第十七届中国体视学与图像分析学术会议

论文集

Proceedings of

The 17th Chinese Conference on Stereology and Image Analysis

2022. 11

第十七届中国体视学与图像分析学术会议

大会主席：陈志强

副 主 席：张　跃　康克军　彭瑞云　张艳宁　田　捷
姜志国　秦高梧　李　亮　宋晓艳

组织委员会主席：秦高梧

委　　员：李　亮　刘克音　李　阳　李兴东　王　浩
孙瑾秋　徐新萍　蒋　敏　汤少杰

学术委员会主席：张　跃

委　　员（按姓氏笔画排序）：
申　洪　田　捷　白雪冬　孙正明　牟轩沁
李　杨　李纯明　宋晓艳　张艳宁　张　跃
陈志强　赵忠明　姜志国　秦高梧　唐　勇
康克军　彭瑞云　焦宗夏　谢庆国　潘晋孝

学术工作组组长：李　杨

成　　员：谢庆国　张　铮　胡　蓓

前　　言

由中国体视学学会主办的第十七届中国体视学与图像分析学术会议于2022年11月11~12日在线上举行。本次会议适逢中国共产党第二十次全国代表大会胜利闭幕之际，学会将在新征程上以学科为纽带，凝聚广大会员，自立自强，勇当科教兴国、人才强国排头兵；进一步强化学会枢纽功能，拓展高质量学术交流模式，促进学科交叉融合，促进体视学科技人才的进步与成长，建设体视学和相关学科新发展的源头活水，为我国科学技术的繁荣，做出更大的贡献。

本次会议延续以往的传统，聚焦体视学的基础理论研究、应用基础研究和工程应用研究，传播体视学及相关领域的创新成果。体视学是一门研究三维结构的科学，其基础研究高度依赖于方法学、数学、计算机技术、成像方法和图像技术等；其应用则涉及需要对三维结构进行定量表征和可视化表达的材料、医药、生物、能源、环境、农业、地质、矿业、冶金、建筑、航空、航天、遥感、国防等诸多领域。在材料科学和生物医学两大领域，体视学发挥着不可替代的作用。

本届学术会议论文集共收录论文/摘要160篇，论文内容涵盖了生物医学多媒体信息的处理与仿真理论、技术与应用；生物医学体视学理论及技术创新与发展；材料体视学研究与人才培养；射线数字成像与CT技术理论研究与应用；智能成像技术理论研究与应用等内容。为记录体视学及相关领域的最新研究成果，便于交流和研讨，促进相关学科创新成果的广泛传播，我们编辑出版了这本论文集。

由于受到新冠疫情的影响，本届学术会议经历了多次延期，但论文征集活动仍得到了中国体视学学会广大会员的积极响应和支持。借此机会，中国体视学学会对所有参与学术交流的专家学者、青年学子、论文集的编审专家，以及所有与会代表，表示衷心感谢！

中国体视学学会理事长　张　跃

2022年11月

目　　录

• 第一分会场　2022 生物医学多媒体信息处理与仿真学术会议 •

无差别载体图像二次嵌入信息隐藏方法 …… (3)

脑疾病诊断的深度学习方法综述 …… (3)

X Ray-HeartNet:二维胸部 X 线图像的直接三维心脏 CT 重建与分割 …… (4)

Encoding deep residual features into fisher vector for skin lesion classification …… (6)

WNet: An efficient network for 3D brain tumor segmentation …… (7)

基于布局图的多物体场景的新视角图像生成网络 …… (8)

利用改进 FPN 和多尺度信息的实例分割方法 …… (9)

一种联合通道注意力机制的 Transunet 筏式养殖区遥感提取方法 …… (10)

基于对比注意力的文本编辑图像方法 …… (11)

基于弱监督的遥感图像镶嵌质量盲评价 …… (12)

基于多尺度特征模仿的无监督异常定位算法 …… (14)

利用多语义超图进行少样本学习 …… (16)

深度互补分类器与中心约束三元组损失函数的行人搜索 …… (17)

基于目标检测的无人小车交通路况识别实现 …… (18)

阿克曼结构机器人室内导航实现 …… (19)

B-PointRend:图像分割掩膜边缘优化方法 …… (20)

基于深度对抗学习的人脸识别攻击方法 …… (21)

A feasibility study of knee joint semantic segmentation on 3D MR images …… (22)

A review on medical brain image segmentation methods based on deep learning …… (24)

ASMANet:基于 TW3 法的自动骨龄评估 …… (25)

• 第二分会场　第十一届全国生物医学体视学学术会议
第十四届全军军事病理学学术会议　第十届全军定量病理学学术会议
第一届全国超微与分子病理学专业委员会军事医学病理学学组学术会议 •

C57BL/6N 小鼠和 C3H/HeN 小鼠放射性肺损伤的胸部 CT 影像和呼吸功能的比较研究 …… (29)

Automatedcell counting using deep learning in 1064-nm laser-induced cell apoptosis in pig cutaneous …… (30)
电磁脉冲和微波复合暴露对大鼠外周血免疫指标的影响研究 …… (31)
电磁脉冲对小鼠行为学及海马神经元钙活动的影响研究 …… (32)
微波辐射对小鼠纹状体组织结构和功能的影响 …… (33)
微波长期复合暴露对大鼠脑功能、海马结构及突触可塑性改变的定量研究…… (34)
900 MHz 电磁场暴露缓解 APP/PS1 小鼠的 AD 样症状 …… (35)
微波辐射对大鼠空间工作记忆和识别记忆的影响及其结构基础 …… (36)
高功率微波对不同性周期雌性大鼠三代生育影响定量研究 …… (37)
RH005 对小肠上皮细胞 DNA 损伤的影响…… (39)
新冠病毒肺炎早期病变特点及疫苗接种早期疗效初探 …… (40)
L 和 C 波段微波同步暴露对大鼠学习和记忆、海马结构及外泌体差异蛋白的定量研究…… (43)
BDNF 基因(Val76Met)多态与 X 波段微波辐射致大鼠认知功能改变的相关性研究 …… (44)
Sertoli 细胞 TLR 内源性配体在微波辐射损伤精子发生中的作用 …… (45)
经颅磁刺激对微波辐射致脑损伤大鼠海马组织结构影响研究 …… (46)
蓝光对视网膜色素上皮细胞坏死性凋亡的初步实验研究 …… (47)
高压脉冲电流对植入起搏器动物的心脏功能和结构的影响研究 …… (48)
不同剂量微波长期辐射致癌效应研究 …… (49)
微波复合暴露对小鼠脾脏免疫功能的影响研究 …… (50)
S 和 X 波段微波复合暴露致大鼠心脏 Cx43 异常表达研究…… (51)
RH005 对于电离辐射致小肠细胞凋亡及其增殖的作用研究 …… (52)
微波辐射对海马神经干细胞增殖分化能力的影响研究 …… (53)
电磁脉冲对大鼠血脑屏障通透性的影响研究 …… (54)
The abscopal effects of cranial irradiation induce testicular samage in mice …… (55)
X 射线胸部局部照射对小鼠精子发生的影响 …… (56)
经颅直流电刺激促进脑损伤修复的机制研究 …… (57)
41~50 岁初治微小病变肾病患者 GBM 厚度的定量研究…… (58)
数字病理自监督学习与高信息量辅助诊断 …… (59)
从低龄至高龄大鼠海马结构神经元数量和细胞核体积的体视学定量研究 …… (60)
深度学习在宫颈细胞学全切片图像分析领域的探索与应用 …… (61)
HOTAIR-miRNA217-DKK1 分子轴驱动的激素性股骨头坏死
BMSCs 成骨/成脂转分化异常的分子机制研究 …… (62)
环状 RNA CDR1as 在激素性股骨头坏死 BMSCs 成骨/成脂异常转分化中的分子机理及信号通路的
研究 …… (63)

基于高通量测序进行肺腺癌新抗原检测结果分析 …… (64)
氢气对噪声性聋的有效防护时间及机制研究 …… (65)
三联入路法对翼腭窝的形态学观察 …… (66)
β-catenin、Bcl-2、CD99、Vimentin、SMA 在肉瘤样癌诊断中的作用初探 …… (67)
Imaris7.0 测量豚鼠 Hensen's 细胞中脂滴的体积及分布 …… (69)
变应性鼻炎动物模型的纤毛运动功能的在体观察与分析 …… (70)
基于机器学习的听性脑干诱发电位病理特征波形自动识别方法 …… (70)
人参皂苷 Rg1 通过抑制 NLRP3 减轻氧糖剥夺/复供后小胶质细胞炎症反应 …… (71)
GDF-15 对糖尿病小鼠心肌损伤保护作用的实验研究 …… (72)
自噬相关蛋白 AKT、mTOR 和 LC3A 在小鼠海马发育中的表达 …… (73)
放射损伤修复模型中对肠道干细胞的评估策略和相关进展 …… (74)
基于图像分析的 DNA 倍体定量分析在宫颈上皮内瘤变及癌变细胞学筛查中的意义 …… (75)
衰老小鼠脑组织中锌转运体的表达变化 …… (77)
生物信息学在挖掘乳腺癌标志物的应用 …… (78)
基于改进 U-net 网络的直肠癌 CT 图像分割研究 …… (85)
肝 X 受体激动剂抑制抑郁模型小鼠海马亚区小胶质细胞的激活来改善抑郁样行为 …… (86)
LXR agonist ameliorates depressive-like behavior through protecting hippocampal myelin repair in a mouse model of depression …… (87)
海马 PGC-1α 介导小鼠抑郁样行为及 DG 区兴奋性突触数量的改变 …… (88)
氟西汀对 APP/PS1 转基因 AD 模型小鼠认知功能及海马神经元的作用 …… (89)
Stereological study on the effects of exercise on the hippocampal astrocyte in a rat model of depression …… (90)
人脐带间充质干细胞对小鼠放射性肺损伤的防治作用研究 …… (91)
图神经网络研究进展 …… (92)
S 波段微波长期辐射致雄性生殖损伤效应的定量研究 …… (96)
HIF-1 与线粒体动力学的相互作用研究进展 …… (97)
基于深度学习的激光皮肤损伤 OCT 影像自动分割技术 …… (98)
短波辐射对小鼠学习记忆与神经发生的影响研究 …… (99)
电磁辐射对男(雄)性生殖损伤机制研究进展 …… (100)
OCT 影像人工智能在医学领域的研究现状与发展趋势 …… (101)
联合细胞核和染色信号形态拓扑特征的循环异常细胞识别 …… (102)
体视学研究神经生长因子对坐骨神经损伤大鼠脊髓神经纤维的影响 …… (105)

• 第三分会场　第十七届全国金相与显微分析学术研讨会暨第十二届全国材料科学与图像科技学术会议 •

钛金属表面微弧氧化-PDA 辅助沉积制备生物活性牙种植体 …… (109)
非晶晶化法制备纳米晶 WC-Co 硬质合金的机理研究 …… (111)
WC-Co 复合材料磨损行为的分子动力学模拟研究 …… (112)
超粗晶硬质合金的弯曲疲劳失效机理研究 …… (113)
纳米晶 NbMoTaW-Cu 复合材料的制备与力学性能研究 …… (114)
Ti-6Al-4V 合金超塑性变形组织演变的人工神经网络预测 …… (115)
城轨列车制动盘 SiCp/A356 复合材料热疲劳裂纹扩展机理研究 …… (117)
基于余氏理论的 TC4 钛合金组织模拟及抗拉强度计算研究 …… (119)
钢铁材料微观组织人工智能分析研究 …… (120)
多功能扫描探针成像技术在低维材料力学和电学性质研究中的应用 …… (121)
基于 EBSD 数据的高温母相重构及应用 …… (121)
多尺度 X 射线三维成像技术及其应用 …… (122)
城轨列车制动盘 SiCp/A356 复合材料热疲劳裂纹扩展机理研究 …… (123)
不同加载方式下硬质合金应力状态和应变响应的有限元模拟研究 …… (125)
材料科学与工程专业多层次模块化实验教学体系的深化设计 …… (126)
超粗晶硬质合金的疲劳失效机理及高耐疲劳性合金设计 …… (127)
钢铁材料微观组织人工智能分析研究 …… (128)
激光增材制造超低温耐蚀高熵合金 …… (129)
基于 X 射线探伤图像的焊接缺陷人工智能鉴别 …… (131)

• 第四分会场　2022 年全国射线数字成像与 CT 新技术研讨会 •

Fluence adaptation for contrast-based dose optimization in grating-based X-ray multi-contrast imaging …… (135)
Limited-angle CT reconstruction with primal-dual algorithm …… (136)
基于局部加权线性回归查找表的双能谱 CT 迭代重建方法 …… (137)
Compton-based multi-energy gamma-ray simultaneous rapid imaging for 3D-priting mouse phantom …… (138)
一种探测器偏置的低剂量迭代反投影滤波重建方法 …… (139)
基于比例通道表达的能谱 CT 多物质分解 …… (140)
CT 与 CL 多尺度融合重建 …… (142)
一种基于 Radon 变换的 X 射线 CT 几何误差标定方法 …… (143)

The developments of HEPS and its hard X-ray imaging Beamline …… (145)
基于端到端卷积神经网络的双能 CBCT 多物质定量成像 …… (146)
双能 CT 与差分相位衬度 CT 定量成像方法比较 …… (147)
一种双层平板探测器 X 射线及 CT 成像性能评估 …… (148)
基于深度学习的 CT 环形伪影校正 …… (149)
Spectral Image Reconstruction via Subspace Representation …… (150)
Low-dose Dynamic Cerebral Perfusion CT Reconstruction Method Based on Voxel-level TAC Correction … (152)
受限制的 CT 图像重建研究 …… (154)
微焦点 X 射线 CT 在高密夹杂和孔隙分析的应用 …… (155)
CNT micro-focus X-ray source and in-situ pressure measurement …… (156)
浅谈医学影像相关专业开展人工智能教学必要性及课程体系建设 …… (157)
一种 X 射线 CT 硬化-散射伪影校正方法 …… (158)
非负约束对相位衬度 CT 成像的影响 …… (159)
A new multi-view X-ray digital imaging stitching algorithm …… (160)
一种基于高斯近似的能谱 CT 重建算法 …… (161)
激光微焦点 X 射线源技术研究 …… (162)
工业 CT 团体标准制定进展汇报 …… (163)
An image self-training segmentation method for PCB drilling via stub measurement based on computed laminography imaging …… (164)
基于泛化深度迭代网络的稀疏角度 CT 重建 …… (165)
10 Lp/mm 空间分辨率高能工业 CT …… (166)

• 第五分会场　第一届全国智能成像技术学术会议 •

面向自适应放疗的深度学习锥束 CT 伪影校正方法 …… (171)
A Dual-domain deep learning method for low-dose CT reconstruction based on Bernoulli sampling constraint …… (173)
一种基于深度学习投影到图像的 CT 分块重建算法 …… (174)
Attentive transformation based normalization for breast tumor segmentation in PET images …… (175)
Prior-based ROI reconstruction using weighted Hessian Schatten regularizations …… (177)
结合多模态影像信息的心脏 CT 重建算法 …… (178)
基于图像识别的无人驾驶汽车软件系统优化设计 …… (179)
Automated segmentation of skeletal muscle at the third lumbar vertebral level in radiotherapy CT images … (181)
基于图像局部质量增强的迭代重建算法 …… (182)
一种基于新型平板射线源的数据校正方法 …… (184)

基于冷阴极平板射线源的稀疏角度 CT 成像方法 …… (186)
Mutli-energy CT reconstruction by intrinsic tensor spatial sparsity and low-rank regularization …… (188)
基于 SPECT 数据的碘-125 粒子放射性信息可视化 …… (189)
一种基于焦点测量的超分辨重建方法 …… (190)
Adaptive-weighted high order TV image reconstruction algorithm based on Chambolle-Pock algorithm frame …… (191)
NETN: Noise encode transfer network for clinical low-dose CT image generation …… (192)
IDOL-Net: Aninter active dual-domain parallel network for CT metal artifact reduction …… (193)
BP-Net: Back-Projection directly from TOF PET listmode following Network filtration …… (194)
基于深度学习的铁路铸件射线 DR 图像缺陷检测算法研究 …… (196)
慢性踝关节不稳患者在不稳定平面单脚站立时皮质活动特征研究 …… (198)
Dual-energy CT Imaging via an Augmented Attention Deep Learning Approach …… (199)

• 第六分会场　青年学术论坛 •

Dual-scale residual network for spectral CT image super-resolution …… (203)
基于反投影域变换和神经网络的低剂量断层重建算法 …… (204)
基于局部自适应阈值的红外遥感图像弱小目标检测 …… (206)
Deep leaning for low-dose CT image combined with anatomical prior information …… (208)
一种改进型千伏切换锥束 CT 能谱成像 …… (210)
废物桶 TGS 定量成像检测技术研究 …… (212)
针对低能 X 射线荧光成像的康普顿相机系统 …… (214)
Unsupervised PET Reconstruction Using DeepRED with Bayesian perspective …… (215)
动态双能 CT 成像算法研究 …… (216)
基于投影矩阵的机械臂 CT 迭代重建 …… (217)

第一分会场

2022 生物医学多媒体
信息处理与仿真学术会议

无差别载体图像二次嵌入信息隐藏方法

刘娟妮，　周　诠，　张　怡，　肖化超，　王　鹏，　呼延烺，　魏佳圆，　刘睿华

（中国空间技术研究院 西安分院 空间微波技术重点实验室，　西安　710100）

摘　要：

针对不同类型载体图像存在信息隐藏性能差异较大的问题，提出了一种无差别载体图像的信息二次嵌入隐藏方法。首先，构建秘密信息映射矩阵，将不同载体像素对映射为有限值，根据参考矩阵分布规律对其进行分块；然后，在每个载体像素对中分别进行两次信息嵌入，且第二次嵌入不影响第一次嵌入信息的正确提取；最后，完成所有秘密信息嵌入形成含密图像进行传输。仿真结果表明，该方法可以在保证载体图像质量的同时大幅提升秘密信息嵌入量，相比单次嵌入隐藏容量增加了一倍，且隐藏结果不受载体图像类型和复杂度影响。

脑疾病诊断的深度学习方法综述

于　亮，　黄建军

（深圳大学 广东省深圳市南山区南海大道 3688 号，　深圳　518060）

摘　要：

脑部疾病的发生率日益增长，已经严重的危害了大众的身体健康。应用深度学习方法诊断脑部疾病已成为医学领域的热门研究课题。文章在简要回顾了当前基于深度学习的主流网络和学习方式的基础上，重点介绍了具体的基于不同神经网络的深度学习脑疾病诊断方法。最后，考虑到当前深度学习在医学领域应用的困境：隐私和数据稀缺问题，对联邦学习在脑疾病诊断上的应用进行了展望。

关键词：深度学习；脑疾病诊断；联邦学习；数据稀缺；隐私

项目基金：深圳市高校稳定支持计划项目：20200821152629001

作者简介：于亮，男(汉)，安徽省阜阳市颍上县谢桥镇，在读研究生。研究方向：联邦学习在医学处理上上的应用。E-mail：liangyu20210816@ 163. com

通信作者：黄建军，教授。E-mail：huangjj_ atr@ sina. com-

X Ray-HeartNet：二维胸部 X 线图像的直接三维心脏 CT 重建与分割

葛荣骏[1,5]， 夏 聪[2]， 陈思洁[3]， 陈玮婷[3]， 何宇霆[4,5]， 张道强[1]， 陈 阳[4,5]，
罗立民[4,5]， 祝因苏[3]

（1. 南京航空航天大学 计算机科学与技术学院， 南京 210000；
2. 东南大学 医学院， 南京 210000； 3. 江苏省人民医院 放射科， 南京 210000；
4. 东南大学 计算机科学与工程学院， 南京 210000；
5. 东南大学 计算机网络和信息集成教育部重点实验室， 南京 210000）

摘 要：

二维胸部 X 线图像被广泛用于临床中的快速初步检查。因为其具有高成像效率、低辐射风险、易操作和价格低廉等优势。但是由于有限的投影视角，二维 X 线图像只能显示重叠的解剖信息，并且无法提供可视化的全视角立体形状结构与准确的心脏容积测量。然而，为了获得更多的诊断信息，则需要对患者进行进一步的成像检查，如 CT 检查等。因此，为了尽可能地避免此类多次成像检查所造成的高额费用、重复辐射伤害以及时间浪费，本工作提出 XRay-HeartNet 以实现从二维成对正、侧位胸部 X 线图像到三维 CT 体数据的重建、分割，从而促使通过一次胸部 X 线平片检查就足以为临床分诊、检查中提供更多三维视觉化结构信息和准确的容积测量。XRay-HeartNet 通过解放正、侧位 X 线图像中重叠的解剖信息，并对这种在三维空间上相互垂直的结构进行融合，从而获得更准确的全视角信息。进一步地，XRay-HeartNet 通过分割模块，为网络引入三维形状约束，从而有效提高心脏三维重建的效果。在训练过程中，XRay-HeartNet 通过联合对抗学习，从而进一步提高任务间一致性和网络性能。实验表明 XRay-HeartNet 能够有效地从成对的二维胸部 X 线图像重建出三维 CT 体数据，并取得 PSNR = 22.68db；同时能够准确地提供心脏三维可视化分割结构，并取得 Dice = 81.44%。这些结果表明该方法能够有效提高二维胸部 X 线图像临床价值，为医生提供更多的诊断信息。

关键词：二维胸部 X 线图像；二维-三维重建；分割；深度学习；多任务训练

参考文献

[1] S. Ehara, G. Y. El-Khoury, C. R. Clark, Radiologic evaluation of dens fracture. role of plain radiography and tomography. , Spine 17 (1992) 475-479.

[2] K. Ofori, S. W. Gordon, E. Akrobortu, A. A. Ampene, E. O. Darko, Estimation of adult patient doses for selected x-

项目基金：国家自然科学基金青年科学基金(No. 62101249)；江苏省自然科学基金青年基金(No. BK20210291)；中国博士后基金(No. 2021TQ0149)；中央高校基本科研业务费资金资助(No. NS2021067)

作者简介：葛荣骏(1992-)，男(汉)，安徽当涂，博士。研究方向：基于人工智能的医学影像分析。E-mail：rongjun. ge@ nuaa. edu. cn

通信作者：葛荣骏，副研究员。E-mail：rongjun. ge@ nuaa. edu. cn
陈阳，教授。E-mail：chenyang. list@ seu. edu. cn
张道强，教授。E-mail：dqzhang@ nuaa. edu. cn

ray diagnostic examinations, Journal of Radiation Research and Applied Sciences 7 (2014) 459-462.

[3] D. J. Brenner, E. J. Hall, Computed tomography-an increasing source of radiation exposure, New England Journal of Medicine 357 (2007) 2277-2284.

[4] M. Yamazaki, T. Akazawa, A. Okawa, M. Koda, Usefulness of three dimensional full-scale modeling of surgery for a giant cell tumor of the cervical spine, Spinal Cord 45 (2007) 250-253.

[5] S. A. Stratemann, J. C. Huang, K. Maki, D. C. Hatcher, A. J. Miller, Evaluating the mandible with cone-beam computed tomography, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 137 (2010) S58-S70.

[6] B. M¨uller, D. Evangelopoulos, K. Bias, A. Wildisen, H. Zimmermann, 426 A. K. Exadaktylos, Can s-100b serum protein help to save cranial ct resources in a peripheral trauma centre? a study and consensus paper, Emergency medicine journal 28 (2011) 938-940.

[7] P. Henzler, V. Rasche, T. Ropinski, T. Ritschel, Single-image tomogra430 phy: 3d volumes from 2d cranial x-rays, in: Computer Graphics Forum, volume 37, Wiley Online Library, 2018, pp. 377-388.

[8] L. Shen, W. Zhao, L. Xing, Patient-specific reconstruction of volumetric 433 computed tomography images from a single projection view via deep learning, Nature biomedical engineering 3 (2019) 880-888.

[9] X. Ying, H. Guo, K. Ma, J. Wu, Z. Weng, Y. Zheng, X2ct-gan: reconstructing ct from biplanar x-rays with generative adversarial networks, in: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2019, pp. 10619-10628.

[10] K. Sun, B. Xiao, D. Liu, J. Wang, Deep high-resolution representation 444 learning for human pose estimation, in: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2019, pp. 5693-5703.

[11] W. Shi, J. Caballero, F. Huszar, J. Totz, A. P. Aitken, R. Bishop, 447 D. Rueckert, Z. Wang, Real-time single image and video super-resolution using an efficient sub-pixel convolutional neural network, in: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016, pp. 1874-1883.

[12] R. Ge, G. Yang, C. Xu, Y. Chen, L. Luo, S. Li, Stereo-correlation and noise-distribution awareresvoxgan for dense slices reconstruction and noise reduction in thick low-dose ct, in: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, Springer, 2019, pp. 328-338.

[13] K. Simonyan, A. Zisserman, Very deep convolutional networks for largescale image recognition, arXiv preprint arXiv: 1409. 1556 (2014).

[14] J. Johnson, A. Alahi, L. Fei-Fei, Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution, in: European conference on computer vision, Springer, 2016, pp. 694-711.

[15] O. C, i, cek, A. Abdulkadir, S. S. Lienkamp, T. Brox, O. Ronneberger, 3d u-net: learning dense volumetric segmentation from sparse annotation, in: International conference on medical image computing and computer assisted intervention, Springer, 2016, pp. 424-432.

[16] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli, Image quality assessment: from error visibility to structural similarity, IEEE transactions on image processing 13 (2004) 600-612.

[17] Q. Dou, L. Yu, H. Chen, Y. Jin, X. Yang, J. Qin, P. -A. Heng, 3d deeply supervised network for automated segmentation of volumetric medical images, Medical image analysis 41 (2017) 40-54.

[18] Y. He, G. Yang, Y. Chen, Y. Kong, J. Wu, L. Tang, X. Zhu, J. -L. Dillenseger, P. Shao, S. Zhang, et al. , Dpa-densebiasnet: Semi-supervised 23 3d fine renal artery segmentation with dense biased network and deep priori anatomy, in: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, Springer, 2019, pp. 139-147.

[19] CS2-Net: Deep learning segmentation of curvilinear structures in medical imaging, Medical Image Analysis 67 (2021) 101874.

[20] J. Zhang, Y. Xie, Y. Wang, Y. Xia, Inter-slice context residual learning for 3d medical image segmentation, IEEE Transactions on Medical Imaging 40 (2021) 661-672.

Encoding deep residual features into fisher vector for skin lesion classification

CHEN Ziyang, XIA Yong

(Schoolof Computer Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, No. 127, Youyi West Road, Beilin District, Xi'an, 710129)

Abstract:

Melanoma is considered as the most dangerous kind of skin cancer, which accounts for about 75% of all skin-cancer-related deaths. Computer-aided skin lesion classification using dermoscopy is essential for early detection of melanoma, which is the most effective means to reduce the mortality rate. Although many deep learning models have been designed for this task, skin lesion classification remains challenging due to the small sample size available, inter-class similarity, intra-class inconsistency, and class imbalance. In this paper, we proposed a hybrid deep residual network and Fisher vector (ResNet-FV) algorithm for skin lesion classification, which aims to enhance the local feature mapping learned by ResNet and construct high-level semantic features by FV coding, so as to improve the classification performance. We first fine-tune a pre-trained ResNet, then employ FV to encode the local features extracted by the fine-tuned ResNet to image-level semantic representation, and finally use the obtained FV to train a support vector machine (SVM) as the classifier. It only needs 3 hours to train, and takes less than 1 second per image in the inference phase. We evaluated our proposed algorithm on the dataset provided by the 2018 Skin Lesion Analysis Towards Melanoma Detection Challenge organized by the International Skin Imaging Collaboration (ISIC-skin 2018) and achieved a balanced multi-class accuracy of 0.798, which shown strong competitiveness on the leaderboard.

Key words: skin lesions classification; deep residual network; fisher vector; dermoscopy

Reference

[1] He K, Zhang X, Ren S, et al. Deep Residual Learning for Image Recognition[J]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016: 770-778.

[2] Pan Y, Xia Y, Shen D. Foreground Fisher Vector: Encoding Class-Relevant Foreground to Improve Image Classification[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2019, 28(10): 4716-4729.

[3] A M E C, A H A K, A B U, et al. A methodological approach to the classification of dermoscopy images[J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2007, 31(6): 362-373.

项目基金：中国国家自然科学基金资助项目(61771397、62171377)

作者简介：陈梓杨(1999-)，男(汉)，福建省福州市，硕士(在读)。研究方向：医学影像分析。E-mail：zychen@mail.nwpu.edu.cn

通信作者：夏勇，教授。E-mail：yxia@nwpu.edu.cn

WNet: An efficient network for 3D brain tumor segmentation

LI Chong[1],　XIA Yong[2]

(1. School of Computer Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China;
2. School of Computer Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract:

Automated segmentation of brain tumors using multi-modal MR imaging is essential in assisting medical professionals to evaluate tumor development and make fast therapeutic schedule. Despite the progress achieved by U-like network (UNet) and its variants on 2D medical image segmentation, 3D brain tumor segmentation still suffers from high computation complexity due to the large size of 3D data. In this paper, we propose a W-like network (WNet) for effective and efficient 3D brain tumor segmentation. To reduce the high computation complexity of UNet, we attempt to "decompose", respectively, each MRI volume into a low-resolution data that has a low spatial resolution and a thick-slice data that has less slices. Then, we extend the one-path encoder of UNet to a two-path encoder, i. e. a low-resolution pathway and thick-slice pathway, which take the decomposed data as input and focus on capturing the inter- and intra-slice semantics with less computational cost. Based on a shared decoder, we recover the segmentation details by fusing and up-sampling the features from both pathways. We evaluated WNet on the Brain Tumor Segmentation 2018 Challenge dataset. Our results suggest that decomposing data leads to lower computation complexity but better performance than UNet, and our proposed WNet is able to achieve competitive performance in the segmentation of enhancing tumor, whole tumor, and tumor core during the online testing.

Key words: tumor segmentation; data decomposition

Reference

[1] Brügger, R., Baumgartner, C. F., Konukoglu, E.: A partially reversible u-net for memory-efficient volumetric image segmentation. In: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. pp. 429-437. Springer (2019).

[2] Chen, C., Liu, X., Ding, M., Zheng, J., Li, J.: 3d dilated multi-fiber network for real-time brain tumor segmentation in mri. In: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. pp. 184-192. Springer(2019).

[3] Myronenko, A.: 3d mri brain tumor segmentation using autoencoder regularization. In: International MICCAI Brain lesion Workshop. pp. 311-320. Springer (2018).

项目基金：中国国家自然科学基金资助项目(61771397, 62171377)

作者简介：李崇(2000-)，男(汉)，河南省商丘市，本科(在读)。研究方向：医学影像分析。Emai: lic@mail.nwpu.edu.cn

通信作者：夏勇，教授。E-mail: yxia@nwpu.edu.cn

基于布局图的多物体场景的新视角图像生成网络

高小天， 胡伏原

（1. 苏州科技大学 电子与信息工程学院， 苏州 215009；
2. 苏州科技大学 苏州市虚拟现实智能交互及应用技术重点实验室， 苏州 215009）

摘 要：

新视角图像生成任务通过给定的源图像信息合成新视点的目标视图，在虚拟现实应用中具有重要的意义。针对多物体的场景中存在的遮挡现象，物体与物体边缘生成模糊问题，提出了一种基于布局图的多对象新颖视觉生成网络（Multi-Object Novel View Synthesis via Layout Projection）。首先，该方法引入布局图信息作为先验，将被遮挡对象的类别进行标注，保证生成对象不会缺失，并且边界框将对象位置确定，保证生成图像的真实性。其次，为了生成对象交界处清晰的细节纹理，在编码器之后，将图像特征与边界框信息组成的对象特征图输入一个卷积长短时存储（ConvLSTM）网络，用来一个接一个的集成对象特征图，保证生成清晰的细节纹理。最后我们发布了 2 组多目标的数据集。我们在真实和合成场景渲染的图像上评估我们的模型，实验结果表明，与现有方法相比，该方法生成的新视图质量更高。其中相较于 SVNVS 方法，SSIM 和 PSNR 分别提高了 20%和 6%。消融实验结果显示，所提出的模块对生成效果有明显的改善。

关键词：多物体场景；遮挡现象；布局图；新颖视角生成

项目基金：国家自然科学基金项目（61876121）；江苏省重点研发计划项目（BE2017663）；江苏省教育厅高等学校自然科学研究面上项目（19KJB520054）

作者简介：高小天（1997-），男（汉），江苏省徐州市，硕士研究生，研究方向：新视角图像生成。1048213840@ qq. com

通信作者：胡伏原，教授。E-mail：fuyuanhu@ usts. edu. cn

利用改进 FPN 和多尺度信息的实例分割方法

万新军[1,2]，　胡伏原[1,2]

（1. 苏州科技大学 电子与信息工程学院，　苏州　215009；
2. 苏州科技大学 苏州市虚拟现实智能交互及应用技术重点实验室，　苏州　215009）

摘　要：

实例分割通过像素级实例掩膜对图像中不同目标进行分类和定位，然而不同目标在图像中往往存在尺度差异，目标多尺度变化容易导致错检和漏检，在不同尺度目标边界处和遮挡情况下识别和分割精度更低。现有实例分割方法未能有效解决上述问题，因此，本文在 Mask RCNN 的基础上提出利用改进 FPN(feature pyramid network，特征金字塔网络)和多尺度信息的实例分割算法。首先，设计了注意力引导的内容感知重组模块用于 FPN 邻层特征融合，通过内容感知重组对特征上采样，并在融合相邻特征前引入通道注意力机制对通道加权增强语义一致性，缓解邻层不同尺度目标间的语义混叠；其次，利用多尺度通道注意力设计了注意力特征融合模块和全局上下文模块，通过增加 ROI(region of interest，感兴趣区域)特征多尺度上下文信息，增强分类回归和掩膜预测分支的多尺度特征表示，进而提高对不同尺度目标的掩膜预测质量。通过 MS COCO 2017 和 Cityscapes 两个数据集上的综合实验，评估了所提方法的有效性，并取得了良好的性能。其中，COCO 数据集上，本文算法相较于 Mask RCNN 在主干网络为 ResNet50 和 ResNet101 时分别提高了 1.7%和 2.5%；Cityscapes 数据集上，以 ResNet50 为主干网络，在验证集和测试集上进行评估，比 Mask RCNN 分别提高了 2.1%和 2.3%。可视化结果显示，所提方法对不同尺度目标定位更精准，在相互遮挡和不同目标分界处的分割效果显著改善。实验结果表明，该算法有效提高了网络对不同尺度目标检测和分割的准确率。

关键词：实例分割；Mask RCNN；特征金字塔网络；多尺度上下文信息；多尺度通道注意力

项目基金：国家自然科学基金项目(61876121)；江苏省重点研发计划项目(BE2017663)；江苏省教育厅高等学校自然科学研究面上项目(19KJB520054)

作者简介：万新军(1996-)，男(汉)，江苏省连云港市赣榆县，硕士研究生。研究方向：计算机视觉与图像实例分割。E-mail：wanxinjun1030@163.com

通信作者：胡伏原，教授。E-mail：fuyuanhu@usts.edu.cn

一种联合通道注意力机制的 Transunet 筏式养殖区遥感提取方法

张　懿[1,2]，　汪承义[1]，　汪祖家[1]

（1. 中国科学院 空天信息创新研究院，　北京　100101；
2. 中国科学院大学，　北京　100049）

摘　要：

中国是世界上海水养殖发达的国家，为中国提供了巨大的经济效益。掌握养殖区的空间分布与面积等基本信息，一方面可以对当年的水产养殖产值进行估算，有利于政府对养殖产业的规划与调整；另一方面便于调查管理，以应对突发性的水质灾害和风暴潮灾害。此外筏式养殖是一种重要的集约化养殖方式，对海洋环境的影响也是不容忽视的。筏式养殖分布分散，不仅在近海区域有分布，在海洋上离陆地范围较远的区域仍有分布，整体覆盖面积大，人工实地调查难度大。利用遥感技术手段监测筏式养殖可以有效的提高工作效率，减少大量的人力工作。海洋上空云雾气象多发，被动遥感受限较多。雷达遥感属于主动遥感，具有全天时、全天候的特点，并且可以穿透云雾检测目标，是海洋筏式养殖区监测的最佳选择之一。早期研究者们基于雷达影像提出的提取海洋筏式养殖区域的方法大都需要具有专业经验的人工调试参数。基于特征信息的分类方法（Geng，2017）也被采用进行筏式养殖提取，但是提取精度不高，鲁棒性也不强。近年来，机器学习方法（Cui B，2019）被用于提取水产养殖区。机器学习，特别是深度学习方法的使用提高了养殖区遥感提取的精度，但是离实际应用还有一定差距。受此启发，本文提出一种利用 SAR 影像实现海洋筏式养殖区的提取方法。该方法以一种利用 Transformer（Dosovitskiy A，2020）提取图像特征的 U 型语义分割模型提取筏式养殖区。Transformer 最早提取是适用于自然语言处理里序列到序列的问题，2020 年谷歌将 Transformer 模型应用到了图像领域，并取得了不错的成绩。在语义分割问题里，Transformer 以自注意力机制构建图像切片的空间依赖关系，加强对图像上下文信息、全局特征的提取能力，但是并没有考虑到通道之间的依赖关系。因此本文应用 Transunet（Chen，2021）联合通道注意力提高分割精度，克服现有提取方法对人工依赖大的问题，增强全局信息的同时削弱通道间信息的冲突；另一方面，为了提高算法应用实用性，数据选择上借鉴以往成果（Zhang，2020），选用哨兵 1 号影像作为数据源，在代表性样本构建、数据降噪和提取后处理上进行了实用性改进。实验结果表明，本文所提出的方法在多个测试数据上的提取精度 OA 可达 88.10%，表明本文方法可有效大规模提取筏式养殖区。

关键词：筏式养殖；Transunet；语义分割；深度学习；SAR

参考文献

[1] Geng J，Fan J，Wang H. Weighted Fusion-Based Representation Classifiers for Marine Floating Raft Detection of SAR

项目基金：地球大数据科学工程（XDA19000000）

作者简介：张懿，女，博士研究生。研究方向：遥感影像处理和目标提取。E-mail：zhangyi@radi.ac.cn

通信作者：汪承义，副研究员。E-mail：wangcy@radi.ac.cn

Images. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017, 14(3): 444-448.

[2] Cui B, Fei D, Shao G, et al. Extracting Raft Aquaculture Areas from Remote Sensing Images via an Improved U-Net with a PSE Structure[J]. Remote Sensing, 2019, 11(17): 2053-.

[3] Dosovitskiy A, Beyer L, Kolesnikov A, et al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale[J]. 2020.

[4] J Chen Lu Y, Yu Q, et al. TransUNet: Transformers Make Strong Encoders for Medical Image Segmentation[J]. 2021

[5] Jie H, Li S, Gang S, et al. Squeeze-and-Excitation Networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, PP(99).

[6] Zhang Y, Wang C, Ji Y, et al. Combining Segmentation Network and Nonsubsampled Contourlet Transform for Automatic Marine Raft Aquaculture Area Extraction from Sentinel-1 Images. 2020.

基于对比注意力的文本编辑图像方法

赵柳清[1,2]，　胡伏原[1,2]

（1. 苏州科技大学 电子与信息工程学院，　苏州　215009；
2. 苏州科技大学 苏州市虚拟现实智能交互及应用技术重点实验室，　苏州　215009）

摘　要：

基于文本的图像编辑旨在利用自然语言来编辑图像内容。文本编辑图像能够有效的减少人工编辑带来的昂贵成本，具有很强的研究价值。然而，现有的方法很难根据文本内容进行准确的编辑，当句子中存在多个可编辑属性时，会出现属性编辑失败的情况。为了 解决这个问题，受到对比学习的启发，本文提出了一种基于对比注意力的生成对抗网络(CA-GAN)。具体来说，我们首先设计了一个新的对比注意力模块，以扩大训练过程中形成的随机属性组合间的编辑差异，然后，我们构建了一个属性判别器，以确保每个属性能够有效的被编辑。一系列的实验表明，我们的方法能够在 CUB 和 COCO 数据集上取得令人鼓舞的结果。

关键词：文本编辑图像；生成对抗网络；图像转换

通信作者：胡伏原，fuyuanhu@ usts. edu. cn

基于弱监督的遥感图像镶嵌质量盲评价

潘林朋，　谢凤英，　资　粤

（北京航空航天大学，　北京　102206）

摘　要：

遥感图像镶嵌是遥感图像解译的一项重要研究内容，然而受成像时间、角度、以及地物纹理的影响，镶嵌图像经常会有颜色不一致、地物结构错位等情况。本文针对遥感图像镶嵌缝两侧出现的颜色差异、地物结构错位等质量问题，设计了双分支卷积神经网络来进行遥感图像镶嵌质量的盲评价，两个分支网络分别用于镶嵌缝两侧颜色差异评价和结构错位评价，最后综合两个网络的输出实现遥感图像镶嵌质量的综合评价。由于获得图像的质量真值需要耗费大量的人力物力，为了减少训练卷积网络所需要的数据量，本文提出了一种基于两阶段训练的弱监督学习策略，第一阶段在仿真的镶嵌数据集上以颜色改变量和结构错位量为客观真值对网络进行预训练，学习与质量评价有关的先验知识，第二阶段在有主观质量真值的数据集上进行微调。在建立的带有质量真值的仿真数据集和真实数据集上的实验结果表明，本文所提方法能够有效评价遥感图像镶嵌的质量，性能要优于对比算法。

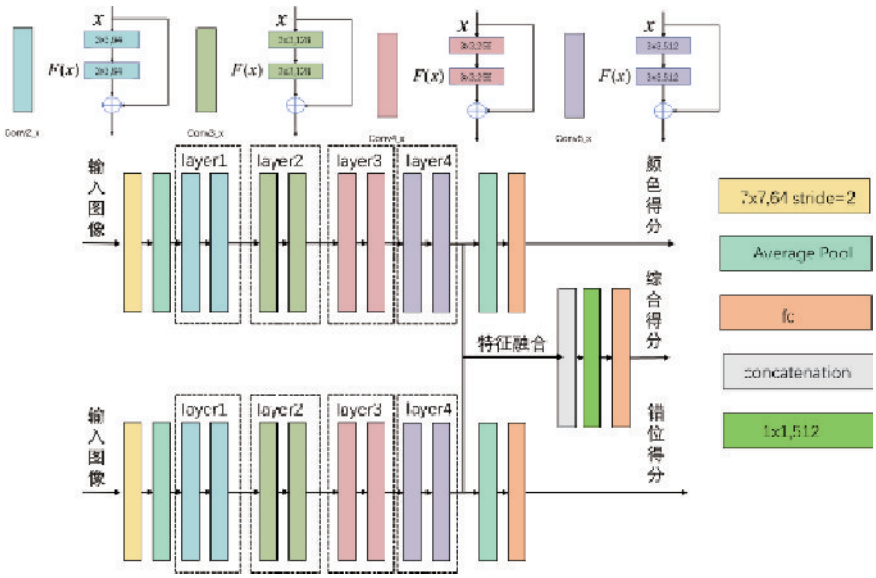


图 1　双分支卷积神经网络

项目基金：国家自然科学基金(61771031)；北京市自然科学基金(No. 4192032)，国家自然科学基金(No. 61871011)

作者简介：潘林朋(1999 年)，男(汉族)，河南驻马店，硕士在读。研究方向：遥感图像质量评价。E-mail：linpengpan@buaa. edu. cn

通信作者：谢凤英，教授。E-mail：xfy_ 73@ buaa. edu. cn

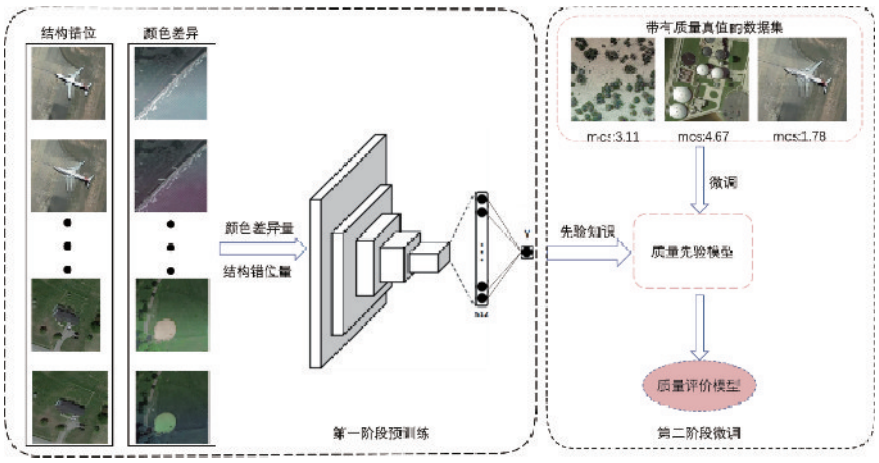


图 2　两阶段训练策略

关键词：遥感图像；镶嵌质量评价；弱监督学习；两阶段训练

参考文献

[1] 周清华，潘俊，李德仁．遥感图像镶嵌接缝线自动生成方法综述[J]．国土资源遥感，2013，25(02)：1-7.

[2] ZHU H，LI L. WU J，et al. MetaIQA：Deep Meta-learning for No-Reference Image Quality Assessment[C]// 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE，2020.

[3] Hou J，Lin W，Zhao B. Content-dependency reduction with multi-task learning in blind stitched panoramic image quality assessment[C]//2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE，2020：3463-3467.

[4] Kim J，Hui Z. Ghadiyaram D，et al. Deep Convolutional Neural Models for Picture-Quality Prediction：Challenges and Solutions to Data-Driven Image Quality Assessment[J]. IEEE Signal Processing Magazine，2017，34(6)：130-141.

[5] Ghadiyaram D，Bovik A C. Massive Online Crowdsourced Study of Subjective and Objective Picture Quality[J]. IEEE Transactions on Image Processing，2015，25(1)：372-387.

[6] Zhou Z H. A Brief Introduction to Weakly Supervised Learning[J]. National Science Review，2018(1)：1.

[7] GONG C，HAN J，LU X. Remote Sensing Image Scene Classification：Benchmark and State of the Art[J]. Proceedings of the IEEE，2017，105(10)：1865-1883.

[8] HE K，ZHANG X，REN S，et al. Deep Residual Learning for Image Recognition[C]. computer vision and pattern recognition，2016：770-778.

[9] MITTALA，FELLOW，IEEE，et al. Making a 'Completely Blind' Image Quality Analyzer[J]. IEEE Signal Processing Letters，2013，20(3)：209-212.

[10] MITTALA，MOORTHY A K，BOVIK A C. No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain[J]. IEEE Transactions on Image Processing，2012，21(12)：4695.

基于多尺度特征模仿的无监督异常定位算法

叶　颖，　周　越

（上海交通大学 自动化系，　上海　200240）

摘　要：

无监督异常定位任务面临缺少异常样本训练，需要检测多种类别异常和处理多种异常区域面积占比的挑战。针对这些问题，提出一种分离式教师-学生特征模仿网络结构和一种结合图像金字塔和特征金字塔的多尺度处理策略，并提出了一种基于梯度下降优化的网络模块重要性搜索的方法以简化网络结构。实验结果表明，在真实工业产品检测数据集上，所提出的算法比同时期的特征建模异常定位方法表现更好，多尺度策略对比基准方法能有效实现效果改善。

关键词：异常检测；异常定位；无监督；多尺度

Multi-scale feature imitation for unsupervised anomaly localization

YE Ying,　ZHOU Yue

(Department of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract:

Unsupervised anomaly localization tasks face the challenge of lack of anomaly sample for training, demand of detecting multiple types of anomalies and handling the various proportions of multiple abnormal regions. In response to these problems, a separate teacher-student feature imitation network structure and a multi-scale processing strategy combining image pyramid and feature pyramid are proposed. And a method of importance search for network modules based on gradient descent optimization is proposed to simplify network structure. The experimental results show that on the real industrial product detection dataset, the proposed algorithm performs better than the feature modeling anomaly location method of the same period. And the multi-scale strategy comparison benchmark method can effectively achieve the effect improvement.

Key words: anomaly detection; anomaly localization; unsupervised; multi-scale

作者简介：叶颖(1994-)，女(汉)，福建宁德人，硕士研究生。研究方向：图像异常检测。E-mail：yeying_ zm@ sjtu. edu. cn

通信作者：周越，副教授。E-mail：zhouyue@ sjtu. edu. cn

Reference

[1] Lv H, Chen C, Cui Z, et al. Learning Normal Dynamics in Videos with Meta Prototype Network [C] //Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2021: 15425-15434.

[2] Zaheer M Z, Lee J, Astrid M, et al. Old is gold: Redefining the adversarially learned one-class classifier training paradigm [C] //Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2020: 14183-14193.

[3] Liu W, Li R, Zheng M, et al. Towards visually explaining variational autoencoders [C] //Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2020: 8642-8651.

[4] Chow J K, Su Z, Wu J, et al. Anomaly detection of defects on concrete structures with the convolutional autoencoder [J]. Advanced Engineering Informatics, 2020, 45: 101105.

[5] Yi J, Yoon S. Patchsvdd: Patch-level svdd for anomaly detection and segmentation [C] //Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision. 2020.

