou, China

5. Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Center for Brain Science and Brain-Inspired Intelligence & Key Laboratory of Mental Health of the Ministry of Education & Guangdong-Hong Kong Joint Laboratory for Psychiatric Disorders, Southern Medical University, Guangzhou, China

6. Department of Radiology, Shunde Hospital,Southern Medical University (The First People's Hospital of Shunde, Foshan) , Foshan,China

Renal T1 mapping has gained recognition as a crucial method for the visualization of both localized and diffuse renal pathologies. Despite the limited spatial coverage provided by 2D-MOLLI imaging, 3D imaging sequences primarily optimized for cardiac applications are hampered by prolonged acquisition times. This study aims to introduce an accelerated 3D T1 mapping sequence specifically tailored for renal imaging. An inversion-recovery (IR) pulse, followed by a series of 3D-bSSFP readout, is used for T1 mapping. We further validated the efficacy of the proposed sequence in T1 mapping using both phantom studies and normal volunteer. This sequence enables 3D renal T1 imaging within two breath-holds, with the measured T1 values in both phantoms and volunteers showing concordance with those obtained using 2D-MOLLI. The 3D-mMP-RAGE sequence holds promise as a rapid clinical imaging technique for renal applications.

Key Words: renal T1 mapping, MP-RAGE, Bloch simulation, three dimen-sional, inversion-recovery

ID 3826

Innovative Compound Band Imaging Endoscopy for Enhanced Deep Vascular Visualization and Tissue Depth Differentiation

Shipeng Zhang[1],Guochen Ning[2],Ye Fu[3],Longfei Ma[1],Tianyu Xie[3],Zhe Zhao[2],Hongen Liao[1]

1. School of Biomedical Engineering, Tsinghua University, Beijing, China
2. School of Clinical Medicine, Tsinghua University, Beijing, China
3. Department of Biomedical Engineering, Peking University, Beijing, China

Endoscopy plays a crucial role in modern medical diagnostics and treatment, providing essential insights into mucosal tissues. However, current endoscopic imaging techniques primarily focus on superficial mucosal layers, which do not fully meet diverse clinical needs. In this study, we developed a novel Compound Band Imaging (CBI) endoscopy system to enhance the visualization of deep vascular structures and differentiate tissue depths within mucosal tissues. Our system integrates green and red narrow-band light with amber wide-band light, using rapid switching technology synchronized with a color image sensor. By applying spectral image decoupling and innovative fusion algorithms, our system significantly improved image quality in specific feature representations, meeting our design expectations. Comparative imaging experiments on human oral mucosa and animal tissues demonstrated a notable enhancement in the visibility and differentiation of vascular structures. Objective color difference (ΔE) analyses confirmed the superiority of our method over conventional White Light Imaging (WLI). These findings suggest that our proposed system offers a valuable diagnostic tool for clinicians and may assist in surgical procedures, holding substantial potential for advancing endoscopic diagnostics, pending further clinical trials in humans.

Key Words: Endoscopy, CBI, Amber light, Vascular structure, Image fusion

ID 3955

WSFS: A Novel Weakly-Supervised Segmentation Method for Follicle Ultrasound Images

Guanyu Liu[2,3],Guanyu Liu[2,3],汪雨[1,4],黄伟红[3,5],李艳萍[1,4],付婧[1,4],张琼[1,4],黄佳[6],张忠腾[7],Guanyu Liu[1,4],Guanyu Liu

1. 中南大学湘雅医院生殖医学中心
2. 中南大学大数据研究院
3. 中南大学湘雅医院“移动医疗”教育部–中国移动联合实验室
4. 湖南省女性生殖健康临床研究中心
5. 湘江实验室
6. 中南大学生命科学院
7. 中南大学计算机学院

Follicle segmentation in ultrasound images is vital for monitoring follicle development in fertility treatments. However, obtaining pixel-level annotations for accurate instance segmentation of follicles using a fully supervised method is challenging due to time and workload constraints. This paper presents a weakly supervised instance segmentation method that leverages bounding boxes as approximate annotations, aiming to furnish clinicians with automated tools for follicle development monitoring. We propose the Weakly Supervised Follicle Segmentation (WSFS) method, a novel one-stage weakly supervised segmentation technique designed to enhance the ultrasound images of follicles, which incorporates a Convo-

lutional Neural Network (CNN) backbone augmented with a Feature Pyramid Network (FPN) module for multi-scale feature representation, critical for capturing the diverse sizes and shapes of follicles. By leveraging Multiple Instance Learning (MIL), we formulated the learning process in a weakly supervised manner and developed an end-to-end trainable model that efficiently addresses the issue of annotation scarcity. The proposed method can be used as a prompt proposal to enhance the performance of the Segmentation Anything Model (SAM), a well-known pre-trained segmentation model utilizing few-shot learning strategies. In addition, this study introduces the Follicular Ultrasound Image Dataset (FUID), addressing the scarcity in reproductive health data and aiding future research in computer-aided diagnosis. The experimental results on both the public dataset USOVA3D and private dataset FUID showed that our method performs competitively with fully supervised methods. Our approach achieves performance with mAP of 0.957 and IOU of 0.714, competitive to fully supervised methods that rely on pixel-level labeled masks, despite operating with less detailed annotations.

Key Words: Artificial Intellignece, Weakly Supervised Learning, Ultrasound Imagery, Assisted Reproductive Technology

ID 4114

Unsupervised Domain Adaptation of Retinal Vessel Segmentation with Multi-Scale Alignments

Dongning Song,Jiarun Liu,Shanshan Wang
Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences

Retinal vessel segmentation plays a critical role in computer-aided screening, diagnosis, and treatment of various cardiovascular and ophthalmic diseases. However, due to the well-known domain shift problem, applying a segmentation model trained on one dataset to another often results in significant performance degradation. Current approaches typically require retraining the model on labeled target domain data, but collecting and annotating large amounts of retinal data is challenging. In recent years, unsupervised domain adaptation techniques have provided a feasible solution to this problem. This study proposes an unsupervised domain adaptation framework that integrates generative and segmentation networks. By achieving multi-scale data alignment between the source and target domains, the two networks can work collaboratively, further enhancing performance. Experimental results on three public datasets demonstrate that our framework outperforms ten state-of-the-art domain adaptation methods, proving its effectiveness in handling domain shift and improving retinal vessel segmentation performance.

Key Words: Unsupervised domain adaptation, Retinal vessel segmentation, Multi-scale data alignment

ID 4232

基于GCT-UKAN的肝脏肿瘤分割算法研究

毛力、席旭刚
杭州电子科技大学

肝脏肿瘤分割在肝细胞癌变的诊断和治疗中起着至关重要的作用。然而，由于肝脏肿瘤的边界模糊，形状、大小和位置变化很大，准确和自动的肿瘤分割仍然是一项具有挑战性的任务。受到Kolmogorov-Arnold Network (KAN)在高准确性和可解释性方面的启发，本文提出了一种新型的混合网络GCT-UKAN，该网络将KAN和全局信息融合到传统U-Net中，实现了肝脏肿瘤CT图像的自动分割。首先，在深层次编码-解码结构中引入Tokenized KAN模块，替换基准网络U-Net中的双卷积模块，用于减少模型复杂度并提升计算效率。其次，引入GCT注意力(Gated Channel Transformation Attention)模块，将其搭建于U-Net的跳跃连接部分，以提取肝脏肿瘤的全局上下文信息，增强肝脏肿瘤分割任务相关特征。在公开的LiTS数据集上进行的大量实验验证了所提出的GCT-UKAN可以有效地从CT图像中分割肝脏肿瘤，其分割精度超过了许多现有方法。

关键字：肝脏肿瘤分割；U-Net；KAN；GCT注意力

S03
脑机接口与神经工程

ID 174

精确抓握过程中视觉反馈的增益引起脑网络动力学变化

吕世扬、冉湘莹、夏梦声、魏银平、邵振鹏、高智贤
新乡医学院

视觉反馈增益是影响精确抓握任务表现的重要因素，任务执行过程涉及视觉运动系统的多个大脑区域。然而，在此过程中的大脑网络动力学变化还不清楚。本研究的目的是探究精确抓握过程中视觉反馈增益的改变对脑网络动力学的影响。16名被试在低（0.1˚）、中（1˚）、高（3˚）视觉反馈增益下执行了15%MVC的精确抓握任务，同步记录任务中的脑电及右手精确握力数据。利用脑电微状态分析方法提取多个参数（Duration、Occurrence、Coverage、Transition probability），评估大脑网络动力学变化；使用握力的RMSE、CV评估精确抓握的准确度和稳定性。相较于低视觉反馈增益，在中/高增益下微状态B和D的Duration、Occurrence、Coverage增加，微状态A和C的值降低，微状态A、C、D向B的Transition probability均提高，且握力的RMSE、CV减小，微状态B和C的Occurence、Coverage与RMSE和CV均为负相关。这些发现表明，视觉反馈增益会影响精确抓握过程中的大脑网络动力学；适度增加视觉反馈增益能够提高握力的准确性和稳定性，此时，微状态B和C的Occurence、Coverage提升有助于改善精确抓握表现。我们的结果在更好地理解视觉反馈增益对精确抓握的运动控制影响中发挥着重要作用。

关键字：脑电微状态；脑网络动力学；精确抓握；视觉反馈增益

ID 407

3D soft microbump electrodes for elastic interaction with brain tissue

Bowen Ji,Kai Xue,Fanqi Sun,Xiaoli You,Xuanqi Wang,Huijing Hu,Le Li
Northwestern Polytechnical University

Flexible implantable electrodes provide unprecedented oppor-tunities for gentle mechanical interaction with soft neural tissues to acquire stable electrophysiological signals and re-duce risk of tissue rejection. For electrocorticography (ECoG) recordings, most electrodes adopt thin-film substrates such as polyimide (PI) or silicone that exhibit good conformality to the cortical surface. However, the thickness sacrifice or fractal structures of polyimide substrate will severely reduce its me-chanical strength; the soft silicone or hydrogel substrate can hardly achieve the essential micromachining precision. Anoth-er issue is the distance of recessed electrode site to cortical surface, from a few to hundreds of microns, which leads to the signal quality degradation. Here, we report a 3D polyimide-based electrode array on soft microbumps (height, 330 μm), with buffered contact capability and reliable mechanical strength that alleviates the mismatch from dental cement or cranial window. We demonstrate the reshaping processes of conventional 2D sites (diameter, 200 μm) into 3D protruding

structure by stress-free preforming and injection molding. The 3D soft microbump electrodes (SMBEs) are mechanically stable without delamination or crack after cyclic compression, providing elastic interaction and adaptive deformation to the brain. The PEDOT:PSS coating on SMBEs remains intact, undergoing cyclic compression. The acute SMBE array as a buffering interface has shown insusceptible stability by exter-nal pressure on anesthetic rats.

Key Words: 3D soft microbump electrodes; ECoG recording; elastic interaction; adaptive deformation

ID 456

A simple Task-Dependent EEG Compression method via Subspace projection

Zhanyang Wang[1],张洪欣[1],高小榕[2],杨晨[1]

1. 北京邮电大学
2. 清华大学

Objective: Prevailing electroencephalogram (EEG) compression algorithms, which are not task-dependent,significantly degrade the performance of BCI systems. This study proposes a task-dependent EEG compression algorithm (TDCS) that substantially reduces the amount of data to be transmitted without affecting the performance of BCI systems.

Method: The TDCS algorithm identifies and estimates the signal subspace of task-related signal components in EEG, and then projects the original EEG signal step by step into this signal subspace to achieve data compression and reconstruction.

Results: With no significant differences in performance observed for certain classification algorithms, TDCS retains only 16\% of the data in a spelling system based on steady-state visual evoked potential (SSVEP)-based BCI and only 4\% of the data in an unmanned aerial vehicle target detection system based on rapid serial visual presentation (RSVP)-BCI.

Conclusion: TDCS can transmit less data while minimally impacting the performance of BCI systems, and it exhibits faster data reconstruction compared to compression algorithms based on compressive sensing. Significance: This study proposes a task-dependent EEG compression mode and an EEG signal model suitable for EEG compression. The TDCS algorithm proposed in this study aligns better with BCI applications.

Key Words: Compression, brain-Computer Interface (BCI), electroencephalogram (EEG) model, task-dependent, signal subspace

ID 914

面向无创脑机接口的高时空分辨率脑电采集系统设计

张浩[1]、王学[1]、陈国伟[1]、张艳秋[2]、菅喜岐[2]、许敏鹏[1]、明东[1]

1. 天津大学
2. 天津医科大学

神经成像是了解大脑功能活动的有效工具之一，但传统非侵入式神经成像技术很难同时兼备高时间分辨率和高空间分辨率，难以满足临床需要。声电脑成像（Acoustoelectric Brain Imaging，ABI）可将聚焦超声的毫米级空间分辨率和脑电信号的毫秒级时间分辨率优势相结合。本研究基于声电脑成像首先探究了经颅调控声场分布，进一步定位并解码了单源及双源偶极子信号。研究结果表明，仿真指导下的声场调控结果明显优于自聚焦，可实现颅内目标靶点的精准调控聚焦；单源经

颅定位误差小于0.4mm，解码精度大于0.93，双源经颅定位误差小于0.2mm，解码精度大于0.89。本研究可实现准确的经颅声场调控聚焦，高精度定位源信号位置并解码其波形，为ABI的应用和脑机接口的进一步发展提供了技术方法。

关键字：声电脑成像；聚焦超声；脑电图；定位；解码

ID 175

混合脑-机接口控制的脑卒中康复软体手功能机器人

李朝晖[1]、张若晴[1]、冯闪闪[2]、胡楠[3]、卢顺康[2]、李萌[1]、崔红岩[1]、陈小刚[1]
1. 中国医学科学院生物医学工程研究所
2. 天津市滨海新区中医医院
3. 广州医科大学第二附属医院

目的：由脑-机接口（brain-computer interface, BCI）控制的软体手功能机器人已被证明在脑卒中患者的手部康复中是有效的。本研究创新性地使用运动想象（motor imagery, MI）与高频稳态视觉诱发电位（steady-state visual evoked potential, SSVEP）构建一个友好自然的混合脑-机接口范式。

方法：刺激界面依次呈现左手和右手抓球的分解动作图片，并以特定的频率闪烁（左侧34 Hz，右侧35 Hz）。结合软体手功能机器人作为反馈，我们建立了一个全面的“外周-中枢-外周”的手部康复系统帮助患者进行手部康复。此外，我们还提出了一种新的融合算法确定系统的最终输出。

结果：通过12名健康受试者和9名脑卒中患者的在线实验，准确率分别达到了95.83 ± 6.83%和63.33 ± 10.38%，均超过了50%，验证了该系统的可行性。

结论：将软体手功能机器人和混合脑-机接口结合建立的新型闭环在线康复系统能够为患者提供自然友好的范式。

关键字：混合脑-机接口；运动想象；稳态视觉诱发电位；软体手功能机器人；手部康复

ID 1367

An Asynchronous Training-free SSVEP-BCI Detection Algorithm for Non-Equal Prior Probability Scenarios

Yuntian Cui,Junsong Wang,Hongxin Zhang,Chen Yang
Beijing University of Posts and Telecommunications

SSVEP-based brain-computer interface (BCI) systems have received a lot of attention due to their relatively high Signal to Noise Ratio (SNR) and less training requirements. Most of the existing steady-state visual evoked potential (SSVEP) detection algorithms treat the prior probability of each alternative target being selected as equal. In this study, the prior probability distribution of alternative targets was introduced into the SSVEP recognition algorithm, and an asynchronous training-free SSVEP-BCI detection algorithm for non-equal prior probability scenarios was proposed. This algorithm is based on the Spatio-temporal equalization multi-window technique (STE-MW) and introduces the Maximum A Posteriori criterion (MAP), which makes full use of prior information to improve the performance of the asynchronous training-free BCI system. In addition, we proposed a mutual information-based performance evaluation metric called Mutual information rate (MIR) specifically for non-equal prior probability scenarios. This evaluation framework is designed to provide a more accurate esti-

mation of the information transmission performance of BCI systems in such scenarios. A 10-target simulated vehicle control offline experiment involving 17 subjects showed that the proposed method improved the average MIR by 6.48%. Online free control experiments involving 12 subjects showed that the proposed method improved the average MIR by 14.93%, and significantly reduced the average instruction time. The proposed algorithm is more suitable for practical engineering application scenarios that are asynchronous and training-free; the extremely high accuracy is guaranteed while maintaining a low false alarm rate, which can be applied to asynchronous BCI systems that require high stability.

Key Words: brain-computer interface (BCI), steady-state visual evoked potential (SSVEP), maximum a posteriori (MAP), asynchronous, Mutual information rate (MIR)

ID 1521

A Longitudinal Study of EEG-Based Personal Authentication System by ERP

Yufeng Zhang[1],Hongxin Zhang[1],Yijun Wang[2],Xiaorong Gao[3],Chen Yang[1]

1. Beijing University of Posts and Telecommunications

2. Institute of Semiconductors Chinese Academy of Sciences

3. Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Tsinghua University

Reliable identity authentication is indispensable for Internet of Things (IoT) devices security. Brainprint emerges as a promising biometric authentication through brain signal, offering a glimpse into secure future. However, questions surrounding their long-term stability and individual uniqueness necessitate further exploration. To address this, we developed a brainprint authentication system anchored in presenting self-face rapidly to evoke event related potential (ERP). A novel electroencephalogram model was proposed to trace ERP source responses. The ERP signals were mapped into a multivariate Gaussian model derived from registered templates for identity authentication. Then the longitudinal observations and invasion experiments were simulated. We recorded the ERP brainprint of 15 legal clients and authenticated their identities on the 7th, 80th, and 200th day to evaluate the permanence of the brainprint system. Additionally, totally 551 invasion attempts were simulated, with 380 instances involving premeditated attacks to verify individual uniqueness in ERP. Behavioral tests were introduced to verify that intruders are capable of imitating clients' behaviors. Under the proposed EEG model, we achieved an impressive client login success rate of 81%, successfully warding off all impostor attempts. These results provide preliminary evidence supporting the permanence and uniqueness of brainprint in our system, offering new perspectives for the future information security of IoT.

Key Words: Brainprint, biometric authentication, electroencephalogram, Internet of Things security, event related potential

ID 1663

长时程的微创非植入式脑-机接口系统

孙艺珂[1]、陈小刚[2]、高小榕[1]

1. 清华大学

2. 中国医学科学院

本研究提出了一种新型的基于颅骨改性技术的微创非植入脑机接口（BCI）系统，通过在颅骨上植入特制的316L不

锈钢植入物抑制颅骨改性孔洞的愈合，以实现长期稳定的脑电信号记录。我们在猪身上进行实验，实验组使用带植入物的颅骨改性手术，对照组使用经典的颅骨改性手术。通过有限元力学和电磁仿真评估植入物对颅骨应力和电场分布的影响，并采用稳态听觉与视觉诱发电位任务进行信噪比和分类分析。结果显示，植入物有效防止了颅骨孔洞的愈合，确保了长期稳定的信号记录。实验组在信噪比和分类准确率方面表现出持续提升，而对照组仅在改造后短期内表现出提升，随后逐渐下降。本研究为提升微创非植入BCI系统的稳定性和信号质量提供了新思路。

关键字：脑机接口，颅骨改性，微创非植入，稳态视觉诱发电位

ID 1774

Modulation of Ultrasonic Stimulation Parameters towards Evoking Fine Tactile Sensations

Liuni Qin,Mingyang Dou,Guanglin Li,Yanjuan Geng
中国科学院深圳先进技术研究院

An increasing number of recent studies prove that the low-intensity focused ultrasound stimulation (LIFUS) is a promising neuromodulation technique. Its feasibility of eliciting multiple fine tactile sensations, as well as the modulatory effect of ultrasonic stimulation parameters have not been investigated by far. Therefore, in this work, we enrolled eight healthy volunteers to participate into two sets of psychophysical experiment, wherein the ultrasonic stimuli were delivered onto their index fingertips under varying pulse repetition frequency (PRF) and acoustic intensity (AI). Our results showed that ultrasonic stimuli at lower PRF and lower AI were perceived more sensitively in term of Just Noticeable Difference (JND) and Weber fractions (WF) in experiment 1. In experiment 2, six types of fine tactile sensation, including tickling, vibrating, buzzing, pressure, petting, electrical, plus no sensation, could be distinguished under 18 different PRF-AI combinations. Lower PRFs tended to induce rhythmic tap-like sensations, while higher PRFs tended to evoke electrical-like sensations. A synergistic effect of PRF and AI on modulating fine tactile sensations was observed as well. These findings may shed light on modulation of ultrasonic stimulation parameters, and facilitate the application of LIFUS into various human-machine interaction settings.

Key Words: Ultrasonic stimulation, Tactile sensation, Pulse Repetition Frequencies, Acoustic intensity

ID 1832

基于双向门控循环单元的三维空间伸向动作任务单模脑磁解码方法

段三鹤[1]、钟小聪[1]、刘丹[1]、张美妍[1]、刘莹[2]、孙金玮[1]、王启松[1]
1. 哈尔滨工业大学仪器科学与工程学院
2. 黑龙江省医院麻醉科

光泵磁力计（OPM-MEG）具有灵活、小型化、高精度、高时空分辨力的特点，是脑机接口领域最新的信号采集方式之一，但当前超导量子干涉（SQUID）基础的MEG设备仍为主流，存在分析范式与模型迁移的问题。本文以三维空间伸向动作任务为基础，设计了一套仅使用SQUID-MEG的单极磁力计通道的信号解码算法，以此为SQUID-MEG到仅单通道磁强计构成的OPM-MEG的迁移打下基础。本文设计基于双向门控循环单元的模型能够以运动轨迹预测r ≥ 0.842、 sMAPE ≤ 0.714、RMSE ≤ 0.0685，运动速度预测r ≥ 0.845、sMAPE ≤ 0.951、RMSE ≤ 0.0138的性能对手指三维运动轨迹进行预测，性

能超越了使用梯度磁强计信息的方法。

关键字：脑磁信号；SQUID-MEG；OPM-MEG；伸向动作；双向门控循环单元

ID 1960

基于脑电的大尺度网络构建方法研究

易婵琳[1,2]、尧德中[1,2]、徐鹏[1,2]

1. 电子科技大学 神经信息教育部重点实验室 成都脑科学研究院临床医院 中国成都 611731

2. 电子科技大学 信息医学研究中心 生命科学与技术学院 中国成都 611731

大脑功能并非依赖于孤立脑区，而是产生于刻画了大脑层级复杂交互的大尺度网络的高效运作。认识大脑很大程度上就是认识大尺度脑网络。基于脑电（electroencephalogram， EEG）的大尺度网络构建有望以更安全、便捷的方式提供对大脑更精细的动态活动的理解。然而，由于缺乏适应脑电复杂生理特性的可靠网络刻画方法，脑电大尺度网络还缺乏系统认识。因此，本文旨在从头表到皮层、低层级到高层级、数据驱动到模板驱动、静态到动态的多个角度出发，针对脑电大尺度网络构建面临的无约束鲁棒头表时变有向网络估计、皮层功能子网络可靠提取、功能子网络间多元关系稳健度量等挑战，发展了系列大尺度网络构建方法，为脑电大尺度网络刻画提供了可靠的方法技术和新的视角，并揭示了运动、决策及注意等在内的多个高级认知过程的大尺度网络关键机制。

关键字：脑电；大尺度脑网络；网络构建方法；功能网络连接，时变有向网络

ID 2066

基于深度学习网络模型的癫痫发作检测算法

宋子昂、徐航、张园园、赵国光

首都医科大学宣武医院

反应性神经刺激（Reactive Nerve Stimulation， RNS）是针对药物难治性癫痫的一种神经调控方法，其中癫痫预发作检测尤为重要，目前主要基于脑电特征，且脑电分析方法主要基于线长面积或阈值，存在一定局限性。因此本研究提出了一种用于反应性神经刺激系统的有监督式多层混合学习模型，能够准确的实现癫痫脑电和皮层脑电特征的三分类。首先，对84例癫痫患者的脑电和皮层脑电数据进行打标；进一步构建监督式多层混合学习模型，该模型包含三个并行特征提取通道：FFT频谱下的卷积神经网络层进行脑电频率特征提取，幅度感知通道进行幅值信息全连接及维度压缩，带有残差编码块的循环神经网络层进行脑电时域特征解码，并且融入了一个基于长短时间网络的决策层作为循环神经网络的前置，配合输入门进行数据筛选及增强；进一步，对超过8500个带特征标签的电极通道进行分类及混合训练；最后基于通道平均偏移率构建了癫痫发作精准识别效果的评估指标。结果表明，对癫痫患者脑电和皮层脑电分类准确率均超过95%，混合序列分类准确率超过93%，在多次测试集的统计下偏移率均低于6%。因此，本研究对癫痫预发作的检测具有重要意义

关键字：反应性神经刺激；癫痫；脑电图；卷积神经网络；循环神经网络

ID 2203

SignBrain：无线可穿戴脑电采集技术与设备

孟庆桐、常东明、曹姗、胡若晨、蒋田仔、左年明
中国科学院自动化研究所

本文介绍一款自主研发的无线可穿戴非侵入式脑电信号采集设备：SignBrain。SignBrain设备为爪形分支结构，设计符合国际10-20导联标准，具有18个半干式盐水电极，配合自研的万向活动电极部件，弥补了头型较大、发量较多佩戴使用的问题，设备可在任意场景随时佩戴完成脑电实验，采集的脑电信号通过低功耗蓝牙实时传输至软件系统，支持在线阻抗检测、无线Marker同步。同时我们研发了与设备配套的软件系统、API应用接口以及移动终端（手机、平板电脑等）等配套软件。基于SignBrain技术与设备，我们也给出了一些常见的脑机交互应用，比如闭眼想象解码打字。关于设备的开发和应用的讨论网站：www.SignBrain.cn。

关键字：脑电；可穿戴；非侵入；脑机接口；认知解码

ID 2226

FCNCP：耦合非负联邦CANDECOMP/PARAFAC分解研究

蔡堉恺[1,2]、刘航[1,2]、丛丰裕[1,2]
1. 大连理工大学医学部生物医学工程学院
2. 辽宁省集成电路与生物医学电子系统重点实验室

在脑科学领域的研究中，由于行业竞争、隐私安全等问题，跨服务器的数据分享变得越来越有挑战。因此，急需开发不通过数据分享就能够开展科研合作的数据分析与处理新方法。鉴于此，本研究拟面向布置在不同服务器上的EEG数据，结合耦合张量分解在跨样本张量数据分析中的优势以及联邦学习在分布式服务器中联合建模的特色，深入研究并开发一种高效的非负耦合联邦张量分解算法框架——FCNCP。该算法利用联邦学习建立分布在不同服务器数据的耦合约束。在实验中，首先利用了模拟数据进行仿真实验，在成功建立了耦合约束的同时得到了稳定且一致的分解结果，验证了本研究所提出算法的有效性。其次利用FCNCP算法对在左右手施加本体刺激收集到的五阶事件相关电位张量数据进行分解。实验发现对侧刺激诱发的左、右半球激活区对称的成分较多。得出的结论与认知神经科学相关研究的解释一致，证明该方法能有效处理高阶的脑电数据，且一些关键的隐藏信息能够得以保存。

关键字：非负耦合张量分解；联邦学习；事件相关电位

ID 2242

基于腕部多模态生理信号的全面性强直-阵挛癫痫发作检测

王光明[1]、李雯[1]、朱家林[1]、遇涛[2]、王刚[1]
1. 西安交通大学
2. 首都医科大学宣武医院

由于突发性和反复性，癫痫发作严重影响患者的生活。院外环境中的自动癫痫发作检测方法对于保护患者人身安全至关重要。本文提出了一种基于腕部加速度、表面肌电和光电容积脉搏波信号的全面性强直-阵挛癫痫发作检测算法。首先将数据进行预处理和特征提取。然后使用模糊C均值聚类寻找数据的运动模式。接着将具有高运动强度的样本输入支持向量机中进行分类。最后对所有样本的输出进行后处理以检测发作事件。基于包含63次全面性强直-阵挛癫痫发作的由88名患者和15名健康被试组成的数据集，算法的灵敏度为0.984，每24小时误报率为0.151。这些结果证明了使用腕部加速度、表面肌电和光电容积脉搏波信号检测癫痫发作的可行性，展示了其在院外环境中进行GTCS的长时、准确检测的潜力。

关键字：癫痫；全面性强直-阵挛癫痫发作；腕表；多模态信号；机器学习

ID 2368

多模协变网络的宏观结构和微观转录研究

李发礼[1,2]、姜林[1,2]、何润洋[1,2]、尧德中[1,2]、徐鹏[1,2]
1. 电子科技大学 神经信息教育部重点 成都脑科学研究院临床医院，成都 611731
2. 电子科技大学 信息医学研究中心 生命科学与技术学院，成都 611731

人类高级认知功能通常由大脑内在解剖结构和瞬时功能神经活动协同完成，然而，大脑中结构-功能回路是如何相互作用以促进高级认知处理仍不清楚。本文中，我们提出了一种多模协变网络（multimodal covariance network, MCN）构建的新方法，量化大脑结构-功能活动的协变耦合，并在两批独立数据集中验证了MCN的高度可复制性及在识别认知特异性层级模块方面的能力。将MCN方法应用到各高级认知过程中发现：1）P300任务下相关子网络的结构-功能共变显著增强，揭示了从基线到任务执行切换过程中大脑资源的重配模式；2）MCN效率高的个体倾向于做出冒险决策，表明大脑可通过配置其结构-功能共变而使其利益最大化；3）静息态MCN可反映大脑中与年龄变化相关的认知灵活性；4）采用脑网络和转录组学融合模型探究了抑郁患者MCN异常模式与脑基因表达的关系，揭示了与抑郁症异常模式相关的基因富集在与突触相关的通路。以上发现为MCN在诸多领域的应用提供完善的神经理论基础。

关键字：多模协变网络；P300；决策；认知灵活性；抑郁症

ID 2442

面向运动想象任务的额顶网络重构规律研究

张磊[1]、陈龙[1,2]、王仲朋[1,2]、李奇[1]、顾斌[2]、明东[1,2]
1. 天津大学
2. 脑机交互与人机共融海河实验室

目的：运动想象（Motor Imagery，MI）作为与运动执行共享核心神经基质的运动认知过程，与额顶网络紧密相关。为深入理解MI如何调节额顶网络活动，本研究探索了大脑由静息态转向MI任务态的额顶网络重构规律。

方法：本研究共收集52名健康受试者左手与右手MI任务的脑电数据，使用加权配对相位一致性方法构建了静息期与任务期四种典型脑电节律（theta，alpha，beta和gamma）的额顶功能连接网络。

结果：研究发现不同脑电节律的额顶网络具有特异性重构模式。alpha与beta节律额顶网络的功能连接强度在MI期间显著减少，且额顶网络重构模式具有明显的对侧优势。同时，alpha与beta节律额顶网络重构程度更高的受试者具有更好的MI-BCI表现。

结论：本研究结果表明MI伴随着大脑区域间信息交互模式的转变，有助于从网络角度阐述MI神经响应规律。

关键字：运动想象；额顶网络；脑网络重构；功能连接；脑-机接口

ID 2490

节律网络：双相情感障碍家族风险的生物标志物

姜林（研究生）[1,2]、张诗莱[1,2]、尧德中[1,2]、徐鹏[1,2]、李发礼[1,2]、Lin Jiang
1. 电子科技大学 神经信息教育部重点 成都脑科学研究院临床医院，成都 611731
2. 电子科技大学 信息医学研究中心 生命科学与技术学院，成都 611731

大脑节律展现出不同的时空特性，是大脑功能活动的显著标志。传统研究主要关注脑节律的神经起源、空间分布、时间动态以及跨脑区交互上，忽略了跨节律耦合在产生生理状态和认知中起着重要作用。在本文中，我们提出了一个大尺度网络分析层面上的全新框架来定义多子系统间的跨节律耦合，以此构建空间-节律网络（spatial-rhythm network, SRN）。将该方法应用至健康人群中表明，除了通过主导节律来定义P300的传统框架以外，δ节律额顶控制网络/边缘网络与其他节律子网络间的跨节律耦合也是P300产生的基础，以协调P300产生过程中即时记忆和注意力分配的灵活性。更重要的是，在双相障碍患者及其一级亲属中一致的SRN异常可能成为临床筛选具有高家族发病风险个体的电生理生物标志物。以上发现揭示了跨节律耦合在认知功能（障碍）中的独特作用。

关键字：空间节律网络；多元经验模态分解；脑电；P300；双相情感障碍

ID 2517

Abnormalities in Auditory Pre-attentive Processing of Spatial Location in Schizophrenia: A Spatial Mismatch Negativity Study

Xiong Jiao[1,2],Qiang Hu[3],Wenli Zhu[4],Wei Ren[5],Yingying Bu[4],Wenwen Miao[4],Chuanfu Song[4],Chunbo Li[1,6,7,8],Jijun Wang[1,7,8],Junfeng Sun[2,6]

1. Shanghai Jiao Tong University School of Medicine

2. Shanghai Med-X Engineering Research Center, School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200030, China

3. Department of Psychiatry, Zhenjiang Mental Health Center, 212000 Jiangsu, China

4. Department of Psychiatry, Wuhu Hospital of Beijing Anding Hospital, Capital Medical University (Wuhu Fourth People's Hospital), Anhui 231200, China

5. Department of Psychiatry, The Fourth People's Hospital of Maanshan, Anhui 231200, China

6. Brain Science and Technology Research Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200030, China

7. CAS Center for Excellence in Brain Science and Intelligence Technology (CEBSIT), Chinese Academy of Science, Shanghai, 200031, China

8. Institute of Psychology and Behavioral Science, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200030, China

Mismatch negativity (MMN), reflecting pre-attentive auditory processing, has emerged as a potential translational biomarker for informing diagnosis, guiding treatments, and tracking response to interventions in schizophrenia. The large majority of studies have demonstrated robust deficits in duration- and frequency-related MMN in patients with schizophrenia. However, few studies investigated the characteristics of spatial MMN (sMMN) in schizophrenia. The present study utilized a related transfer function (HRTF)-based method to generate spatial virtual sounds. We employed them as deviants to elicit sMMN with an auditory oddball paradigm. Thirty-four inpatients with schizophrenia and twenty-four healthy individuals were included in this study. For each subject, clinical and cognitive variables were assessed. The results showed that compared with healthy controls, sMMN amplitudes induced by both left and right deviant stimuli in patients with schizophrenia were reduced. For healthy controls, the left deviant stimuli elicited greater sMMN amplitudes in the right hemisphere compared with the left hemisphere. In contrast, hemisphere lateralization of sMMN elicited by the left deviant stimuli was absent in patients with schizophrenia. Furthermore, the laterality index was significantly correlated with cognitive function impairments in patients with schizophrenia. These findings provided new insights into deficits in early auditory spatial information processing in schizophrenia.

Key Words: Spatial mismatch negativity, Schizophrenia, Lateralization, Head related transfer function, Cognitive function

ID 2956

EEG Connectivity in Source Space at Specific Frequency Band Enables Differentiation of Individual Susceptibility to Anesthetic

Lichengxi Si[1,2],Shaoxian Shi[1,2],Zhehao Hu[1,2],Wei Gao[3],Gang Wang[1,2]

1. Key Laboratory of Biomedical Information Engineering of Ministry of Education, Institute of Health and Rehabilitation Sciences, School of Life Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China

2. Key Laboratory of Neuro-Informatics and Rehabilitation Engineering of Ministry of Civil Affairs, Xi'an, China

3. Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China

Background: The susceptibility of different individuals to the same dosage of the same anesthetic drug is influenced by many factors. In addition to basic conditions such as age and gender, susceptibility to anesthesia is also related to brain activity during the resting state. However, the specific physiological mechanisms involved are still poorly understood.

Methods: Twenty healthy volunteers who participated in propofol-induced sedation were divided into two groups according to their susceptibility to anesthesia and the EEG data were recorded in baseline and moderate sedation states. Functional connectivity was measured by the debiased weighted phase lag index (dWPLI) in different brain regions to find band-specific differences in source space and sensor space respectively. Classifiers for anesthesia susceptibility were trained according to functional connectivity and based on biencoder autoencoder and convolutional neural network models, and the degree of contribution of different brain regions to classification was calculated based on biencoder autoencoder and partial least squares.

Results: In the baseline state, the specific frequency band was mainly in the low alpha band, and showed that the subjects more sensitive to propofol had more weaker brain activities. Functional connectivity in the baseline could successfully predict the individual's susceptibility to propofol with an accuracy of 82.52% (in source space), and the brain regions that played significant roles included dorsal attention, ventral attention, and visual networks.

Conclusions: The functional connectivity in a specific low alpha band during the resting state can effectively predict the susceptibility to propofol during anesthesia, and the important brain regions include dorsal attention, ventral attention, and visual networks. This study can provide new ideas to help anesthesiologists precisely administer propofol before surgery.

Key Words: susceptibility to propofol, electroencephalogram, functional connectivity, deep learning

ID 2966

针对震颤的磁波刀神经调控脑网络动态功能机制研究

邓子言[1]、石嘉慧[1]、吴亚平[2]、白岩[2]、王梅云[2]、马婷[1]、叶辰飞[1]

1. 哈尔滨工业大学（深圳）

2. 河南省人民医院

高强度磁共振引导聚焦超声（MRgFUS，也称磁波刀）是最近的一种非侵入性治疗药物抵抗性震颤的治疗方法。我们使用MRgFUS在13例震颤显性帕金森病或特发性震颤患者的丘脑腹侧中间核（VIM）中进行神经调控，并获取调控前后的静息态功能磁共振成像（rs-fMRI）数据，另外有36例健康参与者作为对照组。采用主特征向量动力学分析（LEiDA）来识别BOLD锁相模式（PL状态），并量化了MRgFUS神经调控前后的脑动态特征的差异。研究发现，感觉运动网络相关脑状态的动态特征与抑郁症状严重程度显著相关（发生概率r=0.58，p=0.03；停留时间r=0.59，p=0.03；转换概率（Ptr 8 to 8）r=0.70，p=0.008）；视觉和背侧注意网络相关脑状态的发生概率的增加与震颤症状改善存在强正相关（r=0.59，p=0.03）；皮

层下区域相关脑状态的更少出现与震颤症状改善存在正相关。我们的研究结果表明MRgFUS可能通过影响特定的大脑状态来调节抑郁症状；通过增强视觉和背侧注意网络的功能连接或减少皮层下区域的大脑活动来减轻震颤症状。

关键字：帕金森疾病；高强度磁共振引导聚焦超声；主特征向量动力学分析；静息态功能磁共振成像

ID 3243

Comparative Efficacy of tDCS, tACS, TMS and DBS on Major Depressive Disorder: Network Meta-Analysis

Zhipeng Tang,马语凡,竭婧,殷明
海南大学生物医学工程学院

Patients with major depressive disorder (MDD) often do not achieve satisfactory benefits from antidepressants. Neuromodulation therapies, which modulate neuronal activity through electrical or magnetic stimulation, have been introduced to improve outcomes. However, systematic reviews of treatment options for insomnia in unipolar depression are lacking.This network meta-analysis (NMA) follows the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines. The outcomes were evaluated based on response rates.The study included 19 trials with a total of 1968 patients. All treatment strategies had higher response rates compared to sham controls. iTBS (OR=3.33, 95% CI [1.4, 8.8]) and piTBS (OR=3.37, 95% CI [1.2, 9.8]) showed similar efficacy, outperforming aTMS (OR=2.31, 95% CI [0.8, 6.6]), BL (OR=2.1, 95% CI [0.94, 4.4]), dTMS (OR=1.52, 95% CI [0.68, 3.2]), HFL (OR=2.29, 95% CI [1.2, 4.5]), and sTMS (OR=1.97, 95% CI [0.94, 3.8]). tACS (OR=2.51, 95% CI [1.1, 6]) was more effective than tDCS (OR=1.87, 95% CI [1.2, 3.2]). Within DBS strategies, slMFB, VC/VS, vALIC (OR=3.23, 95% CI [0.25, 37]), and SCC (OR=1.78, 95% CI [0.53, 6.4]) had similar effects.The findings confirm the bilateral TMS, deep TMS, high-frequency left TMS, accelerated TMS, and synchronized TMS are effective for MDD. Intermittent theta burst stimulation shows high efficacy and acceptability, suggesting it might be the most effective neuromodulation method. tACS shows greater potential than tDCS for MDD, and DBS holds promise but remains experimental.

Key Words: Major depressive disorder , Transcranial Alternating Current Stimulation ,transcranial Direct Current Stimulation , Transcranial Magnetic Stimulation , Deep Brain Stimulation

ID 3303

面向深部脑刺激触点电流检测的体内经颅声电脑成像研究

宋一博、周伊婕、明东
天津大学

深部脑刺激（deep brain stimulation，DBS）的临床效果高度依赖于DBS电极定位与电流刺激状态。然而，常规神经成像方法难以直接反馈DBS电流空间分布与动态变化。声电脑成像（acoustoelectric brain imaging，AEBI）作为一种新兴的神经成像方法，可直接描绘大脑电流密度分布。本研究设计实施了不同时间模式、波形、频率和幅值DBS电流的活体大鼠AEBI实验，发现体内经颅AEBI能够以毫米空间分辨率（<2 mm）和毫秒时间分辨率（<10 ms）准确定位DBS触点电流位置，其解码声电信号可有效映射DBS电流特性并识别电流模式变化。本研究首次验证了AEBI可以定位体内DBS触点并表征不同DBS电流特性，有望发展成为一种具有高时空分辨率的无创DBS实时监测技术。

关键字：脑电图；声电脑成像；深部脑刺激；电流特征

ID 3503

用于脑功能研究的水凝胶神经电极

肖萌、李舟
中国科学院北京纳米能源与系统研究所

植入式神经电极在脑疾病治疗和脑功能研究中的作用至关重要。目前植入式神经电极的模量与脑组织不匹配，导致在植入后出现严重的免疫炎症反应并影响神经信号记录的质量。水凝胶是一种亲水的三维交联聚合物网络，是制备植入式神经电极的理想材料。水凝胶神经电极具有与脑组织相似的力学和化学特性，能够减轻电极植入时的损伤以及植入后的免疫炎症反应。同时，水凝胶还具有降解特性可调的优势，适合用于制备可吸收的脑深部电极。与金属材料制备的神经电极相比，水凝胶神经电极在核磁共振成像下不产生伪影，能够与目前常规的医疗检测设备兼容。

关键字：组织相容性， 导电水凝胶， 神经电极， 深部脑刺激，模量匹配

ID 3766

帕金森病进展下的动态功能连接及梯度分析研究

石嘉慧[1]、邓子言[1]、吴涛[2]、叶辰飞[3]、马婷[1]
1. 哈尔滨工业大学（深圳）电子与信息工程学院
2. 首都医科大学附属北京天坛医院神经内科
3. 哈尔滨工业大学（深圳）国际人工智能研究院

帕金森病（PD）及快速眼动睡眠障碍（RBD）会引发功能连接（FC）及功能连接梯度（FCG）的变化，表现出初级感觉运动和高阶执行功能缺陷。已有大量研究探讨了PD及RBD的临床特征与其生物标志物，但对神经网络的动态变化尚缺乏深入理解。本研究中，我们使用隐马尔可夫模型识别脑状态，计算每个状态下时间序列相干性获得动态功能连接（dFC）。基于dFC利用扩散映射嵌入得到动态功能连接梯度（dFCG），最后将全局梯度指数与临床表现关联。我们发现，PD患者在背侧注意网络（DAN）、默认模式网络（DMN）有更明显的代偿效应，包括停留时间增加及异常的网络切换。在感觉运动网络（SMN）停留更短及网络间通信减弱。临床评估发现SMN与DMN状态下的功能连接异质性可预测运动障碍与非运动功能障碍，而边缘网络在疾病预测上展现了相反结果。以上结果不仅为理解PD和RBD的发病机制提供了新的视角，也为未来的临床评估与干预策略的制定奠定了基础。

关键字：帕金森病；隐马尔可夫模型；动态功能连接；功能连接梯度；默认模式网络

ID 3836

基于域自适应的脑电信号视觉场景重建方法

林承德[1]、莫程俊[2]、李克秋[1]、李国翠[3]
1. 天津大学
2. 桂林电子科技大学
3. 天津开发区奥金高新技术有限公司

本文介绍了一种基于域自适应方法从脑电（Electroencephalogram,EEG）信号直接高质量重建视觉场景的方法。该模型利用通道屏蔽的方式来训练代理编码器，以提高编码器提取EEG信号特征的能力和效率。该方法使用两个判别器分别在特征和生成图像两方面进行对抗训练，以减少源域和目标域之间的域偏差，使得在源域上训练的模型能够更好地适应目标域的数据分布，使模型更快适应新个体。此外，模型还使用CLIP的图像编码器提供额外的监督，以更好地将EEG信号特征与图像嵌入对齐。该方法有望克服脑电信号采集设备不统一、个体差异性等挑战，在神经科学和计算机视觉中具有潜在的应用价值。

关键字：脑电信号，域自适应，图像生成

ID 4062

Restoration of Lower Limb Motor Function in Rats with Spinal Cord Injury via a Brain-Peripheral Neural Interface

Peng Zhang,Haodong Mao,Qiang Li
Huazhong University of Science and Technology

The Brain-machine interface (BMI) has been employed to repair motor function in individuals suffering from paralysis due to spinal cord injury (SCI). Nonetheless, the primary application of BMI has been in aiding these patients to utilize external devices, rather than restoring the motor function of their own limbs. This study proposed a novel brain-peripheral neural interface designed to rehabilitate limb motor function post-SCI. Three rats were trained to walk bipedally on a treadmill, followed by implantation of a 16-channel microwire electrode into the motor cortex and a 10-channel peripheral neural electrode into the sciatic nerve. Thoracic left hemisection SCI at the T10 vertebral level was implemented to induce SCI in the rats. Neural signals and hindlimb kinematic data were simultaneously recorded. A spike signal-based algorithm was used to decode foot-off events during bipedal walking tasks. Then, a Gaussian Process-Bayesian Optimization-based electrical stimulation algorithm was used to select optimal parameters for restoring the extension and flexion movements of the lower limb. The accuracy and recall rate of decoding the foot-off events exceeding 0.8, and the flexion and extension movements of the lower limbs were successfully achieved through peripheral nerve electrical stimulation. This study presents a viable brain-peripheral neural interface, paving the way for a new avenue in the restoration of motor function following spinal cord injury.

Key Words: brain-machine interface, peripheral neural interface, spinal cord injury, neural decoding

ID 4066

Calcium Activation of Parvalbumin Neurons Induced by Electrical Motor Cortex Stimulation

Ruixue Wang[1,2],Jiawei Han[2],Wang Xi[2],Shaomin Zhang[2],Hua He[1]
1. Third Affiliated Hospital of Naval Medical University
2. Zhejiang University

Electrical motor cortex stimulation (EMCS) has been employed in the treatment of Parkinson' s Disease (PD). Previous studies suggest that distinct cell types may contribute to selective ther-apeutic effects. Parvalbumin (PV) neurons, as the largest sub-group of interneurons, have been implicated in the mecha-nisms underlying the therapeutic efficacy for PD treatment. However, their specific responses to EMCS remain poorly understood. In this study, we utilized in vivo two-photon imaging to record calcium activities of PV neurons (specific type) and all neurons (non-specific type) in layer 2/3 of the primary motor cortex (M1) during EMCS with various stimulus pa-rameters. Our findings indicate that PV neurons exhibit dis-tinct activation profiles compared to all neurons. Notably, the cathodal polarity preference of PV neurons diminishes under high-frequency stimulation. The calcium transients in PV neurons elicited by EMCS tend to have larger amplitudes and shorter active durations. Additionally, the optimal activation frequency for PV neurons is higher than that for all neurons. These results enhance our understanding of the selective effects of EMCS on specific cell types, potentially leading to more effective stimulation protocols for PD treatment.

Key Words: Electrical motor cortex stimulation, Parkinson' s Disease, Two-photon imaging, Parvalbumin neurons, Calcium activation

ID 4179

一种可实现任意目标数的脑-机时分编码框架

张舒玲、杨晨、张洪欣
北京邮电大学

本研究提出了一种创新的通用脑-机接口（BCI）编码框架，旨在指导现有的独立BCI范式设计 。该框架基于刺激与神经响应的数学映射，采用泛函优化和概率模型，实现了高可解释性的目标编解码方法，为BCI目标编码提供理论基础。它能优化编码策略，提高目标区分度，支持快速特征提取，适用于构建多目标BCI系统。通过非侵入式SSVEP范式验证，实现了具有1008个码字的在线BCI系统，在线自由绘图实验平均准确率为85.00%。该研究为BCI编码提供了泛用性指导，对提升范式设计和目标优化具有重大意义。

关键字： 脑-机接口；编码；解码 ；范式设计 ； 目标优化

ID 4267

Cortical and Subcortical Decoding Contribution Revealed by Speech Decoding of Two Languages

Yunying Wu,Chenyang Li,Haiyan Zhang,Feiyan Chen,Weidong Chen,Shaomin Zhang
浙江大学

Studies have suggested that the sensorimotor cortex,which is involved in controlling the movement of vocal organs, is the most suitable area for speech decoding. However, due to the limitations in surface neural recording methods such as electroencephalography (EEG) and electrocorticogram (ECoG), it remains uncertain whether deep brain regions have speech decoding capabilities. In this study, we took advantage of the wide distribution of stereoscopic electroencephalography (sEEG) to integrate the speech decoding data of 10 Dutch subjects and 5 Chinese subjects respectively, and mapped the speech decoding contribution distribution of different brain regions through the decoding performance of each electrode. Consistent with previous research, specific gyrus locations are strongly associated with speech. We also found that high decoding performance can be achieved in many deep regions when subjects speak two languages. In addition, although the two languages have a similar distribution of decoding contributions, they show differences in some areas, and in decoding performance differences between high and low frequencies of speech. When both Chinese and Dutch have lower decoding performance at high frequency than at low frequency, the difference of Chinese between high and low frequency decoding is greater. We expect future studies to analyze more data, reveal more precise decoding performance of cortical and subcortical regions, guide the placement of speech decoding electrodes, and reveal the articulatory representations of different languages to help optimize their decoding methods.