[6] Schlegl T, Seeböck P, Waldstein S M, et al. f-AnoGAN: Fast unsupervised anomaly detection with generative adversarial networks [J]. Medical image analysis, 2019, 54: 30-44.

[7] Sakurada M, Yairi T. Anomaly detection using autoencoders with nonlinear dimensionality reduction [C] // Proceedings of the MLSDA 2014 2nd workshop on machine learning for sensory data analysis, 2014: 4-11.

[8] An J, Cho S. Variational autoencoder based anomaly detection using reconstruction probability [J]. Special Lecture on IE, 2015, 2(1): 1-18.

[9] Perera P, Nallapati R, Xiang B. Ocgan: One-class novelty detection using gans with constrained latent representations [C] //Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019: 2898-2906.

[10] Gong D, Liu L, Le V, et al. Memorizing normality to detect anomaly: Memory-augmented deep autoencoder for unsupervised anomaly detection [C] //Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2019: 1705-1714.

[11] Zong B, Song Q, Min M R, et al. Deep autoencoding gaussian mixture model for unsupervised anomaly detection [C] //International conference on learning representations. 2018.

[12] Deecke L, Vandermeulen R, Ruff L, et al. Image anomaly detection with generative adversarial networks [C] //Joint european conference on machine learning and knowledge discovery in databases. Springer, Cham, 2018: 3-17.

[13] Schölkopf B, Platt J C, Shawe-Taylor J, et al. Estimating the support of a high-dimensional distribution [J]. Neural computation, 2001, 13(7): 1443-1471.

[14] Ruff L, Vandermeulen R, Goernitz N, et al. Deep one-class classification [C] //International conference on machine learning. PMLR, 2018: 4393-4402.

[15] Perera P, Patel V M. Learning deep features for one-class classification [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2019, 28(11): 5450-5463.

[16] Baur C, Wiestler B, Albarqouni S, et al. Deep autoencoding models for unsupervised anomaly segmentation in brain MR images [C] //International MICCAI Brainlesion Workshop. Springer, Cham, 2018: 161-169.

[17] Schlegl T, Seeböck P, Waldstein S M, et al. Unsupervised anomaly detection with generative adversarial networks to guide marker discovery [C] //International conference on information processing in medical imaging. Springer, Cham, 2017: 146-157.

[18] Venkataramanan S, Peng K C, Singh R V, et al. Attention guided anomaly localization in images [C] //European Conference on Computer Vision. Springer, Cham, 2020: 485-503.

[19] Salehi M, Sadjadi N, Baselizadeh S, et al. Multiresolution knowledge distillation for anomaly detection [C] //Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2021: 14902-14912.

[20] Bergmann P, Fauser M, Sattlegger D, et al. Uninformed students: Student-teacher anomaly detection with discriminative latent embeddings [C] //Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2020: 4183-4192.

[21] Defard T, Setkov A, Loesch A, et al. PaDiM: A patch distribution modeling framework for anomaly detection and localization [C] //International Conference on Pattern Recognition. Springer, Cham, 2021: 475-489.

[22] Cohen N, Hoshen Y. Sub-image anomaly detection with deep pyramid correspondences [J]. arXiv preprint arXiv: 2005. 02357, 2020.

[23] Wang G, Han S, Ding E, et al. Student-teacher feature pyramid matching for unsupervised anomaly detection [J]. arXiv preprint arXiv: 2103. 04257, 2021.

[24] Romero A, Ballas N, Kahou S E, et al. Fitnets: Hints for thin deep nets [J]. arXiv preprint arXiv: 1412. 6550, 2014.

[25] He K, Zhang X, Ren S, et al. Deep residual learning for image recognition [C] //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016: 770-778.

[26] Bergmann P, Batzner K, Fauser M, et al. The MVTec anomaly detection dataset: a comprehensive real-world dataset for unsupervised anomaly detection [J]. International Journal of Computer Vision, 2021, 129(4): 1038-1059.

利用多语义超图进行少样本学习

陈　昊，　胡伏原

（苏州科技大学 电子与信息工程学院，　苏州　215009）

摘　要：

少样本学习的目的是在每个类只有很少的训练示例可用时对模式进行分类。最近，基于图的少样本方法通过利用图神经网络挖掘少数实例之间的关系，表现出良好的泛化能力。然而，基于图的少样本学习只考虑二元关系，即如果两个示例共享同一个标签，从而导致潜在语义关联混乱。为了克服这一缺点，本文提出了一个少样本学习的多语义超图框架(MSH-FSL)，以探索少数示例之间复杂的潜在语义关系。具体地说，我们首先通过识别来自不同感受域的具有不同语义特征的关联实例来构建一个新的多语义超图。利用所构建的超图，我们开发了超图神经网络以及一种新的多代超图消息传递，以便更好地利用示例之间复杂的潜在语义关系。最后，经过若干代之后，嵌入在学习的超图中的超节点表示对于获得少量样本预测变得更加准确。我们在四个基准少样本学习数据集上评估了 MSH-FSL。实验结果表明，我们的模型优于最新的少样本学习模型。

通信作者：胡伏原，fuyuanhu@ mail. usts. eLdu. cn

深度互补分类器与中心约束三元组损失函数的行人搜索

姚　睿，　高存远，　夏士雄，　周　勇

（中国矿业大学 计算机科学与技术学院，　徐州　221116）

摘　要：

随着自动驾驶和智慧城市应用的发展，通过多种计算机视觉任务(例如检测、分类和姿态估计以及重识别)来准确分析城市街道上的行人的需求日益增长。其中，行人搜索是计算机视觉领域近两年来逐渐兴起的研究技术，因为它可以在智能城市系统和公共安全中发挥重要作用。行人搜索的主要任务是在一个或者多个具有摄像能力的终端下，去搜索指定身份的行人并框选出其具体位置，这项任务比传统的人员重新识别或行人检测设置更具挑战性，因为搜索容易受到不同分辨率、相似行人、照明、视角和遮挡等因素的影响。此外，人物搜索任务是一个典型的大数据-小样本问题，因为每个行人只有几张图像。模型很难用少量的行人数据来学习行人的判别特征。本文提出了一种行人搜索框架，该框架通过实现生成对抗网络（Generative Adversarial Network，GAN）来生成未标记的样本，从而使用原始训练集而不收集额外数据。本文提出了一种用于行人检测的深度互补分类器，以利用互补对象区域进行行人/非行人分类。在重新识别部分，本文提出了一种中心约束的三元组损失，它避免了三元组损失的复杂三元组选择，同时推开相当相似的负中心和正中心的所有距离。实验表明，GAN 生成的数据可以有效地帮助提高 CNN 模型的判别能力。在两个大型数据集 CUHK-SYSU[1] 和 PRW[2] 上，本文实现了对基线 CNN 的性能提升。本文还在训练模型中应用了提出的中心约束三元组损失和互补分类器，并且实现了比原始方法在 CUHK-SYSU 上提升 1.9%和在 PRW 上提升 2.5%的 mAP 性能。

关键词：行人搜索；三元组损失函数；深度互补分类器

参考文献

[1] Xiao T, Li S, Wang B, et al. End-to-end deep learning for person search[J]. arXiv preprint arXiv：1604.01850, 2016, 2(2)：4.

[2] Zheng L, Zhang H, Sun S, et al. Person re-identification in the wild [C] //Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017：1367-1376.

项目基金：国家自然科学基金项目(62172417，61772530)

作者简介：姚睿(1982)，男(汉)，河南南阳，博士。研究方向：计算机视觉。E-mail：ruiyao@ cumt. edu. cn

通信作者：姚睿，职称。E-mail：ruiyao@ cumt. edu. cn

基于目标检测的无人小车交通路况识别实现

秦慧颖[1]， 雷晓春[1,2]， 江泽涛[1,2]

（1. 桂林电子科技大学 计算机与信息安全学院， 桂林 541004；
2. 桂林电子科技大学 广西图像图形与智能处理重点实验室， 桂林 541004）

摘 要：

自动驾驶越来越受到关注，无人小车可模拟交通场景，集目标检测、避障等功能于一体，实现自动行驶。基于华为云的 AI 开发平台——ModelArts 可为整个流程提供智能数据标注及模型训练等功能。根据实际拍摄的场景数据集进行加工、处理，并采用不同算法进行实验得出效果最好的算法，根据实际环境对算法做相应改进，实现模拟交通场景的路况识别引导华为无人小车行驶。

关键词：目标检测；交通路况；深度学习

参考文献

[1] Huaweicloud. What is ModelArts[EB/OL]. (2020-03-20)[2021-09-15]. https：//support. huaweiclo ud. com/productde sc-modelarts/modelarts_ 01_ 0001. html.

[2] He K, Zhang X, Ren S, et al. Deep Residual Learning for ImageRecognition[J]. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.

[3] Redmon J, Farhadi A. YOLOv3：An Incremental Improvement[J]. arXiv preprintarXiv：1804. 027 67, 2018.

[4]Bochkovskiy A, Wang C Y, Liao H. YOLOv4：Optimal Speed and Accuracy of Object Detection[J]. 2020.

[5] Ren S, He K, Girshick R, et al. Faster R-CNN：Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017, 39(6)：1137-1149.

[6] Lin T Y, Goyal P, Girshick R, et al. Focal Loss for Dense Object Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017, (99)：2999-3007.

基金项目：国家自然科学基金(No. 61876049，61762066)；四川省区域创新合作项目(2021YFQ0002)

作者简介：秦慧颖(1999-)，女(汉)，广西桂林，大学本科生。研究方向：计算机视觉。E-mail：2088797670@ qq. com
雷晓春(1981-)，女(汉)，广西南宁。高级实验师。研究方向：计算机视觉、人工智能。E-mail：glleixiaochun @ qq. com
通信作者：江泽涛，教授，博士生导师。E-mail：zetaojiang@ guet. edu. cn

阿克曼结构机器人室内导航实现

盖军雄[1]，　雷晓春[1,2]，　江泽涛[1,2,]

（1. 桂林电子科技大学 计算机与信息安全学院，　桂林　541004；
2. 桂林电子科技大学 广西图像图形与智能处理重点实验室，　桂林　541004）

摘　要：

阿克曼运动结构在无人驾驶，物流配送等领域有着非常广阔的应用场景。本文针对此结构的机器人，基于 ROS 系统制作了基于阿克曼转向结构的室内移动机器人系统，实现了系统的运动控制，建图，定位，导航等各项功能。通过对比实验验证阿克曼机器人功能实现效果并根据实验结果针对系统精度不高的问题进行了优化，并根据阿克曼转向结构的特点采用 TEB 算法对系统进行局部路径规划。

关键词：阿克曼；SLAM；自主导航；AMCL；传感器融合

参考文献

[1] 胡春旭 . ROS 机器人开发实践[M]. 北京：机械工业出版社，2018.

[2] 张伟民，户肖剑，贾群喜 . 基于 ROS 无人驾驶车算法优化的研究[J]. 现代信息科技，2020，4(23)：80-82+86.

[3] robot_pose_ekf[EB/OL]. (2012-03-02)[2021-09-15]. http://wiki. ros. org/robot_pose_ekf.

[4] Grisetti G, Stachniss C, Burgard W. Improved Techniques for Grid Mapping With Rao-Blackwellized Particle Filters [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2007, 23(1): 34-46.

[5] 陈勇祺，林盛鑫，彭文翔，等 . 基于 ROS 的室内移动机器人研究[J]. 东莞理工学院学报，2021，28(03)：33-39.

[6] 郑凯林，韩宝玲，王新达 . 基于改进 TEB 算法的阿克曼机器人运动规划系统[J]. 科学技术与工程，2020，20(10)：3997-4003.

[7] Roesmann C, Hoffmann F, Bertram T. Integrated online trajectory planning and optimization in distinctive topologies [J]. Robotics & Autonomous Systems, 2016: S0921889016300495.

[8] Roesmann C, Feiten W, Woesch T, et al. Trajectory modification considering dynamic constraints of autonomous robots[C]// Robotics Proceedings of ROBOTIK 2012 7th German Conference on. VDE, 2012.

[9] Rosmann C, Feiten W, Wosch T, et al. Efficient trajectory optimization using a sparse model[C]// European Conference on Mobile Robots. IEEE, 2014.

[10] Rosmann C, Hoffmann F, Bertram T. Planning of multiple robot trajectories in distinctive topologies [C]// European Conference on Mobile Robots. IEEE, 2015: 1-6.

[11] Rsmann C, Hoffmann F, Bertram T. Kinodynamic Trajectory Optimization and Control for Car-Like Robots[C]// 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017.

基金项目：国家自然科学基金(No. 61876049，61762066)；四川省区域创新合作项目(2021YFQ0002)

作者简介：盖军雄(1999-)，男(汉)，山东烟台。大学本科生。研究方向：机器人，SLAM。E-mail：fixer-itb@ qq. com
雷晓春(1981-)，女(汉)，广西南宁。高级实验师。研究方向：计算机视觉、人工智能。E-mail：glleixiaochun@ qq. com
通信作者：江泽涛，教授，博士生导师。E-mail：zetaojiang@ guet. edu. cn

B-PointRend：图像分割掩膜边缘优化方法

雷晓春[1,2]， 李云灏[1]， 梁止潆[1]， 江泽涛[1,2,]

（1. 桂林电子科技大学 计算机与信息安全学院， 桂林 541004；
2. 桂林电子科技大学 广西图像图形与智能处理重点实验室， 桂林 541004）

摘 要：

Mask R-CNN 是一种二阶段的实例分割方法，检测出目标后通过全卷积网络(FCN)来生成图像掩膜。其生成的掩膜是由 28 ×28 预测掩膜上采样到检测框尺寸得到的，因而物体边缘保留效果并不好，PointRend 通过对实例边缘的“难点”进一步处理得到更精确的实例分割结果，“难点”为两个类别的边界，不容易确定类别。本文提出了一种改进的 B-PointRend 方法，该方法把图像的像素信息加入到掩膜预测中，在实例分割流程之后增添一个边缘修正步骤，采用像素级别的图像边缘检测和处理方式，在分割结果掩膜的边缘进行修正。实验结果表明，改进方法得到的物体的掩膜边缘更光滑且连续，更精确地覆盖了真实的物体边缘，在实例分割的准确率等指标上均有提升。

关键词：实例分割；B-PointRend；深度学习；掩膜

参考文献

[1] K He, G Gkioxari, P Doll. Mask R-CNN [C] // International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017.

[2] Kirillov A, Wu Y, He K. PointRend: Image Segmentation As Rendering [C]// 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2020.

[3] Zitnick CL, Dollar P. Edge Boxes: Locating Object Proposals from Edges [C]// European Conference on Computer Vision(ECCV), Springer, Cham, 2014.

[4] Erhan D, Szegedy C, Toshev A. Scalable Object Detection Using Deep Neural Networks [C]// Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2013.

[5] Ren S, He K, Girshick R. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017, 39(6): 1137-1149.

[6] Bochkovskiy A, Wang C Y, Liao H. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection [J]. 2020. arXiv: 2004. 10934.

[7] Chen L C, Hermans A, Papandreou G. MaskLab: Instance Segmentation by Refining Object Detection with Semantic and Direction Features [C]// Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2018.

[8] Huang Z, Huang L, Y Gong. Mask Scoring R-CNN[C]// 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2019.

基金项目：国家自然科学基金(No. 61876049, 61762066)；四川省区域创新合作项目(2021YFQ0002)作者简介：雷晓春(1981-)，女(汉)，广西南宁。高级实验师。研究方向：计算机视觉、人工智能。E-mail：glleixiaochun@ qq. com 李云灏(1999-)，男(汉)，山东青岛。大学本科生。研究方向：计算机视觉、人工智能。E-mail：hh5211235@ qq. com
通信作者：江泽涛，教授，博士生导师。E-mail：zetaojiang@ guet. edu. cn

[9] Cai Z, Vasconcelos N. Cascade R-CNN: Delving into High Quality Object Detection[C]// Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2018.

[10] Tolstikhin I, Houlsby N, Kolesnikov A. MLP - Mixer: An all - MLP Architecture for Vision [A]. arXiv: 2105.01601v4.

[11] Badrinarayanan V, Kendall A, Cipolla R. SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017: 1-1.

[12] Xie S, Tu Z. Holistically-Nested Edge Detection[J]. IEEE, 2015.

基于深度对抗学习的人脸识别攻击方法

郭　哲

(西北工业大学 电子信息学院,　西安　710072)

摘　要:

针对人脸识别时,在图像上刻意构造数据点会使得网络识别结果出现严重错误的问题,本文从攻击的角度提出两种基于对抗方式生成攻击图像的方法,分别为像素点扰动与添加局部噪声扰动的方法。与传统的攻击方式不同,本文设计了一种在图片上低扰动而识别结果差异很大的扰动方法,扰动后的图像在人眼上很难被发现,其中局部噪声攻击方法可以使得人脸识别系统将扰动后的图像识别成指定目标。在噪声生成阶段,采用生成对抗的方式使得图像在攻击成功的前提下保持较低的扰动。在 LFW 和天池 AI 挑战者计划人脸数据库上进行了攻击实验,图像攻击成功率为 99.6%;并与传统图像处理中的噪声生成方式进行了平行对比,传统方法的扰动量要达到本文方法的几倍才能达到相同的效果。实验结果表明:与其他方法相比本文方法具有先进性,能在高成功率的前提下保证低扰动。

关键词: 人脸识别;对抗攻击;深度学习;生成对抗网络

参考文献

[1] Chen J, Lin X, Shi Z, et al. Link Prediction Adversarial Attack Via Iterative Gradient Attack[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2020, 7(4): 1081-1094.

[2] Rajkumar T, Ming C, Bir B, et al. ShieldNets: Defending Against Adversarial Attacks using Probabilistic Adversarial Robustness[D]. IEEE CVPR, 2019: 6981-6989.

[3] Zhu Z, Lu Y and Chiang C. Generating Adversarial Examples By Makeup Attacks on Face Recognition[D]. 2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2019: 2516-2520.

[4] Rathore P, Basak A, Nistala S H, et al. Untargeted, Targeted and Universal Adversarial Attacks and Defenses on Time Series[D]. 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2020: 1-8.

项目基金:国家自然科学基金项目(No. 62071384)

作者简介:郭哲(1983 -),副教授,女(汉族),河南洛阳人,博士。研究方向:模式识别、虚拟现实。E-mail: guozhe@nwpu.edu.cn,张智博,刘雪文

A feasibility study of knee joint semantic segmentation on 3D MR images

SHEN Le[1,2], LU Qian[4], WU Sha[3], YI Yi[3], SUN Yunda[4], LI Min[4], QIU Qian[4], ZHENG Zhuozhao[3], CAI Xu[3], ZHANG Li[1,2]

(1. Key Laboratory of Particle & Radiation Imaging (Tsinghua University), Ministry of Education, Haidian District, Beijing 100084, China

2. Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Haidian District, Beijing 100084, China

3. Beijing Tsinghua Changgung Hospital, Changping District, Beijing 102220, China

4. Nuctech Company Limited, Haidian District, Beijing 100084, China)

Abstract:

The segmentation of knee joint is of great significance for diagnosis and treatment of knee osteoarthritis. Since various anatomical structures are involved in the 3D MRI volume, manual delineation is time-consuming and labor-intensive. Automatic segmentation of the whole knee joint requires less human efforts, additionally can improve the quality of arthritis diagnosis and treatment effect by describing the details more accurately. Previous works of knee joint segmentation methods in the literature focus on only one or a few structures, while segmentation of whole knee joint remains a challenge. In this paper, we study the feasibility of knee joint semantic segmentation on MR images based on a 3D SegResnet[1] and deal with the following challenges: 1) end-to-end segmentation of 15 anatomical structures, including bone and soft tissue, of the whole knee on MR images; 2) robust segmentation of small structures such as the anterior cruciate ligament, accounting for about 0.036% voxels of the volume data; 3) Fast and accurate inference strategy on 3D medical images. we compare our method against nnUNet[2], a current state-of-art approach on medical image segmentation. It is verified that the average segmentation accuracy of our method is 92.92% compared with 91.45% of nnUNet. Dice coefficient of each anatomical structure are shown in Figure 1, our method performs better on small structures especially cartilages and cruciate ligaments. The Whole knee segmentation result using our method is shown in Figure 2.

Key words: Knee Osteoarthritis, Semantic Segmentation

Reference

[1] Myronenko A. 3D MRI brain tumor segmentation using autoencoder regularization[J]. Springer, Cham, 2018.

[2] Isensee, F., Jäger, P. F., Kohl, S. A. A., Petersen, J. and Maier-Hein, K. H. Automated Design of Deep Learning Methods for Biomedical Image Segmentation. arXiv: 1904.08128, 2019.

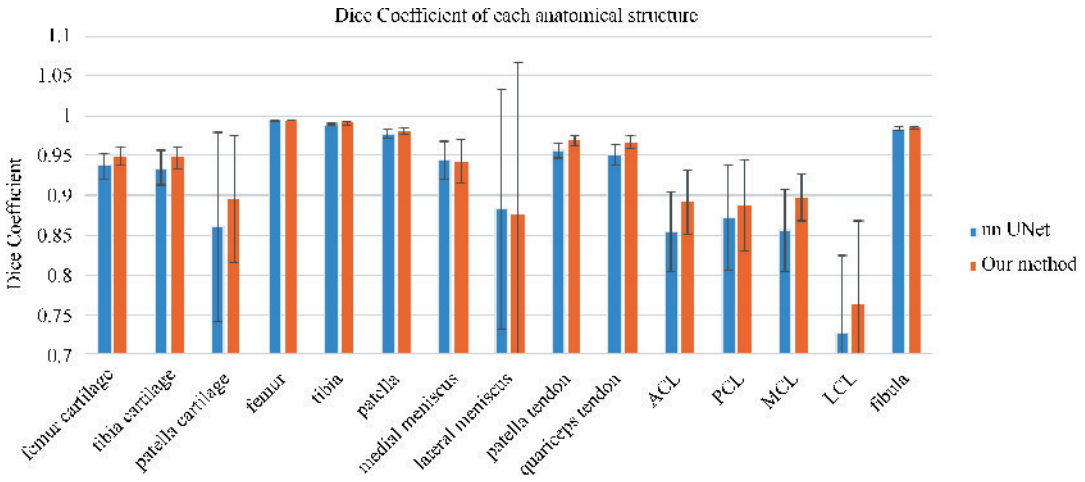


Fig. 1　Dice coefficient of each anatomical structure. Our method shows higher performance than nnUNet. (ACL (anterior cruciate ligament); PCL (posterior cruciate ligament); MCL (medical collateral ligament); LCL (lateral collateral ligament))

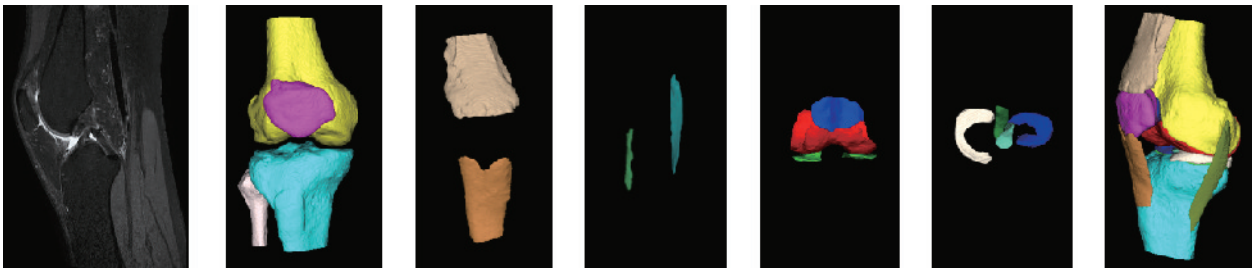


Fig. 2　Knee joint MR Image and segmentation results. From left to right are: knee joint MR image, sementation results of bone, quadriceps tendon and patellar tendon, collateral ligaments, cartilage, meniscus & cruciate ligaments, and whole segmented knee joint

A review on medical brain image segmentation methods based on deep learning

ZHAO Leiyang, HUANG Jianjun

(Shenzhen University, 3688 Nanhai Avenue, Nanshan District, Shenzhen, 518060)

Abstract:

Medical brain image segmentation is of great importance for the diagnosis of brain diseases. With the wide application of deep learning in the medical field, brain image segmentation methods based on deep learning have achieved better performance than traditional segmentation methods. In this review, we review the brain image segmentation methods based on deep learning, introduce brain imaging methods and brain image preprocessing methods from the perspective of the main problems targeted by such methods, such as the existence of insufficient labels, small sample size and complex structure of medical brain image data, summarize and analyze the basic ideas, model structures and technical means of different segmentation methods, and give the advantages and disadvantages of some methods and basic ideas for improvement. Finally, federated learning is introduced and its application in brain image segmentation is prospected.

Key words: deep learning; brain image segmentation; insufficient labels; small sample size; federated learning

项目基金：深圳科技计划项目(No. 20200821152629001)

作者简介：赵雷阳(1997)，男(汉)，河南省原阳县，在读研究生。研究方向：联邦学习在医学脑影像上的应用。E-mail：zly20212021_htab@163.com

通信作者：黄建军，教授。E-mail：huangjj_atr@sina.com.cn

ASMANet：基于 TW3 法的自动骨龄评估

张　义，　吴金东，　巫彤宁

（中国信息通信研究院，　北京　100191）

摘　要：

骨龄是反映少儿生长发育程度的关键性指标[1]。临床上骨龄评定方法要求医生对少儿非优势侧手腕部 X 线图像进行人工判读，存在耗时长、结果不稳定等问题[2]。很多学者和专家提出了基于深度学习的骨龄评估算法[3-5]，但相关算法存在以下问题：1）大多数算法是端到端的预测骨龄，与临床使用的 TW3 计分法相比可解释性较差；2）此类算法易受到种族和地理因素的影响而限制了临床推广[6]。

研究基于临床 TW3 法原理，提出了一种可解释性强，临床可推广的高效自动骨龄评估算法（图 1）。该方法通过对 TW3 法中评分区域进行骨成熟度分级评分，并分别相加相应区域的骨成熟度分数得出指掌骨（RUS 系列）和腕骨（C 系列）的骨龄结果。

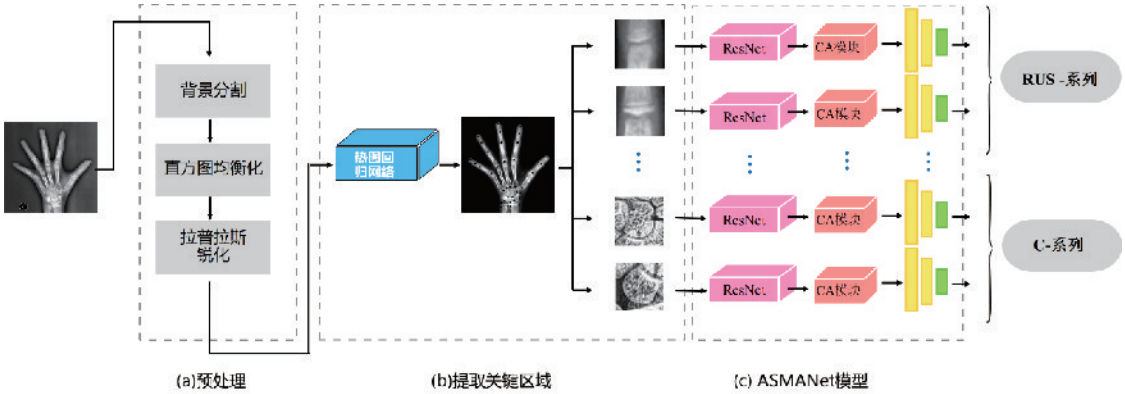


图 1　骨龄评估流程图

关键区域提取方面，研究提出了联合整体和局部特征基于热图回归的关键区域定位网络，生成 20 个 TW3 方法中的关键区域图片，作为预测网络的输入。骨成熟度预测方面，研究提出了集成多个轻量化卷积网络的 ASMANet 模型，用于预测 20 个关键区域的骨成熟度等级。同时在训练中加入了融合 SE 和 CBAM 算法的注意力机制（CA 模块），使网络能更有效的捕获图像中关键位置坐标信息和特征通道间的关系，以增强特征提取网络的特征表示能力。最后，通过骨成熟度-骨龄临床计算规则自动得出两个系列的骨龄评分。

项目基金：国家自然科学基金（61971445）

作者简介：张义（1986），男（汉），博士。研究方向：医学图像处理。E-mail：licongsheng@ caict. ac. cn

吴金东（1996），男（汉），硕士。研究方向：医学图像处理。E-mail：461062411@ qq. com

巫彤宁（1977），男（汉），博士。研究方向：医学图像处理。E-mail：wutongning@ caict. ac. cn

通信作者：巫彤宁，教授级高工。E-mail：wutongning@ caict. ac. cn

本算法在国内某三甲医院提供的4784张左手X光图像库上进行了训练和测试，结果显示模型C系列骨龄的平均绝对误差为0.54岁，RUS系列骨龄的平均绝对误差为0.53岁。所提出的骨龄评价方法已在多个单位进行了临床推广。

关键词：深度学习；TW3法；骨龄评估；注意力机制；骨成熟度

参考文献

[1] 程晓光，曾津津，余卫. 我国儿童手腕部骨龄影像评估存在的问题及研究方向[J]. 中华放射学杂志，2013，47(12)：2.

[2] Spampinato C, Palazzo S, Giordano D, et al. Deep learning for automated skeletal bone age assessment in X-ray images[J]. Medical image analysis, 2017, 36: 41-51.

[3] Liu C, Xie H, Liu Y, et al. Extract bone parts without human prior: end-to-end convolutional neural network for pediatric bone age assessment[C]. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Springer, Cham, 2019: 667-675.

[4] Larson D B, Chen M C, Lungren M P, et al. Performance of a deep-learning neural network model in assessing skeletal maturity on pediatric hand radiographs[J]. Radiology, 2018, 287(1): 313-322.

[5] Mutasa S, Chang P D, Ruzal-Shapiro C, et al. MABAL: a novel deep-learning architecture for machine-assisted bone age labeling[J]. Journal of digital imaging, 2018, 31(4): 513-519.

[6] Escobar M, González C, Torres F, et al. Hand pose estimation for pediatric bone age assessment[C]. International conference on medical image computing and computer-assisted intervention. Springer, Cham, 2019: 531-539.

第二分会场

第十一届全国生物医学体视学学术会议
第十四届全军军事病理学学术会议
第十届全军定量病理学学术会议
第一届全国超微与分子病理学专业委员会
军事医学病理学学组学术会议

C57BL/6N 小鼠和 C3H/HeN 小鼠放射性肺损伤的胸部 CT 影像和呼吸功能的比较研究

贾兆乾，　邢　源，　段　敏，　叶雨萌，　李小宇，　王勇懿，
胡翠翠，　赵欣悦，　李　杨

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

目的　比较肺纤维化易发程度不同的两种小鼠即 C57BL/6N 小鼠和 C3H/HeN 小鼠放射性肺损伤进程中胸部 CT 影像和呼吸功能的差异。**方法**　选择 C57BL/6N 小鼠和 C3H/HeN 小鼠各 36 只，分为对照组 18 只，照射组 18 只，应用 20Gy^{60}Coγ 射线胸部照射，分别在 4 周、14 周、24 周应用小动物呼吸功能检测仪进行呼吸功能检测，分析照射后不同时间点两种小鼠的吸气峰值(PIF)、呼气峰值(PEF)、潮气量(TV)及每分通气量(MV)的变化。照射后 24 周应用小动物高分辨 CT 进行胸部影像学图像采集，并分析其肺组织体积及平均肺密度量化指标的差异。**结果**　①胸部 CT 影像学改变：对照组 C57BL/6N 小鼠和 C3H/HeN 小鼠肺纹理清晰，未见异常；照射后 24 周，C57BL/6N 小鼠和 C3H/HeN 小鼠肺部影像出现局部网织状阴影、蜂窝状改变、不均匀斑片状阴影、少量磨玻璃样阴影等征象，且 C57BL/6N 小鼠比 C3H/HeN 小鼠以上病理征象更显著。根据其影像学量化指标肺组织体积及平均肺密度分析，照射后 24 周 C57BL/6N 小鼠和 C3H/HeN 小鼠肺组织体积与平均肺密度较对照组均有增加($P<0.01$)，且 C57BL/6N 小鼠较 C3H/HeN 小鼠以上两个指标增加更显著($P<0.01$)。②呼吸功能：照射后不同时间点，两种小鼠 PIF、PEF、TV、MV 较对照组均出现不同程度的降低，且 C57BL/6N 小鼠以上指标降低较 C3H/HeN 小鼠更为显著($P<0.05$)。**结论**　C57BL/6N 小鼠和 C3H/HeN 小鼠放射性肺损伤进程中胸部 CT 出现慢性炎症和纤维化征象，呼吸功能降低，且两种小鼠之间存在明显差异。

Automatedcell counting using deep learning in 1064-nm laser-induced cell apoptosis in pig cutaneous

马　琼，　武京源，　薛恒钢，　康宏向

（军事医学研究院，　北京　100850）

Abstract：

Laser-induced cutaneous injury is primarily caused by the thermal effect. Short-term radiation causes tissue degeneration, cell necrosis, and tissue coagulation or coagulation-type necrosis, tissue vaporization, or even carbonization and melting. Laser injury histological sectioning image is a difficult modality for automated cell segmentation and counting due to high noise and low contrast. As such segmentation algorithms for cell counting and tracking typically yield more consistent results in other tissue histological sectioning such as tumor diagnosis due to better cell boundaries. Recent methods have shown that U-net based models can achieve state-of-the-art count and segmentation performance of tumor tissue slices, although all available methods continue to overly segment the collagen features and have difficulty capturing the entirety the cell. We propose a method for cell detection that requires annotated training small amount data. We investigate the use of TransUNet[1], which merits both Transformers and U-Net, as a strong alternative for medical image segmentation, and show that it is able to improve the accuracy of Laser injury histological sectioning images in comparison to a baseline U-net model. This work aims to obtain reliable cell segmentation and automated cell counting from specular microscopy images of both healthy and pathological cutaneous. To investigate the biological effect of 1064-nm laser radiation, a comprehensive evaluation of histological sections were quantitatively analyzed. Single radiation with different doses was performed on the back skin of pig. We trained a TransUNet model by extracting 460×500 pixel patches from 1064-nm laser-induced cell apoptosis in pig cutaneous images and the corresponding manual segmentation by a researcher. Encouraging results show that the proposed method can deliver reliable feature segmentation enabling more accurate cell density estimations for assessing the apoptosis state of the pig cutaneous.

电磁脉冲和微波复合暴露对大鼠外周血免疫指标的影响研究

董　雾，　姚传福，　任　可，　孙　柳，　赖云菲，　王浩宇，　徐新萍，
周红梅，　赵　黎，　彭瑞云

（军事科学院 军事医学研究院，　北京　100850）

摘　要：

目的　电磁脉冲是一种瞬变电磁现象，造成电子、信息、电力、光电和微波等设施失效或永久损坏。电磁脉冲结合微波的辐射方式可增加其破坏程度和威力，但同时对操作人员造成更大的健康危害。本研究拟探讨电磁脉冲和 C 波段微波复合暴露对外周血免疫功能指标的影响，以期为进一步探索复合暴露对免疫系统影响的诊断和防治奠定基础。**方法**　二级雄性 Wistar 大鼠随机分为假辐射组(Sham 组)，电磁脉冲组(EMP 组)、C 波段微波组(C 组)、EMP 和 C 波段微波复合组(复合组)。EMP 场强为 30×10^4 V/m，C 波段微波平均功率密度为 30 mW/cm^2，辐射时间均为 10 min。采用全自动血细胞分析仪检测外周血免疫细胞计数及百分比，包括白细胞(WBC)、中性粒细胞(NEUT)、淋巴细胞(LYMPH)、单核细胞(MONO)、嗜酸性粒细胞(EO)等。**结果**　①WBC 计数：EMP 组于辐射后 14 d 和 28 d 明显降低($P<0.05$)，C 组于辐射后 14 d 明显降低($P<0.05$)，复合组于辐射后 6 h 显著降低($P<0.01$)。与 C 组相比，复合组于辐射后 6 h 显著降低($P<0.01$)。②NEUT 计数：EMP 组于辐射后 6 h、7 d 和 14 d 显著降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$)，C 组于辐射后 14 d 明显降低($P<0.05$)。与 C 组相比，复合组于辐射后 6 h 显著降低($P<0.01$)。③LYMPH 计数：EMP 组于辐射后 14 d 明显降低($P<0.05$)，复合组于辐射后 6 h 显著降低($P<0.01$)。与 EMP 组和 C50 组相比，复合组于辐射后 6 h 显著降低($P<0.01$)。④MONO 计数：EMP 组于辐射后 6 h、7 d 和 28 d 显著降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$)，C 组于辐射后 7d 和 14 d 显著降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$)，复合组于辐射后 6 h 和 7 d 显著降低($P<0.01$)。与 EMP 组相比，复合组于辐射后 6 h 明显降低($P<0.05$)；与 C 组相比，复合组于辐射后 6 h 和 14 d 显著降低($P<0.01$)。⑤NEUT 百分比：EMP 组于辐射后 6 h 和 14 d 明显降低($P<0.05$)，C 组和复合组于辐射后 14 d 明显降低($P<0.05$)。⑥LYMPH 百分比：与 EMP 组相比，复合组于辐射后 6 h 明显降低($P<0.01$)。⑦EO 百分比：EMP 组和复合组于辐射后 6 h 显著升高($P<0.01$)。与 EMP 组和 C50 组相比，复合组于辐射后 6 h 明显升高($P<0.05$ 或 $PP<0.01$)。**结论**　EMP 和 C 波段微波复合暴露可导致外周血 WBC、LYMPH 和 MONO 计数降低，NEUT 和 LYMPH 百分比降低，EO 百分比升高，且复合暴露损伤效应早于和重于单一暴露。

关键词：电磁脉冲；微波；复合暴露；外周血；免疫

作者简介：董雾，女，高级实验师。研究方向：电磁辐射免疫系统生物效应。E-mail：djtjwj@163.com
通信作者：彭瑞云，E-mail：ruiyunpeng18@126.com
赵黎，E-mail：lillyliz@163.com

电磁脉冲对小鼠行为学及海马神经元钙活动的影响研究

郝延辉， 金 星， 喻 超， 叶雨萌， 左红艳， 李 杨

（中国人民解放军军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所， 北京 100850）

摘 要：

目的 电磁脉冲是(electromagnetic pulse，EMP)是一种前沿极快、频谱较宽的高能非电离辐射，主要来源于职业环境，其对机体的健康危害日益引起关注。其中，脑是公认的对电磁辐射敏感的靶器官之一，关于EMP对脑认知功能的影响及机制的研究报道较少，尚存争议；细胞水平的钙活动是神经元发挥功能的生理学基础，关于电磁脉冲对神经元钙活动的影响研究尚属空白。本研究探讨EMP辐射后小鼠行为学及在体海马神经元钙活动的改变及其规律，为揭示EMP神经生物效应提供依据。**方法** 本研究采用SPF级雄性C57BL/6N小鼠，6~8周龄，随机分为假辐射组(C)和辐射组(R)。R组小鼠采用EMP源进行全身暴露，强度为300 kV/m，重频1 Hz，时间400 s。采用Morris水迷宫、Y迷宫、旷场和高架十字迷宫检测小鼠空间学习记忆能力和焦虑行为的变化；采用HE染色和光学显微镜观察小鼠海马组织结构的变化；采用透射电子显微镜观察海马神经元超微结构；通过手术，在小鼠海马CA1区注射表达钙离子指示剂的腺相关病毒(AAV-Syn-GCaMP6m)并埋置光纤探针，采用光纤记录技术检测EMP实时暴露以及暴露后海马CA1区神经元钙活动的变化。**结果** ① Morris水迷宫：与C组比，辐射后1 d、2 d、3 d和4 d在定位航行实验中R组游泳速度、平均逃避潜伏期和游泳距离未见明显改变($P>0.05$)，辐射后5 d在空间探索实验中R组穿越平台次数、平台象限时间占比和距离占比未见明显改变($P>0.05$)；辐射后6 d、7 d和8 d，将平台移至对侧象限，在定位航行实验中R组平均逃避潜伏期和游泳距离明显延长($P<0.05$)，辐射后9 d在空间探索实验中R组穿越平台次数显著减少($P<0.05$)，在平台象限时间占比和距离占比显著降低($P<0.01$)。② Y迷宫新异臂实验：与C组比，辐射后7 d R组小鼠进入新异臂的次数、运动距离显著减少($P<0.05$)。③ 旷场：与C组比，辐射后1 d和7 d R组小鼠进入中央区的时间、距离及排便颗粒数未见明显改变($P>0.05$)。④ 高架十字迷宫：与C组比，辐射后1 d和7 d R组小鼠进入开放臂的时间、时间占比、次数和次数占比均未见明显变化($P>0.05$)。⑤ H&E染色和光镜观察：C组海马神经元核大而圆，淡染，边界清晰，核仁明显；R组辐射后1 d海马神经元核固缩深染数量明显增多，辐射后3 d呈恢复趋势，辐射后7 d基本恢复。⑥ 透射电镜：C组海马神经元呈正常形态结构，R组海马神经元可见染色质凝集边移、线粒体肿胀空化、突触间隙模糊、突触后致密物增厚以及血管周间隙增宽，以上改变于辐射后1 d和3 d比较明显，辐射后7 d基本恢复。⑦ 光纤记录：EMP实时暴露引起海马CA1区神经元钙信号$\Delta F/F_0$(%)显著增强($P<0.001$)，辐射后5 min内呈下降趋势，未恢复至基底水平。与辐射前比，EMP辐射后1 d在Y迷宫检测中小鼠探索新奇空间标志时海马CA1神经元钙活动$\Delta F/F_0$

通信作者：李杨，leeyoung109@hotmail.com

左红艳，zuohy2005@126.com

(%)异常增强($P<0.05$)，上述改变于辐射后 7 d 恢复。**结论**　300 kV/m EMP 暴露引起小鼠：① 空间学习和记忆能力下降；②未出现明显的焦虑行为；③ 海马神经元结构损伤；④ 海马 CA1 区神经元钙活动异常增强。

关键词：电磁脉冲；小鼠；神经元；学习和记忆；钙信号

微波辐射对小鼠纹状体组织结构和功能的影响

胡翠翠，　常晨旭，　孔晓旭，　刘亚东，　郝延辉，　左红艳，　李　杨

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

目的　阐明微波辐射对小鼠焦虑情绪及纹状体组织结构的影响，为进一步研究微波辐射影响情绪行为的神经生物学机制提供依据。**方法**　选取 C57BL/N6 小鼠，采用本院自建 S 波段高功率微波模拟源，中心频率 2.856 GHz，SAR 值 9.4 W/kg，辐射时间 15 min，建立微波辐射动物模型。采用旷场和高架十字迷宫实验研究微波辐射对小鼠焦虑情绪的影响。辐射后 7 d，小鼠脑组织取材，采用 HE 染色、光学显微镜及透射电镜观察，研究微波辐射对纹状体组织形态学及超微结构的影响。**结果**　①旷场实验结果显示，与辐射前相比，微波辐射后辐射组小鼠进入旷场中央区域的时间及路程均显著减少；与假辐射组相比，辐射后辐射组小鼠进入旷场中央区域时间显著减少($P<0.05$)；②高架十字迷宫结果表明，与辐射前相比，微波辐射后辐射组小鼠进入开放臂路程显著减少；与假辐射组相比，微波辐射后辐射组小鼠进入开放臂时间显著减少；③光镜观察可见，微波辐射后 7 d，部分纹状体神经元变性，主要表现为细胞核深染固缩，胞体皱缩，血管周间隙轻度增宽。病变以豆状核苍白球较为明显。④透射电镜观察显示，微波辐射后 7 d，部分纹状体苍白球神经元凋亡，胶质细胞线粒体肿胀，突触间隙模糊，血管周隙增宽。**结论**　①微波辐射可导致小鼠情绪改变，引起小鼠焦虑样行为发生；②微波辐射可导致小鼠纹状体组织结构及超微病理学改变；③微波辐射后纹状体组织结构改变可能影响其行为学功能发挥，从而导致焦虑情绪变化，详细机制有待于进一步研究。

关键词：微波辐射；纹状体；焦虑情绪；神经行为；组织结构

作者简介：胡翠翠(1995-)，女(汉)，河南郑州，研究生。研究方向：辐射神经生物学。E-mail：hucuicui2021@126.com
通信作者：左红艳，副研究员。E-mail：zuohy2005@126.com 李杨，研究员。E-mail：leeyoung109@hotmail.com

微波长期复合暴露对大鼠脑功能、海马结构及突触可塑性改变的定量研究

刘　煜[1,2]，　宋乐泉[1]，　徐新萍[1]，　赵　黎[1]，　王浩宇[1]，　张　静[1]，　姚斌伟[1]，
董　雾[1]，　高亚兵[1]，　王　惠[1]，　彭瑞云[1]

（1. 中国人民解放军军事科学院 军事医学研究院，　北京　100850；
2. 河北大学，　保定　071000）

摘　要：

目的　采用定量分析方法探讨S与X波段微波复合长期暴露对大鼠学习和记忆功能、脑电功能、海马组织结构及突触可塑性的影响。**方法**　采用10 mW/cm^{2}的S和X波段微波复合长期暴露二级雄性Wistar大鼠，辐射时间6 min/d，每周5 d，持续6 w，于末次辐射后6 h~28 d，采用Morris水迷宫检测大鼠的空间学习记忆功能，新物体识别实验检测大鼠的识别记忆功能，多导电生理记录仪检测脑电图的改变，光镜和电镜观察海马组织结构，高尔基染色检测海马区突触结构可塑性，在体长时程增强(long term potentiation，LTP)检测前穿质-DG区域群峰电位幅值。**结果**　①空间学习记忆功能：与对照组相比，S组，X组和SX组辐射后5 d逃避潜伏期延长($P<0.05$或$P<0.01$)，SX组目标象限停留时间减少($P<0.05$)。②辐射后3 d，S组新物体识别实验识别指数降低($P<0.05$)。③脑电图：辐射后6 h，与对照组相比，S组和SX组θ和δ波功率增加($P<0.01$)；与X组相比，辐射后6 h，SX组θ波功率增加($P<0.05$)。④海马组织结构：辐射后6 h，S组和SX组神经元核固缩深染显著增多($P<0.05$)；S、X和SX组突触后致密物显著变厚($P<0.05$或$P<0.001$)。⑤突触结构可塑性：辐射后6 h，与对照组相比，X和SX组椎体细胞树突棘密度显著降低($P<0.05$或$P<0.001$)，SX组颗粒细胞树突棘密度显著降低($P<0.05$)，各辐射组椎体及颗粒细胞成熟突触比例显著降低($P<0.001$)；与S组相比，SX组椎体细胞树突棘密度显著降低($P<0.05$)。⑥突触功能可塑性：与对照组相比，辐射后3 d，SX组LTP诱发后群峰电位幅值显著降低($P<0.05$)。**结论**　S和X波段微波长期暴露可导致大鼠学习记忆功能障碍，海马组织结构损伤，脑电活动异常及突触可塑性损伤；S波段重于X波段；复合暴露重于单一暴露。

关键词：微波长期复合暴露；学习与记忆；突触可塑性；海马；LTP

作者简介：刘煜(1996年)，男(汉)，山西太原，硕士。研究方向：电磁波辐射致认知改变及机制。E-mail：frankly0525@foxmail.com。

通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com

王惠，助理研究员。E-mail：wanghui597bj@163.com。

900 MHz 电磁场暴露缓解 APP/PS1 小鼠的 AD 样症状

马丽贞，　智维佳，　邹　勇，　胡向军，　王丽峰

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

研究表明，微波可能对中枢神经系统产生多种生物学效应。电磁场在神经退行性疾病，特别是 AD 中的作用受到广泛关注，但研究结果并不一致。本研究将 APP/PS1 和 WT 小鼠长期暴露于微波辐射下 270 d(900 MHz，SAR 0.25~1.055 W/kg，2 h/d，交替)，并在 90、180 和 270 d 检测相关指标。采用 Morris 水迷宫、Y 迷宫和新物体识别法检测小鼠的认知能力；采用刚果红染色、免疫组化和 ELISA 法观察大脑皮层和海马 Aβ 斑块、Aβ40 和 Aβ42 的含量；利用蛋白质组学技术分析微波辐射前后的 APP/PS1 双转基因小鼠海马组织蛋白变化，筛选并分析与 AD 进展相关的生物标志物。结果可见，与假辐射组相比，900 MHz 长期微波暴露后 AD 小鼠的空间记忆和工作记忆能力明显提高；此外，900 MHz 微波辐射 180 d 或 270 d 均不能诱导 WT 小鼠出现 Aβ 斑块，却能抑制 2 月龄和 5 月龄 APP/PS1 小鼠大脑皮层和海马中 Aβ 的积累，在一定程度上缓解其病理症状；蛋白组学共鉴定出差异蛋白 114 种(上调蛋白 29 个、下调蛋白 85 个)，辐照组小鼠脑组织中一些载脂蛋白表达下降，同时参与兴奋性神经递质传递的蛋白和受体表达水平显著下调，一些抑制性神经递质受体表达水平也降低，提示微波辐射后 APP/PS1 小鼠一方面通过抑制兴奋性神经递质的过度释放或活化，另一方面通过降低抑制性神经递质的释放或活性来维持机体神经递质平衡进而发挥抗痴呆效果。综上，长期微波辐射可以延缓 AD 的发展，并对 AD 产生有益的影响，表明 900 MHz 电磁场是治疗 AD 的一种潜在方法。

关键词：APP/PS1 小鼠；电磁场；认知；β-淀粉样蛋白；蛋白质组学

项目基金：后勤科研保健课题(20BJZ49)

作者简介：马丽贞(1990-)，女(汉)，河南南阳，博士，研究方向：电磁生物效应。E-mail：malizhen0906487@sina.com

通信作者：王丽峰，研究员。E-mail：fangchang_ 14@163.com

胡向军，研究员。E-mail：xjhu2003@vip.sina.com

微波辐射对大鼠空间工作记忆和识别记忆的影响及其结构基础

任　可，　姚传福，　吴　悠，　刘　煜，　王　惠，　徐新萍，
周红梅，　赵　黎，　彭瑞云

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

目的　随着微波技术的迅速发展并广泛应用于通信、导航、生物、医疗等领域，其给人们生活和工作提供便利的同时，也使得人们更多的暴露于微波辐射环境中，随之而来的健康危害备受关注。本研究探讨微波辐射对大鼠认知功能及海马结构的影响，为深入研究微波辐射致认知损伤的特征提供依据。**方法**　采用 30 mW/cm^{2}微波辐射雄性 Wistar 大鼠，辐射时间为 15 min/次，共 3 次。于辐射后 6 h~4 d，采用 Morris 水迷宫检测大鼠学习和空间记忆能力，并于辐射后 5~10 d，采用 Morris 水迷宫反转实验检测大鼠空间工作记忆能力。于辐射后 1 d，采用新物体识别实验检测大鼠识别记忆能力。于辐射后 6 h、3 d、7 d 和 14 d，采用苏木素伊红染色和光镜观察海马组织结构。于辐射后 6 h、3 d、7 d 和 14 d，采用电镜观察海马超微结构。**结果**　①学习和空间记忆能力：在定位航行实验中，与假辐射组相比，辐射组大鼠平均逃避潜伏期于辐射后 6 h 和 1 d 显著延长($P<0.05$)；游泳轨迹显示假辐射组大鼠向目标象限呈趋向式，辐射组大鼠路线呈绕圈、随机式。在空间探索实验中，辐射组大鼠原平台所在象限停留时间占比、路程占比于辐射后 5 d 显著低于假辐射组($P<0.05$)，但两组大鼠穿越平台区域次数无显著差异($P>0.05$)。②空间工作记忆能力：Morris 水迷宫反转结果显示，在定位航行反转实验中，两组大鼠平均逃避潜伏期均无显著差异($P>0.05$)。在空间探索反转实验中，两组在穿越平台区域次数与原平台时间占比上均无显著差异($P>0.05$)。③识别记忆能力：新物体识别结果显示，辐射组大鼠辨别指数于辐射后 1 d 显著低于假辐射组($P<0.05$)。④海马组织和超微结构：假辐射组海马组织神经元核淡染、呈圆形，辐射后 6 h 和 3 d，辐射组神经元核固缩、深染、呈梭形，辐射后 7 d 和 14 d 呈恢复趋势；海马超微结构显示假辐射组神经元结构完整，辐射后 6 h 和 3 d，神经元线粒体肿胀、嵴断裂、空化，突触间隙模糊、突触后致密物增多，辐射后 7 d 和 14 d 呈恢复趋势。**结论**　30 mW/cm^{2}微波辐射可导致大鼠学习、空间记忆和识别记忆功能障碍，海马组织和超微结构破坏可能是认知功能损伤的结构基础。

关键词：微波；大鼠；空间工作记忆；识别记忆；海马；组织结构

项目基金：国家自然科学基金项目(82073511)

作者简介：任可(1998-)，女(汉)，籍贯濮阳市，硕士生在读。研究方向：电磁辐射心理与认知，E-mail：okayke1@163.com

通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com

赵黎，副研究员。E-mail：lillyliz@163.com

高功率微波对不同性周期雌性大鼠三代生育影响定量研究

王德文，　左红艳，　韩红星，　孙志辉，　李亚里，　李　杨，　彭瑞云

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

目的　近年来微波技术广泛应用于军事、通讯、医疗及人类日常生活等领域，对工作和生活带来便利的同时也对人们的健康造成了潜在危害。迄今关于微波辐射损伤研究主要集中于男性睾丸，对女性的研究相对较少，且多仅主要研究靶器官卵巢，少有对子宫和输卵管的同步关注研究，同时，有关对生育和子代影响的文献大多均仅观察一代，迄今更未见微波对不同性周期卵巢、输卵管与子宫同步研究及其多代生育和子代影响的报道。基于上述，本文以不同性周期成年雌性 Wistar 大鼠为对象，进行连续三代生育实验研究，以阐明其对多代生育和子代的影响，同时，进而通过系统病理形态学及其定量技术同步观测微波辐射致卵巢、子宫及输卵管的损伤规律和五种相关血清雌性激素的动态检测，以揭示微波辐射对各发情周期雌性生殖系统损伤的差异性及其对生育和子代影响的关联性与机理，旨在为防治微波辐射损伤，提高后代健康和生存质量提供生物学基础。

研究方法（略）

实验结果

一、微波对不同性周期雌鼠生殖系统影响的实验结果

1. 卵巢各级卵泡的变化：微波照射组各时间点和各发情周期的各级卵泡细胞变性、凋亡和坏死，原始卵泡、初级卵泡、次级卵泡及成熟卵泡闭锁数量较对照组均增加，其中以发情间期最为明显，发情前期和发情期依次减少。

2. 卵巢黄体变化：照射组各时间点膜黄体细胞变性总数量较对照组明显增多，同时，颗粒黄体细胞具有类似规律；其中发情期（RO）膜黄体细胞变性数量较发情间期（RD）和前期（RP）减少趋势。

3. 输卵管变化：微波组照射后输卵管不同时间和不同周期均以皱襞低疏型发生率显著增加，皱襞高密分支型显著减少为突出特点，其中尤以后者减少为明显。

4. 子宫变化：微波组雌鼠照射后子宫在不同时间和不同性周期均以静止型、初期增生型和中期增生型发生率呈减少趋势，而分泌增生型显著增加（$P<0.05$）为突出特点，其中发情期的增加尤为明显，同时，子宫管径增大、管壁（尤其内膜层）增厚。

5. 血清雌性激素水平变化：微波照射组后雌二醇（E2）水平基本呈递降趋势，尤以发情期较明显；微波照射组孕酮（P4）分泌水平于 5 d 和 30 d 显著高于对照组，而于 10~20 d 呈降低趋势；微波照射组卵泡刺激素（FSH）分泌水平除发情期照射后 5 d 略升高外，于 20~30 d 则呈降低趋势；微波组发情期黄体生成素（LH）分泌水平于照射后 5 d 先高，10~20 d 降低，30 d 恢复趋势；辐射后不同时间抗苗勒激素（AMH）水平下降具有共性规律：即均以 5 d 时最高、10 d 下降最为明显，然后于 20~30 d 逐渐恢复趋势。

二、微波对不同性周期雌鼠三代生育影响的实验结果

1. 三代生育率比较：微波组第一代生育率(59.3%)较对照组显著降低(100%，$P<0.05$)；第二代雌鼠生育率(82.4%)较第一代呈恢复趋势，但仍低于对照组(100%)；第三代生育实验微波组与对照组生育率均降低(分别为86.4%和95.5%)，但前者仍低于后者，并略高于第二代，提示第三代呈进一步恢复趋势；微波组连续三代的总生育率较对照组明显降低(分别为80.0%和97.7%，$P<0.01$)，其中发情间期组最低(68.6%)，发情期组最高(96.9%)，发情前期组介于其间(89.3%)。

2. 三代母鼠分娩时间比较：第一代对照组母鼠全部在24~27天分娩；微波组仅50%在24~27天分娩，其余则明显延迟(至28~32天)；第二代和第三代微波组母鼠分别67.6%和74.6%在27天内分娩，分娩时间较第一代呈恢复趋势；但其余则明显延迟(分别延迟至34天和38天)；其中发情间期组的延迟时间长于发情期组和发情前期组。

3. 三代仔鼠各性周期存活率与死亡率比较：第一代对照组母鼠1/12只发生死胎(8.3%)，微波组母鼠则4/16只死胎(25.0%)，其中1只因难产死亡，提示微波组胎死率高于对照组；第二代对照组母鼠1/10只死胎(子宫破裂所致)，微波组死胎5/37只(13.5%)；第三代生育实验于冬季进行，微波组与对照组均发生胎死亡现象，发生率相近；提示微波组第一代胎死率较对照组增高，第二三代呈渐降低趋势；微波组三代总计发生胎死的11只母鼠分别为发情间期8/42只，发情前期2/20只，发情期1/20只，提示发情间期胎死率较高。

4. 三代仔鼠的数量和性别比较：微波组第一、二代母鼠生育的仔鼠平均数量与对照组未见明显差异，第三代明显降低，并具有统计学意义($P<0.01$)；微波组三代母鼠生育的所有仔鼠平均数量较对照组明显降低，具有统计学意义($P<0.05$)；微波组各代及三代总计的仔鼠性别均呈雄性较雌性略高趋势，均未见统计学意义($P>0.05$)。

5. 不同性周期三代仔鼠体重的比较：微波组三代各性周期所有仔鼠出生当日和1~8周的体重均较对照组呈减轻趋势，具有延缓体重每周增长速度、减低增长幅度等影响，尤其第一代和第三代较明显，其恢复具有缓慢性规律和特点；其中发情间期依次较发情前期、发情期明显，雄性和雌性间同样未见明显差异。

6. 不同性周期雌鼠三代仔鼠畸形发生率比较：三代对照组均未见畸形，照射组畸形总发生率8.7%(9/104只)，其中第一代较高(25.1%，$P<0.05$)，第二代(2.7%)和三代(7.8%)呈减少/恢复趋势；发情间期发生率较高(12.5%)，发情前期和发情期较少(分别为4.0%和6.5%)。

7. 不同性周期三代仔鼠畸形种类比较：三代均以肢体和尾缺如或短小等体表畸形多见(12种)，内脏器官畸形较少(2种)，第一代种类较多，第二、三代较少，内脏器官畸形与体表畸形间未见关联性；发情间期种类最多，发情前期和发情期依次减少。

三、微波辐射后不同性周期雌鼠三代生育障碍机理的研究

1. 生殖器官的组织结构损伤病变为三代生育障碍的病理形态学基础(机理之一)：动态和和定量检测表明，不同性周期生殖器官组织结构损伤的数量和程度均以发情间期最多见和严重，发情前期和发情间期依次减少和减轻(包括卵巢各级卵泡闭锁和卵母细胞、颗粒细胞及黄体细胞变性凋亡和坏死，子宫内膜上皮细胞变性凋亡和坏死及子宫腺损伤，子宫黏膜皱襞静止型和增生分泌型“比例失调”和管径增大、管壁(尤其内膜层)增厚，以及输卵管的类似损伤病变)，表明发情间期卵巢、子宫结构对微波辐射具有较发情期更高的敏感性，并与具有三代生育率障碍具有高度一致性和密切关联性。

2. 雌性激素分泌水平紊乱为三代生育障碍的病理生理学基础(机理之二)：微波组原代母鼠五种相关雌性激素(E2、P4、FSH、LH、AMH)分泌水平发生不同程度紊乱，同样于发情期、发

情前期和发情间期依次加重，并与卵巢、子宫结构损伤病变具有基本一致性，提示雌性激素水平紊乱与三代生育率降低、仔鼠畸形率增高等生育障碍同样具有密切关联性。

3. 上述两种基础的“复合作用”及其“叠加效应”为三代生育障碍的主要机理：通过综合分析表明，微波组不同性周期三代雌鼠生育障碍的主要机理为各性期生殖器官组织结构的损伤病变及其差异性与多种雌性激素分泌水平的紊乱及其差异性的“复合作用”与其“叠加效应”(即 1+1≥2)所致，是影响三代生育障碍的主要机理，并具有高度关联性。

关键词：微波；大鼠；辐射；卵巢；子宫；输卵管；发情周期；三代生育

RH005 对小肠上皮细胞 DNA 损伤的影响

邢　源，　叶雨萌，　左红艳，　李　杨

(军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850)

摘　要：

目的　近年来，电离辐射(ionizing radiation，IR)广泛应用于医学诊断和疾病治疗，人类暴露于 IR 的机会也越来越多，全身或局部 IR 导致不同程度放射损伤乃至放射病。IR 导致 DNA 损伤，引发细胞应激反应，包括 DNA 损伤识别和细胞周期阻滞，随后发生 DNA 修复或凋亡。小肠属于放射高度敏感组织，因此本课题选择小肠上皮细胞(IEC-6)为研究靶细胞，探讨 RH005 对放射性小肠上皮细胞 DNA 损伤的保护作用。**方法**　将 IEC-6 细胞置于钴源照射台上，^{60}Co 源 γ 射线照射，靶距为 4 m，剂量率 68.34 cGy/min，剂量 8 Gy。将 C 组的细胞置于相同时间和条件下，但不进行照射。照射后即刻加入 RH005。本品为 0.1 mg 的白色粉末，加入 1 mL 的 PBS 溶液，配制成 0.1 mg/mL 的原液。根据培养液体积，加入 RH005 原液，L、M 和 H 组终浓度分别为 10 ng/mL、100 ng/mL、1000 ng/mL。于照射后 1 h 用免疫荧光法检测细胞中 γH2AX 的表达以评价 RH005 对于 IEC-6 细胞 DNA 损伤的保护作用。**结果**　IR 可能引起 DNA 双链断裂，形成断裂点的组蛋白 H2AX 的 139 位丝氨酸被迅速磷酸化并形成 γH2AX，用特异性抗体染色后可在荧光显微镜下看到细胞核内相应的焦点，因此 DNA 损伤多用 γH2AX 焦点分析。IEC-6 细胞照射后即刻加入 RH005，处理后 1 h，荧光显微镜下观察显示，γH2AX 表达在细胞核中，且呈焦点样表达。R 组细胞的 γH2AX 阳性细胞明显增多，且阳性细胞内 γH2AX 焦点增多，各 RH005 处理组的 γH2AX 阳性细胞及阳性细胞内焦点个数均降低。图像分析结果显示，与 C 组相比，R 组 γH2AX 荧光染色积分光密度值显著上升($P<0.01$)；L、M 和 H 组较 R 组相比 γH2AX 荧光染色积分光密度值均显著降低($P<0.01$)。以上结果表明，照射可引发 IEC-6 细胞 DNA 损伤，RH005 可减轻照射后细胞 DNA 损伤。**结论**　电离辐射引发 IEC-6 细胞 DNA 损伤，RH005 可减轻 IEC-6 细胞 DNA 损伤。

关键词：　电离辐射；DNA 损伤；IEC-6 细胞

新冠病毒肺炎早期病变特点及疫苗接种早期疗效初探

王德文， 彭瑞云， 李 杨， 左红艳

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所， 北京 100850）

摘 要：

2020—2021 年，包括我国在内的全球 170 国家和地区暴发了新型冠状病毒（“SARS-CoV-2”）肺炎疫病大流行，截至 2021 年 8 月 31 日，全球确诊感染人数竟已超过 2.1686 亿，死亡 451 万以上，为广大医药卫生工作者日夜所关注和焦虑，其中疫苗的研发和应用更为瞩目的领域之一。笔者在有幸承接并完成某项以灵长类猕猴为模型的新型疫苗（暂定名为 XGX 疫苗）对其接种后早期（7 d）肺脏病变疗效评价课题的同时，进一步对其病变特点与笔者团队曾于 2003 年承接并完成的同样广为流行、同样属于灵长类、同样为早期（9 d）的冠状病毒感染的严重急性呼吸综合征（Severe acute respiratory syndrome，SARS）肺炎死亡患者的肺脏光镜组织学病变进行了适当比较，发现二者肺脏的早期病变具有显著差异性［基于标本来源（猕猴与人体）和存活时间（7 d 和 9 d）的不同，故仅供参考］。

（一）新冠病毒肺炎与 SARS 早期病变特点的比较

新冠病毒肺炎与 SARS 肺炎的肺脏早期典型病变见图 1。

如图 1 所示，新冠肺炎与 SARS 肺炎的肺脏早期病变具有如下差异性：

1. 病变部位具有差异性：即 SARS 首先或主要累及肺泡内及其肺泡细胞（Ⅰ型和Ⅱ型细胞），而新冠肺炎则以肺泡间质（肺泡隔和间质）为主，且累及范围较广泛，肺泡内较轻，提示临床描述其为“磨玻璃样病变”有失当之嫌；

2. 病变性质具有差异性：即 SARS 主要或首先发生已血浆蛋白液渗出为主的血循环障碍病变（充血、水肿，并每见透明膜形成），仅伴少量和轻度的炎细胞浸润，而新冠肺炎则是以肺泡间质（肺泡隔和间质）的大量炎细胞（粒细胞、淋巴细胞、单核细胞）浸润为主的间质性肺炎病变；

3. 病变程度具有差异性：即 SARS 早期病变略较轻微，而新冠肺炎则明显严重和广泛，且不同程度及不同部位病变均可同时存在；

4. 病变发生速度具有差异性：即 SARS 病变于早期发生和发展略较缓慢，而新冠肺炎则明显较迅速和加重，尤以早期为明显，易于导致机体较早发生严重缺氧。

上述差异性提示，新冠肺炎的早期防治措施（如吸氧、控炎、杀灭病毒等）尤为重要，尤需及时实施！

（二）不同剂量单剂 XGX 疫苗接种对猕猴新冠肺炎肺脏病变的早期疗效评估

1. 观察肺脏切片例数：共观察成年雄性猕猴 24 例（体重 5.5~6.5 kg，所有动物模型均于 P3 标准条件下制作和饲养），每例肺脏组织切片 3 张，累计 72 张，其中生理盐水安慰剂对照组 3 例 9 张切片，低剂量组 9 例 27 切片，高剂量组 12 例 36 切片。

2. 肺脏病变程度判定原则和方法：采用各类疾病或创伤病变的通用的宏观与镜下（包括光镜、电镜）观察结果相结合、病变性质与累及范围相结合及其与预后相关性的评定原则和方法，综合判定其病变程度，分为极重度、重度、中度、轻度和轻微（或称极微）的“四度五级”分类法。

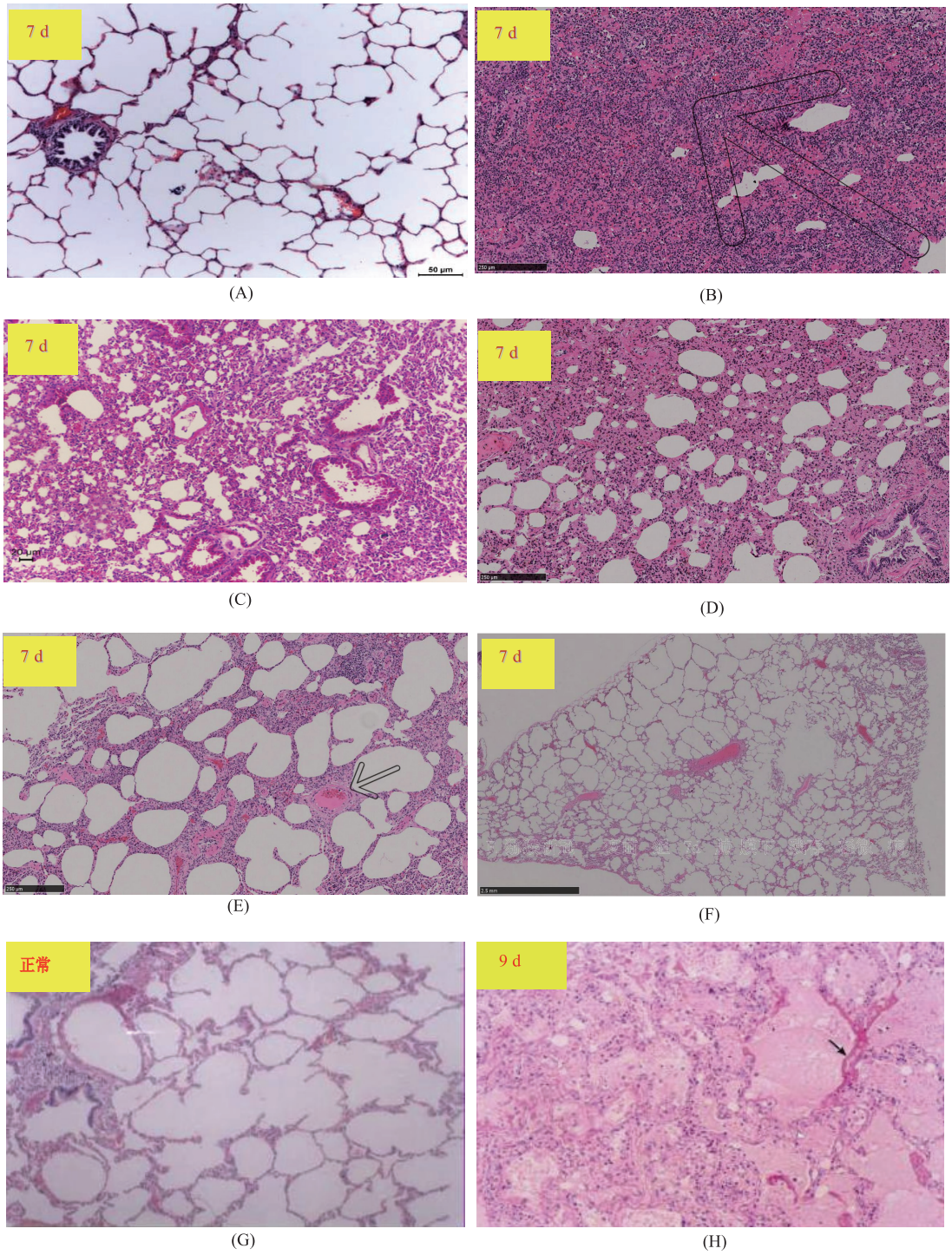


图 1　猕猴新冠病毒感染组与人 SARS 病毒感染组肺脏早期病变比较 HE X100

(A)猕猴正常肺脏组织学结构；(B)猕猴新冠感染组 7d 极重度间质性肺炎；(C)猕猴新冠感染组 7 d 重度间质性肺炎；(D)猕猴新冠感染组 7 d 中度偏重间质性肺炎；(E)猕猴新冠感染疫苗组 7 d 轻度间质性肺炎；(F)猕猴新冠疫苗组 7 d 肺膜下残存轻微病灶；(G)人对照组肺脏正常组织学结构；(H)人 SARS 组 9 d 重度渗出性肺炎

此外，为了揭示不同组间存在的微弱或微小差异，必要时在各程度间适当增设了“偏重”或“偏轻”。

3. 肺脏的病变程度判定标准：

极重度(++++) 即典型的间质性肺炎病变极为严重和广泛弥漫，并累及全肺切片(即肺泡间隔极度增宽，严重血管扩张充血和水肿，伴有大量单核细胞和淋巴细胞为主及少量的分叶核粒细胞等炎细胞浸润，肺泡腔内基本未见渗出液；同时见各级小支气管和细支气管上皮细胞不同程度变性和坏死、纤毛紊乱或脱失，脱落于管腔内；各级血管内皮细胞广泛空泡变性，部分静脉腔内数量不等的浆液性和红细胞性积聚淤滞)。本次所观察的 24 例 72 张肺脏组织切片仅见 1 例 3 张切片发生此类病变(图 A、B)，属于该类肺炎的较早期最严重病变。

重度(+++) 即上述典型的间质性肺炎病变融合呈大片斑块状，约累及全肺切片的四分之三(3/4)，且其肺泡间隔高度增宽，血管扩张充血和水肿，伴有多量单核细胞和淋巴细胞为主及少量的分叶核粒细胞等炎细胞浸润(图 C)；

中度(++)即上述典型的间质性肺炎病变融合，呈略小片斑块状，约累及全肺切片的二分之一(1/2)，且其较肺泡间隔中度增宽，血管扩张充血和水肿，其浸润的炎细胞较重度者减轻减少(图 D)；

轻度(+) 即上述典型的间质性肺炎病变融合小斑块状，约累及全肺切片的四分之一(1/4)，或呈散在少数小叶状，其浸润的炎细胞明显较轻较少(图 E)；

轻微(或称极微)(±) 即上述典型的间质性肺炎病变全部消失，其全肺切片的结构几近正常，惟局部仍残存零星或个别小灶状或微灶状肺泡间隔略增宽，并见少量或微量炎细胞浸润(图 F)。

肺脏的正常结构图中所附猕猴和成人肺脏正常结构，供参考(图 A、G)。

4. 猕猴接种不同剂量单剂 XGX 疫苗后 7d 新冠肺炎肺脏病变程度的比较

如表 1 所示，安慰剂对照组猕猴肺炎病变最为严重(中度~极重度)，积分均值最高，高剂量组病变最轻(仅轻微-轻度)，积分均值最低，低剂量组介于其间(轻微-中度)，提示单剂 XGX 疫苗接种后早期对新冠肺炎肺脏病变具有明显的减轻作用，其积分均值经统计学分析，具有显著性差异($P<0.05$)，其中高剂量组尤为显著。

表 1　猕猴接种不同剂量单剂 XGX 疫苗后 7 d 新冠肺炎肺脏病程度的比较
(波折号前为动物数量，波折号后为切片数量)

组别	动物数量	切片数量	间质性肺炎病变程度*						积分均值*	综合程度
			极重度	重度	中度	轻度	轻微	消失		
安慰剂组	3	9	1~3	2~6	1~3				3.33	中-极重度
低剂量组	9	27			2~6	1~3	6~18		0.89#	轻微-中度
高剂量组	12	36				7~21	5~15		0.79#	轻微-轻度

* 极重度：全肺广泛弥漫严重，4 分；重度：全肺 3/4 融合大斑片，3 分；中度：全肺 1/2 融合小斑片，2 分；轻度：<1/4 或散在少数小叶，1 分；轻微：散在个别小叶轻微，0.5 分；# $P<0.05$

致谢　陆江阳，李宁，赵景民，王翠娥，周本成等教授参与 SARS 病理研究

L 和 C 波段微波同步暴露对大鼠学习和记忆、海马结构及外泌体差异蛋白的定量研究

王　惠，　朱睿卿，　徐新萍，　赵　黎，　王浩宇，　张　静，　姚斌伟，
董　霁，　高亚兵，　彭瑞云

（中国人民解放军军事科学院 军事医学研究院，　北京　100850）

摘　要：

目的　采用定量分析方法探讨 L 和 C 波段微波同步暴露对大鼠学习和记忆功能、海马组织结构及外泌体差异蛋白的影响。**方法**　分别采用 5 和 10 mW/cm^{2}的 L 和 C 波段微波单一及同步暴露二级雄性 Wistar 大鼠，辐射时间为 6 min，分别于辐射后 1~28 天，采用 Morris 水迷宫检测大鼠的学习和记忆功能，多导电生理记录仪检测脑电图的改变，光镜观察海马组织结构，血清外泌体蛋白质组学分析差异蛋白。**结果**　与对照组相比，L10 组大鼠在辐射后 1 d，LC10 组大鼠在辐射后 6 h~3 d 平均逃避潜伏期延长，穿越平台次数显著减少($P<0.05$)；与 L10 和 C10 组相比，LC10 组平均逃避潜伏期显著延长($P<0.05$)。与对照组比较，LC10 组在辐射后 6 h~7 d，脑电图见 α 波功率降低、θ 波升高、δ 波功率升高($P<0.05$)；与 C10 组相比，LC10 组大鼠在辐射后 7 d，θ 波功率显著升高($P<0.05$)，提示脑电活动异常。L5、C5 及 LC5 组海马神经元偶见核固缩深染改变，L10、C10 和 LC10 组神经元核固缩深染显著增多($P<0.05$)。LC10 组暴露可致外泌体释放增多($P<0.05$)，且 LC10 组差异蛋白数量最多为 296 个，L10 组为 54 个，C 组为 145 个，差异蛋白的细胞定位在外泌体、胞浆等，分子功能主要包括蛋白结合、钙离子结合、ATP 结合等，生物学过程包括衰老、细胞钙离子稳态、海马发育及神经投射发育等；KEGG 信号通路包括突触囊泡循环、囊泡运输中的 SNARE 相互作用等；密切相关的基因 SLC18A2，NAPA，STX7，VAMP8 等。**结论**　L 和 C 波段微波辐射可导致大鼠学习记忆功能损伤、海马组织结构损伤及血清外泌体差异表达，损伤与辐射剂量成正比，同步暴露重于单一暴露。

关键词：微波同步暴露；学习和记忆；脑电活动；海马；外泌体蛋白质组学

参考文献

[1] Fragopoulou A F, Polyzos A, Papadopoulou M D, et al. Hippocampal lipidome and transcriptome profile alterations triggered by acute exposure of mice to GSM 1800 MHz mobile phone radiation- An exploratory study[J]. Brain Behav, 2018, 8(6): e01001.

[2] 王惠，彭瑞云，高亚兵，等. 不同条件 HPM 辐射对大鼠远后期学习和记忆功能及海马组织结构的影响[J]. 中国体视学与图像分析，2015，20(4)：434-442.

[3] Janas A M, Sapon K, Janas T, et al. Exosomes and other extracellular vesicles in neural cells and neurodegenerative diseases[J]. Biochim Biophys Acta, 2016, 1858(6): 1139-1151.

[4] 李丹丹，孙晨霞，乔媛媛，等. 外泌体在中枢神经系统疾病中的功能与应用[J]. 生命科学，2019，31(1)：61-66.

作者简介：王惠(1987-)，性别(女)，河南商丘，博士。研究方向：电磁波辐射致认知改变及机制。E-mail：wanghui597bj@163.com

通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com

BDNF 基因(Val76Met)多态与 X 波段微波辐射致大鼠认知功能改变的相关性研究

王　阳[1]，　马丽贞[2]，　王丽峰[1]

(军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850)

摘　要：

目的　探讨脑源性神经营养因子(Brain-derived neurotrophic factor，BDNF)基因多态性在微波辐射致认知功能改变易感性中的作用，为揭示电磁辐射易感的发病机理，寻找电磁辐射致脑损伤的敏感预测指标提供理论依据。**方法**　采用 50 mW/cm^2 的 X 波段微波辐射 158 只 Bdnf(Val76Met)-cas9 点突变大鼠，15 min/d，共 5 d。采用 Morris 水迷宫和新物体识别实验评价空间学习记忆和事件记忆能力；采用旷场实验和高架十字迷宫评价情绪；采用 Golgi 染色观察大脑皮层和海马树突棘结构改变。**结果**　①Morris 水迷宫和新物体识别：与 Val/Val 型相比，Met/Met 型平台所在象限探索时间比和新物体辨别指数均显著降低；辐射后 7 d，Val/Val 型穿越平台次数显著增加；辐射后各组未见明显改变。在反转记忆实验中，与 Val/Val 型相比，Met/Met 型平台所在象限探索时间比在辐射后均显著降低；辐射后 13 d，Val/Val 型平台所在象限时间比显著增加。②旷场实验和高架十字迷宫：与 Val/Val 型相比，Met/Met 型站立次数及站立时间均显著降低，Met/Met 型进入开放臂时间比显著增加；辐射后，Met/Met 型在高架十字迷宫中开放臂停留时间比显著减少。③Golgi 染色：Met/Met 型皮层和海马的树突棘密度及蘑菇状树突棘占比均显著低于 Val/Val 型。与假辐射组相比，辐射后 6 h、7 d 和 14 d，Val/Val 型皮层树突棘密度以及蘑菇状树突棘占比、海马的树突棘密度以及蘑菇状树突棘占比显著降低；Met/Met 型皮层树突棘密度在辐射后 6 h 显著降低，海马颗粒细胞树突棘密度在辐射后 6 h 和 7 d 显著降低。相较于 Val/Val 型，Met/Met 型皮层树突棘密度辐射后 7 d 增加；海马锥体细胞的树突棘密度在辐射后 6 h、14 d 和 28 d 均显著降低，颗粒细胞的树突棘密度仅在辐射后 28 d 显著降低；皮层和海马的蘑菇状树突棘占比在辐射后 6 h 和 7 d 均显著增加。**结论**　BDNF 基因(Val76Met)突变可致大鼠学习记忆能力下降，树突棘可塑性异常；X 波段微波辐射(50 mW/cm^2，15 min/d，5 d)可促进 Val/Val 型大鼠的空间学习记忆能力，抑制树突棘可塑性，其相关机制仍有待进一步深入研究。

关键词：　微波辐射；BDNF；基因多态性；认知功能；树突棘

项目基金：军队后勤科研重大项目(AWS17J006)

作者简介：王阳(1999-)，男(汉)，河北省保定市，硕士。电磁辐射生物效应。E-mail：1439487520@qq.com

通信作者：王丽峰，研究员。E-mail：fangchang_14@163.com

Sertoli 细胞 TLR 内源性配体在微波辐射损伤精子发生中的作用

吴　惠[1]，　孟宇宏[1]，　王德文[2]，　王　惠[2]，　李　杨[2]，　左红艳[2]，　赵　黎[2]，
徐新萍[2]，　张翠芳[2]，　彭瑞云[2]

（1. 解放军总医院 第六医学中心，　北京　100048；
2. 军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

目的　微波辐射可致生精细胞损伤，其损伤机制仍未完全阐明。我们前期研究发现，微波辐射可通过 Toll-样受体(Toll like receptor，TLR)信号上调 Setoli 细胞的炎症因子表达，导致生精细胞凋亡和脂质过氧化损伤、破坏精子发生。研究表明机体存在 TLR 的内源性配体，如热休克蛋白、细胞外基质降解成分、RNA 及染色体 DNA 等，在机体应激或是组织损伤时释放，与 TLRs 相互作用调节细胞的免疫反应[1,2]。因此，本研究旨在探讨微波辐射后损伤精细胞中的内源性配体在微波辐射致细胞因子上调表达、破坏精子发生中的作用。**方法**　3 周雄性 Wistar 大鼠进行原代 Sertoli 细胞培养，接种于 96 孔板(1×10^6/孔)。8 周雄性 Wistar 大鼠进行生精细胞(GC)培养，采用 100 mW/cm^{2}的 S-波段微波(S-MW)辐射 GC，时间为 5 min。将辐射后的 GC(1×10^7/孔)与正常 Sertoli 细胞共孵育 24 h，于辐射前 2 h 加入 1 mL DNA 酶(DNase)、1 mL RNA 酶(RNase)及 10 mM KNK437(HSP 抑制剂)至辐射后的 GC 与正常 Sertoli 细胞共孵育的培养液(MW- GC/Serttoli)中，以正常未照射的单培养 Sertoli 细胞组(N-S-Sertoli)、正常生精细胞与正常 Sertoli 细胞共孵育组(C-GC/Serttoli)为对照，应用 ELISA 方法检测 GC 与 Sertoli 细胞共孵育 24 h 培养液中细胞因子 IL-1β、IL-6 和 TNF-α 的浓度。**结果**　MW-GC/Sertoli 组培养液中 IL-6 和 TNF-α 的浓度较 N-S-Sertoli 组不同程度的增加($P<0.05$)，IL-1β 浓度未见明显差异($P>0.05$)，MW-GC/Sertoli -DNase 组 IL-6 和 TNF-α 的浓度较 MW-GC/Sertoli 组降低($P<0.05$)，而 MW-GC/Sertoli-RNase 组和 MW-GC/Sertoli-HSP 组 IL-6 和 TNF-α 的浓度未见明显变化($P>0.05$)。**结论**　微波辐射损伤的生精细胞中可能存在类似于小分子 DNA 的内源性配体，与 TLR 相互作用上调细胞因子的表达，加重生精细胞的损伤。

关键词：微波辐射；Sertoli 细胞；TLR；内源性配体

参考文献

[1] Hedger M. P. Toll-like receptors and signalling in spermatogenesis and testicular responses to inflammation—a perspective [J]. J Reprod Immunol, 2011, 88(2), 130-141.

[2] Theas M. S. Germ cell apoptosis and survival in testicular inflammation [J]. Andrologia, 2018, 50 (11), e13083.

项目基金：国家自然科学基金资助项目(NO. 81302397)

作者简介：吴惠(1973-)，女(汉)，山东，博士。研究方向：电磁辐射生殖损伤机制。E-mail：wuhui0715@ sina. com
通信作者：王德文，教授。E-mail：wangdewen1938@ 126. com

经颅磁刺激对微波辐射致脑损伤大鼠海马组织结构影响研究

吴　悠，　徐新萍，　董　雾，　高亚兵，　赖云菲，　任　可，
刘　煜，　赵海霞，　王浩宇，　彭瑞云

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

目的　既往研究表明，一定剂量微波辐射可导致大鼠脑损伤，进而影响其相关认知功能。经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation，TMS)是一种通过强脉冲磁场引发脑皮层局部电流的非侵入式脑刺激(non-invasive brain stimulation，NIBS)技术。目前TMS已广泛用于多种神经系统疾病治疗，然而TMS对微波辐射致脑损伤大鼠海马区组织结构的影响研究尚未见报道。**方法**　采用二级雄性Wistar大鼠30只，体重200~220 g，根据体重随机分为5组，微波辐射组、假辐射组、微波辐射+sham TMS组、微波辐射+5 Hz TMS组、微波辐射+20 Hz TMS组。首先，对除假辐射组外的各组大鼠进行连续5 d微波辐射(平均功率密度50 mW/cm^2)。辐射后1~7 d，对5 Hz TMS组和20 Hz TMS组大鼠采用内径40 mm TMS线圈进行不同频率(5 Hz、20 Hz)的TMS刺激，sham TMS组刺激条件与20 Hz TMS组相同，但将线圈旋转90°使该组大鼠脑部不受到TMS脉冲磁场刺激。在5 d电磁辐射后即刻选取电磁辐射组和假辐射组，TMS刺激后即刻选取sham TMS组、微波辐射+5 Hz TMS组和微波辐射+20 Hz TMS组5只大鼠麻醉后断头后取脑进行苏木素-伊红(HE)染色和尼氏体染色。对HE染色病理切片采用光学显微镜观察其海马区组织结构进行定性分析；对尼氏体染色切片，在DG区、CA1和CA3区分别选取面积为5000μm^{2}感兴趣区域(n=3)，采用定量化分析方法统计其海马区尼氏体数量的变化。**结果**　通过光学显微镜观察HE染色病理切片发现，辐射后6 h，假辐射组大鼠海马神经元形态未见明显异常；与假辐射组相比，微波辐射组大鼠海马神经元固缩深染。辐射后7 d，微波辐射+sham TMS组、微波辐射+5 Hz TMS和微波辐射+20 Hz TMS组与辐射后6 h的微波辐射组大鼠海马神经元损伤相比有所减轻，且微波辐射+20 Hz TMS组固缩深染的海马神经元数量减少最为显著。尼氏体染色定量分析结果显示，微波辐射组大鼠神经元尼氏体数量显著少于假辐射组，微波辐射+sham TMS组、微波辐射+5 Hz TMS组和微波辐射+20 Hz TMS组与微波辐射组相比海马区尼氏体均显著增多，且20 Hz TMS组更为显著。**结论**　电磁辐射5 d后大鼠海马神经元显著受损，尼氏体数量显著减少；辐射后7 d的5 Hz和20 Hz TMS刺激均可减轻微波辐射对大鼠海马神经元损伤，其中20 Hz TMS减轻效果更为显著。

关键词：微波；经颅磁刺激；大鼠；HE染色；尼氏体染色

项目基金：国家自然科学基金(61801506)

作者简介：吴悠(1995年)，男(汉)，籍贯河北秦皇岛，学历本科。研究方向：电磁辐射生物效应。E-mail：wooyoo0810@126.com

通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com 王浩宇，副研究员。E-mail：smart106@126.com

蓝光对视网膜色素上皮细胞坏死性凋亡的初步实验研究

徐天池[1,2]，　李旭峰[1]，　马　琼[1]，　康宏向[1]

（1. 军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850；
2. 河北大学 生命科学学院，　河北 保定　071000）

摘　要：

目的　观察 450 nm 蓝光对视网膜色素上皮细胞的影响，探讨蓝光对视网膜细胞损伤的分子机理和凋亡机制，为蓝光视网膜光损伤的基因治疗提供依据。**方法**　视网膜色素上皮细胞经照度为 1500 Lux 的 LED 蓝光光源照射，根据不同照射时间(0、6 、9、12 h)分为对照组(0 h)、6 h、9 h、12 h 照射组，对照组细胞不进行蓝光照射；采用 CCK8 试剂盒检测细胞存活率；AnnexinV-APC/7-AAD 双染色法流式细胞仪检测细胞凋亡率；通过荧光探针 H2DCF-DA 标记，采用流式细胞仪检测细胞活性氧(ROS)水平；Western 印迹法检测细胞坏死性凋亡标志物蛋白表达水平，包括受体相互作用蛋白激酶 1(RIPK1)、受体相互作用蛋白激酶 3(RIPK3)、磷酸化混合系列蛋白激酶样结构域(P-MLKL)以及 DNA 损伤标记物磷酸化组蛋白(γ-H2AX)。**结果**　视网膜色素上皮细胞经 450 nm 蓝光照射后 24 h，6 h、9 h 和 12 h 照射组细胞存活率均明显低于对照组($P<0.05$)，细胞凋亡率明显高于对照组($P<0.01$)，ROS 水平明显高于对照组($P<0.01$)，RIPK1，RIPK3、P-MLKL 和 γ-H2AX 蛋白水平明显高于对照组($P<0.05$，$P<0.01$)，且蓝光照射时间越长，细胞增殖抑制作用越明显、凋亡率越高、ROS 水平越高，细胞坏死性凋亡蛋白表达水平越高。**结论**　450 nm 蓝光可能是通过诱导视网膜色素上皮细胞产生过量 ROS 和 DNA 损伤来抑制细胞增殖，进而导致视网膜色素上皮细胞发生坏死性凋亡。

关键词：450 nm 蓝光；DNA 损伤；坏死性凋亡

作者简介：徐天池(1995-)，男(汉)，河北，硕士研究生。研究方向：激光生物学。E-mail：xutianchijy@163.com
通信作者：康宏向，副研究员。E-mail：khx007@163.com

高压脉冲电流对植入起搏器动物的心脏功能和结构的影响研究

徐新萍， 王德文， 彭瑞云， 赵 黎， 李 杨， 张 静， 王 惠，
王浩宇， 姚斌伟， 董 雯， 张翠芳
（中国人民解放军军事科学院 军事医学研究院， 北京 100850）

摘 要：

目的 为探讨高压脉冲电击对植入起搏器瘦型猪及比格犬行为、心脏功能与结构的影响；**方法** 本研究采用健康瘦型猪、比格犬各 15 只，随机平均分为对照组、电击组和起搏器电击组，分别用输出电压为 50±5 kV、输出电流为 1.6 mA 的高压脉冲电击，持续电击 5s。起搏器组采用常规手术植入起搏器，建立全起搏动物模型(瘦型猪和比格犬)。动物于术前、术后 7 d(电击前)、电击后即刻、电击后 7 d 及 28 d 观察三种动物行为，心电图检测、超声心动图等测试和分析，并在电击后 28 d 取心肌组织光镜下观察结构改变。**结果** 行为学结果示：电击后即刻，两组电击组动物行为学改变相似，均出现不同程度的四肢强直，随后见瘫软无力，伴发惊恐嘶叫、呼吸急促，流涎及二便失禁，7 d 后恢复。心电图示：电击后即刻，两组电击组心率明显增快、心律不齐、R 波递增不良，7 d 后恢复，28 d 恢复正常。血液指标示：与术前相比，术后乳酸脱氢酶和肌酸激酶于较术前升高，于电击后 7 d 已恢复至电击前的正常水平，比格犬电击即刻出现肌酐下降($P<0.05$)，电击后 7 d 时出现凝血酶原、肌酸激酶及肌酐的降低($P<0.05$)，7 d 时出现血小板降低($P<0.05$)，而其余指标术后、电击后即刻及心、肝、肾功能的血生化各项酶谱基本指标均未见统计学差异的变化，28 d 全部恢复正常。解剖观察示：双腔心脏起搏器的双电极针均分别植入于右心房和右心室，并与心内膜紧密牢牢地固定；程序控制检测示：电击后所有双腔起搏器之脉冲发生器、导线及其电极针均完整无破损和异常。图像分析结果示：28 d 冠状动脉管径、面积未见统计学差异的变化；光镜检测示：电击后 28 d 心肌细胞未见明显异常。**结论** 一定条件的高压脉冲电击可对二种动物的行为、心脏功能及结构造成可恢复性的损伤，且此损伤效应与植入起搏器无明显的量效关系。

关键词：高频脉冲电流暴露；结构和功能；心电活动；病理及影像学图像分析；起搏器植入

参考文献

[1] 李明，黄京璐，王小广，等．广东地区 622 例猝死案例的流行病学调查[J]．中国法医学杂志，2015，30(01)：66-69.

[2] 王文，刘斌胜，赵志亮，等．电击武器的人体效应研究[J]．黑龙江科技信息，2010(21)：23.

[3] 戴运达，陈敬，罗斌．警用泰瑟枪电击致死纠纷案死因分析[J]．广东公安科技，2020，140(2)：59-61.

[4] James A Comeaux, James R Jauchem, Duane D Cox. Muscle Contraction During Electro-muscular Incapacitation: A Comparison Between Square-wave Pulses and TASER X26 Electronic Control Device[J]. Journal of Forensic Sciences, 2011, 56(1): S95-S100.