Key Words: Speech Contribution, Speech Decoding, sEEG, Two Languages, Cortical and Subcortical

ID 4295

植入式医疗器械患者MRI安全性的概率化评估框架

张锋、姜长青、徐博亚、龙天罡、顾忆元、张肇源、袁群然、李沛杉、张博扬、姚庆宇、李路明
清华大学

植入医疗器械的患者在进行磁共振成像（MRI）时面临射频（RF）致热的安全风险，特别是大量植入了没有MRI标记的医疗器械的患者。对于中枢神经系统的植入物，如脑起搏器（DBS），射频致热风险的评估尤为重要。目前临床上尚无DBS患者的MRI射频致热在体评估方法。本文提出了一种MRI射频致热的概率化评估框架，核心步骤包括质子共振频率测温信号的统计建模、表面温升的极大似然估计以及不确定度分析。开展体模和动物实验验证，实现了临床MRI场景下电极温升的在体评估，在猪脑内平均误差0.6 ℃，最大误差小于1 ℃。经过系统验证后开展了临床试验，首次在植入无MRI标记的DBS患者上实现了在体温升评估和安全MRI检查。本文提出了一种临床可行的射频致热在体评估方法，对临床应用和脑科学与神经科学研究具有重要意义。

关键字：植入式医疗器械；射频致热；在体评估；概率化框架

ID 4368

Decoding Gait Speed Using Intracortical Signals in a Freely-moving Non-human Primate for the Control of Neurorobotics

Long Chen,梁丰研
海南大学

Locomotion is one of the most fundamental and crucial motor abilities in both humans and animals. Compared to other quadrupedal mammals, primates exhibit unique quadrupedal characteristics, such as diagonal gait and compliant walking. Significant progress has been made in past studies to understand the relationship between neural activities in the motor cortex and behaviors. However, these studies often limit the behavior to the constrained environments and focus only on upper limbs. Here, we trained a macaque to walk freely on a treadmill at four different speeds. Intracortical signals and videos were recorded at the same time. Our results indicate that the primary motor cortex exhibits higher neuronal firing rates during the swing phase of gait, suggesting its critical role in gait encoding. Furthermore, we utilized only eight neural units to decode gait speeds and employed mutual information for feature selection to improve the decoding accuracies. Results indicated that four gait speeds can be reliably classified with an accuracy of 82.9%. The firing rates of neurons from 100 ms to 300 ms before the forelimb raise exhibited the most significant variation during task execution and contributed the most to the decoder model. This study provides new insights into the cortical control of quadrupedal locomotion and the cortical speed decoder can be applied in brain-computer-interface (BCI) to control neurorobotics such as exoskeletons and prostheses.

Key Words: BCI, non-human primate, neurorobotics, gait, speed

ID 4369

Shared 3D Robotic Arm Control Based on Intracortical Brain-Computer Interface and Computer Vision

Liyang Liu
海南大学

Brain-computer interfaces (BCIs) convert neuronal activity into commands for controlling external devices. For example, a paralyzed patient can use BCI to control a robotic arm to drink water. However, employing intracortical brain-computer interfaces (iBCIs) to control robotic arm movements and execute various daily grasping tasks in a three-dimensional (3D) environment faces significant challenges. The DoF decoded from iBCI signals often fall short of the requirements for effective control of robotic arm and hand in daily activities. This study proposes a shared robotic arm control system for iBCIs. The system employs spike signals to control the robotic arm move into left or right direction. The integrated computer vision (CV) identifies the position, size and category of the objects, facilitating more precise grasping. At last, movement direction decoding based on eight neural units, achieved a classification accuracy of 93.1%, with a ten-fold cross-validation error rate of 18.5%. The iBCI and CV share control of the robotic arm to grasp eight objects of different kinds and shapes, positioned at two different locations. Furthermore, the shared control system has been validated through an online grasping experiment, on a macaque. Results demonstrated the feasibility of generating practical multidimensional control of a robotic arm by merging iBCI and CV-based recognition.

Key Words: BCI, 3D, Shared-control, Computer-vision, Neurorobotics, Robot-arm.

ID 4396

RealMind: Learning Better Representations from Multimodal Models for Real- Time EEG Visual Semantic Decoding

Haoyang Qin,李 东洋,吴 明洋,刘 泉影
SUSTech

Despite advancements in visual decoding using fMRI data, its high cost and low temporal resolution limit practical applications. To address this, our paper presents a EEG decoding method called RealMind that utilizes multi-modal models to decode semantic information. We integrated an EEG encoding model with advanced multi-modal model through multiple learnable lightweight modules. Additionally, we employed semantic and geometric consistent learning to enhance the overall model performance. This innovative approach to multi-modal EEG visual decoding improves generalization and adaptability, offering a practical and cost-effective alternative to fMRI-based methods.

Key Words: Multi-modal models, EEG, Visual decoding, Representation learning.

S04
神经康复与智能假肢

ID 433

面向前臂截肢者的假肢功能评估与肌电训练研究

闵玲[1]、胡慧敏[1]、罗艺[1]、程科[2]、侯景明[2]、侯文生[1]、王星[1]
1. 重庆大学生物工程学院
2. 陆军军医大学第一附属西南医院康复科

假肢的高弃用率突显了开展假肢功能综合评估与训练方法研究的重要性。为了提高假肢控制和使用效果，本文通过传感信息和VR技术开展假肢综合评估与训练研究，构建了评估-训练-再评估的闭环体系。

研究方案分为初次评估、训练和再评估三个阶段。初次评估包含传统临床评估、任务测量指标、运动学评估和主观评估四个维度，招募了10名参与者（6名截肢者和4名健康被试）。其中3名截肢者参与了训练与再评估阶段。训练阶段为期一周，采用基于VR游戏的训练方式。再评估阶段使用任务测量指标在训练结束后再次评估假肢功能。

截肢者的评估结果初次评估实验验证了评估方案的可行性。训练实验结果显示，截肢者腕屈和腕伸的肌电信号强度分别提高4.6%和3.2%，且训练意愿提高，验证了系统的有效性。再评估实验表明，训练显著提升了任务表现，验证了训练对假肢控制能力的改善效果。评估-训练-再评估的闭环设计实现了个性化和精准化的康复训练和评估，提高了假肢的使用效果。

关键字：前臂假肢；综合评估；VR；训练系统

ID 736

基于肌电地形图和CNN-SE神经网络的腰痛电针疗效预测建模

孙鹏旭[1,2]、曹雪梅[3]、彭微微[4]、欧阳光[5]、方鹏[1]、李光林[1]、黄德启[2]、姜乃夫[1]
1. 中国科学院深圳先进技术研究院
2. 新疆大学电气工程学院
3. 深圳中医院针灸科
4. 深圳大学心理学院
5. 香港大学教育学院

慢性腰痛是一种常见的难治性肌肉骨骼疾病，严重影响患者的工作和生活。电针作为一种传统中医治疗方法，以其安全性高、副作用少等优点在治疗慢性腰痛上广受关注，但其疗效仍存在争议。其中一个重要的原因是个体差异使得电针治疗不是对每个人都有效。通过机器学习方法，从表面肌电数据中构建治疗效果预测模型，显示出帮助筛选适合特定治疗效率的患者的潜力。因此，本研究旨在基于表面肌电地形图，利用卷积神经网络结合注意力机制建立电针治疗慢

性腰痛的预测模型。每张图根据疼痛指标的变化进行分类，并附有标签。结果表明，本研究提出的CNN-SE(Convolutional neural network-Squeeze and excitation)模型预测准确率为75%，证明了CNN-SE模型预测电针疗效的潜力。本研究初步证实了基于多通道表肌电信号的电针疗效预测模型对慢性腰痛的有效性，对进一步研究慢性腰痛的发病机制和治疗优化具有重要意义。

关键字：电针；表面肌电图；卷积神经网络；疗效预测

ID 1529

用于嵌入式肌电控制系统的电极偏移检测方法研究

王添[1]、崔欣怡[1]、王星[1]、吴小鹰[1]、侯景明[2]、侯文生[1]
1. 重庆大学
2. 陆军军医大学第一附属医院

肌电假肢手是补偿残肢功能的有效工具，但是电极偏移问题显著降低了其控制性能。而当前研究尚未有效揭示电极偏移对肌电检测的影响规律，且电极偏移解决策略在嵌入式肌电假肢系统中的应用仍不充分。为此，本文通过分析电极偏移对肌电特征的影响规律，提出一种基于肌电特征参数的电极偏移监测技术，以准确检测电极偏移事件。研究首先建立了包含10名四肢健全受试者的肌电数据集，量化了电极偏移对肌电信号时域和空间特征的影响。然后，根据电极偏移量与肌电特征表达之间的关系，提出了一种基于欧氏距离特征的适用于嵌入式系统的电极偏移监测策略。研究发现，电极偏移显著改变了肌电信号的特征表达，从而影响动作识别性能。在离线测试中，提出的电极偏移检测方法能够准确检测电极偏移事件，平均检测正确率超过91.5%。在4名四肢健全被试和2名前臂截肢被试的在线测试中，该方法在嵌入式系统中保持了与离线测试相近的检测性能，单次检测耗时仅为320±24ms。本文通过分析肌电时空特征揭示了电极偏移对肌电检测的影响规律，并以此提出一种有效的电极偏移监测技术，有望在实际应用中发挥更大的作用。

关键字：肌电假肢，电极偏移，手势识别，表面肌电信号

ID 1571

全周期康复机器人系统设计

顾博雅、陈鹏、曾凡洪、曾紫焓、王雅姬、王启松
哈尔滨工业大学

随着康复医学的发展，康复机器人技术不断进步，其在医疗领域的应用逐步扩展。然而现有的康复机器人技术存在训练方式单一、智能化程度不高、患者主动参与度较低等问题。针对这些不足，本文提出了一种基于无创神经接口的智能全周期康复机器人系统，通过表面肌电信号检测实现运动意图识别，并控制末端牵引式机器人辅助肢体运动。系统实现了康复训练的主被动全周期、全手臂一体化，设计了主动式对侧康复手套，融入了近红外光谱测肌氧信号技术，并利用数字孪生技术实时反映患者综合康复状态。实验结果表明，该康复机器人系统能够有效提高患者的参与度和康复效果，对上肢功能障碍患者的康复治疗具有重要意义。

关键字：主被动全周期；无创神经接口；运动意图识别；人机交互；数字孪生

ID 1750

A Novel Non-Euclidean Adaptive Feature Descriptor for Limb Motion Intent Decoding in EMG-Pattern Recognition System

Frank Kulwa[1,2],Pengrui Tai[1],Doreen Sarwatt[4],Jiaming Huang[5],Grace Asogbon Mojisola[3],Guanglin Li[1],Samuel Williams Oluwarotimi[3],Yongcheng Li[1]

1. The CAS Key Laboratory of Human-Machine Intelligence-Synergy Systems, Shenzhen Institute of Advanced Technology (SIAT), Chinese Academy of Sciences (CAS), Shenzhen, Guangdong 518055, China

2. The Shenzhen College of Advanced Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, Guangdong 518055, China, and are sponsored by ANSO scholarship for young talents.

3. School of Computing and Engineering, University of Derby, Derby, DE22 3AW, United Kingdom

4. The School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

5. College of Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, China

The feature extraction technique is a crucial stage in the electromyogram (EMG) based pattern recognition (PR) motor intent decoding system. Despite numerous proposed techniques for feature extraction, their decoding performances remain relatively low, often tested without considering the drift between the training and test sets, and the influence of inevitable factors such as white Gaussian noise (WGN). In this study, we propose a feature extraction scheme that works in an unsupervised manner between the training and testing phases. This involves reducing the drift between the training and test sets using the feature adaptation approach based on Riemann operations. Further drift minimization is achieved by projecting the test data to align the distribution of the training set. The obtained results show that the proposed feature extraction technique exhibits higher performance in motor intent decoding of 13 hand and finger movements with an average accuracy of 93.53±1.68%. Additional investigation on the feature robustness against WGN indicated that the proposed method had stable and better decoding performance compared to other state-of-the-art techniques. The study findings revealed that the proposed feature scheme could be utilized to improve the overall robustness of myoelectric systems in both commercial and clinical applications.

Key Words: Riemann space, Non-Euclidean space, Electromyogram, Fea-ture extraction, prostheses

ID 2126

基于视觉引导的模块化仿生上臂假肢结构设计与目标抓握控制

朱亚龙、张郅、田岚、郑悦、李光林、李向新

中国科学院深圳先进技术研究院

仿生上臂假肢是恢复上臂截肢者运动功能的主要途径，但现有的上肢假肢系统尺寸和重量大，仿生性差，而且大部分的国内外上臂假肢系统只关注于手和腕功能的实现，缺少肘关节和肩关节功能，难以满足肘部以上重度截肢者使用。本文设计了一款基于视觉引导的仿生上臂假肢系统，由模块化的上臂假肢和视觉规划控制两个子系统构成。模块化的上臂假肢，采用模块化设计，以适应不同上肢截肢部位患者的需要；视觉规划控制，旨在通过视觉技术完成目标物体的识别和空间位置的获取，辅助假肢控制。上臂假肢运动的稳定性测试中，末端误差在厘米级；视觉规划的准确性测试中，目标定位误差在毫米级，这证明系统可以实现辅助任务。在上肢假肢系统物体抓握功能测试和应用验证中，能够完成基本的物体抓取和操作任务。

关键字：截肢，假肢，模块化设计，视觉规划，上肢假肢系统

ID 2199

一种高灵巧性仿人假肢手的系统设计与运动学分析

刘麟杰、李可
山东大学控制科学与工程学院医工融合系；山东大学智能医学工程研究中心

目前大多数假肢手的自由度低，运动范围有限，仿生学性能差。本研究开发了一种高灵巧性多自由度仿人假肢手，并介绍了其机械结构、电气系统和运动学分析。机械结构仿照人手的生物学特征，其主要部件使用光敏树脂材料由3D打印制作。电气系统分为主板和驱动板两个部分，二者协调工作。此外，采用Denavit-Hartenber参数法对假肢手进行了运动学分析，获取了手指的末端工作空间。手指采用腱绳和连杆混合传动的方式实现15个关节的屈曲/伸展和内收/外展运动。电气系统实现了力反馈信号的采集和15个小型直流减速电机的驱动。运动学分析发现假肢手指尖有较大的工作空间。本研究所提出的高灵巧性多自由度仿人假肢手对截肢患者手部功能的恢复和生活质量的提高具有重要的现实意义。

关键字：假肢手；高灵巧性；仿生性；电气系统；运动学分析

ID 2201

基于DM-KMP的多指灵巧手仿人抓取

王加帅、李可
山东大学

仿人抓取在机器人操作中起着至关重要的作用。目前，大多数仿人抓取方法在处理复杂多样的抓取任务时，表现出控制和泛化方面的局限性。在本研究中，我们提出了一种基于动态运动基元（Dynamic movement primitives, DMP）和核化运动基元（Kernelized movement primitives, KMP）的新型人形抓取控制方法，并将其命名为DM-KMP。通过开展实验，使用多指灵巧手抓取12种不同的物体，其中DM-KMP方法的抓取成功率为90.8%，显著高于传统KMP方法的77.5%和DMP方法的81.7%，验证了所提出的DM-KMP方法在机器人仿人抓取中具有较高的性能，同时还表现出调节参考轨迹的灵活性，使其更适合处理复杂多样的抓取任务。这种新颖的方法可能会改善多指灵巧手的抓取性能，并且可以广泛应用于各种应用中，如工业或家庭操作任务。

关键字：多指灵巧手；仿人抓取；动态运动基元；核化运动基元

ID 2433

Knee Angle Prediction on Stairs and Slopes for A Powered Transfemoral Prosthesis Based on Intralimb Synergy

Lifen Mo[1],孙伊欧[1],廖维新[2],殷明[1],高飞[3],梁丰研[1],Lifen Mo
1. 海南大学生物医学工程学院
2. 香港中文大学机械与自动化工程系
3. 中国科学院深圳先进技术研究院

The concept of gait synergy provides a new approach for novel human-machine interfaces and has been applied to predicting the movement trajectory of powered transfemoral prostheses. Above-knee amputees have difficulties in locomotion on stairs and slopes. One of the most challenging issues in controlling powered transfemoral prostheses is the design of adaptive knee trajectories for different users and terrains. The synergy-based trajectory generation approach is becoming a promising approach to solving this issue. It estimates a user-adaptive knee trajectory from the motion of the residual limb in amputees for the prosthesis, based on the synergy. In a previous study, we have validated the feasibility of this approach in level-ground walking. Herein, we aim to evaluate the performance of this approach in scenarios of slope descent/ascent and stair descent/ascent. Results indicate that the sequence-to-sequence (Seq2Seq) model achieved RMSE values of 2.71°, 2.38°, 2.29°, and 2.15° for predicting knee angles during ascent and descent on slopes and stairs, respectively. It surpasses other state-of-the-art methods in overall performance. Our study shows the promise of the synergy-based approach for above-knee prostheses on slopes and stairs by generating adaptive trajectories, eliminating the need for manual adjustments of prosthetic parameters based on terrains or users.

Key Words: synergy, gait, knee angle, powered transfemoral prosthesis, human-machine interfaces

ID 2492

基于指尖触觉传感系统的外肢体辅助抓握研究

王小雨、李可
山东大学控制科学与工程学院

外肢体辅助抓握机器人是一种能够帮助上肢功能丧失患者有效抓取物体的高智能设备。但是，如何整合触觉感知，并根据物体的物理特性或操纵任务中的环境条件调整抓取力成为了目前研究中具有挑战性的问题。本研究收集了健康人的抓取数据，以获得抓取前数据集和运动轨迹，并为外肢体辅助抓握机器人抓取引入了一种新型指尖触觉传感系统。该系统基于安德森环路设计了电阻式压力传感器（FSR）信号采集系统，实时采集指尖与物体之间的接触力，作为力反馈控制来调节指尖抓取物体的力。基于动作捕捉系统（Mocap）采集人体示教数据，并利用动态运动基元（DMP）对机器人运动轨迹进行规划，利用高斯混合回归模型（GMM-GMR）为建立机器人预抓握姿态数据集。结果表明，机器人能够抓取三种不同形状的物体，且抓取成功率高达85.2%。本研究展现了该系统在辅助抓握外肢体机器人抓取中的可行性，证明其能够在各种物体抓取中发挥作用。

关键字：外肢体辅助抓握；触觉；FSR信号采集系统；力反馈

ID 2838

A Robust Myoelectric Pattern Recognition Framework Based on Individual Motor Unit Activities Against Electrode Array Shifts

Haowen Zhao[1],Xu Zhang[1],Xiang Chen[1],Ping Zhou[2]
1. University of Science and Technology of China
2. University of Health and Rehabilitation Sciences

Electrode shift is always one of the critical factors to compromise the performance of myoelectric pattern recognition based on surface electromyogram (SEMG) signals. However, current studies focused on the global amplitude features to mitigate this issue but it is just an oversimplified description of the human movements without incorporating any neural drive information. The objective of this work is to develop a novel method for calibrating the electrode array shifts toward achieving robust myoelectric pattern recognition, leveraging individual motor unit (MU) activities obtained through advanced SEMG decomposition. A set of templates of all the MUs was first initialized to train the neural network for pattern recognition. After an electrode shift is present, the shift vector (describing both the orientation and distance of the electrode shift) and the corresponding overlapping area were determined by all of the decomposed and trackable MUs. Given the calibration of an electrode array shift, the features of the after-shift decomposed MUs can be modified according to the shift vector and were then fed into the network to recognize the movement patterns. The performance of the proposed method was evaluated with data recorded by a 16 × 8 electrode array placed over the finger extensor muscles of 8 subject performing 10 finger movement patterns. The proposed method achieved 100% calibration accuracy and pattern recognition accuracy approximating to 100%, significantly outperforming the conventional amplitude-based method with the lower calibration accuracy 92.50% and pattern recognition accuracy 90.87% ($p < 0.05$). Our method provides a new tool to enhance the robustness of myoelectric control systems based on microscopic neural drive information.

Key Words: SEMG decomposition, myoelectric pattern recognition, electrode shift, neural drive decoding

ID 2951

Compliant Prosthetic Grasp with Slip Prevention Based on Antagonistic Neuromuscular Reflex Units

Anran Xie[1],Zhuozhi Zhang[1],Jie Zhang[1],Tie Li[2],Ning Lan[1,3]
1. School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University
2. i-Lab, Suzhou Institute of Nano-Tech and Nano-Bionics, Chinese Academy of Sciences
3. Richard and Loan Hill Dept of Biomedical Engineering, University of Illinois Chicago

Commercial prosthetic hands often struggle with fine force control, leading to crushing or slipping due to excessive or insufficient grip force. We hypothesized that biorealistic control using antagonistic neuromuscular reflex units could enhance prosthetic grasp performance. We tested this control approach with tasks simulating real-life scenarios, including a glass box task and slip prevention task. Compared to proportional control, biorealistic control achieved stiffness adaptation and force regulation through intrinsic biomechanical properties and showed significantly higher grasp success rates, lower breakage and drop rates in the glass box task. In slip prevention task, biorealistic control combined with transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) replicated the hierarchical short-latency spinal reflex and voluntary regulation, achieving high slip perception, shorter slip distances, better force correlation compared to voluntary condition. These results suggested that biorealistic control could improve grasping abilities in individuals with forearm amputations.

Key Words: Compliant grasp, slip prevention, biorealistic control, transcutaneous electrical nerve stimulation.

ID 3027

电触觉反馈和振动触觉反馈对假肢肘部控制的类似改善

吴光飞[1]、左玉凤[1]、江林[1]、侯景明[2]、侯文生[1]、王星[1]
1. 重庆大学
2. 陆军军医大学第一附属西南医院康复科

目的：肘部电触觉替代本体感觉对于经肱截肢者很必要。最近，电触觉和振动触觉替代本体感觉在肌电假肢反馈方面引起了人们的关注，但它们在截肢者感觉运动整合方面的表现差异尚不清楚。

方法：该研究设计了一种肘屈伸的编码映射方案，建立了相应的触觉替代刺激平台，并招募了10名身体健全的受试者和3名经肱骨截肢者，在反馈的情况下完成假肢肘的屈伸。三种反馈条件是视觉反馈（VIS）、视觉和振动触觉反馈（VIS+VIB）以及视觉和电触觉反馈（VIS+ELE）。在每种条件下共进行了48个试次实验。测量指标为任务的成功率（SR）、完成时间（CT）和认知负荷（CL）。

结果：实验结果显示，与VIS相比，两种触觉反馈方法显著提高了控制假肢的受试者的SR，降低了CL，但相应地增加了CT。此外，超过90%的参与者认为增加触觉反馈是他们控制假肢的首选。结果并没有表明两种触觉反馈方法在改善肘关节假肢的闭环控制方面存在显著差异。

结论：这项工作证明了振动触觉反馈和电触觉反馈在基于肘部的肌电假肢反馈中的相似潜力，并将有助于理解截肢者和假肢之间的感觉运动整合。

关键字：触觉反馈；假肢肘；经肱骨截肢者；本体感觉

ID 3263

Inertial-based dual-task gait normalcy index at turns: a potential novel gait bi-omarker for early-stage Parkinson's disease

Xiaofei Zhang[1],Yu Shi[1],Xinge Li[1],Lei Chen[3],Xiaodong Zhu[4],Rui Xu[1,2],Lin Meng[1,2]
1. Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Medical School, Faculty of Medicine, Tianjin university, Tianjin, China.
2. Haihe Laboratory of Brain-computer Interaction and Human-machine Integration, Tianjin, China.
3. Department of Neurology, Tianjin Huanhu Hospital, Tianjin, China.
4. Department of Neurology, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin, China.

As one of the main motor indicators of Parkinson's disease (PD), postural instability and gait disorder (PIGD) might manifest in various but subtle symptoms at early stage resulting in relatively high misdiagnosis rate. Quantitative gait assessment under dual task or complex motor task (i.e., turning) may contribute to better understanding of PIGD and provide a better diagnostic indicator of early-stage PD. However, few studies have explored gait deviation evaluation algorithms under a complex dual task that reflect disease specificity. In this work, we proposed a novel inertial-based gait normalcy index (GNI) based on inertial-based quantitative gait assessment model to characterize the overall gait performance during both

straight walking and turning with or without serial-3 subtraction task. The factor of group and task on the GNI variable was investigated and the feasibility of GNI to improve early-stage PD diagnostic performance was validated. The experimental results showed that the task paradigm is a significant factor on GNI performance where the dual-task GNI at turn had the best discriminating ability between early PD and HE (AUC = 0.992) and was significantly associated with UPDRS III (r = 0.81, p<0.001). We also observed that the turning-based GNI has larger effect size compared to clinical scales, demonstrating that the GNI during turning can reflect the changes of functional mobility in rehabilitation for the early PD. Our work offers an innovative and potential gait biomarker for early-stage PD diagnostics and provides a new perspective into gait performance of complex dual task and its application in early PD.

Key Words: Parkinson's disease, Inertial measurement unit, gait normalcy index, Dual task, early-stage PD identification

ID 3445

Study on the Effectiveness of Focused Microwave Stimulation in Improving Motor Dysfunction in Stroke Rats

Sinan Li[1,3],Linyan Wu[2],Nan Yan[3],Sen Shang[1],Liang Zheng[1],Bin Wen[1],Jiawen Chen[1],Sinan Li[1],Long Li[1],Tian Liu[1],Jue Wang[1],Sinan Li

1. Xi'an Jiaotong University

2. University of Health and Rehabilitation Sciences

3. Shenzhen Institutes of Advanced Technology,Chinese Academy of Sciences

This paper presents a non-invasive microwave brain stimulation system for improving motor function after a stroke. The system uses a small circular antenna to generate 6.0 GHz focused pulsed signals, effectively stimulating rat brains. Unlike traditional methods using DC or AC, this system employs centimeter-wave microwaves for non-invasive, precise stimulation. It uses a frequency synthesizer chip with a voltage-controlled oscillator (VCO) for stable signal generation. The circular design enhances the main lobe energy, reduces side lobe energy, and focuses microwave energy on the central unit. We tested the system with a 5 dBm power, 1 Hz pulse, and 50% duty cycle on rats for 20 minutes. The local field potentials (LFPs) from the primary and secondary motor cortices (M1, M2 regions) showed an increased power spectrum. Brain temperature was monitored during stimulation. A 14-day behavioral study confirmed the method's safety and effectiveness, showing improved motor function in stroke-affected rats. This study demonstrates that non-thermal microwave radiation can positively affect brain neurons.

Key Words: Brain Stimulation System, Microstrip Antenna, Neural Modulation

ID 3532

融合EEG和fNIRS信号的脑功能特性分析及脑卒中康复评估研究

程生翠、陈龙、王仲朋、张磊、明东

天津大学

针对临床评估手段的主观定性局限，本研究旨在探究神经系统与血液循环系统间协调交互作用，为脑卒中康复评估提供全新视角。搭建多通道EEG-fNIRS同步采集平台，结合卒中临床运动功能评估设计上肢肩、肘、腕多关节协调运动范式，获取脑卒中和健康被试EEG和fNIRS信号。基于一般线性模型构建融合EEG节律特征和fNIRS信息的大脑激活估计的节律

调制模型，计算激活β值及偏侧性LI值，并分析其与临床评定量表FMA-UE间关联性，为卒中临床评估提供定量客观的辅助指标。结果发现：患者健侧任务下大脑激活模式与健康被试类似，以对侧脑区激活为主，但同侧脑区也存在部分激活且呈整体减弱；患侧任务以同侧脑区激活为主且整体激活减弱。患者和健康被试各节律调制模型间差异显著，alpha频带调制模型下β最小，而beta2、gamma1及gamma2频带调制模型下β较大；患侧任务beta2、gamma1、gamma2频带调制模型及典型模型下β显著低于健侧任务；健侧任务下LI均值为正，而患侧任务下为负；相比典型模型，患者和健康被试各节律调制模型下LI值差异显著。此外，各节律调制模型下β与FMA-UE显著正相关，而beta2、gamma1和gamma2频带调制模型下LI与FMA-UE显著负相关。本研究验证了EEG节律调制fNIRS的大脑激活估计模型在识别任务关联脑区激活模式及半球偏侧效应的有效性，也证实了卒中后受损半球功能及半球间的平衡效应均异常变化。

关键字： EEG；fNIRS；大脑激活；大脑偏侧性；脑卒中康复评估

ID 3540

Design of Portable Stroke Detection Device Based on Microwave Imaging

Linyan Wu[1],Sinan Li[2],Gaoting Ma[3],Shujuan Meng[3],Zhiyuan Lu[1],Ping Zhou[1],Jue Wang[2]

1. School of Rehabilitation Science and Engineering, University of Health and Rehabilitation Sciences
2. School of Life Science and Technology, Xi'an Jiaotong University
3. Department of Neurology, Xuanwu Hospital, Capital Medical University

Starting from the clinical need for rapid detection of acute stroke, this artilce aims to address the shortcomings of current pre-hospital stroke detection methods, such as low specificity and inconvenient device placement, by integrating microwave propagation characteristics with microwave imaging. The objective is to study a versatile stroke detection device based on microwave imaging. Initially, the finite element simulation method is used to simulate the microwave detection effectiveness and antenna characteristics. Suitable components are selected, and microwave detection circuits are designed to build a stroke detection device based on STM32 as the core processor. Operating within the frequency range of 0.8-6 GHz, the device achieves a maximum measured gain exceeding 10 dB. Based on the electromagnetic characteristics of cerebral hemorrhage and ischemia obtained from the microwave imaging device, a corresponding rapid detection algorithm is designed. Finally, the effectiveness of the device is validated in a skull model, demonstrating a maximum positioning error of less than 15 mm for the device's center point and an online detection time of less than 5 minutes. The aim of this study is to develop a universal stroke detection system characterized by rapid detection, high safety features, and straightforward visualization. This system aims to facilitate rapid differentiation of ischemic and hemorrhagic strokes before hospitalization, thereby reducing the time from symptom onset to treatment. It holds significant promise for the precise treatment and postoperative rehabilitation of stroke patients.

Key Words: acute stroke; microwave imaging; exit/ischemia detection

ID 3917

GSAHermNet: Individualized Gait Pattern Generation Based on Body Characteristics at Various Walking Speeds

Shaochen Xu[1],Hongtao Dong[1],Lin Meng[1,2],Dong Ming[1,2],Shaochen Xu

1. Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Medical School, Faculty of Medicine, Tianjin University, Tianjin, China
2. Haihe Laboratory of Brain-computer Interaction and Human-machine Integration, Tianjin, China

Individualized gait patterns can significantly improve the effectiveness of robotic rehabilitation as reference trajectories. This study proposed a novel three-stage framework named GraphSAGE-Hermite Net (GSAHermNet) to generate saggittal joint kinematic trajectories of lower limbs at different walking speeds. First, we employed seven body and walking parameters to construct a graph structure. Then, the selected key events of each joint trajectory and the gait cycle duration were predicted based on a GraphSAGE neural network. Finally, we performed Hermite interpolation of the predicted key events to reconstruct a complete gait cycle. We validated our model on a public dataset, including 42 healthy subjects' overground and treadmill walking data. Forty subjects were chosen for cross-validation, and two remained untrained as test set. Test results showed that the mean absolute deviations between the reconstructed and measured trajectories of hip, knee, and ankle were 4.39°, 3.63°, and 3.61°, while Pearson correlation coefficients were 0.99, 0.99, and 0.87, respectively. The results showed potential applications in rehabilitation, including motion planning and learning control methods.

Key Words: Gait pattern generation, reference joint trajectories, graph neural network, Hermite interpolation, gait rehabilitation

ID 3972

Unraveling Parkinson's Disease Motor Subtypes: A Deep Learning Approach Based on Spatiotemporal Dynamics of EEG Microstates

Deyu Wang[1],Jun Ma[2],Yu Shi[1],Hongbo Zhao[1],Lin Meng[1,3]

1. Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Medical School, Faculty of Medicine, Tianjin University, Tianjin, China
2. Tianjin Key Laboratory of Exercise Physiology and Sports Medicine, Institute of Sport, Exercise & Health, Tianjin University of Sport, Tianjin, China
3. Haihe Laboratory of Brain-computer Interaction and Human-machine Integration, Tianjin, China

Quantifying altered brain network dynamics can enhance our understanding of the disease process and individualized treatment in Parkinson's disease (PD), particularly concerning the diverse motor phenotypes. Previous research has identified changes in brain functional connectivity networks and distinguished the temporal properties of EEG microstate-based dynamic brain networks in early PD patients from those of healthy controls. However, few studies have explored the brain network dynamics associated with different motor subtypes. In this study, we propose a novel deep-learning approach that utilizes the spatiotemporal dynamics of EEG microstates to identify tremor-dominant (TD) and postural instability/gait difficulty (PIGD) motor subtypes. Our results show that, compared to healthy controls, both motor subtype groups exhibit increased local segregation of brain regions within the microstates. Notably, incorporating spatial variability and channel location information significantly improved the classification performance of motor subtypes, achieving an AUC of 0.972. This indicates that the dynamic spatial variability of microstate-based brain networks can reflect the heterogeneous pathological changes in PD-TD and PD-PIGD. Additionally, we observed that the increased spatial variability in the PD-PIGD group

was more closely associated with motor impairments. Our study presents an innovative classification method for PD motor subtypes and provides new insights into the pathophysiological characteristics of motor subtypes in PD through a dynamic EEG microstate-based brain network model.

Key Words: Parkinson' s disease, Dynamic Networks, Motor Subtypes, 3D Convolutional Neural Networks

ID 3981

Stretchable, Self-Healing, and Bioactive Hydrogel with High-Functionality N,N'-bis(acryloyl)cystamine Dynamically Bonded Ag@polydopamine Crosslinkers for Wearable Sensors

Wei Tang,Wei Shi,Jing Chen,Guanglin Li
Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences

Hydrogels present attractive opportunities as flexible sensors due to their soft nature and tunable physicochemical properties. Despite significant advances, practical application of hydrogel-based sensor is limited by the lack of general routes to fabricate materials with combination of mechanical, conductive, and biological properties. Here, a multi-functional hydrogel sensor is reported by in situ polymerizing of acrylamide (AM) with N,N'-bis(acryloyl)cystamine (BA) dynamic crosslinked silver-modified polydopamine (PDA) nanoparticles, namely PAM/BA-Ag@PDA. Compared with traditional polyacrylamide (PAM) hydrogel, the BA-Ag@PDA nanoparticles provide both high-functionality crosslinks and multiple interactions within PAM networks, thereby endowing the optimized PAM/BA-Ag@PDA hydrogel with significantly enhanced tensile/compressive strength (349.80 kPa at 383.57% tensile strain, 263.08 kPa at 90% compressive strain), lower hysteresis (5.2%), improved conductivity (2.51 S m−1) and excellent near-infrared (NIR) light-triggered self-healing ability. As a strain sensor, the PAM/BA-Ag@PDA hydrogel shows a good sensitivity (gauge factor of 1.86), rapid response time (138 ms), and high stability. Owing to abundant reactive groups in PDA, the PAM/BA-Ag@PDA hydrogel exhibits inherent tissue adhesiveness and antioxidant, along with a synergistic antibacterial effect by PDA and Ag. Toward practical applications, the PAM/BA-Ag@PDA hydrogel can conformally adhere to skin and monitor subtle activities and large-scale movements with excellent reliability, demonstrating its promising applications as wearable sensors for healthcare.

Key Words: Health monitoring, hydrogel, self-healing, sensor

ID 4192

Research on Proprioception Evaluation Method Based on Agonist-Antagonist Myoneural Interface Technology

Chunxiao Tang,YANG LIN
中国科学院深圳先进技术研究院

Proprioception is essential for spatial awareness and coordinated movement, but it is often impaired in people with limb disabilities, especially those who have lost a limb. This study aimed to evaluate the effectiveness of agonist-antagonist myoneural interface (AMI) technology in enhancing proprioception in the Sprague-Dawley rat limb injury model, which will have a direct impact on people with disabilities. The experiment included three groups: sham group, AMI group and

control group. The results showed that gait parameters (including braking and posture maintenance time) in the AMI group were significantly improved compared with the control group. Electrophysiological evaluation showed that the amplitude of sensory signals in the AMI group was similar to that in the sham group, while the amplitude was reduced in the control group. Histologically, the AMI group had mild muscle atrophy and intact fiber structure, while the control group had significant muscle atrophy and disordered fiber arrangement. In addition, the number of sensory neurons in the dorsal root ganglion in the AMI group was significantly higher than that in the control group. These results highlight the potential of AMI technology to restore functional abilities and enhance proprioceptive feedback in patients with limb disabilities, aiming to improve their mobility and overall quality of life.

Key Words: Agonist-Antagonist Myoneural Interface Technology, Proprioception, Gait Analysis, Sensory Signals, Morphology

ID 4284

基于表面肌电信号的手功能主动康复及跨个体识别方法

钟小聪[1]、王云飞[2]、李锐[2]、刘丹[1]、王启松[1]、孙金玮[1]

1. 哈尔滨工业大学

2. 黑龙江省医院

随着人机接口技术的迅速发展，基于表面肌电信号（sEMG）控制康复机器人在手功能康复中的应用受到广泛关注。针对传统机器学习和迁移学习方法在跨个体手势识别任务中泛化能力不足、超参数调节复杂等问题，本文引入了EasyTL迁移学习方法，以实现更高效的跨个体手势识别。本文通过采集8名健康受试者在5种手势动作下的sEMG信号，采用动态阈值法进行信号活动段识别，并结合KNN分类器和EasyTL方法构建普适化的分类模型。实验结果表明，个体手势识别的平均准确率为95.97%，最高达99.79%；跨个体手势识别任务中，EasyTL方法的平均准确率为59.16%，较传统KNN方法（45.66%）和CORAL方法（46.35%）分别提高了13.5%和12.8%。本研究证明了EasyTL方法在跨个体sEMG手势识别中的有效性和鲁棒性，为可穿戴康复机器人技术的发展奠定了重要基础。

关键字：表面肌电信号；主动康复；手势识别；跨个体；迁移学习

S05
生物医学传感与医工融合发展

ID 202

CT呼吸门控传感技术结合Eclipse放疗计划系统在肺癌放疗中的应用价值分析

林杰民、林连兴
汕头市中心医院

目的：探讨分析CT呼吸门控传感技术结合Varian Eclipse放疗计划系统对肺癌临床应用价值。

方法：将2019年3月至2020年9月作为研究时段，本次研究中选择我院中收入并确诊为肺小细胞肺癌患者74名作为研究对象，所有患者在入院后由医务人员对患者进行适应性的呼吸训练，常规对患者进行CT模拟平扫，并结合呼吸门控定位，将患者最终的CT序列上传至CT呼吸门控技术结合Varian Eclipse放射治疗计划系统。用放疗医师勾画，靶区域由物理师计划制作，在处理完成后对两组胸隔和胸壁的移动度进行评估，分析其处理质量。

结果：在本次研究结果中发现，相较于常规CT定位技术来说，呼吸门控调强放疗计划的膈肌动度和胸壁动度明显更低，两组数据对比分析差异显著（P＜0.05）。同时相较于呼吸门控调强放疗计划来说，CT定位技术对患者靶区域产生的辐射剂量明显降低，组间对比差异显著（P＜0.05）。

结论：在进行肺癌患者的放射治疗时，将呼吸门控技术应用于其中，利用生物医学传感与医工融合技术，能够有助于减少胸壁和膈肌的移动度能够提高放疗靶区域的符合程度和放射治疗的均匀性，避免患者在接受治疗时靶区域的正常组织受到影响，对于肺癌患者的临床治疗来说有十分积极的作用。

关键字：CT呼吸门控技术扫描；肺癌；医工；传感应用

ID 917

电激活SERS传感平台用于外泌体内mRNA检测

齐国华、金永东
深圳大学生物医学工程学院

肿瘤细胞释放的外泌体内信使RNA（mRNA）的表达，可以作为早期诊断和评估癌症治疗效果的一种有价值和有前途的非侵入性标志物。然而，由于外泌体的提取相对复杂且外泌体内mRNA的对丰度较低，这对外泌体中mRNA的准确检测和鉴定具有一定的挑战性。我们采用电场打开外泌体的结构实现外泌体内组分的快速可控释放，结合制备的DNA功能化SERS传感芯片，实现外泌体内mRNA的检测。该SERS传感芯片具有较高的灵敏度和特异性，最低检测mRNA的浓度可以达到0.5 nM。同时利用该方法我们可以有效实现癌细胞以及正常细胞的辨别。该方法在临床癌症的无创精准筛查和检测方

面具有广泛的应用前景。

关键字：表面增强拉曼光谱； 电激活；外泌体；信使RNA；精准诊断

ID 948

Sensitive Detection of P-tau181 Protein Using a Screen Printed Electrode Based Electrochemical Immunosensor

Chencheng Luo,Xiaoyu Zhu,Zhiyu Qian,Yizhi Zhang
Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

Accurate detection of Alzheimer's disease (AD) core biomarkers in body fluid is critical for identifying latent asymptomatic AD patients and prediction AD progress. Phosphorylated tau 181 (p-tau181) as one of the core biomarkers, is expected to be an early diagnostic indicator for AD. Here, we construct an electrochemical immunosensor based on screen printed electrodes (SPE) for rapid and highly sensitive detection of p-tau181 using the competition method. Under the action of horseradish peroxidase (HRP), tetramethylbenzidine liquid substrate (TMB) molecules are oxidized into blue cations. When a bias voltage is input to the electrochemical workstation, a reduction current will appear, and the current size is proportional to the binding amount of HRP. In conclusion, when p-tau181 antigen is not present in the mixed solution, Bio-p-tau and HRP-SA combine in large quantities to reach the maximum current. When p-tau181 is present in the mixture, Bio-p-tau181 and p-tau181 bind to the antibody on the electrode in a competitive manner, so the current decreases as the concentration of p-tau181 increases. The sensor will have a detection limit of 1.91fg/mL and a dynamic range of 1fg/mL to 100 ng/mL. The electrochemical immunosensor enables rapid, facile and highly sensitive detection of p-tau181 using low-cost SPE platform, providing a wide range of possibilities for the early diagnosis of AD in point-of-care technologies (POCT).

Key Words: Electrochemical biosensor; Alzheimer's disease; P-tau181; Point-of-care technologies; Screen printed electrode

ID 964

Optimal window selection in Sit-to-stand intention detection based on Surface electromyography for assistant robot

Tinghan Xu[1,2],Shichen Qi[2],Yuanhao Liang[1,2],Yong Hu[1,2]
1. The University of Hong Kong-Shenzhen Hospital
2. Department of Orthopaedics and Traumatology, The University of Hong Kong

Assistive devices, such as exoskeletons and prostheses, are widely used for older and disabled people. Surface electromyography (sEMG) can be used to detect motion intention in human–robot interface devices. The aim of the present study was to determine the optimal analysis window length during sit-to-stand motion intention recognition. Eight-channel sEMG was recorded from 15 older people during the sit-to-stand and gait process. The sEMG sections between the onset point of the tibialis anterior and the rectus femoris were considered the positive samples. The sit-to-stand rest state sEMG and gait sEMG were considered the negative samples. All samples were divided into sections with different lengths' window. A deep learning model (ConvNet) for sit-to-stand intention recognition was trained using the sEMG sections. The indices of classification performance were compared between the different window lengths. By comparing the performance of the trained classifiers, we determined the relationship between the window length selection and classifier performance, reached the

highest performance at window length of 256ms, with precision and recall rate both higher than 98%. This study provides new information on sEMG window length selection, for it gives information on sEMG driven method's time delay cost, which may be useful for future human–robot interface applications.

Key Words: Surface electromyography(sEMG), sit-to-stand, deep learning, assistive robot devices.

ID 1144

An integrated paper-based electrochemical sensor for wearable detection of biomarkers relevant to Diabetic Nephropathy in sweat

Shanshan Zhang,Yuke Zheng,Yukun Ma,Yue Zhou,Yunbo Gai,Bo Liang
浙江大学

Wearable personalized health monitoring devices at home are of great significance for diabetic patients. Currently, wearable devices for sweat glucose detection have been widely investigated for their non-invasive and continuous real-time detection, but the combined measurement of biomarkers associated with diabetic complications, such as diabetic nephropathy, has rarely been reported. In this paper, we developed a highly integrated wearable electrochemical paper-based patch can be used for real-time on-demand monitoring of glucose, creatinine, and uric acid in sweat, which offers the possibility of daily noninvasive health monitoring for diabetic patients and is expected to be used for early detection and prevention of diabetic nephropathy.

Key Words: paper-based sensing array; PEDOT:PSS/AAM conductive ink; wearable integrated device; diabetic nephropathy.

ID 1277

Signal Domain Learning Approach for Sparse Magnetoacoustic Tomography Reconstruction of Biological Tissues

Yuhui Nie[1,3],Mengyuan Wang[1,3],Junjie Lin[1,3],Yuheng Wang[1,3],Tao Yin[1,2,3,4],Zhipeng Liu[1,2,3,4],
Shunqi Zhang[1,2,3,4],Yuhui Nie
1. Institute of Biomedical Engineering, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College
2. State Key Laboratory of Advanced Medical Materials and Devices
3. Tianjin Key Laboratory of Neuroregulation and Neurorepair
4. Tianjin Institutes of Health Science

Magnetoacoustic tomography (MAT) based on multi-physical field coupling effects is an emerging noninvasive conductivity distribution imaging technique for biological tissue at high spatial resolution, containing potentially useful information for early disease detection. MAT acquisition strategies in practice typically involve suboptimal sparse sampling in the spatial dimension due to the physical limitations of unidirectional propagation for acoustic waves and system cost-effectiveness, thus inevitably generating severe artifacts and leading to poor image quality. Deep learning methods demonstrate considerable potential for effective image quality restoration by reducing suboptimal detection artifacts, but their application to biological tissues is hampered by the lack of experimental MAT data. We suggest a signal domain data-driven network for sparse magnetoacoustic acquisition restoration (SMART-Net). Specifically, unsupervised translation between simulated and experimental magnetoacoustic data for domain adaptation is performed, and then the generated data is used to

train the fully sampled prediction network for completing missing signals of realistic sparse detection. The performance of SMART-Net in correcting undersampling artifacts is validated in simulations, phantoms, and ex vivo mouse experiments. The proposed methodology can facilitate other magnetoacoustic imaging applications based on deep learning with no need for abundant ground truth datasets.

Key Words: Magnetoacoustic tomography, sparse data, signal domain, data restoration

ID 1340

同步检测四种嘌呤的双功能模块细胞电化学传感平台

张树萌、罗源、钱涛、邓师懿、王芳珍、唐大为、何根
广州医科大学

电化学技术发展至今仍未实现对细胞内四种嘌呤，即鸟嘌呤（G）、黄嘌呤（X）、腺嘌呤（A）和次黄嘌呤（H）的同步检测，这极大阻碍了细胞电化学的发展。本文基于分子印迹技术制备了鸟嘌呤和腺嘌呤的双模板多壁碳纳米管分子印迹聚合材料（GA-MWCNTs@MIPs）、黄嘌呤和次黄嘌呤的双模板多壁碳纳米管分子印迹聚合材料（XH-MWCNTs@MIPs），并将其作为信号传感单元构建了双功能模块细胞电化学传感平台（GA/XH-DMCEP）。该平台通过两个信号传感通道将G和A信号、X和H信号同步传输到两个窗口，实现了细胞内四种嘌呤信号的同步检测。GA/XH-DMCEP 对G、A、X和H的检出限分别为0.05、0.06、0.26和0.20 μM。利用GA/XH-DMCEP跟踪的MCF-7细胞生长过程与细胞计数法趋势一致，但可以更早地捕捉到细胞从休眠期到对数期的活性变化。

关键字：电化学；分子印迹；细胞；嘌呤；同步检测

ID 1441

基于生物磁珠快速自组装的柔性可穿戴间质液无创检测研究

陈泽涛、李俊杰、陈乾、范斌、侯世科
天津大学

快速、及时地对应急救援人员的心理健康状况进行评估，可以有效地保护救援人员，提高应急救援质量。然而，现有的评估手段大多具有操作繁琐、耗时较长、样本提取困难等不足，使其受限于紧急医疗救援应用。针对该问题，我们构建了一种柔性可穿戴的电化学免疫传感贴片，用于快速无创的检测间质液中皮质醇含量，以评估救援人员的精神压力状态。该传感贴片由间质液提取电极、皮质醇检测电极，以及检测电路组成。采用聚酰亚胺薄膜作为基底，在其表面采用电镀的方法制备两个圆形穿孔铜电极，分别作为阴极和阳极，以此构建提取电极。通过与反向离子电渗技术相结合，实现该提取电极的间质液无创提取。基于掩膜技术和丝网印刷工艺，设计并制备了三电极集成丝网印刷电极用于皮质醇的检测。通过将金纳米颗粒、二维单层MXene，以及多壁碳纳米管的复合纳米材料采用电化学沉积的方式修饰到工作电极上，实现工作电极导电性和抗菌、抗干扰性能的有效提升。通过共价键连接的方式，将皮质醇抗体与羧基化纳米磁珠相结合，进而通过磁控的方式将敏感元件固定到经过纳米材料修饰的工作电极上。基于生物磁珠的快速磁响应性，可通过改变磁极的方式实现敏感元件的快速更换，解决免疫传感器洗脱困难的问题。基于柔性电子技术，通过设计并构建穿戴式电化学检测贴片，实现贴皮式间质液提取以及皮质醇无创检测。根据皮质醇与心理压力之间的相关性，可实现对受

试者精神压力的即时评估。最终，通过本研究，可实现无创、快速、连续评估救援人员的精神压力状态，并给出合理的缓解建议，进而提高对救援人员的保护，有效提高紧急医学救援质量。

关键字：紧急医学救援；心理压力评估；间质液皮质醇检测；生物磁珠；反向离子电渗

ID 1671

基于PEDOT:PSS/AuNPs复合材料的电化学肝素传感器

周欣怡、方璐、林罗燕、方思雨
杭州电子科技大学

众所周知，肝素可以用于治疗血栓疾病等问题，作为生物医疗设备的表面涂层时，可以防止血液凝固。但如果肝素过量也会产生一系列问题，如血小板减少症，而肝素不足则会导致凝血。目前，临床上用来检测肝素水平常用的办法是分析活化部分凝血酶时间（APTT）比值和抗活化因子X活性实验（anti-FXa），但这些方法耗时较长并且必须在体外进行。本研究设计了一种基于纳米复合材料（PEDOT:PSS/Au NPs）的肝素传感器，通过固定于电极表面的鱼精蛋白对肝素进行特异性的识别和浓度检测。本研究对PEDOT:PSS和Au NPs的电镀条件以及鱼精蛋白的用量进行了优化，并在0.5 mM Fe(CN) 63-/4-溶液中，在-0.3 V~0.7 V的电压范围内对传感器进行循环伏安法（CV）测量。研究结果表明，该传感器具有响应快速、选择性高、线性范围宽（0 μM ~ 35 μM）以及一致性高等特点，有望用于血液中肝素浓度的实时监测，对肝素使用患者的凝血功能进行评估。

关键字：关键词：肝素；PDOT:PSS；Au 纳米颗粒；电化学传感器

ID 1743

A deep learning model for traffic police hand gesture recognition using surface electromyographic signals

Wenxuan Ma[1],Song Ge[2],Qingtian Zeng[2],Hongxin Zhang[1],Minghao Zou[2],Ziqi Zhao[2]
1. Beijing University of Posts and Telecommunications
2. Shandong University of Science and Technology

Using surface electromyography (sEMG) signals for gesture recognition can significantly improve the effects of recognition. Therefore, this paper proposed a CNN-SE-LSTM-TCN feature fusion network (FFCSLT) for traffic police gesture recognition based on the characteristics of sEMG signals. Firstly, an acquisition system with 6-channel sEMG sensors was developed for acquiring sEMG signals during human movement, and the dataset of hand gestures of traffic police (TPG) was constructed, which contains a total of 36,000 sets of data. Then, a squeeze-and-excitation block (SE) with adaptive channel weighting was added on top of the Depthwise Separable Convolutional Network (DSCN) to enhance the spatial features between each channel in the FFCSLT network. Meanwhile, a Temporal Convolutional Network (TCN) was integrated into the Long Short-Term Memory (LSTM) to extract additional temporal features in the FFCSLT network. Finally, the comparing experiments with other methods were taken on 2 datasets: the self-collected TPG dataset, widely used sEMG Sensor Data Ninapro DB1. The experimental results show that our model has an accuracy of 98.89% on the TPG dataset and 96.52% on the Ninapro DB1 dataset, which is 2.22% and 0.75% higher than suboptimal methods, respectively. To further validate the proposed network, we also performed a variety of ablation studies.