基金支持：公安部科技强警基础研究专项(2017GABJC27)

作者简介：徐新萍(1971-)，女，高级实验师。研究方向：心脏电生理研究。E-mail：xxpbjhd@163.com

通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com

王德文，研究员。E-mail：wangdw323@126.com

不同剂量微波长期辐射致癌效应研究

姚斌伟，　胡韶华，　徐志秀，　王　惠，　熊　璐，　高亚兵，　郝延辉，　喻　超，
张　静，　赵　黎，　董　雾，　徐新萍，　彭瑞云

（军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

目的　微波技术应用广泛，人们在享受便利的同时，也处在微波辐射的环境之中，由此带来的对健康危害正日益受到关注，尤其是微波辐射是否具有致癌作用，更是受到人们的极大关注。探讨不同剂量微波长期辐射是否具有致癌效应，具有重要意义。**方法**　采用 0 mW/cm^2、2.5 mW/cm^2、5 mW/cm^2、10mW/cm^2 微波辐射 250 只雄性 BALB/c 小鼠 1 个月（6 min/次，5 次/周），于辐射后 12 min、24 min 处死取材，采用分裂阻滞法培养外周血淋巴细胞、骨髓细胞涂片、骨髓细胞彗星电泳等方法，检测辐射后小鼠外周血淋巴细胞微核率、骨髓嗜多染红细胞微核率和骨髓细胞 DNA 损伤变化，定期检查辐射后小鼠体表肿瘤发生和解剖时各脏器肿瘤发生，观察微波长期辐射对小鼠是否有致癌效应。**结果**　①0 mW/cm^2、2.5 mW/cm^2、5 mW/cm^{2}和 10 mW/cm^{2}微波辐射后 12 min、24 min，小鼠外周血淋巴细胞微核率与假辐射组相比较无明显差异。②0 mW/cm^2、2.5 mW/cm^2、5 mW/cm^{2}和 10 mW/cm^{2}微波辐射后 12 min、24 min，小鼠骨髓嗜多染红细胞微核率与假辐射组相比较无明显差异。③0 mW/cm^2、2.5 mW/cm^2、5 mW/cm^{2}和 10 mW/cm^{2}微波辐射后 12 min、24 min，各辐射组小鼠骨髓细胞彗星电泳未发现骨髓细胞有拖尾现象。④0 mW/cm^2、2.5 mW/cm^2、5 mW/cm^{2}和 10 mW/cm^{2}微波辐射后 12 m、24 m 各组小鼠长瘤动物例数无统计学差异。**结论**　2.5 mW/cm^2、5 mW/cm^{2}和 10 mW/cm^{2}微波辐射后 24 min 内小鼠外周血淋巴细胞和骨髓嗜多染红细胞微核率无明显异常，骨髓细胞 DNA 未见损伤，肿瘤发生无明显异常。

关键词：微波；长期辐射；微核；致癌

微波复合暴露对小鼠脾脏免疫功能的影响研究

姚传福， 任 可， 董 雾， 王浩宇， 张 静， 姚斌伟，
周红梅， 赵 黎， 彭瑞云

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所， 北京 100850）

摘 要：

目的 研究微波复合暴露对小鼠脾脏免疫功能的影响，为微波复合暴露对机体免疫功能的生物效应及机制研究提供依据。**方法** 将 60 只雄性 C57BL/6N 小鼠随机分为假辐射组、X 组、S 组和 XS 复合组。采用 X 和 S 波段微波辐射小鼠，于辐射后 6 h、3 d 和 7 d 分别取小鼠脾脏，采用光镜和电镜观察小鼠脾脏组织和超微结构，采用流式细胞仪检测脾脏淋巴细胞比例，采用实时荧光定量 PCR 检测脾脏组织 TNF-α、IFN-γ 和 IL10 mRNA 表达。**结果** ① 脾脏组织结构：假辐射组小鼠脾脏红白髓界限明晰，细胞排列紧密。X 组和 S 组小鼠脾脏于辐射后 3 d 轻微淤血，红白髓界限略模糊，XS 复合组小鼠脾脏于辐射后 3 d 淤血，细胞排列松散不整齐。上述结构改变于辐射后 7 d 呈恢复趋势。② 脾脏超微结构：假辐射组小鼠脾脏淋巴细胞结构完整，胞核圆形，胞质细胞器丰富。X 组和 S 组小鼠脾脏淋巴细胞于辐射后 3d 可见细胞核固缩，少量线粒体嵴断裂、肿胀空化。XS 复合组见淋巴细胞核固缩变形，线粒体空化，偶见细胞核和细胞器碎片化。上述结构改变于辐射后 7 d 呈恢复趋势。③ 脾脏组织淋巴细胞比例：与假辐射组相比，各辐射组小鼠脾脏组织 T、B 淋巴细胞比例于辐射后 3 d 显著降低($P<0.01$ 或 $P<0.05$)，CD4/CD8 比例于辐射后 6h 显著降低($P<0.01$ 或 $P<0.05$)，辐射后 3 d 显著升高($P<0.01$ 或 $P<0.05$)。XS 复合组重于 X 组和 S 组。(4)脾脏组织 TNF-α、IFN-γ 和 IL-10 mRNA 表达：与假辐射组相比，各微波组小鼠脾脏组织 TNF-α、IFN-γ 和 IL-10 mRNA 于辐射后 3 d 均表达显著降低($P<0.01$ 或 $P<0.05$)。**结论** 微波辐射可导致小鼠脾脏结构损伤和淋巴细胞比例紊乱，且复合暴露重于单一暴露，其致伤机制可能与炎性细胞因子 TNF-α、IFN-γ 和 IL-10 表达降低有关。

关键词：微波；复合暴露；小鼠；脾脏；免疫

作者简介：姚传福，男，硕士研究生。研究方向：电磁辐射健康危害与防护。E-mail：yaomax2010@126.com
通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com
赵 黎，副研究员。E-mail：lillyliz@163.com

S 和 X 波段微波复合暴露致大鼠心脏 Cx43 异常表达研究

尹　玥，　徐新萍，　高亚兵，　王　娟，　姚斌伟，　赵　黎，　王浩宇，
董　雾，　王　惠，　张　静，　彭瑞云

（军事科学院 军事医学研究院，　北京　100850）

摘　要：

目的　近年来，微波辐射对生物学效应影响的研究备受关注，心脏是微波辐射敏感的靶器官之一。前期研究表明，S 和 X 波段微波复合暴露后心脏的结构和功能均受到损伤。缝隙连接蛋白 43（Connexin43，Cx43）在心脏中含量最多，对心脏电传导起重要的作用，其表达和分布的变化可引起细胞间电偶联及心脏节律的异常。本研究通过分析 S 和 X 波段微波辐射后心脏 Cx43 的表达分布情况，为损伤机制和防护靶点的研究奠定基础。**方法**　采用平均功率密度为 10 mW/cm^{2}的 S 和 X 波段微波辐射源对 80 只雄性 Wistar 大鼠进行单一（S 组和 X 组）和复合暴露（SX 组），于辐射后 1 d、7 d 通过酶联免疫吸附试验检测肌钙蛋白（cTnI）、心型脂肪酸结合蛋白（h-FABP）和肌红蛋白（Mb）含量变化。于辐射后 7 d，用免疫印迹法检测 Cx43 的表达变化，免疫组化检测 Cx43 的分布改变。**结果**　① 辐射后 h-FABP 含量升高：辐射后 1 d，与对照组（C 组）相比，S 和 SX 组的大鼠血清中 h-FABP 升高（$P<0.05$ 和 $P<0.01$），其余指标和组别之间无显著变化。② 辐射后 Cx43 表达量降低：辐射后 7 d，与 C 组相比 SX 组 Cx43 含量显著减少（$P<0.01$），S 和 X 组含量明显减少（$P<0.05$）。③辐射后 Cx43 分布紊乱：SX 组 Cx43 分布紊乱、呈散点状，S 和 X 组阳性信号减少，但组间无明显差异。**结论**　S 和 X 波段 10mW/cm^{2}的单一和复合暴露后，大鼠血清中 h-FABP 升高，提示 S 组和 SX 组心脏损伤较重；Cx43 表达量减少，分布异常，提示与心脏电传导异常有关；复合暴露损伤较单一暴露严重，提示损伤具有剂量依赖效应。

关键词：微波辐射；心脏；h-FABP；Cx43

项目基金：全军后勤科研计划重大项目（No. AWS17J006）

作者简介：尹玥（1996－），女（汉），陕西勉县，博士研究生。研究方向：电磁辐射分子病理机制与防护。E-mail：yinyue5yytt@163.com

通信作者：彭瑞云，博士生导师。E-mail：pengry@bmi.ac.cn
张静，博士。E-mail：zhang115614@163.com

RH005 对于电离辐射致小肠细胞凋亡及其增殖的作用研究

叶雨萌， 邢 源， 郝延辉， 左红艳， 李 杨

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所， 北京 100850）

摘 要：

目的 急性放射病(acute radiation syndrome，ARS)是指机体在短时间内一次或几次受到大剂量(>1 Gy)电离辐射引起的全身性疾病。大于 8 Gy 射线照射后的重度骨髓型放射病及肠型和脑型放射病尚难以救治存活，小肠是对电离辐射最敏感的器官之一，小肠放射性损伤导致的严重腹泻常导致死亡。RH005 是一类自主研发的重组蛋白类药物，本研究旨在探讨 RH005 对小鼠急性放射性小肠细胞凋亡及增殖的作用。**方法** 采用 8 Gy ^{60}Co γ 射线单次全身照射小鼠建立急性骨髓型放射病模型，照射后 24 h 腹腔注射 RH005，给药 3 d 后停药，并于照射后 4 d、8 d 及 11 d 取空肠(幽门下 10 cm 处)制备石蜡切片，后采用 TUNEL 法及免疫组化法研究 RH005 对于照射后小肠细胞的凋亡及增殖的影响。**结果** TUNEL 结果显示：照射后 4 d，照射后各组较 C 组小肠隐窝凋亡细胞数量显著升高，DEX 组及 RH005 组较 IR 组凋亡细胞数显著降低。照射后 8 d，IR 组及 DEX 较 C 组小肠隐窝凋亡细胞数量显著上调，RH005 组较 IR 组凋亡细胞数显著降低。照射后 11 d，IR 组较 C 组凋亡细胞数量显著升高，RH005 组较 IR 组凋亡细胞数显著下调。免疫组化结果显示：照射后 4 d，照射后各组较 C 组小肠隐窝细胞增殖数量显著下调，DEX 组及 RH005 组较 IR 组显著升高。照射后 8 d 及 11 d，IR 组较 C 组增殖细胞数量显著下调，RH005 组较 IR 组显著上调，且与 C 组无显著差异。**结论** RH005 对小鼠急性放射性小肠细胞凋亡具有保护作用，且促进小肠隐窝增殖。

关键词：急性放射病；凋亡；增殖；RH005

微波辐射对海马神经干细胞增殖分化能力的影响研究

智维佳[1]，　唐家乐[2]，　邹　勇[1]，　马丽贞[1]，　胡向军[1]，　王丽峰[1]

（1. 军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所，　北京　100850；
2. 中南大学 湘雅三医院，　湖南 长沙　410013）

摘　要：

目的　微波技术的健康危害逐渐走入公众视野。脑是微波辐射的敏感靶器官，微波辐射可致海马突触可塑性异常。海马齿状回颗粒下区神经干细胞可分化为神经元参与海马突触可塑性调节，然其在微波辐射致突触可塑性异常中的作用鲜有报道。本研究拟探究微波辐射对海马神经干细胞增殖分化能力的影响，为微波辐射致脑损伤的防治提供新思路。**方法**　采用微波辐射大鼠（30 mW/cm^2，6 min/次，间隔 6 min，3 次/d，共 4 d）。采用 Morris 水迷宫、新物体识别检测辐射后大鼠记忆能力；Timm 染色观察海马苔藓纤维出芽生长，透射电镜观察海马突触超微结构改变；免疫荧光检测海马神经干细胞增殖分化能力；建立神经干细胞和原代海马神经元体外共培养模型，并采用 CCK-8 检测辐射后神经干细胞增殖能力。**结果**　辐射后大鼠水迷宫实验平均逃避潜伏期延长，穿越平台次数、目标象限游泳时间降低（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）；新物体识别实验辨别指数下降（$P<0.05$）。海马苔藓纤维出芽生长减弱（$P<0.05$）；突触后致密物长度和厚度减少（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。Brdu$^+$ 和 Ki67$^+$ 细胞数量，BrdU$^+$&Nestin$^+$ 细胞数占 BrdU$^+$ 细胞数比例，BrdU$^+$&NeuN$^+$ 细胞数占 Brdu$^+$ 细胞数比例以及 BrdU$^+$&DCX$^+$ 细胞数占 BrdU$^+$ 细胞数比例均降低（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。体外共培养模型中辐射组神经干细胞的 CCK-8 吸光度明显降低（$P<0.01$）。**结论**　30 mW/cm^2 微波辐射致大鼠空间学习记忆和事件记忆障碍，海马齿状回神经元突触结构异常，神经干细胞增殖分化能力减弱。

关键词：微波；海马；突触可塑性；神经干细胞；增殖分化

项目基金：国家自然科学基金青年基金项目（31800701）
作者简介：智维佳（1988-），女（汉），内蒙古包头，博士，研究方向：电磁生物效应。E-mail：zhi. weijia@ 163. com
通信作者：王丽峰，研究员。E-mail：fangchang_ 14@ 163. com
胡向军，研究员。E-mail：xjhu2003@ vip. sina. com

电磁脉冲对大鼠血脑屏障通透性的影响研究

智维佳， 邹 勇， 董 霁， 王浩宇， 马丽贞， 胡向军， 王丽峰

（军事科学院 军事医学研究院 辐射医学研究所， 北京 100850）

摘 要：

目的 电磁脉冲是一种前沿极快，频谱较宽的短高压脉冲。脑是电磁脉冲的敏感靶器官，血脑屏障一方面可限制血液成分进入大脑，维持中枢神经系统正常生理状态；另一方面阻止药物作用于病变脑区，给中枢神经系统疾病治疗带来困扰。研究表明，电磁脉冲可致血脑屏障开放，然其时间-效应关系尚不明确，因此，本研究拟采用多种方法评价验证电磁脉冲致血脑屏障开放的规律，为后续机制研究和效应的应用奠定基础。**方法** 将大鼠暴露于 200 kV/m，脉冲次数 200 次，重频 1 Hz 的电磁脉冲，在辐射后即刻和 3 h 分别采用免疫荧光、分光光度法和伊文思蓝 & 异硫氰酸荧光素-葡聚糖共标记等方法，评价并验证电磁脉冲暴露后大鼠血脑屏障通透性改变。**结果** 免疫荧光结果显示，与对照组相比，照射后即刻辐射组大鼠大脑皮层、海马及下丘脑白蛋白含量显著增加($P<0.01$)；照射后 3 h 无统计学差异。脑组织匀浆伊文思蓝含量结果显示，与对照组相比，辐射后即刻大脑皮层和海马伊文思蓝含量显著增加($P<0.01$)；3 h 后辐射组与对照组无统计学差异；而伊文思蓝 & 异硫氰酸荧光素-葡聚糖共标记结果显示，与对照组相比，辐射后 0 h 和 3 h 大脑皮层、海马及下丘脑血脑屏障通透性明显增加($P<0.01$)。**结论** 电磁脉冲后 3 h 内大鼠血脑屏障通透性增加；伊文思蓝 & 异硫氰酸荧光素-葡聚糖检测血脑屏障通透性的方法灵敏度更高。

关键词：电磁脉冲；血脑屏障；通透性；伊文思蓝；异硫氰酸荧光素-葡聚糖

项目基金：军队后勤科研计划重大项目(AWS18J002)

作者简介：智维佳(1988-)，女(汉)，内蒙古包头，博士，研究方向：电磁生物效应。E-mail：zhi. weijia@ 163. com

通信作者：王丽峰，研究员。E-mail：fangchang_ 14@ 163. com

胡向军，研究员。E-mail：xjhu2003@ vip. sina. com

The abscopal effects of cranial irradiation induce testicular samage in mice

郭　玲

（空军军医大学 特殊作业环境危害评估与防治教育部重点实验室）

Abstract: To investigate whether the abscopal effects of cranial irradiation (C-irradiation) cause testicular damage in mice, male C57BL/6 mice (9 weeks) were randomly divided into a sham group, a shielded group and a C-irradiation group and administered C-irradiation at a dose rate of 2.33 Gy/min (5 Gy/d for 4 d consecutively). All mice were sacrificed at 4 weeks after C-irradiation. We calculated the testis index, observed testicular histology by HE staining and observed testicular ultrastructure by TEM. Western blotting was used to determine the protein levels of Bax, Bcl-2, Cleaved-caspase 3, GDNF, and SCF in the testes of mice. Immunofluorescence staining was performed to detect the expression of Cleaved-caspase 3 and a TUNEL assay was used to confirm the location of apoptotic cells. The levels of testosterone (T), GDNF, and SCF were measured by ELISA. We also evaluated the sperm quality in the cauda epididymides by measuring the sperm count, abnormality, survival rate, and apoptosis rate. The results showed that there was no significant difference in testicular histology, ultrastructure or sperm quality between the shielded group and sham group. Compared with the sham/shielded group, the C-irradiation group exhibited a lower testis index, damaged testicular histology and ultrastructure, and increased testicular apoptosis, especially in spermatogonial stem cells. Compared with the sham group, the levels of serum T did not obviously change, but the levels of GDNF and SCF in the testes increased in the C-irradiation group. In addition, the sperm count and survival rate decreased in the C-irradiation group, while the abnormality and apoptosis rate increased. Under these experimental conditions, the abscopal effects of C-irradiation induced testicular damage with regard to both structure and function and ultimately decreased sperm quality in mice. These findings provide novel insights into prevention and treatment targets for male reproductive damage induced by C-irradiation

X 射线胸部局部照射对小鼠精子发生的影响

来盼盼， 荆云涛， 郭 玲， 薛一哲， 刘力源， 秦佟洲，
周桂强， 杜俊泽， 丁桂荣

（空军军医大学 军事预防医学系 辐射防护医学教研室，陕西省西安市新城区长乐西路 169 号）

摘 要：

目的 探讨 X 射线胸部局部照射对雄性成年小鼠精子发生的影响。**方法** 24 只健康雄性成年 C57BL/6 小鼠(6~8 周龄)，随机分为照射组(Radiation)和假照射组(Sham)，每组 12 只。胸部照射面积为 1.5 cm×2 cm，剂量率 3.04 Gy/min(8 Gy/d，连续照射 3 d)，总剂量共 24 Gy。于照射后 21 d 剥离双侧睾丸和附睾尾，计算睾丸系数。HE 染色法观察睾丸组织形态，测量生精小管直径和生精上皮厚度；游离附睾尾中的精子用于统计精子数量；TUNEL 和 Western blot 检测睾丸组织凋亡相关蛋白水平变化。**结果** 与 Sham 组相比，照射后 21 d，Radiation 组小鼠的睾丸和附睾组织形态结构严重破坏，生精小管直径和生精上皮厚度均明显减小($P<0.05$)，精子数量显著减少($P<0.05$)；睾丸内 TUNEL 阳性细胞数在照射后显著上调($P<0.05$)；睾丸内 Bcl-2/Bax 比值在照射后 21 d 无明显变化；Caspase-3 在照射后 21 d 显著上调($P<0.05$)。结论 头部局部照射可损伤雄性成年小鼠睾丸和附睾结构并诱导生精细胞凋亡，最终导致小鼠精子发生障碍。

关键词：X 射线；小鼠；睾丸；精子数量；凋亡

作者简介：来盼盼。E-mail：374494859@ qq. com
通信作者：丁桂荣。E-mail：dingzhao@ fmmu. edu. cn

经颅直流电刺激促进脑损伤修复的机制研究

丁桂荣，　张克英，　郭　玲

（空军军医大学 军事预防医学系辐射防护医学教研室）

摘　要：

背景　脑损伤是常见的中枢神经系统疾病，具有高致死率、致伤率和致残率的特点，目前缺乏有效的治疗手段。**目的**　探讨经颅直流电刺激(tDCS)对缺血性脑损伤大鼠运功功能康复及脑组织修复的影响及其机制。**方法**　首先通过骨水泥将刺激电极固定于大鼠运动皮层 M1 区对应的颅骨外。之后通过改良线栓法构建大鼠局灶性脑缺血(MCAO)模型，建模后 24 h 通过 Zea-longa 评分筛选中度脑损伤大鼠并随机分为两个实验组：MCAO 手术+tDCS 治疗组(MCAO+tDCS)和 MCAO 手术+假 tDCS 治疗组(MCAO+Sham)；同时，接受假 MCAO 手术的大鼠被随机分为两个对照组：Control+tDCS 组和 Control+Sham 组。tDCS 组大鼠接受电流强度为 500 μA 的 tDCS 处理。Control 组大鼠仅与刺激仪相连，但无电流输出。tDCS 处理结束后，采用旷场、转棒等行为学实验评价 MCAO 大鼠运动功能；TTC 染色观察大鼠脑梗死面积和水肿程度，ELISA 法检测脑损伤组织中炎性因子含量；组织病理学和免疫荧光共聚焦技术观察损伤区脑组织形态结构，胶质细胞激活和神经干细胞(NSCs)增殖、迁移和分化情况，及 tDCS 对 Notch1 通路相关蛋白表达和分布的影响。**结果**　tDCS 可以显著促进 MCAO 大鼠运动功能康复，降低脑缺血早期 MCAO 大鼠的脑损伤面积、脑水肿程度，改善脑缺血早期 MCAO 大鼠损伤区脑组织的形态结构，减轻神经元损伤，抑制缺血损伤诱导的细胞凋亡及胶质细胞过度激活，降低缺血损伤区炎性因子含量。此外，在缺血性脑损伤早期，tDCS 促进 Nestin+ NSCs 向缺血损伤区迁移并促进其向神经元和少突胶质细胞分化，并且该过程与其抑制 MCAO 大鼠缺血损伤侧纹状体中 Notch1 信号通路的激活有关。**结论**　本实验条件下的 tDCS 对缺血性脑卒中大鼠运动功能康复和脑组织修复具有促进作用，其机制可能与 tDCS 发挥神经保护作用和促进神经发生有关，Notch1 通路可能参与了 tDCS 对 NSCs 分化过程的调控。

41~50 岁初治微小病变肾病患者 GBM 厚度的定量研究

任雅丽， 徐 进， 程 明， 周 晶， 黄晨诗， 柴立军

（北京大学 第一医院电镜室， 北京 100034）

摘 要：

目的 了解 41~50 岁初次治疗的微小病变肾病（MCD）患者肾小球基底膜（GBM）的厚度。**方法** 选择年龄为 41~50 岁不伴有血尿、高血压、糖尿病和遗传性肾脏病且肾穿刺活检前初次治疗的 MCD 患者，活检标本经常规固定、包埋及超薄切片，透射电镜下观察，根据等距离曲线移动原则对每个样本的肾小球拍照 10~15 张，随机设置测试线，从测试线与 GBM 足细胞侧相交的点作 GBM 的垂直线，基底膜内外侧交点之间的垂线距离即 GBM 截面宽度，代表 GBM 的厚度。**结果** 30 例样本，GBM 的截面宽度为 314.21±42.22（256.97~393.51）nm，其中男性为 360.30±47.0（256.97~452.43）nm，女性为 314.21±42.22（256.97~393.51）nm，两组之间差别有显著性（$P=0.009$）；GBM 截面宽度与年龄增长的相关性无显著性。**结论** 41~50 岁初治 MCD 患者基底膜厚度恒定，男性比女性厚。

关键词： 电镜；基底膜厚度；体视学；微小病变肾病

参考文献

[1] Fogo A B, Lusco M A, Najafian B, et al. AJKD Atlas of Renal Pathology: Thin Basement Membrane Lesion[J]. Am J Kidney Dis. 2016; 68(4): e17-e18.

[2] Tervaert T W, Mooyaart A L, Amann K, et al. Pathologic classification of diabetic nephropathy[J]. J Am Soc Nephrol. 2010; 21(4): 556-563.

[3] Danilewicz M, Wagrowska-Danilewicz M. Glomerular basement membrane thickness in minimal change disease. The ultrastructural quantitative study[J]. Pol J Pathol. 1998; 49(1): 23-26.

[4] Osawa G, Kimmelstiel P, Seiling V. Thickness of glomerular basement membranes[J]. Am J Clin Pathol. 1966; 45(1): 7-20.

[5] Haynes WD. The normal human renalglomerulus[J]. Virchows Arch B Cell Pathol Incl Mol Pathol. 1981; 35(2): 133-158.

[6] Steffes MW, Barbosa J, Basgen JM, et al. Quantitative glomerular morphology of the normal human kidney[J]. Lab Invest. 1983; 49(1): 82-86.

[7] Vogler C, McAdams AJ, Homan SM. Glomerular basement membrane and lamina densa in infants and children: an ultrastructural evaluation[J]. Pediatr Pathol. 1987; 7(5-6): 527-534.

[8] Teng YH, Ang HS, Mao KZ, et al. Glomerular basement membrane thickness in an Asian population using a novel image analysis software[J]. Pathology. 2009; 41(4): 342-347.

作者简介：任雅丽（1977-），女（汉），山西人，硕士研究生，副主任医师。研究方向：肾病理与超微病理。E-mail：guiling9893@sina.com

[9] Perry GJ, George CR, Field MJ, et al. Thin-membrane nephropathy—a common cause of glomerular haematuria[J]. Med J Aust. 1989; 151(11-12): 638-642.

[10] Jensen EB, Gundersen HJ, Osterby R. Determination of membrane thickness distribution from orthogonal intercepts [J]. J Microsc. 1979; 115(1): 19-33.

[11] Marquez B, Zouvani I, Karagrigoriou A, et al. A simplified method for measuring the thickness of glomerular basement membranes[J]. Ultrastruct Pathol. 2003; 27(6): 409-416.

[12] 程明，李雪迎，任雅丽. 21~40 岁人群正常肾小球基底膜厚度的定量研究[J]. 中国体视学与图像分析，2012，17(17)：162-166.

数字病理自监督学习与高信息量辅助诊断

郑钰山[1]，　姜志国[2,1,]

(1. 北京航空航天大学 北京市生物医学高精尖创新中心，　北京　100191；
2. 北京航空航天大学 宇航学院图像中心，　北京　100191)

摘　要：

数字病理全切片自动分析是近年来医学人工智能领域与癌症辅助诊断领域研究的热点方向与关键问题。常见数字图像处理算法，特别是基于卷积神经网络的深度学习方法，一般需要带有准确标注的图像数据完成模型的训练。然而数字病理图像像素规模巨大，精细标注工作困难且繁重，经典深度学习模型对标注数据量的高要求与建立大规模标注病理数据集的高代价是制约该领域发展的主要矛盾。随着数字病理的推广以及远程诊断的持续开展，带有专家诊断信息的数字病例快速积累。在这一背景下，基于计算机视觉、人工智能领域前沿方法，探索研究不依赖医生手动标注的全切片分析与癌症辅助诊断方法是解决上述矛盾的重要途径。本研究以数字病理远程诊断与平台大数据为基础，充分利用病理专家远程诊断过程中自然产生的数字病理全切片图像、肿瘤取材报告、诊断报告、切片浏览记录等多元信息，探索基于癌症诊断数据本身的数字病理自监督、弱监督学习理论方法，使模型算法摆脱对医生手工标注的过度依赖，进而建立能够自主迭代学习的数字病理人工智能辅助诊断系统，形成融合病理全切片图像分类、分割，以及相似区域检索与推荐的高信息量癌症辅助诊断模式。

关键词：数字病理；病理图像处理；自监督学习；弱监督学习；癌症辅助诊断

项目基金：国家自然科学基金项目(61771031，61901018)

作者简介：郑钰山(1988)，男，河北省，博士。研究方向：医学图像处理与分析。E-mail：yszheng@ buaa. edu. cn

通信作者：姜志国，教授。E-mail：jiangzg@ buaa. edu. cn

从低龄至高龄大鼠海马结构神经元数量和细胞核体积的体视学定量研究

杨　靓[1]，　郭镇洲[2]，　郭　洋[2]，　李阳友[3]，　杨正伟[2]，　彭　彬[2]

（1. 川北医学院 第二附属医院；
2. 川北医学院 形态学研究所；
3. 川北医学院 实验动物学教研室）

摘　要：

近年来人们普遍认为老年学习与记忆功能减退与海马结构有关，而且常以大鼠作为研究模型。本研究的目的是确定从低龄到高龄大鼠海马结构及其主要亚区神经元数量和细胞核体积的年龄相关变化。分别从同群正常雄性 Sprague-Dawley 大鼠中随机抽选 15 日龄、3、12、24 和 36 月龄动物各 5~6 只，从每只动物轮流抽选左侧或右侧海马制备连续的甲基丙烯酸树脂包埋切片，从中等距随机抽选 3~5 张行 PAS 和苏木精染色后运用分合法和核距测量法等体视学技术估计海马结构及其亚区（CA、DG）内神经元的数量和细胞核的体积。我们的结果显示，整个海马结构内，神经元的数量从 15 日龄~36 月龄无显著变化，神经元的核体积从 15 日龄至 3 月龄至 12 月龄均显著减小（$P<0.05$），然后在 12~36 月龄趋于平稳；海马的 CA 亚区锥体层内，神经元的数量从 15 日龄~24 月龄期间无显著减少，从 24~36 月龄减少了 25%（$P>0.05$），神经元的核体积 15 日龄~3 月龄无显著变化，3~12 月龄显著减小了 23%，12~36 月龄趋于稳定；海马的 DG 亚区颗粒层内，神经元的数量从 15 日龄持续增加至 36 月龄，36 月龄较 15 日龄增加了 42%，但各年龄组间均无显著性差异，神经元的核体积从 15 日龄至 3 月龄至 12 月龄均显著减小，然后在 12~36 月龄趋于平稳。我们的结果说明，从低龄到高龄，整个海马结构内的神经元数量无显著的年龄相关性改变，海马各区——DG 颗粒层内神经元数量持续增加可能是大鼠 DG 内终生存在神经发生的证据，CA 锥体层在衰老晚期存在轻微的神经元丢失；大鼠整个海马结构内神经元的细胞核体积从幼年到成年显著减小，从中年到老年之后趋于平稳。

深度学习在宫颈细胞学全切片图像分析领域的探索与应用

林黄靖[1]，　柴志忠[1]，　张海飞[2]，　王　波[2]

（1. 深圳视见科技有限公司，广东省深圳市南山区粤兴二道 10 号香港中文大学李伟波楼 308 室，518063；
2. 海南省人民医院，海南省海口市秀英区秀华路 19 号，570311）

摘　要：

病理是用于癌症诊断最重要的医学方法之一，并作为癌症确诊的金标准而存在。在常规的诊断流程中，病理医生通过对疑似组织样本的提取，并通过一系列制片、染色、封片等技术将组织样本制作成玻片，并在光学显微镜下对疑似组织样本进行观察。然而，传统的阅片过程极其费时费力，消耗着病理医生的专注力。更为严峻的是，国内病理医生缺口极大，这不仅给病理医生带来巨大的工作负担，而且会带来巨大的漏诊风险。近几年来，人工智能在各种医学影像分析领域中，取得了迅猛的发展。尤其在病理领域，将成为破局当下痛点的重要方向。

我们全面地研究了深度学习在宫颈细胞学上的运用，并提出了第一个适用于宫颈细胞学全切片图像的算法[1]。我们的算法模型是基于先前工作——Fast ScanNet 基础框架构建的[2]，在此基础之上，我们设计了更适用于宫颈细胞学特定难点的双路特征提取模块（DP Encoder），巧妙地融合细胞局部细节和全局背景信息。同时，我们又针对标记广泛存在噪声的特定难点，设计了解决该问题的 SGL 损失函数。在最终片级结果的推导上，我们结合宫颈细胞学的临床认知，设计了基于规则化的片级分类器，并实现了更精准的片级分类。初步试验中，我们在 19 303 张来自四家机构不同扫描仪采集的数据集上，取得了 94.6%的敏感度和 71.6%的特异性。为了更好地探索技术的临床落地，我们重新规划了算法的闭环思路，在锁定前端制片和扫描仪的情况下，再次收集了 11 304 张来自三家医疗机构，通过自有闭环耗材制作的多中心数据集。以此，我们取得了在 100%敏感度前提下，86.85%的排阴率指标。标志着算法产品化应用的落地。

关键词：数字化全切片图像分析；宫颈癌筛查；深度学习；医学影像分析

参考文献

[1] Lin H, Chen H, Wang X, et al. Dual-path network with synergistic grouping loss and evidence driven risk stratification for whole slide cervical image analysis[J]. Medical Image Analysis, 2021, 69: 101955.

[2] Lin H, Chen H, Graham S, et al. Fast scannet: Fast and dense analysis of multi-gigapixel whole-slide images for cancer metastasis detection[J]. IEEE transactions on medical imaging, 2019, 38(8): 1948-1958.

作者简介：林黄靖，香港中文大学博士，医学图像分析专业。现任深圳视见医疗科技公司研发总监/CTO，曾在国内外多次数字病理比赛中获奖。

通信作者：王波，教授，博士生导师，病理学与病理生理学专业。现任海南省人民医院中心实验室主任，曾获得多项自然科学奖及人才奖励，主持国家级和省级科研课题多项。E-mail：wangqugans@163.com

HOTAIR-miRNA217-DKK1 分子轴驱动的激素性股骨头坏死 BMSCs 成骨/成脂转分化异常的分子机制研究

宋　旸，　王庆宇，　杜珍武，　石传楷

（吉林大学 第二医院骨科医学中心，　长春　130041）

摘　要：

股骨头坏死(osteonecrosis of the femoral head，ONFH)是由遗传因素和环境因素共同作用引起的复杂性疾病。近年来 ONFH 发病率呈逐年增加的趋势，美国年均 2 万~3 万新发病例，中国年均 15 万~20 万新发病例。脂代谢紊乱一直被认为是 ONFH 发病的核心环节，因为 ONFH 病变骨髓腔大量脂肪蓄积。已报道 lncRNA 在骨关节炎、强直性脊柱炎等的发生发展中具有重要作用，然而 lncRNA 在 ONFH 发生发展中的作用罕见报道，本研究以激素性 ONFH(SONFH)患者 BMSCs 成骨、成脂转分化异常为切入点，联合应用 lncRNA 和 mRNA 表达谱分析及生物信息学集成分析方法，首次探讨了 HOTAIR- miRNA217- DKK1 分子轴驱动的 SONFH 时 BMSCs 成骨/成脂转分化异常的分子机制。

主要研究结果：

(1)成功分离、培养的 SONFH 病例组及对照组(股骨颈骨折)BMSCs 表达典型的间充质干细胞表面标志，CD90，CD73 和 CD105 阳性，CD34 和 CD45 阴性。SONFH 患者 BMSCs 成骨分化能力降低，ARS、ALP 染色及定量分析显示成骨分化能力减弱，成骨分化标志物 BMP2、OPG、RUNX2 表达显著下降($P<0.05$)；油红 O 染色及定量分析显示成脂分化能力增强，成脂分化标志物 PPARγ、C/EBPα、Adipsin 表达显著增高($P<0.05$)。

(2)高通量芯片筛查 BMSCs 差异表达 lncRNA 及 mRNA，共发现 3286 个 lncRNA 和 2775 个 mRNA 差异表达(Fold Chang≥2.0，$P<0.05$)。qRT-PCR 验证了芯片结果的准确性。通过深度生信分析，发现 SONFH 的 BMSCs 差异表达 lncRNAs 和 mRNAs 与成骨、成脂分化密切相关。KEGG 分析结果显示共 40 条信号通路显著改变，包括上调 16 条信号通路与下调 24 条信号通路。CNC 网络和 ceRNA 网络分析发现了 lncRNA-HOTAIR、RP1-193H18.2、DKK1 的多个分子靶点与调控 BMSCs 成骨、成脂分化密切相关。

(3)敲减 HOTAIR 表达 SONFH 的 BMSCs 成骨分化能力增强、成脂能力减弱，而过表达 HOTAIR 成骨分化能力减弱、成脂能力增强。通过 RNA 干扰实验发现 HOTAIR 通过结合 miRNA-217 来调控 DKK1 表达，由于 DKK1 为 Wnt/β-catenin 信号通路抑制剂，且 HOTAIR 参与调控 Wnt/β-catenin 信号通路中关键基因 OCT4 及 β-catenin 表达，显示 SONFH BMSCs 中异常增高的 HOTAIR 通过 Wnt/β- catenin 信号通路抑制 BMSCs 成骨分化、促进成脂分化，首次阐述了 HOTAIR- miRNA217- DKK1 分子轴驱动的激素性股骨头坏死 BMSCs 成骨/成脂转分化异常的分子机制。

关键词：股骨头坏死；骨髓间充质干细胞；HOTAIR；miRNA217；DKK1

项目基金：国家自然科学基金(81702195)

通信作者：宋旸，医学博士，副主任医师。songyangjlu@jlu.edu.cn

环状 RNA CDR1as 在激素性股骨头坏死 BMSCs 成骨/成脂异常转分化中的分子机理及信号通路的研究

宋　旸，　陈高扬，　杜珍武，　石传楷

（吉林大学 第二医院骨科医学中心，　长春　130041）

摘　要：

股骨头坏死(ONFH)是骨与关节重大疾病之一，由于早期诊断困难，一经发现多为中晚期，病变渐进性进展致残率极高，不得不实施人工关节置换术，一直是困扰专业领域的瓶颈问题。环状 RNA(circular RNA，circRNA)是一类共价闭合非编码 RNA，已报道 circRNAs z 在骨关节炎、类风湿性关节炎、骨质疏松等骨疾病发生中起关键作用，然而 circRNA 在激素性 ONFH 时 BMSCs 中的作用罕见报道，本研究首次应用高通量芯片技术检测了激素性 ONFH 患者 BMSCs 中 circRNA 和 mRNA 表达谱，应用生物信息学方法分析差异表达 circRNAs 和 mRNAs 的分子功能及通路富集，结合分析 ceRNA 调控网络，筛选出在激素性 BMSCs 成骨/成脂转分化过程中的关键 circRNA-miRNA-mRNA 分子轴，为激素性 ONFH 的早期诊断和治疗提供生物标志物和分子靶标。主要研究结果：

(1)高通量芯片检出激素性 ONFHBMSCs 中 circRNA 及 mRNA 差异表达谱，共有 820 个明显差异表达的 circRNAs，包含 460 个明显上调和 360 个明显下调；2775 个明显差异表达的 mRNAs，包含 838 个明显上调和 1937 个明显下调。分别选择 10 个差异表达最显著 circRNAs 和 10 个 mRNAs 通过 qRT-PCR 方法在 12 例 ONFH 组和 12 例对照组 BMSCs 的验证结果，与芯片结果趋势相同。

(2)通过 ceRNA 调控网络，预测出上调和下调最明显 5 个 circRNAs 潜在调控的靶 mRNAs 分别为 202 个和 99 个。上调 circRNAs 所潜在调控的靶 mRNAs 功能主要富集在 mTOR 信号通路、Notch 信号通路，干细胞多能性以及细胞自噬等信号通路，而下调 circRNAs 所潜调控的靶 mRNAs 主要富集在甘油酯代谢、生物素代谢以及 p53 等信号通路。通过对这些 mRNAs 的功能分析，预测出 CDR1as— miR-7-5p—WNT5B 分子轴在 ONFHBMSCs 的成骨成脂分化紊乱中发挥重要调控作用。

(3)通过 RNA 干扰实验发现，敲低 CDR1as 后，miR-7-5p 表达增高，增加了对下游靶 mRNA WNT5B 的抑制使其表达量下降，由于 WNT5B 可抑制 Wnt/β-catenin 信号通路中的关键因子 β-catenin，WNT5B 表达量的减低促进了 β-catenin 的表达，BMSCs 成骨分化增强，成脂分化减弱。而 CDR1as 过表达后，BMSCs 成骨分化能力减弱，成脂分化能力增强。

(4)荧光素酶报告基因实验证明了 miR-7-5p 与 CDR1as 和 WNT5B 的可结合性。同时加入 pGL6-miR-CDR1as(WT)或 pGL6-miR-WNT5B-3'UTR(WT)和 miR-7-5p mimics 后，293T 细胞的荧光量显著减低，这充分证明了 miR-7-5p 与 CDR1as 和 WNT5B 之间的结合位点以及其在细胞中的可结合性，从而首次识别了 CDR1as— miR-7-5p—WNT5B 分子轴在 ONFH 发病机理的作用。

关键词：激素性股骨头坏死；环状 RNA；骨髓间充质干细胞；ceRNA；成骨/成脂转分化

项目基金：国家自然科学基金(81702195)

通信作者：宋旸，医学博士，副主任医师。E-mail：songyangjlu@ jlu. edu. cn

基于高通量测序进行肺腺癌新抗原检测结果分析

秦续元[1]， 杜珍武[2]， 宋 旸[3]， 张楚群[1]， 张桂珍[1,2]

（1. 长春肿瘤医院 基因检测中心， 长春 130012；
2. 吉林大学第二医院 骨科研究所， 长春 130041；
3. 吉林大学第二医院 骨科医学中心， 长春 130041）

摘 要：

背景 腺癌是危害人类健康的主要疾病之一。免疫治疗是肺癌治疗领域研究的热点，肿瘤新抗原发现是提高肿瘤免疫治疗效果的关键环节。由于肿瘤特异性抗原存在个体性差异，当前发现的肿瘤抗原特异性较差，影响其在抗肿瘤免疫治疗中的应用。随着高通量测序技术与生物信息学技术的发展，逐步实现个体肿瘤组织高通量基因测序，高通量肿瘤基因测序数据为发现个体化的特异肿瘤新抗原提供了可能，从而为进一步针对个体化肿瘤抗原设计肿瘤免疫治疗方案提供理论与技术基础。**目的** 观察基于高通量二代测序技术与生物信息学检测肺癌不同肿瘤样本(肿瘤石蜡包埋组织与外周血液样本)的个体肿瘤新抗原的有效性，为个体化新抗原疫苗在肺癌临床应用研究提供实验依据。**方法** 回顾性分析长春肿瘤医院自2020年4月至2021年10月应用高通量二代测序技术联合生物信息学进行肺癌新抗原的检测结果。检测基因数目599个，检测基因突变包括点突变、缺失、扩增与基因融合。检测样本包括肿瘤石蜡包埋组织与外周血液样本。**结果** 检测肺腺癌总例数为26例，其中外周血样本6例，石蜡组织样本20例．检测到新抗原样本为18例(占比69.23%)，其中外周血样本检测到3例(检出率为50%)，石蜡组织样本为15例(检出率为75%)，二者检出率相比无显著差异(卡方精准检验 $p=0.330$)。个体发现具有新抗原基因数量不等，其中具有1个新抗原样本数目为10个(占50%)，2个新抗原样本数目为6个(占33.33%)，3个新抗原样本数目1个(占5.56%)，4个新抗原样本数目1个(5.56%)，5个新抗原样本数目1个(占5.56%)。检测出具有新抗原的蛋白包括：AKT3、ARID2、BRAF、BRCA1、CDC42、CDK12、DNMT3A、EGFR、ERBB2、ERG、GABRA6、GNAQ、KEAP1、KMT2B、KMT2C、LRP1B、MTOR、PAX5、PIK3C2G、RAC1、RAD54B、SETBP1、SH2B3、SLFN11、SLX4、STK11，其中4例样本检测到EGFR蛋白具有新抗原，抗原氨基酸序列均为HVKITDFGR。KEGG通路分析显示这些基因集中与肿瘤发生发展通路上。GO功能分析显示分子功能主要集中于蛋白激酶活性、DNA结合等，在细胞内分布主要集中于膜上及细胞核内，生物活性集中于蛋白磷酸化功能。**结论** 通过高通量测序可以从肺腺癌患者中组织样本与血液样本中检测出个体化新抗原，这些新抗原发现为进一步开展肿瘤免疫治疗提供新的靶点与新方案。

关键词：肺腺癌；肿瘤新抗原；高通量测序

项目基金：吉林省科技厅(20200404115yy)作者简介：秦续元(1995-)，男(汉)，吉林省白山市，本科。研究方向：肿瘤基因检测。E-mail：2414747451@qq.com

通信作者：张桂珍，教授。E-mail：zhangguizhenjlu@163.com

氢气对噪声性聋的有效防护时间及机制研究

石　磊，　秦含黛，　蒋晴晴，　朱玉华，　孙　勍，　郭维维，　于　宁，　杨仕明

（中国人民解放军总医院 耳鼻喉头颈外科学部，　北京　100853）

摘　要：

目的　近年研究表明氢气对噪声性聋具有良好的预防作用，但其对噪声性聋预防作用持续时间尚不明确，本实验通过建立豚鼠噪声性聋模型探索氢气预防作用持续时间及防护机制。**方法**　选用听力正常的豚鼠30只，随机等分为氢气组和噪声组，氢气组在首次脉冲噪声暴露前给予1h氢气吸入，两组动物随后每隔两小时重复施加脉冲噪声(峰值声强为163dB SPL)；实验动物每次暴露后即刻行ABR测听，重复相同剂量脉冲声直至ABR听阈≥90dB。所有实验动物在噪声暴露结束后1天、3天、7天、14天行ABR测听，结束后处死动物，取材观察透射电镜及病理组织染色。**结果**　噪声组动物在噪声暴露2h(即2×8次脉冲暴露)后监测听力，半数致聋(听阈≥90 dB SPL)；氢气组，此时间推迟至4 h左右且基底膜Myosin-7a荧光强度高于噪声组，底回外毛细胞丢失数量少于噪声组($P=0.03<0.05$)；氢气组豚鼠耳蜗底回基底膜带状突触数量减少但仍高于噪声组($P=0.65>0.05$)；透射电镜观察氢气组豚鼠半结形态好于噪声组。**结论**　给予1次氢气预防的有效持续时间为2~4 h，氢气对脉冲声造成的内耳毛细胞、突触、半节损伤均具有一定的保护效果。

关键词：噪声性听力损失；脉冲噪声；氢气；有效防治时间

参考文献

[1] Pellerin C. DoD Standardization Program Announces 2015Awards [R]. https://wwwdefensegov/Explore/News/Artic-le/Article/ 703916/dod-standardization-program-announces-2015-awards/, MARCH 24, 2016.

[2] 翟所强．军事噪声性聋的防治研究回顾[J]. 中华耳科学杂志，2013，11(3)：384-386.

[3] Recio A, Linares C, Banegas J R, et al. Road traffic noise effectson cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms[J]. Environmental Research, 2016, 146(4): 359-370.

[4] Chen L, Yu N, Lu Y, et al. Hydrogen-Saturated Saline Protects Intensive Narrow Band Noise-Induced Hearing Loss in Guinea Pigs through an Antioxidant Effect[J]. Plos One, 2014, 9(6): 774-780.

[5] Kurioka T, Matsunobu T, Satoh Y, et al. Inhaled hydrogen gas therapy for prevention of noise-induced hearing loss through reducing reactive oxygen species[J]. Neuroence Research, 2014, 89(1): 69-74.

[6] Chen LW, Han MK, Lu Y, et al. Molecular mechanisms underlying the protective effects of hydrogen-saturated saline on noise-induced hearing loss[J]. Acta Otolaryngol, 2017, 137(1): 1063-1068.

[7] Buckey JC, Use of Gases to Treat Cochlear Conditions[J]. Front Cell Neurosci, 2019, 13(1): 155-164.

项目基金：国家自然科学基金重大国际合作项目(81820108009)、国家重点研发项目(2020YFC2004001)

作者简介：石磊(1990)，男(汉族)，河北廊坊，硕士。研究方向：噪声性聋的防治。E-mail：422462591@qq.com

通信作者：于宁，副研究员。

杨仕明，教授。E-mail：yangsm301@263.net

[8] Heissler SM, Manstein DJ. Functional characterization of the human myosin-7a motor domain[J]. Cellular & Molecular Life ences, 2012, 69(2): 299-311.

[9] 费一坚. 进行性视网膜变性疾病的研究进展[J]. 中华眼底病杂志, 1999, 15(4): 262-264.
Fei Y J. Advances in progressive retinal degeneration[J]. Chinese Journal of Fundus Diseases, 1999, 15(4): 262-264.

[10] Hickman T T, Smalt C, Bobrow J, et al. Blast-induced cochlear synaptopathy in chinchillas[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 10740.

[11] 李国庆, 吕萍, 王秋菊. 隐性听力损失的发病机制及听力学表现[J]. 中华耳科学杂志, 2017, 15(2): 185-190.
Li G Q, Lv P, Wang Q J. Pathogenesis and audiologic performances in hidden hearing loss[J]. Chinese Journal of Otology, 2017, 15(2): 185-190.

[12] 杨卫平, 胡博华. 噪声暴露后耳蜗凋亡与坏死毛细胞琥珀酸脱氢酶活性的变化[J]. 中华耳科学杂志, 2007, 5(2): 198-201.

[13] Wan G, Corfas G. Transient auditory nerve demyelination as a new mechanism for hidden hearing loss[J]. Nature Communications, 2017, 8(1): 144-147.

三联入路法对翼腭窝的形态学观察

石传楷， 马建军

（吉林大学 第二医院骨科医学中心，吉林省长春市南关区自强街 218 号，130041）

摘 要：

目的 探索并创新已有入路方法，通过三联入路更全面地暴露并观察翼腭窝及其周围结构，解决翼腭窝位置深在、难以全面观察的问题，为实验教学和临床手术提供更直观的解剖学依据。**方法** 取头颅 10 具，综合采取额颞-颞下窝入路、上颌窦入路以及鼻入路等解剖学途径暴露翼腭窝，并对翼腭窝内容物、通道及周围骨性标志进行形态学观察。**结果** 翼腭窝内容物包括脂肪、筋膜、上颌动脉及其分支构成的血管层和上颌神经及其分支、翼腭神经节及其分支构成的神经层。翼腭窝经 8 个通道与其周围结构相联系，分别为距圆孔(1.23±0.13)cm 的眶下裂、位于后上方的圆孔、位于翼突内侧板根部距圆孔(0.52±0.03)cm 的翼管、位于下方距圆孔(1.90±0.23)cm 的腭鞘管、距圆孔(1.85+0.21)cm 的翼腭管、位于内侧距圆孔(0.65+0.02)cm 的蝶腭孔和位于外侧距圆孔(1.60±0.11)cm 的翼上颌裂。**结论** 三联入路可以多途径到达翼腭窝，突破其难以暴露、观察的现状，为翼腭窝区肿瘤的定位与清除提供解剖学依据。

关键词：翼腭窝；通道；应用解剖；肿瘤

通信作者：石传楷，医学硕士，吉林大学第二医院骨科医学中心。chuankai. shi@ foxmail. com

β-catenin、Bcl-2、CD99、Vimentin、SMA 在肉瘤样癌诊断中的作用初探

金　华[1]，　闫志毓[2]，　刘振华[1]，　张晓航[1]，　李　琳[1]，　朱培双[1]，　胡　海[1]

（1. 解放军总医院 第七医学中心病理科，　北京　100070；
2. 解放军总医院 耳鼻咽喉头颈外科医学部，　第七医学中心耳鼻咽喉头颈外科）

摘　要：

目的　肉瘤样癌是鳞癌的一种变异[1,2]。与肉瘤有显著的重叠，诊断困难。本文通过回顾4例肉瘤样癌病例并文献复习，学习肉瘤样癌的病理特点，探讨β-catenin、CD99、Bcl-2抗体在肉瘤样癌诊断中的作用。结果 病例1、2、3均为声带肿物。镜下大部分为异型性明显的梭形细胞(图1)，局部见形态典型的鳞状细胞癌巢。病例4为紧邻的两个食管肿物，原诊断1个为鳞癌，1个为低分化血管肉瘤，作者认为此病例诊断食管肉瘤样癌更为恰当。4个病例中，经典上皮细胞表达SMA 、Vimentin、CD99、Bcl-2、β-catenin五种非上皮标记，梭形细胞及表达上皮标记还全部表达上述五种非上皮标记。说明梭形细胞和上皮细胞有共同的SMA，CD99，Bcl-2，β-catenin抗原存在。上皮-间充质转化(EMT epithelial - mesenchymal transition)理论可解释这一现象，EMT过程中，具有不同分化能力的干细胞，完成上皮成分向肉瘤样转化，造成参与上皮细胞浆和细胞膜结构和功能的分子不同程度的缺失，如各种角蛋白，同时间充质的特征(侵袭性增强、迁移能力增强、对凋亡的抵抗能力增强以及细胞外基质的产生)增加，包括Vimentin、SMA、S-100、Fli1和CD31等分子表达，因此梭形细胞癌是鳞癌通过EMT高级别转化形成的。所有病例β-catenin在上皮细胞是膜阳为主，而在肉瘤样细胞中变成了以浆阳性为主或膜阳性明显降低(图2)，印证了研究认为一旦EMT建立，E-cadherin丢失，β-catenin释放进入细胞质的这一说法。**结论**　①粘膜部位的病变如果有肉瘤样成分时候，首先考虑肉瘤样癌。②上皮细胞和梭形细胞均表达Vimentin、SMA、β-catenin、CD99、Bcl-2提示EMT存在。③EMT是肉瘤样癌形态及表型多样性的基础。

关键词：病理诊断；肉瘤样癌；上皮-间充质转化；β-catenin；CD99；Bcl-2；Vimentin；SMA

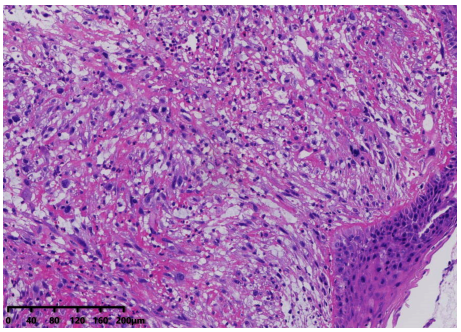


图1　上皮与梭形细胞界限清晰，梭形细胞异型性显著

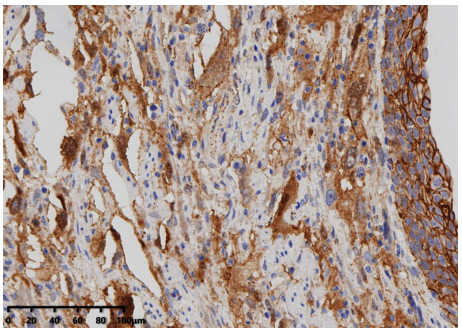


图2　异型鳞皮膜、梭形细胞浆 B-catinin(+)

作者简介：金华(1970-)，女(汉)，贵州毕节，博士，副主任医师。研究方向：消化病理，胎盘病理。E-mail：501893633@qq.com

参考文献

[1] Stacey E. Mills, Joel K. Greenson, Jason L. Hornick, et al. 斯滕伯格诊断外科病理学：上卷[M]. 回允中译，. 第 6 版 . 北京：北京大学医学出版社，2017.