Key Words: sEMG signals, Traffic police hand gesture recognition, Feature fusion, SE, TCN

ID 3359

基于纺锤型碳纳米管纤维的纤维电化学传感器用于五羟色胺和多巴胺的高灵敏检测

周悦[1]、张珊珊[1]、李俊豪[1]、郑雨珂[1]、姚烨兰[1]、方璐[2]、梁波[1]
1. 浙江大学
2. 杭州电子科技大学

5-羟色胺（5-HT）和多巴胺（DA）作为关键的单胺类神经递质，对多种神经性疾病的病理具有显著影响。例如，帕金森病、抑郁症和精神分裂症等神经性疾病常伴随着神经递质水平的异常波动，因此，神经递质浓度的监测对于疾病的诊断和治疗具有重大意义。但是超低浓度的神经递质给生物传感器设计带来了重大挑战。本文开发了一种基于纺锤型碳纳米管纤维（SS-CNTF）的柔性纤维传感器（fiber-sensor），具有极大的电活性表面积，旨在对脑内超低浓度的5-HT和DA进行检测。采用差分脉冲伏安法（DPV），fiber-sensor对5-HT和DA的检测灵敏度分别高达到150.1和70.8 μA/μM，检测下限分别低至0.025和0.1 μM。此外，fiber-sensor在人工脑脊液（aCSF）环境中也保留了优异的检测性能，证实了活体大脑中监测神经递质的可能性。除了高灵敏度，SS-CNTF优异的柔韧性和导电性为可植入纤维传感器的提供了新设计思路，不仅可扩展至多种神经递质的检测，还有望促进神经性疾病病理机制的理解和药物疗效的评估。

关键字：纺锤型碳纳米管纤维；纤维状电化学传感器；高灵敏监测；五羟色胺；多巴胺

ID 3702

A novel colorimetric and ffuorometric dual-signal identiffcation of organics and Baijiu based on nanozymes with peroxidase-like activity

Cailin Qiao （研究生）[1,2],Xinrou Wang[2],Yuwei Gao[2],Jiawei Li[2],Jinsong Zhao[3,5],Huibo Luo[3],Suyi Zhang[2,4],Danqun Huo[2,3],Changjun Hou[2,3],Cailin Qiao
1. 陆军军医大学第二附属医院
2. 重庆大学生物工程学院
3. 四川轻化工大学
4. 泸州老窖有限公司
5. 四川白酒集团有限公司

Nanozymes were nanomaterials with enzymatic properties. They had diverse functions, adjustable catalytic activity, high stability, and easy large-scale production, attracting interest in biosensing. However, nanozymes were scarcely applied in Baijiu identiffcation. Herein, a colorimetric and ffuorometric dual-signal determination mediated by a nanozyme-H2O2-TMB system was developed for the ffrst time to identify organics and Baijiu. Since the diverse peroxidase-like activity of nanozymes, resulted in different degrees of oxidized TMB. Based on this, 21 organics were identiffed qualitatively and quantitatively by colorimetric method with a rapid response (<12 min), broad linearity (0.0005–35 mM), and low detection limits (a minimum of 30 nM for glutaric acids). Furthermore, the ffuorometric method exhibited excellent potential for accurate

determination of organics, with detection ranges of 2–200 μmol/L (LOD: 0.22 μmol/L) for L-ascorbic acid and 2–300 μmol/L (LOD: 0.59 μmol/L) for guaiacol. Finally, the sensor was successfully applied to identify fake Baijiu and Baijiu from 16 different brands.

Key Words: Nanozyme, Peroxidase-like activity, Baijiu, Organics, Identiffcation

ID 3817

PEDOT:PSS涂层层级铂神经电极的长期电刺激稳定性

李霖泽[1]、姜长青[2]
1. 福州大学
2. 清华大学

神经电极是神经调控装置和脑机接口设备中的关键部件，对电刺激安全和记录质量起着至关重要的作用。为满足疾病治疗和人体功能恢复中多样化的刺激参数和多功能需求，飞秒激光创建的层级结构可以显著增强铂电极的电化学性能，同时增强聚（3,4-乙烯二氧噻吩）：聚苯乙烯磺酸盐（PEDOT:PSS）涂层的粘附，使电极具有多种功能。但这些电极在长期电刺激下的稳定性尚待探索。本研究探究了有、无PEDOT:PSS涂层的光滑铂电极和层级铂电极在电刺激条件下的稳定性差异。结果表明，在240 μC/(cm^2)的刺激电荷密度下，经过10^8次脉冲刺激后，有、无涂层的光滑铂电极上都会发生水的电解，涂层出现了脱落。相比之下，有、无涂层的层级铂电极在此电荷密度下经过5×10^8次脉冲刺激后仍保持稳定，没有发生水的电解，且涂层稳定附着，电解质中溶解的铂均小于0.1 ng/C。层级铂电极电化学性能的提升和表面涂层稳定性的改善有望为小型化和多功能神经电极的研制提供技术支持。

关键字：神经电极；层级结构；导电聚合物；电刺激；稳定性

ID 4040

基于柔性电子技术的灾难救援现场伤口感染监测及水凝胶电控药物释放研究

王少鹏、马帅、范斌、陈泽涛
天津大学

伤口感染作为最常见的创面并发症在全球范围内具有广泛影响。传统的监测和治疗手段随着电化学传感技术的发展，已经可以实现监测和治疗模块的集成。然而在对应急救援现场的患者伤口感染进行监测时，敷料的“黑匣子”问题会影响伤口愈合过程的观察，未受保护的电极损耗可能会影响监测数据的准确性，环境中的细菌可能会引发伤口的二次感染，不可控的药物释放可能会提高细菌的耐药性。为解决这些问题，我们设计了一种可用于灾害现场的伤口感染监测及电控药物释放的闭环系统。由于尿酸浓度与伤口处细菌的相关性，选取尿酸作为监测伤口感染的标志物。采取信号放大策略，通过沉积GO-COOH和AuNPS在工作电极（WE）上利用金纳米颗粒的大比表面积增强电流响应，以此来监测伤口渗出液中的尿酸浓度。装载了包药阳离子脂质体的导电水凝胶具有高度光学透明性，在作为伤口辅料的同时，可以保护电极以及作为药物载体进行电控的药物释放，并且其表面原位还原的AgNPS还可以起到抗菌的作用。包药的阳离子脂质体从导电水凝胶中释放后，可以非特异性靶向到感染处的生物膜上。释药的过程可以依据监测的结果通过柔性PCB进行调控。该系统具有可视化、抗干扰、可调控、集成化等特性，可以适用于各种灾害现场对患者伤口进行实时的监测与治疗。

关键字：伤口监测；便携式生化传感；水凝胶；电控药物释放；灾害现场

ID 4098

Quantified Taste Detection Using Taste Organoid Based Electronic Tongue

Jianguo Wu[1,2],Liujing Zhuang[1],Hao Wan[1,2],Ping Wang[1]
1. Zhejiang University
2. Binjiang Institute of Zhejiang University

With the rapid growth in food industry of China, there is an increasing need in quantifying taste information for new products development. To aid taste evaluation for decision-making, we developed a taste organoid based electronic tongue with the ability to quantify taste information in a mammalian manner. In addition, to improve the life span of the device, we utilized extracellular vesicles derived from natural killer cells (NK EV) as antimicrobial elements and designed a microfluidic system. Indeed, the taste organoid ba ßsed electronic tongue not only distinguished sour, sweet, bitter, and salt stimuli with high specificity, but also recognizes varying concentrations of the stimuli. Then, the E-tongue was used to quantify the taste information of lemon juice and the results showed that the E-tongue was able to calculate the degrees of sour, sweet, bitter, and salt of the lemon juice. It is hoped that this bioelectronic tongue can facilitate studies in food quality controls, disease modelling, and drug screening.

Key Words: bioelectronic tongue, taste organoid, cell-based biosensor, micro-physiological system

ID 4159

A Self-powered, Flexible Bioelectronic System Based on Thermoelectric Generator for Electrotherapy and Monitoring of Chronic Wounds

Jingjiang Lv,Xin Li,Yikun Li,Zhenghan Shi,Zijian An,Qingjun Liu
Zhejiang University

Chronic wounds have become a globally important clinical challenge due to their high incidence, prevalence and cost of treatment. Electric signal accelerates chronic wound healing in the clinic, which is usually generated by a large power generation system and requires delicate control by authorized personnel. Herein, we introduce a self-powered flexible bioelectronic system based on thermoelectric generator (TEG), capable of providing electrical stimulation therapy to chronic wounds while monitoring the pH of the wound environment to assess healing progress. To increase the efficiency of energy conversion, the flexible TEG achieves high performance by optimizing the filling factor and material thermal conductivity, leading to a normalized power density of 1.43 μW/cm2 K2. Studies conducted on a mouse model of infected chronic wounds c has demonstrated that the TEG-based system provides electrical stimulation to wounds, accelerating wound closure and promoting vascular regeneration. Changes in the pH provide means for tracking the healing process. The results demonstrate a simple and effective platform for wound site electrotherapy. The TEG-based electrotherapy system provides an attractive solution for the treatment of chronic wounds, and holds promise for developing closed-loop biomedical systems.

Key Words: Thermoelectric generator; Chronic wounds; Electrical stimula-tion therapy; pH detection; Flexible electronics

ID 4249

基于射频传感的汗液C反应蛋白穿戴式检测研究

文豪、高芷晴、金佳炜、唐伊瑞、汪佳豪、孙如晶、李鑫、刘清君
浙江大学

本论文针对人体汗液中存在的C反应蛋白（CRP），基于水凝胶免疫交联技术和谐振式射频传感技术，来实现非侵入式现场快速检测。研究探索易于免疫解离的溶胀型水凝胶体系的开发。同时，将免疫水凝胶和射频天线结合，构建电感-电容被动式谐振传感单元，并将传感系统整合到便携式和穿戴式设备中，为现场快速检测体液中的炎症标志物的建立方法。该技术所制作的免疫凝胶可膨胀至初始值的280%，采用的汗液量可低至200微升，检测时间20分钟，最低检测限可达到50pg/ml，和酶联免疫吸附试验（ELISA）的检测结果对比，有很好的相关性。该方法在针对蛋白质成分的在体原位汗液检测中有很大的应用前景。

关键字：C反应蛋白；水凝胶；射频传感；运动量

ID 4363

基于DMSN@AuNPs的SAW免疫传感器检测肺炎标志物

张筱婧[1]、黄丽欣[1]、胡燕婕[2]、周勇[2]、王天星[3]、王平[1]
1. 生物传感器国家专业实验室，浙江大学生物医学工程与仪器科学学院
2. 浙江大学医学院附属邵逸夫医院
3. 浙江亿联康医疗科技有限公司

树枝状介孔二氧化硅纳米颗粒(Dendritic Mesoporous Silica Nanoparticle，DMSN)是一种新兴的多孔材料，具有开放孔道丰富、比表面积大、粒径均匀、易于功能化等优点。由于其固有的多孔性、可调节的结构和可调节的功能，DMSN和AuNP纳米复合材料作为基于静电吸附或化学键的抗体载体具有很大的吸引力。为了克服传统胶体金基声表面波（Surface Acoustic Wave，SAW）免疫传感器的灵敏度限制，本研究将三维组装的DMSN@AuNPs作为信号报告器，用于SAW传感器中低浓度标志物检测。初步结果表明，与之前仅基于AuNPs的SAW传感器检测结果相比，使用DMSN将SAW传感器检测肺炎生物标志物降钙素原的线性范围从15.62-500 ng/mL降低到0.01-100 ng/mL，获得了更好的LOD性能(6.28 pg/mL)。在未来，基于DMSN@AuNPs的SAW免疫传感器具有检测各种低浓度生物标志物的潜力，为体外诊断(IVD)领域提供更有价值的传感能力。

关键字：声表面波传感器；枝状介孔二氧化硅纳米颗粒(DMSN)；AuNPs；疾病标志物

S06

元宇宙、大模型背景下的健康工程融合创新

ID 800

利用深度学习对CT图像进行分析以识别和诊断伴有硬脑膜下积液的自发性低颅压

吴立洋[1]、吕骏晖[2]、陈树超[1]、陈洪波[1]

1. 桂林电子科技大学

2. 浙江大学医学院附属邵逸夫医院

自发性低颅压（SIH）是一种罕见且易被误诊的神经外科疾病，通常与硬脑膜下积液相关，容易被误诊为创伤性出血或慢性硬脑膜下血肿。CT作为头痛筛查和诊断颅内出血的常用手段，在识别SIH方面面临挑战。本研究提出了一种名为SIHNet的新型深度学习模型，该模型基于轻量级3D卷积神经网络，专门用于自动识别和诊断伴有硬脑膜下积液的SIH。我们收集了212名患者的3D CT扫描图像进行训练和测试，其中146例与SIH相关，66例与SIH无关。SIHNet在测试集上展示了88.71%的识别准确率，超过了现有基线模型和经验丰富的神经外科医生。Grad-CAM技术进一步验证了模型的决策过程，显示出其关注的区域与已知的SIH诊断特征一致，为临床决策提供了有力的辅助。

关键字：自发性低颅压，CT诊断，深度学习，卷积神经网络

ID 855

SignBrain Viewer：通用易交互的EEG查看分析软件

常东明、孟庆桐、胡若晨、贾子钰、蒋田仔、左年明

中国科学院自动化研究所

脑电（EEG）是目前最通用的非侵入式研究大脑神经活动的方法之一。本文旨在开发一款适用于脑电从业人员、研究人员和临床医生的EEG查看分析软件SignBrain Viewer。该软件具有适配多类型数据、易操作、信号处理功能强的特点，旨在提高用户在脑电数据分析中的效率和准确性。软件基于C++ 11和Qt 5.12平台编写，支持EDF、EDF+和VHDR等格式的数据导入，以及经过团队研发的可穿戴脑电技术（SignBrain）预处理流程的MAT数据格式。信号处理功能包括FIR和IIR滤波、降采样以及用于伪迹除噪的Artifacts Subspace Removal（ASR）算法。界面交互功能支持事件标签、数据标尺和数据比较。考虑到脑电数据量大、采样率高的特点，软件充分利用多线程并行处理技术，提高了滤波操作效率。此外，由于EEG采集过程中难以避免头动、眼动和运动伪迹等噪声，软件部署了可调参的ASR算法，用来滤除运动伪迹，且处理后的数据可以通用EDF或MAT格式导出。关于该软件及相关技术的开发和应用讨论网站：www.SignBrain.cn。

关键字：可穿戴脑电（SignBrain）；数据预处理；多种格式支持；多线程处理；实时交互

ID 1021

一种基于预训练基础模型的人体运动识别框架

熊富海、刘语诗、闫旭东、颜延、王磊
中国科学院深圳先进技术研究院

运动识别关乎人体健康，目前依然是一个研究热点。大语言预训练模型在文本、图像、语音等模态的发展势头也延伸到时间序列领域，但在人体传感器运动数据方面的分析不多。本文提出了一种新型人体运动识别框架，在硬编码Token预训练模型的基础上，设计了适用于运动数据的适配块以充分提取运动类型的有效表征。本文提出的人体运动识别框架，不仅具有适配层参数量较小的优势，还统一了运动数据输入模态的范式。在与三种基础模型、六种新颖时间序列模型以及四种机器学习模型的对比中，在五个验证数据集上都取得了准确率优于其他模型的识别结果，在UCI-HAR、WISDM、TNDA、mHealth、PAMAP2数据集上的准确率分别为86.39%、94.23%、92.77%、98.82%、92.85%，表明了所提出的人体运动识别框架的有效性。

关键字：人体运动识别；时间序列分析；基础模型；

ID 1060

鼻咽癌患者风险分层：共现矩阵和中心性分析在预后评估中的应用

李滔[1]、黎浩江[2]、张瑞龙[1]、刘立志[2]、陈洪波[1]
1. 桂林电子科技大学
2. 华南恶性肿瘤防治全国重点实验室，广东省鼻咽癌诊治研究重点实验室，
广东省恶性肿瘤临床医学研究中心，中山大学肿瘤防治中心

鼻咽癌是头颈部常见的一种恶性肿瘤，其治疗和预后评估对于患者管理至关重要。传统的预后方法往往依赖于有限的临床指标，未能充分揭示鼻咽癌患者的复杂病理生理状态。本研究引入了一种基于网络分析的特征选择方法来预测鼻咽癌的总生存期预后。利用792名新诊断的鼻咽癌患者的临床数据构建了一个共现矩阵。通过计算中心性得分，识别了与总生存期预后密切相关的关键特征。通过迭代特征选择过程，从具有最高中心性得分的结构开始，逐步增加特征数量以评估训练集上的预后性能，最终确定了前14个特征作为高风险人群分层的标准。在独立的测试集上，根据这14个特征将患者分为高风险和低风险组，两组之间的预后存在显著差异（$p<0.05$）。这些结果不仅验证了所选特征的准确性和有效性，也肯定了网络分析技术在构建医学预后模型中的强大潜力。本研究为鼻咽癌的预后评估提供了一种新的工具，帮助医生准确评估患者的结果，并为个性化治疗方案提供科学支持。

关键字：鼻咽癌；总生存期预后；网络分析；中心性；特征选择；共现矩阵

ID 1204

SurvS：一种分析癌症患者治疗响应的新方法

陈树超[1]、陈宏创[1]、罗超[2]、梁志莹[2]、黎浩江[2]、刘立志[2]、陈洪波[1]
1. 桂林电子科技大学
2. 中山大学肿瘤防治中心

判断癌症患者的治疗响应是重要的，因为治疗效果受到个体差异的影响。然而，从关键性医学因素中分析出在治疗中潜在获益、不敏感和有害癌的症患者仍然是一个具有挑战性的问题。为了进一步解决这个问题，本研究提出了SurvS，一个专门用于分析患者治疗响应的方法。与传统生存分析方法不同，SurvS的分析过程与生存差异化相关。在鼻咽癌和直肠癌预后数据上的实验表明，相较于传统方法，SurvS能更有效地挖掘数据中的生存差异信息，进而得出更具有可信度的治疗响应分析结果。此外，就我们所知，SurvS是目前唯一能同时在一个数据上同时分析出治疗获益、不敏感和有害三组的方法。SurvS有潜力作为一种新型的治疗响应分析工具，帮助医生评估从治疗中潜在获益、不敏感和有害的癌症患者，并探索和研究对治疗效果差异具有影响的关键医学因素。

关键字：治疗响应；遗传算法；生存差异；癌症；生信分析

ID 1507

A Quantitative Research of the Effect of Contact Pressure on Fingertip Photoplethysmography

Ziyi Wang[1],Zhencheng Chen[1,2],Yongbo Liang[1,2]
1. Guilin University of Electronic Technology
2. Guangxi Key Laboratory of Metabolic Reprogramming and Intelligent Medical Engineering for Chronic Diseases

Current photoplethysmography (PPG) based measuring devices are susceptible to contact pressure (CP) between the detecting sensor and measured tissue, restricting further improvement of the device accuracy. To investigate the effects of CP on PPG signals, this paper analyzed the morphological variability of PPG waveforms from 83 subjects under the applied pressure of 30-80 mmHg using Multi-Gaussian Decomposition (MGD) method; Extracting 52 features from PPG and their derivatives; Then to underscore the contribution of different features to blood pressure (BP) estimation, we investigated their Pearson correlation and accuracy of BP estimation. we found that the amplitude and width of Gaussian waves related to the PPG diastole first increased and then remained stable under 30-80 mmHg (Change rates are 25.0%, 91.8%; 4.5%, 26.0%, respectively). Most features had a better correlation and accuracy of BP estimation at around 50 mmHg. Our work helps identify the local morphological variability of PPG under different CP and quantify its influence on other physiological indicators.

Key Words: Photoplethysmography, contact pressure, Gaussian decomposition, pulse wave analysis, blood pressure

ID 1523

胸阻抗呼吸信号噪声自适应滤除方法

肖湘[1]、陈洪波[1]、符琼琳[2]、张微[2]
1. 桂林电子科技大学
2. 广东省深圳市理邦精密仪器股份有限公司

胸阻抗呼吸测量是一种无创、便携和低成本的呼吸监测方法，广泛应用于临床和家庭健康监护领域。然而，由于心脏的周期性收缩和扩张会产生阻抗变化，导致呼吸信号中混合了心动干扰噪声，影响了呼吸信号的准确性。因此，有效去除心动干扰噪声对于提高胸阻抗呼吸测量的准确性至关重要。本文首先分析了真实胸阻抗呼吸信号的特征，然后根据这些特征提出了级联LMS自适应滤波器的方法，能够有效的去除心动干扰噪声。将此算法与几种常用的去噪算法进行比较，结果表明此算法能够更好的去除心动干扰，同时保留原始胸阻抗呼吸信号中的呼吸成分。最后通过真实的带有心动干扰的呼吸数据验证了此算法的可行性和准确性。实验数据显示本文提出的方法取得了较好的效果，信噪比(SNR)达到23.5682±3.0366，均方误差(MSE)为0.0019±0.0012，平均绝对误差(MAE)为0.0334±0.0106，这些指标充分证实了该方法的有效性和稳定性。

关键字：胸阻抗；呼吸监测；心动干扰；自适应滤波；

ID 2005

Multi-hierarchical Feature Fusion Driven-based Noninvasive Blood Glucose Monitoring Using Wearable ECG

Jingzhen Li,刘宇航,唐华杰,敖鹏飞,聂泽东
中国科学院深圳先进技术研究院

A readily attainable, noninvasive method could facilitate diabetes management by making it easier to identify at-risk blood glucose (BG) levels. The changes in BG level stimulate sympathetic and parasympathetic systems leading to the variation in Electrocardiogram (ECG). Given those effects, in this work, we developed a multi-hierarchical feature fusion driven-based approach to achieve BG monitoring by using wearable ECG. Firstly, we applied multi-attention-based feature extraction with channel and spatial aspects to highlight important features and suppress dispensable ones. Secondly, we proposed multi-hierarchical feature fusion to gain second-order feature of inter-layer with bilinear pooling to enhance their representation capability. Lastly, fuzzy integral was adopted to couple different BG prediction values and to avoid a single point of failure. Additionally, a total of 103 days of ECG with concomitant BG values from 21 participants were collected, and 10-fold cross-validation was conducted. Evaluation results revealed that our approach performed well compared with several existing models. The root-mean-square error was 26.57 mg/dL, and the mean absolute relative difference was 13.39%. In addition, the zone A + B of Clarke error grid and Parkes error grid analysis were 98.50% and 99.41%, respectively. Therefore, these findings demonstrated the capability of the proposed approach to monitor BG noninvasively in human subjects.

Key Words: Noninvasive blood glucose monitoring, Electrocardiogram, Multi-attention feature extraction, Multi-hierarchical feature fusion, Fuzzy integral

ID 2402

Enhancing Sleep Stage Monitoring with Paralleled Stacked Fixed-Length Convolutional Filters in Hybrid SleeperNet

Zubair Akbar,Farhad Hassan,Ubaidullah alias Kashif,Lei Wang,Nie Zedong
Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, China

The rapid growth in the utilization of deep learning models for wearable devices holds considerable promise for transforming personalized sleep health monitoring, particularly in sleep-stage classification. This study aimed to enhance the understanding of sleep patterns, empowering users to make well-informed decisions and modify their sleep habits, thereby preventing or addressing current or potential sleep health issues. We propose a novel deep learning architecture named "SleeperNet," which incorporates a specialized feature extraction pipeline. This architecture uses parallel-stacked convolutional filters designed to extract both fine and coarse features, capturing low-frequency features that are usually challenging to detect as well as high-frequency features. In addition, an LSTM block was integrated to capture the temporal representation of the data, thereby facilitating efficient classification. We validated the efficacy of SleeperNet using two open-source datasets, Sleep-EDF-20 and Sleep-EDF-78. Our model surpassed existing studies, attaining an overall accuracy of 0.85 for both datasets, and an average F1 score of 0.77 for Sleep-EDF-20 and 0.76 on Sleep-EDF-78. Furthermore, SleeperNet demonstrated significantly reduced training times, requiring only 10.55 minutes for Sleep-EDF-20 and 17.8 minutes for Sleep-EDF-78.The implementation of this technology has the potential to substantially reduce healthcare costs by allowing for early identification and intervention of sleep-related issues. The integration of SleeperNet not only benefits individual health but also represents a significant shift in societal values, advocating for preventive healthcare and highlighting the profound impact of advanced technology on improving quality of life.

Key Words: Wearable Devices, Sleep Stage Classification, Sleep Health Monitoring, Biomedical Signal Processing, Digital Biomarker

ID 2556

MCBHF: A Multi-view Attention and Cascaded BiLSTM Hierarchical Feature Fusion Approach for Noninvasive Blood Glucose Monitoring using PPG

Li A[1,2],Jingzhen Li[1],YuJia Han[1],Zedong Nie[1],Li A
1. Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, China
2. University Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

Diabetes is a chronic disease with exponential growth and poses significant challenges to global healthcare. Regular blood glucose (BG) monitoring is key for avoiding diabetic complications. Traditional BG measurement techniques are invasive and minimally invasive, causing pain, discomfort, cost, and infection risks. We developed a noninvasive BG monitoring approach on photoplethysmography (PPG) signals using multi-view attention and a cascaded BiLSTM hierarchical feature fusion approach to address these issues. Firstly, we implemented a convolutional multi-view attention block to extract the temporal dependencies through adaptive contextual information aggregation via separate branch, channel, and spatial attention. Secondly, we built a cascaded BiLSTM network to extract the fine-grained features through bidirectional learning efficiently. Finally, we developed a hierarchical feature fusion with bilinear polling through cross-layer interaction to generate higher-order features for BG monitoring. We conducted comprehensive experimentation on 103 days of PPG and BG data from 21 participants for validation. The proposed approach showed competitive results compared to existing

approaches by RMSE of 1.65 mmol/L and MARD of 17.60%. Additionally, the clinical accuracy using Clarke error grid (CEG) analysis showed 99% of BG values in Zone A+B. Therefore, the proposed approach offers a favorable solution in diabetes management by noninvasively monitoring the BG levels.

Key Words: Noninvasive blood glucose measurement, Photoplethysmography, PPG, Multi-view attention, Cascaded BiLSTM, Hierarchical feature fusion

ID 2729

Binarized RF Signals for Breast Cancer Identification with Deep Learning Frameworks

Saheed Salahudeen Abdullahi,Li Jingzhen,Muhammad Ali Arshad,Chengxin Zhang,Omer Marwa,Zedong Nie
Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences

Radio Frequency (RF) Microwave offers cheap, safe, portable, non-invasive and non-ionizing alternative for breast cancer tumor identification. Conventional approaches to detect tumor from S11 parameters still suffer from the non-linearity of inverse scattering of signals which are inhomogeneous and ill-posed. We demonstrate the ability of optimized deep learning models for tumor detection in female breast. The deep learning models were optimized to capture dielectric features of the breast with minimum error by exploiting the spatial and temporal features of the signals. Iterative Feature engineering and efficient parameterized CNN and LSTM achieved remarkable performance of more than 90% when evaluated on F1 and Accuracy metrics. The results serve as new benchmark on the phantom dataset. This will speed-up diagnosis of breast cancer in patients by advancing to clinical trial to ease the task of medical professionals.

Key Words: Breast Cancer Tumor, RF Microwave Imaging, Deep Learn-ing, CNN, LSTM

ID 2930

一种基于机器学习的个体心理健康数字孪生仿真器：用于个性化评估的新方法

蔡顺汀[1]、言文德[2]、王子韩[2]、江昊[2]、杨吉江[1]、原玲玲[2]
1. 清华大学
2. 南方医科大学

本研究针对心理健康管理领域，创新性地提出并实施了一种机器学习驱动的仿真型数字孪生模型。该模型的核心目标是通过模拟患者的心理健康状态，为临床决策提供科学依据。本研究整合了患者的心理量表得分和关键生理指标，构建了一个能够精确反映个体心理状况的数字复制品。研究基于某大型三甲医院体检中心中央数据库，并使用随机森林算法、KNN算法以及SVM算法进行了模型的训练，以拟合数字孪生模型。试验结果表明，基于SVM算法的数字孪生模型的预测准确率为64.78%，宏查准率为68.03%，综合对比优于另外两个模型。基于SVM算法的数字孪生模型不仅能够准确评估患者的当前心理状况，还能够通过模拟治疗过程，为患者提供个性化的治疗建议。研究结果表明，使用机器学习驱动的数字孪生模型在心理健康管理中具有巨大潜力的应用价值，通过为患者提供更加精准和个性化的医疗策略，从而在早期阶段降低精神疾病的发生的可能，优化心理健康管理水平。

关键字：心理健康管理；仿真型数字孪生；机器学习；心理评估；模拟治疗

ID 3015

A Transformer Encoder Network with Multilayer Perceptron for Sleep Stage Classification Using Radio Frequency Signals of CW Radar Sensor (TranSleepNet)

Ubaidullah alias Kashif,Zubair Akbar,Farhad Hassan,Nie Zedong
Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences

Sleep stage identification is fundamental for diagnosing and managing various sleep conditions. In contrast, conventional methods such as Polysomnography (PSG) are invasive and cumbersome. Due to the invasiveness of PSG, recent studies have proposed machine learning algorithms for radio frequency-based sleep stage identification. However, previous algorithms are based on traditional tree-based algorithms and convolutional and recurrent neural networks. This paper introduces a novel radio frequency-based sleep stage classification approach using a Transformer Encoder model with a Multilayer Perceptron. Our methodology involves preprocessing radar signals with a Butterworth bandpass filter and extracting 28 unique time and frequency domain features, including statistical properties, entropy, power spectral density, and fractal dimensions. The Transformer Encoder model uses these features to handle sequential data and capture long-range dependencies. Making it adequate for analyzing complex sleep-related physiological signals. Our proposed model achieved a test accuracy of 82.72%, with precision, recall, and F1 scores of 0.83, and a kappa of 0.76 for the classification of four sleep stages: Wake, Light Sleep (N1+N2), Deep Sleep (N3), and REM. Combining feature extraction and the Transformer Encoder model's ability enhances the accuracy and potential use in classifying sleep stages.

Key Words: Sleep stages, radar sensor, transformer encoder, radio frequency sleep, polysomnography.

ID 3192

基于心脏电-机械生理信号的血流动力学评估

郑全中、李建清、刘澄玉、杨晨熙
东南大学

心力衰竭严重危害患者生命，长期跟踪患者的血流动力学能显著提升治疗效果，然而现有监测血流动力学的设备价格高昂，近些年的研究证明了心震图（SCG）和心电图（ECG）在心衰治疗中的潜力。因此，本研究尝试利用SCG和ECG的联合信号完成对肺动脉压和肺毛细血管楔压的评估。研究提出了基于多尺度特征融合的肺动脉压和肺毛细血管楔压预测方法，基于多任务学习的框架，利用不同尺度的空洞卷积提取出单个心拍的SCG和ECG信号在不同尺度上的特征并进行融合并编码，随后嵌入编码数据的全局信息调整各部分的权重，最后对编码的信号进行解码，实现对肺动脉压和肺毛细血管楔压的预测。在66名受试者的数据上进行训练、验证、测试，肺动脉压和肺毛细血管楔压预测20%以内误差准确率，分别为73.99%和66.23%，R2分别为0.7294，0.7607。实验结果说明了肺动脉压和肺毛细血管楔压与SCG和ECG之间存在较强的关联性，为利用穿戴式设备跟踪肺动脉压和肺毛细血管楔压提供了参考。

关键字：心力衰竭；心震图；心电图；肺动脉压；肺毛细血管楔压

S07
生物力学

ID 634

以三维空间机械轴为投射参考测量股骨前倾角

陈佳晖、马信龙、马剑雄、王颖、柏豪豪、卢斌、张士雄、代菁
天津市天津医院

研究背景：股骨前倾角是评估股骨前扭转畸形程度的解剖学参数，具有重要生理意义。临床中通常基于CT断层图像融合进行测量，但测量值常因摄片体位和图层选取等因素产生偏差。为此，我们提出一种基于三维空间机械轴为投射参考的股骨前倾角测量方法，改善现有的测量技术。

目的：本研究的目的是验证以三维空间机械轴为投射参考的股骨前倾角测量方法的安全性和可靠性。

方法：回顾性收集连续的接受下肢CT扫描的髌骨不稳定患者作为观察组，接受下肢CT血管造影并且无髌股关节疾病的患者作为健康人群对照组。采用三维重建技术建立股骨模型，由两名独立的骨科医生标记股骨机械轴并测量股骨前倾角。采用配对t检验和组内相关系数进行一致性分析。统计观察组中发生真实性髌骨脱位的患者作为阳性结局，采用受试者工作特征曲线和曲线下面积确定诊断阈值。

结果：最终两名观察者两次测量的观察组与对照组股骨前倾角平均值分别为(23.30±9.41° VS 10.59±7.86°，p<0.05)和(23.57±9.97° VS 10.73°，p<0.05)。观察者内和观察者间的组内相关系数分别为0.990（95% CI 0.985~0.993）、0.984（95% CI 0.976~0.990）和0.984（95% CI 0.976~0.989）。以三维空间机械轴为投射参考股骨前倾角的曲线下面积为0.869，截断值为18.24°，OR值为1.185。此方法与影像医生报告的测量值存在较强的相关性（相关系数0.855~0.897），不同观察者间测量值标准差低于传统二维测量方法（1.72 VS 3.04，p<0.05）。

结论：以三维空间机械轴为投射参考的股骨前倾角测量方法安全性与可靠性较高。通过此方法测量的股骨前倾角是髌骨脱位的危险因素，病理阈值为18.24°，每增加1°股骨前倾角提高18.5%的髌骨脱位风险。

关键词：三维空间机械轴；股骨前倾角；相关性分析

ID 2220

Mechano-Biotechnology Primes Epigenetic State for Cell Reprogramming

yang song[1,2],Song Li[2]
1. Sichuan University
2. University of California Los Angeles

Background

The induced neuronal (iN) reprogramming technology hold significant promise for cell therapy, disease modeling, and drug screening. However, a major hurdle in iN reprogramming is the low efficiency overall, limiting its clinical and scientific applications. Accumulating evidence suggests that mechanical cues in the microenvironment influence chromatin organization and epigenetic states, thereby regulating gene expression in crucial biological processes. However, the precise

mechanisms through which mechanical cues govern chromatin reorganization and cell reprogramming remain unclear. This study aims to investigate the use of mechano-biotechnologies to modulate the cell's epigenetic state and enhance cell reprogramming efficiency for clinical applications.

Methods

The direct reprogramming of fibroblasts into induced neuronal (iN) cells has been achieved through the enforced expression of three transcription factors: Ascl1, Brn2, and Myt1l (BAM). We developed polyacrylamide (PA) hydrogels with varying stiffness and a microfluidics device with different channel widths to investigate the influence of matrix stiffness and forced nuclear deformation on iN reprogramming. BAM-infected adult mouse ear fibroblasts were cultured on the PA gels or introduced into the microfluidics device and then cultured in neuronal media. After 14 days, cells were fixed and immunocytochemically stained for the neuronal marker neuron-specific class III β-tubulin (Tubb3) and nuclei (DAPI) to quantify reprogramming efficiency. We examined the effect of mechano-cues induced cell deformation on the epigenetic state by analyzing global euchromatin (e.g., Histone 3 acetylation, AcH3), heterochromatin (e.g., tri-methylated histone H3 at lysine 4, H3K9me3), and DNA methylation (5-mC) modifications of cells using single-nuclear m3C analysis, fluorescence resonance energy transfer (FRET), and immunostaining. Additionally, we conducted western blotting and m6A-tracer experiments to investigate potential mechanotransduction pathways. To purify reprogrammed iN cells for clinical applications, we developed a nucleic acid-based gold nanorod (NAGN) biosensor for sorting reprogrammed cells at the early stage of cell reprogramming.

Results and Discussion

Here, we show for the first time that both intermediate stiffness and forced nuclear deformation can significantly enhance the expression of various neuronal genes, including the endogenous Acl1 and the key neuronal marker Tuj1, during the early phase of iN reprogramming. Consequently, a 20 kPa matrix stiffness and forced nuclear deformation increase the efficiency of iN conversion by more than 4-fold and 8-fold, respectively, compared to control cells. Interestingly, we also observed that mechano-cues are able to modulate the epigenetic state. Specifically, we found that a 20 kPa matrix stiffness induces a remarkable increase in AcH3, while forced nuclear deformation induces a significant decrease in H3K9me3 and 5-mC levels. Additionally, we found that intermediate stiffness at 20 kPa can induce an increase in the G-actin/F-actin ratio in the cell and promote G-actin nuclear translocation. During this process, actin binds with histone acetyltransferase (HAT), translocating into the cell nucleus and activating the HAT to increase AcH3. At the same time, mechanical force-induced nuclear deformation may partially induce nuclear lamina reorganization, resulting in wrinkling, lamin A/C disassembly at the nuclear periphery, and a partial detachment of heterochromatin from the nuclear lamina. This relocates heterochromatin towards the interior of the nucleus, accompanied by the downregulation of heterochromatin marks. Furthermore, the amounts of NAGNs were optimized to a level without any side effects on cell viability and functions. On day 2, fluorescence-activated cell sorting (FACS) was utilized to sort Ascl1+ cells, which were further cultured to yield mature, functional neurons. This approach resulted in the enrichment of iN cells from 3% to 72%.

Key Words: Mechano-Biotechnology, Cell reprogramming, Epigenetic State, Chromatin accessibility, mRNA cell sorting

ID 2288

核心力量训练对篮球运动员侧切过程中膝关节稳定性的影响

陈君莹[1]、董雷元[2]、高晓娟[1]

1. 郑州大学

2. 新乡市第一人民医院

目的：采用核心力量训练方法，比较分析下肢运动学和下肢神经肌肉激活程度，探讨核心力量训练对篮球运动员侧切过程中膝关节稳定性的影响。

方法：采用简单随机抽样方法选取24名篮球专项班运动员，分为实验组和对照组。通过观察两组运动员侧切过程中姿势控制，运动学和神经肌肉激活指标实验前后的变化，评估核心力量训练对膝关节稳定性的影响。

结果：8周核心力量训练后，实验组Y平衡成绩显著增加；膝关节屈曲角度不同时刻均显著增加；启动阶段半腱肌、臀大肌肌肉激活程度及H:Q激活比显著增加，蹬离地面阶段半腱肌肌肉激活程度和H:Q激活比显著增加（P<0.05）。

结论：1.在篮球运动员侧切过程中，核心力量训练可以增强姿势控制能力，改善运动学指标，提高下肢神经肌肉激活程度。2.核心力量训练可以改善膝关节稳定性。

关键字：膝关节稳定性；核心力量训练；核心力量；侧切；篮球

ID 2319

不同拉伸模式下人角膜上皮细胞力学响应差异与YAP差异性活化相关

汲婧、谢懿、李冬妍、王丽珍、樊瑜波
北京航空航天大学

目的：角膜受到眼压及其产生的拉伸力作用，疾病或外力会引起角膜受力形式发生改变，进而影响角膜上皮细胞功能。本工作拟研究不同拉伸模式对角膜上皮细胞功能的影响及其机制，为构建角膜近生理力学加载模型、探究角膜上皮病变机制提供依据。

方法：对人角膜上皮细胞分别加载单轴拉伸和等轴拉伸，光镜观察细胞形态，CCK-8、划痕实验检测细胞增殖与迁移，免疫荧光染色观测细胞骨架、细胞核、ZO-1及YAP表达。

结果：与等轴拉伸相比，单轴拉伸作用下细胞面积更大，核体积减小，应力纤维增多，增殖与迁移显著下降，YAP荧光强度和核质比显著增高。抑制YAP后，不同拉伸模式下细胞面积、核体积、YAP核质比等差异减小。

结论：不同拉伸模式下，人角膜上皮细胞力学响应存在差异并且与YAP差异性活化相关。

关键字：拉伸模式；人角膜上皮细胞；细胞力学响应；YAP；核体积

ID 2504

Cavity Oscillation Drives Pattern Formation in Early Mammalian Embryos

Jing Du[1],Zheng Guo[1],Jie Yao[1],Xu Zheng[2],Yubo Fan[1]
1. Beihang University
2. State Key Laboratory of Nonlinear Mechanics, Beijing Key Laboratory of Engineered Construction and Mechanobiology, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences

During the second cell fate decision of mouse embryos, the inner cell mass (ICM) segregates into the topographically regionalized epiblast (EPI) and primitive endoderm (PrE) layers. However, the pattern formation mechanism has been unsolved for a long time. Here, we report that concomitant with the segregation process of EPI/PrE precursors starting from mid-blastocyst stage, the blastocyst cavity begins to oscillate cyclically with rapid contraction yet slow expansion which induces phase transition in the ICM to a fluid-like state. This asymmetric oscillation of blastocyst cavity drives EPI/PrE segregation by promoting cell-cell contact fluctuations in the ICM and convergent cell flows which induce movement of these two cell types in opposite directions, wherein PrE precursors move towards the ICM-lumen interface, whereas EPI precursors

move towards the trophectoderm side. We also show that the subsequent epithelization of PrE precursors at the ICM-lumen interface requires cavity oscillation weakening and rapid expansion resumption. Finally, we found that both Pdgfra expression and YAP nuclear accumulation in PrE precursors are increased in response to blastocyst cavity oscillation. This study reveals a fundamental role of physical oscillation in driving pattern formation during early mammalian development.

Key Words: cavity oscillation, EPI/PrE segregation, pattern formation, early mammalian embryos, blastocyst

ID 4228

不同水平网球运动员底线正手击球的足底压力研究

夏永桉、谭志华
广州体育学院

探究运动水平对底线正手击球的足底压力影响，剖析网球运动员底线正手击球的足底发力特征。24名被试分为二级组与普通组，将右足底分为6个解剖区域T1、T2-5、M1-5、MF、HL、HM，采用Pedar-x压力鞋垫采集被试底线正手击球的足底压力数据，使用独立样本t检验，对两组数据进行统计学分析。结果显示：在压力峰值与压强峰值上，两组在T2-T5、M1-M5共2个区域存在统计学差异显著（$p<0.05$），在MF区域统计学差异极显著（$p<0.01$）；在压强-时间峰值上，两组在T2-T5区域存在统计学差异显著（$p<0.05$），在T1、M1-M5、MF、HL、HM区域统计学差异极显著（$p<0.01$）；足底压力中心轨迹在Y轴方向上，二级组的轨迹长于普通组；在X轴方向上，普通组的压力中心轨迹比二级组明显偏向外侧。表明运动水平影响足底不同区域的足底压力的分布特征，水平高的运动员主要负荷区域在前脚掌与后脚跟，水平低的运动员足底外侧区域负荷大。

关键字：运动水平；网球运动员；正手击球；足底压力

S08
纳米医学与工程

ID 2428

An Artificial ROS-scavenging Nanozyme for The Treatment of Myocardial Ischemia Reperfusion Injury

Mengmeng Long[1],Hongliang He[1],LIna Kang[2,3],Biao xu[2,3],Ning Gu[1,2],Mengmeng Long

1. Jiangsu Key Laboratory for Biomaterials and Devices, School of Biomedical Sciences and Medical Engineering, Southeast University

2. Nanjing Key Laboratory for Cardiovascular Information and Health Engineering Medicine, Institute of Clinical Medicine, Nanjing Drum Tower Hospital, Medical School, Nanjing University

3. Department of Cardiology, Nanjing Drum Tower Hospital, State Key Laboratory of Pharmaceutical Biotechnology, Affiliated Hospital of Medical School, Nanjing University

Background: Reactive oxygen species (ROS) and inflammation are key contributors to myocardial ischemia-reperfusion injury (MIRI). Strategies targeting ROS scavenging and anti-inflammation are crucial for treating MIRI. Since 2007, nanozymes, including metal and metal oxide variants like iron oxide, cerium oxide, copper, and gold, have shown promise in treating MIRI by eliminating ROS, offering new therapeutic perspectives.

Methods: We developed a Prussian blue nanozyme (PBzyme) coated with polyglucose sorbitol carboxymethyl ether (PSC) and validated its quality and enzymatic activity. The therapeutic efficacy of this PBzyme on MIRI was confirmed via in vitro assays with the cell model of hypoxia/reoxygenation (H/R) and in vivo studies in mice. Additionally, we investigated the potential mechanisms and examined the biosafety and biocompatibility of the PBzyme in animal experiments.

Results: The PBzyme displayed a stable metal-organic framework (MOF) structure with controllable quality and multiple enzyme activities (CAT: Catalase, POD: Peroxidase and SOD: Superoxide Dismutase) crucial for ROS clearance and anti-inflammatory effects. In vivo and in vitro experiments confirmed its excellent biocompatibility, safety, and ROS-scavenging ability. Due to its nanoscale size, the PBzyme can passively target damaged myocardium after intravenous injection into the body through the enhanced permeability and retention (EPR) effect. It also promoted the transition of pro-inflammatory M1 macrophages to anti-inflammatory M2 macrophages, reducing IL-1β, IL-6, and TNF-α levels. The PBzyme's mechanism in treating MIRI involves ROS scavenging and AMPK pathway activation. In MIRI mouse models, the PBzyme administration reversed injury, reduced coronary microvascular obstruction (MVO) and myocardial fibrosis, and improved heart function. Compared to sulfotanshinone IIA sodium (SS) injection, a clinical drug, the PBzyme showed more pronounced therapeutic effects, with even better outcomes when combined with SS.

Conclusions: The PBzyme presents a pioneering strategy for addressing MIRI, demonstrating significant therapeutic potential and superiority compared to current clinical treatments.

Key Words: Prussian blue nanozyme, myocardial ischemia-reperfusion injury, reactive oxygen species, anti-inflammation

ID 2488

磁热疗选择性杀伤肿瘤机制与血管旁肝癌治疗

王燕云、樊海明
西北大学

磁热疗（MHT）是一种新兴的临床物理热疗方式，被认为能够选择性的杀伤肿瘤细胞。然而，目前关于磁热疗选择性杀伤肿瘤细胞的研究尚未经过实验验证且生物机制尚不清楚。本研究选取具有高热转换效率的涡旋磁氧化铁纳米环（FVIOs）作为磁热疗剂，系统研究氧化铁纳米颗粒（IONPs）介导的磁热疗选择性杀伤肿瘤机制。体外细胞实验结果表明，与AML-12正常肝细胞相比，FVIOs介导的细胞内磁热疗（IMH）可以选择性的杀伤Hepa1-6肝癌细胞。为了简化治疗选择性的表示，我们将选择性指数（SI）：肝细胞AML-12和肝癌细胞Hepa1-6的半抑制浓度（IC50）的比值作为评估磁热疗选择性的标准，FVIOs介导的IMH的SI值为2.16。通过对其生物机制进行探究发现：肿瘤细胞内相对高的过氧化氢（H2O2）水平导致磁热过程中羟基自由基的大量产生，最终使Hepa1-6细胞死亡，但对AML-12细胞的影响较小。最后，我们建立了兔VX2原位肝癌模型，证明FVIOs介导的MHT可以显著抑制肿瘤生长，且对正常肝组织没有明显的损害。本研究明确揭示了磁热疗选择性杀伤肿瘤细胞的生物机制-肿瘤细胞和正常细胞H2O2的表达差异，为实现精准高效的肿瘤热疗提供思路。

关键字：细胞内磁热疗；选择性杀伤；氧化铁纳米颗粒；H2O2水平

ID 2513

靶向线粒体HSP60的金纳米棒-多肽偶联物光热免疫治疗三阴性乳腺癌

温涛、蒙艺灵、许海燕
中国医学科学院基础医学研究所

目的：本论文针对热休克蛋白60（HSP60）在三阴性乳腺癌（TNBC）细胞中高表达，与肿瘤的生长和转移有关的特性，设计开发了一种新型的由金纳米棒和HSP60靶向多肽P17连接的偶联物（AuNR-P17）对TNBC进行光热免疫治疗。

方法：用透射电子显微镜、紫外-可见-近红外分光光度计和荧光光谱仪等对AuNR-P17的理化性质进行表征；使用CCK-8法评估细胞杀伤效果；使用免疫荧光染色观察AuNR-P17在细胞中的定位；使用流式细胞术和Elisa 试剂盒检测ICD相关指标；通过HE染色观察肿瘤转移结节；使用LDH试剂盒评估特异性杀伤效果。

结果：研究发现，该偶联物能够靶向富集到线粒体，在激光辐照下诱导肿瘤细胞免疫原性死亡（ICD），从而诱导特异性免疫响应，抑制肿瘤的转移和复发，显著延长了TNBC小鼠的生存期。

结论：本研究验证了AuNR-P17对TNBC的光热免疫治疗作用，并揭示了HSP60作为潜在治疗靶点的价值。

关键字：热休克蛋白60；金纳米棒；线粒体靶向；光热治疗；三阴性乳腺癌

ID 2542

高性能生物医用纳米氧化铁的连续制备

毛宇、顾宁
南京鼓楼医院

磁致内热合成方法通过交变磁场的作用使得磁性纳米氧化铁（IONPs）从内到外产热，IONPs自身的产热温度高于溶液，能够更加均匀、有效的加热和熟化，从而得到更好的结晶性能。本文针对磁致内热法合成IONPs难以批量制备的问题，设计了一种连续流体反应装置，实现了磁致内热法、水冷磁致内热法对IONPs的连续制备。水冷磁致内热合成过程在冰水浴的作用下，不仅避免了反应溶液温度波动，而且避免了反应溶液过热在管道内产生大量气泡，从而保证了流体的稳定性。因此，通过水冷磁致内热法所制得IONPs体现出最优的性能，如粒径更加均匀、饱和磁化强度更高、磁响应性更好，且经磁粒子谱仪测得具有强信号、高信噪比，有望发展成为磁粒子成像示踪剂。

关键字：磁致内热；纳米氧化铁；连续流体；水冷磁致内热；磁粒子成像

ID 2579

Therapeutic Efficacy and Tracing of Mesenchymal Stromal Cells Transplant in Acute Spinal Cord Injury of Beagle Dogs

谢园园（研究生）,麦筱莉,王斌,顾宁
南京鼓楼医院

Studies have demonstrated the therapeutic potential of mesenchymal stromal cells (MSCs) in enhancing neural function and promoting neuronal regeneration in acute spinal cord injury (ASCI) models. This study aimed to evaluate the efficacy, dynamic migration, and fate of MSCs in ASCI using Beagle dogs. Forty-five Beagle dogs were divided into three groups: control (saline), RC-MSCs (superparamagnetic iron oxide nanoparticle named ruicun labeled MSCs), and MSCs. The therapeutic effects were assessed using magnetic resonance (MR) parameters, Texas SCI scale, and histopathological analysis. Multiparameter MR imaging, including diffusion tensor imaging, T2 mapping, and quantitative susceptibility mapping (QSM), was employed to track the distribution and survival of labeled MSCs. The results indicated that MSCs and labeled MSCs both significantly improved neural function in the ASCI model. The treatment group showed a marked T2 shortening effect with similar repairability to the MSC group. Significant differences in T2* and QSM were observed over time, demonstrating the dynamic migration of labeled MSCs. Histopathological analysis confirmed the presence and viability of MSCs, with higher βIII tubulin expression in the MSC group. These findings suggest that MSC transplantation can significantly enhance neural function and neuronal regeneration in ASCI, and multiparameter MRI effectively tracks MSC migration and evaluates repairability.