[2] deAraújo A B, Serrano TLI, Pedroso MCM, et al. Clinicopathologic Diagnostic and Prognostic Factors of Spindle Cell Carcinoma of Upper Airway. Pathol Oncol Res. 2020 Apr; 26(2): 1097-1104.

[3] Choi H R, Sturgis EM, Rosenthal DI, et al. Sarcomatoid carcinoma of the head and neck: molecular evidence for evolution and progression from conventional squamous cell carcinomas. Am J Surg Pathol. 2003 Sep; 27(9): 1216-20.

[4] Kalluri R, Weinberg R. The basics of epithelial-mesenchymal transition. J Clin Invest 2009; 119: 1420-1428.

[5] Tiery J. Epithelial-mesenchymal transitions in tumour progression. Nat Rev Cancer 2002; 2: 442-454.

[6] Lamouille S, Xu J, Derynck R, et al. Molecular mechanisms of epithelial-mesenchymal transition. Nat Rev Mol Cell Biol2014; 15: 178-196.

[7] Conant JL, Peng Z, Evans M, et al. Sarcomatoid renal cell carcinoma is an example of epithelial-mesenchymal transition. J Clin Pathol 2011; 64: 1088-1092.

[8] Sarrió D, Rodriguez-Pinilla SM, Hardisson D, et al. Epithelial-mesenchymal transition in breast cancer relates to the basal-like phenotype. Cancer Res 2008; 68(4): 989-997.

[9] Takashima Y, Murakami T, Inoue T, et al. Manifestation of osteoblastic phenotypes in thesarcomatous component of epithelial carcinoma and sarcomatoid carcinoma. Tumour Biol. 2017 Jun; 39(6): 1010428317704365.

[10] Thompson L, Chang B, Barsky SH. Monoclonal origins of malignant mixed tumors (carcinosarcomas): evidence for a divergent histogenesis. Am J Surg Pathol. 1996; 20: 277-85.

[11] Torenbeek R, Hermsen MAJA, Meijer GA, et al. Analysis by comparative genomic hybridization of epithelial and spindle cell components of sarcomatoid carcinoma and carcinosarcoma: histogenetic aspects. J Pathol. 1999; 189: 338-43.

[12] Huszar M, Herczeg E, Lieberman Y. Distinctive immunofluorescence labeling of epithelial and mesenchymal elements of carcinosarcoma with antibodies specific for different intermediate filaments. Hum Pathol. 1984; 15: 532-8.

[13] Wang Y, Liu J, Ying X, et al. Twist-mediatedepithelialmesenchymal transition promotes breast tumor cell invasionvia inhibition of hippo pathway. Sci Rep 2016; 6: 24606.

[14] Mendoza A, Hong SH, Osborne T, et al. Modeling metastasis biology and therapy in real time in the mouse lung. JClin Invest 2010; 120: 2979-2988.

[15] Mikami S, Oya M, Mizuno R, et al. Invasion and metastasis of renal cell carcinoma. Med Mol Morphol 2014; 47: 63-67.

[16] Lewis JS, Ritter JH, El-Mofty S (2005 Nov) Alternative epithelial markers in sarcomatoid carcinomas of the head and neck, lung, and bladder-p63, MOC-31, and TTF-1. Mod Pathol 18(11): 1471-1481.

[17] WHO Classification of Tumours Soft Tissue and Bone tumours - 5th(1), 2020: 20.

[18] Foo W C, Cruise M W, Wick MR, et al. Immunohistochemical staining for TLE1 distinguishes synovial sarcoma from histologic mimics. Am J Clin Pathol. 2011, 135(6): 839-844.

Imaris7.0 测量豚鼠 Hensen's 细胞中脂滴的体积及分布

杨风波[1]，　吕　萍[1]，　于　宁[2]

（1. 川北医学院 附属医院，　南充　637000；
2. 解放军总医院 第六医学中心，　北京　100000）

摘　要：

目的　探索运用 Imaris7.0 图像分析处理软件测量豚鼠耳蜗中的 Hensen's 细胞中脂滴的体积及分布。方法运用 Bodipy 493/503 荧光分子探针染色豚鼠耳蜗 Hensen's 细胞，于激光共聚焦显微镜下扫描摄取图像，用 Imaris 7.0 图像处理软件分析处理脂滴的荧光图像，计算脂滴的体积及分布。**结果**　运用 Imaris 7.0 可全方位立体观察豚鼠耳蜗中的 Hensen's 细胞中分布着大小数量不等的脂滴分布，示例(图 1)；可精确的测量脂滴的体积、数量及空间分布，示例(表 1)。豚鼠耳蜗中 Hensen's 细胞脂滴体积大小区于 0.1~1000μm^3、数量 0~37 个，空间分布未发现明显规律。**结论**　Imaris 7.0 可用于豚鼠耳蜗中 Hensen's 细胞的脂滴定量、定位分析。

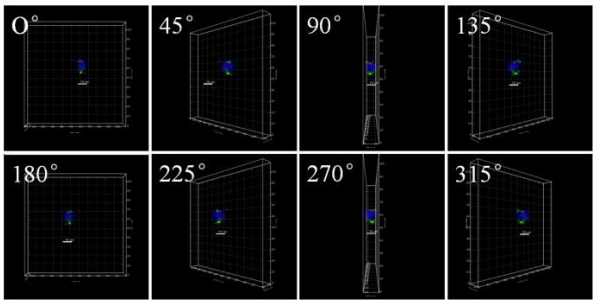


图 1　Hensen 细胞中的脂滴 360°全方位的清晰成像

以 *Y* 轴为轴心，以 45°为转角 360°的观察记录单个 Hensen 细胞中的脂滴的情况

表 1　单个 Hensen 细胞中脂滴体积及相对位置

ID	Value	Unit	Diameter	Position X	Position Y	Position Z	Unit
1	2.72	um^3	1.73	58.35	58.50	3.36	um
2	13.16	um^3	2.93	60.86	56.26	5.50	um
3	4.05	um^3	1.98	61.69	58.33	7.59	um
4	4.22	um^3	2.01	65.30	55.15	4.78	um
5	2.81	um^3	1.75	64.21	60.10	12.60	um
6	3.73	um^3	1.92	58.45	68.34	1.04	um
7	4.18	um^3	2.00	60.05	69.60	1.94	um
8	5.29	um^3	2.16	60.79	68.49	6.55	um
9	6.29	um^3	2.29	50.84	70.10	8.11	um
10	4.98	um^3	2.12	62.78	68.20	4.48	um

关键词：Hensen's 细胞；脂滴；Imaris 软件

作者简介：杨风波，男(汉)，四川，硕士研究生。研究方向：耳聋基础研究。E-mail：534200615@qq.com
通信作者：于宁，研究员。E-mail：yuning@301hospital.org

变应性鼻炎动物模型的纤毛运动功能的在体观察与分析

刘　晨

（解放军总医院 耳研所，　北京　100853）

摘　要：

目的　通过建立变应性鼻炎（AR）实验动物模型，利用在体纤毛运动分析系统，分析 AR 对纤毛上皮的功能影响，为临床疾病的诊治提供依据。**方法**　以 OVA 作为致敏原建立 AR 大鼠模型，使用在体鼻黏膜纤毛运动成像系统和高速显微摄影及图像分析技术观察 AR 病理状态下在体纤毛运动功能改变，并研究致敏原（OVA）和组胺对在体纤毛运动的影响，包括纤毛运动参数纤毛摆动频率（CBF）和纤毛摆动距离（CBD）的改变。**结果**　大鼠 OVA 致敏后可观察到鼻纤毛部分脱落、融合，在体纤毛 CBF 和 CBD 降至正常的 57.8%和 73.1%，应用抗组胺药物马来酸氯苯那敏后可使 CBF 恢复至正常的 79%。短时间组胺（小于 30min）对纤毛运动有刺激增强作用，过敏原 OVA 溶液和长时间组胺（大于 30min）则对纤毛运动具有抑制作用。相比于正常纤毛，过敏原 OVA 溶液和长时间组胺的抑制作用对 AR 纤毛有所减弱。**结论**　本研究通过卵清蛋白（OVA）致敏建立的变应性鼻炎动物模型，首次探索了 OVA 致敏导致的在体鼻纤毛运动功能改变，及其受到 OVA 和组胺刺激的影响。OVA 致敏会导致纤毛形态损害和运动减弱，短时间组胺对在体纤毛运动具有增强作用；OVA 和长时间组胺对正常在体纤毛具有抑制作用，但不会使 OVA 致敏后的纤毛运动进一步减弱。

关键词：变应性鼻炎；鼻黏膜；纤毛；在体；成像技术；组胺

基于机器学习的听性脑干诱发电位病理特征波形自动识别方法

于　宁

（解放军总医院 耳研所，　北京　100853）

摘　要：

目的　听性脑干诱发电位（ABR）作为客观听力检查是聋病诊断与防治的重要指标。ABR 虽是客观听力检查，但特征波形的识别仍需专业人员进行主观识别。存在耗时较长，判读误差大的问题，是限制和困扰临床检测能力的主要瓶颈之一。为提高听性脑干诱发电位波形识别效率，减少主观误差，本文提出一种听性脑干诱发电位特征波形的自动识别方法。**方法**　通过临床整理，采集并建立 1000 组听性脑干诱发电位波形识别的数据集，具体包含健康特征、复杂疑难患者以及背景噪声干扰等情况，并完成人工标注和验证。通过建立并验证双向多层长短期记忆网络（Long Short Term Memory networks，BiLSTMs）模型，针对 ABR 数据集拟合参数并优化，最终得到用于识别听性脑干诱发电位特征波形 512 个神经元及双向 3 层长短期记忆网络最佳结构。**结果**　选取 614 组数据进行测试，验证得出通过机器学习 ABR 波形识别率由 88%提升到 92%。**结论**　BiLSTMs 模型对 ABR 波形结构的识别理想。将进行更多的数据量以提供足够的学习信息，以满足最终的临床应用标准。

关键词：听性脑干诱发电位；BiLSTMs；神经网络模型；人工智能

人参皂苷 Rg1 通过抑制 NLRP3 减轻氧糖剥夺/复供后小胶质细胞炎症反应

王兴航[1]，　包翠芬[2]

（1. 锦州医科大学 组织胚胎学教研室；2. 锦州医科大学 基础医学实验教学中心，　辽宁 锦州　121000）

摘　要：

目的　探讨人参皂苷 Rg1 通过 NLRP3 对小胶质细胞氧糖剥夺/复供损伤后炎症反应的影响。**方法**　BV-2 小胶质细胞，常规培养后，随机分为六组：无处理组(Con)，氧糖剥夺/复供组(OGD/R)，人参皂苷 Rg1 低、中、高剂量组(剂量分别为 0.1、0.2、0.4 mmol/L，简称 Rg1L、Rg1M、Rg1H)，MCC950 对照组(0.05 mmol/L，MCC950)。采用 CCK8 法检测六组 BV-2 小胶质细胞增殖的情况；采用免疫荧光和免疫印迹法检测经不同浓度人参皂苷 Rg1 和 MCC950 作用 48 h 后，BV-2 小胶质细胞内 NLRP3 蛋白的表达。**结果**　CCK8 检测结果显示，OGD/R 处理 BV-2 小胶质细胞 2 h 后，加入不同浓度人参皂苷 Rg1 和 MCC950 培养 48 h 后，细胞增殖率呈现明显的下降趋势。免疫荧光结果显示，Con 组仅见微弱的 NLRP3 绿色荧光表达；经 OGD/R 处理后呈现明显的绿色荧光表达；低、中、高浓度人参皂苷 Rg1 和 MCC950 作用于 OGD/R 处理后的 BV-2 小胶质细胞 48 h，绿色荧光表达强度明显减弱。免疫印迹结果显示：OGD/R 组呈现明显的 NLRP3 阳性表达条带。低、中、高剂量人参皂苷 Rg1 和 MCC950 作用于 OGD/R 处理后的 BV-2 小胶质细胞 48 h 后，细胞内 NLRP3 蛋白表达水平显著下降，并且随着药物浓度的升高，表达越低。结果表明，与 OGD/R 组相比，人参皂苷 Rg1 和 MCC950 可抑制活化的 BV-2 小胶质细胞表达 NLRP3，差异有统计学意义。**结论**　人参皂苷 Rg1 可能通过抑制 OGD/R 后的 BV-2 小胶质细胞 NLRP3 的表达发挥抗炎作用。

关键词：人参皂苷 Rg1；氧糖剥夺/复供；小胶质细胞；炎症；核苷酸结合寡聚化结构域样受体蛋白 3

通信作者：包翠芬，E-mail：736466881@qq.com

GDF-15 对糖尿病小鼠心肌损伤保护作用的实验研究

王雅光

（锦州医科大学 组织胚胎学教研室， 辽宁 锦州 121000）

摘 要：

目的 探讨 GDF-15 对 STZ 所致 C57BL/6J 小鼠糖尿病心肌损伤的保护作用。**方法** 一次性腹腔大剂量注射链脲佐菌素(STZ)构建糖尿病心肌病小鼠模型。将模型小鼠随机分为模型组、PBS 对照组及 GDF-15 注射组。连续监测血糖和体重。于 30 天后采集样本，生化试剂盒检测各组小鼠血清中 GOT、CK、CK-MB 和 LDH 的表达。ELISA 检测各组小鼠血清及心肌中促炎因子 TNF-α、TGF-β、IL-1 的表达。HE 染色观察各组小鼠心肌细胞形态，免疫组织化学染色和 Western Blot 检测各组小鼠心肌中 TNF-α、TGF-β、IL-1 蛋白表达情况。**结果** 与模型组比较 GDF-15 组小鼠多饮、多食、多尿情况得到了明显改善；与模型组比较 GDF-15 组小鼠体重升高，血糖降低；与模型组比较 GDF-15 组小鼠血清中 GOT、CK、CK-MB 和 LDH 含量降低。ELISA 检测检测结果显示，与模型组比较 GDF-15 组小鼠血清和心肌中促炎因子 TNF-α、TGF-β、IL-1 水平明显下降。HE 染色结果显示，与模型组比较 GDF-15 组小鼠心肌细胞肥大、心肌间质纤维化情况明显改善。免疫组织化学检测结果显示，GDF-15 组促炎因子 TNF-α、TGF-β、IL-1 在心肌中表达明显低于模型组。Western Blot 检测结果与免疫组织化学检测结果表达一致，GDF-15 组促炎因子 TNF-α、TGF-β、IL-1 在心肌中表达也明显低于模型组。**结论** GDF-15 对糖尿病心肌损伤有一定的保护作用。GDF-15 可能是通过抑制炎症反应减轻糖尿病心肌损伤。

关键词：C57BL/6J 小鼠；糖尿病；心肌损伤；GDF-15

通信作者：王雅光，E-mail：49365960@ qq. com

自噬相关蛋白 AKT、mTOR 和 LC3A 在小鼠海马发育中的表达

陈菲雁，　张　莉

（锦州医科大学 组织胚胎学教研室，　辽宁 锦州　121000）

摘　要：

目的　观察胚龄(E)18 天(d)和生后日龄(P)为 1 d、7 d、14 d、21 d、28 d 的小鼠海马中自噬相关蛋白丝氨酸/苏氨酸激酶 AKT、哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mTOR)和微管相关蛋白 1 轻链 3A(LC3A)的表达变化。**方法**　取各时间点的胎鼠和仔鼠海马。HE 和 DAPI 染色观察海马形态，计数齿状回(DG)颗粒细胞层和阿蒙角(CA)锥体细胞层细胞。免疫组化、免疫印迹结合图像分析检测 AKT、mTOR 和 LC3A 的表达。结果：HE 染色和 DAPI 染色发现，E18 d~P21 d，海马 DG 区和 CA 区分子层和多形层均逐渐增厚。其中，颗粒层和锥体细胞层细胞由小变大，染色由深变浅。细胞数量先增加、P7 d 最多、之后减少($P<0.01$)。P28 d，海马形态接近成年海马，细胞数量无明显增加($P>0.05$)。免疫组化染色发现，E18 d，海马 CA 和 DG 区 AKT、mTOR 和 LC3A 阳性细胞稀疏，色浅，光密度低；E18 d~P7 d，阳性细胞逐渐密集，染色加深，光密度增高，P7 d 达高峰($P<0.05$)。P14 d~P21 d，阳性细胞密集程度降低，染色变浅，光密度降低($P<0.05$)；P28 d，除 LC3A 的表达进一步降低外($P<0.05$)，AKT 和 mTOR 的表达都与 P21 d 无差异($P>0.05$)。免疫印迹检测发现，E18 d~P7 d，三种蛋白的表达均逐渐增高，P7 d 达高峰($P<0.01$)；P14 d~P21 d，表达逐渐降低($P<0.01$)；P28 d，mTOR 和 LC3A 的表达仍进一步降低($P<0.01$)，AKT 的表达与 P21 d 无差异($P>0.05$)。**结论**　自噬相关蛋白 AKT、mTOR 和 LC3A 在小鼠海马发育过程中高表达，自噬与小鼠海马发育密切相关。

关键词：海马；发育；丝氨酸/苏氨酸激酶 AKT；哺乳动物雷帕霉素靶蛋白；微管相关蛋白 1 轻链 3A

通信作者：张莉，E-mail：ln_ zhangli@126.com

放射损伤修复模型中对肠道干细胞的评估策略和相关进展

杨贽帆， 金琳博， 张 宁， 程天民， 粟永萍， 王锋超

（陆军军医大学 全军复合伤研究所， 重庆市沙坪坝区高滩岩 400038）

摘 要：

肠上皮细胞由于更新快，对电离辐射高度敏感，因此放射性肠损伤在急性放射病以及腹部肿瘤病人放疗后均常见。随着研究者对肠道干细胞以及其再生修复病理机制的认识逐渐深入，对肠道干细胞损伤的评估策略也呈现多样性。传统的病理评估主要通过计数辐射后再生阶段隐窝克隆形成的数量来代表残存干细胞的数量以及肠上皮再生能力。如果用自我更新以及分化潜能来定义肠干细胞，目前比较公认的活跃干细胞群是 Lgr5+干细胞，其高表达一些特征性基因例如 Lgr5、olfm4 等。构建 Lgr5 报告基因小鼠以及染色相关的干细胞标记成为评估干细胞辐射损伤的重要手段。但目前在功能上评估存活干细胞仍需依赖谱系示踪技术，即利用干细胞基因驱动的 CreERT 系统和包含 Flox-Stop-Flox 元件的报告小鼠杂交，在辐射前诱导标记并在辐射后组织再生阶段观测形成“子代条簇”的多少。谱系示踪还可以为一些具有克隆形成能力的非 Lgr5 干细胞提供研究手段，证实一些被称为静止期的或者能重新被激活的隐窝细胞也能在肠上皮损伤后重建中起作用。另外还可以根据表面标记组合，利用流式细胞的方法分析特定的具有克隆形成能力的细胞群在辐射前后的变化。类器官培养为肠干细胞体外辐射模型提供了基础，但是一直缺乏自动化和客观的评估方法，最近我们建立了简便的 MTT 染色合并微距成像系统，结合软件可自动计算克隆吸光度值、面积等指标；并定义了“类器官单元”作为量化和评估再生类器官克隆的参考，为放射生物学研究、药物筛选等领域提供了新的方法。

关键词：放射损伤；肠道干细胞；类器官

项目基金：国家自然科学基金（81872556），重庆市科技创新专项（cstc2017shmsA130062），重庆市科技创新引导专项（cstc2018jcyj-yszxX000），军队后勤重大项目（AWS17J007）

作者简介：杨贽帆（1989-），男（汉），籍贯重庆市大足区，本科。研究方向：辐照损伤对肠道干细胞的影响。E-mail：yang1269043@163.com

通信作者：王锋超，教授。E-mail：fengchao.w@foxmail.com

基于图像分析的 DNA 倍体定量分析在宫颈上皮内瘤变及癌变细胞学筛查中的意义

陈　威[1]，　谭敏华[1]，　周泳健[1]，　黄文彦[1]，　李　玲[1]，　安建虹[2]，　申　洪[3]

（1. 肇庆市第一人民医院 病理科，　肇庆　526000；
2. 华南理工大学 医学院，　广州　510006；
3. 南方医科大学 基础医学院病理学系，　广州　510515）

摘　要：

目的　科学评价宫颈细胞 DNA 倍体定量分析在宫颈上皮内瘤变(CIN)及癌变筛查中的价值。**方法**　以宫颈病理活检确诊为金标准，对 1113 例宫颈 DNA 倍体定量分析结果进行诊断试验评价。**结果**　异倍体(+)，包括(1+)和(2+)，共 863 例；其中病理组织学确诊为宫颈上皮内瘤变和癌变的病例共 377 例，包括 CINⅠ127 例，CINⅡ和Ⅲ229 例，癌 21 例；其余 486 例为阴性。异倍体(-)共 250 例，其中病理组织学确诊为阴性(非宫颈上皮内瘤变及宫颈癌变)有 232 例，CINⅠ16 例，CINⅡ和Ⅲ 2 例，宫颈癌 0 例。异倍体(+)筛查 CIN 及癌的灵敏度、特异度、标准化准确度、标准化阳性预告值和标准化阴性预告值分别为 95.4%、32.3%、63.9%、58.5%、87.5%；筛查 CINⅡ、Ⅲ及癌时分别为 99.2%、28.8%、64.0%、58.2%、97.3%；单纯筛查宫颈癌时分别为 100%、22.9%、61.5%、56.5%、100%。异倍体(2+)筛查 CIN 及癌时分别为 77.2%、87.5%、82.4%、86.1%、79.3%；筛查 CINⅡ、Ⅲ及癌时分别为 90.1%、80.5%、85.3%、82.2%、89.0%；筛查宫颈癌时分别为 90.5%、65.5%、78.1%、72.5%、87.4%。**结论**　以异倍体(+)筛查 CIN、CINII+III 及宫颈癌的灵敏度高，分别为 95.4%、99.2%和 100%，标准化阴性预告值分别高达 87.5%、97.3%和 100%，但特异度低，标准化准确度为 61%~64%，标准化阳性预告值为 56.5%~58.5%。因此，DNA 倍体分析能有效筛查宫颈癌和宫颈高级别上皮内瘤变，不易漏诊，但确诊能力低，对于筛查阳性病例须进一步活检确诊。以确诊而不是筛查为目的宫颈上皮内瘤变和宫颈癌的细胞学检查，则不宜采用宫颈细胞学 DNA 倍体分析检查。

关键词：DNA 倍体；CIN；诊断试验评价；宫颈癌；筛查

Diagnostic test evaluation on DNA alloploid quantitative analysis in cytological screening of cervical intraepithelial neoplasia and canceration

CHEN Wei，　TAN Minhua[1]，　ZHOU Yongjian[1]，　HUANG Wenyan[1]，
LI Ling[1]，　AN Jianhong[2]，　SHEN Hong[3]

（1. Department of Pathology，First People's Hospital of Zhaoqing，Zhaoqing 526000；

通信作者：申洪，E-mail：shenhong2010168@163.com

2. School of Medicine, South China University of Technology, Guangzhou 510006;
3. Department of Pathology, School of Basic Medical Science, Southern Medical University, Guangzhou 510515)

Abstract: Objective To scientifically evaluate the value of quantitative analysis of cervical cell DNA ploidy in screening of cervical intraepithelial neoplasia (CIN) and canceration. **Methods** Using cervical pathological biopsy diagnosis as the gold standard, 1113 cases of cervical DNA ploidy quantitative analysis results were evaluated by diagnostic test. **Results** There were 863 patients with alloploidy (+), including (1+) and (2+). The cases of cervical intraepithelial neoplasia and cervical cancer by histologic diagnosis were 377 cases, including CIN Ⅰ 127 cases, CIN Ⅱ and Ⅲ 229 cases, cervical cancer 21 cases; The other 486 cases were negative. Heteroploid (-) with 250 cases, of which the pathological diagnosis of negative (non cancer and cervical intraepithelial neoplasia) with 232 cases, CIN Ⅰ 16 cases, CIN Ⅱ and Ⅲ in 2 cases, 0 cases of cerical cancer. The sensitivity, specificity, standardized accuracy, standardized positive predictive value and standardized negative predictive value of screening for CIN and cancer based on the aneuploidy (+) were 95.4%, 32.3%, 63.9%, 58.5%, and 87.5%, respectively. When screening for CIN Ⅱ, Ⅲ and carcinoma, these were 99.2%, 28.8%, 64.0%, 58.2%, 97.3%; When screening only for the cervical cancer, were 100%, 22.9%, 61.5%, 56.5% and 100%, respectively. When screening for CIN and cancer, were 77.2%, 87.5%, 82.4%, 86.1% and 79.3%, respectively. When screening for CIN Ⅱ, Ⅲ and carcinoma, were 90.1%, 80.5%, 85.3%, 82.2%, 89.0%; Cervical cancer screening was 90.5%, 65.5%, 78.1%, 72.5% and 87.4%, respectively. **Conclusions** The sensitivity of screening for CIN, CINII+III and cervical cancer was high, as 95.4%, 99.2% and 100%, respectively, and the standardized negative predictive value was high as 87.5%, 97.3% and 100%, respectively, when screening based on the alloploidy (+). However, the specificity was low, the standardized accuracy was 61%-64%, and the standardized positive predictive value was 56.5%-58.5%. Therefore, DNA ploidy analysis can effectively screen for cervical cancer and high-grade intraepithelial neoplasia of the cervix, which is not easy to be missed, but has low diagnostic capacity, and further biopsy diagnosis is required for screening positive cases. So, it is considered that cervical cytological DNA ploidy analysis is useful for screening, but it is not suggested as the final pathological diagnosis.

Key words: DNA ploidy; CIN; diagnostic test evaluation; cervical cancer; screening

参考文献

[1] Siegel R L, Miller K D, Jemal A. Cancer statistics, 2020[J]. CA Cancer J Clin. 2020, 70(1): 7-30.

[2] Huang Y E, Huang Z Y, Lin N, et al. Stepwise Discriminant Analysis of Liquid-Based Cytology Based on Nucleus Morphological and Colorimetric Parameters[J]. Analytical and Quantitative Cytopathology and Histopathology, 2016, 38(4): 255-261.

[3] 孙小蓉, 汪键. DNA 定量细胞学[M]. 湖北科学技术出版社, 2006: 85-90.

[4] 申洪, 陈清. 行列式资料诊断试验评价方法研究[J]. 中国卫生统计学杂志, 1992, 9(2): 24-27.

项目基金: 广州市科技计划项目资助(201300000192)和肇庆市科技创新指导类项目(201904031417)。

作者简介: 陈威(1985-), 男(汉), 广东省肇庆市, 本科。研究方向: 宫颈细胞学诊断。E-mail: imvvchen@163.com
通信作者: 申洪, 教授, 博士生导师, 主任医师。E-mail: shenhong2010168@163.com

[5] Shen H, Chen Q. New concepts and methods of standardizing predictive value, accuracy and incorrect diagnostic rate[J]. Anal quant cytol histol, 2000, 22 (1): 76-79.
[6] Garner D. Clinical application of DNA ploidy to cervical cancer screening: A review[J]. World J Clin Oncol. 2014, 5(5): 931-965.
[7] 孙小蓉，李玉兰，车东媛，等. 用细胞 DNA 定量分析方法进行宫颈癌普查的临床研究[J]. 诊断病理学杂志，2005，12 (1)：17-21+89.

衰老小鼠脑组织中锌转运体的表达变化

胡　峪，　田　鹤

（锦州医科大学 基础医学院组织学与胚胎学教研室，　辽宁 锦州）

摘　要：

衰老是一种复杂的生理病理现象，大脑是人体耗氧量最大的器官，对衰老非常敏感。脑组织中富含锌离子，锌离子的稳态与神经元功能关系密切。锌离子不能自由通过生物膜，其运输主要依靠锌转运体(Zinc transporters，ZnT)家族和锌转运蛋白家族(Zrt-Irt like proteins，Zip)。本研究通过 Morris 水迷宫实验检测小鼠的学习记忆能力；应用形态学，体视学和分子生物学技术检测锌转运体 ZnT1、ZnT3、ZnT6 和 ZnT10 在青年和衰老小鼠脑组织中的表达。结果证实老年小鼠认知能力显著下降，脑组织中神经元数量明显少于青年小鼠。ZnT1、ZnT3、ZnT6 和 ZnT10 均表达于神经元，与青年小鼠相比，老年小鼠脑海马组织中 ZnT1、ZnT3 和 ZnT6 的表达呈不同程度的减弱，ZnT10 表达高于青年小鼠。锌转运体表达的异常影响神经元功能，与衰老小鼠认知能力的下降有一定的关系。

关键词：锌转运体；衰老；小鼠；认知

项目基金：辽宁省教育厅青年科技人才“育苗”项目(No. JYTQN201917)
作者简介：胡峪(1998-)，女，山西忻州人，硕士生
通信作者：田鹤，副教授。E-mail：tianhe@jzmu.edu.cn

生物信息学在挖掘乳腺癌标志物的应用

魏　昕[1]，　刘　霞[1,2]，　施　琳[1,2]，　云　芬[1,2]，　安彦榕[1]，　康畅元[1]，　贾永峰[1,2]

（1. 内蒙古医科大学 基础医学院，　内蒙古自治区 呼和浩特市　010000；
2. 内蒙古医科大学 附属医院 病理科，　内蒙古自治区 呼和浩特市　010000）

摘　要：

生命科学和计算机科学的发展为这两种学科的交互融合带来了理论基础，生物信息学应运而生，这是一种通过计算机工具对生物信息进行存储、分析的科学，可以在数以万计的生物数据中来获取有用的信息。乳腺癌作为现在关注度最高的癌症之一，生物信息学方法在乳腺癌标志物的挖掘中扮演着重要的角色：利用 R(及其插件)等软件进行差异分析从而发现标志物在肿瘤和正常组织中表达的差异；或者运用共表达分析和富集分析构建出表达网并探究其所涉及的生物学活动；同时利用各种开放式的生物信息学工具(如 Oncomine、LncATLAS、STRING 等)，也可以更便捷的挖掘各类数据库的信息，从而在寻找信号通路，靶点的过程中节约时间和精力；或者对于开发新的药物，优化实验流程，寻找更适宜的治疗方案有着指导作用。

关键字：肿瘤；标志物；乳腺癌；生物信息学

Application of bioinformatics in mining breast cancer markers

WEI Xin[1]，　LIU Xia[1,2]，　SHI Lin[1,2]，　AN Yanrong[1]，　KANG Changyuan[1]，　JIA Yongfeng[1,2]

（1. Basic Medicine of Inner Mongolia Medical University，Hohhot，Inner Mongolia 010000，China；
2. Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University Pathology，Hohhot，Inner Mongolia 010000，China）

Abstract：The Bioinformatics emerge under development of Biology and Computer Science，which is a science of storing and analyzing biological information through computer tools. And it basics for the interaction and integration of these two disciplines. It can be obtained from thousands of useful biological data. Breast cancer has became one of most attention cancer and bioinformatics play a key role in the mining of breast cancer markers：The difference analysis was carried out by using RStudio（and its plug-ins）to find the difference in the expression of markers between tumor and normal tissues. Using co-expression analysis and enrichment analysis to construct an expression network and explore the biological activities in-

基金项目：2019 年内蒙古自治区应用技术研究与开发项目：乳腺癌新型标志物筛选、鉴定与临床应用的初步研究(编号：2019GG083)

作者简介：魏昕(1995-)，男，硕士研究生在读，病理学与病理生理学专业。E-mail：wxc060302@163.com

通信作者：贾永峰(1973-)，男，博士，教授，研究方向：肿瘤病理诊断与分子病理学研究。E-mail：yfjia0471@163.com

volved. ; A variety of open bioinformatics tools (Oncomine, LncATLAS, STRING, etc.) to deeply mine the information of all kinds of databases. It can save time and energy in the process of finding signal pathways and targets, or play a guiding role in developing new drugs, optimizing experimental procedures, and finding more suitable treatment options.

Key words: tumor; biomarker; breast cancer; bioinformatics

0　引言

随着计算机科技的发展和生物实验手段的进步，利用生物学、统计学和计算机科学来探索生物奥秘的方法逐渐兴起，运用信息学方法和计算机工具在数以万计的生物数据中来获取有用的信息，以生物芯片为代表等高通量方法为大规模基因组和蛋白质组研究打下坚实的基础[1]。在肿瘤标志物的研究中，传统的研究方法耗时长、效率低、不经济，很难满足当今对于挖掘新的肿瘤标志物的需求，高效经济的进行标志物的相关研究逐渐成为主流。在肿瘤相关研究中生信分析的方法也有着较为广泛的运用，例如在结直肠癌的研究中通过富集分析，转录组图谱等方式绘制了热图，对相关基因进行表达水平的展示，证明了一种动物模型可用作为人类研究的案例，免去了要反复验证的麻烦[2]；通过在线工具发现了几种前列腺癌的新的标志物[3]；通过差异分析、富集分析等方式对卵巢囊性畸胎瘤标志物进行研究等[4]。

乳腺癌一直都是公众和研究者关注的重点话题，患病人数也远高于其他的癌症(仅次于肺癌)[5]，多年来的研究已经催生出众多的治疗方法，例如手术、化疗、放射治疗、内分泌治疗和分子靶向治疗等，因此，寻找抗肿瘤药物的靶点和生物标志物仍然是至关重要的[6]。本文以转录组和蛋白质组的研究为主，通过对近期发表关于乳腺癌诊断、预后和治疗标志物研究的归纳，挖掘出其所用的生物信息学方法并做出总结，并对一些常见的生物信息学工具进行综述。

1　运用差异分析探究标志物在不同类型组织中表达的差异

生物体内基因的表达会随着不同的时间，位置或者刺激下发生变化，一些基因的表达在肿瘤和正常组织可能会存在差异，如果可以找到这些差异基因将会对肿瘤的诊断和治疗起着重要的作用。所以近年来出现了以生物芯片等大规模高通量测序技术作为基础的数据库[7]，例如包含数十种肿瘤基因变异信息以及临床样本信息、可以进行大规模的全球基因表达谱分析和数据库挖掘的癌症和肿瘤基因图谱(TCGA)和包含高通量测序结果的基因表达总表数据库(Gene Expression Omnibus，GEO)[8]研究者可以利用 R 等统计软件(及插件)，或者利用各种便捷的可视化工具，以不同组间的差异倍数(fold charge)和差异显著性(p-value)定义出差异基因(DEGs)。在找出 DEGs 后可以对其所发挥的生物学功能进行进一步研究。

在实际应用中，我们可以在用生物信息学方法筛选出疑似为肿瘤标志物的基因或者蛋白质，随后用实验来验证。例如 Sun 等人在对 E2F 转录因子(E2Fs)的研究，E2F 在人类乳腺癌中具有复杂而独特的作用，E2F1 被报道参与乳腺癌的发生和调节 Nanog 基因的表达，或是作为共激活因子 HBXIP 诱导 PKM2 的表达，进而促进 ER+乳腺癌细胞的增殖[9]；E2F3 促进乳腺癌的生长和转移[10]。作者先利用 Oncomine、GEPIA 等工具调查了 E2Fs 的转录和生存数据，得出了乳腺癌患者中各个 E2Fs 的转录水平以及预后情况[11]。

Oncomine 是一个癌症微阵列数据库和基于 Web 的数据挖掘平台[12]，旨在通过全基因组表达分析从而发现有研究和临床价值的癌基因和抑癌基因。通过其收录的数据库可以进行差异分析、共表达分析等功能，亦可以分析某个标志物的表达在肿瘤中临床生存和预后的相关性，并生成直观化的图表[13]。已成功地用于通过生物信息学分析在各类癌症中探索新的、非侵入性的生物标志物。GEPIA 是一个用于癌症和正常基因表达谱分析的在线交互式工具，可以提供可定制的功能，如肿瘤/正常差

异表达分析、根据癌症类型或病理阶段进行分析、患者生存分析、相似基因检测、相关性分析和降维分析等，用户可以直接明了的挖掘癌症基因组学大数据的信息，从而将数据的价值利用最大化[14]。

根据对 Oncomine、GEPIA 等的结果以及采用免疫组织化学方法(IHC)检测 E2F 蛋白在乳腺癌组织及癌旁组织中的表达发现：E2Fs 家族中 E2F1、E2F2、E2F3、E2F5、E2F7 和 E2F8 蛋白在乳腺癌中的水平较其他癌组织均有显著增高，在不同的病理分型中不同类型的 E2Fs 蛋白表达情况也各有差异。E2F4 和 E2F6 的 mRNA 水平降低与所有乳腺癌患者的总生存期(OS)、无进展生存期(FP)和进展后生存期(PPS)显著相关。E2F1-3、5、7 和 8 的高表达也可以作为识别乳腺癌高危亚群的分子标志物，也有可能会作为未来乳腺癌治疗的潜在靶点，E2F4 和 E2F6 的 mRNA 可能是和乳腺癌生存率和预后密切相关的预后标志物[11]。

microRNAs(miRNAs)是一种小的非编码 RNA，在转录后水平上负向调节基因的表达[15]。研究表明，miRNAs 经常在人类癌症中异常表达，并与肿瘤的发生、转移、侵袭性和耐药性有关[16]。

为了鉴定与乳腺癌化疗耐药相关的 miRNAs，Wang 等人从 GEO 数据库下载了包括 5 个乳腺癌耐药组织和 5 个化疗敏感组织的 miRNA 微阵列数据集 GSE71142，对耐药和敏感标本进行 t 检验；随后，用 HEMI(Heatmap Illustrator)软件对各组的平均值进行聚类分析，获得差异表达的 miRNAs(DE-miRNAs)[17]。与化疗敏感组织相比，共筛选出 22 个 DE-miRNAs，其中 10 个在化疗耐药的乳腺癌组织中上调，12 个下调，miR-196A-5p、miR-4286 和 miR-200b-3p 是表达上调最多的 3 个 miRNAs，miR-4472、miR-4467 和 miR-572 是表达下调最多的 3 个 miRNAs。为随后的富集分析做下了基础。

2 共表达网络的构建与关键基因的发现

众所周知，单个基因的活动很少能影响到整个系统的改变，肿瘤也是如此。在肿瘤的生长和扩散的过程中通常是多个基因共同作用造成的[18,19]。只针对单个基因的研究在肿瘤标志物的研究中往往是不全面的，在临床诊断中单个标志物的检测有时会存在假阳性或者假阴性的结果，敏感性或特异性不高，难以满足临床要求[20]，从而影响患者的诊断和治疗，多标志物的联合检测逐渐成为主流。但是，传统方法短时间内寻找出多个标志物并不是一件容易的事情，测量数据的维数通常很高，而且还在不断增加[21]。寻找与目标基因的共表达的基因似乎是个很有价值的方向。

共表达网络分析(Co-expression Network Analysis)目的在于寻找一类有着类似性质，可以共同调控生物活动的基因或者蛋白质，借助分子之间共表达关系的计算，可将分子与分子、分子与功能汇总形成网络，促进功能差异的系统阐释[22]。例如 Fan 等人关于乳腺癌中干扰素刺激基因 UBA7 如何影响干扰素调控网络的研究：I 型干扰素(IFNs)通过 Janus 激酶(JAK)信号转导和转录激活因子(STAT)途径，导致数百个干扰素刺激基因(ISGs)的激活，这些 ISG 中的每一个都可能激活一个通路，而多个激活的通路共同作用于整体的抗肿瘤效应[23]。其中一个 ISG 编码类泛素修饰激活酶(UBA7)，通过一种叫“蛋白 ISG 化(ISGylation)”的过程中催化 ISG15 和其他的细胞蛋白结合，从而传播 IFN 刺激的效应，还介导其他 ISG 网络的 ISG 化，包括 STAT1 和 STAT2，并诱导趋化因子受体配体并吸引细胞毒性 T 细胞[24]。

随后为了了解蛋白 ISG 化如何抑制肿瘤生长，作者利用 TCGA 数据库分析了与 UBA7 共表达的基因，发现有 700 多例与其有关。使用 646 个与 UBA7 唯一相关的基因进行通路分析发现几个典型的途径均与 T 细胞相关。分析还揭示了趋化因子的信号通路，在所有检测的趋化因子和趋化因子受体中，主要表达在活化 T 淋巴细胞上的 CXCR3 与 UBA7 的表达相关性最高。因此作者推测 UBA7 的抑瘤作用可能被肿瘤微环境中的 T 淋巴细胞进一步增强[25]。

加权基因相关网络分析( )在探究基因集与临床特征之间的联系方面已经获得了广泛的应用[26]，并已经发现了与乳腺癌等预后相关的新的生物标志物[6]。WGCNA 可以构建基因共表达网络，描述基因之间的作用模式，不仅考虑了两个关联基因之

间的关联性，还考虑了这些关联基因的在生物活动中扮演了什么样的角色。Wang 等人利用 R 的 WGCNA 软件包，将从 GEO 数据库下载的 4000 余个乳腺癌细胞系的转录图谱进行分析，得出了它们的共表达网络，并筛选和验证与乳腺癌进展和预后不良相关的关键基因。

首先通过聚类的方法得出了与乳腺癌临床亚型显著相关的关键模块(在共表达网络中，具有高度绝对相关性的基因被聚为同一模块)：用模块特征基因(Module eigengene，ME)总结了每个模块的表达谱，并计算了模块与临床亚型之间的相关性；通过基因显著性(Gene significance，GS)值来量化单个基因与每个亚型；模块显著性(Module significance ，MS)是指模块中所有基因的平均显著性。在所有模块中 MS 绝对排名靠前的模块通常被认为是与临床特征相关的候选模块，并选取与乳腺癌临床亚型高度相关的模块进行进一步分析。[6]

不过这些模块通常包含着诸多待筛选的基因，需要对模块中基因的生物作用进行解释，通常会通过中介中心度(Betweenness centrality)的特点在共表达网络中找出高度连接的关键基因(HUB 基因)，然后，利用 R 包时间图将各个模块的 HUB 基因可视化为网络，并利用加权度得分对候选基因进行筛选和排序，以进行更深入的研究(例如富集分析等)。最后确定了 TXN、ANXA2、TPM4、LOXL2、TPRN、ADCY6、TUBA1C 和 CMIP 是与乳腺癌的进展和不良预后相关的关键基因。

3　乳腺癌标志物生物功能的挖掘

在肿瘤标志物的研究中，我们不可避免的要涉及到这种标志物在致癌过程中究竟扮演着怎样的角色，它的调控是通过什么方式实现的？如果按照传统方法必然会浪费大量的时间精力。随着基因芯片技术的发展，大通量的数据结合统计分析工具可以直接针对全基因组基因表达谱信息来进行分析，从中鉴定出案例和对照状态下在研究对象中发生显著表达差异的生物通路，揭示其中的生物学分子机制[27]。基因富集分析(Enrichment analysis)方法应运而生，并开发出来诸如 DAVID、STRING、Metaspace 等可视化工具以及基因本体注释(GO)和京都基因和基因组百科全书分析(KEGG)等数据库。譬如利用 GO 可以根据数据库中的生物学过程(Biologieal proeess，Bp)、细胞成分(Cellular component，CC)、分子功能(Moleeular foetion，MF)对基因进行注释[28]；利用 KEGG 数据库将标志物所参与的生物活动以及参与的信号通路从众多的数据中挖掘出来；利用 STRING 和 Cytoscape 来评价蛋白质与蛋白质的相互作用(PPI)，并生成 PPI 的网络图。反过来，通过对不同生物活动或者信号通路的分析，也可以进行两组或多组基因集的筛选，从而起到了差异分析的作用。

三阴乳腺癌(TNBC)是乳腺癌中恶性程度最高的亚型，其侵袭性强，转移几率大，预后较差，一般的方法难以进行治疗[29]。Rigiracciolo 等人为了确定在三阴乳腺癌中可能与胰岛素样生长因子-1(IGF-1)/胰岛素样生长因子-1R(IGF-1R)相关的通路，对在 TNBC 中 IGF-1/IGF-1R 高表达的数据组进行了 GeneCodis3 通路分析。然后，为了探究 IGF-1/IGF-1R 信号调控的网络，利用 KEGG 对基因进行分析。发现在鉴定的 25 条 KEGG 途径中，焦点粘附是最为显著的途径。

随后查询乳腺癌分子分类国际联合会(METABRIC)数据集发现在高 IGF-1/IGF-1R 表达水平的 TNBC 队列中有 1243 个基因过度表达。进行 Genecodis3 通路分析，在识别的 29 条丰富的 KEGG 通路中，焦点粘附仍然是最为显著的途径。这些观察结果强调了在 TNBC 中 IGF-1/IGF-1R 介导的作用中焦点黏附通路的潜在作用[30]。

在对于乳腺癌的发生、进展和转移机制的研究中，乳腺癌干细胞(Breast cancer stem cells，BCSCs)扮演着十分重要的角色[31]。BCSCs 可以进行增殖和分化，被认为是肿瘤进展的重要原因之一，对于癌症干细胞的靶向治疗将对患者的治疗效果和预后有着一定的作用[32]。

Liu 等人使用 ALDH 和 CD24/CD44 生物标记物的组合来对从三阴性乳腺癌(TNBC)患者来源的异种移植中分离出来的四个群体进行排序，并对每个群体进行全转录组测序，系统地比较了 BCSCs 的三种状态(ALDH+CD24-CD44+、ALDH+非 CD24-

CD44+和 ALDH 81 CD24-CD44+)与分化的肿瘤细胞(ALDH-非 CD24-CD44+)的差异。并将 ALDH+CD24-CD44+ BCSCs 与另外两个阴性群体进行了比较。在 ALDH+CD24-PTGR1+ BCSCs 中，研究者发现 P4HA2、PTGR1 和 RAB40B 是潜在的预后标志物，它们实际上与 TNBC 细胞中 BCSCs 的状态和肿瘤的生长有关。对 BCSCs 的三个子集和分化的肿瘤细胞进行了配对比较，对于共有的 BCSC 的所有状态，交集集中有 391 个。GO 分析表明，这 391 个 DEG 参与了细胞对缺氧的反应、细胞粘附、细胞外基质组织、细胞周期等。为了表征 BCSC 的每个状态的独有转录特征，研究者重叠了三个配对比较的 DEG，并发现每个状态都有自己独特的 DEG，通过 GO 分析和 KEGG 通路分析，发现 ALDH+CD24 81 CD44-BCSCs 在 p53 信号通路、调节干细胞多能性的信号通路以及肿瘤中心碳代谢等方面与其他细胞群不同[33]。

Li 等人利用 GEO 数据库中的数据集，采用最大相关最小冗余法(mRMR)对数据集中涉及到的基因进行重要性排序，筛选作为表达谱中显著差异表达的基因。随后利用 STRING 工具绘制了蛋白质-蛋白质相互作用(PPI)网络上的基因转录本，并追踪了每对蛋白质之间的最短路径，从最短路径蛋白中筛选出价值较高的基因。在 PPI 网络中随机选择了 248 个蛋白质进行最短路径追踪，并重复了 100 次，移除了在随机结果中出现频率更高的基因，最后筛选出 54 个基因作为潜在的 TNBC 相关基因，KEGG 通路分析表明，这 54 个基因中的大部分可能与病毒致癌有关[34]。

蛋白质在 PPI 网络中的重要性由其拓扑属性确定，例如它所连接的蛋白质的数量[35]、蛋白质与其他蛋白质之间通信的能力[36]、两个节点之间的最短路径上的节点数[37]、接近中心性(与图中所有其他节点之间的最短路径的平均长度成反比)[38]和聚类系数(测量网络中的边的密度)。一个节点代表蛋白质，一条边代表蛋白质之间的许多相互作用，利用 STRING 工具可以清晰直白的将这些关系展现出来。STRING 由 EMBL、SIB 和 UZH 共同开发管理，包含各种蛋白质相互作用的数据库。数据来源主要为文献报道的蛋白质相互作用信息以及通过共表达研究、高通量实验和基因组信息分析预测的结果，描述的相互作用关系包括生理上的直接相互作用和功能上的间接相互作用[39]。通过 STRING 得到的数据可以下载，并在 Cytoscape 上进一步修饰更改。

4 多种生物信息学工具的联合应用

Zhang 等人发现既往的研究只关注了标志物间的主效应，关于但是这些标志物基因间的效应却少有提及，于是作者就运用了独立筛选和套索回归等方法对来自多个数据库的 DNA 甲基化和基因表达数据进行了两阶段的综合研究。

对生物标志物之间的主效应分析采用了确定性独立筛选(SIS)和套索(Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)回归的方法：首先用 SIS 筛选出与生存最有关联的生物标记物，随后利用套索在上一阶段选择的生物标志物中同时进行变量选择和参数估计。对于基因-基因交互作用分析，应用组织学分层多变量 Cox 比例风险模型对上述协变量进行调整，以确定具有基因-基因交互作用的生物标记物。对于识别出的生物标记物，建立了多生物标记物 Cox 比例风险模型，并在 TCGA 数据库样本中进行了验证。基于上述结果建立了跨组学预后评分，评分在高于五分位数的 3 年和 5 年存活率较低，可以检测出死亡风险较高的患者。就利用了这一方法创建了一套预后预测模型以用于肿瘤的预后评价[40]。

同样是在乳腺癌中挖掘 LncRNA 标志物，Li 等人从 TCGA 中提取并鉴定了乳腺癌的转录本数据，并进行了包括差异分析、WGCNA、聚类分析、富集分析、生存分析等操作，确定了在临床研究和治疗中有前景的几个 LncRNA 候选基因。

首先通过统计学方法计算出这些转录本数据中在肿瘤和正常组织中的差异，随后利用这些差异表达的蛋白质编码基因(PCGs)和 LncRNAs 进行聚类分析，以评估总体基因表达；通过 WGCNA 构建了一个共表达网络，并根据模块-性状关系选择一个模块，筛选出 4 个核心 LncRNA HOTAIR、SNHG16、HCP5、TINCR 和 37 个核心 PCG，并使

用 Pearson 相关系数(PCC)识别该模块中相关性最强的 PCG；富集分析结果发现在表达水平升高的基因主要富集在细胞周期、ECM-受体相互作用、p53 信号通路等通路，表达水平降低的基因主要富集在神经活性配体-受体相互作用等通路；最后为了探讨候选 LncRNA 的预后价值，利用 Kaplan-Meier 工具，并基于 TCGA、GEO 等数据库进行生存分析，HCP5、HOTAIR、TINCR 和 SNHG16 被鉴定为与乳腺癌预后显著相关，同时构建出了核心 LncRNA 和核心 PCG 的调控网络图[6]。

5　优势与不足

生命科学和计算机科学的进步为高效大规模的挖掘肿瘤标志物提供了理论基础，人们可以将高通量的测序数据和临床信息整合成数据库，研究人员访问这些数据并创建虚拟的模型。通过一些统计学的方法或者差异分析可以发现标志物在肿瘤和正常组织中的差异；用共表达分析的方法挖掘出关键的基因或者蛋白质，并将它们的关系可视化；同时利用各类富集分析来探究标志物参与了哪些分子通路或者生物活动，以及在这些通路中表达水平的变化情况。

值得注意的是生物信息学技术所依托的高通量测序数据多数是在转录组水平上构建的，只能在一定水平上反应出乳腺癌中各基因的表达情况，如果上升到蛋白质水平或者临床可能会有一定的出入；正常乳腺组织中细胞较少、间质较多，而在癌组织中细胞大量增殖，免疫细胞浸润增加，正常组织和癌组织总 RNA 的量会呈现一定的差异，可能会对影响对于差异基因的判断。所以说生物信息学需要与湿实验和临床特征结合从而得出更准确的结果。

从上述研究也不难看出，生信分析可以极大的帮助肿瘤相关的研究，利用 R 或者各种开放式的可视化生信分析平台(如 Oncomine、STRING 等)，深入的挖掘诸如 TCGA、GEO 等数据库的信息，从而在寻找信号通路、揭示标志物的分子机制、发现新靶点的过程中节约时间和精力；或者是对于开发新的药物、优化实验流程、寻找更适宜的治疗方案有着指导作用。

参考文献

[1] Mangul S, Martin L S, Eskin E, et al. Improving the usability and archival stability of bioinformatics software[J]. Genome biology, 2019, 20(1): 47.