Key Words: mesenchymal stromal cells; acute spinal cord injury; super-paramagnetic iron oxide nanoparticle; diffusion tensor imag-ing; quantitative susceptibility mapping.

ID 2829

超小铁氧体纳米颗粒介导的F-actin磁热刺激对YAP活性的定量和可逆调节

焦王博、樊海明
西北大学

YAP(Yes-associated protein)是一种机械信号感觉蛋白，在多种细胞过程中作为转录共激活因子发挥着关键作用，精确调节YAP对操纵细胞功能至关重要。尽管有小分子抑制剂和siRNA等手段来干预YAP，但这些方法在实现复杂生物系统中对YAP的精确和可逆调节方面存在短板，导致治疗效果不足或对正常组织造成不可接受的损伤。鉴于肌动蛋白微丝（F-actin）是向YAP传递机械信号的关键，我们报道了一种通过纳米颗粒介导的F-actin磁热刺激来远程、定量和可逆调节YAP的新方法。修饰有细胞穿膜肽和F-actin靶向肽的超小锌掺杂铁氧体纳米颗粒在暴露于交变磁场(AMF)时，通过局部感应热诱导细胞内F-actin结构的紊乱。体外研究表明，随着AMF强度的增加，F-actin的损伤程度（定义为Fint）从0.75降低到0.39，表现出磁场强度依赖性。这导致了YAP核定位的突然下降，对应Fint的拐点为0.60。磁热刺激后24小时内，细胞可完成F-actin自我修复，使YAP重新进入细胞核。这有助于对YAP核定位进行定量和可逆控制。进一步使用MCF-7荷瘤小鼠模型的体内实验表明，该方法能够抑制细胞糖酵解，削弱肿瘤的“Warburg效应”。这些结果不仅为精确操纵YAP核定位提供了一种有希望的方法，而且为未来治疗YAP相关疾病开辟了新的机会。

关键字：磁感应热；超小铁氧体纳米颗粒；微丝；机械信号转导；糖酵解

ID 3038

Ultrasmall Manganese Ferrite Nanoparticle-embedded Hydrogels as T1 Contrast Agents for Magnetic Resonance Imaging of Targeted Epidermal Localization

Huan Zhang[1,2],Hai Ming Fan[1]
1. Northwest University; Zhuhai People's Hospital (Zhuhai Clinical Medical College of Jinan University)
2. Zhuhai People's Hospital (Zhuhai Clinical Medical College of Jinan University)

Magnetic resonance imaging (MRI)-guided percutaneous biopsy is widely recommended for the pathology diagnosis of suspected lesions in clinic. The accuracy of percutaneous puncture largely depends on the guidance provided by epidermal localization imaging for needle insertion. However, current epidermal localization imaging is hindered by the lack of high-sensitivity and stable agents. In this study, we developed a novel hydrogel contrast agent for epidermal localization in MRI, which consist of the 3 nm manganese ferrite nanoparticles and the carbomer gel. The nanoparticles were synthesized using the dynamic simultaneous thermal decomposition method and then integrated into the gel through a one-step homogenization process. In vitro and in vivo MRI experiments were conducted using a clinical 3.0 T MAGNETOM Prisma MRI Scanner. The gel exhibited a T1 relaxivity of up to 10.58 mM-1s-1, 95% MRI T1 signal intensity uniformity, and demonstrated stability on pig skin for more than 3 hours. These results collectively confirm the successful synthesis of a high-performance contrast agent gel. Then, the nanoparticle contrast agent gel showed a significant increase in relaxation rate compared to that of the nanoparticles dispersed in water solutions, attributed to the threshold effect of the gel's pore structure. This enabled the differentiation of microstructures with a diameter of 100 μm in 3.0 T MRI without generating artifacts. Lastly, the biocompatibility and epidermal localization imaging performance of the contrast agent gel were evaluated on rabbit

skin. The results showed no surface allergic reactions or adverse effects, and affirmed compatibility with multiple T1 scan sequences in a clinical setting. The new type of nanoparticles contrast agent gel provides a new localization tool for clinical precision MRI-guided percutaneous biopsy.

Key Words: Ultrasmall manganese ferrite nanoparticles, magnetic resonance imaging, hydrogel contrast agent.

ID 3220

Subcellular Distribution-relied Modulation on Macrophage Polarization by Multi-Enzymatic Prussian Blue Nanozymes

He Ding[1],Jingyi Sheng[1],Ning Gu[1,2]

1. Jiangsu Key Laboratory for Biomaterials and Devices, School of Biological Sciences & Medical Engineering, Southeast University, Nanjing, China

2. Nanjing Key Laboratory for Cardiovascular Information and Health Engineering Medicine, Institute of Clinical Medicine, Nanjing Drum Tower Hospital, Medical School, Nanjing University, Nanjing, China

Multienzymic nanozymes are nanomaterials that exhibit more than one enzyme-like activity. Prussian blue nanozymes (PBNZs) are a typical example of multi-enzymic nanozymes, mimicking the catalytic functions of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidase (POD) enzymes in a pH-dependent manner. Due to their reactive oxygen species (ROS) modulating capacity, PBNZs are considered a promising tool for immune modulation, especially for directional regulation of macrophage polarization. However, the biological effects of pH-dependent multienzymes in cells are particularly complex. Here, we identified intracellular localization as a critical factor in PBNZs-mediated ROS regulation and subsequent macrophage polarization. Our study revealed that ultrasmall-sized PBNZs (3 nm) can escape the acid lysosomes (pH 4.6) and reside in the cytosol (pH 7.4) upon entering macrophages, resulting in a weakened POD-mimic activity and an enhanced CAT- and SOD-mimic activities. In contrast, larger-sized PBNZs (60 nm and 170 nm) predominantly remain in acidic lysosomes (pH 4.6), exhibiting stronger POD-mimic activity but negligible CAT-mimicking activity. Our study confirmed that the intracellular distribution disparities result in different accumulations of glutathione (GSH), nicotinamide adenine dinucleotide (NADH), intracellular superoxide anion radicals (•O2−), hydrogen peroxide (H2O2), and oxygen (O2), which coordinately contribute to PBNZs -mediated regulation of macrophage polarization. Our findings provide important insights into the subcellular localization-mediated ROS modulation of PBNZs and their role in macrophage polarization. This study uncovers the complex behavior of multi-enzymatic PBNZs in the intracellular environment, offering a crucial rationale for the tailored design of multi-enzymic nanozymes with specific macrophage modulatory properties for therapeutic applications.

Key Words: Prussian Blue Nanozymes, Multienzymic nanozymes, Macrophage Polarization, Reactive Oxygen Species, Anti-inflammation

ID 3425

Reversal of HMGA1-mediated Immunosuppression Synergizes With Immunogenic Magnetothermodynamic for Improved Hepatocellular Carcinoma Therapy

Bin Yan,Xiaoli Liu
西安交通大学第一附属医院

MTD therapy activates anti-tumor immune responses by inducing immunogenic tumor cell death. However, tumors often develop immunosuppressive mechanisms that counteract this therapy. HMGA1 is overexpressed in hepatocellular carcinoma and contributes to immunosuppression. Reversing HMGA1-mediated immunosuppression can enhance immune responses induced by immunogenic tumor cell death. Researchers developed an FVIO nanoring-based nanovehicle that mediates an alternating magnetic field for inducing immunogenic tumor cell death while delivering siHMGA1 to hepatocellular carcinoma Hepa 1-6 cells. This siHMGA1-FVIO-mediated MTD therapy inhibited tumor proliferation and improved survival in a mouse model. It also promoted dendritic cell maturation, enhanced antigen-presenting molecule expression, increased tumor-infiltrating T lymphocytes, and decreased immunosuppressive myeloid-derived suppressor cells and cytokines. This nanoparticle system shows promise for targeting HMGA1 and enhancing MTD-induced immunotherapy for hepatocellular carcinoma.

Key Words: Ferrimagnetic vortex-domain iron oxide nanorings, high mobil-ity group protein A1, dendritic cells, magnetothermodynamic therapy

ID 3723

具有聚集诱导发光特性的有机纳米点用于近红外二区荧光成像和光热消融子宫内膜异位症

黄芝辉、张鹏飞
中国科学院深圳先进技术研究院

子宫内膜异位症（EM）是一种具有某些肿瘤特性的非癌症疾病。迄今为止，其病因和机制尚不清楚。去除病变可以减轻疼痛症状。与外科切除和药物治疗相比，靶向去除策略因其准确性而显示出更大的希望。然而，具有高特异性的可用靶向探针和治疗仍然有限。因此，本研究报道了使用聚集诱导发光（AIE）光热剂AIE dots进行EM的成像和治疗，AIE dots在730nm处具有最大吸收，并在900至1300nm范围内发射，光热转换效率为40%。将AIE dots通过尾静脉注射到子宫内膜异位症小鼠模型体内4小时后，可以在第二次近红外（NIR-II）成像系统中特异性地检测到异位病变处的AIE信号。由于AIE dots出色的光动力特性，我们在808纳米照射下实现了病变部位的高温热消融。病变部位几乎可以被清除。综上所述，基于AIE dots的EM诊断和治疗系统是EM发展监测和治疗的有希望的候选方案。

关键字：子宫内膜异位症；近红外成像；聚集诱导发光；纳米粒子

ID 3914

An Intelligent Nanosystem for Diagnosis and Treatment of TNBC Guided by T1-T2 Dual Enhancement and Near Infrared II Imaging

Xiuhong Guan[1],Xin Huang[3],Zhiyong Wang[2],Guoxi Xie[3],Ci He[1]

1. Affiliated Qingyuan Hospital,Guangzhou Medical University,Qingyuan People's Hospital
2. School of Materials Science and Engineering, Sun Yat-sen University
3. School of Biomedical Engineering, Guangzhou Medical University

Triple negative breast cancer (TNBC) exhibits high incidence and mortality rates. We prepared a intelligent nanosystem consisting of Pluronic F127, manganese chloride (MnCl2), and IR780 dye, which effectively inhibited the growth, recurrence, and metastasis of TNBC with good biocompatibility.

Key Words: Triple-negative breast cancer; immunotherapy; STING pathway; magnetic resonance imaging; near-infrared II imaging

ID ID 4193

As4S4 Nanoparticles Promote Effective Terminal Erythropoiesis in Bone Marrow Mononuclear Cells From Patients With Myelodysplastic Syndromes

Tao Wang[1],Weiqi Zhang[1],Jie Meng[1],Jian Liu[1],Tao Wen[1],Bing Han[2],Haiyan Xu[1]

1. Institute of Basic Medical Sciences, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College
2. Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College

Therapeutic choice for refractory anemia arising from ineffective erythropoiesis in myelodysplastic syndromes (MDS) has long remained an unmet demand. In this work, we revealed a novel function of As4S4 nanoparticles with a hydrophilic polymeric coating (ee-As4S4) to promote terminal erythropoiesis in the bone marrow mononuclear cells (BMMNCs) of MDS patients with different subtypes. We showed that ee-As4S4 effectively boosted the mRNA and protein levels of globins, increased the expression of the erythroid differentiation marker CD235a and the proportion of the CD235a+ subpopulation, and reduced the cellular volume of CD235a+ cells. Mechanistic studies demonstrated that ee-As4S4 was able to trigger the phosphorylation of eukaryotic translation initiation factor 2α (eIF2α), consequently leading to the increase of globins in mRNA and protein levels, as well as inducing the formation of stress granules (SGs) that caused the segregation and inactivation of eIF4E and inhibited the synthesis of general protein in the BMMNCs. Besides, ee-As4S4 mitigated the oxidative stress in BMMNCs by eliminating intracellular reactive oxygen species. All mechanisms together contributed to the effective differentiation of erythroblasts of early and terminal stages. Therefore, ee-As4S4 hold significant potentials for the treatment of refractory anemia that arises from ineffective erythropoiesis.

Key Words: As4S4; Nanoparticles; Erythropoiesis; Myelodysplastic syndromes

ID 87

血脑屏障-脑类器官芯片模拟内源性神经炎症诱导的屏障功能障碍

朱黎黎、赵稳、陈璞
武汉大学

血脑屏障（BBB）通过严格控制脑实质和血液之间的分子交换来维持中枢神经系统（CNS）的稳态，BBB功能障碍与多种神经退行性疾病密切相关。然而，现有的体外BBB模型缺乏脑实质组织，且难以真实地模拟脑实质与BBB在神经生理和病理状态下的复杂相互作用。本文描述了一种血脑屏障-脑类器官芯片（BBOC）模型，其在体外显著增强BBB功能，并重现神经炎症介导的BBB功能障碍，包括紧密连接蛋白表达降低、屏障通透性增加和屏障完整性受损等，为脑实质调节BBB功能提供了证据。我们期望BBOC模型通过同时评估BBB的可转运性、脑实质毒性和疗效来促进神经系统疾病的药物开发。

关键字：大脑类器官芯片；微流控板；神经炎症；血脑屏障功能障碍；神经退行性疾病

ID 390

高性能水凝胶包封工程化外泌体调控内质网稳态促糖尿病骨再生

刘玉兰[1,2]、林思涵[1,2]、周名亮[1,2]、蒋欣泉[1,2]
1. 上海交通大学口腔医学院
2. 上海交通大学医学院附属第九人民医院

背景：糖尿病骨缺损为临床上难愈性骨缺损之一。内质网是决定细胞功能发挥的关键细胞器，前期研究发现内质网在高血糖环境处于过度应激和功能失调的状态，导致骨形成受到抑制。

目的：本研究旨在构建一种新型的工程化外泌体/高性能水凝胶治疗体系，用于调控内质网稳态，加速糖尿病骨再生进程。

方法：采用组织学染色、免疫荧光等技术研究内质网稳态失调与骨再生障碍的关系，以成骨诱导分化效果为指导优选小分子Sep的合适作用浓度调控内质网稳态，使用间歇式超声技术构建载Sep工程化外泌体，并通过TEM、DLS、WB等技术对其进行表征，使用EdU染色、流式细胞术、RT-PCR、WB和免疫荧光等方法研究工程化外泌体的治疗效应及相关机制；利用多功能动态可逆交联键的引入构建高性能水凝胶，通过NMR、FTIR、SEM、流变实验和力学测试等方法对其进行表征，最终在糖尿病大鼠股骨缺损模型上评估工程化外泌体/高性能水凝胶治疗体系的促体内骨再生效应。

结果：高血糖微环境下成骨分化障碍伴随内质网稳态失调相关基因蛋白高表达，小分子Sep可有效调控内质网稳态促进细胞成骨分化。所构建的载Sep工程化外泌体可促进细胞活性，减少细胞凋亡，恢复内质网稳态，有利于干细胞成骨向

分化。机制上，外泌体可向受体细胞传递SHP2，激活线粒体自噬，改善线粒体质量，减少细胞ROS的产生，与Sep协同维护内质网稳态。敲除SHP2的外泌体表现出受损的治疗效应。此外，成功合成了高性能水凝胶，具有可注射、自愈合、生物粘附和外泌体结合特性等多重功能。将工程化外泌体/高性能水凝胶治疗体系应用于糖尿病大鼠骨缺损模型，有效维护了内质网稳态并显著促进了新骨的形成。

结论：内质网稳态与细胞成骨分化密切相关，工程化外泌体可通过维护内质网稳态来改善干细胞功能。基于此制备的工程化外泌体/高性能水凝胶治疗体系植入糖尿病骨缺损后取得了显著的促骨再生效应。

关键字：糖尿病骨再生，工程化外泌体，内质网稳态，功能化水凝胶

ID 484

Epithelialized Chimeric Repairing Patch Supports in-situ Healing of Tracheal Fistula

Xingqi Song,Dong Lei,Yixin Zhang,Guangdong Zhou
Ninth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine

Objective: Tracheal fistula (TF) is a severe thoracic and respiratory disease, characterized by rapid progression and high mortality rates. Current treatment methods involve surgical closure and stent support, both of which come with significant treatment risks and pose great challenges in re-epithelialization. This study introduces a chimeric repairing patch (CRP) with a double-disc structure, developed using a double-crosslinked silk fibroin (SF) network for TF repair. The CRP showed promising therapeutic effects in a rabbit TF model, effectively sealing the defect and promoting organized tissue regeneration in the affected area. To tackle the challenge of re-epithelialization, a tissue-engineered Epithelialized-CRP (E-CRP) was created, significantly improving in-situ re-epithelialization. By combining clinical CT reconstruction and endobronchial technology, minimally invasive interventional repair for different types of TF becomes feasible. Thus, the E-CRP emerges as a potential optimal stent for TF treatment, with substantial clinical transformative possibilities.

Methods: 1. We developed a chimeric repair patch (CRP) with a double-disc structure, based on SF physicochemical double cross-linking network.

2. CRP was utilized for in situ closure of TFs, with traditional surgical sutures used as a control. The repair effectiveness was assessed using imaging and histological methods at 3 weeks and 6 weeks post-repair.

3. To address the re-epithelialization issue, airway basal cells were isolated, expanded in vitro, loaded onto the surface of CRP, and induced to differentiate in an air-liquid interface system (ALIS) to create tissue-engineered epithelialized-CRP (E-CRP) with artificial mucosal epithelium.

4. We used E-CRP for in situ closure of TFs, and the re-epithelialization of the defect was subsequently evaluated after 6 weeks.

5. A custom-made CRP, tailored for different fistulas using CT and endoscopic technology, enabled minimally invasive and efficient repair through endoscopic closure of the defect.

Results: 1.The physical and chemical double crosslinked SF network design enables CRP to possess excellent physicochemical properties, such as suitable multi-stage microporous structure, good hydrophilicity, mechanical rigidity in dry state and super elasticity in wet state.

2.Compared with conventional surgery, CRP repair at 3 weeks has shown significant improvement in survival rate, degree of tracheal stenosis, prevention of infection, infiltration of regenerated tissue, degree of epithelization, and tissue vascularization.

3. CRP repair after 6 weeks can well solve the problem of inadequate degradation of CRP, low degree of epithelialization and epithelial redifferentiation at 3 weeks.

4. We constructed a re-epithelialized embedded repair sheet (E-CRP) by using tissue engineering method to reconstruct the mucosal epithelium of CRP in vitro. The structure, characteristic protein and specific gene expression of E-CRP were systematically validated.

5. E-CRP was used in rabbit TF repair. PCK and FoxJ1 staining demonstrated that E-CRP successfully solved the problem of re-epithelialization during the repair of TF.

6. Combined with clinical CT three-dimensional imaging and tracheal endoscopy technology, by preparing the corresponding geometric mold to produce a custom-made CRP suitable for various types of fistulas, the purpose of minimally invasive and efficient repair can be achieved after the construction of artificial epithelium and endoscopic closure of fistulas.

Conclusion: In addressing the significant clinical issue of TF, traditional surgery comes with considerable trauma and a high risk of complications, such as infection, edema, and fibrosis. The currently utilized stents exhibit a low occlusion rate, are non-degradable, challenging for tissue regeneration and re-epithelialization, and carry risks like inflammation and rejection. We have designed and synthesized a double-disc patch CRP based on a double-crosslinked SF network, showcasing an organized multi-level structure with outstanding elasticity, hydrophilicity, biocompatibility, and biodegradability. These properties equip CRP to effectively seal TF, offer adequate mechanical support, and facilitate orderly tissue regeneration in situ. In addition, CRP also demonstrates excellent hemostatic effects, highlighting a promising area for future research. To address the challenge of re-epithelialization, we successfully reconstructed mucosal epithelium in vitro using tissue-engineering techniques, resulting in the development of E-CRP that significantly enhanced the airway re-epithelialization process compared to cell-free CRP. To our knowledge, CRP is the first biodegradable double-disc patch to be used in studies related to TF treatment, and it is for the first time that the tissue-engineered E-CRP with reconstructed mucosal epithelium demonstrated significant promotion of the re-epithelization process in TF repair. By integrating CT 3D modeling and bronchoscopic techniques, customized CRP tailored for different types of TFs can be achieved, allowing for minimally invasive and efficient TF closure post artificial epithelium reconstruction.

Key Words: tracheal fistula, silk fibroin, tissue engineering, airway epithelium reconstruction, air-liquid interface system

ID 624

Acceleration of Wound Healing by Composite Small Intestinal Submucosa Hydrogels through Immunomodulation

Qing-Yi Zhang,Jie Tan,Hui-Qi Xie
West China Hospital, Sichuan University

Objective: Wound healing is a critical process in maintaining the integrity and function of the skin, the largest organ in the human body. However, healing disorders and complications can arise when skin wounds exceed the tissue's self-repair capacity, leading to significant healthcare and socioeconomic burdens globally. Current treatment approaches have a cure rate of less than 40%, often resulting in deformities and functional disturbances due to fibrosis and scar hyperplasia. Therefore, developing novel methods to restore the structural and functional integrity of the skin effectively and promptly is paramount. Hydrogels, particularly those derived from small intestinal submucosa (SIS), have shown potential due to their biocompatibility and bioactivity. However, the intrinsic lack of sufficient immunomodulatory activities has limited their application. This study aims to enhance the therapeutic efficacy of SIS hydrogel by supplementing it with tannic acid (TA) and interleukin-10 (IL-10), thereby improving its immunomodulatory properties and accelerating wound healing.

Methods: Primary human urine-derived stem cells (hUSCs) were isolated from urine samples of healthy adult donors and cultured in a modified complete medium. The cells were transfected with the basic fibroblast growth factor (bFGF) gene using lentiviral vectors to enhance their chondrogenic differentiation capacity. The small intestine submucosa (SIS) was processed by mechanical scraping, enzymatic digestion, and lyophilization to create a thermosensitive hydrogel. Biocom-

patibility was evaluated using cell viability assays, live/dead staining, and scanning electron microscopy (SEM). The immunomodulatory properties were assessed by analyzing macrophage polarization using immunofluorescence, western blotting, and flow cytometry. For in vivo evaluation, a rat model of TBI injury was employed. The Achilles tendon was detached, and a bone tunnel was created in the calcaneus. The hydrogel, with and without hUSCs-bFGF, was injected into the injury site. The healing process was monitored through histological (H&E, Safranin O-Fast Green) and biomechanical analyses.

Results: The composite SIS hydrogel demonstrated improved swelling and anti-degradation properties, free radical scavenging capability, and sustained IL-10 release. SEM revealed a highly porous structure with no significant difference in porosity compared to the pristine SIS hydrogel. Live/dead staining and SEM confirmed optimal cell survival and morphology, with no cytotoxic effects observed. The addition of TA and IL-10 significantly enhanced the immunomodulatory properties of the SIS hydrogel, promoting the polarization of macrophages towards the M2c phenotype, which is associated with anti-inflammatory and tissue remodeling activities. qPCR and immunofluorescence results showed a significant downregulation of pro-inflammatory markers (iNOS, IL-1β, IL-6, TNF-α) and upregulation of anti-inflammatory and tissue repair markers (IL-10, CD163, CD206, MERTK).

Conditioned medium assays demonstrated that the composite hydrogel modulated fibroblast behavior, enhancing proliferation, migration, and collagen synthesis while reducing scar-associated markers. Tube formation assays indicated that the composite hydrogel promoted angiogenesis, further supporting its potential for wound healing. In vivo, the composite hydrogel significantly accelerated wound closure, reduced scar hyperplasia, and promoted the formation of a functional vasculature. Histological analyses revealed improved granulation tissue formation, re-epithelialization, and ECM remodeling in the composite hydrogel-treated groups. Immunohistochemical staining confirmed reduced inflammatory response, enhanced M2c macrophage polarization, and regulated collagen deposition.

Conclusion: The study presents a novel composite SIS hydrogel supplemented with TA and IL-10, which significantly enhances the immunomodulatory properties, leading to accelerated wound healing and reduced scar formation. The composite hydrogel not only preserves the thermosensitivity, injectability, and microstructure of the pristine SIS hydrogel but also exhibits improved swelling, anti-degradation, and sustained IL-10 release properties. In vitro and in vivo experiments demonstrate the hydrogel's excellent biocompatibility, anti-oxidative, and immunomodulatory abilities, promoting M2c macrophage polarization, regulating fibroblast behavior, and supporting angiogenesis. These findings suggest that the composite SIS hydrogel could be a promising wound dressing material with expanded clinical applications, providing an effective strategy for functional skin repair and regeneration while mitigating fibrosis and scar hyperplasia.

Key Words: Immunomodulation, Small Intestinal Submucosa, Hydrogel, Tannic Acid, Interleukin-10

ID 633

Exosomes from Hypoxic Urine-derived Stem Cells Facilitate Healing of Diabetic Wound by Targeting SERPINE1 through miR-486-5p

Minghui Fan,Huiqi Xie
四川大学

Vascular pathologies and injuries are important factors for the delayed wound healing in diabetes. Previous studies have demonstrated that hypoxic environments could induce formation of new blood vessels by regulating intercellular communication and cellular behaviors. In this study, we have enhanced the angiogenic potential of exosomes by subjecting urine-derived stem cells (USCs) to hypoxic preconditioning. To prolong the retention of exosomes at the wound site, we have also engineered a novel dECM hydrogel termed SISMA, which was modified from porcine small intestinal submucosa (SIS). For its rapid and controllable gelation kinetics, excellent biocompatibility, and exosome release capability, the SISMA hydrogel has proven to be a reliable delivery vehicle for exosomes. The hypoxia-induced exosomes-loaded hydrogel has

promoted endothelial cell proliferation, migration, and tube formation. More importantly, as evidenced by significant in vivo vascular regeneration in the early stages post-injury, it has facilitated tissue repair. This may because miR-486-5p in H-exo inhibit SERPINE1 activity in endothelial cell. Additionally, miRNA sequencing analysis suggested that the underlying mechanism for enhanced angiogenesis may be associated with the activation of classical HIF-1α signaling pathway. In summary, our study has presented a novel non-invasive, cell-free therapeutic approach for accelerating diabetes wound healing and development of a practical and efficient exosomes delivery platform.

Key Words: Hypoxic, Exosome, miR-486-5p, SERPINE1, Angiogenesis, Diabetic Wound

ID 1056

Durable Immunomodulatory Hierarchical Patch for Rotator Cuff Repairing

Liren Wang[1],Tonghe Zhu[2],Jinzhong Zhao[1]

1. Shanghai Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine

2. Shanghai University of Engineering Science

Degradable shoulder cuff patches, followed over five years, have been observed to exhibit high re-tear rates exceeding 50%, which is attributed to the inability of degradable polymers alone to restore the post-rotator cuff tear (RCT) inflammatory niche. Herein, poly(ester-ferulic acid-urethane)urea (PEFUU) was developed, featuring prolonged anti-inflammatory functionality, achieved by the integration of ferulic acid (FA) into the polyurethane repeating units. PEFUU stably releases FA in vitro, reversing the inflammatory niche produced by M1 macrophages and restoring the directed differentiation of stem cells. Utilizing PEFUU, hierarchical composite nanofiber patch (HCNP) was fabricated, simulating the natural microstructure of the tendon-to-bone interface with an aligned-random alignment. The incorporation of enzymatic hydrolysate derived from decellularized Wharton jelly tissue into the random layer could further enhance cartilage regeneration at the tendon-to-bone interface. Via rat RCT repairing model, HCNP possessing prolonged anti-inflammatory properties uniquely facilitated physiological healing at the tendon-to-bone interface's microstructure. The alignment of fibers was restored, and histologically, the characteristic tripartite distribution of collagen I – collagen II - collagen I was achieved. This study offers a universal approach to the functionalization of degradable polymers and provides a foundational reference for their future applications in promoting the in vivo regeneration of various tissues.

Key Words: tendon-to-bone interface, inflammation, functional regeneration, bioactive polymer, bulk modification

ID 2114

可抑制TNF-α 的SM蛋白用于关节炎和心肌梗塞治疗的研究

郑伟伟[1]、周同[1]、张宇翔[2,3,4]、丁洁[1]、解洁奇[1]、王淑琴[1]、
王昭懿[1]、汪凯[1]、沈励胤[1]、朱旸[1]、高长有[1,4,5]
1. 浙江大学
2. 浙江大学医学院附属邵逸夫医院
3. 浙江大学医学院浙江省组织工程与再生医学重点实验室
4. 浙江大学李达三•叶耀珍干细胞与再生医学研究中心
5. 浙江大学绍兴研究院

肿瘤坏死因子（TNF-α）是一种主要的促炎细胞因子，是慢性炎症疾病中炎症的关键调节因素。TNF-α抗体成本高，且具有免疫原性。尽管小分子和多肽等TNF-α拮抗剂正在开发中，但仅结合TNF-α很难实现对TNF-α的抑制。受α2-巨球蛋白的启发，设计了简化的α2-巨球蛋白（SM）作为一种新型的TNF-α抑制剂来抑制炎症反应。利用合成生物学技术，将TNF-α靶向肽与来自α2-巨球蛋白的受体结合域（RBD）融合来制备SM。SM可以有效结合TNF-α并抑制其生物活性。SM可以促进TNF-α进入巨噬细胞溶酶体。在LPS/IFNγ的刺激下，SM也能缓解巨噬细胞的炎症反应。将SM用于炎症损伤疾病治疗中，取得了与英夫利西单抗相当的治疗效果，在骨关节炎（OA）中显示出缓解炎症反应、改善软骨退化的作用，在心肌梗塞（MI）中显示出减轻心肌炎症损伤、保留心肌功能的作用。这些结果表明，SM通过捕获-内化机制中发挥对TNF-α的抑制作用，可能成为TNF-α抗体的替代性药物。

关键字： TNF-α拮抗剂，内化，α2-巨球蛋白，炎症反应，组织修复

ID 2441

跨类器官共分化芯片构建心脑发育互作模型

黄雪梅、赵稳、陈涛、陈璞
武汉大学

人类器官发育过程中普遍存在跨器官的信号互作，这对于器官的发育和成熟至关重要。器官间互作的失调将导致发育疾病的发生。现有的人源体外模型如类器官、器官芯片难以重塑器官发育过程中的复杂动态互作过程，因此，限制了我们对于互作机制和调控方法的研究。在本文中，我们设计了一款跨类器官共分化芯片。该芯片能够支持原位形成多能干细胞小体，并调控多能干细胞小体两端分别向两个器官命运同步分化。利用该芯片技术，我们共分化了获得了相互连接的心脏-大脑复合体。该心-脑复合体具有心脏和大脑特异性的细胞类型，特征微结构如神经花环、心肌节。此外，心脏侧展示出与ECG信号高度类似的场电位。神经环路逆行示踪进一步显示神经侧和心肌侧具有环路连接，并暗示存在神经肌肉接头。总之，该研究为研究发育过程中的神经和心肌动态互作提供了高仿真的研究模型。同时，我们认为跨类器官共分化芯片为构建多器官互作模型提供了新的技术路径。

关键字： 多能干细胞；跨类器官共分化芯片；微流控孔板；心脑发育模型

ID 2597

Construction of Multifunctional Hydrogel With Metal-polyphenol Capsules for Infected Full-thickness Skin Wound Healing

Nanbo Liu[1,6],Shuoji Zhu[1,3,6],Yuzhi Deng[1,4,6],Ming Xie[1,6],Mingyi Zhao[1,6],Tucheng Sun[1,6],Changjiang Yu[1,6],Ying Zhong[4],Rui Guo[5],Keluo Cheng[4],Dehua Chang[2],Ping Zhu[1,4,6]

1. 广东省人民医院

2. University of Tokyo Hospital Department of Cell Therapy in Regenerative Medicine

3. University of Tokyo

4. Affiliated Hospital of Guangdong Medical University

5. Key Laboratory of Biomaterials of Guangdong Higher Education Institutes, Guangdong Provincial Engineering and Technological Research Centre for Drug Carrier Development, Department of Biomedical Engineering

6. Guangdong Provincial Key Laboratory of Pathogenesis, Targeted Prevention and Treatment of Heart Disease, Guangzhou Key Laboratory of Pathogenesis, Targeted Prevention and Treatment of Heart Disease

Damaged skin cannot prevent harmful bacteria from invading tissues, causing infected wounds or even severe tissue damage. In this study, we developed a controlled-release antibacterial composite hydrogel system that can promote wound angiogenesis and inhibit inflammation by sustained releasing Cu-Epigallocatechin-3-gallate (Cu_x0002_EGCG) nano-capsules. The prepared SilMA/HAMA/Cu-EGCG hydrogel showed an obvious inhibitory effect on Escherichia coli (E. coli) and Staphylococcus aureus (S. aureus). It could also promote the proliferation and migration of L929 fibroblasts. In vivo full-thickness infected wound healing experiments confirmed the angio_x0002_genesis and inflammation regulating effect. Accelerate collagen deposition and wound healing speed were also observed in the SilMA/HAMA/Cu-EGCG hydrogel treated group. The findings of this study show the great po_x0002_tential of this controlled-release antibacterial composite hydrogel in the application of chronic wound healing.

Key Words: Metal polyphenol network/Copper/Epigallocatechin-3-gallate/Infected wound healing

ID 2724

生物型人工血管的研发、转化与临床应用

王恺[1,5]、程曲汉[1]、智登科[1,5]、许鹏赟[5]、王玉柱[2]、王沛[3]、赵渝[4]、孔德领[1,5]

1. 南开大学生物活性材料教育部重点实验室，生命科学学院，天津

2. 北京大学第三医院海淀院区，北京市海淀医院肾内科，北京

3. 郑州大学第一附属医院肾内科，郑州

4. 重庆医科大学附属第一医院血管外科，重庆

5. 领博生物科技（杭州）有限公司，杭州

目的：传统人工血管产品由涤纶、膨体聚四氟乙烯（ePTFE）等不可降解聚合物加工而成，缺乏生物活性，不能作为小口径（＜6mm）人工血管用于心脏搭桥、膝下动脉替换等治疗。直径6mm的ePTFE人工血管在血液透析通路建立临床应用中存在凝血、狭窄、易感染和不再生等问题。因此，迫切需求研发新型可再生的小口径人工血管产品。

方法：建立了基于皮下埋植聚合物骨架构建生物型人工血管的制造技术。首先制备聚合物纤维骨架，然后植入动物皮下数周后取出，进行脱细胞处理，最终获得聚合物纤骨架与细胞基质有机整合的生物型人工血管，开展了犬颈动脉植入、犬股动静脉造瘘和羊颈动脉植入等验证实验研究。在领博生物科技（杭州）有限实施转化，实现了批量生产，完

成了临床前检验和大动物有效性实验。在获得医院伦理批件后，首先实施了20例晚期肾病患者血液透析血管通路First-in-Man（FIM）临床试验，随后启动了前瞻性、多中心、随机对照注册临床试验，对照产品为ePTFE人工血管。

结果：生物型人工血管经国家药品监督管理局济南医疗器械质量监督检验中心检验，获得产品型检及各项生物学检测，委托第三方进行了犬股动静脉造瘘实验，血管的耐穿刺和止血性能良好，无感染，再生性和通畅性良好，各项指标显著优于对照产品ePTFE人工血管。在血液透析血管通路建立FIM临床试验使用口径6 mm、长度40 cm的生物型人工血管，6个月临床试验统计报告显示，生物型人工血管无吻合口出血与破裂、无感染、无假性动脉瘤、首次穿刺透析时间为18天、次级通畅率达100%。通过与文献报道的临床数据对比，各项指标优于商业化ePTFE人工血管。在大动物实验中，口径4 mm人工血管植入犬颈动脉，1年通畅率100%，血管收缩与舒张功能达到天然血管的70%。口径3.8 mm人工血管用于猪冠脉搭桥，3个月后血管保持通畅，血管内皮和平滑肌再生良好。截止2024年7月底，20例FIM临床试验观察时间均超过17个月，注册临床试验已经完成约60例入组，未发生与植入血管相关的不良事件，可进行正常穿刺透析治疗。

结论：聚合物纤维和细胞外基质构成的生物型人工血管兼具良好的力学性能和组织再生活性，证明了基于动物皮下埋植的体内组织工程构建技术的有效性和可行性，作为一个共性平台技术，可推广到多种组织再生产品的生产。

关键字：体内组织工程，人工血管，细胞外基质，血液透析血管通路

ID 3024

Maturation of Induced Pluripotent Stem Cell-derived Cardiomyocytes and Tts Therapeutic Effect on Myocardial Infarction in Mouse

Peng Wu[1,2],Xiyalatu Sai[1,2],Zhetao Li[1,2],Xing Ye[1,2],Li Jin[4],Guihuan Liu[5],Ge Li[2,3],Pingzhen Yang[4],Mingyi Zhao[2,3],Shuoji Zhu[2,3],Nanbo Liu[2,3],Ping Zhu[1,2,3]

1. Guangdong Provincial People's Hospital
2. Department of Cardiac Surgery, Guangdong Cardiovascular Institute, Guangdong Provincial People's Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences
3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Pathogenesis, Targeted Prevention and Treatment of Heart Disease
4. Zhujiang Hospital, Southern Medical University
5. Guangdong Cardiovascular Institute, Guangdong Provincial People's Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences, School of Medicine, South China University of Technology

Induced pluripotent stem cell-derived cardiomyocytes (iPSC-CMs) have an irreplaceable role in the treatment of myocardial infarction (MI), which can be injected into the transplanted area with new cardiomyocytes (Cardiomyocytes, CMs), and improve myocardial function. However, the immaturity of the structure and function of iPSC-CMs is the main bottleneck at present. Since collagen participates in the formation of extracellular matrix (ECM), we synthesized nano colloidal gelatin (Gel) with collagen as the main component, and confirmed that the biomaterial has good biocompatibility and is suitable for cellular in vitro growth. Subsequently, we combined the PI3K/AKT/mTOR pathway inhibitor BEZ-235 with Gel and found that the two combined increased the sarcomere length and action potential amplitude (APA) of iPSC-CMs, and improved the Ca2+ processing ability, the maturation of mitochondrial morphological structure and metabolic function. Not only that, Gel can also prolong the retention rate of iPSC-CMs in the myocardium and increase the expression of Cx43 and angiogenesis in the transplanted area of mature iPSC-CMs, which also provides a reliable basis for the subsequent treatment of mature iPSC-CMs.

Key Words: Induced pluripotent stem cell Cardiomyocytes Mature Myocardial infarction Treatment

ID 3031

Engineered Heart Emulation: Combining Molten Electrostatic Direct Writing and Microfluidics for Constructing a Cardiomyocytes-on-a-Chip for Drug Screening

Yuhong Wang[1],刘南波[1],朱平[1],姚斌[2]
1. 广东省人民医院（广东省医学科学院）
2. 天津大学

The preclinical evaluation of drug-induced cardiotoxicity is critical for developing novel drug, helping to avoid drug wastage and post-marketing withdrawal. Although human induced pluripotent stem cell-derived cardiomyocytes (iPSC-CMs) and the engineered heart organoid have been used for drug screening and mimicking disease models, they are always limited by the immaturity and lack of functionality of the cardiomyocytes. In this study, we constructed a Cardiomyocytes-on-a-Chip (CoC) that combines micro-grooves (MGs) and circulating mechanical stimulation to recapitulate the well-organized structure and stable beating of myocardial tissue. The phenotypic changes and maturation of CMs cultured on the myocardial chip have been verified and can be used to evaluate the cardiotoxicity and cardioprotective effects of drugs. Taken together, these results underscore the ability of our myocardial microarray platform to accurately reflect clinical behavior, underscoring its potential as a valuable preclinical tool for assessing drug efficacy and cardiotoxicity.

Key Words: iPSC-CMs, Cardiac tissue engineering, Micro-grooves, Mechanical stretching, Microfluidics, Drug Screening

ID 3148

Chondroitin sulfate/silk fibroin hydrogel incorporating graphene oxide quantum dots with photothermal-effect promotes type H vessel-related wound healing

Tanjun Deng,Zhengyu Shen
Department of Dermatology, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine

Chronic wounds with bacterial infection present formidable clinical challenges. In this study, a versatile hydrogel dressing with antibacterial and angiogenic activity composite of silk fibroin (SF), chondroitin sulfate (CS), and graphene oxide quantum dots (GOQDs) is fabricated. GOQDs@SF/CS (GSC) hydrogel is rapidly formed through the enzyme catalytic action of horseradish peroxidase. With the incorporation of GOQDs both gelation speed and mechanical properties have been enhanced, and the photothermal characteristics of GOQDs in GSC hydrogel enabled bacterial killing through photothermal treatment (PTT) at ~51 ˚C. In vitro studies show that the GSC hydrogels demonstrate excellent antibacterial performance and induce type H vessel differentiation of endo-thelial cells via the activated ERK1/2 signaling pathway and upregulated SLIT3 expression. In vivo results show that the hydrogel significantly promotes type H vessels formation, which is related to the collagen deposition, epithelialization and, ultimately, accelerates the regeneration of infected skin defects. Collectively, this multi-functional GSC hydrogel, with dual action of antibacterial efficacy and angiogenesis promotion, emerges as an innovative skin dressing with the potential for advancing in infected wound healing.

Key Words: Wound healing, Chondroitin sulfate, Graphene oxide quantum dots, Type H vessel, Photothermal therapy

ID 3155

Injectable conductive gelatin methacrylate / oxidized dextran hydrogel encapsulating umbilical cord mesenchymal stem cells for myocardial infarction treatment

Shuoji Zhu,Changjiang Yu,Nanbo Liu,Mingyi Zhao,Zerui Chen,Jian Liu,Ge Li,Huanlei Huang,Huiming Guo,Jian Zhuang,Jimei Chen,Tucheng Sun,Ping Zhu

Guangdong Provincial People's Hospital

Umbilical cord mesenchymal stem cells (UCMSCs) transplantation has been proposed as a promising treatment modality for myocardial infarction (MI), but the low retention rate remains a considerable challenge. Injectable natural polymer hydrogels with conductivity ability are highly desirable as cell delivery vehicles to repair infarct myocardium and restore the cardiac function. In this work, we developed a hydrogel system based on gelatin methacrylate (GelMA) and oxidized dextran (ODEX) as cell delivery vehicles for MI. And dopamine could be used as a reductant of graphene oxide (GO) to form reductive GO (rGO). By adjusting the amount of rGO, the conductivity of hydrogels with 0.5 mg/mL rGO concentration (≈ 10-4 S/cm) was similar to that of natural heart tissue. In vitro cell experiments showed that the prepared hydrogels had excellent biocompatibility and cell delivery ability of UCMSCs. More importantly, GelMA-O5/rGO hydrogel could promote UCMSCs growth and proliferation, improve the myocardial differentiation ability of UCMSCs, and up-regulate the expression of cTnI and Cx43. Further in vivo experiments demonstrated that GelMA-O5/rGO/UCMSCs Hydrogel could significantly improve the ejection fraction (EF) of rats (82.8 ± 1.7 % vs 40.5 ± 2.2 %) and significantly reduce myocardial infarct area (7.1 ± 1.0% vs 33.4 ± 1.3%) compared to PBS group, promote the survival of UCMSCs, enhance the expression level of cTnI and Cx43, and decrease the expression level of caspase-3. The findings of this study suggested that the injectable conductive GelMA-O5/rGO hydrogel encapsulating UCMSCs could improve damaged myocardial tissue and reconstruct myocardial function, which will be a promising therapeutic strategy for cardiac repair.

Key Words: GelMA;Oxidized dextran;Conductivity;Stem cell therapy;Myocardial infarction

ID 3213

人源大脑类器官皮质发生芯片模拟寨卡病毒诱导的皮质发育障碍

陈涛[1]、王宇[2]、赵稳[1]、黄雪梅[1]、胡锐[2]、陈璞[1]

1. 武汉大学

2. 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院

胚胎发育过程中，皮质形态发生是人类大脑发育的关键过程，其病理性改变会导致严重的神经发育疾病。然而，现有的体外模型和小鼠模型难以真实模拟人类皮质发生过程，导致对人脑皮质发育疾病的机制认知非常有限。在本研究中，我们设计和制造了一款基于大脑类器官的皮质发生芯片，真实模拟了人类大脑皮质发育过程。与传统脑类器官模型对比，该芯片能够一体化实现从多能干细胞到脑类器官的原位形成和分化，并促进皮质发生。同时，该芯片通过独特的结构设计实现了在动态培养中固定类器官，支持原位时序观察同一脑类器官的皮质形态发生过程，并减少了类器官的核心坏死区域。接着，我们使用寨卡病毒在皮质发生阶段感染大脑类器官。我们发现寨卡病毒感染抑制大脑类器官生长和皮质形态发生，模拟了临床上寨卡病毒感染诱导的小头畸形的神经病理学特征。最后，我们结合单类器官蛋白组学揭示了寨卡病毒感染抑制神经发生和自噬流是小头畸形的重要病理机制。总之，我们相信该新型大脑类器官皮质发生模型将促进人脑皮质发育以及相关神经疾病的基础研究和药物开发。

关键字：大脑类器官芯片；微流控板；皮质发生；寨卡病毒；小头畸形

ID 3237

过表达Dll4骨细胞源性的外泌体通过调节成骨和成血管促进骨折愈合

颜渝婕、王彭涛、张金铸、肖梦婷、涂小林、李贤
重庆医科大学

目的：本研究旨在探讨来源于过表达Delta-like-4（Dll4）骨细胞的外泌体（Dll4-Exos）在骨折愈合中的作用机制。研究重点在于Dll4-Exos如何通过调节成骨与成血管过程，促进骨折修复。

方法：我们提取了过表达Dll4和绿色荧光蛋白（GFP）骨细胞源性的外泌体，分别命名为Dll4-Exos和GFP-Exos。在体外实验中，将外泌体与骨髓间充质干细胞（BMSCs）或人脐静脉内皮细胞（HUVECs）共培养，分别评估其对成骨分化和血管生成的影响；在体内实验中，将外泌体注射到小鼠胫骨骨折模型中，通过X射线成像和组织学分析评估骨折愈合效果。

结果：在体外实验中，Dll4-Exos显著促进了BMSCs增殖、成骨分化及矿化，同时促进了HUVECs迁移和血管生成；体内实验结果显示，与GFP-Exos和空白对照组相比，Dll4-Exos处理组在骨折部位的骨重塑和血管生成显著增强。

结论：Dll4-Exos通过激活Notch信号通路显著促进了骨折愈合过程中的成骨和成血管。这些结果为利用骨细胞来源的外泌体作为骨折修复的潜在治疗方法提供了新的视角和科学依据。

关键字：外泌体；骨细胞Dll4；成骨；成血管；骨折愈合

ID 3309

负载脐带间充质干细胞外泌体的可注射水凝胶治疗颞下颌关节骨关节炎

杨志华[1]、张诗颖[2]、陈华儿[1]、王冬赟[3]、张杨[2]
1. 深圳大学生物医学工程学院
2. 深圳大学口腔医学院
3. 北京大学深圳医院口腔医学中心

颞下颌关节骨关节炎（TMJOA）是一种以滑膜炎和进行性软骨破坏为特征的常见退行性疾病。由于解剖结构复杂、手术风险高，颞下颌关节炎是目前临床治疗最为困难的关节疾病之一。近年来，外泌体疗法在关节炎治疗领域表现出巨大潜力，由于现有关于外泌体治疗TMJOA的相关研究较少，且存在外泌体在体内留存时间较短以及调控机理不明确等问题，严重制约了外泌体在TMJOA治疗中的转化应用。基于上述问题，此研究创新性的提出使用负载脐带干细胞外泌体的可注射明胶纳米颗粒（GNP-EVs）水凝胶治疗TMJOA，可实现外泌体的长期缓释与局部治疗剂量维持。在体外实验中，外泌体可以显著促进髁突软骨细胞增殖迁移，促进巨噬细胞M2极化。在大鼠TMJOA动物模型中，关节内注射GNP-EVs可促进软骨基质的合成并缓解软骨下骨的骨质流失。综上所述，GNP-EVs复合材料为颞下颌关节骨关节炎提供了一种新型的治疗方法，具有很大的临床应用潜力。

关键字：脐带间充质干细胞；外泌体；可注射水凝胶；颞下颌关节骨关节炎

ID 3444

快速制备复合天然猪真皮aECM的仿生PLGA微球用于骨再生

周小松、郭敏、王宗良、王宇、章培标
中国科学院长春应用化学研究所

脱细胞基质(acellular matrix，aECM)涂层生物活性微球在骨组织工程中受到广泛关注。本研究利用电流体喷射方法，将天然猪真皮aECM与聚乳酸-羟基乙酸共聚物(PLGA)共混的悬液，制备出了不同aECM配比、粒径均匀、粒径可控的仿生微球。本文研究了合适的聚合物浓度和制备电压，并通过扫描电镜观察了微球的表面形貌。天狼星红染色观察aECM在微球表面的暴露情况。体外和体内实验评估微球的生物活性和成骨性能。结果表明，PLGA微球的形态和大小对aECM共混影响不大。体外实验表明，aECM含量越高，细胞黏附性能越好。术后4、8周，50aECM/PLGA的BV/TV分别为(47.57±1.14)%、(72.92±2.19%);结果表明，含aecm微球的颅骨愈合效果更好。综上所述，aECM/PLGA复合微球可通过添加aECM提高细胞黏附性能。体内实验证明aECM/PLGA微球有利于骨修复，是一种有前景的骨组织工程材料。

关键字：脱细胞基质（aECM）；电流体喷射，仿生微球；骨组织工程。

ID 3587

模拟骨样微环境的压电支架可控矿化实现内源性骨再生

胥玲玲[1,2]、崔希[2]、李舟[2]
1. 国家纳米科学中心
2. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所

具有平衡的力学、化学和电学性能的有序层次结构是天然骨微环境的基础。受大自然的启发，我们利用有序微纳结构的压电聚左旋乳酸(PLLA)纤维，基于压电催化诱导可控矿化策略，制备了具有骨样微环境的仿生组织工程支架(pcm-PLLA)，其中PLLA介导的压电催化促进了多巴胺的原位聚合，实现纤维表面羟基磷灰石晶体的可控生长，最终形成类骨样的互联孔隙结构。此外，PLLA提供了类似天然骨的压电特性，羟基磷灰石纳米晶体提供了类似骨骼的机械强度和化学环境。支架能够快速募集内源性干细胞，通过超声响应压电信号激活细胞膜钙通道，促进其成骨分化。同时还可以促进巨噬细胞M2极化和血管生成，最终加速大鼠颅骨缺损的骨再生。提出的压电诱导可控矿化策略为开发可实现多模态物理刺激治疗的组织工程支架提供了新的思路。

关键字：压电，可控矿化，仿生，骨修复，生物可降解

ID 4025

Black Phosphorus and E7-Functionalized Sulfonated Polyetheretherketone with Effective Osteogenicity and Antibacterial Activity

Shuning Zhang[1,2],Xiao Wang[1,2],Ai Zhu[2],Lingyan Cao[1,2],Long Xu[3],Junjie Wang[2],Fei Zheng[1,2],Xiangkai Zhang[2],Hongyan Chen[1,2],Xinquan Jiang[1,2],Shuning Zhang

1. Department of Prosthodontics, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, College of Stoma-tology, Shanghai Jiao Tong University

2. National Center for Stomatology, National Clinical Research Center for Oral Diseases, Shanghai Key Laboratory of Stomatology, Shanghai Engineering Research Center of Advanced Dental Technology and Materials

3. Institute of Translational Medicine, Shanghai Jiao Tong University

Given its excellent biological properties and the matching of its elastic modulus with that of human bone tissue, medical polyetheretherketone (PEEK) is considered a desirable candidate for bone-implant materials. However, its poor osseointegrative and antibacterial properties greatly limit its clinical application. To address these concerns, a functional PEEK implant is urgently needed. Herein, a novel photo-responsive multifunctional PEEK-based implant material (sPEEK/BP/E7) with both effective osteogenesis and good disinfection properties was constructed via the self-assembly of black phosphorus (BP) nanosheets, mussel-inspired polydopamine (PDA), and bioactive short peptide E7 on sulfonated PEEK (sPEEK). The versatile micro-/nano-structured PEEK surface provides superior hydrophilicity, a favorable osteogenic microenvironment, and excellent photothermal effects under near-infrared (NIR) irradiation. The in vitro results showed that sPEEK/BP/E7 displays enhanced cytocompatibility and osteogenicity in terms of cell adhesion, proliferation, alkaline phosphatase (ALP) activity, matrix mineralization, and osteogenesis-related gene expression, superior to those of the sPEEK and sPEEK/BP samples. In addition to osteogenesis, the multifunctional coating exhibited strong antibacterial activity against both Staphylococcus aureus (S. aureus) and Escherichia coli (E. coli). Furthermore, it was confirmed in a rat femoral infection model that sPEEK/BP/E7 effectively resisted infection caused by S. aureus under NIR light irradiation and promoted osseointegration in vivo. Thus, this work presents a facile strategy to realize improvement of the "functional integration" of new polymer bone-implant materials and provide new ideas for their clinical application.