[2] Yu M, Guo G, Huang L, et al. CD73 on cancer-associated fibroblasts enhanced by the A2B-mediated feedforward circuit enforces an immune checkpoint[J]. Nat Commun, 2020, 11(1): 515.

[3] Della Corte C M, Sen T, Gay C M, et al. STING pathway expression identifies non-small celllung cancers with an immune-responsive phenotype[J]. J Thorac Oncol, 2020.

[4] Tamura R, Yoshihara K, Nakaoka H, et al. XCL1 expression correlates with CD8-positive T cells infiltration and PD-L1 expression in squamous cell carcinoma arising from mature cystic teratoma of the ovary[J]. Oncogene, 2020.

[5] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA: a cancer journal for clinicians, 2018, 68(6): 394-424.

[6] Li J, Gao C, Liu C, et al. Four lncRNAs associated with breast cancer prognosis identified by coexpression network analysis[J]. Journal of cellular physiology, 2019, 234(8): 14019-14030.

[7] Markowetz F. All biology is computational biology[J]. PLoS biology, 2017, 15(3): e2002050.

[8] Jia D, Li S, Li D, et al. Mining TCGA database for genes of prognostic value in glioblastoma microenvironment[J]. Aging, 2018, 10(4): 592-605.

[9] Lu G, Li Y, Ma Y, et al. Long noncoding RNA LINC00511 contributes to breast cancer tumourigenesis and stemness by inducing the miR-185-3p/E2F1/Nanog axis[J]. Journal of experimental & clinical cancer research: CR, 2018, 37(1): 289.

[10] Liu Y, Lu C, Zhou Y, et al. Circular RNA hsa_circ_0008039 promotes breast cancer cell proliferation and migration by regulating miR-432-5p/E2F3 axis[J]. Biochemical and biophysical research communications, 2018, 502(3): 358-363.

[11] Sun C C, Li S J, Hu W, et al. Comprehensive Analysis of the Expression and Prognosis for E2Fs in Human Breast Cancer[J]. Mol Ther, 2019, 27(6): 1153-1165.

[12] Rhodes D R, Kalyana-Sundaram S, Mahavisno V, et al. Oncomine 3.0: genes, pathways, and networks in a collection of 18, 000 cancer gene expression profiles[J]. Neoplasia (New York, N. Y.), 2007, 9(2): 166-180.

[13] Rhodes D R, Yu J, Shanker K, et al. ONCOMINE: a cancer microarray database and integrated data-mining platform[J]. Neoplasia (New York, N. Y.), 2004, 6(1): 1-6.

[14] Tang Z, Li C, Kang B, et al. GEPIA: a web server for cancer and normal gene expression profiling and interactive analyses[J]. Nucleic acids research, 2017, 45(W1).

[15] Calin G A, Croce C M. MicroRNA signatures in human cancers[J]. Nature reviews. Cancer, 2006, 6(11): 857-866.

[16] Lim S-O, Li C-W, Xia W, et al. Deubiquitination and Stabilization of PD-L1 by CSN5[J]. Cancer cell, 2016, 30(6): 925-939.

[17] Wang Y-W, Zhang W, Ma R. Bioinformatic identification of chemoresistance-associated microRNAs in breast cancer based on microarray data[J]. Oncology reports, 2018, 39(3): 1003-1010.

[18] 陈晓红, 韩德民, 马丽晶, et al. 多基因联合重组腺病毒对喉癌细胞生长的影响[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2005(03): 139-142.

[19] 徐亮, 苏瑞斌. MET 抑制剂类药物研发: 以癌基因依赖与自利性为靶标[J]. 国际药学研究杂志, 2009, 36(02): 143-147.

[20] 张海晨, 王浩, 宋云霄, et al. 多项肿瘤标志物联合检测模型在肺癌诊断中的应用价值[J]. 检验医学, 2018, 33(07): 590-596.

[21] Zou M, Zhang P-J, Wen X-Y, et al. A novel mixed integer programming for multi-biomarker panel identification by distinguishing malignant from benign colorectal tumors [J]. Methods (San Diego, Calif.), 2015, 83.

[22] Van Dam S, Võsa U, Van Der Graaf A, et al. Gene co-expression analysis for functionalclassification and gene-disease predictions[J]. Briefings in bioinformatics, 2018, 19(4): 575-592.

[23] Stark G R, Darnell J E. The JAK-STAT pathway at twenty[J]. Immunity, 2012, 36(4): 503-514.

[24] Lee M K, Kim Y J, Kim Y-E, et al. Transmembrane Protein pUL50 of Human Cytomegalovirus Inhibits ISGylation by Downregulating UBE1L[J]. Journal of virology, 2018, 92(15).

[25] Fan J B, Miyauchi S, Xu H Z, et al. Type I Interferon Regulates a Coordinated Gene Network to Enhance Cytotoxic T Cell-Mediated Tumor Killing[J]. Cancer Discov, 2020, 10(3): 382-393.

[26] Langfelder P, Horvath S. WGCNA: an R package for weighted correlation network analysis[J]. BMC bioinformatics, 2008, 9: 559.

[27] 王潇, 尹天舒, 李柏逸, et al. 基因功能富集分析的研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46(04): 363-373.

[28] 孙世竹, 陈燕, 鲍军, et al. 通过基因芯片研究苯那普利对 HK-2 细胞 TEMT 过程的影响作用[J]. 实用老年医学, 2012, 26(01): 26-30+52.

[29] Nedeljković M, Damjanović A. Mechanisms of Chemotherapy Resistance in Triple-Negative Breast Cancer-How We Can Rise to the Challenge[J]. Cells, 2019, 8(9).

[30] Rigiracciolo D C, Nohata N, Lappano R, et al. IGF-1/IGF-1R/FAK/YAP Transduction Signaling Prompts Growth Effects in Triple-Negative Breast Cancer (TNBC) Cells[J]. Cells, 2020, 9(4).

[31] Sridharan S, Robeson M, Bastihalli-Tukaramrao D, et al. Targeting of the Eukaryotic Translation Initiation Factor 4A Against Breast Cancer Stemness [J]. Frontiers in oncology, 2019, 9: 1311.

[32] Wang T, Fahrmann J F, Lee H, et al. JAK/STAT3-Regulated Fatty Acid β-Oxidation Is Critical for Breast Cancer Stem Cell Self-Renewal and Chemoresistance[J]. Cell metabolism, 2018, 27(1).

[33] Li C W, Lim S O, Chung E M, et al. Eradication of Triple-Negative Breast Cancer Cells by Targeting Glycosylated PD-L1[J]. Cancer Cell, 2018, 33(2): 187-201. e10.

[34] Li M, Guo Y, Feng Y-M, et al. Identification of Triple-Negative Breast Cancer Genes and a Novel High-Risk Breast Cancer Prediction Model Development Based on PPI Data and Support Vector Machines[J]. Frontiers in genetics, 2019, 10: 180.

[35] Przulj N. Biological network comparison using graphlet degree distribution[J]. Bioinformatics (Oxford, England), 2007, 23(2): e177-e183.

[36] Hahn M W, Kern A D. Comparative genomics of centrality and essentiality in three eukaryotic protein-interaction networks[J]. Molecular biology and evolution, 2005, 22(4): 803-806.

[37] Zhuang D-Y, Jiang L, He Q-Q, et al. Identification of hub subnetwork based on topological features of genes in breast cancer[J]. International journal of molecular medicine, 2015, 35(3): 664-674.

[38] Ozgür A, Vu T, Erkan G, et al. Identifying gene-disease associations using centrality on a literature mined gene-interaction network[J]. Bioinformatics (Oxford, England), 2008, 24(13): i277-i285.

[39] Kelly-Smith M, Strain G M. STRING data mining of GWAS data in canine hereditary pigment-associated deafness[J]. Veterinary and Animal Science, 2020, 9.

[40] Zhang R, Chen C, Dong X, et al. Independent validation of early-stage NSCLC prognostic scores incorporating epigenetic and transcriptional biomarkers with gene-gene interactionsand main effects[J]. Chest, 2020.

基于改进 U-net 网络的直肠癌 CT 图像分割研究

陈耀文

（汕头大学）

摘　要：

直肠癌是消化道最常见的恶性肿瘤之一，近年来其发病率和死亡率逐年上升[1]，且易向肠外浸润并发生淋巴结及远处转移。术前诊断淋巴结转移情况有助于为淋巴结转移的直肠癌患者手术彻底清除所有受到侵入的淋巴结，大大减少术后复发的可能性。除了肿瘤区域外，直肠癌 CT 图像包含很大比例的背景图像，这不利于肿瘤病灶区域特征的提取与分类。然而，目前针对直肠癌 CT 图像没有较为成熟的自动分割算法，肿瘤病灶区的选取依赖于影像医生手动标注。针对上述问题，我们提出了一种结合 U-net 网络[2]与残差结构[3]的直肠癌 CT 图像的肿瘤区域分割算法。该方法在经典的 U-net 网络的基础上，引入残差结构，从而有效地缓解因网络层数增加而引起的梯度消失和梯度弥散问题。此外，在每一轮下采样中增加一次 3×3 的卷积操作，进一步提高网络的特征提取和泛化能力。图 1 显示所改进的 U-net 模型在开源的数据集上自动分割直肠癌肿瘤病灶区域的结果，该方法能够准确地分割直肠癌 CT 图像肿瘤病灶区域。与 U-net 网络模型相比，所提方法在开源数据集上能更加准确地自动分割直肠癌肿瘤病灶区域，Dice 系数，查全率、F1 分数分别提高了 2.25%，4.17%和 1.75%，各指标值分别为 85.54%，96.88%和 86.11%。

关键词：深度学习；直肠癌；图像分割；U-net；残差神经网络

肝 X 受体激动剂抑制抑郁模型小鼠海马亚区小胶质细胞的激活来改善抑郁样行为

李　静，　祝佩林，　黎　悦，　唐　静，　梁　芯，　罗艳敏，　邓宇辉，
蒋　林，　肖　倩，　唐　勇，　黄春霞

（重庆医科大学）

摘　要：

目的　探讨肝 X 受体（LXRs）激动剂（GW3965）对慢性不可预知性应激（CUS）诱导的抑郁模型小鼠海马各亚区小胶质细胞的影响。**方法**　将 63 只 4～6 周龄雄性 C57BL/6J 小鼠随机分为 control，control+GW3965，CUS 和 CUS+GW3965 组。给予 CUS 组小鼠和 CUS+GW3965 组小鼠连续 6 周的 CUS 干预，同时从第 7 周起给予对照+GW3965 组小鼠和 CUS+GW3965 组小鼠连续 4 周的腹腔注射 GW3965，在第 10 周末进行行为学测试，随后采用 qRT -PCR 方法分析海马 LXRs 基因的表达水平。采用现代体视学方法精确定量海马各亚区小胶质细胞的数量，运用免疫荧光法研究 M1 型小胶质细胞的密度。**结果**　LXRs 激动剂治疗可以改善 CUS 模型小鼠的抑郁样行为。LXRs 激动剂干预可以显著增加 CUS 模型小鼠的体质量和糖水偏好百分比，并且显著减少强迫游泳的不动时间。LXRs 激动剂干预可以显著增加抑郁小鼠海马 LXR β 基因表达水平。同时，LXRs 激动剂干预可以显著性降低抑郁小鼠海马 CA1 区、CA2/3 区和 DG 内小胶质细胞的数量以及 CA2/3 区和 DG 内 M1 型小胶质细胞的密度。**结论**　LXRs 激动剂能够降低抑郁模型小鼠海马亚区小胶质细胞的数量和 M1 型小胶质细胞的密度，这可能是 LXRs 激动剂改善 CUS 模型小鼠的抑郁样症状的重要结构基础。我们的研究结果为进一步寻找抑郁症的治疗手段提供了一定的科学依据。

关键词：肝 X 受体；抑郁症；小胶质细胞；海马亚区；体视学

LXR agonist ameliorates depressive-like behavior through protecting hippocampal myelin repair in a mouse model of depression

祝佩林，　唐　静，　梁　芯，　罗艳敏，　黎　悦，　李　静，　邓宇辉，
蒋　林，　杨　浩，　唐　勇，　黄春霞

（重庆医科大学）

Abstract：

Objective　Liver X receptors（LXRs），including LXRα and LXRβ isoforms，have been demonstrated to be novel targets of antidepressants that reverse depressive behaviors. However，the potential therapeutic mechanisms by which LXR agonists ameliorate depressive behaviors are still unclear. LXRs are closely related to changes in oligodendrocytes. The current study quantitatively investigated the effects of an LXR agonist（GW3965）on hippocampal oligodendrocytes and the myelin sheath in mice with depression induced by chronic unpredictable stress（CUS）. **Methods**　Behavioral tests were executed to detect the effects of the LXR agonist，and oligodendrocytes at different stages were quantified in different hippocampal subregions using immunohistochemistry，stereological methods and immunofluorescence. Myelin basic protein（MBP）intensity was also measured by using immunofluorescence in the cornu ammonis 3（CA3）region. **Results**　We found that depressive-like behaviors were improved after LXR activation. In addition，reductions in the numbers of newborn and mature oligodendrocytes in the hippocampal subregions and the intensity of MBP expression in the CA3 were ameliorated by treatment with the LXR agonist. **Conclusions**　Our results suggest that improvement of oligodendrocyte differentiation and maturation and enhancement of the myelin sheath may be structural mechanisms by which the examined LXR agonist reverses depressive-like behaviors in CUS model mice.

Key words：liver X receptors；depression；chronic unpredictable stress；oligodendrocyte；CA3

海马 PGC-1α 介导小鼠抑郁样行为及 DG 区兴奋性突触数量的改变

邓宇辉， 罗艳敏， 梁 芯， 蒋 林， 王 瑾， 唐 静， 李 静， 黎 悦，
肖 凯， 祝佩林， 郭一静， 吴 宏， 唐 勇

（重庆医科大学）

摘 要：

目的 海马突触可塑性降低是抑郁症的重要病理改变之一。有研究发现，慢性不可预知性应激抑郁模型小鼠海马 PPAR γ 共激活因子 1α（PGC-1α）表达降低。然而，PGC-1α 是否介导抑郁症的发病机制尚不清楚。本研究采用无偏体视学技术和其他技术相结合研究海马 PGC-1α 的改变对小鼠抑郁样行为和兴奋性突触数量的影响。**方法** 选用 36 只 6-8 周龄的雄性 C57BL/6 小鼠。适应性喂养 2 周后随机分为空病毒组、PGC-1α 过表达组和 PGC-1α 沉默组。利用海马立体定位注射技术定向过表达/沉默海马 PGC-1α。注射病毒 4 周后，采用蔗糖偏好试验（SPT）和强迫游泳试验（FST）评价小鼠的抑郁样行为。行为学测试结束后，各组随机抽取 5 只进行体视学定量研究。并运用蛋白免疫印迹实验检测海马 PGC-1α 和解偶联蛋白 2（UCP2）的蛋白表达水平。**结果** 与空病毒组小鼠相比，PGC-1α 过表达组小鼠强迫游泳不动时间显著减少，海马 DG 区中兴奋性突触数量显著增加，海马 PGC-1α 和 UCP2 蛋白表达显著增高；而 PGC-1α 沉默组小鼠糖水偏好百分比显著降低，强迫游泳不动时间显著增加，海马 DG 区中兴奋性突触数量显著下降，海马 PGC-1α 和 UCP2 蛋白表达显著降低。**结论** 我们的研究结果表明，海马 PGC-1α 与抑郁样行为的发生密切相关，并可能通过调节 UCP2 介导了 DG 区兴奋性突触数量的改变。本实验结果为抑郁症的神经可塑性假说提供了形态学证据，为 PGC-1α 在抑郁症发病机制中的作用提供了重要依据，并进一步提示了海马 PGC-1α 可能是抗抑郁药物的潜在靶点。

关键词：PGC-1α；海马；抑郁样行为；兴奋性突触；体视学

氟西汀对 APP/PS1 转基因 AD 模型小鼠认知功能及海马神经元的作用

周春妮[1]，　蒋　林[1]，　晁凤蕾[1]，　张　蕾[1]，　张　毅[2]，　马　晶[1]，
杨　浩[1]，　唐　勇[1]

（1. 重庆医科大学；
2. 重庆医科大学 第二附属医院）

摘　要：

目的　有报道显示氟西汀(FLX)对抑郁和焦虑的 AD 患者有积极作用。然而，目前对 FLX 影响早期 AD 的机制尚不清楚。本研究运用无偏体视学技术和其他技术相结合研究 FLX 对早期 APP/PS1 转基因 AD 小鼠认知功能及海马神经元的影响。**方法**　将 8 月龄雄性 APP/PS1 和野生型(WT)同窝生小鼠随机分为 APP/PS1+NS，APP/PS1+FLX，WT+NS 和 WT+FLX 组。对 APP/PS1+FLX 组和 WT+FLX 组小鼠给与 10 周的腹腔注射氟西汀（10 mg/kg/d），对 APP/PS1+NS 组和 WT+NS 组小鼠给与 10 周的腹腔注射同等体积的生理盐水。用 Morris 水迷宫检测四组小鼠的空间学习和记忆能力。用体视学方法精确定量海马各亚区神经元和未成熟神经元的数量。用免疫荧光研究海马各亚区新生神经元，Aβ 淀粉样斑块，5HT1A+/ NeuN+细胞和 5HT4R+/ NeuN+细胞的改变。用 ELISA 法检测海马 Aβ40，Aβ42，磷酸化 Tau 蛋白，GSK3β 和 p-ser9-GSK3β 水平的变化。**结果**　FLX 治疗能够延缓早期 AD 小鼠学习记忆能力的下降。FLX 干预不仅可以显著降低早期 AD 海马中 Aβ 淀粉样蛋白斑块的沉积以及 Aβ40 和 Aβ42 的表达，还可以降低 GSK3β 和磷酸化 Tau 蛋白的表达水平，并且抑制 GSK3β 的活性。同时，FLX 干预可以增加早期 AD 海马 DG，CA1/2 和 CA3 亚区 5HT1A+/NeuN+细胞，5HT4+/ NeuN+细胞和新生神经元的数量，延缓海马 DG 和 CA1/2 区神经元的丢失，显著增加早期 AD 海马 DG 区未成熟神经元的数量。**结论**　FLX 干预能够保护早期 AD 海马神经元，这可能是其改善早期 AD 小鼠空间学习和记忆能力的重要结构基础。此外，我们的研究结果进一步表明 FLX 是一种可以延缓 AD 进展的安全有效的药物，这可能为进一步寻找 AD 的预防和治疗手段提供了一定的科学依据。

Stereological study on the effects of exercise on the hippocampal astrocyte in a rat model of depression

黎 悦， 罗艳敏， 唐 静， 梁 芯， 肖 倩， 祝佩林，
蒋 林， 唐 勇

（重庆医科大学）

Abstract：

Objective Running exercise, as a simple behavioral therapy, has been widely shown to alleviate depressive symptoms, but the mechanism of its antidepressant effect is still unclear. Mounting evidence confirmed that changes in hippocampal astrocytes were closely associated with depression. However, the effects of running exercise on astrocytes in the hippocampus of depression have not been investigated. The present study was to explore whether hippocampal astrocyte is crucial to the mechanism of antidepressant effect of running exercise. **Methods** Adult male rats were subjected to chronic unpredictable stress (CUS) for 5 weeks followed by running exercise for 6 weeks. The sucrose preference test (SPT) was used to assess anhedonia of rats. Then, immunohistochemistry and modern stereological methods were used to precisely quantify the hippocampal volume and the total number of glial fibrillary acidic protein (GFAP)+ cells in each hippocampal subregion, and immunofluorescence was used to quantify the density of bromodeoxyuridine (BrdU)+ and GFAP+ cells in each hippocampal subregion. **Results** ① Running exercise alleviated CUS-induced deficit in sucrose preference and hippocampal volume decline. ② Running exercise reversed CUS-induced decrease in the number of GFAP+ cells in the hippocampal CA1 region and dentate gyrus (DG). ③ Running exercise reversed CUS-induced decrease in the density of BrdU+/GFAP+ cells in the hippocampal CA1 region and DG. **Conclusion** Running exercise alleviates depressive symptoms and protects hippocampal astrocytes and newborn astrocytes in depressed rats.

人脐带间充质干细胞对小鼠放射性肺损伤的防治作用研究

荆云涛，　来盼盼，　郭　玲，　薛一哲，　秦佟洲，　王　星，
周　艳，　安广洲，　丁桂荣

（空军军医大学 军事预防医学系 辐射防护医学教研室，　西安　710032）

摘　要：

目的　探讨人脐带间充质干细胞(hUC-MSCs)对小鼠放射性肺损伤的防治作用。**方法**　选取24只健康雄性成年雄性C57BL/6小鼠(6~8周龄)，随机分为假照射组(Sham)、照射组(R)、照射+干细胞组(R+M)、照射+生理盐水组(R+N)，每组6只。采用X线胸部局部照射，总剂量20 Gy，分4次进行，5 Gy/次，2.33 Gy/min，连续照射4 d。照射结束后24 h，R+M组小鼠进行hUC-MSCs生理盐水悬液尾静脉注射(100 μL，1×10^7个/mL)，R +N组小鼠仅进行100 μL生理盐水尾静脉注射。照射后3W对各组小鼠首先进行胸部CT检查，然后取肺组织通过HE染色和Masson染色观察肺部结构及胶原纤维沉积情况，Western blot检测肺组织炎性因子水平。**结果**　CT结果显示，射线胸部照射后3W，R组小鼠肺纹理较sham组明显增粗，干细胞治疗后小鼠肺纹理变化显著改善，R +N组与R组相比无明显差异。其他检测结果显示，照射后3W，R组小鼠肺组织形态结构紊乱，肺泡壁增厚，肺间质胶原纤维有较多沉积，肺组织内TGF-β1和TNF-α水平显著上调，干细胞治疗后小鼠肺组织上述变化明显减轻，R +N组与R组相比无明显效果。**结论**　上述结果提示，hUC-MSCs对小鼠放射性肺损伤具有较好的防治作用，其机理可能与hUC-MSCs抑制射线诱导的肺部炎症反应有关。

关键词：X射线；小鼠，人脐带间充质干细胞；炎性因子；放射性肺损伤

作者简介：荆云涛(1990年)，男(汉族)，黑龙江佳木斯，硕士研究生在读。E-mail：jingyuntao925@163. com
通信作者：丁桂荣，教授。E-mail：dingzhao@fmmu. edu. cn

图神经网络研究进展

岳含霖， 王浩宇， 彭瑞云

（军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所， 北京 100850）

摘要正文：

一、前言

传统机器学习(machine learning, ML)模型如最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, Lasso)[1]和支持向量机(support vector machine, SVM)[2]等依赖于人工特征提取，且其只在低维线性的问题上表现出较好的性能；而深度学习(deep learning, DL)模型如自动编码器(auto-encoder, AE)、卷积神经网络(convolution neural network, CNN)[3]等能够在高维空间挖掘数据的潜在特征，其能够更好的反映输入数据内部的复杂性和非线性性质[4]。

现实生活中越来越多的实际任务都可以抽象成包括节点、边在内的图结构数据。然而，上述DL方法在处理非欧式空间的图结构数据时难以充分利用其结构和语义信息；图神经网络(graph neural network, GNN)[5]以其能够在学习图结构数据的拓扑信息的同时保留其结构信息的优势，逐渐成为图数据分析模型研究的焦点。本文将对GNN研究进展进行综述。

二、图神经网络

基于GNN的任务主要包括节点级别、边级别和图级别[6]。其中，在节点级别可以完成对相似节点的分类；在边级别可以完成链路预测；而在图级别则可以完成对图整体的分类。目前，常见的GNN模型主要包括图卷积神经网络(graph convolutional network, GCN)、图注意力网络(graph attention network, GAT)、图自动编码器(graph auto-encoder, GAE)等。下面对上述三种主要的GNN进行综述。

1. 图卷积神经网络(GCN)

目前，GCN对图结构数据进行卷积操作主要有三种方法：(1)基于谱分解的GCN，即谱域图卷积；(2)基于节点空间变换的GCN，即空间图卷积；(3)基于池化的GCN。

1.1 基于谱域的GCN

2014年，Bruna等[7]通过对比分析一般图结构数据和网格数据的异同，第一次将CNN泛化到图数据上并提出了GCN概念，即“第1代GCN”。但是，该模型没有利用含有邻居信息的邻接矩阵，所以不具有局部性，且其计算复杂度较高。针对第1代GCN的局限性，Defferrard等[8]利用切比雪夫多项式近似卷积核，作为一种新的卷积核，提出了切比雪夫网络(Chebyshev network,

项目基金：国家自然科学基金(61801506)

作者简介：岳含霖(1995年)，女(汉)，籍贯四川资阳，学历本科。研究方向：基于人工智能的电磁辐射生物效应研究。E-mail：13389606478@163.com

通信作者：王浩宇，副研究员。E-mail：smart106@126.com；彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com

ChebNet)。Kipf 等[9]为了让 ChebNet 有更好的局部连接特性，且考虑将谱域 GCN 应用在实际的半监督场景中，提出了“第 3 代 GCN”。由于依赖于图傅里叶变换的 GCN 计算量较大，为了解决这一问题，Xu 等[10]提出了利用小波变换的图小波神经网络(graph wavelet neural network，GWNN)，其提高了计算效率。

1.2　基于空间域的 GCN

在 2009 年 Micheli 等[11]首次提出了空间域的 GCN(neural network for graph，NN4G)。为了使网络能够学习到图结构数据中的空间信息，Spurek 等[12]提出了几何图卷积网络(geometric graph convolutional neural networks，geo-GCN)。GCN 通常使用固定图结构数据，为了解决这一问题，Jiang 等[13]将图学习和图卷积集成在一个统一的网络体系结构中，提出了图学习卷积网络(graph learning convolution neural network，GLCN)。GCN 在处理图结构数据时存在相关不确定性问题，因此，Zhang 等[14]提出了贝叶斯图卷积神经网络(bayesian graph convolutional nueral networks，BGCN)。

1.3　基于池化的 GCN

由于很难在图上定义一个标准的图池化算子，故在图池化方面目前研究较少，但其在图级别的研究中又起着关键作用。2019 年，Bianchi 等[15]设计了一种基于 minCUT 最优化可微无监督损失的池化算子，可以和信息传播层混合在一起作为一个单独的神经网络层。为了充分利用节点特征和图结构信息，并且自适应地选择节点子集，Zhang 等[16]提出了结合结构学习的层次图池化算子(hierarchical graph pooling with stucture learning，HGP-SL)。为了减少节点数，并且学习到新的表示，Yuan 等[17]提出了 STRUCTPOOL 方法，其考虑了图的结构信息。

2. 图注意力网络(GAT)

注意力机制[18]是一种模拟人脑注意力机制的模型，其从大量的输入信息中选择对当前任务更为关键的信息，提高任务执行的效率及准确性。既往研究发现，注意力机制的引入能够提高传统 DL 模型的性能。Velickovic 等[19]在 2018 年首次将注意力机制引入到了 GNN 中对邻居节点聚合的过程中，提出了 GAT 框架。GAT 的核心思想是在传统的 GNN 框架中，加入了注意力层，从而可以学习各个邻居节点的不同权重。进而在聚合邻居节点的过程中只关注那些起关键作用的节点。为了使模型更加稳定，还可应用多头注意力机制。基于注意力机制的变体如下所述。Zhang 等[20]为多头注意力中的每头注意力机制分别赋予了不同的权重，以此来聚合邻居节点信息，提出了门控注意力网络(gated attention networks，GAAN)。Zhang 等[21]开发了一种可以处理不同类型超图的自注意力 GCN(self-attention graph neural networks，SAGNN)，且可以适用于各种学习任务和具有变量的同构和异构超图。Nguyen 等[22]提出了一种新颖的图嵌入模型，U2GNN，其可以提取出能够用于图分类的低维嵌入向量。Chang 等[23]首次尝试将注意力机制从空间与转移到谱域，提出了谱域图注意力网络(spectral graph attention network，SpGAT)。

3. 图自动编码器(GAE)

自动编码器(AE)是一类将输入信息进行表征学习的人工神经网络，AE 模型分为输入层、隐藏层及输出层，其中隐藏层又包含编码器和解码器两个部分。基于 AE 的 GNN 被称为图自动编码器(GAE)，可以半监督或者无监督地学习图节点信息。其中，编码器通过编码函数 $h = f(x)$ 将输入的 x 编码得到隐含表示 h。解码器通过解码函数 $r = g(h)$ 重构隐含表示 h。AE 对于输入进行重构的目的在于能够让隐含表示 h 获得数据更显著的特征。Kipf 等[24]首次突出了基于变分自动编

码器(variational autoencoder, VAE)的变分图自动编码器(variational graph autoencoder, VGAE)。Zhu 等[25]提出了一种嵌入到 Wasserstein 空间中的深度变分图嵌入方法(deep variational network embedding, DVNE)。Wang 等[26]将 AE 引入到对顶点的学习表示当中，提出了一种结构化的深度网络嵌入(structural deep network embedding, SDNE)。Tu 等[27]提出了一种深度递归网络嵌入(deep recursive network embedding, DRNE)来学习具有规则等价性的网络嵌入，将节点的邻域转化为有序序列，用一个规范化的 LSTM 层来表示每个节点，通过递归来聚合它们的邻居特征。

三、总结

随着图结构数据地不断涌现，传统的神经网络在面对节点和边构成的非欧式空间的数据时，忽略了其结构的拓扑信息。而 GNN 模型能够有效地处理图结构数据，其能够对节点、边和图整体进行分类预测等任务，最大程度的保留了图数据的拓扑信息，因此 GNN 受到越来越多人的关注和研究。本文对 GNN 模型进行了简单综述。目前常见的 GNN 模型主要分为 GCN、GAT 和 GAE 等。在未来研究中，还可以有更多基于 GNN 的模型出现，通过对图结构数据进行更加全面而细致的分析，达到在更加优异的效果。

参考文献(References)

[1] Wee CY, Yap PT, Shen D. Diagnosis of autism spectrum disorders using temporally distinct resting-state functional connectivity networks. CNS Neuroscience and Therapeutics. 2016, 22(3): 212-219.

[2] Cortes C, Vapnik V. Support-vector networks. Machine Learning. 1995, 20(3): 273-297.

[3] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Communications of the ACM. 2017, 60(6): 84-90.

[4] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature. 2015, 521(7553): 436-444.

[5] Scarselli F, Gori M, Tsoi AC, Hagenbuchner M, Monfardini G. The graph neural network model. IEEE Transactions on Neural Networks. 2009, 20(1): 61 81380532

[6] Yuan H, Yu HY, Gui SR, Ji SW. Explainability in graph neural networks: A taxonomic survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2022, 1-19.

[7] Bruna Joan, Zaremba W, Szlam A, LeCun Y. Spectral networks and deep locally connected networks on graph. Int Conf Learn Represent, ICLR-Conf Track Proc. 2014. Available: https://arxiv.org/abs/1312.6203.

[8] Defferrard M, Bresson X, Vandergheynst P. Convolutional neural networks on graphs with fast localized spectral filtering. 30th Annual Conference on Neural Information Processing Systems, NIPS 2016, Dec 2016, Barcelona, Spain. 29: 3844-3852.

[9] Kipf TN, Welling M. Semi-supervised classification with graph convolutional networks. 5th International Conference on Learning Representations, ICLR 2017, Apr 2017, Toulon, France. arXiv: 1609.02907.

[10] Xu BB, Shen HW, Cao Q, Qiu YQ, Cheng XQ. Graph wavelet neural network. 7th International Conference on Learning Representations, ICLR 2019, May 2019, New Orleans, LA, United states. arXiv: 1904.07785v1.

[11] Micheli A. Neural network for graphs: A contextual constructive approach. IEEE Transactions on Neural Network. 2009, 20(3): 498-511.

[12] Spurek P, Danel T, Tabor J, 81309ejaM, Struski Ł, Słowik A, Maziarka Ł. Geometric graph convolutional neural network. 2019. arXiv: 1909.05310.

[13] Jiang B, Zhang ZY, Lin DD, Tang J. Graph learning-convolutional network. 2018. arXiv: 1811.09971.

[14] Zhang YX, Pal S, Coates M, Ustebay D. Bayesian graph convolutional neural networks for semi-supervised classification. 33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence / 31st Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference / 9th AAAI Sympo-

sium on Educational Advances in Artificial Intelligence, Jan 2019, Honolulu, HI. 5829-5836.

[15] Bianchi FM, Grattarola D, Alippi C. Mincut pooling in graph neural networks. 2019. arXiv: 1907.00481.

[16] Zhang Z, Bu JJ, Ester M, Zhang JF, Yao CW, Yu Z, Wang C. Hierarchical graph pooling with structure learning. 2019. arXiv: 1911.05954.

[17] Yuan H, Ji SW. Structpool: Structured graph pooling via conditional random fields. Proc of the Int Conf on Learning Representations. 2020. Available: https://par.nsf.gov/servlets/purl/101597.

[18] Veličković P, Casanova A, Liò P, Cucurull G, Romero A, Bengio Y. Graph attention networks. 6th International Conference on Learning Representations, ICLR 2018, Apr 2018, Vancouver, BC, Canada. Available: https://arxiv.org/abs/1701.10903.

[19] Zhang JN, Shi XJ, Xie JY, Ma H, King I, Yeung DY. GaAN: Gated attention networks for learning on large and spatiotemporal graphs. 34th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI), Aug 2018, Monterey, CA. 339-349.

[20] Zhang RC, Zou YS, Ma J. Hyper-SAGNN: A self-attention based graph neural network for hypergraphs. Proc of the Int Conf on Learning Representations. 2020. Available: https://arxiv.org/abs/1911.02613.

[21] Nguyen DQ, Nguyen TD, Phung D. A universal self-attention graph attention network. 2019. arXiv: 1909.11855.

[22] Chang H, Rong Y, Xu TY, Huang WB, Sojoudi S, Huang JZ, Zhu WW. Spectral graph attention network. 2020. arXiv: 2003.07450.

[23] 吴博, 梁循, 张树森, 徐睿. 图神经网络前沿进展与应用. 计算机学报. 2022, 45(1): 35-68.

[24] Kipf TN, Welling M. Variational graph auto-encoder. 2016. arXiv: 1611.07308.

[25] Zhu DY, Cui P, Wang DX, Zhu WW. Deep variational network embedding in wasserstein space. 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD 2018, Aug 2018, London, United Kingdom. 2827-2836.

[26] Wang DX, Cui P, Zhu WW. Structural deep network embedding. Proc of the ACM SIKDD Int Conf on Knowledge Discovery and Data Mining, Aug 2016, San Francisco, CA. 1225-1234.

[27] Tu K, Cui P, Wang X, Yu PS, Zhu WW. Deep recursive network embedding with regular equivalence. Proc of the ACM SIKDD Int Conf on Knowledge Discovery and Data Mining, Aug 2018, London, England. 2357-2366.

S 波段微波长期辐射致雄性生殖损伤效应的定量研究

姚斌伟， 王 惠， 张 静， 赵 黎， 王浩宇， 董 雯，
徐新萍， 李艳阳， 门俊琦， 彭瑞云

（军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所， 北京 100850）

目的：生殖器官是微波辐射敏感靶器官之一，定量观察不同剂量 S 波段微波长期射致雄性生殖损伤效应，为微波辐射损伤机制和防治措施研究以及防护标准制定提供实验依据。

方法：采用 2.5 mW/cm^2、5 mW/cm^2、10 mW/cm^{2}S 波段微波辐射(6 min/次，5 次/w，持续 6 w)100 只雄性 Wistar 大鼠，于辐射后 1 d、7 d、14 d、28 d 取材，采用光镜、电镜观察睾丸组织学、超微结构及精子形态；SCA 精子动态分析系统检测精子活力；比色法检测睾丸组织中乳酸脱氢酶(LDH)和琥珀酸脱氢酶(SDH)活性；采用黄嘌呤氧化镁法测定睾丸组织中 SOD 活力；硫代巴比妥酸法检测睾丸组织中 MDA 水平；并对上述指标进行定量分析。

结果：(1)10 mW/cm^{2}微波辐射后 1 d、7 d，大鼠睾丸组织生精细胞变性、脱落、精原细胞染色质异常凝集或边移增多、可见褪变精原细胞、精母细胞和精子尾部线粒体肿胀灶性空化。(2)10 mW/cm^{2}辐射后 7 d、14 d，AB 级精子比例下降，D 级精子比例增加($P<0.01$)，附睾精子畸形率增加($P<0.05$)。(3)5 mW/cm^2、10 mW/cm^{2}辐射后 1 d、7 d，大鼠睾丸组织中 MDA 含量增加、SOD 活性下降($p<0.05$)。(4)2.5～10 mW/cm^{2}微波辐射后 1～28 d，睾丸组织中 LDH 和 SDH 活性无明显变化，

结论：(1)2.5 mW/cm^{2}S 波段微波长期辐射(1 月)对大鼠生殖功能无影响；(2)10 mW/cm^2 S 波段微波长期辐射(1 月)可致生精细胞结构损伤、精子活力下降及畸形率增加；(3)5 mW/cm^2、10 mW/cm^2 S 波段微波长期辐射(1 月)可致睾丸组织出现脂质过氧化损伤。

关键词：微波辐射；大鼠睾丸；精子；氧化损伤；定量分析

作者简介：姚斌伟，男(汉)，河南项城，硕士。研究方向：电磁辐射生殖损伤与防护。E-mail：ybwcdq@163.com
通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com

HIF-1 与线粒体动力学的相互作用研究进展

辛　宇，　赵　黎，　彭瑞云

（军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

低氧诱导因子-1(Hypoxia-inducible factor-1，HIF-1)和线粒体动力学广泛参与于细胞生命活动周期中，氧环境的改变可能是构建二者密切相关的桥梁，而越来越多的研究也揭示 HIF-1 和线粒体动力学之间的密切联系。

HIF-1 对线粒体动力学的不同形式均具有调控作用，目前研究主要集中于线粒体分裂和融合中，但对其他两种动力学形式调控研究相对较少。HIF-1 可调控靶基因 Drp1(线粒体分裂的驱动蛋白)和 MFF(Drp1 的受体蛋白)促进线粒体分裂。HIF-1 可调节线粒体低氧下的过度融合反应。线粒体融合与分裂机制的失衡可引起组织急性损伤和功能障碍，HIF-1 是调控二者之间平衡的因子之一。

线粒体动力学是维持细胞和细胞器存活和生长的重要机制，影响细胞环境和生命周期，HIF-1 是对环境敏感的应答因子，线粒体引起的氧环境改变调节 HIF-1 的表达与稳定的假设已被一些研究验证，且体现了线粒体动力学在这一调控过程中的参与。

因此，基于线粒体动力学的重要作用以及 HIF-1 的多面调控机制，阐释二者的相互作用将为揭示神经退行性疾病、呼吸疾病、心血管疾病、肿瘤等相关疾病致病机制和临床治疗开发提供参考。

关键词：HIF-1；线粒体动力学；调控；综述

参考文献

[1] Yang C, Zhong ZF, Wang SP, Vong CT, Bin Y, Wang YT. HIF-1: structure, biology and natural modulators[J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2021, 19(7): 521-527.

[2] Wu K, Mao YY, Chen Q, Zhang BL, Zhang S, Wu HJ, Li Y. Hypoxia-induced ROS promotes mitochondrial fission and cisplatin chemosensitivity via HIF-1α/Mff regulation in head and neck squamous cell carcinoma[J]. Cellular oncology (Dordrecht), 2021, 44(5): 1167-1181.