Key Words: Polyetheretherketone, Black phosphorus nanosheets, E7 pep-tides, Stem cell recruitment, Osteogenesis; Antibacterial

ID 330

亚胺培南西司他丁抗生素骨水泥的体外药物释放试验和力学测试

伍爱平、李正南、薛小燕、詹美智、蔡幸健
赣州市人民医院

目的：探讨不同浓度的亚胺培南西司他丁抗生素骨水泥缓释载体的体外释放速率和抑菌效果，以及对骨水泥力学性能的影响，为慢性骨髓炎的临床治疗提供实验依据。

方法：先制备不同浓度的抗生素梯度溶液进行LC-MS检测，分别得出亚胺培南和西司他丁两条标准曲线方程。用亚胺培南西司他丁与骨水泥按质量1：40、4：40、8：40（g:g），制备低、中、高浓度组的缓释载体，进行体外释放试验，分别检测亚胺培南和西司他丁骨水泥在1、3、7、14、21、28、35d的释放速率。低、中、高浓度组的抗生素骨水泥分别对金黄色葡萄球菌、大肠埃希菌、铜绿假单胞菌的抑菌试验，分别在这三种细菌的琼脂药敏平皿中培养，记录1、2、3、4、5、6d的抑菌环直径。另外应用不锈钢模具制成直径6mm、高度12mm圆柱体的骨水泥，检测不同浓度的抗生素骨水泥抗压力学性能。

结果：本实验获得亚胺培南的标准曲线方程Y=0.001X-0.0088(R^2=0.9989)，西司他丁的标准曲线方程Y=0.0026X+0.0281(R^2= 0.9999)。在不同的时间点，亚胺培南西司他丁骨水泥的释放速率，低浓度组＜中浓度组＜高浓度组，具有统计学差异（P＜0.05）。对金黄色葡萄球菌、大肠埃希菌、铜绿假单胞菌的抑菌环直径，低浓度组＜中浓度组＜高浓度组，具有统计学差异（P＜0.05）。随着添加亚胺培南西司他丁的质量越多，骨水泥的抗压强度明显逐渐减小（P＜0.05）。

结论：制备的抗生素骨水泥，随着亚胺培南西司他丁浓度的增加，释放速率更快，抗菌效果更好，但是抗压能力会降低。

关键字：亚胺培南西司他丁；骨水泥；细菌；骨髓炎；压强

ID 1122

基于Tubular-G结构的椎间融合器的设计，制造及研究

李坤、许士奇
承德医学院

目的：在颈椎椎间融合器的长期使用中，常常出现机械故障，融合器下沉，骨整合能力不足等问题。因此，改进和优化融合器来提升融合器性能至关重要。

方法：本文旨在设计一种具有三周期极小曲面Tubular-G结构的颈椎椎间融合器来提高融合器的力学性能与生物相容性。首先对Tubular-G结构进行静态压缩实验并使用有限元方法分析该结构的应力分布。使用3D打印制造具有Tubular-G结

构的颈椎椎间融合器并进行轴向压缩，沉陷实验与生物相容性实验。

结果：结果表明，20%与30%体积率Tubular-G结构具有与人骨相近的力学性能与较为平均的应力分布。20%体积率Tubular-G结构的颈椎椎间融合器在轴向压缩与沉陷实验中的结果优于30%体积率Tubular-G结构的颈椎椎间融合器。二者都具有良好的生物相容性。

结论：Tubular-G结构适合制作骨植入物，以此结构制造的颈椎椎间融合器具有良好的力学性能与生物相容性。表明这种融合器可能是颈椎椎间融合器的有前途的替代品。

关键字：三周期极小曲面，颈椎椎间融合器，3D打印，Tubular-G

ID 1563

Reduced thermal damage with conductive hydrogel in radiofrequency (RF)-induced intestinal fusion

Zhongxin Hu,Lin Mao,Chengli Song

Shanghai Institute for Minimally Invasive Therapy（现代微创医疗器械及技术教育部工程研究中心）

Objective: Radiofrequency (RF)-induced tissue fusion is an innovative method of tissue anastomosis without sutures or staples. However, this technology is challenged by significant thermal damage, which may cause tissue necrosis, severely hindering its clinical application. Here, we reported a feasible approach of using a conductive polyacrylamide-alginate-0.5M Ca2+ (PAAm-Alg-0.5Ca2+) hydrogel during tissue fusion process, aiming to reduce thermal damage to the tissues. Methods: Electrothermal simulations were conducted to compare the fusion temperature and assess thermal damage to tissues. Then, ex-vivo tissue fusion experiments were performed to analyze temperature variations, anastomotic strength and histomorphological characteristics. Results Simulation results indicated that the hydrogel effectively reduced the fusion temperature of about 40 ˚C, and produced less thermal damage to adjacent tissues (14.7%). In addition, the ex-vivo fusion experimental result demonstrated that the fused tissue reached an optimum temperature of about 100 ˚C, and the fusion site exhibited a favorable morphology without tissue carbonization. Furthermore, the fused tissue with the application of hydrogel could endure a burst pressure of 109.03±9.80 mmHg, which was much higher than the normal intestinal pressure (5-50 mmHg). The histomorphological examination also indicated a comparatively integrated structure and a high collagen volume fraction of fused tissues. Conclusion: The hydrogel presented in this study shows promising potential for reducing tissue thermal damage during RF fusion process. Significance: The application of PAAm-Alg-0.5Ca2+ hydrogel in RF-induced tissue fusion appears to be an efficient and secure method of reducing excess thermal damage while maintaining anastomotic strength of tissues.

Key Words: conductive hydrogel, radiofrequency energy, intestinal fusion, thermal damage, anastomotic strength

ID 1766

Towards The Development of a High-Corrosion Resistance Mg Alloy and Osteo/Angio-Genic Activity With Sc-assisted Growth of Passivation film

Zhengguang Wang[1],田耘[1],郑玉峰[2]
1. 北京大学第三医院
2. 北京大学材料学院

Addressing the challenge of balancing the rapid degradation and insufficient bio-regenerative capabilities in biodegradable magnesium (Mg) alloy materials for bone repair is a significant endeavor. In this study, we have successfully developed a novel Mg-4Y-2.25Sc (weight percent) alloy that exhibits exceptional anti-corrosion properties. This achievement is attributed to the synergistic effects of the bioactive alloying element scandium (Sc) and high-temperature oxidation (HTO) treatment, as guided by a thermodynamic calculation system. The performance of this alloy is notably superior to that of the conventional WE43 alloy.

At the microstructure, it is found that a thin and dense protective film of Y2O3/Sc2O3 can be generated with the alloying of Sc. Meanwhile, the introduction of Sc-assisted passivation film and the release of Mg and Sc ions present an effective pro-bone remodeling microenvironment and remarkable promotion of angiogenesis and osteogenesis. In vivo, the results showed that Sc-enhanced Mg alloys were able to maintain effective mechanical properties and promote osseointegration and neovascularisation of the implants during the bone healing cycle.

Taken together, the alloying system design with HTO can be utilized to synergistically modulate the degradation rate of Mg alloys without complex surface modification and high complex RE addition, enhancing bone regeneration for successful implantation.

Key Words: Heat oxidation treatment, thermodynamic calculation system, Corrosion resistance, bone regeneration.

ID 1911

机器人辅助椎弓根螺钉植入术置钉偏差的危险因素分析

叶飏（研究生）、包贝西、程晓康、伍宇轩、唐家广、叶飏
首都医科大学附属北京同仁医院

目的：评估导致机器人辅助椎弓根螺钉置入术偏差的潜在危险因素。机器人辅助椎弓根螺钉固定术的准确性仍存在争议，错位的椎弓根螺钉可能出现并发症，包括结构稳定性降低，神经功能缺损和血管穿孔的风险增加。因此，了解导致辅助椎弓根螺钉置入术不理想的危险因素对于置钉的准确性至关重要。

方法：病例对照研究。纳入首都医科大学附属北京同仁医院骨科2022年5月至2024年4月间132例接受机器人辅助椎弓根螺钉置入术治疗患者的临床资料。研究资料从我院病历系统与影像系统中采集。对机器人辅助椎弓根钉置入位置不理想的潜在危险因素（患者特征和手术因素）进行单因素检验。对于单因素检验中有统计学意义的变量，采用Logistic回归分析来确定螺钉位置不理想的独立危险因素。

结果：一共纳入132例机器人辅助椎弓根螺钉置入术，708颗椎弓根螺钉。男性患者78名，女性患者54名。年龄58.85±13.41岁（26-81岁），BMI25.63±3.46kg/m2，脊柱退行性变60名，脊柱骨折72名，示踪器放置节段以下第一手术节段植入螺钉262颗，示踪器放置节段以下第二手术节段植入螺钉262颗，示踪器放置节段以下第三手术节段植入螺钉184颗。胸椎植入螺钉188颗，腰椎植入螺钉484颗，骶椎植入螺钉36颗。螺钉植入节段与示踪器节段的距离作为独立危险因

素（OR，0.468；95%CI，0.348-0.628；p＜0.001）。

结论：在机器人辅助椎弓根螺钉置入术中，螺钉手术植入节段与示踪器节段的距离是置钉偏差的独立危险因素。

关键字：机器人辅助手术 椎弓根螺钉 微创外科手术 准确性 危险因素

ID 2779

基于双层水凝胶构建细胞尺度基质刚度梯度调控间充质干细胞免疫表型研究

马玉菲
西安交通大学

软—硬组织界面在人体中广泛存在，界面中细胞尺度的基质刚度梯度是细胞经历的重要生物物理信号之一。然而，大多数研究都集中在影响细胞命运的大尺度基质刚度梯度。目前，细胞尺度基质刚度梯度对细胞行为的调控作用，如间充质干细胞（MSC）免疫调节仍有必要进一步研究。本研究以典型的软—硬组织界面，如牙周膜—牙槽骨（PDL-AB）界面为例，研究发现牙周炎大鼠PDL-AB界面的刚度梯度强度（SGS）明显低于健康状态，这主要归因于该界面的矿物含量梯度较低；同时，PDL-AB界面MSCs表现出显著抗炎表型（即MSC2）。为了研究刚度梯度对MSC免疫调节的作用，本研究基于具有不同基质刚度的双层聚丙烯酰胺水凝胶构建了高SGS和低SGS细胞培养平台。结合数学模型，发现低SGS通过降低细胞极化调控MSC2。这可能是由于整合素β1簇和肌球蛋白IIB极化减少，导致H4K16ac定位依赖性染色质开放结构，最终促进TLR3基因表达。本研究建立了MSCs响应PDL-AB界面细胞尺度刚度梯度调控免疫表型的分子机制，也为设计用于界面组织工程和再生医学的生物材料具有重要意义。

关键字：双层水凝胶，细胞极化，免疫调节，软—硬组织界面，刚度梯度

ID 3139

唑啉等离子体聚合物涂层用于骨科植入物表面改性

刘旭杰
广东工业大学

研究背景和目的：骨科植入物相关感染和成骨活性不足是导致植入物失效的主要原因，理想的骨科植入物应同时具备良好的抗菌性与成骨活性。对于骨科植入物的表面改性，应充分关注对抗菌效果或成骨活性的共同影响和协同作用机制。本研究中，将金纳米笼/噁唑啉等离子体聚合物表面用于骨科植入物表面改性。噁唑啉等离子体聚合物提供了独特的表面化学性质，而金纳米笼的引入不仅可以改变表面形貌，还可以赋予表面近红外光热转换效应。所采用的等离子体聚合方法可以在任何基底上沉积无孔、平整的聚合物层，无需对基底进行特殊的表面预处理，因此具有较为显著的临床应用前景。本研究阐明表面性质和光热效应对抗菌和促成骨的协同作用及相关机理；并进一步验证该表面在体内抗菌和促成骨方面的有效性和可行性。相关研究结果可为今后生物材料设计和表面改性提供新思路和理论参考；并为骨科植入物的表面改性提供新方法和基础数据。

方法与结果：利用等离子体聚合制备噁唑啉等离子体聚合物表面(P)，P表面为亲水性表面，生物相容性好，具有一定的抗菌和促成骨分化能力。并将金纳米笼固定在P表面上，得到P-Au表面，利用X射线光电子能谱，原子力显微镜和接

触角测量仪进行表征，结果表明P-Au表面比P表面更粗糙，亲水性更好；并对P-Au表面的光热性能进行了评估，通过调整近红外激光器的照射功率和时间，可以控制P-Au表面的温度，达到45℃以上和40-42℃之间；P-Au表面生物相容性好，利于细胞粘附；在808 nm近红外光照射下，P-Au表面针对普通的金黄色葡萄球菌(S. aureus)和耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)的抗菌率均在98%以上；金纳米笼的修饰提升了P-Au表面的促成骨性能，在施加温和光热作用后，其促成骨性能显著提高，大多数成骨相关因子表达上调。

结论：噁唑啉等离子聚合物表面具有一定的抗菌和促成骨分化性能，进一步固定金纳米笼可通过表面形貌和光热效应的协同作用，提高其抗菌能力和促成骨分化能力。相关研究结果可为等离子体聚合技术用于骨科植入物表面改性提供基础研究数据和理论参考；同时外刺激响应型的设计策略可为骨科植入物表面改性提供新思路。

关键字：聚噁唑啉，等离子体聚合，骨科植入物，抗菌，表面改性

ID 3344

Wnt激活骨细胞来源的外泌体通过增强成骨分化、破骨分化与血管化加速临界骨缺损修复

李贤、刘光亮、王彭涛、颜渝婕、涂小林
重庆医科大学

目的：良好的成骨微环境对于临界骨缺损修复至关重要。前期研究表明，激活骨细胞中Wnt信号有利于成骨。然而，来源于Wnt激活骨细胞的外泌体（DACO-Exos）是否具有这些功能尚不清楚。

方法：在本研究中，DACO-Exos用于研究它们对体外成骨、血管生成和破骨细胞生成的影响。为了优化其体内应用，将装载DACO-Exos的支架应用于小鼠顶骨临界骨缺损模型。

结果：体外研究表明，DACO-Exos通过Wnt/β-catenin信号通路增强骨髓基质细胞（BMSCs）的增殖、成骨分化和矿化，并刺激血管生成和破骨细胞分化；负载DACO-Exos的支架具有良好的生物相容性，植入体内能促进骨再生、血管和破骨生成，进而加速临界骨缺损修复。

结论：本研究为骨再生外泌体靶向治疗的研究和转化应用提供了新的思路和选择。

关键字：外泌体；成骨分化；破骨分化；血管生成；临界骨缺损修复

ID 3877

自供能无导线心内起搏器的研究

刘卓[1]、姚普庆[1]、邓选迪[1]、曲学铖[3]、李舟[2]
1. 北京航空航天大学
2. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所
3. 清华大学

转换心脏运动的生物机械能为电能作为植入式生物电子设备的能量来源具有良好的前景。我们报道了一种基于摩擦电与静电感应耦合效应的无需电池、经导管植入的自供电心内起搏器，用于治疗大型动物模型的心律失常。这种胶囊形状的设备（1.75 g，1.52 cc）可以与介入导管集成，通过静脉途径将装置植入猪的心脏右心室，在三周的随访期内，有效地将心脏运动能转化为电能，并保持良好心内膜起搏功能。我们测量了自供电心内起搏器在体内的开路电压和短路电流分别约为6.0 V和0.2 μA。该工作展示了自供能医疗器械领域的研究进展，有可能克服植入式起搏器及其他生物电子设备在治疗和传感应用中存在的能量短缺问题。

关键字：自供能；心内起搏器；摩擦电效应；植入式生物电子设备

S11
计算×数据×模型驱动医疗范式变革

ID 522

脊髓硬膜外电刺激个性化建模与效果预测

李洪达[1,2]、韦云岳[2]、眭亚楠[2]、张熹[1,2]、罗雪松[1,2]、张博扬[1,2]、马伯志[1,2]
1. 清华大学神经调控国家工程研究中心
2. 清华大学航天航空学院

近年来，脊髓硬膜外电刺激（Epidural Electrical Stimulation, EES）作为一种前沿治疗手段，在脊髓损伤或卒中患者的运动功能恢复中展现了巨大的潜力。由于缺少对不同刺激参数与对应刺激效果之间精确映射关系的认知，如何精准地选择刺激参数以实现特定的运动，是该疗法所面临的重要挑战。在植入了优化后的32触点脊髓硬膜外电极并基于医学影像建立个性化模型后，本研究通过采取数据驱动的方式实现了对EES所诱发的下肢神经-肌肉响应的精准预测（对于大多数肌肉相关性系数R>0.8），并使用额外的数据集验证了本方法的准确性。临床结果表明，本文所提出的多层级计算模型可以作为搜索和推荐有效刺激参数的安全代理。通过将繁杂的临床测试转移到个性化计算模型上，本文提出的方法将大幅度减少医师和患者在参数选择过程中的负担，同时为EES和其他神经调控方法提供建立刺激-结构-功能间映射的新框架。

关键字：脊髓损伤，脊髓硬膜外电刺激，截瘫康复，模型，机器学习

ID 752

基于知识图谱强化学习的多轮临床决策支持方法研究

屠瑞奇[1]、田雨[1]、尚勇[2]、于书欢[1]、任菁菁[3]、李劲松[1,2]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心
3. 浙江大学医学院附属第一医院全科医疗科

现有的临床决策支持方法往往是针对单一过程提供基于既往数据分析的一次性、单点式的决策建议，无法应对持续动态的临床场景。本研究面向多轮临床问诊场景，提出了一种基于知识图谱强化学习的多轮临床决策支持模型。该模型对多轮问诊过程进行马尔可夫决策建模，根据患者当前状态基于知识图谱生成可行的症状询问和临床检查行为，使用REINFORCE强化学习算法引导选择最优的行为策略，在一定轮次的问诊之后，基于患者的已知症状和检查信息给出疾病诊断的最终结果。基于真实电子病历数据的实验结果表明，本研究提出的模型Top1疾病诊断准确率为71.3%，Top3疾病诊断准确率为93.0%，优于没有结合知识图谱的强化学习方法（Top1：65.2%，Top3：81.2%）。本研究的模型能够在多轮临床问诊场景中提供有效的辅助决策建议，为应对多时点、复杂动态的临床决策场景提供了可行的思路。

关键字：强化学习；知识图谱；多轮问诊；自动诊断系统

ID 767

面向临床预测模型的差分隐私患者隐私保护方法研究

邓晴[1]、田雨[1]、赵振淞[1]、柏菀[1]、陆遥[2]、周天舒[2]、李劲松[1,2]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心

不经任何处理直接使用或共享临床预测模型，可能导致训练集患者隐私暴露，例如成员推理攻击能够判断特定患者是否参与模型训练。因此，有必要对模型进行有效保护，以避免可能产生的数据安全问题。本文研究了临床预测模型的安全问题，通过成员推理攻击评估模型的成员信息泄露情况，并利用差分隐私技术扰动模型输出参数，为模型提供隐私保护。实验结果表明，本文构建的住院死亡率预测模型无明显信息泄露，而疾病表型分类模型存在成员信息泄露。在本文测试的最高差分隐私保护水平下，针对疾病表型分类模型的攻击准确率降至0.52，约等于随机猜测，模型效用损失约11%。差分隐私方法能有效防御成员推理攻击，但会给模型带来一定的效用损失，我们在有效保护训练集患者隐私的同时最大程度地保留了模型的预测能力。

关键字：差分隐私；临床预测模型；成员推理攻击

ID 1081

基于“小世界增强”SSPEC技术的应用级导诊大模型

黄子耕[1]、唐文珺[1]、万沛星[1,2]、陈庆宇[3]、龙尔平[1]
1. 中国医学科学院北京协和医学院基础医学研究所
2. 美国国立卫生研究院国家癌症研究所免疫细胞生物学实验室
3. 耶鲁大学医学院生物医学信息学与数据科学部

专业和人文关怀的沟通与引导，是开展一切医疗活动的根基。传统医患沟通模式，因工作量繁重、信息不平称，存在效率低下、冲突频发等诸多问题。现有大模型技术拥有强大的知识编码、文本理解、生成/推理能力，在通用型任务上取得了巨大成功。然而，在医疗等垂直领域，存在缺乏场景特异知识、幻觉等缺陷，难以在真实场景中辅助医务人员，无法真正应用。为了采集原始的医患对话记录，本研究成立了“真实医学对话语料联盟”，建立语音采集-自动文字转化-人工校对的标准化流程。“真实医学对话语料联盟”展示了医患沟通中的难预测、低效率等特点，也为应用级的大模型研发建立了战略级的数据资源壁垒。不同于主流的通用大模型，本研究将整体医疗场景拆分为特定的“小世界”，研发了全景数据采集-知识精炼-算法增强的“小世界增强”SSPEC技术，成功研发了兼具高专业度和共情支持的导诊大模型，并通过预警低质量的生成内容和必要修正，减轻了大语言模型的幻觉。在内部测试中，SSPEC能够更高效率地解决患者的疑问，同时在共情支持得分上显著优于人类导诊（4.12±0.86 vs 3.39±1.21, P < 0.001）。在2185人的前瞻性随机对照试验中，相对于人类专家和现有主流大模型，SSPEC在事实性、安全性、共情能力均展现出明显优势，在真实应用场景中，降低了11.2%的重复沟通和5.4%的医患冲突比例。SSPEC技术不依赖特定的基座大模型，通过特定场景的垂直领域增强，取得了最高级别的循证医学支持性证据，作为医学大模型的示范性落地应用，为加快推进卫生健康现代化提供了新质生产力方案。

关键字：大语言模型；医学人工智能；人机协作；前瞻性随机对照试验；小世界增强

ID 1165

基于大语言模型的临床证据检索分析框架研究

李杜白[1]、李劲松[1,2]、田雨[1]、余华玉[1]、欧阳姝羽[1]、童丹阳[2]、周天舒[2]、
黄康平[3]、姜楠[3]、王迁[3]、田新平[3]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院、电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心，杭州310027
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心，杭州311121
3. 中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院风湿免疫科、国家皮肤与免疫疾病临床医学研究中心（NCRC-DID）、疑难重症及罕见病国家重点实验室、风湿免疫病学教育部重点实验室，北京100730

目的：循证医学是一种利用研究证据来支持临床决策的医学实践方法，医疗工作者根据循证医学的原则与方法能在临床实践中做出科学、合理的决策。然而，实践循证医学存在人力成本高、专业门槛高等困难，极大减缓了临床新发现影响医疗实践的速度。随着大语言模型技术的发展，利用生成式人工智能加速临床证据向临床决策转化将成为循证医学新的发展方向。

方法：本研究根据临床指南制定流程设计了一个基于大语言模型的临床证据检索分析框架，包含问题解构、文献检索、文献筛选和证据评价四个环节，旨在使用大模型在人类专家监督下完成临床指南制定中由问题到证据，由证据到评价的循证链路。

结果：一份由美国风湿病学会（American College of Rheumatology, ACR）发布的临床指南被用作验证数据，OpenAI发布的gpt-4-0613被用作本研究的测试模型。研究发现在使用一定的提示词方法后，大模型在PICO解构任务中人群（Population, P）、干预（Intervention, I）和对照(Comparison, C)三个类别的F1-score分别能达到94.05%、79.96%、82.79%，然而在文献检索任务中，F1-score均未超过10%。

结论：验证实验数据初步反映了大模型能够在简单的设计下完成临床指南的制定环节中的部分任务并取得较好结果。然而，对于更复杂更困难的任务，大模型还需要结合更适用的方法才能达到应用的预期。

关键字：循证医学；临床指南；大语言模型；PICO；文献检索

ID 1811

超声心动图中心包积液的智能检测与测量

吉诺[1]、刘奇[1]、陈梓晴[1]、卓璇[1]、白文娟[2]
1. 四川大学生物医学工程学院
2. 四川大学华西医院

目的：超声心动图使用超声技术捕获心脏和周围结构的高时间和空间分辨率图像，是心血管医学中最常见的成像方式。在心脏超声中除了主要腔室和血管的症状，心包积液（PE）是为最常见的心血管临床表现，是心脏疾病的重要体征之一。传统的心包积液检测需要医师花费大量时间，在超声心动图中手动分割心包积液的位置、计算心包积液的深度，对超声成像的技术和医师经验都提出了较高的要求。本研究以原始超声心动图片段为对象，研究实现一个全自动的心包积液分割测量系统。

方法：研究所提出的系统由四个不同的步骤组成：关键帧选取、数据预处理、自动分割以及最大深度测量。关键帧选取利用心脏的收缩与舒张规律，选择心电图波峰处对应的超声心动图作为研究对象。在医师对研究对象进行专业标注后，数据预处理步骤将首先完成PE的二值掩膜提取，其次利用扇形窗选择去除图像中的冗余数据信息，接着利用数据扩

增方法增加现有数据多样性。然后，利用基于卷积神经网络的nnUNet模型，从超声心动图中完成心包积液的自动分割，并生成二值掩膜。最后，使用计算机视觉技术从分割的掩膜中计算PE的最大宽度。

结果：通过对原始超声心动图的关键帧选取、数据预处理等操作，本研究完成了完备的深度学习前操作，为后续研究提供了信息化的数据储备。在超声心动图自动分割模块中，通过不断修改调整nnUNet的超参数、在编码器中添加注意力机制以及改变loss函数，研究大大改善了基础网络。在所提供的训练案例的5倍交叉验证中，本研究的分割网络表现出了不错的准确性，在对PE进行分割的任务中，内部验证和外部验证分布获得了90.11和85.36的DICE评分。

结论：本研究设计实现了一个基于nnUNet的心包积液自动分割测量系统，这个系统能够利用医师的先验知识，并应用深度学习算法，为超声心动图中心包积液（PE）的测量提供一种标准化和客观的方法，减少对操作人员的依赖并提高准确性，从而帮助医生更好地进行诊断。

关键字：心包积液（PE）；nnUNet；超声心动图；自动分割

ID 2162

An Enhanced Two-branch Automatic Sleep Staging Network Based on ECG Signals

Xuanhao Qi,Hongze Liu,Yi Zhou,Xuanhao Qi
Sun Yat-sen University

Sleep stage classification is fundamental for identifying sleep disorders and evaluating sleep quality. Current methods for sleep stage classification using ECG signals face limitations, including the inability to capture comprehensive physiological information with single time or frequency-domain features and unclear stage transitions. To address these challenges, we propose a two-stream network model that leverages raw ECG signals and two-dimensional images derived from time-frequency transformations. This approach enhances the interpretation of sleep information by integrating features from different modalities. Additionally, we employ a bidirectional long short-term memory neural network (Bi-LSTM) to capture sleep transition dynamics. We evaluated the proposed network using the Sleep Heart Health Study public dataset. The results demonstrate that the proposed method offers a promising automated sleep staging solution, achieving an accuracy of 91%, an MF1 score of 84.2%, and a Cohen Kappa coefficient of 87% for an input duration of 90 seconds.

Key Words: Sleep stage, Bi-LSTM, ECG, Time series.

ID 2599

临床注意力驱动的医疗大模型推理增强方法研究

李配贤[1]、田雨[1]、池胜强[1,2]、周天舒[2]、章琦[3]、梁廷波[3]、李劲松[1,2]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院、电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心，杭州310027
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心，杭州311121
3. 浙江大学医学院附属第一医院肝胆胰外科，杭州310003

大语言模型的兴起为医疗领域的人工智能应用带来了新的推理工具，然而，现有研究普遍遵循“输入-模型-输出”的传统范式，未能彻底破解预测模型所面临的“黑盒子”问题。本研究深入模型内部的注意力机制，旨在提升医疗领域大

型语言模型在诊疗过程中的准确性、透明度以及推理能力。研究提出了一种创新的临床注意力驱动训练方法，通过特定的注意力标识，将临床医生的推理焦点融入模型的注意力层，从而在底层架构上提升了模型对关键临床信息的识别和关注。同时，结合基于临床推理过程的执行反馈训练，确保模型在正确关注关键信息的基础上，自主完成临床推理流程。在浙江大学医学院第一附属医院845名肝细胞癌患者数据集上进行的实验表明，经过训练的Chatglm3-6b模型在预测性能上较原始模型准确率提升了14.45%，且注意力分布模式显著集中于标记区域。研究结论表明，本研究提出的方法显著提升了医疗大模型的临床推理能力及应用性能，为临床决策提供了更为透明和易于解读的智能支持。

关键字：临床注意力；大语言模型；注意力驱动；临床推理增强

ID 2603

基于网络激发表征的医疗大模型临床决策可解释方法研究

姚旭晟[1]、田雨[1]、吴承凯[2]、周天舒[2]、李劲松[1,2]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院、电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心

目的：大模型的发展已经在医疗领域的各个方面产生了深刻的影响，不同于其他领域的大模型应用，黑箱模型的不确定性在医疗领域会带来更为严重的后果，因此本研究深入模型结构内部，提出一种基于网络激发表征的医疗大模型临床决策可解释方法，辅助医疗大模型使用者对生成内容的可靠性做出判断。

方法：通过医学知识图谱实现设置真实临床决策场景中的任务，在医疗大模型处理任务的过程中深入模型内部结构捕捉模型的网络激发表征，进而通过因果追踪和知识定位实验找到模型关键节点，基于关键节点实现面向临床决策场景的解释工具。

结果：基于真实临床决策场景的实验结果表明，目标医疗大模型（Baichuan 2-13B）在结构早期存在关键节点，针对关键节点实现的解释工具对医疗大模型输出结果正确与否的预测准确率达到0.704±0.012。

结论：研究结果在一定程度上证明解释性方法框架的有效性，并且可以预见该实验范式具有很强的拓展性，基于该方法实现的解释工具可以向医疗大模型使用者提示大模型输出的潜在幻觉风险。

关键字：医疗大模型；大模型可解释性；网络激发表征；因果追踪；知识定位

ID 2719

基于大模型医学知识增强的临床决策支持方法研究

于书欢[1]、田雨[1]、尚勇[2]、屠瑞奇[1]、周天舒[2]、辛然[2]、任菁菁[3]、李劲松[1,2]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院、电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心
3. 浙江大学医学院附属第一医院全科医疗科

大语言模型（Large Language Model，LLM）在健康咨询和辅助诊断等医疗场景中已展现出一定的应用潜力。尽管LLM具备出色的泛化能力，能够通过上下文学习的方式快速适应新的任务，但在直接处理专业临床决策问题时，LLM容易产生幻觉，准确性不高。针对此问题，本研究提出一种基于大模型医学知识增强的临床决策支持方法，该方法通过构建就诊

记录图谱，增强对碎片化电子病历数据的理解能力。基于所构建图谱，LLM能高效归纳医生决策时使用的经验性知识，进而在LLM的推理阶段融合与临床实践一致的医学知识，增强大模型完成临床决策支持任务的准确性。本研究采用包含14465名腹部疾病患者的真实世界电子病历数据集进行验证，所提出方法分别将GPT-3.5-Turbo、Qwen-14B-Chat与GLM4-9B-Chat进行影像检查推荐的准确率提高25.11%、142.55%和76.66%。本研究提出的方法能有效提升LLM进行影像检查推荐的准确性，并使其决策结果更加符合临床实践。

关键字：大语言模型；临床决策支持；电子病历；医学影像检查；

ID 3234

类风湿关节炎个性化药物推荐模型研究

欧阳姝羽[1]、田雨[1]、余华玉[1]、李杜白[1]、童丹阳[2]、姜楠[3]、王迁[3]、田新平[3]、李劲松[1,2]

1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心
3. 中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院风湿免疫科，国家皮肤与免疫疾病临床医学研究中心（NCRC-DID），疑难重症及罕见病国家重点实验室，风湿免疫病学教育部重点实验室

类风湿关节炎（Rheumatoid Arthritis，RA）是一种持续进展的系统性自身免疫性疾病，可能导致严重的关节畸形和潜在的致命并发症，且用药治疗后总体缓解率较低。研究提出了基于随机森林的单层和双层药物个性化药物推荐模型，从包含北京协和医院在内的中国多个省份共352家临床医院的类风湿关节炎患者数据中，建立了治疗后缓解达标的4975例患者队列，并采用方差过滤、包裹法中的递归特征消除、基于权重排序的递归特征消除以及嵌入法中的L2正则化四种特征选择方法筛选出37个特征。将常见的一线RA治疗药物中的糖皮质激素、免疫抑制剂、特殊免疫抑制剂和非甾体抗炎药四大类药物中共8个小类作为最终推荐标签。结果表明，我们提出的双层模型在F1、AUC和Jaccard指标上分别达到0.5602、0.7292和0.3892的结果，显著优于单层最优模型。并且TTM双层模型拥有最多的平均正确用药数量，最少的平均错过药物，总体更准确的估计了平均用药总数，推荐效果最好。双层模型通过细化分类颗粒度，有效处理复杂的多标签推荐任务，证明药物间的相互关系在推荐系统中的重要性。该模型有望在个性化药物治疗中辅助用药推荐，具有重要临床意义。

关键字：药物推荐模型；多标签分类；类风湿关节炎；分层模型

ID 3255

基于联邦持续学习的多中心肝细胞癌肿瘤病理微坏死识别方法研究

姚尚[1]、田雨[1]、邓博洋[1]、周天舒[2]、章琦[3]、梁廷波[3]、李劲松[1,2]

1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院、电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心
3. 浙江大学医学院附属第一医院肝胆胰外科

肝细胞癌(HCC)是世界上最常见的癌症之一，在癌症死亡人数中排名第四。肝细胞癌肿瘤病理微坏死和患者预后较差相关，使用深度学习方法识别肝细胞癌数字病理图像中的微坏死现象可以辅助医生进行病理检查。然而，基于单一中心数据构建的深度学习模型往往在多中心环境下表现出较差的泛化能力，从而对模型在实际临床应用中的推广造成了挑

战。针对这一问题，本文提出了一种联邦持续学习方法，模拟真实世界临床场景，建立模型分布式训练架构，通过逐步引入不同时间批次的数据来逐渐提高模型的泛化性和可靠性，进行循环本地验证。本文在包含931例患者的4568张切片的浙江大学医学院附属第一医院数据集和包含364例患者的370张切片的TCGA-LIHC数据集上，实现了多中心肝细胞癌数字病理图像的微坏死识别任务，验证了联邦持续学习方法的泛化能力。划分TCGA数据集为三个中心，并将浙一数据集根据时间划分为多个时间批次，进行四个中心的联邦持续学习。训练的联邦持续学习模型在多个中心上均表现出比单中心数据更优异的性能，在浙一测试集上AUROC为0.8638，CISNS为0.8617，Match为0.7257。进行多轮本地验证后的最终模型相比于初始训练模型在AUROC上提高了0.0906,体现了联邦持续学习的更新策略能持续优化模型性能。在临床上为医生提供了更可靠更便利的肿瘤病理微坏死检查手段，极大程度上缩短了医生病理检查花费的时间。

关键字：联邦持续学习；病理微坏死；多中心；循环本地验证

ID 3868

肝肿瘤热消融三维术前自动规划方法研究

杜炳璇、吴剑、车晖
清华大学深圳国际研究生院

目的：本文研究一种肝肿瘤热消融三维术前自动规划方法，使其能够提供临床医生最佳穿刺路径及消融区域参数，达到指导或辅助作用，提高其规划精准度。

方法：首先对肝脏CT图像中的重要器官、血管和肿瘤进行分割；其次基于KD-Tree算法建立腹部器官组织的风险区域，通过最近邻搜索方法筛选出不通过风险区域的可能路径，并计算所有路径与风险区域的空间最小距离；然后依据临床约束条件H1~H4、S1~S5选择合适的路径；最后使用公共肝肿瘤消融路径评价模型确定评分最高的3条路径，并对应生成椭球消融区域定向最小包络椭球模型，供医生参考。

结果：本方法在中山八院提供的十例肝肿瘤患者腹部CT数据上进行验证，筛选出的路径经临床医生评估，获得90%的优秀率，100%的合格率，且方法中不包含分割器官的整体流程算法耗时平均不超过2分钟，规划效率高于医生手动规划。

结论：本文提出的肝肿瘤热消融三维术前自动规划方法有望帮助医生快速精确地规划出手术路径及消融参数。

关键字：肝肿瘤；临床约束条件；热消融；自动规划算法

ID 4321

面向医疗垂直领域大模型微调的隐私保护数据合成方法研究

赵振淞[1]、田雨[1]、陆遥[2]、柏菀[1]、邓晴[1]、周天舒[2]、李劲松[1,2]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院、电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心，杭州310027
2. 之江实验室数据枢纽与安全研究中心，杭州311121

目的：垂直领域的大模型微调训练依赖于大量和优质的训练数据，然而出于对数据保密性与隐私性的考虑，存在于医疗领域的优质私有数据往往无法直接给予大模型进行训练。本研究聚焦于在保障隐私安全前提下，深度挖掘私有数据价值，以生成对抗网络思路构建一种以大模型为基础的差分隐私数据合成方法，以私有数据为模板生成安全优质的医疗领域合成数据。

方法：构建基于隐私迭代与差分隐私的大模型生成器，实现生成器输出结果的安全优化；构建基于高效参数微调的大模型判别器；基于生成器与判别器设计对抗迭代循环，对合成数据进行判别反馈，更新后续合成数据结果；最后将合成数据应用于医疗垂直领域的大模型微调，以验证合成数据的可用性。

结果：在以ChatGLM3-6B为基座的大模型上，利用合成数据微调训练医疗垂直领域大模型，与真实数据微调结果相比仅降低4%，同时合成数据与真实数据之间的嵌入分布距离也在一定程度上十分相似。

结论：实验结果在上体现了本研究所提出的数据合成方法能生成具有隐私保护效用的优质合成数据集，解决医疗领域高质量公开可用数据不足的问题。

关键字：大模型；合成数据；生成式对抗网络；差分隐私；隐私迭代

S12
医学人工智能与智慧医疗

ID 659

Edge-guided Dual-stream Coding Network Based for Carpal Tunnel Tissue Segmentation and Quantitative Analysis

Zichao Shen,张绪树,郭媛
太原理工大学

背景：腕管综合征（CTS）是一组表现为腕管正中神经受压的体征和症状，是最常见的周围神经卡压综合征类型之一。患者出现一系列症状，包括手的桡侧刺痛、麻木、虚弱和疼痛，以及手的桡侧的三个半手指。这些症状对生活质量有直接影响，并可能引起一定程度的安全问题。磁共振成像（MRI）能够生成详细的软组织图像，可用于观察腕管正中神经是否肿胀、变形或被其他结构压迫，从而有助于腕管综合征的诊断。然而，多样化的序列、沉重的伪影、小的病变特征、大的图像读取量和难以解释限制了这种成像技术的临床应用。

目的：提出一个统一的框架，从MRI图像中获取相关组织的分割。这些节段形态参数的自动量化结果可为腕管综合征的诊断和康复提供重要帮助。

方法：提出一种新的深度网络架构来全面应对这些挑战。该文提出一种双流编码模型结构，并设计了一种中尺度集成特征提取模块，通过交叉融合机制提取丰富的特征。为了提高编码器在小数据量任务中的自注意力性能，该文提出一种边缘引导模块，利用边缘信息作为显式监督来训练模型。还设计了最大熵损失来约束模型收敛性。

结果：所提自动分割模型的骰子相似系数（DSC）在0.92左右。基于准确的自动分割结果，自动测量腕管相关组织的7个形态学参数。与人工结果相比，这些参数的定量结果的平均相关系数达到0.92以上。在本文的数据集上对所提出的方法进行了评估，其性能始终优于其他用于分割的方法。

结论：自动量化过程产生的测量结果与放射科医生手动获得的测量结果相当。本文证明了采用该方法进行腕管组织MRI图像自动分割和量化的可行性。这为支持使用自动化流程来评估腕管综合征的进展和生物力学变化提供了数据，从而为放射科医生和康复医生节省了宝贵的时间。

关键字：CTSeg；深度学习；腕管综合征；双重输入；多重注意力机制；边缘导引；自动监测

ID 807

The Effectiveness and Safety of Home-Based Intelligent Rehabilitation for Stroke Patients

Ting Yue[1],Guofa Yang[1],Yunfeng Song[1],Mingming Mao[1],Fei Zhao[1],Dian Zhang[1],Yu Pan[2]

1. Jincheng People's Hospital

2. Beijing Tsinghua Changgung Hospital

Background: Stroke is a leading cause of disability and mortality, necessitating effective rehabilitation strategies. Recent advancements in home-based rehabilitation technologies, including virtual reality (VR), rehabilitation robots, and transcranial direct current stimulation (tDCS), have introduced potential alternatives to traditional in-hospital methods.

Objectives: This review aims to assess the effectiveness, safety, and compliance of home-based rehabilitation technologies in managing motor, speech, and cognitive impairments in stroke patients.

Methods: We conducted a comprehensive review of the literature, focusing on studies that compared home-based intelligent rehabilitation technologies to conventional in-hospital rehabilitation. Included were randomized controlled trials, single-blind studies, and self-controlled pre-post studies evaluating the outcomes of VR, robotic interventions, and tDCS in post-stroke rehabilitation.

Results: Home-based VR technology was found to significantly improve upper limb function within six months of stroke onset, with sustained benefits for mild to moderate motor deficits observed beyond six months. Rehabilitation robots enhanced upper limb function in both early and late post-stroke phases, showing substantial improvements in Fugl-Meyer Assessment scores. Early implementation of VR post-stroke demonstrated feasibility and safety. However, the effectiveness of tDCS in cognitive recovery showed mixed results, indicating a need for further research. Additionally, studies suggested limited benefits of home-based rehabilitation on sensory impairments.

Conclusions: Home-based intelligent rehabilitation technologies offer a promising alternative to traditional rehabilitation methods, providing effective, safe, and compliant options for stroke survivors. These technologies facilitate continuous and accessible care, potentially reducing the burden on medical facilities and improving patient quality of life. However, discrepancies in efficacy, particularly in sensory and cognitive outcomes, underscore the need for ongoing research to optimize these interventions.

Key Words: Stroke, home-based intelligent rehabilitation, virtual reality, rehabilitation robots, transcranial direct current stimulation

ID 1181

基于公开医学知识图谱和电子病历的专病知识图谱构建方法研究

谢忠壤、陈卉

首都医科大学

目的： 基于公开的医学知识图谱和电子病历实现脑卒中临床专病知识图谱的构建。

方法： 使用生物医学信息本体系统（Biomedical Informatics Ontology System，BIOS）和约5600例脑卒中患者的结构化电子病历作为知识来源，根据互联网数据源和患者电子病历分别构建脑卒中基础术语表和患者特征词表，然后以BIOS为数据源依照两表通过相似性算法和人工参与匹配获得与脑卒中和患者特征相关的实体和关系三元组，将其导入Neo4j数据库中完成脑卒中专病知识图谱的构建。最后通过知识图谱嵌入模型获得知识图谱表示，并设计实验将链接预测和三元组

分类作为评价任务对比TransE、Rotate以及Analogy等多个模型输出的知识图谱表示的性能差异。

结果：构建的脑卒中专病知识图谱拥有215,090个实体、550,976个关系，根据评价实验RotatE模型输出的知识图谱表示性能优于其他参测模型。

结论：利用公开的医学知识图谱并结合患者数据可以快速构建高质量专病知识图谱，有望为脑卒中疾病的临床决策、疾病诊断以及个性化医疗提供支持。

关键字：知识图谱；电子病历；脑卒中；知识图谱嵌入；生物医学信息本体系统

ID 1226

基于癫痫中文脑电报告的命名实体识别研究

满坚平[1]、胡振生[1]、刘泓泽[1]、杨瑞[1]、刘京晶[1]、陈子怡[2]、周毅[1]

1. 中山大学中山医学院
2. 中山大学附属第一医院

目的：癫痫脑电报告包含大量有价值的临床信息。本研究旨在提高癫痫脑电报告中医学信息提取的效率和准确性。

方法：收集了1440份癫痫中文脑电报告，并按照预先定义的标准进行人工标注。利用Global Pointer（GP）算法和BERT预训练模型对脑电报告进行文本处理，通过全局指针机制识别嵌套和非嵌套实体。

结果：构建了一个癫痫命名实体识别语料库，包含17种实体类型，203,929个实体。并提出了一种基于中文脑电报告的癫痫命名实体识别模型。实验结果表明，模型总体的识别准确率、召回率和F1值均达到0.99。

结论：我们的方法显著提升了癫痫脑电报告中实体识别的有效性，为医学文本的自动化提取和分析提供了有力支持，有助于推动临床诊断和医学研究。

关键字：癫痫；脑电报告；命名实体识别；Global Pointer算法；BERT模型

ID 1357

基于知识蒸馏建立对缺失模态鲁棒的医学多模态融合架构

王牧雨、陈卉

首都医科大学

目的：建立对模态缺失鲁棒的多模态电子病历数据融合框架。

方法：提出了一个基于池化瓶颈（PB）注意力的多模态融合模块，并结合知识蒸馏（KD）来增强模型在缺失模态情况下的推理能力。引入了梯度调制（GM）方法来解决多模态模型训练中不平衡优化的问题。设计了比较和消融实验来评估融合效果、模型对缺失模态的鲁棒性以及每个组件（PB、KD和GM）的重要性。模型评估实验在MIMIC-IV数据集上进行，任务是预测住院死亡风险。使用接收者操作特征曲线下面积（AUROC）和精确度-召回曲线下面积（AUPRC）来评估模型性能。

结果：所提出的多模态融合框架达到了0.886的AUROC和0.459的AUPRC，显著超过了基线模型的性能。无论缺失一种还是两种模态，该模型都显著优于参考模型。

结论：提出的多模态融合架构对缺失模态具有强鲁棒性，并且在融合三种医学模态以预测患者结局方面表现出色。

关键字：多模态融合，Transformer，模态缺失，结局预测，知识蒸馏

ID 1580

MRI-based Deep Learning Model Predicts Distant Metastasis and Chemotherapy Benefit in Stage II Nasopharyngeal Carcinoma

Yujun Hu[1],Lin Zhang[3],Youping Xiao[2],Tianzhu Lu[3],Qiaojuan Guo[2],Shaojun Lin[2],Yunbin Chen[2],Zilu Huang[1],Ya Liu[1],Yong Su[3],Lizhi Liu[1],Xiaochang Gong[3],Jianji Pan[2],Jingao Li[3],Yunfei Xia[1]

1. Sun yat sen university cancer center
2. Fujian Cancer Hospital
3. Jiangxi Cancer Hospital

Chemotherapy remains controversial for stage II nasopharyngeal carcinoma because of its considerable prognostic heterogeneity. We aimed to develop an MRI-based deep learning model for predicting distant metastasis and assessing chemotherapy efficacy in stage II nasopharyngeal carcinoma. This multicenter retrospective study enrolled 1072 patients from three Chinese centers for training (Center 1, n=575) and external validation (Centers 2 and 3, n=497). The deep learning model significantly predicted the risk of distant metastases for stage II nasopharyngeal carcinoma and was validated in the external validation cohort. In addition, the deep learning model outperformed the clinical and radiomics models in terms of predictive performance. Further, the deep learning model facilitates the identification of high-risk patients who could benefit from chemotherapy, providing useful additional information for individualized treatment decisions.

Key Words: deep learning, nasopharyngeal carcinoma, MRI, distant metastasis

ID 1638

基于结构化电子病历构建并学习异质患者图表示

李一晨、陈卉
首都医科大学

目的：设计患者图的拓扑结构，捕捉患者特征之间的关系，并探索异质患者图表示在临床预测任务中的可行性和优越性。

方法：来自电子病历的患者节点和医学概念节点被视为两种类型的节点。利用基于正点互信息计算得到的医学概念相关性来确定连接概念节点的边。患者节点直接连接到患者记录中出现的医学概念节点。使用图注意力网络获取图中的节点表示。使用多层感知机预测脑卒中患者院内死亡和长时住院并对脑卒中患者进行亚型划分。使用多种基线模型进行对比实验，并设置了消融实验以验证此架构各部分的有效性。

结果：与其他对比模型相比，本研究提出的表示模型展现出了最佳的性能。在两个分类任务下均达到最大的ROC曲线下面积（0.986和0.765）。在聚类任务中结果具有更好的准确性和内聚性（Jaccard系数 0.806，轮廓系数0.316）。消融试验证实了本研究图构建方法和聚类中loss设置的有效性，在去除上述任意部分时模型效果均下降。

结论：基于结构化的电子病历数据构建异质图并进行患者图表示，在多项临床任务中表现出更高的性能，有望应用于更多类型的电子病历数据。

关键字：电子病历；临床结局预测；图卷积神经网络；异质图

ID 2010

全球人工智能医疗器械科研竞争格局分析

陈娟、潘黎姿、卢岩、张婷、徐东紫、严舒、欧阳昭连
中国医学科学院医学信息研究所

目的：采用科学数据绘制人工智能（AI）医疗器械领域的全球科研竞争格局。

方法：在Web of Science核心集合中检索人工智能医疗器械论文，采用文献计量学方法，从全球、国家、机构、研究者四个角度对该领域的全球科研竞争格局进行分析。

结果：截止到2023年底，全球AI医疗器械论文产出共计55147篇，其中2018~2024年占76.6%，研究主要聚焦于AI辅助医学图像和生理信号分析。国家层面，中国（17991篇）和美国（14032篇）的发文量处于绝对领先水平。中国发文增速较快，2023年发文量达美国的2倍以上；美国则有较高的篇均被引频次（中国16.29次/篇 vs 美国35.99次/篇）。机构层面，以中国科学院和上海交通大学为代表的7家中国机构以及以哈佛大学为代表的3家美国机构发文量居全球前十位，中国机构近年来发文量增长很快，而美国机构发文量增速有所放缓。研究者层面，以Acharya, U Rajendra、Rueckert, Daniel、田捷、郑海荣、汪源源为代表的众多研究者采用AI技术辅助各类医学图像分析，另有部分研究者聚焦于特定类别图像分析，如杨晓峰（AI辅助肿瘤精准放疗）和沈定刚（脑图像分析），还有部分研究者聚焦于AI辅助生理信号分析，如高小榕、明东、Birbaumer, Niels等。

结论：全球AI医疗器械领域在过去几年快速发展，“图像+AI”是最为成熟的应用方向。中美两国在该领域处于绝对领先水平，中国发文量略胜一筹，且增速明显较快；美国起步较早，且研究质量较高。两国均有众多科研团队从事“各类图像+AI”研究，另有部分团队基于其在特定领域的研究专长，聚焦于“特定医学图像+AI”或“生理信号+AI”研究。

关键字：人工智能；医疗器械；科学研究；竞争格局；文献计量学分析

ID 2033

基于深度学习的智能艾灸机器人设计与应用

邱正坤[1]、涂海燕[1]、宋明俊[1]、张博[1]、张洽[2]、李应昆[3]
1. 四川大学
2. 成都市第五人民医院康复科
3. 成都中医药大学附属医院针灸科

本研究开发了一种智能艾灸机器人，旨在提高艾灸疗法的精准性和效率。该系统包括Pro600机械臂、智能艾灸头和D435i深度相机，通过YOLOv8n模型实现对背部穴位的精准检测和跟踪。机器人不仅能够按照预设的轨迹进行施灸还能示教学习医师的手法，并通过强化学习算法动态调节施灸距离和温度，确保施灸过程的安全性和有效性。本研究显著提升了艾灸治疗的效果和自动化水平。

关键字：艾灸机器人；穴位定位；多样化施灸；

ID 2063

一种抗阻式颈部康复机器人系统的设计与应用

谭笑月、黄松林、涂海燕、郑秀娟
四川大学

针对已有颈部康复设备存在的负载精度差和负载调节时间过长的问题，设计了一种抗阻式颈部康复机器人系统。该系统通过磁场定向控制算法实现对电机力矩的精准控制，为颈部康复训练过程提供稳定可控的拉力；系统通过拉力传感器和姿态陀螺仪传感器监控整个训练过程使用者状态，避免训练中出现头颈部姿态错误或未知事故。本抗阻式颈部康复机器人具有拉力控制精度高、响应速度快的特点。

关键字：康复机器人；抗阻训练；永磁同步电机

ID 2790

轻量弥散磁共振成像

王腾龙、尤晴苇、于嘉豪、何翌菲、曹书鑫、吴烨
南京理工大学计算机科学与工程学院，南京 210094

弥散磁共振成像(dMRI)作为医学影像技术的前沿，其独特之处在于能够揭示传统成像手段难以捕捉的微观结构信息。它不仅能够精准地描绘出大脑白质纤维束的复杂网络，揭示神经元之间精细的连接模式，还能在癌症早期诊断中，通过评估肿瘤的弥散特性和侵袭边界，为临床提供宝贵的决策依据。然而，dMRI成像序列的固有限制，如冗长的扫描时间、相对较低的信噪比以及有限的空间分辨率，一直是制约其临床普及的瓶颈。为了突破这些限制，我们的研究聚焦于轻量化、紧凑且高性能dMRI技术的研发。通过优化成像技术和分析方法，致力于实现全脑的超高速、高保真数据采集。同时，部署轻量化的dMRI综合分析技术，将海量数据转化为直观、易懂的诊断信息，助力医生快速准确地做出判断。这一技术革新将极大地提升dMRI在临床诊断中的效率和准确性。

关键字：弥散磁共振成像；质量控制；人脑组织微结构；脑组织分割；肿瘤检测

ID 2861

基于手绘笔迹的帕金森病诊断研究

张黎子[1]、邓忠[2]、陈伟[3]、李日辉[1]
1. 澳门大学
2. 深圳市第二人民医院（深圳大学第一附属医院）
3. 西安交通大学第一附属医院

帕金森病(Parkinson’s disease)是一种严重的神经退行性疾病，在老年人中具有较高的发病率，其诊断和治疗相对困难，给患者家庭和社会都带来沉重的经济和思想负担。书写任务被证明是一种区别于传统临床评估的简单有效的帕金森疾病诊断方式。为了提高诊断的准确率，大量基于深度学习的方法被提出。但这些研究所采用的书写任务较为单一，多有书写模板引导，而且样本量偏少。针对这些问题，本文收集了一个包含3种绘图任务的大样本数据集，并设计了一个模

型在该数据集上进行帕金森疾病的分类诊断。本研究所提出的模型结合了感受野注意力机制（Receptive-Field Attention, RFA）和多尺度注意力机制(Efficient Multi-scale Attention, EMA)，更加关注笔迹的空间位置信息。实验结果显示该模型的准确率可达97.18%。本文还探索了不同书写任务对帕金森疾病诊断的影响。实验表明阿基米德螺旋线提供了最有效的特征。本研究验证了多种纸笔无模板书写任务在帕金森疾病诊断中的有效性。这对帕金森疾病诊断有重要意义，即不需要专业采集设备，普通人日常也可以进行帕金森疾病的快速筛查。

关键字：帕金森疾病诊断；手绘图；深度学习；注意力机制；

ID 3004

基于病理图像的癌症基因组标志物关联分析研究进展

余宇、冯景辉、施雯、谢国喜、习佳宁
广州医科大学生物医学工程学院

癌症是全球主要威胁，2020年新增病例近2000万。癌症诊断挑战在于确定亚型和制定个性化治疗。为此，通过检测基因组标志物变化确定亚型并进行个性化治疗，但耗时长且昂贵的缺点也使之难以普及。幸运的是，基因组异常会影响细胞水平的形态变化，通过病理图像可以轻松获取细胞级别的信息。基于机器学习的早期研究依赖人工筛选提取图像特征，但难以捕捉复杂模式，易受人为偏见。随着深度学习和人工智能发展，基于深度学习的自动特征学习方法变得重要。最新研究使用图神经网络（Graph Neural Network，GNN）分析病理图像中复杂模式和关系。通过将不同区域特征表示为图数据中的节点，通过边联系不同区域，GNN捕捉病理图像中区域之间复杂关系。结合基因检测、深度学习和图神经网络，提高病理图像数据的利用，增强癌症诊断准确性和效率。这些研究为理解癌症发病机制、未来诊断和治疗提供新可能性，呈现全新视角。

关键字：病理图像；深度学习；图神经网络；基因组标志物

ID 3453

DCD-Net: a Dual-phase Condition-guided Diffusion Network for Enhanced Bronchoscopic Depth Estimation

Yiguang Yang[1],宁国琛[2],钟长镐[3],廖洪恩[1]
1. 清华大学 生物医学工程学院
2. 清华大学 临床医学院
3. 广州医科大学附属第一医院 呼吸与危重症医学科

Depth estimation has emerged as a crucial technique for enhancing robustness in bronchoscopic navigation, enabling precise camera localization and scene geometry acquisition. Although supervised methods have shown success in natural scenes, their applicability in bronchoscopic scenarios is limited by the scarcity of depth annotations. To overcome this challenge, unsupervised domain adaptation using generative adversarial networks featuring one-shot mapping has been explored. However, conventional adversarial models often face issues with reduced sample fidelity and learning biases due to direct image distribution recovery. In this study, we propose a novel dual-phase condition-guided diffusion network (DCD-Net) tailored for domain-adaptive depth estimation in bronchoscopic images. Our approach sequentially trains

a supervised network on labeled virtual images, and an unsupervised adversarial model that aligns domain-invariant features for domain adaptation. This model redefines depth estimation as an iterative diffusion-denoising process in the latent space, reducing mapping biases and enhancing overall performance. Experiment results on clinical images validate our superiority of our approach in bronchoscopic domain-adaptive depth estimation.

Key Words: Bronchoscopic Depth estimation, Condition-guided diffusion model, Domain adaptation

ID 3495

基于非局部残差网络的磁共振指纹参数量化

李思怡、黄敏
中南民族大学

目的： 研究和搭建深度学习神经网络，在仿真的大脑模型上实现高精度的磁共振指纹参数量化。

材料与方法： 使用一种非局部残差网络的磁共振指纹参数量化模型，实现组织参数的量化任务。模型包括输入、残差、非局部和输出四个模块，并将网络输入信号进行调整。使用Brain web网站中的解剖大脑模型进行仿真得到稀疏数据，对提出的模型进行训练和评估，优化网络超参数，提高量化精度。

结果： 在解剖大脑模型上测试模型，使用稀疏信号作为输入，T1和T2的误差较大。而用加了重复时间序列参数的稀疏信号作为输入时，能精确区别组织参数和背景。添加了Norm值后，脑脊液、白质和灰质等组织的T1量化误差最大为42.36ms，T2量化误差最大为20.59ms，误差较大仅在大脑轮廓，而其他大脑组织参数能精准量化。

结论： 磁共振指纹是一种定量磁共振成像技术，而为实现快速成像，通常进行高度欠采样。这使得指纹信号高度失真，重建出来的磁共振指纹参数图也就存在大量的混叠伪影以及噪声。而提出的非局部残差网络能给磁共振指纹的准确量化提供有效的方法，且能提高对各个组织的量化准确度，很好的解决混叠伪影的问题，提高组织参数的量化精度。

关键字： 磁共振指纹；深度学习；参数量化；非局部残差网络

ID 3787

Phase-Specific Augmented Reality Guidance for Microscopic Cataract Surgery Using Spatiotemporal Fusion Network

涂朴勋[1],谢梦[2],叶鸿飞[2],赵培泉[2],郑策[2],陈晓军[1,3]
1. 上海交通大学
2. 上海交通大学医学院附属新华医院
3. 上海交通大学医疗机器人研究院

Phacoemulsification cataract surgery (PCS) is a routine procedure conducted using a surgical microscope, heavily reliant on the skill of the ophthalmologist. While existing PCS guidance systems extract valuable information from surgical microscopic videos to enhance intraoperative proficiency, they suffer from non-phase-specific guidance, leading to redundant visual information. In this study, our major contribution is the development of a novel phase-specific augmented reality (AR) guidance system, which offers tailored AR information corresponding to the recognized surgical phase. Leveraging the inherent quasi-standardized nature of PCS procedures, we propose a two-stage spatiotemporal fusion network for

surgical microscopic video recognition. In the first stage, we implement a multi-task learning structure to segment the surgical limbus region and extract limbus region-focused spatial feature for each frame. In the second stage, we propose a spatiotemporal fusion transformer (STFT) network to model local fine-grained and global temporal relationships, and fuse the extracted spatial features to recognize the current surgical phase. Additionally, we collaborate closely with ophthalmologists to design AR visual cues by utilizing techniques such as limbus ellipse fitting and regional restricted normal cross-correlation rotation computation. We evaluated the network on publicly available and in-house datasets, with comparison results demonstrating its superior performance compared to related works. Ablation results further validated the effectiveness of the limbus region-focused spatial feature extractor and the fusion of temporal features. Furthermore, the developed system was evaluated in a clinical setup, with results indicating acceptable accuracy and real-time performance, underscoring its potential for clinical applications.

Key Words: Cataract surgery, Augmented reality, Spatiotemporal fusion, Surgical phase recognition

ID 3831

基于脑电锁相值时空图卷积网络的抑郁状态识别

贾子钰、胡若晨、孟庆桐、常东明、曹姗、蒋田仔、左年明
中国科学院自动化研究所

抑郁状态的精确识别是心理健康评估和精神疾病诊断的重要基础。然而，如何有效地利用大脑的时空依赖关系来提升抑郁状态识别的准确率仍具有很大挑战。现有的识别算法仍未很好地刻画受试者在不同情绪状态下的脑时空特征，并且忽视了大脑区域间客观存在的功能性连接，为此本文提出一种新的深度时空图卷积神经网络用于抑郁状态的自动识别。首先，引入锁相值方法构建大脑功能性连接并形成时空脑网络，然后通过空间图卷积捕获情绪脑网络的空间特性，利用时间卷积捕获脑网络的时间动态演变关系，同时结合时空注意力机制来提取更有价值的时空关键信息，最后通过全连接层进行抑郁状态识别。在自采集的90名受试者的抑郁数据集中进行实验，结果表明 本文模型在十折交叉验证的准确率为77.21%，其结果优于现有的最先进的方法，为抑郁状态识别研究提供了新思路。关于算法及对应可穿戴硬件和软件的讨论网站：www.SignBrain.cn。

关键字：可穿戴脑电（SignBrain）；图卷积网络；脑功能性连接；抑郁状态识别

S13
生物医学光子学

ID 835

Controlling the Energy Relaxation: Organic Doping in AIEgen Nanoparticles for Highly Enhanced Intravital Two-Photon Imaging

Miaozhuang Fan,Zhourui Xu
Shenzhen University

Aggregation-induced emission luminogens (AIEgens) as a new class of optical probes for two-photon imaging (2PI) have attracted extensive attention in the research community. However, their non-radiative energy dissipation plays a non-negligible role in energy consumption, thereby weakening their performance in 2PI. Exploration of a facile and general approach to control the energy relaxation pathways is thus a fascinating yet significantly challenging task. To address this concern, an organic doping method is proposed herein by using TPE-Br as the doping AIEgen and MeOTTMN as the functional AIEgen. With increased amount of doping molecules, a steadily strengthened brightness (up to 29-fold of quantum yield) is observed at the expense of reactive oxygen species production. Remarkably, an ultradeep imaging depth of 1000 μm in a mouse brain is realized via 2PI using the heavily organic-doped AIEgen(ODA) nanoparticles (NPs). Such result is far superior to the imaging depth of 156 μm enabled by MeOTTMN NPs. The safe use of ODA NPs is further evaluated by in vitro and in vivo toxicity assessment. This study thus provides an attractive paradigm to control the energy relaxation of AIEgen NPs and maximize their performance in 2PI while circumventing the difficulties in molecular engineering.

Key Words: Aggregation-induced emission, organic nanoprobes, two-photon imaging, cerebral vascular imaging

ID 2447

光学成像动态监测体内脉管系统的解剖结构与功能评估

陈俊
复旦大学附属华山医院

光学成像在生物医学应用越来越多，但针对脉管系统的解剖和功能的同步研究较少，本课题立足于临床需求，结合光学动态成像优势，深入研究动物活体层次脉管包括血管和淋巴系统的结构与功能，为后续光学成像在临床，尤其是脉管系统疾病诊断与治疗中奠定基础。

关键字：光学成像；活体成像；功能成像；脉管系统；实时动态

ID 2563

基于OCT导引的小鼠开颅手术机器人

李昊远、王永超、陈维、过祥森、许路珂、唐建波
南方科技大学

脑科学是21世纪发展最快的学科之一，其中动物模型是揭示脑及神经功能奥秘的重要手段，得到了广泛应用。当前，光学成像技术在脑科学研究中发挥了重要的作用，但受限于其较浅的穿透能力，制作光学颅窗是利用光学手段实现高分辨、高信噪比观测大脑及神经功能的主要途径。然而，传统的人工光学颅窗制作方法存在专业技能要求高、培训时间长、手术耗时长且成功率无法保证等问题，限制了脑功能研究的开展。为了解决光学颅窗制作的挑战，我们开发了一种基于光学相干层析成像（OCT）导引的小鼠开颅手术机器人平台，以OCT获得的三维颅骨影像引导颅骨钻磨轨迹，从而显著提高开颅手术的成功率和效率。具体的，本系统通过OCT获取小鼠头骨的层析数据，分割头骨的上下表面，确定相应的开颅路径，然后由改装的高精度三轴雕刻机平台控制钻头进行开颅手术，最终通过精准的钻磨取出颅骨后将玻璃窗口安装于开颅窗口。我们对5只小鼠进行了玻璃颅窗手术，对2只小鼠进行了大颅窗手术，并对其中一只小鼠进行了长达14天的OCTA和DLSOCT监测，验证了该方案的可行性和稳定性。

关键字： OCT；颅窗技术；自动控制；手术

ID 3623

Sub-diffuse Reflectance Spectroscopy Combined With Machine Learning Method for Oral Mucosal Disease Identification

Qing Chang,Qi Zhang,Jingyi An,Siyi Zou,Feng Gao,Limin Zhang
College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University

In this study, sub-diffuse spectra of three oral sites (hypoglottis, gena and gingiva) from healthy subjects and three types of mucosal lesions (oral lichen planus, oral leukoplakia, and oral squamous cell carcinoma) from patients were collected by using a home-made prototype system, and three derived features including spectra ratio (SR), first-order derivative(DE) of the spectra and optical parameters were calculated or extracted to enhance the insights derived from the original spectra. To accurately classify the distinct spectral features of each control group, support vector machine and probabilistic neural network were employed. The results demonstrated that both classification methods exhibited remarkable performance in distinguishing between the various oral sites of healthy subjects, achieving a peak accuracy, sensitivity, specificity, and Matthews correlation coefficient (MCC) of 89.8%, 94.5%, 97.2%, and 89.8%, respectively. When compared to normal tissue, the classification accuracy achieved remarkable levels, with maximum rates of 98.4%, 96.7%, and 95.6% for oral lichen planus (OLP), oral leukoplakia (OLK), and oral squamous cell carcinoma (OSCC), respectively. Furthermore, OLP, OLK, OSCC and normal tissue could be successfully discriminated with the maximum accuracy, sensitivity, specificity and Matthews correlation coefficient of 92.2%, 94.1%, 98.4% and 92.6%, respectively. In addition, both methods demonstrated comparable classification performance and enhance their sensitivity and specificity by using the derived features of the spectra, i.e., derivatives. In summary, integrating sub-diffuse reflectance spectroscopy and suitable machine learning methods can obtain remarkable precision in differentiating different sites of oral mucosa and identifying different types of oral mucosal diseases, which is of great help to detect OSCC and is expected to be a highly sensitive, time-sensitive and accurate method for oral cancer detection.

Key Words: Sub-diffuse reflectance spectroscopy, Oral mucosal diseases, Support vector machine, Probabilistic neural network, Feature classification

ID 3910

Main Lobe Width of Photoacoustic Signal: A New Parameter to Evaluate the Characteristics of Porcine Liver Tissue After Ablation

Min Wan,Yameng Zhang,Jiani Li,Ling Tao,Zhiyu Qian,Weitao Li,Min Wan
南京航空航天大学

Photoacoustic imaging (PAI) has become increasingly prevalent in the biomedical field for its unique capabilities. However, its application is limited by the principles of imaging, making it challenging to visualize certain biological tissues, such as liver tissue following microwave ablation. In this study, we deviate from the standard approach of using the maximum projection algorithm for photoacoustic data analysis. We introduce an innovative method utilizing the main lobe width of the photoacoustic signal as a pivotal parameter for diagnosing microwave ablation in porcine liver tissue. Our results demonstrate a significant reduction in the main lobe width post-ablation. Leveraging this parameter, we imaged the ablation boundaries of the liver, showing that our analytical approach significantly enhances the accuracy of PAI in defining ablation zones. This discovery presents a novel perspective and methodology for the delineation of microwave ablation areas.

Key Words: photoacoustic imaging, main lobe width, microwave ablation

ID 3970

用于光医学细胞实验的LED阵列光源光场量化分析方法研究

董晓曦、李子兴、钮鹏亮、费杜衡、阴慧娟
生物医学研究所

为实现对光医学细胞实验的LED阵列光源照射细胞培养板底面光场分布的匀化改进，本研究开发了一种能够快速改变LED四灯阵列间距的数显位移平台，配合三维光场检测平台和平面光场分布数据可视化和量化分析算法，实现了对6波长24孔板实验阵列光源的优化设计。研究结果显示，对于封装为3535（3.5mm*3.5mm尺寸），中心波长为405nm,480nm,530nm,630nm,680nm和810nm的LED所组成的四灯正方形阵列，阵列边长按1mm步进，从7mm增加到12mm过程中，其相对最均匀光场分别出现在8mm，10mm，10mm，9mm，11mm和10mm。且在观测半径为4mm和8mm时其光强起伏方差变化趋势存在差异。而通过以辐照中心为圆心，8mm为观察半径的光场光强起伏方差计算并追加光强起伏方差接近时选择边长最小值的LED正方形排列，可以获得与可视化分析相同的研究结果。上述结果展示了利用光场分布数据可视化和量化分析方法进行用于光医学细胞实验的LED阵列光源光场优化的可行性，为研究高质量的光医学细胞实验LED阵列光源提供了一种新的设计方法。

关键字： LED；细胞实验；光场分析；数据可视化

ID 4077

Molecular Histology for Azoospermia by Submicron-resolution IR Spectroscopic Imaging

Zhengyan Wu,Hyeon Jeong Lee
浙江大学

Non-obstructive azoospermia (NOA), characterized by the inability of the testes to produce sperm, accounts for 60% of azoospermia. Currently, micro-testicular sperm extraction (micro-TESE) is one of the most viable options, relying on the morphological observation (color, size) of seminiferous tubules for identifying healthy tissue for sperm extraction. However, unlike obstructive azoospermia (OA), the success rate in NOA patients is only 50% because the testicular tissue of NOA shows different degrees of abnormal spermatogenesis, causing difficulties in distinguishing normal and abnormal seminiferous tubules. For higher detection precision, routine testicular biopsies involve hematoxylin-eosin (H&E) staining for detailed structural information of seminiferous tubules. However, the stained sperm cannot be utilized for assisted reproductive technology. Consequently, there is an urgent need for a non-invasive method capable of spermatogenesis evaluation towards improving the success rate of micro-TESE.

In situ, molecular histology provides morphological information with specific molecules for high-precision clinical diagnosis. Various optical microscopic imaging techniques have been previously demonstrated, including fluorescence, Raman, and IR. Fluorescence imaging provides information on the presence and distribution of target molecules, which has found widespread application in basic research and clinical applications. Among them, vibrational spectroscopic modalities, including Raman and IR, show an advantage in clinical applications for their label-free imaging capability and have found broad biomedical applications in detecting cancer, neurodegenerative diseases, and metabolic diseases. Although IR has a stronger cross-section, especially in the fingerprint region for rich chemical information, its resolution is limited due to its longer wavelength, in the range of several microns, which is difficult to provide spatial information of biomolecules in highly complex tissue for molecular histology applications.

Recently, based on the photothermal phenomenon, mid-infrared photothermal (MIP or O-PTIR) microscopy has been developed as a promising technique for in situ molecular imaging of biological samples. MIP microscopy uses visible light as the probe beam to capture changes induced by vibrational infrared absorption, breaking the diffraction limit in far-field IR spectroscopic imaging to reach submicron resolution. Additionally, due to the relatively low thermo-optic and thermal expansion coefficients of water, MIP imaging enables imaging of intact specimens in liquid environments, including living cells - beyond the reach of conventional IR techniques. Importantly, with minimal sample preparation requirements, MIP microscopy shows the potential as a technique for molecular histology of clinical samples.

In this study, MIP microscopy was employed to analyze human testicular tissues for NOA diagnosis and molecular signature-based classification. MIP imaging was performed by 5 to 12 μm IR beam with 532 nm probe beam. To test the feasibility of MIP imaging of human testicular tissues, we imaged frozen-sectioned patient tissues with the adjacent H&E-stained slice as a reference for histopathological analysis. MIP imaging was performed at 1658 cm-1 for proteins and 1743 cm-1 for lipids. Interestingly, we observed differences in lipid distribution between OA (normal spermatogenesis) and NOA (abnormal spermatogenesis) tissues in single seminiferous tubules. MIP-guided IR spectroscopic measurement further showed a significant variation in molecular compositions in different types of NOA tissues.

To test the potential of using these spatial-spectral features as molecular markers for disease classification, we utilized the Singular Value Decomposition (SVD) algorithm to determine the Principal Components (PC) of the spectra. Random forest regression (RFR) was used to correlate the scores from each PC with the diagnostic category provided by a pathologist (normal or abnormal spermatogenesis) to generate a diagnostic algorithm. A total of 455 IR spectra were obtained from testicular tissue, including 146 from normal seminiferous tubules with spermatogenesis and 309 from abnormal tissue. Of these datasets, about 80% were used as the training set, and the remaining were used to test the model (the testing set). The accuracy of the diagnostic algorithm resulting from this analysis was then expressed as the sensitivity, specificity, and

positive and negative predictive values of detecting spermatogenesis. Our analytical pipeline successfully distinguished OA and NOA, as well as 4 different subtypes of NOA, with a prediction accuracy of 98.9%. These results demonstrate the potential of MIP microscopy in differentiating seminiferous tubules based on molecular composition to facilitate sperm extraction.

Key Words: mid-infrared photothermal microscopy, azoospermia, IR spectroscopy, lipid metabolism, molecular histology

S14
医学检验工程

ID 133

Pseudo-lipidemia provides diagnostic clues for a patient with atrial fibrillation and elevated CA19-9: a 5-year follow-up study

王丹晨、夏良裕
中国医学科学院北京协和医院

Waldenström macroglobulinemia (W.M.) is a rare disease characterized by bone marrow infiltration of clonal lymphoplasmacytic cells that produce monoclonal immunoglobulin M (IgM). However, the clinical manifestations of W.M. are variable and nonspecific, and approximately 30% of cases are asymptomatic, which is difficult to diagnose in time. We describe a case of a 73-year-old woman admitted to the hospital due to atrial fibrillation and was diagnosed with WM using a pseudo-lipidemia index during cardiac marker testing. Prior to admission, the patient was found to have elevated CA19-9 levels during physical examinations but the cause of the elevated CA19-9 level was not found. The patient had been treating W.M. in our hospital for 6 years. CA19-9 showed parallel changes along with the rise and fall in IgM levels. We report a case with elevated CA19-9 who was diagnosed with macroglobulinemia and determined that abnormal lipid index may provide valuable information for the diagnosis of macroglobulinemia, and an abnormal albumin-globulin ratio can provide useful auxiliary information for W.M. diagnosis, although it may be overlooked in clinical practice. Furthermore, we demonstrate that a reflex test of serum protein electrophoresis based on abnormal albumin-globulin ratio will help in the early diagnosis of W.M.

Key Words: Waldenström macroglobulinemia, immunoglobin M, CA19-9, interference, reflexing test, albumin-globulin ratio

ID 396

A Nomogram for Predicting Overall Survival in Patients With Muscle-invasive Bladder Cancer Undergoing Radical Cystectomy: a Retrospective Cohort Study

Haiming Huang[1,2],haixia li[1],han hao[1],wei yu[1],jialin du[1],lu pang[1],qian ma[1],qingyun xu[1],
changqing pan[1],chenwei huang[1],lei jin[2]
1. Peking University First Hospital
2. peking university

Objective: However, only half of the patients with MIBC would survive over five years after RC. The aim of this study was to explore the factorsassociated with overall survival (OS) and construct a prognostic nomogram for predicting OS at 1-,

3- and 5-year after RC.

Methods: The data were sourced from the Surveillance, Epidemiology, and End Results (SEER) database and Peking University First Hospital (PKUFH). A total of 16,949 MIBC patients who received RC between 2004 and 2015 from the SEER database were included in this study. They were further divided into a training set and a testing set. Univariate and multivariate Cox regression analyses were performed using the minimum value of the Akaike information criterion to select independent prognostic factors that contribute significantly to patient survival. A prognostic nomogram was designed to predict 1-, 3- and 5-year OS. Data of 175 MIBC patients from PKUFH were used as external validation to further confirm the clinical applicability of the nomogram. Decision curve analysis was used to assess the model's clinical utility.

Results: Based on multivariate Cox regression analysis, sex, age, race, marital status, stage, TNM, histology and chemotherapy were selected as independent prognostic predictors of OS to further establish the nomogram. The nomogram demonstrated satisfactory discriminative ability, with receiver operating characteristic curve of 93.9%, 88.0% and 85.2% for 1-, 3- and 5-year OS in the testing set, and 97.0%, 84.7%, and 79.0% in the external validation with a Chinese population. The calibration plots showed favorable consistency between the prediction of the nomogram and actual observations in both the testing and external validation sets. Furthermore, Decision curve analyses showed a modest net benefit for the use of the MIBC nomogram in the current cohort compared with the use of American Joint Committee on Cancer staging alone.

Conclusions: A prognostic nomogram was developed and validated to assist clinicians in evaluating the prognosis of post-operative MIBC patients. Future integration of additional data will likely improve model performance and accuracy for personalised prognostics.

Key Words: muscle-invasive bladder cancer, radical cystectomy, nomogram, overall survival.

ID 405

Application of Machine Learning in Predicting Cerebrospinal fluid Bacterial Culture Results of Patients with Post-Neurosurgical Bacterial Meningitis (PNBM)

Guanghui Zheng
Beijing Tiantan Hospital & Capital Medical University

Purpose: To construct models using machine learning methods on 17 routine laboratory parameters to predict cerebrospinal fluid (CSF) culture results in patients with post-neurosurgical bacterial meningitis (PNBM).

Methods: This study was a retrospective cohort study conducted at the Beijing Tiantan Hospital, affiliated with Capital Medical University, the largest neurosurgical center in Asia, from January 2016 to December 2023. The training set included suspected PNBM patients from January 2016 to December 2020, with tenfold cross-validation, while the test set comprised similar patients from January 2021 to December 2023. Six machine learning methods were applied to construct two models, including four decision tree models (Random Forest, Catboost, LightGBM, and XGboost), Support Vector Machine (SVM), and Multi-Layer Perceptron (MLP). The performance of the models was characterized by their discriminative accuracy and AUC.

Results: During the study period, a total of 29,403 patients underwent neurosurgery, among which 4,014 patients were included based on inclusion and exclusion criteria. Of these, 431 patients were diagnosed with PNBM caused by Gram-negative bacteria, 564 patients by Gram-positive bacteria, and the control group comprised 3,019 neurosurgical patients with meningitis symptoms but negative CSF culture results. In the test set confirmation, the model using LightGBM exhibited the best accuracy and AUC among the two models, with an accuracy of 0.898 for Model I and 0.867 for Model II. The weights of the 17 routine laboratory parameters showed that in Model I, blood glucose concentration, CSF leukocyte count, and CSF glucose concentration were the highest, while in Model II, CSF leukocyte count, blood glucose concentration, and CSF

protein concentration were the highest.

Conclusions: Machine learning, especially utilizing LightGBM modeling, demonstrates robust discriminative and diagnostic capabilities for CSF culture results in PNBM patients. It may serve as a valuable adjunct for PNBM diagnosis, facilitating the timely and accurate application of antibiotics and improving prognosis in PNBM patients.

Key Words: Machine learning; CSF; Post-neurosurgical bacterial meningitis; LightGBM

ID 470

Co-freezing localized CRISPR-Cas12a system enables rapid and sensitive nucleic acid analysis

Lifeng Zhang,LeiZheng
南方医科大学

Rapid and sensitive nucleic acid detection is vital in disease diagnosis and therapeutic assessment. Herein, we propose a co-freezing localized CRISPR-Cas12a (CL-Cas12a) strategy for sensitive nucleic acid detection. The CL-Cas12a was obtained through a 15-minute co-freezing process, allowing the Cas12a/crRNA complex and hairpin reporter confined on the AuNPs surface with high load efficiency, for rapid sensing of nucleic acid with superior performance to other localized Cas12a strategies. This CL-Cas12a based platform could quantitatively detect targets down to 98 aM in 30 min with excellent specificity. Furthermore, the CL-Cas12a successful applied to detect human papillomavirus infection and human lung cancer-associated single-nucleotide mutations. We also achieved powerful signal amplification for imaging Survivin mRNA in living cells. These findings highlight the potential of CL-Cas12a as an effective tool for nucleic acid diagnostics and disease monitoring.

Key Words: CRISPR-Cas12a, localized reaction, co-freezing, nucleic acid analysis

ID 518

FASTKD1 Correlated with Immune Cell Infiltration and Could Predict Poor Overall Survival for Breast Carcinoma

Fan Guo,Weina Kong,Miyessar Anwar,Xiumin Ma
Tumor Hospital Affiliated to Xinjiang Medical University

Background: In recent years, breast carcinoma has replaced lung cancer as the number one most common cancer in the world. Although significant progress has been made in breast cancer detection, local treatment, endocrine therapy, chemotherapy, and immunotherapy, breast cancer remains the leading cause of cancer death in women, and almost all patients suffering from metastatic diseases will die of breast cancer and live for about two to four years. However, compared to cancers like non-small cell lung cancer and bladder cancer, immunotherapy with breast cancer has made slow progress. FASTK gene family has been found as regulators of mtRNA homeostasis associated with mitochondrial disorders. This family is an important post-transcriptional regulator of mitochondrial gene expression, but each member performs a separate job in the biological control of mitochondrial RNA, ranging from mRNA processing and maturation to ribosomal assembly and translation. A large number of microarray-based gene expression researches have revealed that certain FASTK family genes

are over-expressed a variety of cancer types. The function of the FAST kinase domains 1 (FASTKD1) gene in breast cancer hasn't been established. The previous study reported partial co-localization of FASTKD1 with mtDNA, which may interact with mtRNA shortly after transcription and regulate mRNA stability. This essay aims to look into the comprehensive roles of FASTKD1 in breast cancer. We first analyzed the expression of FASTKD1 mRNA in breast tumor and normal breast tissues, and then looked at the links between FASTKD1 mRNA expression and clinical characteristics as well as the prognosis in breast cancer patients. Besides, we studied the relationship between FASTKD1 mRNA expression and tumor-infiltrating immunocytes. These findings shed light on a clearer understanding of the potential function of FASTKD1 in breast cancer as well as the possible connection between FASTKD1 and tumor immunity.

Methods: We used the Cancer Genome Atlas (TCGA) database, Genotype-Tissue Expression (GTEx) and our immunohistochemistry (IHC) cohort to analyze the expression level of FASTKD1 in breast tumor tissues, and also studied the correlation between the expression of FASTKD1 mRNA and the clinical characteristics of breast cancer, as well as the prognostic value of FASTKD1. A weighted co-expression network and LinkedOmics detected the possible biological role of FASTKD1 in breast cancer. TIMER2.0 and our own IHC cohort evaluated the association between FASTKD1 and immune cell infiltration.

Results: Our findings in this study confirmed that FASTKD1 mRNA was higher in BRCA tumor tissues. According to the pathological stage, T classification, and lymph nodes, respectively, the high expression of FASTKD1 mRNA. Additionally, low OS was linked to increased FASTKD1 mRNA expression. We divided it into high-expression group and low-expression group according to the average expression of FASTKD1 mRNA, in which the high-expression of FASTKD1 was related to pathological stages. In tumor microenvironment (TME), the expression levels of immune core, matrix score and estimated score in the low-expression group of FASTKD1 mRNA were significantly higher than those in the high-expression group. It was found that the expression of FASTKD1 was positively correlated with tumor infiltrating immune cells. Our IHC study also showed that the expression of FASTKD1 in BRCA was related to CD8 ($R2 = 0.228$, $P = 0.0021$) and CD163 ($R2 = 0.194$, $P = 0.0044$). In addition, functional enrichment analysis showed that FASTKD1 may be involved in RNA transport and degradation, splicing, cell cycle and mitochondrial gene expression, as well as mitochondrial RNA metabolism, thus affecting the occurrence and development of BRCA.

Conclusions: Our findings suggested that FASTKD1 may be a carcinogenic gene, which can be serve as a prognostic biomarker for breast cancer and is correlated to the level of immune infiltration. However, the underlying mechanism of FASTKD1 and how tumor-infiltrating cells influence the prognosis of BRCA patients remains to be investigated.

Key Words: breast carcinoma; FASTKD1; overall survival; immune infiltration; immunohistochemistry

ID 1616

基于Olink靶向蛋白组学探讨肉芽肿性小叶性乳腺炎-乳腺癌的蛋白表达差异

张梦棣[1]、李静蔚[2]

1. 山东中医药大学

2. 山东中医药大学附属医院

目的：通过Olink靶向蛋白组学技术探讨肉芽肿性小叶性乳腺炎（granulomatous lobular mastitis, GLM）患者、乳腺癌（breast cancer, BC）患者血清的蛋白表达特征，分析两组患者之间的差异蛋白并对其进行功能分析。

材料与方法：经患者知情同意后，共纳入10例GLM患者、10例BC患者的血清，应用邻近延伸分析（Proximity Extension Assay，PEA）技术，依托QPCR平台进行Olink靶向免疫应答检测板（96个免疫应答蛋白）蛋白组学测序，并通过生物信息学技术对差异蛋白进行功能分析。

结果：GLM患者、BC患者血清共有22个差异蛋白，其中上调蛋白15个，下调蛋白7个。亚细胞定位显示，差异蛋白

主要集中在细胞核、细胞质、细胞膜；KEGG及GO分析进一步揭示了差异蛋白在C型凝集素受体信号通路、肠道免疫网络产生IgA、IL-17信号通路、JAK-STAT信号通路、病毒蛋白与细胞因子和细胞因子受体的相互作用中的作用；与PPI结果汇总后提示，IL-6、IL-10、CLEC6A、CLEC4D、TRAF2、CCL11、CD83、TREM1为调控C型凝集素受体信号通路、IL-17信号通路、JAK-STAT信号通路的主要蛋白。

结论：本研究通过Olink靶向蛋白组学技术描述了GLM、BC的差异蛋白特征，可为二者的生物学机制研究提供重要线索，也为临床鉴别诊断的生物标志物的提供新的参考。

关键字：肉芽肿性小叶性乳腺炎，乳腺癌，Olink靶向蛋白组学，免疫应答，生物标志物

ID 2102

Wireless and Battery-free Wearable Biosensing System for in Situ Sweat Vitamin Analysis Toward Precision Nutrition

Zhenghan Shi,Li-ang Zhou,Meng Jin,Feiyue Fang,Tao Chen,Yanli Lu,Qingjun Liu
Zhejiang University

Nutrition assessment is crucial for dietary guidance and prevention of malnutrition. Recent endeavors in wearable biochemical sensors have enabled real-time, in situ analysis of nutrients in sweat. However, the monitoring of riboflavin, an indispensable vitamin B involved in energy metabolism, remains challenging due to its trace level and variations in the sweat matrix. Herein, we report a wireless, battery-free, and flexible wearable biosensing system for the in situ monitoring of sweat riboflavin. Highly sensitive and selective electrochemical voltammetric detection is realized based on the synergistic effect of electrodeposited reduced graphene oxide (rGO) and platinum nanoparticles (PtNPs) with a low detection limit of 1.2 nM. The fully integrated system is capable of sweat sampling with the microfluidic patch, real-time riboflavin analysis and pH calibration with the flexible electrode array, as well as wirelessly simultaneous near field communication (NFC) energy harvesting and data transmission with the flexible circuit and a smartphone. On-body human sweat analysis demonstrates high accuracy cross-validated with gold-standard measurements, and reveals a strong correlation between sweat and urine riboflavin levels. The proposed wearable platform opens up attractive possibilities for noninvasive nutrient tracking, providing strong potential for personalized dietary guidance towards precision nutrition.

Key Words: Wearable sensors; Battery-free; Sweat analysis; Vitamin; Nutrition management.

ID 2311

Orthogonal DNA Self-assembly-based Expansion Microscopy Platform for Amplified, Multiplexed Biomarker Imaging

Xiaochen Tang[1],李文星[2],陈天舒[1],张润驰[2],严依琳[2],刘晨玢[2],勾泓荃[2],张凡萍[2],潘秋辉[1],毛东升[2],朱小立[2]
1. 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心
2. 上海第十人民医院

Expansion microscopy (ExM) facilitates nanoscale imaging under conventional microscopes, but it frequently encounters challenges such as fluorescence losses, low signal-to-noise ratio (SNR), and limited detection throughput. To address these issues, a method of orthogonal DNA self-assembly-based ExM (o-DAExM) platform is developed, which employs hybrid-

ization chain reaction instead of conventional fluorescence labeling units, showcasing signal amplification efficacy, enhancement of SNR, and expandable multiplexing capability at any stage of the ExM process. In this work, o-DAExM has been applied to compare with immunofluorescence-based ExM for cellular cytoskeleton imaging, and the resolved nanoscale spatial distributions of cytoskeleton showed outstanding performance and reliability of o-DAExM. Furthermore, we demonstrated the utility of o-DAExM in accurately revealing exosome heterogeneous information and multiplexed analysis of protein targets in single cells, which provides infinite possibilities in super-resolution imaging of cells and other samples. Therefore, o-DAExM offers a straightforward expansion and signal labeling method, highlighting future prospects to study nanoscale structures and functional networks in biological systems.

Key Words: Expansion Microscopy, Fluorescence Encoding, DNA Self-assembly, Exosome Imaging, Multiplexed Analysis

ID 2730

数字微流控和MALDI-MS一体化微生物分析

李博宇、杨超、高伟博、赵梦磊、符荣鑫、张帅龙、李航
北京理工大学

微生物尤其是肠道菌群，对人体消化吸收、免疫调节及神经系统调控等方面至关重要，质谱分析是微生物鉴定与解析的关键技术。然而，基于基质辅助激光解析电离质谱技术（MALDI-MS）的微生物解析通常依赖于人工样本处理，且在低质量数范围的背景峰干扰了代谢小分子的鉴定。基于此，本研究提出一种串联数字微流控芯片和MALDI-MS分析的新策略，设计并开发了一种直接耦合DMF芯片与MALDI离子源的靶板装置，实现了从DMF自动化微生物样本处理到分子离子化质谱解析。首先，通过对芯片上极板亲水位点的制备及润湿特性评估，建立了上极板进样策略。进而，通过测试适配DMF上极板的耦合靶板在维拉帕米溶液浓度梯度曲线，以及大肠杆菌和肺炎克雷伯杆菌等微生物鉴定方面的表现，验证了该一体化装置在从微生物样本处理到谱图采集与鉴定方面的灵敏度与准确性。进一步，通过TiO2纳米颗粒代替传统基质液，结合有机溶剂萃取大肠杆菌代谢物，鉴定了多种在m/z 80-280 Da范围内的大肠杆菌内的代谢小分子，如2-Oxo-4-pentenoic acid和Uracil等。该一体化DMF-MALDI-MS装置在微生物鉴定、样本处理和代谢分子鉴定方面具有自动化、高通量、快速、准确等优势，在生化分析和临床诊断中具有广阔的应用前景。

关键字：数字微流控；MALDI-MS；TiO2；微生物鉴定；代谢产物

ID 2984

妊娠早期妇女甲状腺功能异常的独立危险因素分析以及预测模型构建

依丽米努尔·克热木、马秀敏、郭凡
新疆医科大学附属肿瘤医院

目的：筛选妊娠早期妇女发生甲状腺功能异常的独立危险因素并构建预测模型。

方法：回顾性分析2022年4月至2024年6月期间在巴音郭楞蒙古自治州收治的共157例妊娠早期妇女的一般资料和相关实验室指标。将患者分为甲状腺功能正常组 (111例)和甲状腺功能异常组 (46例)，分析检测结果，筛选独立危险因素并构建预测模型。

结果：157例孕妇中，甲状腺功能正常的孕妇占比为70.7%，甲状腺功能异常的发生率为29.30%，其中甲亢的发生率为8.92%、甲减的发生率为14.01%、亚甲亢的发生率为4.46%、亚甲减的发生率为1.91%；单因素分析说明，TSH（P=0.046）、T3（P=0.015）、T4（P<0.001）、FT3（P<0.001）、FT4（P<0.001）、TPOAb（P=0.023）在两组间差异有统计学意义（P<0.05）；多因素分析说明，TSH、FT4是妊娠早期妇女甲状腺功能异常的独立危险因素，并构建回归曲线预测模型logit(P)=11.308-1.498X1-0.853X2（X1：TSH；X2：FT4）。

结论：血清三碘甲状腺氨酸（T3）、甲状腺素（T4）、游离T3（FT3）、游离T4（FT4）、促甲状腺素（TSH）以及甲状腺过氧化物酶抗体（TPOAb）在妊娠早期妇女甲状腺功能正常与甲状腺功能异常两组之间的差异有统计学意义(P<0.05)；TSH水平和FT4水平是妊娠早期妇女甲状腺功能异常的独立危险因素。

关键字：妊娠早期妇女；甲状腺功能异常；危险因素；预测模型

ID 589

Numerical Simulation Study of the Interaction Relationship Between Ultrasonic and Inductive Electrical Stimulation in TMAS

Yanqiu Zhang[1],Hao Zhang[2],Tianya Xu[1],Jiahe Liu[1],Jiayang Mu[1],Haixin Guo[1],jiumin Yang[1],Xiqi Jian[1]

1. Tianjin Medical University

2. Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Tianjin International Joint Research Centre for Neural Engineering, and Tianjin Key Laboratory of Brain Science and Neural Engineering, Tianjin University

Background: Parkinson's disease (PD) is a common neurodegenerative disorder. Transcranial magnetoacoustic stimulation (TMAS) is a new therapy that combines a transcranial focused acoustic pressure field with a magnetic field in order to excite or inhibit neurons in the target area, thereby suppressing the abnormally elevated beta band amplitude in Parkinson's disease patients with high spatial resolution and non-invasiveness. Aims of the study To investigate the effective stimulation parameters of TMAS for the treatment of Parkinson's disease by reducing beta-band energy, and to analyze the interaction between ultrasound and inductive electrical stimulation in TMAS. Methods: The TMAS model is constructed based on the volunteer's computed tomography, 128 arrays of phase-controlled transducers, and permanent magnets. A basal ganglia-thalamic (BG-Th) neural network model of the PD state was constructed on the basis of the Izhikevich model and the acoustic model. An ultrasound stimulation neuron model is constructed based on the Hodgkin-Huxley model. Numerical simulations of transcranial focused acoustic pressure field, temperature field and induced electric field were performed using the locations of STN or GPi in the human brain as the main stimulation target areas. And the acoustic and electric parameters at the focus were extracted to stimulate STN or Gpi in the BG-Th neural network. Results When the stimulating effect of ultrasound is ignored, TMAS-STN simultaneously inhibits the beta-band amplitude of the GPi nucleus, whereas TMAS-GPi fails to simultaneously have an inhibitory effect on the STN. When considering the stimulatory effect of ultrasound, lower sound pressures of ultrasound do not affect the neuronal firing state, but higher sound pressures may promote or inhibit the stimulatory effect of induced currents. Conclusions: At 9 T static magnetic field, 0.5-1.5 MPa and 1.5-2.0 MPa ultrasound had synergistic effects on individual STN and GPi neurons. TMAS multinuclear stimulation with appropriate ultrasound intensity was the most effective in suppressing the amplitude of pathological beta oscillations in PD and may be clinically useful.