项目基金：国家自然科学基金(No. 82073511)

作者简介：辛宇(2000-)，女(汉)，山西长治，硕士研究生。研究方向：电磁辐射心理与认知。E-mail：xinyumoew@163.com

通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com

赵黎，副研究员。E-mail：lillyliz@163.com

基于深度学习的激光皮肤损伤 OCT 影像自动分割技术

武京源， 薛恒钢， 马 琼， 周 巡， 隗 雨， 杨辰辰，
李旭峰， 刘智搏， 康宏向

（中国人民解放军军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所， 北京 100850）

摘 要：

光学相干断层扫描技术（optical coherence tomography，OCT）是一种无创的、非接触式和实时的层析成像技术，主要是基于光的低相干原理获取组织深度信息，且可以生成结构组织的高分辨率影像，近年来已成熟应用于眼科疾病诊断，但在皮肤科的应用才刚刚起步。皮肤作为激光意外损伤和临床治疗的主要靶器官之一，开发针对激光皮肤损伤的快速、高效、无创诊断技术至关重要。本文针对激光损伤小鼠皮肤 OCT 影像结合深度学习展开研究。首先使用不同剂量的激光辐照小鼠背部皮肤，建立激光损伤皮肤模型，使用扫频 OCT（Swept Source OCT，SS-OCT）对激光损伤皮肤部位进行扫描并获得带剂量标签的 OCT 影像；然后对 OCT 影像按照表皮真皮层、皮下脂肪层和肌肉筋膜层进行人工标注，再针对损伤部位进行人工标注，分别作为数据集进行基于 U-net 和迁移学习的深度学习模型训练。本研究选取基于区域的损失函数——Dice Loss 作为训练时的损失函数，在训练过程中采用冻结训练与解冻训练的迁移学习手段，最终得到两个模型，即针对皮肤不同组织层的分割网络模型和针对损伤部位的分割网络模型，最后使用两个网络模型对激光皮肤损伤 OCT 影像进行自动分割。本研究所训练分割皮肤不同组织层模型的 Dice Loss 值最终达到 0.175。分割损伤部位模型的 Dice Loss 值最终达到 0.0961。

关键词：深度学习；激光皮肤损伤；光学相干断层扫描

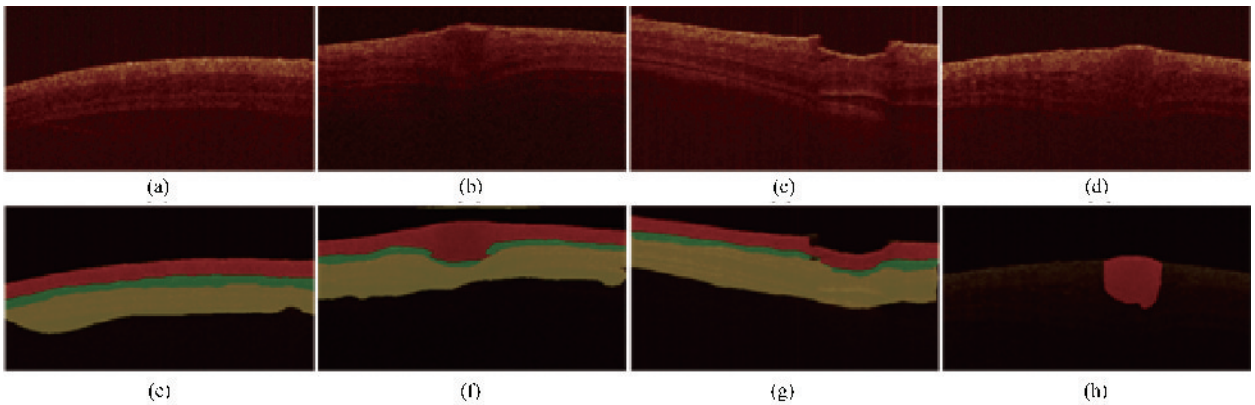


图 1 基于深度学习的激光皮肤损伤组织 OCT 影像的自动分割图（a）正常皮肤 OCT 影像；（b）低剂量损伤组织 OCT 影像；（c）高剂量损伤组织 OCT 影像；（d）损伤组织 OCT 影像；（e）正常皮肤组织层自动分割图；（f）低剂量损伤组织自动分割图；（g）高剂量损伤组织自动分割图；（h）损伤组织损伤部位自动分割图

作者简介：武京源（2000.6），男（汉），河北，学士。研究方向：生物影像分析。E-mail：a1582335968@163.com
通信作者：康宏向，副教授。E-mail：khx007@163.com

短波辐射对小鼠学习记忆与神经发生的影响研究

刘　莹，　郝延辉，　马鸣曦，　李佳佳，　喻　超，　李　杨

（中国人民解放军军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

随着电磁技术的发展与应用，电磁辐射污染普遍存在。电磁辐射可致神经认知损伤，机制未明。海马区神经发生与认知密切相关，核受体 Tailless 样蛋白(Tailless like pro-tein，TLX)是决定神经干细胞(Neural stem cells，NSCs)增殖分化、调控神经发生的关键分子。但 TLX 对神经发生的调控作用是否参与短波辐射致认知损伤的病理过程，相关研究尚属空白。本研究旨在探讨短波辐射对 TLX 介导的神经发生的影响及其调控关系，以期阐明 TLX 调控神经发生在短波辐射致认知损伤中的作用。采用 C57BL/6 雄性小鼠，随机分为对照组(Con)和短波辐射组(Rad)，采用频率 27.12 MHz 连续波，10 mW/cm^{2}短波辐射进行暴露；采用 Morris 水迷宫、穿梭箱、Y 迷宫及旷场等评估短波辐射对小鼠学习记忆的影响；采用 HE 染色、光镜观察以及透射电镜等研究短波辐射对小鼠海马组织形态及超微结构的影响；采用免疫印迹和 RT-PCR 检测海马组织核受体 TLX 及其下游分子蛋白和 mRNA 的表达；最后，建立小鼠海马区 NSCs 离体培养模型，检测短波辐射对其形态、增殖活性及分化能力的影响。本研究结果发现 10 mW/cm^{2}短波辐射引起：(1)小鼠空间学习记忆能力下降，主要表现为 Morris 水迷宫平均逃避潜伏期延长、目标象限停留时间缩短，以及 Y 迷宫试验中进入新异臂次数和时间减少；(2)小鼠海马组织形态和超微结构损伤，表现为神经元固缩深染，线粒体肿胀空化，以及血管周围水肿、间隙增宽等病变；(3)小鼠海马组织 TLX 及其下游关键分子蛋白 Wnt7a、β-catenin、Mash1 及 mRNA 表达异常；(4)离体培养的 NSCs 增殖活力减弱，向神经元分化能力下降。10 mW/cm^{2}短波辐射引起小鼠空间学习记忆能力下降以及海马 NSCs 功能异常。综上，本研究发现 10 mW/cm^{2}短波辐射引起小鼠空间学习记忆能力下降以及海马 NSCs 功能异常。

关键词：短波辐射；小鼠；学习记忆；神经干细胞；神经发生

作者简介：刘莹(1996.11)，女(满)，河北，硕士。研究方向：生物电磁学。E-mail：742364067@qq.com
郝延辉(1990.07)，男(汉)，山东，博士，研究方向：生物电磁学。E-mail：haoyanhui81@163.com
通信作者：李杨，研究员。E-mail：leeyoung33@163.com
喻超，助理研究员。E-mail：yuchaobeijing@126.com

电磁辐射对男(雄)性生殖损伤机制研究进展

李艳阳，　姚斌伟，　彭瑞云

（中国人民解放军军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所，　北京　100850）

摘　要：

电磁辐射对男(雄)性生殖影响的研究已有50多年的历史，越来越多的研究结果显示，一定剂量的电磁辐射对男(雄)性生殖器官具有损伤效应，发生机制与氧化应激、血睾屏障损伤、凋亡及相关蛋白表达、DNA损伤、信号转导通路和能量代谢异常密切相关。(1)自由基产生过多蓄积，抗氧化酶减弱，致组织过氧化损伤是目前认为电磁辐射生殖损伤重要机制。电磁辐射可致生殖器官氧化应激反应增强，活性氧簇蓄积，自由基攻击不饱和脂肪酸，脂质过氧化产物丙二醛等增加，SOD、GPX、CAT等抗氧化酶减弱，损伤组织结构功能。(2)一定剂量电磁辐射可影响血睾屏障，致其通透性增加，影响精子发生内环境，与紧密连接结构损伤和其相关蛋白Occludin、Claudin、JAM、CX43、波形蛋白等表达下调相关。(3)凋亡及其相关蛋白表达增加是电磁辐射损伤的重要原因，Caspase-3是凋亡程序主要的执行者，p53、Bax、Bcl-2、Bcl-xL和HSP70等也发挥着重要作用。(4)过量电磁辐射可损伤生殖器官的遗传物质，包括染色质异常、DNA含量增加、DNA链断裂、线粒体基因组和球蛋白基因组损伤、睾酮合成酶基因(Star、Cyp11a1和Hsd-3β)和时钟基因(Clock、Bmal1和Rorα)表达下调等。(5)Spock3-MMP2-BTB、cAMP-CREB/CREM、CaMKI/RORα、Ca^{2+}/calpain/CDK5、钙通道蛋白及相关信号通路等在电磁辐射致生殖器官损伤中发挥重要作用。(6)葡萄糖-6-磷酸脱氢酶、乳酸脱氢酶、琥珀酸脱氢酶、乳酸脱氢酶同工酶等能量代谢相关酶在保护电磁辐射损伤生殖细胞和精子功能中发挥重要作用。

电磁辐射致男性生殖器官损伤机制仍存在诸多争议，深入研究损伤机制可为损伤效应提供分子依据，还可以从分子机制的角度解释其损伤发生、发展等过程，为电磁辐射致生殖损伤的评价提供分子标志物，为防治提供靶点。

关键词：电磁辐射；睾丸；精子；损伤；机制

作者简介：李艳阳(1996)，女(汉)，湖北，硕士。研究方向：电磁辐射生物效应。E-mail：lyy547152380@163.com

通信作者：彭瑞云，研究员。E-mail：ruiyunpeng18@126.com

OCT 影像人工智能在医学领域的研究现状与发展趋势

李彩卉[1,2]，　马　琼[1]，　薛恒钢[1]，　武京源[1]，　康宏向[1]

（1. 中国人民解放军军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所，　北京　100850
2. 承德医学院，　河北　067000）

摘　要：

光学相干断层成像(Optical Coherence Tomography，OCT)技术的研究始于 20 世纪 90 年代初，作为一种新型的生物医学成像技术，它的出现极大地丰富了光学检测手段在医疗和病理诊断方面的应用，并已成为目前医学临床的研究热点。OCT 利用了光源的低相干特性，能够实现高分辨率成像，并且成像深度可以达到毫米级，同时 OCT 还具有非侵入、无接触、无损伤、灵敏度高、实时成像等优点，因而在生命科学的基础研究和临床医学应用等方面具有极大的发展前景。目前，医学影像人工智能在医学领域发挥着重要作用，随着临床上对于 OCT 影像认识的提升，多种深度学习框架在 OCT 图像识别等领域取得很大进展。Al-Bander 等[1]开发了基于健康人和青光眼患者眼部 OCT 图像训练的卷积神经网络系统，可以自动识别区分正常眼和青光眼来辅助医师诊断决策，其分类准确性达到了 88.2%；Karimian 等[2]将深度学习和 OCT 成像相结合，将不同组织密度的牙齿 OCT 图像输入到卷积神经网络中进行特征提取，其输出层显示分类结果可以用来检测早期龋齿；Timo 等[3]使用改进的 U-Net 网络实现了对小鼠皮肤二维 OCT 图像进行处理，分割出表皮和真皮层、皮下脂肪层、筋膜和肌肉层、毛孔等结构；Abdolmanafi 等[4]基于深度学习构建了冠状动脉病变诊断模型，该模型可以帮助医师通过 OCT 图像更好地诊断出冠状动脉疾病以及并发症。未来 OCT 技术与先进的人工智能相结合辅以医生的诊疗经验，将为临床诊断的准确性和安全性提供至关重要的医学支撑，也进一步推进大数据和人工智能技术在健康医疗领域中的应用。

关键词：光学相干断层成像(OCT)；人工智能；辅助诊断

参考文献

[1] Al-Bander B, Al-Nuaimy W, Al-Taee M A, et al. Automated glaucoma diagnosis using deep learning approach. International Multi-Conference on Systems[C]. Signals and Devices (SSD), 2017, 207-210.

[2] Karimian N, Salehi H S, Mahdian M, et al. Deep learning classifier with optical coherence tomography images for early dental caries detection[C]. BiOS, 2018.

[3] Kepp T, Droigk C, Casper M, et al. Segmentation of mouse skin layers in optical coherence tomography image data using deep convolutional neural networks[J]. Biomedical Optics Express, 2019, 10(7): 3484-3496.

[4] Abdolmanafi A, Cheriet F, Duong L, et al. An automatic diagnostic system of coronary artery lesions in Kawasaki disease using intravascular optical coherence tomography imaging[J]. Journal of Biophotonics, 2020, 13(1): e201900112.

作者简介：李彩卉(2001)，女(汉)，河北，学士。研究方向：生物影像分析。E-mail：a1582335968@163.com
通信作者：康宏向，副教授。E-mail：khx007@163.com

联合细胞核和染色信号形态拓扑特征的循环异常细胞识别

李从胜[1]， 徐 旭[1]， 范献军[2]， 巫彤宁[1]

（1. 中国信息通信研究院， 北京 100191；
2. 珠海圣美生物诊断技术有限公司， 珠海 519060）

E-mail：wutongning@ caict. ac. cn

摘 要：

肺癌是第二大最常被诊断的癌症，是癌症死亡的主要原因[1]。肺癌早期患者的5年生存率高达83%，而到了晚期则下降到15%[2]。因此，早诊对提高患者的生存率至关重要。在早诊方法中，液体活检是一种微创、敏感的肿瘤早诊方法[3]。循环基因异常细胞(CACs)是液体活检分析的主要类型之一[4]。荧光原位杂交(FISH)是一种有效的检测CACs中特定基因异常繁殖的方法，通过计算多个荧光探针产生的核内信号增益来识别CACs[5]。Katz等人将每100μL血样中3个CACs作为恶性阈值，用于识别早期非小细胞肺癌患者[6]。然而由于核重叠和荧光信号的噪声等问题，临床上准确识别CACs仍具有很大的挑战。

研究基于四色FISH图像的细胞核和信号分布特征，提出了一种高效CAC识别方案(图1)。细胞核分割方面，研究提出融合非局部注意力模块重构Mask R-CNN的特征提取端到端的实例分割网络(CACNET)[7]，同时在训练过程中引入边缘约束头，提升重叠细胞核的分割效果。信号检测方面，研究提出轻量化的目标检测网络(FISH-NET)，利用旋转高斯核等效具有形态多样性的染色信号；提出一种差分增强模块抑制染色剂成团等导致的杂点；此外，引入幂激活函数提升弱信号检出率。最后通过对信号点计数，利用分类规则实现CACs识别。

研究所提的细胞核分割精度为92. 24%，信号点检测准确率达到96%，召回率达到98%左右。基于该模型研发的判读系统在国内10家中心853个样本上进行测试，CAC识别准确率达到94%，敏感性为98%，超过人类专家水平，检测效率约是人类专家的800倍。成果已在多个临床中心开展应用。

关键词：深度学习；细胞核分割；目标检测；肺癌早筛；循环异常细胞识别

项目基金：国家自然科学基金(61971445)

作者简介：李从胜(1987)，男(汉)，北京，博士。研究方向：医学图像处理。Email：licongsheng@ caict. ac. cn
徐旭(1998)，男(汉)，安徽六安，硕士。研究方向：医学图像处理。Email：xuxu_ 0816@ 163. com
范献军(1986)，男(汉)，广东珠海，博士。研究方向：显微成像与处理。Email：fan. xianjun@ sanmedbio. com
巫彤宁(1977)，男(汉)，北京，博士。研究方向：医学图像处理。Email：wutongning@ caict. ac. cn
通信作者：巫彤宁，教授级高工。Email：wutongning@ caict. ac. cn

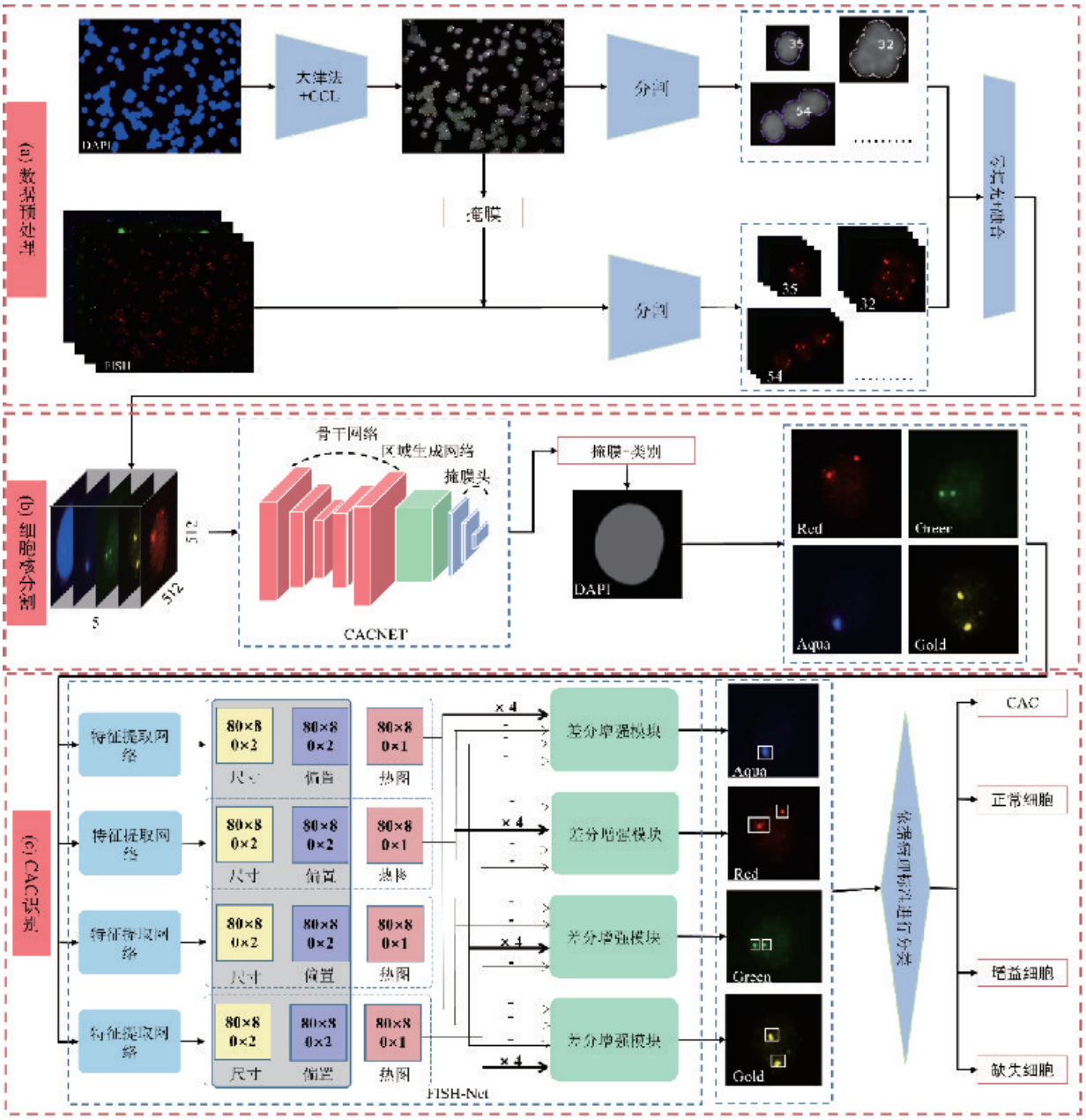


图 1　联合细胞核和染色信号形态拓扑特征的循环异常细胞识别流程图

CCL：连通域标记算法

参考文献

[1] Sung H, Ferlay J, Siegel R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA: a cancer journal for clinicians, 2021, 71(3): 209-249.

[2] Luo Y H, Luo L, Wampfler J A, et al. 5-year overall survival in patients with lung cancer eligible or ineligible for screening according to US Preventive Services Task Force criteria: a prospective, observational cohort study[J]. The Lancet Oncology, 2019, 20(8): 1098-1108.

[3] Poulet G, Massias J, Taly V. Liquid biopsy: general concepts[J]. Acta cytologica, 2019, 63(6): 449-455.

[4] Habli Z, AlChamaa W, Saab R, et al. Circulating tumor cell detection technologies and clinical utility: Challenges and opportunities[J]. Cancers, 2020, 12(7): 1930.

[5] Zhang B, He S, Chen C, et al. P2. 11-15 Detection of Circulating Genetically Abnormal Cells Improves the Diagnostic Accuracy in Lung Cancer Presenting with GGNs[J]. Journal of Thoracic Oncology, 2019, 14(10): S798.

[6] Katz R L, Zaidi T M, Pujara D, et al. Identification of circulating tumor cells using 4-color fluorescence in situ hybridization: validation of a noninvasive aid for ruling out lung cancer in patients with low-dose computed tomography-detected lung nodules[J]. Cancer cytopathology, 2020, 128(8): 553-562.

[7] Xu X, Li C, Fan X, et al. Attention Mask R-CNN with edge refinement algorithm for identifying circulating genetically abnormal cells[J]. Cytometry Part A, 2022.

体视学研究神经生长因子对坐骨神经损伤大鼠脊髓神经纤维的影响

杨林凤[1]，　黄　静[2]，　杨雁琪[3]，　陈熙蕾[4]，　易泓妤[4]，　黄美玲[5]，　杨正伟[1]，　彭　彬

（川北医学院：1. 基础医学与法医学研究所；2. 科技创新中心；
3. 口腔医学系；4. 临床医学系；5. 医学检验系，南充 637000）

摘　要：

目的：确定坐骨神经慢性压迫性损伤(CCI)所致神经病理性疼痛(NP)是否伴有脊髓背角内有髓或无髓神经纤维长度密度或体积分数的变化，以及神经生长因子(NGF)干预的作用。**方法**　3月龄雄性 Sprague-Dawley 大鼠随机分为 Sham 组、CCI 组和 CCI+NGF 组，术后 28 d 取材，将每只大鼠左侧和右侧 L_5 脊髓背角各分成 4 个组织块并采用球切法(isector)分别制成 1 张各向同性 Epon812 环氧树脂包埋超薄切片，利用透射电镜(TEM)在每张超薄切片内等距随机抽选视野拍照后，采用体视学方法进行测量：利用测点计数估计 L_5 脊髓背角内有髓和无髓神经纤维的体积分数；利用无偏体视框计数 L_5 脊髓背角内有髓神经纤维(正常/脱髓鞘病变)和无髓神经纤维的数量，得到 L_5 脊髓背角内有髓神经纤维和无髓神经纤维的长度密度以及出现脱髓鞘病变的有髓神经纤维所占百分比，并测量所抽选有髓神经纤维的直径及其髓鞘厚度。**结果**　与未手术侧比较，三组大鼠手术侧 L_5 节段脊髓背角内有髓或无髓神经纤维的体积分数、长度密度、出现脱髓鞘病变的有髓神经纤维所占百分比以及有髓神经纤维的直径、髓鞘厚度之间的差异均无统计学意义，三组大鼠相同侧别的组间比较其差异也无统计学意义。**结论**　CCI 所致 NP 以及 NGF 干预不会引起脊髓背角内有髓神经纤维和无髓神经纤维总体积或总长度的改变，也不会加重或减轻有髓神经纤维的脱髓鞘病变。

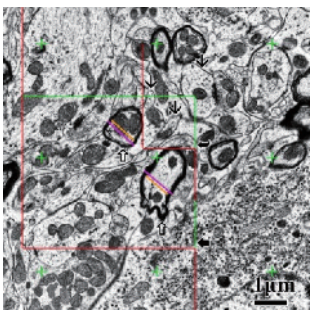


图 1　体视学测量示意图

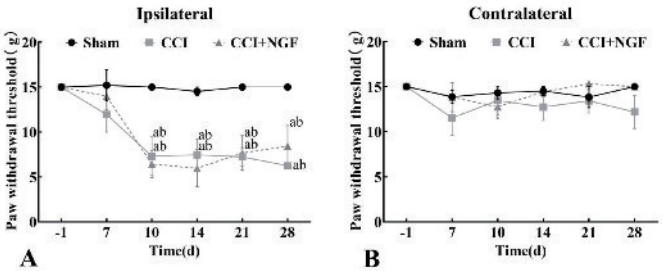


图 2　机械痛测试结果

基金项目：南充市科学技术局博士、硕士学位授权点和“一流学科”建设专项(20SXQT0304)；四川省大学生创新创业计划项目(S20211063071，S20211063111，S20211063014)

作者简介：杨林凤(1995-)，女，汉族，四川省营山县人，在读硕士研究生，研究方向：神经生物学，E-mail：364155428@qq.com

通信作者：彭彬，E-mail：340255492@qq.com

表 1　L_5脊髓背角内有髓及无髓神经纤维的电镜体视学定量结果($\bar{x}$±*SEM*)

组别	侧别	L_5背角截面面积(mm^2)	有髓 NF 体积分数	无髓 NF 体积分数	有髓 NF 长度密度(km/mm^3)	无髓 NF 长度密度(km/mm^3)	有髓 NF 纤维径(nm)	有髓 NF 髓鞘厚度(nm)	脱髓鞘病变有髓 NF 纤维百分比
Sham 组	手术侧	0.537±0.021	24.3%±2.0%	62.9%±1.5%	0.212±0.008	1.72±0.13	1000±32	106±4	28.8%±5.0%
(n=6)	未手术侧	0.537±0.021	24.8%±1.3%	62.9%±1.1%	0.226±0.008	1.76±0.19	1004±26	104±4	22.4%±6.6%
CCI 组	手术侧	0.549±0.026	24.1%±2.3%	61.9%±2.4%	0.208±0.019	1.73±0.15	992±25	109±2	22.4%±2.5%
(n=6)	未手术侧	0.549±0.026	25.4%±1.5%	62.4%±1.7%	0.221±0.018	1.53±0.13	995±32	103±3	19.0%±4.6%
CCI+NGF 组	手术侧	0.543±0.026	22.9%±2.7%	63.9%±3.1%	0.184±0.021	1.98±0.30	1015±25	114±4	30.0%±3.5%
(n=6)	未手术侧	0.543±0.026	24.3%±1.5%	63.4%±1.7%	0.189±0.011	1.86±0.10	1016±23	107±5	25.4%±2.4%

关键词：神经生长因子；坐骨神经损伤；神经病理性疼痛；脊髓背角；体视学

第三分会场

第十七届全国金相与显微分析学术研讨会暨第十二届全国材料科学与图像科技学术会议

钛金属表面微弧氧化-PDA 辅助沉积制备生物活性牙种植体

许健伟[1]，　彭　东[2]，　赵　靖[2]，　王　静[2]，　潘　涛[2]

（1. 佳木斯大学 材料科学与工程学院，　黑龙江 佳木斯　154004；
2. 百色学院 广西铝基新材料工程研究中心，　广西 百色　533000）

摘　要：

采用微弧氧化(MAO)-聚多巴胺(PDA)辅助沉积技术于钛金属表面构建高 Ca/P 比生物活性牙种植体表面。X-射线衍射(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)、表面接触角仪、划痕实验和聚合酶链式反应(RT-PCR)、激光共聚焦显微镜(LCSM)和体内种植实验分别检测其物相结构、形貌、接触角、膜层结合力和评估体内外生物性能。结果表明：钛金属经 MAO- PDA 处理后涂层结合力（1.30 N）、金属表面润湿性明显提升，接触角由 55.61°降至 6.95°。MAO-PDA 沉积复合涂层具有优良细胞增殖特性，β1-integrin/β-actin 基因表达最高达 0.998，LCSM 结果也证实动物体内成骨性能优良。采用微弧氧化-PDA 辅助沉积复合技术，可明显改善钛金属表面状态，获得优良的生物活性牙种植体，提高种植成功率。

关键词：钛；微弧氧化-PDA 辅助沉积；复合涂层；生物性能

参考文献

[1] Ottria L，Lauritano D，Andreasi Bassi M，Palmieri A，Candotto V，Tagliabue，Tettamanti L. Mechanical. Chemical and biological aspects of titanium and titanium alloys in implant dentistry[J]. Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents，2018（2 Su）：81-90.

[2] 周雯，彭显，程磊. 口腔种植体表面影响细菌黏附因素的研究进展[J]. 口腔疾病防治，2020(2)：102-106.

项目基金：国家自然科学基金(52161032)、广西自然科学基金项目(2020GXNSFAA159095)

作者简介：许健伟(1987-)，女(汉)，黑龙江佳木斯，博士研究生。研究方向：材料表面改性。E-mail：jmsdxxjw@126.com

通信作者：王静，教授，博士生导师，主要从事生物材料和金属二次电池关键材料研究。E-mail：jmsdxwangjing@163.com。

Biologicalactive coatings on Ti surfaces by MAO-PDA- aided deposition as dental implants

XU Jianwei[1], PENG Dong[2], ZHao Jing[2], WANG Jing[2], PAN Tao[2]

(1. Engineering Research Center of Advanced Aluminium Matrix Materials of Guangxi Province, Baise University, Baise 533000, China; 2. Provincial Key Laboratory of Biomaterials, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China)

Abstract:

Bioactive coatings with high Ca/P ratio were synthesized using microarc oxidation (MAO) and polydopamine (PDA) aided deposition technique on titanium surfaces. The active coatings were examined for phase structure, morphology, wettability. and bond force with XRD, SEM, contact angle meter, and scratch assay, respectively. Polymerase chain reaction (RT-PCR) and laser confocal scanning microscopy (LCSM) were employed to evaluate in vivo and in vitro biocompatibility. The results show that Ti surfaces produce a significant change of contact angle from 55. 61° to 6. 95° after MAO-PDA aided treatment, and the bond force of coatings reaches 1. 3N. The as-prepared coatings display excellent cell proliferation characteristics, β1-integrin/β-actin gene expression is up to 0. 998, and LCSM tests have also proved good bone formation in vivo. It is beneficial to the planting success rate of dental plants.

Key words: titanium; microarc oxidation-PDA aided deposition; composite coatings; bioproperties

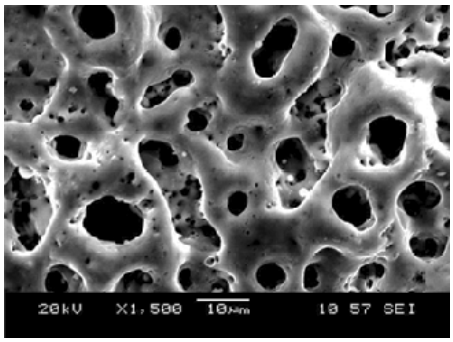


图 1 MAO 处理后 Ti 金属表面涂层形貌

Fig. 1 Ti surface coating morpholgies after MAO

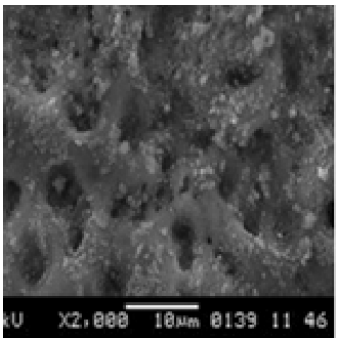


图 2 MAO-PDA 辅助沉积后 Ti 金属表面形貌

Fig. 2 Ti s rface coating morpholgies after MAO-PDA-aided deposition

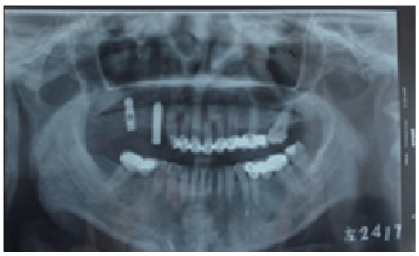


图 3 口腔种植 4 年后 X 射线图片

Fig. 3 X-ray Photo after oral implants for four years

非晶晶化法制备纳米晶 WC-Co 硬质合金的机理研究

徐毛宝，　刘雪梅，　宋晓艳

（北京工业大学 材料与制造学部，新型功能材料教育部重点实验室，　北京　100144）

摘　要：

WC-Co 硬质合金是一种典型的陶瓷-金属复合材料。由于其具有高的弹性模量、硬度、耐磨性等优点，被广泛应用于深井钻头、切削工具等领域。随晶粒尺寸减小，硬质合金的硬度、耐磨性提高，并且可获得高的强度，因此纳米结构硬质合金可能具有优异的综合力学性能。然而，受制备技术所限，目前针对平均晶粒尺寸在 100 nm 以下的纳米晶硬质合金块体材料的研究还非常有限。本研究组于国际上首次利用 Co-W-C 三元化合物粉末为初始材料，通过非晶晶化的方法成功制备出了平均晶粒尺寸小于 100 nm、物相纯净且具有高致密度的纳米晶硬质合金块体材料。制备的 WC-10wt.%Co 纳米晶硬质合金具有优良的综合力学性能，硬度达到 2356 kgf/mm^2，同时断裂韧性高达 13.26 $MPa \cdot m^{1/2}$，综合性能处于目前国际领先水平。然而，通过三元化合物非晶晶化制备纳米晶硬质合金的成相过程、晶体学关系的形成及演变规律还有待探索。为此，本研究采用截断加热的方法分步探究了上述过程。首次从原子尺度系统阐明了 Co_3W_3C、WC 优先在非晶态 Co-W-C 相中形核，进而 Co_3W_3C 和无定型 C 反应生成新的 WC 相和 Co 相的过程。此外，通过晶体学分析阐明了 Co_3W_3C 对 WC 长大时形成的纳米台阶的影响进而对 WC 择优取向生长的影响。本研究揭示的非晶晶化-取向生长的机理为纳米晶陶瓷基复合材料的设计制备提供了重要的科学指导，同时可拓展到多种金属-陶瓷复合材料的纳米化制备与组织结构调控。

关键词：陶瓷-金属复合材料；纳米晶硬质合金；非晶晶化；取向生长；晶体学分析

项目基金：国家自然科学基金重点项目(51631002)

作者简介：徐毛宝(1996-)，男，硕士研究生，研究方向：高性能纳米晶硬质合金。E-mail：xmb@ E-mails. bjut. edu. cn

通信作者：宋晓艳，教授，博士生导师。E-mail：xysong@ bjut. edu. cn

WC-Co 复合材料磨损行为的分子动力学模拟研究

娄鹤子， 王海滨， 邢 明， 刘雪梅， 宋晓艳

（北京工业大学 材料与制造学部，新型功能材料教育部重点实验室， 北京市 100124）

摘 要：

WC-Co 硬质合金由于具有高的强度和硬度、良好的韧性以及优异的耐磨性能而广泛应用于金属加工、矿山开采、模具制造等领域。研究其磨损失效机制，可以指导具有更高耐磨性能的硬质合金材料的开发。已有研究工作大都是基于实验结果从组织结构演变角度揭示硬质合金的磨损机理，但是受实验观测技术的限制，缺乏对其在服役过程中摩擦磨损的微观机制更深入的理解。基此，本研究采用分子动力学模拟方法，拟从原子尺度来揭示摩擦载荷作用下 WC-Co 复合材料中硬质相 WC、金属粘结相 Co 的变形和晶体结构缺陷产生、演化机制。本研究定量表征了 WC 晶粒中造成位错钉扎和堆积的滑移系，统计分析了 Co 相内的位错密度和位错反应类型。研究表明，在摩擦过程中，WC 和 Co 通过位错的形核、运动、湮灭及其相互作用来调节塑性变形；WC 晶粒可通过局部转动消耗内应力从而协调塑性变形；WC/WC 晶界对位错运动具有阻碍作用，晶界处会产生位错塞积，造成局部应力集中，导致微裂纹形成；而 WC/Co 相界处由于应力集中会在相邻的 WC 晶粒中触发位错形核与扩展，从而避免了微裂纹的形核。本研究结果可为耐磨损硬质合金材料的设计开发提供科学依据。

关键词：WC-Co 硬质合金；磨损行为；分子动力学模拟；位错运动；塑性协调机制

项目基金：国家自然科学基金面上项目(52171061)

作者简介：娄鹤子(1996-)，女，辽宁，硕士研究生。研究方向：硬质合金涂层的分子动力学模拟研究。E-mail：hzlou@ E-mails. bjut. edu. cn

通信作者：王海滨，副研究员，硕士生导师。E-mail：whb@ bjut. edu. cn

超粗晶硬质合金的弯曲疲劳失效机理研究

高德强，　刘雪梅，　吕　皓，　王海滨，　宋晓艳

（北京工业大学，材料与制造学部，新型功能材料教育部重点实验室，　北京　100144）

摘　要：

本文的目的是研究超粗晶硬质合金三点弯曲载荷下的疲劳失效机制。以制备的超粗晶 WC-8Co 硬质合金为例，结合三点弯曲疲劳实验和背散射电子衍射技术、透射电子显微镜技术，对超粗晶硬质合金在不同条件下的疲劳寿命进行测定，并通过对比单次弯曲及循环弯曲载荷下失效试样断口处的微观组织形貌特征，揭示超粗晶硬质合金的疲劳失效机制。结果表明，当应力比 R（$R=\sigma_{min}/\sigma_{max}$）从 0.1 增加到 0.3 后，合金的疲劳寿命明显增加；相比于单次三点弯曲载荷下试样的脆性断裂，循环弯曲载荷下疲劳失效试样中穿晶裂纹的比例明显增加，且有更多的 Co 发生了 fcc-Co 到 hcp-Co 的相转变，同时 WC 中具有更高的位错密度。由此可见，WC 中大量位错的产生、运动进而形成位错缠结是导致硬质合金疲劳裂纹产生的主要原因，微裂纹在 WC 晶粒中呈河流状扩展，最终造成硬质合金疲劳失效。

关键词：超粗晶硬质合金；三点弯曲疲劳；粘结相相变；陶瓷相内位错

项目基金：国家自然科学基金重点项目（51631002）

作者简介：高德强（1995－），男，硕士研究生，研究方向：超粗晶硬质合金疲劳行为研究。E-mail：gao18811327053@163.com

通信作者：刘雪梅，副教授，硕士生导师。E-mail：liuxuemei@bjut.edu.cn

纳米晶 NbMoTaW-Cu 复合材料的制备与力学性能研究

罗锦阳， 侯 超， 宋晓艳

（北京工业大学，材料与制造学部，新型功能材料教育部重点实验室， 北京 100144）

摘 要：

W-Cu 复合材料是由两相金属均匀混合而成的一种假合金，其结合了组元各自的优异性能，且可通过改变成分进行调控。然而，W-Cu 复合材料在服役过程中尤其是高温环境中容易发生变形而失效，这严重影响了其服役寿命和应用范围。多主元高熵合金具有超高的强度、高加工硬化能力、耐高温软化等优异的综合性能，尤其是由难熔金属元素组成的具有体心立方结构的高熵合金，表现出很高的高温强度。为了进一步缓解复合材料的变形失效、延长其高温服役寿命，本研究制备出纳米晶难熔高熵合金 NbMoTaW-Cu 复合材料，揭示了复合材料制备过程中各元素的再分布规律和显微结构特征，发现了相界面处的多组元非晶结构过渡层并阐明了熵效应对其形成的影响机理。纳米晶 NbMoTaW-Cu 复合材料的室温硬度为 390.7 HV_{30}，压缩强度可达 1600 MPa，分别比具有相同 Cu 体积分数的纳米晶 W-Cu 复合材料高出 27.2%和 40.9%，并且，NbMoTaW-Cu 复合材料在 900℃下的硬度比 W-Cu 复合材料高 31.7%。本研究开发的 NbMoTaW-Cu 复合材料在高温应用领域具有广阔的应用前景，为缓解 W-Cu 复合材料的高温变形失效提供了新的解决途径。

关键词：难熔高熵合金；W-Cu 复合材料；纳米结构；强度

项目基金：国家自然科学基金重点项目(51631002)

作者简介：罗锦阳(1997-)，男(汉)，陕西，硕士研究生。研究方向：难熔高熵合金基复合材料。E-mail：jyluo@emials.bjut.edu.cn

通信作者：侯超，副研究员，硕士导师。E-mail：houchao@bjut.edu.cn

Ti-6Al-4V 合金超塑性变形组织演变的人工神经网络预测

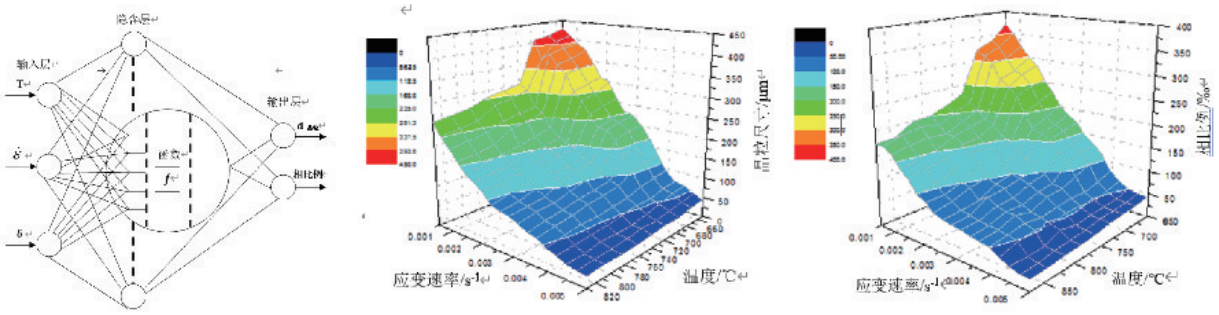
王　鑫，　门　月，　张浩宇，　周　舸，　张思倩，　李　锋，　陈立佳

（沈阳工业大学，材料科学与工程学院，　北京　110870）

摘　要：

对α、β双相 Ti-6Al-4V 钛合金不同变形条件（温度：650～850℃，应变速率：5×10^{-4}～5×10^{-2} s^{-1}）进行了超塑性拉伸试验，并对该合金超塑性变形组织演变进行了研究。研究过程采用 BP 人工神经网络技术，构建了基于超塑性变形温度、应变速率、延伸率为输入变量，晶粒尺寸、相比例为输出变量的三层 BP 人工神经网络模型，预测了该合金不同超塑性变形实验条件下的微观组织演变。同时，对该模型的隐含层数、神经元个数、输入输出数据、算法函数以及数据进行了科学合理的优化。研究结果表明：采用该方法的预测精度较高，网络预测值与试验数据值相对误差小于 4.9%，能够较好的预测 Ti-6Al-4V 合金的超塑性变形过程的组织演变规律。

关键词：Ti-6Al-4V 合金；BP 人工神经网络模型；超塑性变形；微观组织演变；预测精度



通信作者：周舸，E-mail：zhogue@ sut. edu. cn

Application of artificial neural network for prediction of superplastic deformation Microstructural evolution in Ti-6Al-4V Alloy

WANG Xin, MEN Yue, ZHANG Haoyu, ZHOU Ge, ZHANG Siqian, LI Feng, CHEN Lijia

(School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract:

A three-layer BP artificial neural network model of Ti-6Al-4V dual-phase titanium alloy was constructed by artificial neural network technology, with superplastic deformation temperature, strain rate and elongation as input variables, grain size and phase ratio as output variables. Microstructural evolution of the alloy under different superplastic deformation process (Temperature: 650-850℃, Strain rate: $5\times10^{-4}\sim5\times10^{-2}$ s^{-1}) conditions were predicted. In order to obtain better prediction results, the hidden layers of the model, the number of neurons, input and output data, algorithm functions and data have been scientifically and rationally optimized. The results show that the prediction accuracy of this method is higher, and the relative error between network prediction value and experimental data value is less than 4.9%, which could predict the superplastic Microstructural evolution of Ti-6Al-4V alloy very well.

Key words: Ti-6Al-4V alloy; BP artificial neural network; superplastic deformation; microstructural; prediction accuracy

城轨列车制动盘 SiCp/A356 复合材料热疲劳裂纹扩展机理研究

臧家俊[1]，　杨智勇[1]，　方丹琳[2]，　李　翔[3]，　李志强[1]，　李卫京[1]

（1. 北京交通大学 机械与电子控制工程学院，　北京　100044；
2. 北京林业大学 工学院，　北京　100083；
3. 中国铁道科学研究院 金属及化学研究所，　北京　100081）

摘　要：

冷热疲劳裂纹扩展是制动盘材料失效的主要形式。城轨列车 SiCp/A356 复合材料制动盘服役时承受较普通客车和动车组更加频繁的冷热循环载荷，极易形成热疲劳裂纹。为研究制动盘服役温度载荷及材料微结构对 SiCp/A356 复合材料热疲劳裂纹扩展行为的影响，本文开展了 SiCp/A356 复合材料在服役温度载荷下的热疲劳裂纹扩展试验。结果表明：裂纹扩展过程包括由 SiC 颗粒偏转作用和二次裂纹释放扩展驱动力导致的缓慢扩展阶段和主裂纹与裂纹扩展前端微损伤连接的快速扩展阶段；冷热循环上限温度较低时，裂纹扩展的“台阶状”特征明显，裂纹宽度较小且扩展速率较慢，裂纹扩展方式为颗粒断裂、轻量基体撕裂和沿界面开裂；上限温度较高时，“斜直线跃升”阶段更为明显，裂纹宽度较大且扩展速率较高，裂纹扩展以颗粒脱落以及大幅度基体撕裂为主，且随着循环上限温度的升高，热疲劳裂纹达到快速扩展阶段前的循环次数逐渐减少，其抵抗热疲劳性能变差；主裂纹总是沿 SiC 颗粒群或者直接穿过 α-Al 基体以阻力较小的方式向前扩展，同时裂纹前端微损伤对其扩展具有的引导作用。本研究明确 SiCp/A356 复合材料热疲劳裂纹扩展的微观机理，为 SiCp/A356 复合材料制动盘的工程应用和服役安全性提供技术支撑。

关键词：制动盘；铝基复合材料；热疲劳裂纹

参考文献

[1] 杨智勇．高速客车铝基复合材料制动盘热损伤和结构设计研究[D]．北京：北京交通大学，2008.

[2] 滕杰．高速列车用铝基复合材料制动盘及其闸片的制备、摩擦磨损性能及机理研究[D]．长沙：湖南大学，2006.

[3] 齐海波，丁占来，樊云昌，等．SiC 颗粒增强铝基复合材料制动盘的研究[J]．复合材料学报，2001(1)：62-66.

[4] 陈春峰．铝基复合材料制动盘的设计及制造研究[D]．北京：北京交通大学，2007.

[5] ZEUNER T，张彦．高速列车使用铝基复合材料制动圆盘[J]．国外机车车辆工艺，1999(2)：19-21.

[6] 李微，安帅朋，杨蕾，等．SiC 颗粒尺寸对喷射沉积铝硅复合材料高温疲劳性能的影响[J]．材料热处理学报，2021，42(1)：34-43.

[7] LI W，CHEN H T，L. ZUO L，et al. Thermomechanical fatigue behavior of spray-deposited SiCp/Al-Si composite applied in the high-speed railway brake disc[J]. International Journal of Photoenergy，2020，2020(1)：1-11.

项目基金：中央高校基本科研业务费专项资金资助(2021YJS146)

作者简介：臧家俊(1993-)，男(汉)，山东临沂，博士研究生。研究方向：铝基复合材料制动盘服役损伤研究。E-mail：20116027@ bjtu. edu. cn

通信作者：杨智勇，副教授。E-mail：zhyyang@ bjtu. edu. cn

[8] AYYAR A, CHAWLA N. Microstructure-based modeling of crack growth in particle reinforced composites[J]. Composites Science and Technology, 2006, 66(13): 1980-1994.

[9] 张俊清, 周素霞, 杨月, 等. 高速列车制动盘 SiCp/A356 颗粒增强铝基复合材料的热疲劳性能研究[J]. 工程力学, 2011, 28(8): 252-256.

[10] TEVATIA A, SRIVASTAVA S K. Influence of residual thermal stresses on fatigue crack growth life of discontinuous reinforcements in metal matrix composites[J]. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2017, 40(1): 81-88.

[11] 刘奋成, 熊其平, 刘强, 等 搅拌摩擦加工碳纳米管增强 7075 铝基复合材料的疲劳性能[J]. 稀有金属材料与工程, 2015, 44(7): 1786-1790.

[12] LUO Y, WU S C, HU Y N, et al. Cracking evolution behaviors of lightweight materials based on in situ synchrotron X-ray tomography: A review[J]. Frontiers of Mechanical Engineering, 2018, 13(4): 461-481.

[13] 颜新宇, 王守仁, 温道胜, 等 HfC 颗粒对 WC/Co 复合材料裂纹萌生和扩展行为的影响[J]. 西北工业大学学报, 2019, 37(3): 628-635.

[14] CHEN Z, PING H, CHEN L. The role of particles in fatigue crack propagation of aluminum matrix composites and casting aluminum alloys[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2007, 23(2): 213-216.

[15] QIAN L, TODA H, MORITA S, et al. In-situ observations of fracture processes in 0.6 mu m and 9.5 mu m SiCP/6061Al composites[J]. Materials Transactions, 2005, 46(1): 34-41.

[16] 潘利科. 铝基复合材料摩擦制动服役特性及失效机制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.

[17] 李翔. SiCp/A356 复合材料裂纹扩展机理研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.

[18] ZHANG X X, XIAO B L, ANDRÄ H, et al. Multiscale modeling of macroscopic and microscopic residual stresses in metal matrix composites using 3D realistic digital microstructure models[J]. Composite Structures, 2016, 137: 18-32.

[19] SURESH S, SHENBAG N, MOORTHI V. Aluminium-titanium diboride (Al-TiB2) metal matrix composites: challenges and opportunities[J]. Procedia Engineering, 2012, 38.

[20] 范映伟. 金属基复合材料微观损伤行为的研究进展[J]. 材料热处理学报, 2020, 41(10): 1-23.

[21] 张建云, 邹晋, 周贤良, 等. 颗粒对铝基复合材料热残余应力的影响[J]. 材料热处理学报, 2009, 30(1): 197-200.

基于余氏理论的 TC4 钛合金组织模拟及抗拉强度计算研究

林　成[1]，　林丽彬[1]，　赵永庆[2]

（1. 辽宁石油化工大学机械工程学院，　辽宁 抚顺　113001；
2. 西北有色金属研究院，　陕西 西安　710016）

摘　要：

本文利用余氏理论的原子团簇模型及计算的结合能，结合元胞自动机(生命游戏规则)，给出了 TC4 钛合金组织模拟及抗拉强度计算新的模型方法，为合金成分—制备工艺—组织—性能间定量关系建立提供了一种新的思路，研究结果如下：

(1)将余氏理论及元胞自动机思想相结合，建立了 TC4 钛合金β相高温固溶组织的模拟方法，开展了不同固溶温度(1000℃、1050℃、1100℃)及不同固溶时间(0.5h、1h、1.5h 及 2h)的β相高温组织模拟，获得了比较理想的模拟晶粒尺寸(误差在 10%之内)及组织模拟图。

(2)将余氏理论及元胞自动机思想结合，建立了 TC4 钛合金固溶水淬后室温组织的模拟方法，开展了 1000℃固溶 0.5h、1h、1.5h 及 2h 并水淬的 TC4 合金室温组织模拟，获得了比较理想的模拟晶粒尺寸(误差在 10%之内)及组织模拟图。

(3)建立了形核点与固溶温度的定量关系式；尝试了利用晶粒尺寸将固溶时间与模拟步长间建立关联；这些工作在后续继续完善基础上，可能为合金成分—制备工艺—组织—性能间建立定量关系提供可借鉴的思路。

(4)利用淬火室温组织模拟获得的强化权重，提出了基于余氏理论的 TC4 钛合金淬火态抗拉强度理论计算公式，理论值与实验值符合较好，误差为 8.1925%。这种方法实现了组织模拟与性能计算的真正统一。

关键词：钛合金；组织模拟；强度计算；余氏理论；元胞自动机

参考文献

[1] 林成，黄士星，尹桂丽，等．固体与分子经验电子理论的发展现状与展望[J]．兵器材料科学与工程，2016，39(1)：110-114.

[2] 李飞，林成．余氏理论的内涵及发展展望[J]．材料导报，2020，34(13)：13109-13113.

[3] 刘志林，林成．合金电子结构参数统计值及合金力学性能计算[M]．北京：冶金工业出版社，2008.

[4] 林成，赵永庆，刘志林．钛合金成分定量设计方法[p]：中国专利，200910248943.5，2012-04-04

作者简介：林成(1979-)，男(汉)，辽宁朝阳，博士研究生。研究方向：余氏理论及其应用研究。E-mail：lincheng@lnpu.edu.cn

通信作者：林成，教授。E-mail：lincheng@lnpu.edu.cn

钢铁材料微观组织人工智能分析研究

张佳宁[1]， 吴赵波[2]， 张 梦[3]， 孙成祥[3]

（1. 中国钢研科技集团有限公司， 北京 100081； 2. 钢铁研究总院 中心实验室， 北京 100081；
3. 欧波同科技产业有限公司， 鞍山 114044）

摘 要：

人工智能在钢铁材料检测分析领域的应用不断增加，对满足材料基因和高通量实验发展需求、推动微观分析日趋智能化发挥着重要作用。本文针对钢铁材料微观组织开展人工智能分析研究，建立了面向钢铁材料微观组织的数据集，基于传统图像处理和深度学习相结合的方法，实现了组织辨识、晶粒度评级和夹杂物自动检测分析任务。其中晶粒度评级采用深度学习语义分割和图像分类两种技术路线，实现了对于不同质量图像的评级。目前，组织辨识准确率均达95%以上，晶粒度评级准确度达90%以上，夹杂物的识别准确率达90%以上。

关键词：微观组织；人工智能；组织辨识；晶粒度评级；夹杂物分析

Artificial intelligence analysis and research on microstructure of steel materials

ZHANG Jianing[1]， WU Zhaobo[2]， ZHANG Meng[3]， SUN Chengxiang[3]

（1. China Iron & Steel Research Institute Group，Beijing 100081，China；
2. Laboratory of Central Iron and Steel Research Institute Beijing 100081 China；
3. Opton Optical Technology Co. ，Ltd. ，Anshan 114044 China）

Abstract： The increasing application of artificial intelligence in the field of steel material detection and analysis plays an important role in meeting the development needs of material genes and high-throughput experiments，and promoting the increasingly intelligent micro analysis. In this paper，artificial intelligence analysis was carried out for the microstructure of steel and iron materials，and a data set for the microstructure of steel and iron materials was established. Based on the combination of traditional image processing and deep learning，the tasks of tissue identification，grain size rating and automatic detection and analysis of inclusions were realized. Deep learning semantic segmentation and image classification are used for grain size rating to achieve the rating of images with different quality. At present，the accuracy of microstructure identification is above 95%，the accuracy of grain size rating is above 90%，and the accuracy of inclusion identification is above 90%.