Key Words: Transcranial magnetoacoustic stimulation, basal ganglia, parkinson's disease, transcranial focused ultrasound

ID 599

基于术前超声造影时空特征注意力的肝动脉灌注化疗疗效的智能预测模型研究

罗玉迪、陈昕、刘忠、黄斌、刘璟明
深圳大学

目的：我们的目的是建立并验证一种基于深度学习的三维卷积长短时注意力模型，通过智能分析对比增强超声（CEUS）病例，用于预测晚期肝细胞癌（HCC）对首次肝动脉灌注化疗(HAIC)的个性化治疗反应。

方法：回顾性纳入195例接受超声检查（CEUS和b模式检查）的HCC患者（训练117例，验证39例，测试39例）。利用超声数据分别建立基于机器学习的CEUS模型时间强度曲线（TIC）和基于深度学习的CEUS模型（C3D-convLSTM-CBAM），参照实体肿瘤的反应评估标准预测对HAIC的反应（客观反应和无反应）标准。通过受试者工作特征曲线（AUC）下的面积来比较模型的性能。对各模型的预测稳健性进行了评估。

结果：在测试队列中，C3D-convLSTM-CBAM和TIC的AUC分别为0.909和0.78。C3D-convLSTM-CBAM的AUC与TIC相比有明显差异。在不同的训练和测试队列中，该表现具有高度的可重复性。

结论：C3D-convLSTM-CBAM可以有效的利用CEUS数据来准确实现HAIC术前疗效预测，对于延长晚期HCC患者的生存期、优化医疗资源配置有着重大意义。

关键字：晚期肝细胞癌，肝动脉灌注化疗，超声造影，深度学习

ID 820

基于不同算法的自动定量三维超声心动图评估左心室容积和功能的头对头比较：一项前瞻性多中心研究

董天心、李诗文、白若岑、王永槐、马春燕
中国医科大学附属第一医院

目的：基于斑点追踪算法的4D LV-Analysis和基于自适应分析算法的动态心脏模型(Dynamic Heart Model, DHM)是常用的三维超声心动图自动定量分析软件。本研究旨在全面比较两种方法在左心室(left ventricular, LV)定量中的差异。

方法：从全国38家医院招募770名健康志愿者，使用两种方法定量LV容积和功能，分别记录定量分析的工作流、定量结果及重复性。

结果：两种方法定量的LV容积和射血分数具有良好的相关性(r=0.81-0.90)。与4D LV- analysis相比，DHM定量的LV容积和射血分数均更高。此外，DHM在定量过程中手动调整的比例更低，定量所需时间更短。4D LV-Analysis与DHM均可以提供较好的重复性，但DHM重复性受三维图像质量的影响更小。

结论：4D LV-Analysis与DHM在定量流程、定量结果与重复性方面均存在差异，二者在定量中各有优缺点，临床应充分考虑二者的差异并选择最合适的定量方法。

关键字：三维超声心动图；自动定量；左心室；容积；射血分数

ID 1324

聚焦超声增强尿石素A递送入脑对ALS小鼠产生积极的治疗效果

张继[1]、胥慧琴[1]、陈凯莉[1]、陈思平[1]、陈昕[1]、杨细飞[2]、沈圆圆[1]
1. 深圳大学
2. 深圳市疾病预防控制中心

肌萎缩侧索硬化症（Amyotrophic lateral sclerosis，ALS）是一种严重威胁上、下运动神经元的致命性中枢神经系统退行性疾病。近期研究表明尿石素A（Urolithin A，UA）具有延缓衰老、抗氧化、增强线粒体自噬和肌肉功能等功效，在治疗中枢神经系统疾病方面显示出了巨大的潜力。然而，由于血脑屏障（Blood-brain barrier，BBB）的存在，UA透过BBB的效率极低，严重影响了该潜在药物对ALS的治疗效果。近年来，低强度超声联合微泡（Focused ultrasound with microbubbles，FUS/MB）开放BBB进行颅内药物靶向递送的新技术应运而生。该技术能够以较低的能量进行无创、可逆的BBB开放，提高药物递送效率，为更好地治疗各种神经系统相关疾病提供了新思路。因此，本研究旨在采用FUS/MB技术开放BBB，将UA药物高效地递送至SOD1G93A转基因小鼠的大脑运动皮层，并通过生存周期、运动功能和病理组织学分析来全面评估治疗效果。本研究工作确立了FUS/MB技术将药物精准递送到脑运动皮层部位的高效性。该技术通过对UA药物的入脑递送，有效延缓了SOD1G93A转基因小鼠的疾病进展速度，延长了中位生存期，并改善了与ALS疾病相关的运动功能和病理变化。

关键字：血脑屏障；超声微泡；肌萎缩侧索硬化症；尿石素A；SOD1转基因小鼠

ID 1362

基于剪切波频散图像深度学习的肝脏炎症评估

杨凯[1]、刘忠[1]、江美琴[1]、金洁琇[2]、曾婕[2]、任杰[2]、陈昕[1]
1. 深圳大学
2. 中山大学附属第三医院

背景：剪切波频散（SWD）成像是一种新兴技术，可提供与粘度相关的信息，具有评估肝脏炎症的潜在应用价值。然而，它在慢性肝病中的诊断性能仍未得到充分探索。

目的：本研究旨在探讨深度学习在SWD图像上增强肝脏炎症诊断性能的潜力。

材料与方法：这项回顾性研究涉及209名参与者，他们于2019年7月至2020年9月在一家三级医疗中心接受了肝活检和SWD评估。根据SWD图像和组织病理学结果，建立了一个深度学习模型，以及两个传统模型，包括基于平均值的模型和影像组学模型。以组织病理学结果为参考标准，对已建立的模型进行了四项指标（包括受体运算特征曲线下面积（AUC））的比较。

实验结果：深度学习模型的AUC值为0.84，明显高于均值模型（AUC=0.58）和影像组学模型（AUC=0.75）。

结论：研究结果表明，剪切波频散图像深度学习有助于肝脏炎症评估。

关键字：剪切波频散成像；肝脏炎症；影像组学；深度学习

ID 1418

基于磁动光学相干弹性成像对角膜力学特性的评估

欧妙琼、肖婷、覃茜、张新宇
深圳大学

核黄素/UV角膜胶原交联术（Riboflavin/UV Corneal Collagen Cross-linking，CXL）是目前临床上一种治疗圆锥角膜的有效方法，可以通过仅加强角膜的硬度薄弱部位来改善角膜的结构稳定性。本研究基于磁动光学相干弹性成像（Magnetomotive Optical Coherence Elastography，MM-OCE）搭建了开放型MM-OCE研究平台，通过对表面负载磁性纳米颗粒（Magnetic Nanoparticles，MNPs）的组织在扫频信号激励信号下产生的振动响应进行频谱分析，获得组织的机械共振频率，半定量地表征组织的生物力学特性。研究结果显示，硬度越大的明胶仿体上，测得的机械共振越大；对局部CXL处理的离体猪角膜进行测量，发现随着交联时间增长，角膜交联区域的机械共振频率也相应增大，与未交联区域有明显差异；CXL处理后切片结果显示引入MNPs未见对角膜造成损伤。上述结果表明，该方法能够显著地区分角膜的局部硬度差异，在圆锥角膜的早期诊断以及CXL治疗术的效果评估具有较大的应用潜力，有望发展为一种无创测量角膜力学特性的检测技术。

关键字：胶原交联；磁动光学相干弹性成像；角膜；生物力学特性

ID 1475

Brain Delivery of a Glutamine Antagonist Enhanced by Focused Ultrasound with Microbubbles for Glioma Therapy

Yiluo Xu[1],黄伟丰[1],胡梦妮[1],黄佳丽[2],卞金磊[2],沈圆圆[1]
1. 深圳大学
2. 中国药科大学

Glutamine metabolism plays an essential role in glioma proliferation, suggesting its potential as a therapeutic target for glioma therapy. 6-diazo-5-oxo-L-norleucine (DON), a drug developed to inhibit glutaminase and a broad range of glutamine-utilizing enzymes by covalently binding to them, was discontinued in clinical studies due to its severe gastrointestinal toxicity. Although the prodrug strategy could reduce the side effects of DON on normal tissues by altering its physicochemical and pharmacokinetic properties through molecular modification, the presence of the blood-brain barrier (BBB) holds the door, preventing almost all the drugs from entering the brain. In recent years, focused ultrasound with microbubbles (FUS/MB) has emerged as a noninvasive therapeutic approach that renders the BBB permeable transiently, thus enabling drug delivery to the intracranial tumor. To our best knowledge, the therapeutic effect of FUS/MB-enhanced delivery of glutamine antagonist on glioma has not been reported yet.

Therefore, in this study we examined the FUS/MB-mediated delivery outcome and therapeutic efficacy of a lab-made DON prodrug on GL261 glioma mouse model. The prodrug was constructed by bonding a near-infrared (NIR) fluorophore to the glutamine antagonist DON through a thioketal linker (TK), named DON-TK-NIR, and it showed comparable anti-glioma effect as DON in vitro according to MTT assay and LC-MS analysis. JC-10 staining and Western Blot assay revealed that DON-TK-NIR could inhibit the growth of GL261 tumor cells through various pathways, including leading to their apoptosis. By measuring bioluminescence emission photons, we demonstrated that when performing FUS/MB, the delivered dose of DON-TK-NIR had a 3.46-fold increase compared to the unsonicated group. Additionally, intravital two-photon imaging provided us with the real-time process of FUS/MB-induced BBB disruption and drug extravasation into the brain tumor.

The DON-TK-NIR + FUS/MB treatment exhibited significantly enhanced therapeutic efficacy, with a 53.06% increase in the median survival time and a 82.7% decrease in the tumor volume compared to the control group. Ki-67, PCNA and Caspase-3 staining of brain tissues further confirmed that DON-TK-NIR delivered by FUS/MB significantly inhibited glioma growth and induced apoptosis. We also measured the volume of tumors through H&E staining. A 22.9% decrease in volume was seen in the DON-TK-NIR group compared to the control group, while the FUS/MB + DON-TK-NIR group exhibited a substantial 82.7% reduction. Our work reveals the potential viability of FUS/MB as an effective approach to deliver glutamine metabolism inhibitor for brain cancer treatment.

Key Words: focused ultrasound; glutamine antagonist; brain drug delivery; blood-brain barrier; glioma

ID 1669

Sono-Activatable Charge-Transfer Complexes for Tumor Ferroptosis-Dependent Sono-immunotherapy

Huning Xu（研究生）,丁红,梁静,邱路萍
复旦大学附属华山医院

Immunogenic programmed cell death, such as apoptosis and ferroptosis, efficiently induces an acute inflammatory response and enhances antitumor immunity. However, the exploration of dual-inducers, particularly nonmetallic inducers capable of triggering both apoptosis and ferroptosis, remains limited. Here, we present the construction of charge-transfer complex (CTC) nanoparticles, serving as a dual-inducer of apoptosis and ferroptosis for effective antitumor immunity. Mechanistic studies reveal that CTC exhibits stronger charge-transfer ability, favoring the generation of reactive oxygen species (ROS) and the induction of apoptosis through sonodynamic therapy (SDT) effects. Due to its robust ROS production capability and specific cystine (Cys) degeneration capacity, it enhances intracellular lipid peroxidation, leading to glutathione depletion, reduced expression of glutathione peroxidase 4, and ferroptosis induction. Utilizing this treatment strategy in combination with PD-L1 checkpoint inhibitors, T cell-mediated anticancer activity is promoted at multiple levels, ultimately achieving superior antitumor efficacy in both orthotopic and metastatic tumor models.

Key Words: sonodynamic therapy, charge transfer, antitumor, ferroptosis, immunotherapy

ID 3488

基于功能性超声成像的冬眠小鼠脑血流及脑功能变化研究

张焱钧、唐建波
南方科技大学

人类休眠是一种通过降低新陈代谢率和体温来减少能量消耗并延长生存时间的新兴技术，其研究有望带来重大医学突破和科技进展。自然条件下的冬眠动物具有忍受各方面极端生理变化的特殊抵抗力，与理想的人类休眠状态非常相似。深入了解冬眠动物的大脑调节机制有望解决人类休眠转化的关键难题。在这项研究中，我们使用药物诱导小鼠进入冬眠状态，通过功能性超声成像技术对小鼠从进入冬眠到逐渐复原的全过程进行监测，提取出冬眠期间多项核心生理参数、脑血流动力学参数及大脑功能连接模式。结果表明：冬眠期间小鼠的心率、体温、脑血容量，血流速度都有大幅度的下降，不同脑区的血流变化情况存在一定的差异；全脑功能连接状态在冬眠期间发生明显变化，且与血流变化存在强

相关性。我们的研究强调了冬眠动物特有的脑血流调节模式和脑功能活动情况，为探明冬眠动物的生理调节机制提供了重要线索。这些发现在未来可能有助于人类休眠转化研究的发展，并具有潜在的医疗和技术应用价值。

关键字：功能性超声；冬眠；脑血流；脑功能连接

ID 356

人工智能辅助的迷走神经精准磁刺激对骨质疏松的改善作用及机制研究

王鹏[1]、蒋青[1]、顾宁[3]、孙剑飞[2]
1. 南京大学医学院附属鼓楼医院
2. 东南大学
3. 南京大学

目的：骨质疏松日益成为威胁人们生命健康和生活治疗的一种重要的退行性疾病，其机制在于内分泌系统变化导致的骨代谢长期非显著性失衡，成骨细胞数目减少，活性下降，破骨细胞活性相对增强导致骨量减少和骨骼系统结构强度下降。深入研究骨重建调控手段，进而干预骨重建过程，上调骨量是骨质疏松治疗研究的热点。然而，骨重建调控仍然面临着许多挑战。首先，临床用抗骨质疏松药物尽管可以通过抑制破骨细胞活性或上调成骨细胞的数量及活性在短期内达到改善骨质疏松的效果，近年来有报道认为其长期疗效仍存在较大争议。其次，利用药物治疗疾病的过程中，副作用是难以回避的重要问题。因此，继续探寻骨质疏松治疗的新方法。

方法：通过人工智能辅助的大数据挖掘寻求骨质疏松治疗新靶点，采用基于壳聚糖/β甘油磷酸钠的可注射水凝胶封装顾宁院士牵头研发的临床用磁性氧化铁纳米颗粒（已被国家药品监督管理局批准作为临床用的补铁剂和磁共振造影剂）构建医用磁性微纳器件，进一步通过直接注射至大鼠迷走神经处以包裹单根神经，通过100 mT温和的脉冲磁场进行精准磁刺激。通过Micro CT，组织学对骨质疏松的治疗效果进行评估；通过MRI对磁性可注射凝胶在神经组织的驻留性进行评估；通过血生化指标及组织学对在体生物安全性进行分析；通过人工智能辅助的大数据挖掘寻求迷走神经磁刺激改善大鼠骨质疏松新机制。

结果：将磁性氧化铁纳米颗粒负载到可注射水凝胶中构建磁性微纳器件，可通过直接注射至大鼠颈部覆盖单根迷走神经，显著增强纳米氧化铁在外周组织的安全稳定驻留时间（目前至少可达20周），从而介导100mT温和脉冲磁场对迷走神经有效精准磁刺激。我们通过电生理测量直接证明了磁介质和磁场的协同作用活化了迷走神经，且具有实时响应特性。发现磁刺激（20Hz，每天2次，每次15分钟）16周即可显著改善雌激素缺乏导致的骨质疏松。机制研究表明，肠道微生物群的变化可能为迷走神经磁刺激改善骨质疏松症提供了潜在解释。

结论：我们提出磁性可注射凝胶介导迷走神经磁刺激治疗骨质疏松，有望为开发高效的骨质疏松治疗策略提供有益的理论和实践依据，具有较大的理论研究意义和临床转化前景。

关键字：人工智能辅助的迷走神经精准磁刺激对骨质疏松的改善作用及机制研究

ID 612

The Therapeutic Effect of Different Intensities of Alternating Electric Fields in Melanoma

Yue Lan[1],王敏敏[2],谢旭[3],朱莹[1],潘赟[4],张韶岷[3],陈光弟[1]
1. 浙江大学医学院
2. 西湖大学光电研究院
3. 浙江大学求是高等研究院
4. 浙江大学信息科学与电子工程学院

The alternating electric fields with specific intensity and frequency parameters have been developed as a non-invasive anti-tumor treatment strategy, named tumor treatment fields (TTFields) by Novocure ltd. In this study, an alternating electric fields animal treatment device was established. A sine wave electrical power, with a voltage of 5 V and a frequency of 200 kHz, was administrated on treating the low-intensity group. Similarly, a voltage of 10 V, along with a frequency of 200 kHz, was applied to administer treatment to the high-intensity group in malignant melanoma models. Following treatment, an investigation was conducted to assess the impact of alternating electric fields on the tumor immune microenvironment. The results showed that alternating electric fields treatment significantly inhibited the progression of malignant melanoma with intensity-response. Furthermore, a noteworthy increase in the proportion of DC cells and T cells was found in the tumor microenvironment after alternating electric fields treatment, particularly cytotoxic T lymphocytes.

In conclusion, our data suggested that alternating electric fields exerted a potent inhibitory effect on the progression of mouse melanoma models, potentially inducing immune activation.

Key Words: alternating electric fields, immunology, cancer treatment

ID 635

Senescence Related Mitochondrial Permeability Transition Pore Dysfunction Sensitizes Cells to 50 Hz Magnetic Fields on DNA Damage

Longtao Zhu[1],Chuan Sun[2],Xiaoxia Wei[3],Guangdi Chen[1]
1. Bioelectromagnetics Laboratory, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou, 310021, China
2. Zhejiang Provincial Key Lab of Geriatrics & Geriatrics Institute of Zhejiang Province, Department of Geriatrics, Zhejiang Hospital, Hangzhou 310013, China
3. Sir Run Run Shaw Hospital, Zhejiang University School of medicine, Hangzhou 310016, China

With the rapid development of technology, artificial electromagnetic fields (EMFs) are becoming an emerging environmental factor and cause potential impact on human health. Extremely-low-frequency (ELF) magnetic fields (MFs) is one the most common types of EMFs in the environment, and has been classified as possible carcinogen to human by IARC, however, its potential biological mechanisms have not been fully elucidated. Senescent cells are a group of special cells, characterized by cell cycle arrest, SASP, accumulation of macromolecular damage, and metabolic disturbance, that play important role in fetal development, tissue aging, and even carcinogenesis. EMFs may exert its effect on carcinogenesis by affecting senescent cells, however, there are few studies on this. In this study, we investigated the effect of 50 Hz magnetic fields (MFs) on DNA damage in human fetal lung fibroblasts and found that exposure to 50 Hz MFs at 1.0 mT for 24 h could induce significant DNA damage in senescent but not non-senescent cells, and reactive oxygen species (ROS) generation mediated by mitochondrial permeability transition pore (mPTP) play critical role in this process. Our results suggested that

senescent cells are more sensitive to 50 Hz MF on DNA damage than non-senescent cells, however, whether this play important role in mediating the carcinogenesis of EMFs await further study.

Key Words: electromagnetic fields, cell senescence, DNA damage, calcium signaling, mPTP

ID 647

Exposure to 50 Hz Magnetic Fields at low-intensity Promotes Human Cytomegalovirus Replication in Human Fetal Lung Fibroblasts

Chuan Sun[1],Xiaoxia Wei[3],Guangdi Chen[2]

1. 浙江医院
2. 浙江大学医学院
3. 浙江大学医学院附属邵逸夫医院

With the rapid increasing of artificial electromagnetic fields (EMFs) in the living and working environment, people are increasingly concerned about the potential health hazards of electromagnetic radiation. Many studies have focused on health effects such as carcinogenesis, neurodegenerative diseases, but few have studied the effect of EMFs on viral infection and pathogenicity which play critical role in carcinogenesis and other diseases. In this study, we investigated the effect of 50 Hz MF exposure on human cytomegalovirus (HCMV), one of the most widely infected viruses, and found that low-intensity (0.4 mT) 50 Hz MF have a significant effect in promoting HCMV replication. Our results suggested that EMFs have an effect on HCMV replication, but whether this will result in health hazards in human await further studies.

Key Words: Electromagnetic fields; 50 Hz magnetic fields; virus; viral replication; human fetal fibroblasts

ID 1394

太赫兹波对谷氨酸能神经元的调控作用及机制研究

宋乐泉、何智威、程文静、赵黎、董霁、王惠、彭瑞云

军事医学研究院

目的：探究太赫兹波在非热条件下对谷氨酸能神经元功能的调控作用及机制，为神经功能的精准调控提供新思路。

方法：采用0.152 THz照射原代海马神经元和腹侧海马区CA1区（Ventral hippocampus CA1 region，vCA1）脑片。通过原位杂交和免疫荧光检测神经元活性，膜片钳和高密度微电极阵列检测神经元电活动，离体脑片LTP检测突触功能可塑性，免疫印迹检测谷氨酸相关蛋白分子的表达量。

结果：THz波暴露后，原代海马神经元和vCA1区神经元的动作电位和谷氨酸能神经元活性增强，谷氨酸代谢相关分子的表达量升高。此外，THz波可增强vCA1谷氨酸能神经元的突触传递和谷氨酸受体电流，并且改变vCA1谷氨酸能神经元的兴奋-抑制平衡。

结论：0.152 THz对谷氨酸能神经元具有正向调控作用，可导致神经元活性、电活动、突触功能可塑性、谷氨酸代谢相关分子和谷氨酸受体电流增强，通过增加突触前囊泡释放改变兴奋-抑制平衡。

关键字：太赫兹波；谷氨酸能神经元；调控作用；机制

ID 1439

太赫兹波对皮质神经元活性及神经环路的调控研究

何智威、宋乐泉、程文静、赵黎、董霁、王惠、彭瑞云
军事科学院军事医学研究院

目的：探究太赫兹（Terahertz，THz）波对皮质神经元活性和神经环路的调控作用和机制，为神经功能调控提供新思路。

方法：采用0.152THz的太赫兹波照射内侧前额叶（medial prefrontal cortex，mPFC）和嗅周皮层（perirhinal cortex，PRH）的小鼠脑片。通过免疫荧光观察两脑区中c-Fos+细胞数变化，多电极阵列记录放电活动，离体脑片LTP检测突触可塑性及全细胞记录mPFC和PRH锥体神经元的动作电位、自发型兴奋性突触后电流（spontaneous excitatory postsynaptic currents，sEPSC）、微小型兴奋性突触后电流（minor excitatory postsynaptic currents，mEPSC）和谷氨酸受体电流。采用离体钙成像记录谷氨酸能神经元的钙信号变化，膜片钳结合光遗传观察THz波对PRH-mPFC环路的调控，最后通过免疫印迹检测谷氨酸相关蛋白表达。

结果：THz波暴露后，mPFC和PRH中神经元活性和钙活动增强，爆发式放电频率和峰占比上升，动作电位数目、fEPSP斜率、sEPSC和mEPSC频率以及NMDA和AMPA受体电流均增大，谷氨酸代谢相关分子的表达升高，抑制PRH-mPFC环路后THz波暴露脑片可维持其兴奋性。

结论：0.152THz的太赫兹波可激活mPFC和PRH神经元和PRH-mPFC环路。

关键字：THz波；突触可塑性；PRH-mPFC环路；谷氨酸能神经元

ID 1569

卷积神经网络预测生物神经纤维在脑深部刺激下的激活

王顺景（研究生）、袁群然、姜长青
清华大学

目的：临床脑深部刺激（DBS）系统的程控涉及到数万种不同的刺激参数组合（例如电极配置、刺激幅值、脉冲宽度、频率），随着方向性电极等更复杂的电极形态投入使用，手动DBS编程的试错方法将难以发挥作用。激活组织区域（VTA）可视化DBS对神经组织的直接影响，可以辅助刺激参数的选择。然而生物神经纤维建模的标准VTA计算方法时间成本过高，限制了临床应用。我们尝试建立卷积神经网络（CNN）来实现快速、准确且通用的预测器。

方法：使用植入DBS系统的有限元模型生成的电场以及轴突的多室电缆模型在各种刺激下的响应数据来训练CNN。使用各种电极配置和刺激参数评估CNN模型计算VTA的效果，并与现有的激活函数（AF）方法比较。

结果：CNN模型预测神经纤维激活阈值的平均绝对误差（MAE）为0.0336V，相比AF方法，其预测VTA更加稳定准确。相比标准的轴突模型方法，其计算时间减少了五个数量级。

结论：基于CNN的神经纤维预测器可以快速、准确且稳健地预测DBS刺激下的神经激活反应。

关键字：卷积神经网络；脑深部电刺激；神经元计算；激活组织区域

ID 1949

AutoSimTTF: A Fully Automatic Pipeline for Electric Fields Simulation and Parameter Optimization in Tumor Treating Fields

Xu Xie,凡正波,兰悦,潘赟,陈光弟,张韶岷,王玉兴,王敏敏
浙江大学

Tumor Treating Fields (TTFields) is an emerging physical approach that inhibits tumor cell proliferation by applying alternating electric fields (EF). The TTFields-induced EF intensity at the tumor site is closely related to the therapeutic effect. Currently, no fully automated workflow exists for constructing head models and optimizing treatment parameters for TTFields. Here, we introduce a fully automated pipeline for the EF simulation and optimization of TTFields—AutoSimTTF. The main steps of AutoSimTTF utilize open-source toolkits, enabling fully automated processing of individual MRI data for TTFields. Additionally, AutoSimTTF allows for parameter optimization based on individual anatomical information, thereby achieving a more focused and higher EF distribution at the tumor site. Compared to conventional EF calculation, deviations in AutoSimTTF are below 20%. The optimal treatment parameters generated by AutoSimTTF produces a higher EF intensity at the tumor site (111.9%) and better focality (19.4%) compared to traditional TTFields setting. AutoSimTTF can provide significant reference and guidance for the clinical application and treatment planning of TTFields.

Key Words: Tumor treating fields; Simulation model; Parameter optimiza-tion; Pipeline; Finite element analysis

ID 2552

建立有源植入式医疗器械射频传递函数的多源差分测量系统

龙天罡、高汇成、袁群然、姜长青
清华大学航天航空学院神经调控技术国家工程研究中心

射频致热是有源植入式医疗器械磁共振兼容性研究中的关键问题。植入式医疗器械的传递函数在其射频致热评估中至关重要。在传统的传递函数测量方法中，传递函数的标定过程与验证过程均依赖射频暴露实验，两过程高度耦合，导致传递函数的标定系数无法被验证。基于感应原理和互易定理推导的传递函数差分测量方法通过激励源入射场设计和引入电极端部模拟计算的方式，实现了传递函数测量过程中的能量分析，解决了上述耦合问题，但测量时需要对待测植入器械导线进行手动定位，对测量精度和效率造成很大影响。本文研究提出了多源差分测量方法，利用待测植入导线中的电流响应对传递函数测量过程中其与激励探针相对位置敏感这一特性实现待测导线的自动定位，在此基础上搭建了多源差分测量系统，所测量的模式导线传递函数不确定度最低为3.2%。最后，我们在射频暴露实验中多源差分系统测量的传递函数进行了验证，所获取的温升预测不确定度为7.7%。本文提出的传递函数测量方法为植入式医疗器械准确、高效的射频致热评估奠定了基础。

关键字：磁共振成像；有源植入式医疗器械；射频致热；传递函数。

ID 2570

磁响应蛋白Amb0994和感蓝光蛋白Amb2291介导的趋磁螺菌AMB-1磁光感受协同作用机制

陈海涛、赵浩宇、魏圆圆、陈昌友、汪平平、宋涛
中国科学院电工研究所

趋磁细菌是一类能沿磁场作定向运动（趋磁性）的原核生物，并具有一定的光响应特征。我们前期研究发现趋磁细菌中光敏色素BphP和光-氧气-电压光受体Amb2291响应光并均参与氧化应激下调节细胞的趋光性和磁效应，也发现类甲基受体趋化蛋白Amb0994可以通过控制鞭毛参与细菌对磁力矩变化的响应。趋磁细菌可能存在感光和感磁协同作用机制。本研究将通过搭载的磁光处理显微系统，分析AMB-1野生型、相应突变菌株在反转磁场作用下不同光照时的运动特性。实验表明，蓝光作用时，Δamb0994突变菌株对磁场反转的响应要比不加光的慢，且加光后更接近于野生型的运动特性。对于Δamb2291，蓝光作用下的磁场反转响应要比不加光的慢，但显著慢于野生型的运动。推测Amb2291和Amb0994在细菌受蓝光处理下磁响应变化的运动行为中起到互补作用。这项研究对于认识趋磁细菌感光机制及对趋磁行为的作用，以及对磁光靶向的微纳机器人的肿瘤治疗具有重要意义。

关键字： 趋磁细菌；U型运动行为；磁响应蛋白；感光蛋白；磁光感受机制

ID 3201

基于动态脑血流灌注电阻抗成像技术的无创颅内压变化监测预警新方法研究

朱明旭、史学涛
中国人民解放军空军军医大学

神经急危重症疾病常伴随颅内压（ICP）升高，导致脑血流灌注量不足，进而引起严重的继发性神经系统损伤。本研究旨在研究电阻抗断层成像（EIT）技术实时监测ICP变化的可行性与方法。通过向家猪脑实质中注入自体未抗凝血制备颅内高压模型。以有创ICP监测作为对照，采用团队最新研制的高速高精度EIT系统采集分析脑血流灌注EIT图像参数随ICP的变化规律。随着ICP的增高，EIT灌注参数均显著性降低（P<0.05），相关系数在0.7-0.8之间。受试者特征曲线分析显示，基于随机森林算法建立的灌注参数综合模型在检测ICP相对于基线升高超过10mmHg的增量变化时，灵敏度和特异度分别达到了93%和90%，曲线下面积（AUC）也达到了0.92。高性能EIT技术结合本研究提取的灌注参数可通过监测脑血流灌注状态间接评估ICP的变化，可能为颅内高压患者的ICP实时无创监测与救治效果的评测提供新的解决思路与方法。

关键字： 颅内压；电阻抗断层成像；脑灌注；脑血流自动调节

ID 3319

Cognitive Enhancement in Bipolar Disorder: A Double-Blind, Randomized Controlled Trial Utilizing a Novel DTI-Guided Multimodal Neuro-stimulation Protocol

Minmin Wang[1,2],Hongjian He[2],Shaomin Zhang[2],Shaohua Hu[2]

1. Westlake University

2. Zhejiang University

Traditional neuromodulation strategies for enhancing cognitive abilities in bipolar disorder (BD) patients have shown promise, yet there remains a need for novel intervention modalities to improve therapeutic outcomes. Methods: This study introduces a novel multi-modal neuro-stimulaton (MNS) protocol using individualized DTI data to identify fiber tracts between the DLPFC and dACC. The highest structural connectivity point is selected as the individualized stimulation target, which is targeted using a combination of optimized tACS and robot-assisted navigated rTMS. Results Sixty-six participants completed all 15 sessions. Group A (Active tACS-Active rTMS (MNS Protocol)) showed superior improvements in Spotter CRT, TMT, and DSST scores compared to other groups at Week 3, with sustained cognitive enhancement in Spotter CRT at Week 8 ($P < 0.01$). Only Group A exhibited significant activation in the left frontal region post-MNS intervention. The novel MNS protocol was well tolerated, with no significant side effects observed. Conclusions: DTI-guided multimodal neuro-stimulation mode significantly improves cognitive impairments and is safe for BD patients.

Key Words: Diffusion Tensor Imaging, Transcranial Alternating Current Stimulation, Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, Electric Field, Individualization

ID 3343

Wearable, Wireless High-impedance Array for Magnetic Resonance Imaging

Enhua Xiao[1,2,3],廖文浩[1,2,3],陈巧燕[1,2],李烨[1,2]

1. 中国科学院深圳先进技术研究院

2. 广东省磁共振成像与多模系统重点实验室

3. 南方科技大学

Magnetic resonance imaging (MRI) is a preeminent clinical imaging modality, with advancements continually enhancing its diagnostic capabilities. Here, we introduce a wearable, wireless high-impedance coil (WHIC) designed to significantly enhance MRI signal reception. By integrating wireless coil technology with the unique properties of HICs, we have developed a novel coil that conforms to the complex curvatures of the human body. This innovation not only improves signal reception efficiency but also ensures stable operation in highly curved anatomical regions such as joints. Experimental results demonstrate substantial signal enhancement in MRI of the ankle and knee, underscoring the potential of this technology to advance future medical imaging applications.

Key Words: MRI, Coil, Wireless, Medical imaging

ID 3480

基于长短期记忆网络的脑电相位预测方法

庞紫胭[1,2]、赵鑫雨[1,2]、买文姝[1,2]、赵悦茁[1,2]、刘志朋[1,2]、靳静娜[1,2]、殷涛[1,2,3]
1. 中国医学科学院 北京协和医学院 生物医学工程研究所
2. 天津市神经调控与修复重点实验室
3. 中国医学科学院神经科学中心

脑电相位同步经颅磁刺激（TMS）作为一种个体化时间精准调控技术，高度依赖于准确的相位预测方法。针对传统自回归（AR）方法相位预测准确性低的现状，本文旨在开发一种基于长短期记忆网络（LSTM）的脑电相位精准预测方法。采用该方法对30名受试者的静息态脑电训练与预测，与传统AR方法比较预测准确性，并进一步评估两种方法对波峰和波谷的预测性能。结果显示，LSTM方法的相位预测误差为0.04° ±5.69°，远小于误差为-3.36° ±51.13°的传统AR方法，且对于所有受试者，LSTM方法的脑电相位预测准确性均优于传统AR方法。LSTM方法可准确预测约89%的波峰（谷），而传统AR方法仅可准确预测约10%的波峰（谷）。LSTM方法作为一种高准确性和稳定性的相位预测方法，可推进脑电相位同步TMS技术的在临床治疗和研究中的广泛应用，推动TMS技术向精准化、个性化方向发展。

关键字：经颅磁刺激；脑电；相位预测；长短期记忆网络；自回归预测

ID 3564

基于光纤成像技术研究rTMS调控神经元兴奋性的实时作用及对认知功能的影响

丁冲[1]、潘雪婷[1]、朱海军[2]
1. 河北工业大学
2. 河北大学

目的：重复经颅磁刺激(Repetitive transcranial magnetic stimulation ,rTMS)在调节神经元兴奋性和改善认知功能中具有重要作用。海马齿状回(dentate gyrus ,DG)颗粒细胞与认知功能关系密切，但rTMS如何实时的改变颗粒细胞兴奋性，及其影响颗粒细胞兴奋性的持续时间，目前并不清楚。本研究旨在探究高频rTMS对自然老化小鼠颗粒细胞兴奋性的实时作用与对认知功能的影响，以及二者的潜在关系。

方法：实验分为青年组、老年组和老年+ rTMS组，每组6只小鼠。所有小鼠接受颗粒细胞神经元标记与光纤植入手术，术后恢复三周，老年+ rTMS组小鼠接受14天20Hz高频rTMS的治疗，青年组和老年组接受假刺激。在刺激过程中的第1、7、14天，通过钙离子成像与光纤记录技术，记录颗粒细胞在刺激后与实时刺激下的神经活动。然后，通过新物体识别(New Object Recognition ,NOR)和跳台实验，检测小鼠的空间和非空间认知能力。最后，进行全细胞膜片钳技术和苏木素-伊红(Hematoxylin-Eosin ,HE)染色实验，分别记录海马DG颗粒细胞的动作电位和静息膜电位，以及颗粒细胞的数量。

结果：钙离子成像与光纤记录实验和电生理实验结果显示，老年小鼠颗粒细胞神经兴奋性降低，高频rTMS累计性的提高了颗粒细胞神经兴奋性，且进行实时高频rTMS的小鼠颗粒细胞的神经兴奋性最强；行为学结果显示，高频rTMS显著改善了老年小鼠的认知障碍；HE染色实验结果显示，老年小鼠的颗粒细胞数量显著减少，高频rTMS可以显著缓解颗粒细胞数量的丢失程度。

结论：高频rTMS可以实时的和累计的提高颗粒细胞神经兴奋性。高频rTMS改善老化导致的认知障碍，可能与海马齿状回颗粒细胞的凋亡和神经兴奋性有关。因此，通过减缓颗粒细胞的凋亡并增强其神经兴奋性，可能是高频rTMS改善自

然老化相关的认知障碍的机制之一。

关键字：经颅磁刺激；颗粒细胞；神经元兴奋性；认知

ID 3585

用于大鼠脑部成像的无线线圈阵列

廖文浩[1,2]、肖恩华[1,2]、李烨[1]
1. 中国科学院深圳先进技术研究院
2. 南方科技大学

目的：为了增强大鼠脑部成像在3T磁共振扫描性能，实现更高信噪比和更高分辨率的脑部磁共振成像。

材料和方法： 选用Sprague-Dawley大鼠脑部为研究对象，采用3个八边形线圈组成无线线圈阵列，用商用膝盖线圈作接收线圈。在验证无线线圈阵列与3 T商用大鼠线圈的性能时，分别用水模和真实SD大鼠头部展开对比实验。

结果：水模实验证明：对比商用大鼠线圈，在距离水模表面1 cm处，信噪比提高了 4.5倍；在水模表面处，信噪比最高提高了15倍，信噪比提高区域的深度达到 3.4 cm。大鼠脑部横断面扫描发现：对体素大小为 的图像，在ROI内的平均信噪比比商用线圈提高了5.6倍；对体素大小为 的图像，在ROI内的平均信噪比比商用线圈提高了3.2倍。同时，无线线圈阵列摆位不正，信噪比提高的中心区域偏移。

结论： 本研究证明了3个线圈组成的无线线圈阵列可以增强大鼠脑部在3 T磁共振扫描高分辨成像中的信噪比，优于商用大鼠线圈。

关键字：无线线圈阵列；高分辨率成像；医学成像；射频线圈

ID 3645

血液介电参数与血气指标相关性研究

王伟策、郭奕彤、李蔚琛、王煜、朱明旭、朱文静、史学涛
中国人民解放军空军军医大学

本研究旨在探讨体外循环手术过程中血液介电参数与血气指标之间的相关性，以期提高电阻抗断层成像在监测和预警脑损伤方面的准确性。为此，研究采集了9位体外循环手术病人的血液样本，进行了血气分析和37℃、10Hz-100MHz内的复电阻率测量。对复电阻率和血气指标进行了Pearson相关性分析，并在此基础上建立了逐步回归模型，量化了血气指标与介电参数之间的关系。结果显示，Na+浓度、红细胞压积、乳酸、血红蛋白、二氧化碳分压和氧分压与介电参数显著相关。逐步回归分析表明，电阻率实部由红细胞压积、二氧化碳分压、Na+浓度共同决定，而电阻率虚部由红细胞压积、二氧化碳分压、Na+浓度、氧分压共同决定。模型的预测误差均值接近零，表明模型具有较高的预测准确性。本研究成功识别了影响血液介电参数的关键决定因素，建立了介电参数与血气指标之间的函数关系，为准确预测血液介电参数的变化提供了有力工具。研究结果有助于理解血液介电参数的变化规律，从而提高EIT在监测和预警脑损伤方面的效果，对优化体外循环手术策略、改善患者预后具有重要意义。

关键字：血气分析；血液；介电参数；电阻抗断层成像

ID 3691

基于入射电场采样的人体SAR峰值估计技术

赵晓涓、刘自成、余霄
西北工业大学

对于工作频率在100kHz至6GHz之间的无线设备，其人体电磁辐射值常采用比吸收率（Specific Absorption Ratio, SAR）来计算单位质量人体组织在单位时间内吸收的电磁能量，从而评估电磁辐射对健康的影响程度。本文提出基于人体头部周围区域入射电磁场采样值，预测头部SAR峰值的机器学习模型。所研究的电磁辐射源工作频率为4.9GHz，改变辐射源与人体头部模型的相对距离和角度，采用数值电磁计算方法获得多组人头周边区域入射电磁场采样值和相应的人体头部最大SAR样本数据，继而基于支持向量回归（Support Vector Regression, SVR）法，训练得到输入为人头周边区域入射电磁场采样值，响应为人体头部最大SAR的预测模型。仿真测试表明表征模型预测能力的R2达到了0.92。

关键字：比吸收率(SAR)；快速SAR估计；电磁暴露；支持向量回归

ID 902

中性粒细胞与淋巴细胞比值与预后营养指数对经导管主动脉瓣置换术后早期安全复合结局的影响

刘航宇、魏海霞、李垚、吴延庆
南昌大学第二附属医院

背景：经导管主动脉瓣置换术（Transcatheter Aortic Valve Replacement, TAVR）后的早期安全复合结局（Composite Endpoint of Early Safety, CEES）近年来受到广泛关注，因其与影响术后远期预后的不良事件显著相关。早期识别患者TAVR术后不良事件的发生风险，并对高风险患者予以及时的预防性措施，对于改善患者预后具有重要意义。

目的：本研究旨在探讨反映炎症和营养状况的标志物，特别是中性粒细胞与淋巴细胞比值（NLR）和预后营养指数（PNI）与CEES发生的关系。

资料和方法：本研究回顾性的分析了2018年1月至2023年2月在南昌大学第二附属医院心内科接受TAVR手术的患者，并经过纳入标准与排除标准进行筛选。根据术后30天内是否发生CEES将患者分为CEES组与无CEES组。比较两组患者术前的临床特征、实验室检查、超声心动图及CTA分析结果之间的差异。通过受试者工作特征（ROC）曲线分别获得了NLR=2.27与PNI=42.9的二者的最佳截断值，根据截断值将患者分为高值组与低值组，再次分析组间差异。使用单因素和多因素Logistic回归分析，以确定TAVR术后发生CEES的危险因素，并进一步评估NLR与PNI以及两者联合时对CEES发生的预测价值。

结果：最终纳入了134例患者，其中平均年龄为71.39±6.92岁，女性占比为38.8%。其中CEES组100例（74.6%），非CEES组34例（25.4%）。对两组进行基线数据的比较发现，相较于未发生CEES的患者，发生CEES的患者存在更高的NLR值，但PNI值的水平相对更低。分析NLR和PNI的高值与低值组之间的组间差异，存在高NLR值或低PNI值的患者CEES的发生率更高，且通常拥有更高的胸外科医师学会（Society of Thoracic Surgeons，STS）手术风险评分和B型脑钠肽水平，但却具有更低的左室射血分数。将NLR、PNI纳入模型中进行多因素Logistic回归分析，NLR高值是NLR低值发生CEES的5.55 (95%CI, 1.52-20.29)倍，而PNI低值相较于PNI高值有着更高的CEES发生风险[OR=4.43 (95%CI, 1.55-12.65)]。将二者进行联合并再次进行多因素分析，发现NLR高值联合PNI低值相较于任一单个变量均有着更高的CEES发生风险[OR=9.85 (95%CI, 2.24-43.37)]。根据NLR与PNI的高低值分组进一步绘制Kaplan-Meier无终点事件发生的生存曲线，结果显示NLR与PNI按最佳截断值分为的两组均在30天内发生结局事件中存在显著差异。

结论：TAVR术后发生CEES的患者在术前存在更高的NLR及更低的PNI；基线水平的高NLR和低PNI是TAVR后CEES的独立危险因素，且二者合并时发生CEES的风险更高。

关键字：经导管主动脉瓣置换术；中性粒细胞与淋巴细胞比值；预后营养指数；临床结局

ID 1819

介入式心室辅助装置

张长东、尚小珂、柳梅、董念国
华中科技大学同济医学院附属协和医院

介入式心室辅助装置（percutaneous ventricular assist device，PVAD）作为一种微创化治疗手段，可以替代衰竭心脏的功能，为复杂冠心病、急性心肌梗死合并心源性休克、慢性心力衰竭急性失代偿等心血管急危重症患者提供循环支持。PVAD的发展从Hemopump的崛起到Impella的繁荣，越来越多地用作血流动力学支持从而改善预后。本文将对PVAD的发展历程及临床应用进行综述。

关键字：介入式心室辅助装置；轴流泵；Hemopump；Impella；心力衰竭

ID 1922

Improving the performance of ZE21B magnesium alloy minitubes by reducing the generation of cracks during hot drawing

Wenkai Li
郑州大学

Due to the high precision and good surface quality, cold drawing is widely used for producing metal minitubes for stent application. However, since the limited workability of Mg alloys at room temperature, the generation of cracks during cold drawing is inevitable, when the wall thickness of minitube is less than 0.15mm, leading to a rapid degradation of Mg alloy stent in the human body. In this study, hot drawing was proposed to manufacture the Mg alloy minitubes because an elevated temperature could significantly improve the workability of magnesium alloy. It was found that a reduction ratio of 42.03% was acquired when the temperature increased to 300˚C. Meanwhile, 90% new-generated cracks were reduced with the drawing temperature increased from 25 to 300˚C. The uniaxial tensile test showed a similar ultimate tensile strength (UTS) around 290MPa was acquired for both cold and hot drawn minitubes, but the fracture morphology indicated that cracks could be the reason for the fracture of minitubes drawn at 25˚C, 100˚C, 200˚C. Immersion tests showed the corrosion performance of the minitubes drawn at 300˚C was improved as the number of cracks were reduced at high temperature, as the corrosion rate decreased from 1.44 mg/cm2·h to 1.31 mg/cm2·h, when comparing with minitubes drawn at 25˚C. Since then, hot drawing can greatly improve the performance of magnesium alloy minitube by reducing the generation of cracks.

Key Words: ZE21B alloy minitubes; Hot drawing; Crack; Workability and performance.

ID 2462

Investigation of ZE21B alloy for potential application of biodegradable biliary stent material

Ya-Chen Hou[1],Li Jing-An[2]

1. The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University

2. Zhengzhou University

Biliary stent intervention is one of the important methods to treat severe biliary infarction and biliary cancer. However, most of the biliary stents currently used are made of non-degradable nickel titanium alloy (Ni-Ti alloy), which is usually easy to stimulate the biliary tract and lead to continuous inflammation. The stenosis and tissue adhesion after stent implantation are also important problems that limit its further application. In this study, we preferred biodegradable Mg-Zn-Y-Nd alloy (ZE21B alloy) to compare with the traditional Ni-Ti alloy aiming at a better biliary stent material. Our data showed that the ZE21B alloy presented excellent biodegradable behavior, and the microenvironment after degradation is more alkaline than that of Ni-Ti alloy, which is more conducive to the inhibition of inflammation and cancer. In addition, magnesium (Mg) in the degradation product can enter the interior of biliary tract cancer cells (TE cells), promote cancer cell apoptosis by increasing the release of cellular reactive oxygen species (ROS) and reducing the activity of cellular mitochondria, and then give the stent a potential role of inhibiting cancer cells.

Key Words: Biliary cancer, Biliary stent, Biodegradable ZE21B alloy, Ni-Ti alloy, Anti-cancer.

S18
血液疗法与工程新进展

ID 2152

Anti-bacterial Activity of Dermcidin in Human Platelets: Suppression of Methicillin-resistant Staphylococcus aureus Growth

Erxiong Liu,Shunli Gu,Wenting Wang,Jinmei Xu,Ning An,Xingbin Hu,Yaozhen Chen,Qunxing An,Wen Yin
Xijing Hospital, Air Force Medical University

Objective: Methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) is one of the most common drug-resistant bacteria that causes community and hospital infections. The rapid emergence and spread of multidrug resistance has increased the urgent need for new antimicrobial strategies and agents to combat MRSA-associated infections. In recent years, platelets have been widely recognized to play an important role in human immune defense. We have previously reported that platelets inhibit MRSA by inducing hydroxyl radical (·OH)-mediated apoptosis-like cell death. To further explore the platelet antibacterial mechanism, we found a previously-unrecognized platelet antimicrobial peptide, dermcidin (DCD), in the α-granules. After co-culturing with MRSA, activated platelets secreted large amounts of DCD. We also confirmed that DCD displayed classic anti-MRSA activity in a concentration-dependent manner and contributed to the inhibition of MRSA growth by platelets. Our findings provide important insights into the immune defense functions of platelets.

Key Words: Platelet, Antimicrobial peptide, Dermcidin, MRSA

S19
柔性生物电子及可穿戴医疗

ID 372

Hydrogen-Bonded Organic Frameworks Film Integrated with Wavy Structured Design for Wearable Bioelectronics

Xue Yang[1],Rong Cao[2],Chunhua Zhao[1]
1. Shanghai University
2. Chinese Academy of Sciences

Hydrogen-bonded organic frameworks (HOFs) with intrinsic porosity, excellent biocompatibility, and tunable catalytic capabilities, are highly desirable for noninvasive and real-time monitoring of human health. However, integrating pristine HOFs powders with flexible bioelectronics remains challenging due to their fragile mechanical properties, which are incompatible with the soft, varying shapes of human skin. Herein, we demonstrate an epidermal biosensor system that maintains reliable sensing capability even under extreme deformation and complex surrounding environment by integrating HOFs films with wavy bioelectrodes. This wearable biosensor demonstrates ultrasensitive and accurate detection of nutrients in sweat, conforming to curved skin surfaces and yielding results comparable to high-performance liquid chromatography. More strikingly, scratched HOFs films can be easily regenerated through a simple solvent rinsing process, allowing for their reuse in the fabrication of new biosensors, providing an advantage over traditional sensing materials. This work represents the first successful integration of HOFs films with stretchable bioelectrodes to develop highly specific and sensitive epidermal biosensors. It holds significant potential for inspiring the development of more flexible electronic devices, utilizing the structural adaptability and diversity of HOFs for advanced health monitoring.

Key Words: Wearable Bioelectronics, Sweat Sensor, Flexible

ID 3036

Noninvasive Vascular Detection Based on Multi-sensor Fusion

Bojing Shi[1],Zhou Li[2],Yubo Fan[1]
1. Beihang University
2. Beijing Institute of Nanoenergy and Nanosystems, Chinese Academy of Sciences

Plaques can trigger serious cardiovascular and cerebrovascular diseases such as stroke. Early diagnosis of plaques has important clinical significance. Currently, conventional detection methods are mainly medical imaging methods such as CT and MRI, and there is no portable home plaque detection technology or equipment yet. To achieve simple non-invasive detection of plaques, a potential solution is to extract plaque feature signals based on pulse wave and blood flow velocity sensors. Clarifying the relationship between these two sensing signals and changes in hemodynamic parameters caused by plaques is the foundation for developing accurate wearable plaque continuous monitoring devices. Here, we propose

a wearable sensor device that can synchronously test pulse waves and blood flow velocity. Among them, piezoelectric film (PVDF) is used to test pulse waves, and piezoelectric ceramic (PZT) is used to test blood flow velocity. The device can be placed on the carotid, brachial, or radial artery for testing. To simplify the model, we assume that the positions of the three sets of sensors are exactly at the two edges and narrowest point of the patch. The size of plaques is calculated based on the vascular deformation and blood flow velocity curves obtained from these three sets of sensors. We considered the fluid-structure interaction of blood vessels and established a local flow field for narrowed blood vessels. By monitoring the surface deformation of blood vessel walls and the flow velocity data at the center of blood vessels, establish the relationship between plaques and these two physical quantities. By combining displacement, velocity, and their first-order derivative curves, we can roughly estimate the patch length with an error of less than 9.5%, which can be used as a reference method for non-invasive patch detection. Meanwhile, we utilized a vascular network model to investigate the response of carotid, brachial, and radial artery signals to plaques of different sizes. This study provides a theoretical basis for constructing multi-sensor fusion plaque non-invasive detection.

Key Words: Noninvasive detection, Pulse wave, Blood flow velocity, Wearable sensor, Vascular parameters.

ID 3412

用于动脉血压监测的仿章鱼吸盘自适应脉搏压力传感系统

邹洋[1]、王逸谦[2]、邓玉林[1]、李舟[2]
1. 北京理工大学
2. 北京纳米能源与系统研究所

高血压是全球健康的重大问题，精准的血压监测对于高血压管理至关重要。传统无创监测方法如听诊法和示波法，依赖外部加压的方法来评估血压，虽准确但受限于设备体积和静态环境。脉搏传感器等新技术小巧便捷，但易受运动伪影影响。将传统外部加压方法提供的整体脉搏变化评估与时下新兴的单个脉搏波特征分析法相结合，可能是一种有效的血压监测新方法。中医脉诊通过不同压力捕捉健康信号，但标准化和重复性差。章鱼吸盘通过肌肉控制适应各种表面，可以有效模拟中医脉诊的不同取脉手法。这里，我们设计了一种仿生自适应脉搏压力传感器，可在不同皮肤表面适形吸附，实现精准压力加载以及自适应的脉搏信号增强。结合数据采集传输模块和人工智能技术，建立了智能血压估计系统，通过连续加压提取整体和单个脉搏特征，利用XGBoost算法预测血压，达到SBP：3.82 mmHg ± 3.81 mmHg和DBP：2.96 mmHg ± 2.94 mmHg的精度。该系统作为一种创新的血压监测解决方案，在改善心血管健康管理，提供更便捷、更准确的健康监测服务方面具有巨大潜力。

关键字：仿生；自适应；章鱼吸盘；脉搏传感；血压监测

ID 3481

基于摩擦纳米发电机的自供电、皮肤粘附的柔性人机界面

曾祥堉[1]、郑强[1]、李舟[2]
1. 贵州医科大学
2. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所

人机交互(HMI)已经渗透到各种学术和工业领域，如机器人、虚拟现实和可穿戴电子产品等。然而，大多数人机界

面由于其结构和材料设计复杂、功耗高、皮肤共形粘附性能有限、成本高，导致其实际转化应用存在着一定的障碍。因此，本文报告了一种基于摩擦纳米发电机的自供电、皮肤粘附的柔性人机界面(SSFHMI)。SSFHMI结构简单，成本低，可以在无需外部电源情况下将手指触摸的动作信号转换为稳定的电信号。此外，我们构建了具有粘附性能的水凝胶作为组织粘附界面，以适应复杂人体表面的共形贴合。通过将SSFHMI与微控制器集成，构建了一个可编程的人机交互平台，该平台具有多种交互功能，包括医疗呼叫、音乐媒体播放、安全解锁和电子钢琴演奏。本文提出的SSFHMI对高度集成和可持续工作的柔性智能传感应用具有潜在的价值。

关键字：摩擦纳米发电机；人机交互；自供电；皮肤粘附

ID 3818

基于a的n次方序列伪随机信号的神经肌肉电刺激系统设计

李炳辰、刘静茹、陈真诚、赵东东
桂林电子科技大学

传统电刺激系统通常采用固定频率或简单的周期性信号，难以模拟自然生理信号的复杂性和随机性。为了产生更贴近自然生理电刺激振动信号，实现精准电刺激治疗效果，本文提出一种an序列伪随机信号神经肌肉电刺激方案系统。该方案系统利用an序列伪随机信号作为电刺激输入信号，通过改变不同n值而叠加获得不同频率信号，进而同时输出多频率电流，在一个周期内实现多个频率电信号刺激。系统首先采用单片机控制输出多路方波信号；其次，通过使用加法器电路将方波信号叠加形成伪随机信号，最后该伪随机信号转化为电流通过电极片输出到人体肌肉，并进行了可行性和有效性测试实验。测试结果表明用于肌肉萎缩治疗的an序列伪随机信号精准电刺激系统能根据肌肉纤维的固有振动频率范围产生多种主频信号的组合，精准实现多频信号的同时刺激，并实时检测输出刺激电流大小，使病人得到安全有效的治疗效果，促进肌肉萎缩的恢复，在临床应用方面具有潜在的临床应用前景。

关键字：伪随机信号；神经肌肉；电刺激

ID 3967

基于物联网基础的重要生命指征远程监测预警设计与应用评价

侍伟伟[1]、王成[1]、孙东辉[1]、季智勇[2]
1. 上海市养志康复医院（上海市阳光康复中心）
2. 上海市第六人民医院

目的: 设计基于物联网技术的体温贴和指夹血氧仪远程监护系统，实现呼吸系统传染病患者的远程监护。

方法: 选用窄带物联网平台为中间节点，将体温贴和血氧仪终端设备测量的数据通过4G网络发送到阿里云服务器上，用户可在任何位置通过网页端控制台实时查看，实现远程监测。并且可以自动上传监测数据，对异常指标主动预警。

结果: 系统使用后，在数据实时性、医护体能消耗满意度、医护工作效率提升度、交叉感染可控度4个方面均较系统使用前有明显改善，且差异有统计学意义（P<0.05）；传感器满足可穿戴式监测仪对低功耗需求；数据监测误差满足规范要求。

结论: 此系统实际临床应用效果明显，有效降低医护劳动强度，为远程临床诊断提供实时监测。

关键字： 窄带物联网；远程监护系统；体温贴；指夹血氧仪；阿里云服务

ID 4137

Wearable Velcro Electrode for Electromyographic Signal Acquisition

Jun Guo,Xuanqi Wang,Ruiyu Bai,Zimo Zhang,Huazhen Chen,Honglong Chang,Bowen Ji,Jun Guo

西北工业大学

Electromyography (EMG) signal is the electrical potential generated by contracting muscle cells. Long-term and accurate EMG monitoring is desirable for neuromuscular function assessment in clinical and human-computer interfaces. Herein, we report a conductive velcro electrode (CVE) inspired by burdock hook hair, with low impedance and high signal-to-noise ratio. Here, the velcro hook is wrapped by conductive silver paste to enhance the adaptability of conductivity. The conductivity of velcro hook hair is achieved through immersion. EMG monitoring in motion has been conducted to demonstrate the feasibility and performance of the CVE, which is compared with commercial silver chloride electrodes, claw electrodes, and silver cloth electrodes. CVE exhibits a low skin impedance of 15.88 kΩ (10Hz) and the EMG signal exhibits a high SNR of 16.0 dB. Besides, four typical hand gestures were recognized by CVE with a recognition accuracy of 93.1% using a convolutional neural network. The conductive velcro electrode proposed in this study has great potential and promise in various human-machine interface (HMI) applications that employ surface electromyogram (sEMG) signals as control signals.

Key Words: conductive velcro electrode; hook hair struc-ture; sEMG recording; gesture recognition.

ID 4392

基于聚合物的压阻式可穿戴柔性压力传感器研究

宋岩华[1,2]、彭政[1]、安子建[1]、刘军[1]、陈星[1]、刘清君[1]

1. 浙江大学

2. 浙江大学台州研究院

本论文基于聚合物基复合传感材料（聚环氧乙烷/聚苯胺/石墨烯），联合直写及静电直写打印技术构建了多种结构不同且灵敏度可调的压阻式柔性压力传感器。研究并掌握了工艺参数、溶液组分浓度与打印结果之间的关系，调节敏感层的层数及结构实现了传感器灵敏度的调控。复合结构传感器匹配层的层数为10层时，相较于无匹配层的传感器灵敏度提高了24.4倍。微圆锥阵列传感器点阵列层数为27层，相较于无点阵列结构器件的灵敏度在不同压力检测范围内分别提升了1.3、9.0和7.0倍。将传感器用于健康监测，实现了脉搏波、眼动、呼吸、关节及肌肉运动等方面的监测。与无线传感检测系统相集成，实现了信号的无线采集与传输，有潜力用于远程健康监测。

关键字： 可穿戴；压阻；聚合物传感器；健康监测；3D打印

S20
生命复杂系统的建模与仿真

ID 2343

基于皮肤电信号的自动疼痛评估模型

罗进城（研究生）、李嘉豪、全渝娟、蒋云翔、陈煦、罗进城
暨南大学

疼痛是一种复杂的主观体验，对个体生存具有重要意义，它能够引发对潜在身体威胁的关注。在临床实践中，疼痛评估通常依赖于患者的自我报告。然而，对于那些表达能力受限的患者，传统的自我评估方法不再适用，必须转而依赖医疗专业人员的观察性报告。尽管如此，观察性报告可能受到认知差异，主观偏见等影响，导致评估结果的不准确。此外，无论是依赖患者自我报告还是观察者报告，连续监测疼痛在资源和操作上均显得不切实际。因此，自动疼痛检测技术的应用显得尤为重要。它不仅能辅助医疗人员在疼痛管理中做出更准确的判断，还能为无法自我表达疼痛的患者提供有效的补充手段，显著提升疼痛管理的质量和效率。本研究中，我们设计并实现了一种创新的疼痛评估模型，该模型利用皮肤电信号（EDA）进行疼痛评估。模型结构包括多尺度网络特征提取（MDWCN）、特征增强网络（ACFN）和时间卷积交叉注意力网络（TCCAN），旨在从EDA信号中提取并优化关键特征，确保特征表达的准确性。我们在公开数据集BioVid上对我们的模型进行了验证，实验表明，我们的模型相比于已有方法能够更加精准地输出疼痛级别，为疼痛评估提供了一种高效且可靠的自动化解决方案。

关键字：疼痛评估，自动评估，皮肤电信号，多尺度卷积网络，交叉注意力

ID 2501

有氧运动对老年小鼠骨细胞衰老及骨质流失的影响

庄旭宏、朱玲
华南师范大学

目的：探究有氧运动能否改善自然衰老小鼠的骨细胞衰老并缓解其骨质流失。

方法：选取18只雄性C57BL/6小鼠，分为青年对照组（YC组）、老年对照组（OC组）和老年运动组（OE组）。在OE组末次运动结束48小时后收集双侧股骨、胫骨。通过H&E染色观察骨微结构及骨细胞存活情况，免疫荧光检测骨细胞形态及蛋白表达，TRAP染色分析骨吸收情况，qPCR及WB检测细胞衰老相关基因及蛋白表达。

结果：相较于YC组，OC组的骨骼形态和骨微结构退化，成熟骨细胞数量下降，骨细胞树突状结构退化，衰老相关分泌表型及细胞衰老标志蛋白P16 、P21和P53的表达显著提高，破骨细胞阳性面积显著提高。有氧运动干预后，相较于OC组，OE组衰老相关分泌表型与衰老标志蛋白的表达水平降低，成熟骨细胞数量提高骨细胞形态改善，骨吸收水平降低，衰老引起的骨量流失和骨微结构退化得以缓解。

结论：有氧运动能够有效抵抗骨细胞衰老，调节骨重塑平衡，减缓老年性骨质疏松病情发展，促进骨骼健康。

关键字：老年性骨质疏松；有氧运动；骨细胞；细胞衰老；骨重塑

ID 2573

一种检验国民全生命周期体质监测数据质量的测算模型

汪志胜、刘承宜
华南师范大学体育科学学院

目的：国家国民体质监测工作的成效取决于国民体质监测数据的质量(即真实可靠性如何)。因此，国民体质监测数据的质量检验越来越受到社会各界的关注。

方法：以沙利文(Sullivan)法常规测算的人群出生健康期望寿命(亦为健康预期寿命，HE)为依据，提出了一种基于几何平均值(亦为几何均值或时中，GC)、Arndt-Schulz定律和定量差异(QD)所构建的原创HE测算模型，对当前我国国民从幼儿到老年人群体的全生命周期体质监测横断面资料的常模所测算的HE进行了定量检验研究。

结果：无论男性还是女性，当前我国国民全生命周期体质监测横断面资料的常模所测算的HE和全生命周期最大年龄的比值均与沙利文法常规测算的当前我国男女人群的出生HE和期望寿命(亦为预期寿命，LE)的比值是基本一致(即QD<0.161)。

结论：当前我国国民从幼儿到老年人群体的全生命周期体质监测横断面资料的常模真实可靠，是一次高质量的体质监测。

关键字：全生命周期；国民体质监测；质量检验；时中；定量差异；原创健康期望寿命测算模型；沙利文法

ID 2824

Effect of Far Infrared Therapy and Aerobic Exercise on Sleep Quality of Female College Students

Fengwei Hao,刘承宜
华南师范大学

Objective: This study aimed to compare the effects of aerobic exercise and far-infrared therapy on sleep quality in female college students with sleep problems. The findings will contribute to providing a scientific theoretical basis and application guidance for improving sleep quality.

Methods: An electronic questionnaire was distributed among female college students at a university in Guangzhou, and 28 subjects with a Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) score of 7 or higher were recruited. The subjects were divided into three groups using isometric sampling: Control group (Group C, n = 8), Aerobic Exercise group (Group A, n = 10), and Far-Infrared Therapy group (Group F, n = 10). Group C maintained their original lifestyle without any intervention, Group A underwent aerobic jogging for 8 weeks, and Group F underwent far-infrared sauna intervention for 8 weeks. Sleep quality was assessed using polysomnography (PSG), the PSQI, and self-evaluations of anxiety (SAS) and depression (SDS) before and after the interventions.

Results: After 8 weeks, the results showed: 1. Aerobic exercise improved sleep quality in female college students, as evi-

denced by decreased PSQI scores, sleep disorders, and daytime dysfunction ($P < 0.05$). SDS and SAS scores also significantly decreased ($P < 0.05$). 2. Far-infrared therapy improved sleep quality, significantly decreasing SDS scores ($P < 0.05$) but not SAS scores ($P > 0.05$). 3. Both interventions similarly improved sleep quality. Compared to the control group, PSG parameters such as Total Sleep Time (TST), Sleep Efficiency (SE), and Non-Rapid Eye Movement (NREM) sleep increased significantly ($P < 0.05$), while Wake% and Wake After Sleep Onset (WASO) decreased significantly ($P < 0.05$). REM Sleep Latency (RSL) decreased significantly in Group A, while N1 and N1% increased significantly in Group F ($P < 0.05$).

Conclusion: This is the first study to demonstrate the impact of aerobic exercise and far-infrared therapy on both objective and subjective sleep outcomes in female college students. The study showed that aerobic exercise reduced RSL following an 8-week intervention, while far-infrared therapy increased N1 and N1%. Additionally, aerobic exercise enhanced emotional well-being, reducing depression and anxiety. Far-infrared therapy specifically improved the emotional state related to depression. These findings have important therapeutic implications and suggest non-pharmacological therapies for improving sleep quality. Further research is needed to understand the mechanisms underlying these benefits.

Key Words: Sleep; Exercise; Far-infrared therapy; Conservation; Quantitative integration

ID 2924

生物医学中的建模与仿真研究浅析——以生物医学仪器和系统角度

朱婵[1]、陈亚兰[1]、姚勇[1]、杨华元[1,2]、徐刚[1]

1. 上海中医药大学针灸推拿学院

2. 上海中医药大学 中医工程研究所

生命系统具有复杂性，涵盖微观至宏观、单一至集成等多个层面。本文从数字人、虚拟现实技术、仿生机器人及人机交互等角度，综述其技术方法的特点，通过综述生物医学建模与仿真领域的最新进展，朱婵为深入理解生命系统相互作用机制的技术视角，促进该领域的进一步研究与发展。随后，详细讨论了数字人在生物医学中的应用，包括其生成技术、交互能力以及在医疗仿真中的具体应用案例，如医用数字人系统的三维图像重建、足弓测量和冠脉造影路径模型等。此外，还探讨了虚拟现实技术在提供沉浸式医疗体验、辅助手术规划等方面展现出巨大潜力。仿生机器人则在模拟生物运动、执行精密医疗任务上取得显著进展。

随着人工智能、大数据及数字孪生技术的快速发展，生命系统建模与仿真技术正迈向多模态、无监督的智能化新阶段，为生物医学研究提供了新的工具和方法。随着技术的持续进步，生命系统建模与仿真领域将迎来更加广阔的发展前景，相关生物系统的建模与仿真工作将不仅在外观、行为上日益接近真实人类，还能通过自然语言处理、深度学习等技术实现高效的人机交互，将有助于更深入地理解生命体相互作用机制，提升医疗服务的精准性与效率

关键字：生物医学，建模与仿真，数字人，虚拟现实技术，仿生机器人，人机交互

ID 4163

少儿综训鞋对10-12岁轻度扁平足少儿下肢生物力学指标的影响

李人杰[1]、黄治官[1]、梁慧婷[1]、梁嘉荣[2]
1. 广州体育学院
2. 广东足迹鞋业有限公司

目的：矫形鞋垫是非手术矫正扁平足的有效手段，但对于其康复治疗机制目前还未 有统一的观点，以往的研究大多集中在对足底压力的改善。

方法：首先利用三维运动捕捉系统、 测力台和足部测试系统分别对受试者进行测试，获取扁平足患者自然行走时下肢的运动学和动 力学数据，然后使用visual 3D软件建立受试者的肌骨模型并进行逆向动力学分析，对比分析少儿使用江博士运动鞋于普通鞋自然行走与跑步时下肢关节角度参 数的变化。

结果：受试者穿着综训鞋后，步行过程中，穿综训鞋与普通鞋相比，踝关节在起始至脚趾离地阶段的外翻和外旋角度变化更小（$p<0.05$），而在整个步态周期内两者在关节角度变化上无显著差异。两种鞋类在步行周期内对踝关节、膝关节和髋关节的力矩影响无显著差异（$p>0.05$）。在跑步状态下，综训鞋和普通鞋在某些步态阶段对关节角度有显著影响，但整体影响相似。跑步过程中，综训鞋和普通鞋在某些步态阶段对关节力矩有显著差异，但整体无显著差异。

结论：江博士综训鞋可以改善儿童在行走过程中踝关节内外翻，内外旋角度，髋关节的内外旋与外展内收角度，穿着江博士运动鞋在走路测试中，踝关节的内外翻角度和髋关节的内外旋角度变化较小，这表明运动鞋可能通过提供额外的稳定性和支撑，有效地控制了下肢关节的运动幅度，从而有助于减少关节的过度运动，优化步态，提高行走的舒适性和效率，并可能降低长期运动中受伤的风险。

关键字：关键词：扁平足；矫形鞋垫；步态分析；运动学；逆向动力学

ID 4391

基于多频面波导系统睡眠毯对睡眠质量影响的研究

阮丽君、叶嘉华、蓝荣熙、罗语溪
中山大学

目的：睡眠作为人重要的一项生理活动，承载着恢复人体体能、缓解焦虑抑郁情绪的作用。目前失眠症已十分普遍，使用搭载多频波导系统（Multi-frequency Waveguide System，MWS）的睡眠毯以缓解失眠症状、减少焦虑情绪是一种便捷、高效且安全的方法。本课题探究了基于MWS的睡眠毯对轻度睡眠障碍人群睡眠质量的影响。

方法：纳入10名患轻度失眠被试者，使用搭载MWS的睡眠毯进行连续12晚的多导睡眠监测（PSG）实验，分别以第1（基线夜）、3、5、12晚记录的脑电信号作为对照。研究通过计算4晚入睡过程中6导睡眠脑电信号各频带相对功率来表征睡眠过程的变化。采用非参数检验分析功率值变化的差异和趋势，并分析宏观指标如PSQI、睡眠结构、入睡潜伏期、睡眠效率等参数以辅助分析睡眠毯对睡眠质量的影响。

结果：在多导睡眠监测实验中，相较于基线夜，被试人员总体上整夜及入睡过程delta频带脑电的相对功率值增大。被试者在连续使用睡眠毯后，入睡潜伏期缩短、睡眠效率增加、N1期占比减小及N3期占比增加、PSQI在四次测量中持续下降。

结论：实验结果表明，连续使用MWS睡眠毯有一定的促眠效果。在PSQI及睡眠结构等宏观参数方面，被试者自评的

睡眠质量得到改善，N1-N3期占比变化反映了睡眠压力得到缓解。睡眠毯对睡眠影响可能与MWS产生的振动音乐频率的脑波夹带效应所关联。

关键字：睡眠质量；多导睡眠监测；脑电相对功率；多频波导系统；

S21
医学影像工程新技术与新进展

ID 188

基于深度学习的3D EIT重建算法在脑损伤定位中的应用

白思源[1]、王蕾[1]、史学涛[2]
1. 西北工业大学
2. 空军军医大学

目的：三维电阻抗断层成像技术（3D EIT）具有高时间分辨率，低成本，无创，使用便捷等特点，且弥补了二维成像无法获得病灶深度信息的问题，有望用于脑损伤的精准监测。传统成像算法分辨率较低，对目标定位能力有限。为此，提出了具有强特征提取能力的对称型密集神经网络（SDNN）。

方法：在有噪声和无噪声情况下，对顶叶、额叶、颞叶、枕叶的仿真目标进行成像定位，将SDNN与GREIT算法进行比较。

结果：SDNN在重建图像质量、噪声鲁棒性和目标定位能力方面均优于GREIT。

结论：相比于传统算法，深度学习可以提高3D脑EIT图像分辨率和病灶定位精度。

关键字：深度学习；三维脑部电阻抗成像；病灶定位

ID 195

Multifunctional TiO2/C nanosheets derived from 3D metal-organic frameworks for mild-temperature-photothermal-sonodynamic-chemodynamic therapy under photoacoustic image guidance

Zhenqi Jiang,Hui Xiang,Xiaoying Tang
Beijing Institute of technology

The sythesis of composite nanosheets with multiple functions remains signifcantly challenging. In this study, we developed multifunctional H-TiO2/C-PEG nanosheets as theranostic agents combining sonodynamic therapy and a low-power-mild-photothermal-enhanced Fenton effect. The two-dimensional H-TiO2/C composite nanosheets were synthesized by reducing metal-organic frameworks (MOF)-derived from H-TiO2/C composite nanoparticles (NPs) by hydrogen. The resulting H-TiO2/C was introduced into polyethylene (PEG) to improve water solubility and increase the size of the particles to allow a higher level of H-TiO2/C accumulation at the tumor site through the enhanced permeability and retention effect. The H-TiO2/C nanosheets had excellent sonodynamic therapy (SDT) effects and could also achieve low-power mild photothermal therapy guided by photoacoustic imaging with high photothermal conversion efficiency (η=56.2 %). Also, a strong photothermal effect accelerated the rate of the Fenton reaction to enhance the efficacy of chemodynamic thera-

py (CDT). Importantly, combination therapy can achieve signifcant antitumour efficacy whilst the strong biocompatibility of the particles minimising adverse effects in normal cells. This study provides a promising strategy for the development of novel two-dimensional composite materials that are safe and have multifunctional diagnostic and therapeutic properties.

Key Words: Metal-organic frameworks; TiO2; mild photothermal therapy; photoacoustic imaging; sonodynamic therapy.

ID 1001

Three Beams Interference Photoacoustic Microscopy with Enhanced Detection View

Qi Cui[1],Yunxu Sun[1],Xiaochuan Xu[1],Wei Liu[1,2]

1. 哈尔滨工业大学（深圳）

2. 粤港澳大湾区（广东）量子科学中心

Photoacoustic microscopy (PAM) is a novel biomedical imaging modality that is based on the photoacoustic effect with optical absorption of biological tissues as contrast. By combining the penetration depth of ultrasound imaging with the high lateral resolution of optical imaging, PAM achieves high-resolution volumetric structural and functional reconstructions of deeper biological tissues. However, PAM has a limited-view defect in which part of the axial information is invisible when reconstructing three-dimensional images. This issue is primarily due to the coherent cancellation between ultrasonic signals. The ultrasound signals generated by the photoacoustic effect interfere with each other along the direction of the focal line of the ultrasound transducer, resulting in zeroed amplitudes in the A-lines. To address this issue, we propose a novel configuration of three beams interference photoacoustic microscopy (TBI-PAM), which aims to disrupt the coherence of the ultrasonic signals, thereby restoring visibility.

Key Words: biomedical imaging, photoacoustic, limited-view, TBI-PAM.

ID 1054

A Novel Approach to Electrical Property Tomography Using the Dixon technique and Validation at 1.5 and 3 Tesla

Yinhao Ren[1],Kecheng Yuan[2],Guofang Xu[1],Bensheng Qiu[2],Xiang Nan[3],Jijun Han[1]

1. School of Biomedical Engineering, Anhui Medical University, Hefei, China

2. Medical Imaging Center, Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei, China

3. Department of Anatomy, Anhui Medical University, Hefei, China

This study aimed to develop and validate a model for Dixon fat-water (FW) signal-based electrical property (EP) tomography (FWEPT). FW-EP models were developed to obtain an EP map with magnetic resonance (MR) Dixon scan. The model coefficients were determined by MR fat-water signals and EP values via numerical fitting. The reconstructed EP errors were evaluated to validate the feasibility of the proposed approach by using phantoms and in vivo imaging experiments. Experiments showed that compared with the literature values, the average relative errors for human liver conductivity and permittivity at 1.5T MRI were lower than 2.89% and 5.37%, and the relative errors at 3T MRI were within 2.73% and 6.72%, respectively. FWEPT enabled faster, higher-resolution, and more precise imaging of EP in human liver tissue. The findings of

this study offered new insights for clinical EPT.

Key Words: Dixon water-fat quantification, Electrical properties tomography (EPT), Magnetic resonance imaging (MRI), Conductivity, Permittivity

ID 1146

IDS-PTRN：基于多尺度跨分支特征耦合模型的脑肿瘤坏死或复发智能诊断系统

刘帅、唐晓英、范应威
北京理工大学

目的：脑肿瘤是一种严重的神经系统疾病，其MRI图像分析在诊断、治疗和预后评估中起着至关重要的作用。我们希望提高脑肿瘤MRI图像对放射性坏死和复发的智能识别水平，为临床医生提供更全面、准确的诊断和治疗支持。

方法：本研究提出了一种先进的人工智能技术——多尺度跨分支特征耦合模型（MsCBC-Net），基于MsCBC-Net设计了脑肿瘤术后复发或坏死智能诊断系统（IDS-PTRN），用于智能分析脑肿瘤MRI图像中的放射性坏死和复发。

结果：它开发了有效的算法，实现了脑肿瘤MRI图像病灶和水肿区域智能分割，分割灵敏度分别为89.95%和85.00%，对放疗后患者放射性坏死和复发的诊断准确度为88%。

结论：通过综合考虑不同的MRI序列（如T1、T2和增强T1）以及其他临床信息，IDS-PTRN有潜力辅助医生进行术后脑肿瘤坏死或复发诊断。

关键字：脑肿瘤；深度学习；坏死；复发；放射组学

ID 1589

In Vivo Cortical Microstructure Mapping Using High-Gradient Diffusion MRI Accounting for Intercompartmental Water Exchange Effects

Tanxin Dong[1,2,3],Honghsi Lee[4,5],Han Zang[1,2,3],Hansol Lee[4,5],Qiyuan Tian[6,7],
Liang Wan[1],Qiuyun Fan[1,2,3],Susie Huang[4,5,8]

1. Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Tianjin University, Tianjin, China
2. Tianjin Key Laboratory of Brain Science and Neuroengineering, Tianjin, China
3. Haihe Laboratory of Brain-Computer Interaction and Human-Machine Interaction, Tianjin, China
4. Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging, Department of Radiology, Massachusetts General Hospital, Boston, United States
5. Harvard Medical School, Boston, United States
6. School of Biomedical Engineering, Tsinghua University, Beijing, China
7. Tsinghua Laboratory of Brain and Intelligence, Beijing, China
8. Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology, Massachusetts Institute of Technology, United States

In recent years, mapping tissue microstructure in the cortex using high gradient diffusion MRI has received growing attention. The Soma And Neurite Density Imaging (SANDI) explicitly models the soma compartment in the cortex assuming impermeable membranes. As such, it does not account for diffusion time dependence due to water exchange in the estimated

microstructural properties, as neurites in gray matter are much less myelinated than in white matter.

In this work, we performed a systematic evaluation of an extended SANDI model for in vivo human cortical microstructural mapping that accounts for water exchange effects between the neurite and extracellular compartments using the anisotropic Kärger model. We refer to this model as in vivo SANDIX, adapting the nomenclature from previous publications. As in the original SANDI model, the soma compartment is modeled as an impermeable sphere due to the much smaller surface-to-volume ratio compared to the neurite compartment. A Monte Carlo simulation study was performed to examine the sensitivity of the in vivo SANDIX model to sphere radii, compartment fractions, and water exchange times. The simulation results indicate that the proposed in vivo SANDIX framework can account for the water exchange effect and provide measures of intra-soma and intra-neurite signal fractions without spurious time-dependence in estimated parameters, whereas the measured water exchange times need to be interpreted with caution in the presence of noise. The model was then applied to in vivo diffusion MRI data acquired in 13 healthy adults on the 3-Tesla Connectome MRI scanner equipped with 300 mT/m gradients. The in vivo results exhibited patterns that were consistent with corresponding anatomical characteristics in both cortex and white matter. In particular, the estimated water exchange times in gray and white matter were distinct and differentiated between the two tissue types. Our results show the SANDIX approach applied to high-gradient diffusion MRI data achieves cortical microstructure mapping of the in vivo human brain with the evaluation of water exchange effects. This approach potentially provides a more appropriate description of in vivo cortical microstructure for improving data interpretation in future neurobiological studies.

Key Words: diffusion MRI, microstructure, cortex, water exchange, Kärger model, connectome

ID 2083

RaOT：基于宽场光学影像引导激光消融的机器人光学诊疗系统

范应威、许连成、刘帅、高天欣、唐晓英、廖洪恩
北京理工大学

目的：肿瘤严重影响人类的生命和生活质量。智能诊疗设备是肿瘤精准治疗的良好解决方案。在此，我们开发了一种机器人辅助光学诊疗（RaOT）系统，该系统具有宽视野光学相干断层扫描（OCT）引导的微创激光消融。

方法：在机器人自动扫描和深度相机立体视觉的帮助下实现宽视野OCT扫描。提出了一种利用机器人坐标变换的宽视场OCT成像校准方法，以提高宽视场OCT成像的准确性以及通过深度学习算法进行图像的分割和肿瘤定位，实现激光消融过程的精确控制。

结果：通过对生物样本的实验验证，机器人辅助光学诊疗（RaOT）系统在精准肿瘤消融中表现出了其高效性和可靠性。实验结果表明，该系统可以准确识别和定位肿瘤，引导激光消融，大大减少对健康组织的损伤，提高消融的准确性。

结论：开发了一种具有宽视场 OCT 引导激光消融的机器人辅助光学治疗 (RaOT) 系统，用于治疗软组织癌，采用宽视场 OCT 引导机器人辅助激光消融。采用半自动配准方法构建宽视场 OCT 成像解决方案。

关键字：光学相干断层扫描、微创诊疗一体化、机器人辅助手术、智能医疗

ID 2404

2D Spectral-temporal Fitting of Functional MRS Data Improves the Precision of Fitted Temporal Dynamics Parameters

Yiling Liu[1,2],Hao Chen[1],Zhiyong Zhang[1],Assaf Tal[2]
1. 上海交通大学
2. Weizmann Institute of Science

Functional MRS (fMRS) is a dynamic method used for detecting endogenous neurochemical changes in the brain as a function of time, including those of major neurotransmitters such as glutamate and GABA. The low SNR of individual fMRS transients, coupled with the small concentration changes that have been demonstrated in response to external perceptual, cognitive, and sensory stimuli, have proven to be a major impediment to the establishment of fMRS as a robust and commonly used methodology. Recent evidence suggests that fitting time-changing MRS data in tandem (2D fitting), by simultaneously estimating both spectral and temporal parameters, should be more precise than conventional 1D fitting, without impairing its accuracy. We implemented a 2D spectral-temporal fitting framework for fMRS data and evaluated its performance using both synthetically generated and in vivo datasets acquired during motor-induced activation. Our results on synthetic fMRS data show that 2D fitting improves the precision of the estimation of glutamate approximately tenfold compared to the conventional 1D fitting. The evaluation on in vivo data also demonstrates that 2D fitting is superior to 2D fitting with higher precision and better relative agreement. All of the results indicate that spectral-temporal approaches could play a key role in the widespread dissemination of fMRS.

Key Words: Magnetic resonance spectroscopy (MRS); Functional MRS; Spectral-temporal fitting; Quantification

ID 2558

Charged Gold Vanoparticles for Target Identification–alignment and Automatic Segmentation of CT image–guided Adaptive Radiotherapy in Small Hepatocellular Carcinoma

Jianjun Lai
Affiliated Zhejiang Hospital, Zhejiang University School of Medicine

Objective: In this study, we attempted to develop a nanoscale targeted computed tomography (CT) contrast agent that achieves high contrast and sustained enhancement contrast capability for several days in CT-enhanced imaging of small hepatocellular carcinoma (sHCC) to solve the challenges of tumor image identification-alignment and automatic-segmentation in online adaptive radiotherapy (ART) of sHCC.

Methods: Weakly acidic, pH-responsive, composite-charged gold nanoparticles (Charged-Au NPs) were prepared and validated for their in vitro aggregation ability, cytotoxicity, and organ toxicity in mice. We subsequently established an in situ sHCC mouse model for in vivo CT imaging experiments at various timepoints. Finally, the CT images of sHCC after enhanced imaging were trained with two classical deep-learning models (3D U-Net and 3D TransU-net) and evaluated for their automatic segmentation effects.

Results: Charged-Au NPs exhibited an obvious aggregative effect (with particle sizes up to 670 nm) in the weak acidic environment of pH 5.0, good biocompatibility, and the longest effective imaging time of over 96 hours (h). The 3D U-Net and 3D TransU-net models showed high auto-segmentation accuracy for sHCC in the CT images of mice with carcinoma after

contrast enhancement with the Charged-Au NPs, and DSC mean values were 81.71 and 83.50%, respectively.

Conclusion: Charged-Au NPs enabled a single injection to meet the need for CT-enhanced imaging of sHCCs for up to 96 h or more. The CT images obtained by this method were accurately and automatically segmented for sHCC for more than 96 h using classical artificial intelligence models. This method shows great potential in breaking the technical bottleneck of tumor identification alignment and automatic-segmentation in CT image-guided online ART for sHCC.

Key Words: Hepatocellular carcinoma; Computed tomography imaging; Adaptive radiotherapy; Gold nanoparticles; Tumor automatic segmentation.

ID 3183

Structural and Functional Neural Correlates of Sensorimotor Deficits in Progression of Hepatic Encephalopathy

Guanchen Sha[1,2,3,4],Yutong Cao[1,2,3,4],Qi Zhang[5],Yining Zhang[5],Yue Cheng[5],Qiuyun Fan[1,2,3,4]

1. Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Tianjin University
2. State Key Laboratory of Advanced Medical Materials and Devices, Tianjin University
3. Haihe Laboratory of Brain-Computer Interaction and Human-Machine Interaction,Tianjin
4. Tianjin Key Laboratory of Brain Science and Neural Engineering,Tianjin
5. Department of Medical Imaging, Tianjin First Central Hospital, Tianjin

Hepatic encephalopathy (HE) is a neurological condition that occurs as a complication of liver dysfunction that involves sensorimotor symptoms in addition to cognitive and behavioral changes, particularly in cases of severe liver disease or cirrhosis. Previous studies have reported spatially distributed structural and functional abnormalities related to HE, but the exact relationship between the structural and functional alterations with respect to disease progression remains unclear. In this study, we performed surface-based cortical thickness comparisons and functional connectivity (FC) analyses between three cross-sectional groups: healthy controls (HC, N=51), patients with minimal hepatic encephalopathy (MHE, N=50), patients with overt hepatic encephalopathy (OHE, N=51). In addition to the distributed cortical thinning that is extensively thought to be associated with cognitive decline in HE, we found significant cortical thickening in the left parahippocampal gyrus cortex in the OHE group ($p<0.001$, $p=0.009$) as compared to the HC and MHE group respectively, which is further corroborated by the significant correlation between the cortical thickness and digit symbol test (DST) scores. Furthermore, the decreased FC between the right postcentral gyrus and a number of sensory regions (bilateral somatosensory and visual cortices) was found to be significant, in MHE patients as compared to the HC group. Our results revealed cross-sectional structural and functional variations with respect to disease progression across different subsystems (e.g., visual, motor and sensory), providing evidence that can potentially explain the mechanisms underlying the sensorimotor and cognitive deficits as related to HE.

Key Words: hepatic encephalopathy, surface-based morphometry (SBM), cortical thickness, sensorimotor

ID 3251

终末期肾病脑组织微观结构变化：一项基于fixel的分析研究

曹宇桐[1,2,3,4]、王慧颖[5]、柴超[5]、夏爽[5]、范秋筠[1,2,3,4]
1. 天津大学医学工程与转化研究院
2. 先进医用材料与医疗器械全国重点实验室
3. 天津市脑机交互与人机共融海河实验室
4. 天津市脑科学与神经工程重点实验室
5. 南开大学天津市第一中心医院医学院放射科

目的：探究终末期肾病（ESRD）患者白质微结构变化与认知功能之间的关联。

方法：本研究对72例ESRD患者和60例与之匹配的健康被试进行扩散加权成像（DWI）扫描和蒙特利尔认知评估量表（MoCA）测试。通过FBA方法确定ESRD患者与健康被试之间的组间显著差异的区域，再将显著差异的区域按照纤维束进行分割进行束特异性评估，分别从全脑水平和纤维束水平分析ESRD患者白质改变区域，探究白质改变区域FBA参数与ESRD患者认知水平之间的关系。

结果：ESRD患者在53个WM区域出现FD显著降低的区域，在50个WM区域出现FC显著降低，在48个WM区域出现FDC显著降低。相关分析结果显示，ESRD患者在胼胝体（CC）等14个FD的显著差异区域与MoCA认知评分显著正相关，在左前丘脑放射束（ATR_left）,左丘脑前运动区(T_PREM_left)， 左丘脑前额叶(T_PREF_left)等20个FC的显著差异区域与MoCA认知评分呈显著正相关，在左前丘脑放射束（ATR_left）,左丘脑前运动区(T_PREM_left)，左丘脑前额叶(T_PREF_left)等23个FDC的显著差异区域与MoCA认知评分呈显著正相关。

结论：通过FBA的弥散 MRI 数据分析获得的纤维密度和纤维束横截面等指标可以提供 ESRD患者白质完整性的评估。白质损伤可能是ESRD患者认知障碍的原因。

关键字：终末期肾病；认知障碍；扩散加权成像；基于fixel的分析

ID 3490

NSMF-Flow: Normalized-Specific-Modality-Feature Flow Model for Contrast-Enhanced Brain MR Image Synthesis

Zhibo Qin[1,2],Changhui su[1],Kun Shang[1],Yu Guo[3],Junxin Chen[4],Dong Liang[1],Huimao Zhang[3],Zhibo Qin
1. Research Center for Medical AI, Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, China
2. College of Medicine and Biological Information Engineering, Northeastern University, Shenyang, China
3. Department of Radiology, The First Hospital of Jilin University, Changchun, China
4. School of Software, Dalian University of Technology, Dalian, China

Contrast-enhanced magnetic resonance imaging (CE-MRI) can provide superior visibility of pathology and delineation of lesions, and has been widely used for brain tumour detection. However, gadolinium-based contrast agents (GBCAs) used in CE-MRI may trigger various health and environmental problems, raising concerns about its safety. To reduce or even eliminate the use of GBCAs, we present a normalized-specific-modality-feature flow model named NSMFFlow to synthesize brain contrast-enhanced T1 (CET1) images. NSMF-Flow introduces a normalized-specific-modality feature between brain noncontrast T1 and CET1 images, which is used in the training and inference phases of the proposed model to enable the synthesis of CET1 images. Quantitative and qualitative evaluations have shown that the synthesized images using NSMF-Flow are able to achieve the best performance when compared with other state-of-the-art methods.

Key Words: Contrast-Enhanced; Flow-based Model; Medical Image Synthesis; Brain MRI

ID 4347

Assessing the Impact of Different Conductivity Models on the Electric Field Distribution in Transcranial Temporal Interference stimulation

Wenxia Ju,Yinhao Ren,Chunyou Ye,Xiang Nan,Jijun Han
安徽医科大学

Currently, there is still a lack of evaluation of the electric field distribution produced by different conductivity models in transcranial temporal interference stimulation (TIS). In this study, to compare the electric field distributions induced by different conductivity models, we have established three models: (i) isotropic conductivity model based on literature values; (ii) individualized isotropic conductivity model; and(iii) conductivity tensor model. Moreover, we selected three different electrode placements for numerical simulations and chose the left hippocampus as the region of target. Then, we used the above models for TIS numerical simulations and compared the electric field distributions in the target region and the cortical region. The results showed that, under the same electrode placement, individual variability properties had a significant impact on the electric field intensity in TIS. In the target region, the average relative error of the conductivity model based on literature values and the personalized conductivity model compared to the conductivity tensor model under the electric field is 55.83%, 10.02%, respectively. Therefore, within an acceptable range of error, it is feasible to establish an individualized conductivity model for TIS without spending a lot of time to establish a conductivity tensor model.

Key Words: temporal interference stimulation, personalized conductivity model, anisotropic conductivity, electric field.

ID 4355

Data-Driven 3D Patch-Based Electrical Properties Reconstruction with Enhanced Feature Learning

Chunyou Ye,Yaqing Jia,Chunyou Ye,Xiang Nan,Jijun Han
安徽医科大学

Magnetic resonance electrical properties tomography (MR-EPT) is a non-invasive technique for deriving tissue electrical properties (EPs), traditional algorithms suffer from noise amplification and reconstruction errors due to numerical approximations of noisy B+ 1 derivatives. In addition, existing convolutional neural networks (CNNs) used for MR-EPT without considering physical laws governing gradients and Laplacian operators, which can lead to inaccuracies in EPs estimation. This study introduces a novel data-driven 3D patch-based EPs estimator, which using CNN and artificial neural networks (ANN) trained on a simulated dataset. The physical laws governing EPs reconstruction are fully integrated into the ANN. Moreover, we incorporated T1-weighted imaging, gradients, and Laplacian operators to provide a more comprehensive feature set. The proposed method is compared with traditional method before and after adding noise. The results demonstrate that considering physical laws through ANN integration significantly reduces errors, achieving more accurate EPs reconstruction compared to existing methods. The T1-weighted image serves as a regularization factor, further reducing artifacts and improving estimation accuracy.

Key Words: Convolutional neural network (CNN), Artificial neural net-work (ANN), Electrical properties tomography, Physical laws

S22
类脑智能

ID 1920

Repetitive training enhances the pattern recognition capability of cultured neural networks

Wenwei Shao,Qi Shao,HaiHuan Xu,Zhiyun Ma,Guanji Qiao,Weiwei Meng,Zhuobin Yang,Runxuan Wang,Yunliang Zang,Xiaohong Li
Tianjin University

Cultured neural networks in vitro have demonstrated biological intelligence. However, the underlying mechanisms behind information processing and the emergence of intelligent behaviors remain less understood. Here, we developed an in vitro neural network integrated with microelectrode arrays (MEAs) to explore the network's classification capability and elucidate the mechanisms underlying this classification. After applying different stimulation patterns using microelectrodes, the network exhibited structural alterations and distinct electrical responses that recognized various stimulation patterns. Alongside the reshaping of network structures, repeated training increased recognition accuracy for each stimulation pattern. Additionally, it was reported for the first time that spontaneous networks after stimulation are more closely related to the structures of evoked networks. This work provides new insights into the structural changes underlying information processing and contributes to our understanding of the emergence of intelligence in cultured neural networks.

Key Words: neural network; artificial intelligence; biological intelligence; pattern recognition; memory

ID 2297

基于热电材料的仿生温觉感受器

李浩天[1]、施远宏[2]、化麒麟[1]
1. 北京理工大学
2. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所

忆阻器是新型神经形态计算的最有前景的候选者之一，目前其研究方向从早期存储应用扩展至神经仿生领域，如模拟人体皮肤的温觉感受器。温觉感受器能够有效识别温度刺激，并通过神经兴奋反馈来最大限度地减少潜在的物理伤害。人工温觉感受器通常是将温度传感器和忆阻器分离集成，在工艺、速度和功耗等方面存在诸多挑战。本文提出了一种基于热电材料硒化铋(Bi_2Se_3)忆阻器的人工温觉感受器，并构建了脉冲信号神经元感知电路，模拟了“阈值”、“松弛”和“不适应”等特征，成功获得具有温度快速感知及反馈功能的智能机械手，将在未来仿生和神经形态工程中实现智能感知的新范式。

关键字： 感知一体；忆阻器；温觉；伤害感受器；神经形态器件

ID 2529

Lightweight Multi-task Hyperdimensional Computing Framework Driven by Binary Neural Network for Sleep Apnea Detection

刘毅,陈恬,刘官正,王昌宏
中山大学

Sleep apnea syndrome (SAS) is a prevalent sleep disorder that impacts neurocognitive and cardiovascular health. The need for effective long-term management of SAS in everyday conditions has led to the adoption of wearable devices based on photoplethysmography (PPG) technology as a viable monitoring solution. However, the computational demands of current detection algorithms often surpass the capabilities of low-power, miniaturized wearable devices. To overcome this challenge, this study introduces a novel, lightweight detection algorithm for SAS that utilizes hyperdimensional computing. This algorithm is a multi-task hyperdimensional computing framework that is enhanced by binary neural network and incorporates metric learning. The proposed model demonstrates inference performance with an accuracy of 75.72%, sensitivity of 73.74%, and specificity of 76.43%. Compared to conventional machine learning approaches, this model also offers better performance on embedded platforms, achieving up to 25× reduction in memory usage, 39× decrease in latency, and 64× lower energy consumption on an ARM Cortex-M4 processor.

Key Words: Sleep Apnea Syndrome, Multi-task Learning, Hyperdimensional Computing, Binary Neural Network, Metric Learning

ID 3160

Combining spiking neural network with inception for motor imagery classification

Xiaojian Liao,张虹淼,Xiaojian Liao
苏州大学

Motor imagery (MI) signal classification is essential for the application of brain-computer interface (BCI) systems. Despite the success of existing artificial neural network (ANN)-based EEG signal classification methods, most models ignore the inherent neurophysiological features of EEG, which tends to make the models generalize poorly and consume high cost of resources computational resources. Spiking neural networks (SNNs) have advantages in processing signals with time-varying characteristics by mimicking the behavior of the biological nervous system. In this study, we propose a high-performance SNN, Spike-Inception, for classifying MI signals. Spike-Inception effectively integrates the Inception module targeting EEG processing in the encoder and feature extraction blocks, improving the performance at different scales. Meanwhile, Spike-Inception utilizes the spiking neuron with learnable membrane parameters, effectively enhancing the interpretability of Spike-Inception. We conducted cross-subject experiments on two representative MI datasets to evaluate the performance of Spike-Inception. The results show that Spike-Inception not only consumes low energy and performs high performance compared to the ANN of the same structure but also outperforms the performance of state-of-the-art ANNs and SNN models. It exhibits the advantages of SNN in EEG processing and provides new perspectives for its application in BCI.

Key Words: Spiking neural network, Brain-computer interface, Inception module, Motor imagery

ID 3224

基于多功能紫外激光诱导石墨烯的柔性人工感觉神经元

龙昊天、万昌锦
南京大学

神经形态感知系统（NPS）受到生物与环境相互作用的启发，推动了人机界面和仿生机器人等许多新兴领域的发展。激光诱导石墨烯（LIG）是一种快速、低成本和精确的图案化石墨烯加工技术，旨在实现具有灵活性和生物可行性的神经形态感知系统。同时，为了释放LIG的全部特性和功能，应该解决诸如低耐久性和有限拉伸性等当前研究面临的棘手问题。本文介绍了一种基于高性能紫外激光诱导LIG（UV-LIG）的传感器和电极，用于构建柔性人工感觉神经元（ASN）。UV-LIG可以制造出约75微米的精细线宽和3.9 S/cm的电导率，这有助于演示LIG工具箱，其中包含弯曲传感器和柔性加热器等。转移的LIG电极保持良好的导电性能（<1 kΩ），并具有较大的可拉伸性（高达150%的应变），优于大多数基于LIG的应变传感器。作为概念验证，基于LIG功能组件和壳聚糖突触晶体管的集成，实现了能够模拟体感系统应变感知的人工感觉神经元。这项工作可以提供一种有效的模式化方法，以及神经形态感知系统的基本组成部分。

关键字：激光诱导石墨烯，柔性传感器，突触晶体管

ID 4126

One-Transistor One-Memristor based Universal Oscillating Units for Spike-Encoding Artificial Sensory Neuron

Lesheng Qiao,Lesheng Qiao
南京大学

In this work, we report a universal oscillating unit for spike-encoding artificial sensory neuron based on one InGaZnO transistor and one TaOX memristor. The high ION/IOFF ratio (>108) of the transistor facilitates the spikes generation through the memristor with a wide frequency range of ~3 orders of magnitude (3-1667 Hz) and a low power consumption of 15.2 pJ/spike. More importantly, the unit operates at voltage mode, which makes it possible to integrate with various types of sensors. As a proof-of-concept, an artificial visual neuron is built based on such unit, which well simulates depth perception function. These results indicate that our device can be regarded as a building block for artificial sensory systems with high biofidelity.

Key Words: artificial sensory neuron, spiking neuron, diffusive memristor, IGZO transistor

ID 4271

Brain organoids in motor cortex involved in motor output

Yuchen XU[1],Xiaoman FAN[2],Shibo XU[3],Yuqi YANG[2],Lufeng SHI[2],Shaomin Zhang[1],Yan LIU[3]

1. Westlake University

2. Zhejiang University

3. Nanjing Medical University

Motor function is essential in daily life while brain damage in motor system such as stroke would lead to long term motor function deficits. Brain organoids, a novel in vitro stem cell culture technol- ogy, offer a new idea for motor function recovery. In this study, we pumped out the motor cortex of forelimbs to mimic brain injury in mice and implanted human brain organoids into the cavity com- bined with microwire electrodes to simultaneously record neural signals from both the organoids and the host animals. Our findings indicate that the brain organoids can be involved in motor output and the involvement can be improved through behavioral training.

Key Words: Brain organoids, Movement execution, Spike train correla-tion, Kalman filter