Key words： microstructure；artificial intelligence；identification of microstructure；grain size rating；analysis of inclusions

多功能扫描探针成像技术在低维材料力学和电学性质研究中的应用

张光杰，　裘晓辉

（国家纳米科学中心）

摘　要：

扫描探针显微技术是一种能够在纳米/亚纳米尺度对材料表面形貌和物理化学性质进行成像的技术，结合功能化针尖和接触/非接触式等探测方式，可实现材料或器件的局域力学、电学等性质的测量。利用扫描探针悬臂的法向和侧向偏折模式，可测量材料的杨氏模量、表面粘附力和摩擦力。这些力学信息可用来区分材料表面不同相\畴区分布，弥补单一高度成像的衬度不足问题。通过在导电针尖-样品之间施加交流调制电压，利用针尖-样品之间形成的电容，可测量材料的局域电学性质。我们测量了含5，6，7元环的非晶碳单原子层的电学性质，在不需要电极接触的情况下确认了其p型导电特性。利用扫描开尔文探针显微镜准确测量了有机场效应晶体管的迁移率，避免了电极地接触电阻问题；结合原位光场调控手段揭示了有机晶体与石墨烯界面的电荷转移。多功能扫描探针成像技术实现了微观层面揭示材料构效关系，并使在原位工况下研究功能器件的工作机制成为可能。

基于 EBSD 数据的高温母相重构及应用

顾新福

（北京科技大学）

摘　要：

高温母相的组织状态对于理解相变产物的组织特征至关重要。然而受设备或实验费用的限制，高温取向研究有限。目前国内外发展了一种成本低廉的晶体学重构方法，借助于相变产物(低温相)的 EBSD 取向数据重构高温母相取向。相变产物与母相之间往往具有特定的晶体学关系(如钢铁材料中的 K-S 位向关系，钛合金中的 Burgers 位向关系)。由于母相晶体的对称性，新生成的第二相具有多种等价的晶体学关系，即变体。根据生成相变体与母相对称性的关联，可以反推母相的高温取向，结果用于母相高温织构的评价、母相组织状态对后期相变的影响等研究。本报告将从①相变变体的起源；②由相变变体确定母相取向关系的方法；③母相晶粒的重构方法等方面介绍基于新相 EBSD 数据重构高温母相取向的晶体学基础及应用。

多尺度 X 射线三维成像技术及其应用

王绍钢

（中国科学院金属研究所，沈阳材料科学国家研究中心，　沈阳　110016）

摘　要：

材料成分、组织、结构与性能之间的关系是材料科学的主要研究内容之一。组织均匀性和性能稳定性是材料科学研究难点之一。清晰、全面、准确地认识材料微观结构，是发展高性能材料的前提。与传统二维表征技术如金相、SEM 和 TEM 等技术相比，多尺度 X 射线三维成像技术可以高效提供无损、内部、定量、三维复杂拓扑微观结构信息，空间分辨率可达 50 纳米。本报告将介绍多尺度 X 射线三维成像技术，并给出该技术在材料科学中的具体应用案例，以期为更多先进材料研发提供借鉴与思路。

关键词：X 射线；三维成像；多尺度；定量；无损

参考文献

[1] Zhang L, Wang S. Correlation of Materials Property and Performance with Internal Structures Evolvement Revealed by Laboratory X-ray Tomography[J]. Materials, 2018, 11(10): 1795.

[2] Zhou G M, Li L, Ma C Q, Wang S G, Shi Y, Koratkar N, Ren W C, Li F, Cheng H M. A graphene foam electrode with high sulfur loading for flexible and high energy Li-S batteries[J]. Nano Energy, 2015, 11: 356-365.

[3] Wu Z, Hu W P, Luo Y X, Sun L C, Wang J Y. Porous γ-(Y1-xHox)2Si2O7 thermal insulator with excellent high-temperature strength retention and very low thermal conductivity[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2018, 38 (9): 3347-3353.

项目基金：沈阳材料科学国家研究中心青年人才项目(25L2020F26)

作者简介：王绍钢，1981，男，汉族，山东济南，博士。研究方向：X 射线三维成像技术研发及其在材料科学中的应用。

通信作者：王绍钢，高级工程师。E-mail：wangshaogang@ imr. ac. cn

城轨列车制动盘 SiCp/A356 复合材料热疲劳裂纹扩展机理研究

臧家俊[1]，　杨智勇[1]，　方丹琳[2]，　李　翔[3]，　李志强[1]，　李卫京[1]

（1. 北京交通大学 机械与电子控制工程学院，　北京　100044；
2. 北京林业大学 工学院，　北京　100083；
3. 中国铁道科学研究院 金属及化学研究所，　北京　100081）

摘　要：

冷热疲劳裂纹扩展是制动盘材料失效的主要形式。城轨列车 SiCp/A356 复合材料制动盘服役时承受较普通客车和动车组更加频繁的冷热循环载荷，极易形成热疲劳裂纹。为研究制动盘服役温度载荷及材料微结构对 SiCp/A356 复合材料热疲劳裂纹扩展行为的影响，本文开展了 SiCp/A356 复合材料在服役温度载荷下的热疲劳裂纹扩展试验。结果表明：裂纹扩展过程包括由 SiC 颗粒偏转作用和二次裂纹释放扩展驱动力导致的缓慢扩展阶段和主裂纹与裂纹扩展前端微损伤连接的快速扩展阶段；冷热循环上限温度较低时，裂纹扩展的“台阶状”特征明显，裂纹宽度较小且扩展速率较慢，裂纹扩展方式为颗粒断裂、轻量基体撕裂和沿界面开裂；上限温度较高时，“斜直线跃升”阶段更为明显，裂纹宽度较大且扩展速率较高，裂纹扩展以颗粒脱落以及大幅度基体撕裂为主，且随着循环上限温度的升高，热疲劳裂纹达到快速扩展阶段前的循环次数逐渐减少，其抵抗热疲劳性能变差；主裂纹总是沿 SiC 颗粒群或者直接穿过 α-Al 基体以阻力较小的方式向前扩展，同时裂纹前端微损伤对其扩展具有的引导作用。本研究明确 SiCp/A356 复合材料热疲劳裂纹扩展的微观机理，为 SiCp/A356 复合材料制动盘的工程应用和服役安全性提供技术支撑。

关键词：制动盘；铝基复合材料；热疲劳裂纹

Study on Thermal Fatigue Crack Propagation Mechanism of SiCp/A356 Composite for Urban Rail Train Brake Disc

ZANG Jiajun[1]，　YANG Zhiyong[1]，　FANG Danlin[2]，　LI Xiang[3]，
LI Zhiqiang[1]，　LI Weijing[1]

（1. School of Mechanical, Electronic and Control Engineering, Beijing JiaoTong University, Beijing 100044；
2. School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083；
3. Metal & Chemistry Research Institute, China Academic of Railway Sciences, Beijing 100081）

项目基金：中央高校基本科研业务费专项资金资助(2021YJS146)

作者简介：臧家俊(1993)，男(汉)，山东临沂，博士研究生。研究方向：铝基复合材料制动盘服役损伤研究。E-mail：20116027@ bjtu. edu. cn

通信作者：杨智勇，副教授。E-mail：zhyyang@ bjtu. edu. cn

参考文献

[1] 杨智勇. 高速客车铝基复合材料制动盘热损伤和结构设计研究[D]. 北京：北京交通大学，2008.

[2] 滕杰. 高速列车用铝基复合材料制动盘及其闸片的制备、摩擦磨损性能及机理研究[D]. 长沙：湖南大学，2006.

[3] 齐海波，丁占来，樊云昌，等. SiC 颗粒增强铝基复合材料制动盘的研究[J]. 复合材料学报，2001(1)：62-66.

[4] 陈春峰. 铝基复合材料制动盘的设计及制造研究[D]. 北京：北京交通大学，2007.

[5] ZEUNER T，张彦. 高速列车使用铝基复合材料制动圆盘[J]. 国外机车车辆工艺，1999(2)：19-21.

[6] 李微，安帅朋，杨蕾，等. SiC 颗粒尺寸对喷射沉积铝硅复合材料高温疲劳性能的影响[J]. 材料热处理学报，2021，42(1)：34-43.

[7] LI W，CHEN H T，L. ZUO L，et al. Thermomechanical fatigue behavior of spray-deposited SiCp/Al-Si composite applied in the high-speed railway brake disc[J]. International Journal of Photoenergy，2020，2020(1)：1-11.

[8] AYYAR A，CHAWLA N. Microstructure-based modeling of crack growth in particle reinforced composites[J]. Composites Science and Technology，2006，66(13)：1980-1994.

[9] 张俊清，周素霞，杨月，等. 高速列车制动盘 SiCp/A356 颗粒增强铝基复合材料的热疲劳性能研究[J]. 工程力学，2011，28(8)：252-256.

[10] TEVATIA A，SRIVASTAVA S K. Influence of residual thermal stresses on fatigue crack growth life of discontinuous reinforcements in metal matrix composites[J]. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures，2017，40(1)：81-88.

[11] 刘奋成，熊其平，刘强，等 搅拌摩擦加工碳纳米管增强 7075 铝基复合材料的疲劳性能[J]. 稀有金属材料与工程，2015，44(7)：1786-1790.

[12] LUO Y，WU S C，HU Y N，et al. Cracking evolution behaviors of lightweight materials based on in situ synchrotron X-ray tomography：A review[J]. Frontiers of Mechanical Engineering，2018，13(4)：461-481.

[13] 颜新宇，王守仁，温道胜，等 HfC 颗粒对 WC/Co 复合材料裂纹萌生和扩展行为的影响[J]. 西北工业大学学报，2019，37(3)：628-635.

[14] CHEN Z，PING H，CHEN L. The role of particles in fatigue crack propagation of aluminum matrix composites and casting aluminum alloys[J]. Journal of Materials Science & Technology，2007，23(2)：213-216.

[15] QIAN L，TODA H，MORITA S，et al. In-situ observations of fracture processes in 0. 6 mu m and 9. 5 mu m SiCP/6061Al composites[J]. Materials Transactions，2005，46(1)：34-41.

[16] 潘利科. 铝基复合材料摩擦制动服役特性及失效机制研究[D]. 北京：北京交通大学，2017.

[17] 李翔. SiCp/A356 复合材料裂纹扩展机理研究[D]. 北京：北京交通大学，2018.

[18] ZHANG X X，XIAO B L，ANDRÄ H，et al. Multiscale modeling of macroscopic and microscopic residual stresses in metal matrix composites using 3D realistic digital microstructure models[J]. Composite Structures，2016，137：18-32.

[19] SURESH S，SHENBAG N，MOORTHI V. Aluminium-titanium diboride (Al-TiB2) metal matrix composites：challenges and opportunities[J]. Procedia Engineering，2012，38.

[20] 范映伟. 金属基复合材料微观损伤行为的研究进展[J]. 材料热处理学报，2020，41(10)：1-23.

[21] 张建云，邹晋，周贤良，等. 颗粒对铝基复合材料热残余应力的影响[J]. 材料热处理学报，2009，30(1)：197-200.

不同加载方式下硬质合金应力状态和应变响应的有限元模拟研究

吕　皓，　杨雨露，　陈静洪，　宋晓艳

（北京工业大学 材料与制造学部/新型功能材料教育部重点实验室，　北京　100124）

摘　要：

硬质合金材料中存在分布不均匀的残余热应力，在承载过程中残余热应力与外加载荷产生复杂的交互作用，影响材料的力学性能。现有的实验和模拟方法均为统计性分析方法，难以在微观组织尺度分析应力分布的细节和特征。本文利用有限元模拟的方法研究了硬质合金的残余热应力分布特征，分析了不同载荷方式下硬质合金内的应力状态，研究了残余热应力和外加载荷之间的相互作用。通过对硬质合金在压缩和拉伸过程中不均匀应变响应的系统研究，揭示了制备态应力与外加载荷的交互作用机理以及硬质合金在承载过程中的应变响应规律和失效机制。基于应力分析，提出了提高硬质合金承载能力的组织结构设计方法和理论依据。该方法也可应用于其他多种多相复合材料的应力分析和微观组织优化。

关键词：硬质合金；有限元模拟；应力分析；微观组织优化

项目基金：国家自然科学基金（52101003，92163107）；北京市自然科学基金（2222046）；天津市海河实验室科学研究项目“先进功能材料多尺度高效计算平台”（22HHXCJC00007）

作者简介：吕皓（1990），男（汉），天津人，博士。研究方向：基于多尺度高通量计算的金属材料设计。E-mail：haolu@bjut. edu. cn

通信作者：宋晓艳，职称：教授。E-mail：xysong@ bjut. edu. cn

材料科学与工程专业多层次模块化实验教学体系的深化设计

叶　飞

（南方科技大学 工学院材料科学与工程系，　广东　518055）

摘　要：

“新工科”是我国新时代工科教育发展方向，以新工科背景为契机，构建新时期的材料科学与工程专业实验教学体系具有重要意义。在“新工科”内涵和“目标导向”教学思想的引领下，实验课程体系的建设必然向层次化和模块化发展。本文设计了材料科学与工程专业模块化实验教学体系，探讨了各个层次实验教学的模块化思路和方法，并以南方科技大学材料科学工程专业的实验教学体系为例说明了建立多层次模块化实验教学体系的具体做法。南方科技大学材料科学与工程系依据材料科学与工程专业“高层次复合型科技人才”的培养目标，以“实验平台-实验课程-教学模式-教学团队-管理机制”为主线，通过材料科学与工程专业实验教学体系的综合建设和改革，建设形成与科研和工程实践紧密结合的新工科实验教学体系。优化整合实验教学资源，形成“专业基础-专业方向-综合设计”三级实验平台，同时建设信息化辅助平台，包括虚拟仿真实验、实验教学管理等功能，支撑在线实验教学。设置“实验课程-实验项目-实验知识和技能“三个层次的实验课程和实验项目体系。实验课程依托于三级实验平台循序开展。实验项目以“设计-制备-加工-表征”全流程的综合性实验为特色，形成“材料理化基础-材料性质和性能-材料制备和处理-材料器件和应用”四个模块的知识和技能结构，并以设计性实验开展项目引导式教学，与科研和工程实践教学紧密衔接。

关键词：实验教学；教学体系；多层次；模块化

项目基金：南方科技大学 2020 年度教学改革项目（XJJG202022）

作者简介：叶飞（1975），男（汉），河北，博士。研究方向：燃料电池材料。E-mail：yef3@ sustech. edu. cn

通信作者：叶飞，教授。E-mail：yef3@ sustech. edu. cn

超粗晶硬质合金的疲劳失效机理及高耐疲劳性合金设计

刘雪梅，　高德强，　吕　皓，　王海滨，　赵　治，　宋晓艳

（北京工业大学 材料与制造学部/新型功能材料教育部重点实验室，　北京　100124）

摘　要：

WC-Co 基超粗晶硬质合金是煤炭采掘、岩石开采、巷道掘进等工程设备的关键材料，其服役寿命严重影响大型设备的施工效率和安全。深入研究 WC-Co 基超粗晶硬质合金的疲劳行为及关键影响因素，对于设计和开发高使用寿命的超粗晶硬质合金具有重要的指导意义。本文在设计三点弯曲疲劳实验的基础上，研究了其疲劳性能随外加载荷大小和应力比的变化，分析了超粗晶硬质合金的疲劳失效机制；基于此，设计了添加 VC、Cr_3C_2和 TaC 的超粗晶硬质合金。结果表明：超粗晶硬质合金的疲劳寿命随着循环载荷的增加呈指数型下降，随应力比的增加明显增加；循环外力作用下，合金断裂以 WC 穿晶断裂为主，Co 相变形和 WC 晶粒内产生的高密度、多方向的位错和层错，可通过消耗裂纹尖端的能量抑制疲劳裂纹的产生和扩展，而 fcc-Co 向 hcp-Co 相的转变会增加裂纹扩展敏感性，不利于合金疲劳时性能的提高；基于此，设计出了断裂疲劳次数分别为 WC-Co 合金的 1.9 和 1.5 倍的含 Cr_3C_2、TaC 超粗晶硬质合金，并分析了添加剂影响超粗晶硬质合金疲劳性能的原因。

关键词：关键词：超粗晶硬质合金；疲劳失效机理；添加剂；WC 变形

项目基金：国家自然科学基金项目(52271085)

作者简介：刘雪梅(1971 年生)，女，汉族，河南辉县，研究生。研究方向：高性能硬质合金的开发。E-mail：liuxuemei@bjut. edu. cn

通信作者：宋晓艳，教授。E-mail：xysong@ bjut. edu. cn

钢铁材料微观组织人工智能分析研究

张佳宁[1]， 吴赵波[2]， 张 梦[3]， 孙成祥[3]

（1. 中国钢研科技集团有限公司， 北京 100081； 2. 钢铁研究总院 中心实验室， 北京 100081；
3. 欧波同科技产业有限公司， 鞍山 114044）

摘 要：

人工智能在钢铁材料检测分析领域的应用不断增加，对满足材料基因和高通量实验发展需求、推动微观分析日趋智能化发挥着重要作用。本文针对钢铁材料微观组织开展人工智能分析研究，建立了面向钢铁材料微观组织的数据集，基于传统图像处理和深度学习相结合的方法，实现了组织辨识、晶粒度评级和夹杂物自动检测分析任务。其中晶粒度评级采用深度学习语义分割和图像分类两种技术路线，实现了对于不同质量图像的评级。目前，组织辨识准确率均达95%以上，晶粒度评级准确度达90%以上，夹杂物的识别准确率达90%以上。

关键词：微观组织；人工智能；组织辨识；晶粒度评级；夹杂物分析

Artificial intelligence analysis and research on microstructure of steel materials

ZHANG Jianing[1]， WU Zhaobo[2]， ZHANG Meng[3]， SUN Chengxiang[3]

（1. China Iron & Steel Research Institute Group, Beijing 100081, China;
2. Laboratory of Central Iron and Steel Research Institute Beijing 100081 China;
3. Opton Optical Technology Co., Ltd., Anshan 114044 China）

Abstract: The increasing application of artificial intelligence in the field of steel material detection and analysis plays an important role in meeting the development needs of material genes and high-throughput experiments, and promoting the increasingly intelligent micro analysis. In this paper, artificial intelligence analysis was carried out for the microstructure of steel and iron materials, and a data set for the microstructure of steel and iron materials was established. Based on the combination of traditional image processing and deep learning, the tasks of tissue identification, grain size rating and automatic detection and analysis of inclusions were realized. Deep learning semantic segmentation and image classification are used for grain size rating to achieve the rating of images with different quality. At present, the accuracy of microstructure identification is above 95%, the accuracy of grain size rating is above 90%, and the accuracy of inclusion identification is above 90%.

Key words: microstructure; artificial intelligence; identification of microstructure; grain size rating; analysis of inclusions

激光增材制造超低温耐蚀高熵合金

徐震霖[1,2]，　杜晓洁[1]，　贾玺泉[1]，　何宜柱[2]

（1. 安徽工业大学 材料科学与工程学院，　马鞍山　243002；
2. 先进金属材料绿色制备与表面技术教育部重点实验室，　马鞍山　243002）

摘　要：

采用有限元模拟和实验相结合，开发了高致密、无偏析 CoCrFeMnNi 高熵合金的激光选区熔化(SLM)增材制造工艺。与 S 形扫描策略相比，采用棋盘式扫描策略时，成形件整体温度场分布更加均匀，有利于减小应力集中，防止开裂。SLM 成形高熵合金具有分级微观结构，包括微米级熔池和柱状晶、亚微米级胞状晶、纳米级孪晶和析出相。室温(293 K)和超低温(77 K)拉伸性能研究表明，随着温度降低，SLM 成形 CoCrFeMnNi 高熵合金的强度增加，且能保持良好的塑性。与传统铸造 CoCrFeMnNi 高熵合金相比，SLM 成形高熵合金具有更细小的晶粒，更高的位错密度，并且包含析出相，因此，SLM 成形高熵合金拉伸强度明显提升。SLM 成形 CoCrFeMnNi 高熵合金室温下拉伸，主要变形机制为位错滑移；而超低温拉伸时主要变形机制为孪生，产生的大量形变孪晶显著提高其强度。与传统铸造 CoCrFeMnNi 高熵合金相比，SLM 成形 CoCrFeMnNi 高熵合金具有更强的耐盐腐蚀性能。在 3.5 wt.% NaCl 溶液中，由于 SLM 成形高熵合金形成的钝化膜中 Cr+Ni+Co/Fe+Mn 阳离子比值高于铸造高熵合金，其钝化膜具有更强的保护能力。

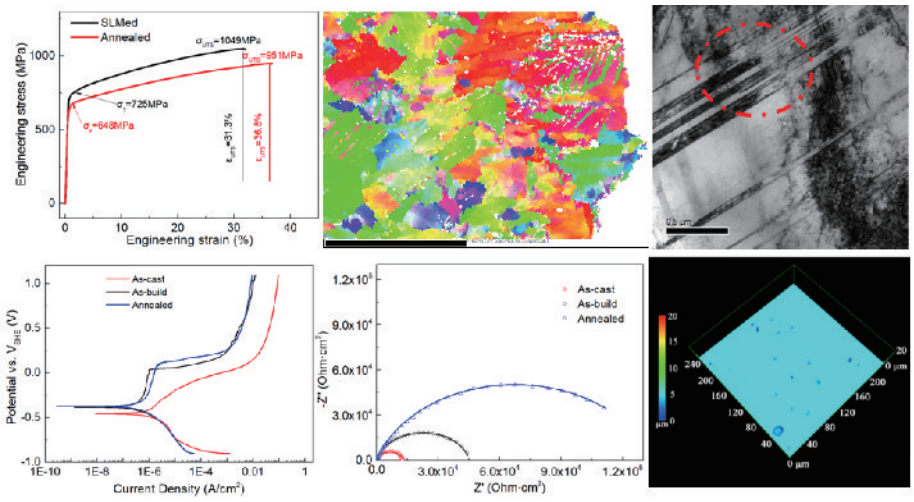


图 1　激光增材制造打印高强韧耐蚀高熵合金

关键词：增材制造；高熵合金；超低温；力学性能；耐蚀性能

项目基金：国家科学自然基金(51971001)

作者简介：徐震霖(1989-)，男(汉)，籍贯：安徽界首市，博士。研究方向：增材制造。Email：xzl2015@ahut.edu.cn
通信作者：何宜柱，教授。Email：heyizhu@ahut.edu.cn

参考文献(References)

[1] GU D, SHI X, POPRAWE R, et al. Material-structure-performance integrated laser-metal additive manufacturing [J]. Science, 2021, 372(6545): eabg1487.

[2] CANTOR B. Multicomponent high-entropy Cantor alloys [J]. Progress in Materials Science, 2020: 100754.

[3] DING Q, ZHANG Y, CHEN X, et al. Tuning element distribution, structure and properties by composition in high-entropy alloys [J]. Nature, 2019, 574(7777): 223-227.

[4] 李天昕, 卢一平, 曹志强, 等. 难熔高熵合金在反应堆结构材料领域的机遇与挑战 [J]. 金属学报, 2021, 57(01): 42-54.

[5] OTTO F, DLOUH 8 13 A, SOMSEN C, et al. The influences of temperature and microstructure on the tensile properties of a CoCrFeMnNi high-entropy alloy [J]. Acta Materialia, 2013, 61(15): 5743-5755.

[6] GLUDOVATZ B, HOHENWARTER A, CATOOR D, et al. A fracture-resistant high-entropy alloy for cryogenic applications [J]. Science, 2014, 345(6201): 1153-1158.

[7] QIU Z, YAO C, FENG K, et al. Cryogenic deformation mechanism of CrMnFeCoNi high-entropy alloy fabricated by laser additive manufacturing process [J]. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, 2018, 1(1): 33-39.

[8] XU Z, ZHANG H, DU X, et al. Corrosion resistance enhancement of CoCrFeMnNi high-entropy alloy fabricated by additive manufacturing [J]. Corrosion Science, 2020, 177: 108954.

[9] LAURENT-BROCQ M, AKHATOVA A, PERRIèRE L, et al. Insights into the phase diagram of the CrMnFeCoNi high entropy alloy [J]. Acta Materialia, 2015, 88: 355-365.

[10] JOO S H, KATO H, JANG M J, et al. Structure and properties of ultrafine-grained CoCrFeMnNi high-entropy alloys produced by mechanical alloying and spark plasma sintering [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 698: 591-604.

[11] HAN C, FANG Q, SHI Y, et al. Recent Advances on High-Entropy Alloys for 3D Printing [J]. Advanced Materials, 2020, 32(26): e1903855.

[12] ZHAO C, PARAB N D, LI X, et al. Critical instability at moving keyhole tip generates porosity in laser melting [J]. Science, 2020, 370(6520): 1080-1086.

[13] LI R, NIU P, YUAN T, et al. Selective laser melting of an equiatomic CoCrFeMnNi high-entropy alloy: Processability, non-equilibrium microstructure and mechanical property [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2018, 746: 125-134.

[14] ZHU Z G, NGUYEN Q B, NG F L, et al. Hierarchical microstructure and strengthening mechanisms of a CoCrFeNiMn high entropy alloy additively manufactured by selective laser melting [J]. Scripta Materialia, 2018, 154: 20-24.

[15] SUN Z, TAN X, WANG C, et al. Reducing hot tearing by grain boundary segregation engineering in additive manufacturing: example of an AlxCoCrFeNi high-entropy alloy [J]. Acta Materialia, 2021, 204.

[16] 吕昭平, 雷智锋, 黄海龙, 等. 高熵合金的变形行为及强韧化 [J]. 金属学报, 2018, 54(11): 1553-1566.

[17] OSTOVARI MOGHADDAM A, SHABUROVA N A, SAMODUROVA M N, et al. Additive manufacturing of high entropy alloys: A practical review [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2021, 77: 131-162.

[18] XU Z, ZHANG H, LI W, et al. Microstructure and nanoindentation creep behavior of CoCrFeMnNi high-entropy alloy fabricated by selective laser melting [J]. Additive Manufacturing, 2019, 28: 766-771.

基于 X 射线探伤图像的焊接缺陷人工智能鉴别

郑皓元，　杨绍斌，　薛维华，　王晓亮

（辽宁工程技术大学 材料科学与工程学院，　辽宁 阜新　123099）

摘　要：

X 射线探伤是焊接缺陷检验的常规方法之一。缺陷类型的鉴别通常需要有资质的人员进行目视确定，效率较低。基于图像分析技术辅助进行焊接缺陷鉴别是提高鉴别效率、改善劳动条件的有效手段之一。所用图像分析技术多采用图像增强/图像分割等方法，检出效率及抗干扰能力都会受到图像质量与缺陷特点的影响。当前，基于深度学习的人工智能目标识别算法发展迅速，为 X 射线探伤图像的缺陷鉴定提供了一个新途径。为此，本研究针对传统检测方式所存在的问题，提出一种应用改进的 YOLOv5 算法进行 X 射线缺陷检测方式。本研究所采用的训练集包含初始缺陷图像 40 张，以及通过图像增强操作生成的图像 245 张，手工标注图像中的缺陷部位。基于 Python3.8 环境和 PyTorch 包建立构建深度学习网络结构，导入训练集进行训练。为突出缺陷位置，首先将待检测的图像分解成多个小图像进行检测，再将检测后的小图像重组，重新计算相对位置，并进行标注。为了提高小目标缺陷的检测性能，调整初始锚框的尺寸大小，并增大下采样获得的特征层尺寸，减小每个特征层的感受视野尺寸，提高模型检测小目标的性能。通过对网络置信度阈值以及 IOU 阈值的动态调整，使模型适用于不同工业应用场景。基于改进的 YOLOv5 算法对检测集中的 170 张光片(包括 150 张合格片，20 张含缺陷片)进行检测，检测结果表明：合格片的检出率为 98.7%，合格片的检出正确率达到了 100%，缺陷片的检出率为 100%，缺陷片的检出正确率达到了 90.9%，改进算法具有较好的检测性能。传统的人工检查受到检测人员主观因素以及检测水平的影响，容易出现漏检与错检，且工作效率低、工作量大。通过本研究的算法辅助工业生产中的人工检测工作，可以大大提高工作效率，同时减轻工作人员的工作负担。

关键词：焊接缺陷；小目标识别；缺陷检测

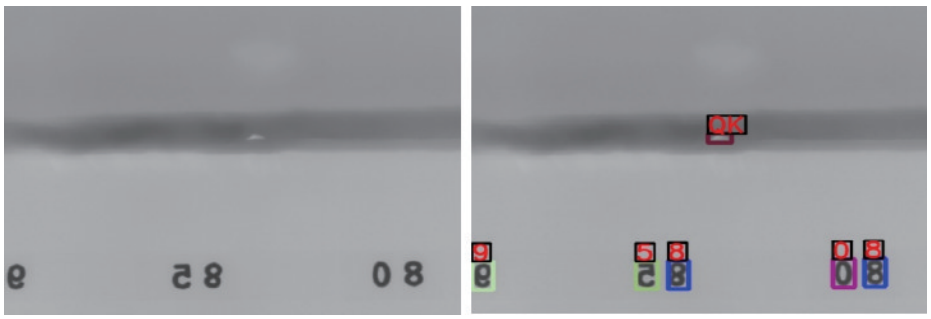


图 1　待检图像与检测输出图像

作者简介：郑皓元(1996-)，男(汉)，硕士研究生。

通讯作者：薛维华(1979-)，男(汉)博士，副教授。研究方向：材料显微结构的三维表征，材料图像与数据科学。E-mail：mrxuecn@126.com，xueweihua@lntu.edu.cn

基金项目：辽宁省高等学校基本科研项目(LJ2019ZL002)

第四分会场

2022 年全国射线数字成像与 CT 新技术研讨会

Fluence adaptation for contrast-based dose optimization in grating-based X-ray multi-contrast imaging

WU Chengpeng[1,2], WANG Zhentian[1,2], GAO Hewei[1,2], ZHANG Li[1,2]

(1. Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing, China;
2. Key Laboratory of Particle & Radiation Imaging (Tsinghua University) of Ministry of Education, Beijing, China)

Abstract:

Compared to traditional x-ray imaging, grating-based x-ray imaging (GBXI) can provide additional differential phase-contrast and dark-field images besides the absorption contrast. These complementary contrasts are sensitive to different specific structures such as low-Z soft-tissues and fibrotic lungs, which offers greater potentials in medical applications. In recent few years, GBXI is going from the bench to the bed [1-2], but the imaging dose is one of its most important challenges before wide range of clinical applications. The high dose in GBXI is mainly due to the typical phase-stepping process, which requires one of the gratings to move multiple steps under the same x-ray fluence. In another work of our group[3], we have demonstrated that adopting non-uniform optimized fluence distributions in phase-stepping can be better than using the typical constant one for the multi-order moment analysis. Following similar derivations, in this work, we prove that the fluence adaptation strategy can be extended to the commonly-used Fourier component analysis. Interestingly, the optimal fluence distribution for the differential phase-contrast is almost opposite to that for the dark-filed contrast. Moreover, the optimal one for the absorption contrast is just the typical constant distribution, which can be considered as a comprehensive optimal choice for all three contrasts. To validate our proposed method, we conducted numerical simulations and real experiments, and all results supported that under the same total fluence, the contrast-based optimal fluence distributions can reduce 10%~20% noise variances in both the phase-contrast and dark-filed images, compared to the typical constant one, and vice versa. Combined with[3], we propose a fluence adaptation mechanism for contrast-based dose optimization in GBXI, which explores a new direction for dose reduction and may also be further extended to other types of x-ray multi-contrast systems such as edge-illumination imaging and analyzer-based imaging.

Reference

[1] Arboleda C, Wang Z, Jefimovs K, et al. Towards clinical grating-interferometry mammography[J]. European radiology, 2020, 30(3): 1419-1425.

[2] Willer K, Fingerle A A, Noichl W, et al. X-ray dark-field chest imaging for detection and quantification of emphyse-

作者简介：吴承鹏(1996-)，男(汉)，江西南昌，博士研究生在读。研究方向：X 射线多衬度光栅成像。E-mail：wcp17@mails.tsinghua.edu.cn

通信作者：张丽，清华大学工程物理系研究员。E-mail：zli@tsinghua.edu.cn

ma in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a diagnostic accuracy study[J]. The Lancet Digital Health, 2021, 3(11): e733-e744.

[3] Wu C, Xing Y, Zhang L, et al. Fluence adaptation for contrast-based dose optimization in x-ray phase-contrast imaging[J]. Medical Physics, 2021, 48(10): 6106-6120.

Limited-angle CT reconstruction with primal-dual algorithm

ZHANG Yinghui, LI Hongwei

(School of Mathematical Sciences, Capital Normal University, 105 West Third Ring Road North, Haidian District, Beijing 100048, China)

Abstract:

Due to the consideration of X-ray dose and physical restrictions of scanning environment or the object, the acquired projection data usually are not complete. Conventional algorithms like ART, FBP with limited-angle data will introduce blur and streak artifacts. To improve the reconstruction quality, many models and algorithms that incorporate various regularizers, like total variation (TV), i. e. l_1 norm, l_p norm and l_0 norm of gradient, have been developed. Recently, the directional TV model has been proposed and demonstrated superior reconstruction abilities with limited-angle data. This motivates us to study the capacity of convex models with primal-dual algorithm. In this work, a study on convex and nonconvex models solved by the Chambolle-Pock primal-dual algorithm for limited-angle CT problem is carried out. The investigation includes a set of optimization models including constrained TV and its reformulations as well as nonconvex l_p norm regularizers.

Key words: onvex and nonconvex regularization; primal-dual, limited-angle CT

基金项目：国家自然科学基金(No. 61971292)

作者简介：张颖惠（1993-），女(汉)，河南新乡，在读博士。研究方向：CT 重建与图像处理。E-mail：zhangyinghui9@cnu.edu.cn

通信作者：李宏伟，教授。E-mail：hongwei.li91@cnu.edu.cn

基于局部加权线性回归查找表的双能谱 CT 迭代重建方法

张伟斌[1,2]，　赵　星[1,2]

（1. 首都师范大学 数学科学学院，　北京　100043；
2. 北京成像技术高精尖创新中心，　北京　100043）

摘　要：

与传统计算机断层成像(CT)相比，双能谱 CT 能够获取更多的被测物体信息，具有更好的物质区分能力，在硬化伪影去除，骨密度测量、PET 衰减校正等方面具有广泛的应用前景。

为了得到高质量的图像，在迭代重建方法中双能谱 CT 需要建模更精确的多色投影正过程。现有的多色投影正过程的建模方法有基于能谱的方法和多项式标定的方法。基于能谱的方法通常需要精确的能谱信息，且没有考虑散射的影响。多项式标定的方法虽考虑了散射的影响，但其拟合过程中所使用的参数较少，不能准确地反映局部信息，可能导致多色投影正过程的欠拟合。

针对上述存在的问题，本文提出了一种基于局部加权线性回归查找表的双能谱 CT 迭代重建方法。首先，该方法使用标定模体通过局部加权线性回归的方法建立基材料图像线积分到高低能投影映射关系的查找表，得到更精确的多色投影正过程。然后，该方法根据已建立的查找表，对测试模体得到的基材料图像线积分进行投影匹配，寻找最佳映射关系，迭代求解出基材料图像。本文提出的方法既不需要能谱信息，也考虑了散射的影响。同时，本文提出的方法克服了多项式标定方法存在的欠拟合问题。数值实验表明，本文提出的方法能够得到更高质量的重建图像。

关键词：双能谱 CT；局部加权线性回归；查找表；迭代重建

项目基金：国家自然科学基金(61827809)；国家重点研发计划(2020YFA0712200)

作者简介：张伟斌(1989－)，男(汉)，山西省太原市，在读博士。研究方向：CT 理论与重建。E-mail：weibin_zhang@cnu.edu.cn

通信作者：赵星，教授。E-mail：zhaoxing_1999@126.com

Compton-based multi-energy gamma-ray simultaneous rapid imaging for 3D-priting mouse phantom

YAO Zhiyang[1,2], XIAO Yongshun[1,2], TIAN Feng[3], TANG Xiaobin[3]

(1. Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Postal address, Beijing 100084, China; 2. Key Laboratory of Particle & Radiation Imaging (Tsinghua University), Ministry of Education, Beijing 100084, Chian; 3. Department of Nuclear Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract:

Compton camera has been proposed for nuclear medicine imaging due to its advantages of high detection efficiency, wide energy spectrum detection, and multi-energy simultaneous imaging. Simultaneous multi-energy gamma-ray imaging can obtain more in-vivo information and assist in the diagnosis of diseases according to the distribution and changes of various isotope tracers in the body, further promoting the development of nuclear medicine.

In this study, we investigated the simultaneous imaging of multi-energy radioactive sources in a 3D printed mouse phantom based on a 3D-sensitivities CZT Compton camera. In the Monte Carlo simulation, radioactive tracers ofTechnetium-99m and Rubidium-82 were injected into the kidneys and heart of the mouse phantom, respectively. The mouse phantom was obtained by 3D printing, and we scanned it by CT to obtain its 3D volume data and applied it to the Monte Carlo simulation. By simultaneously detecting and reconstructing 141 keV and 511 keV photons, the kidneys and heart of the mouse phantom could be obtained. In order to achieve real-time reconstruction and overcome the degradation of the reconstructed image caused by the finite resolution of the Compton camera, we developed a voxel driven resolution recovery pre-backprojection based on the point spread function and GPU acceleration, and an origin subset driven Markov process to realize the rapid and high-resolution reconstruction of the Compton camera. In the simulation results, we achieved the accurate reconstruction of the multi-energy radioactive source with a deviation of less than 1 mm, and the reconstruction time was less than 10 seconds. The results demonstrate the ability of real-time and accurate reconstruction of the developed Compton camera algorithm and also verifies the potential and feasibility of the Compton camera in the real-time simultaneous reconstruction of multi-energy radioactive tracers.

基金项目：北京市自然科学基金（No. 7191005）

作者简介：姚志阳，博士研究生。研究方向：康普顿相机成像。yaozy18@ mails. tsinghua. edu. cn
田锋，博士研究生，研究方向：放射诊疗技术与剂量效应。tianfeng@ nuaa. edu. cn
汤晓斌，教授，研究方向：放射诊疗技术与剂量效应。tangxiaobin@ nuaa. edu. cn
通信作者：肖永顺，副教授。E-mail：xiaoysh@ mail. tsinghua. edu. cn

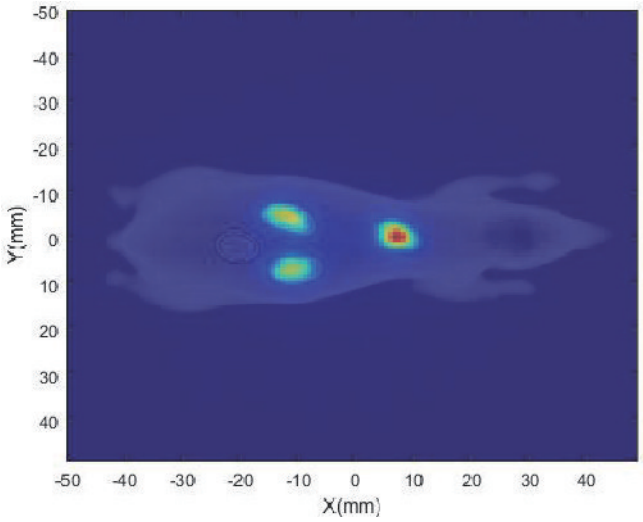


Fig. 1　The Compton camera imaging for kidneys and heart of the mouse phantom

Key words: Compton camera, radiopharmaceutical imaging, imaging reconstruction, Monte Carlo simulation

一种探测器偏置的低剂量迭代反投影滤波重建方法

张　敏，　毕　潇，　谷　浩，　陈　明

（山东科技大学 数学与系统科学院，　青岛　266590）

摘　要：

低成本低剂量的医学 CT 成像方法可降低检查费用，减少射线对患者的伤害，因此具有重要的研究意义。本文分析了探测器偏置的稀疏角 CT 扫描模式特征，提出了一种基于 TV 和双边滤波的 BPF 重建算法。算法设计中基于 Hilbert 变换的 BPF 算法可以精确重建截断数据，而 TV 和双边滤波方法可以有效控制稀疏角的重建伪影，使得在较少迭代次数下获得了高质量的 CT 图像。数值实验结果表明，该方法可在小探测器的情况下获得足够的重建视野，并在投影角度间隔较大的情况下实现低剂量重建。

关键词：CT 图像重建；稀疏角重建；探测器偏置；TV 处理；双边滤波

项目基金：山东省自然科学基金（ZR2020MF016、ZR202102220343）

作者简介：张敏（1998-），女（汉），山东省潍坊市，研究生。研究方向：CT 成像理论和方法研究。E-mail：zhangm646@163.com

通信作者：陈明，副教授。E-mail：mingchen_gang@163.com

基于比例通道表达的能谱 CT 多物质分解

石勇义[1]， 许 琼[2]， 牟轩沁[1]

（1. 西安交通大学， 陕西 西安 710049；
2. 中国科学院， 北京 100049）

摘 要：

当不同的物质，如碘对比剂与骨组织，具有相同或者相似的 CT 值时，传统的 CT 不能对物质进行区分，基于光子计数探测器的能谱 CT（Photon Counting based CT，PCCT）能够利用不同通道的能谱信息进行物质分解，是提高物质分辨能力的有效渠道。PCCT 具有更高的信噪比，但在单个能量通道内，由于受到量子计数效率的限制，其信噪比较低。除此之外，受到探测器响应不一致，电荷共享，k 逃逸和脉冲堆积等因素的影响，PCCT 投影数据会因光谱损坏而产生复杂的噪声和伪影。由有限量子造成的低信噪比和由非理想探测器响应造成的复杂噪声和伪影均会降低重建图像质量，进而影响物质分解精度。本文提出一种一步方法用于 PCCT 多物质分解，对于 PCCT，各个能量通道内的能谱较窄，使得射束硬化影响被极大减小，因此我们假设每个能量通道内的 X 射线是单能的，从而我们可以利用更易于获得的取对数之后的数据来实现 PCCT 多物质分解，这不仅使得分解过程不再依赖于能谱，也可以提高运算效率。考虑到非理想探测器响应会在分解结果中引入伪影，我们进一步将通道比例表达（Ratio of Multi-Channel Representation，RMCR）引入到上述的一步分解方法中。RMCR 可以定义为每个能量通道下的重建图像与利用所有光子得到的宽谱重建图像的比值，如图 1 所示，得益于比值操作，非理想探测器带来的射束硬化伪影和环状伪影得到很好的抑制，并且密度信息被排除在分解之外，因此 RMCR 方法可以在抑制伪影的同时，得到与物质密度无关的各物质分解比例，在得到各物质的分解比例之后，物质的密度信息能够被定量恢复。

关键词：能谱 CT；多物质分解；通道比例表达。

项目基金：国家自然科学基金（62071375，11975250）

作者简介：石勇义（1991-），性别（汉），湖南，博士在读。研究方向：CT 重建。E-mail：xjshiyongyi@163.com

通信作者：牟轩沁，教授。E-mail：xqmou@mail.xjtu.edu.cn

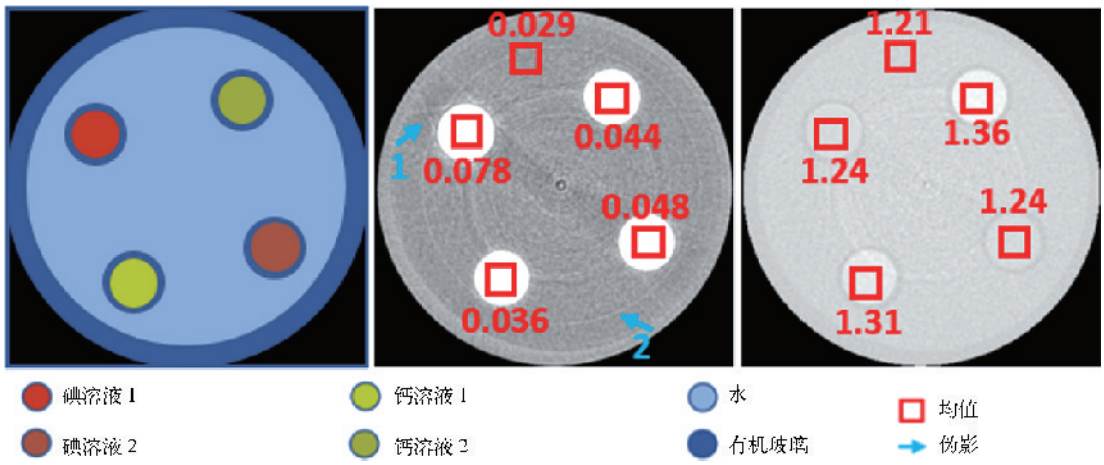


图 1　物理模体重建图像，从左到右依次为模体示意图，重建的线性衰减图像以及 RMCR 图像。线性衰减图像显示窗为[0，0.05]mm^{-1}，RMCR 图像的显示窗为[0，1.5]

参考文献

[1] Y. Zhang, X. Mou, H. Yu, G. Wang. Ratio of Multi-Channel Representation (rMCR) Based Spectral CT Reconstruction. The 13th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, 2015.

[2] Y. Shi, Y. Zhang, Q. Xu, Z. Liang, X. Mou. Ratio of Multi-Channel Representation for Spectral CT Material Decomposition. The 16th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, 2021.

CT 与 CL 多尺度融合重建

贾　统[1,2]，　魏存峰[1,2]，　王　哲[1]，　朱　敏[3,4]，　史戎坚[1]，　刘宝东[1,2]

（1. 中国科学院 高能物理研究所，　北京　100049；
2. 中国科学院大学 核科学与技术学院，　北京　100049；
3. 中国科学院 古脊椎动物与古人类研究所，　北京　100044；
4. 中国科学院 脊椎动物演化与人类起源重点实验室，　北京　100044）

摘　要：

计算机断层成像(CT)可以重建物体内部结构，因此被广泛应用于无损检测、材料研究、古生物研究等领域[1]。对板状物体而言，计算机层析成像(CL)的独特扫描方式可以实现很高的放大比，在高分辨率下重建其内部结构，这是 CT 难以实现的[2]。但是不完备的投影数据导致 CL 的重建结果产生严重的层间混叠伪影。我们研究了 CT 与 CL 多尺度融合重建技术，结合两者的优势，用低分辨的 CT 数据弥补 CL 投影域的数据缺失，在高分辨率重建物体的同时减轻层间混叠伪影。CT 与 CL 数据可以来自不同的成像设备，使用不同的扫描条件。融合重建之前对系统进行空间配准和射线能量校正。为了节省存储空间、提高迭代重建效率，提出了多尺度重建技术[3]。为了验证 CT 和 CL 多尺度融合重建方法，使用古生物化石和多层电路板数据进行了实验。实验结果表明，融合重建可以得到高分辨的重建结果并且有效抑制 CL 层间混叠伪影。

关键词：CT；CL；多尺度融合重建；古生物化石；多层电路板

参考文献

[1] Marcus Zuber et al. Augmented laminography, a correlative 3D imaging method for revealing the inner structure of compressed fossils[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): R29-28.

[2] Wei Zenghui et al. A micro-CL system and its applications. [J]. The Review of scientific instruments, 2017, 88 (11): 115107.

[3] van Aarle Wim et al. The ASTRA Toolbox: A platform for advanced algorithm development in electron tomography. [J]. Ultramicroscopy, 2015, 157: 35-47.

项目基金：中国科学院创新交叉团队项目资助（JCTD-2019-02）；中国科学院战略性先导科技专项(编号：XDA19050102 and XDB26000000)

作者简介：贾统(1997-)，男(汉)，山东省济宁市嘉祥县，在读研究生。研究方向：CL 图像重建。E-mail：jiatong@ihep.ac.cn

通信作者：刘宝东，副研究员。E-mail：liubd@ihep.ac.cn

一种基于 Radon 变换的 X 射线 CT 几何误差标定方法

王　曌[1]，　刘志国[2]

（1. 中国工程物理研究院 应用电子学研究所，　四川 绵阳　621900；
2. 北京师范大学 核科学与技术学院，　北京　100875）

摘　要：

几何标定是确定 CT 测量精度的关键。对于投影形状为轴对称凸多边形的简单样品，提出一种基于 Radon 变换的 PISC 算法(Projection Image Self-Correcting)，它从投影图像自动求解对图像重建影响最大的 $\Delta\eta$（探测器绕法线的旋转误差）和 Δu（探测器的横向偏移误差）。较之传统离线标定方法[1-3]，PISC 算法无需使用体模，扫描便捷，节约成本；较之传统在线标定方法[4]，PISC 算法无需迭代优化目标函数，避免反复重建图像的沉重计算负担。使用数值模拟的方法验证了 PISC 算法的灵敏度。将数字体模(图 1(a))旋转一定角度，并加上噪声，作为 PISC 算法的输入(图 1(b))，根据 PISC 算法的输出(图 1(c))，对 21 组测试值进行分析(图 1(d))，可以看到：

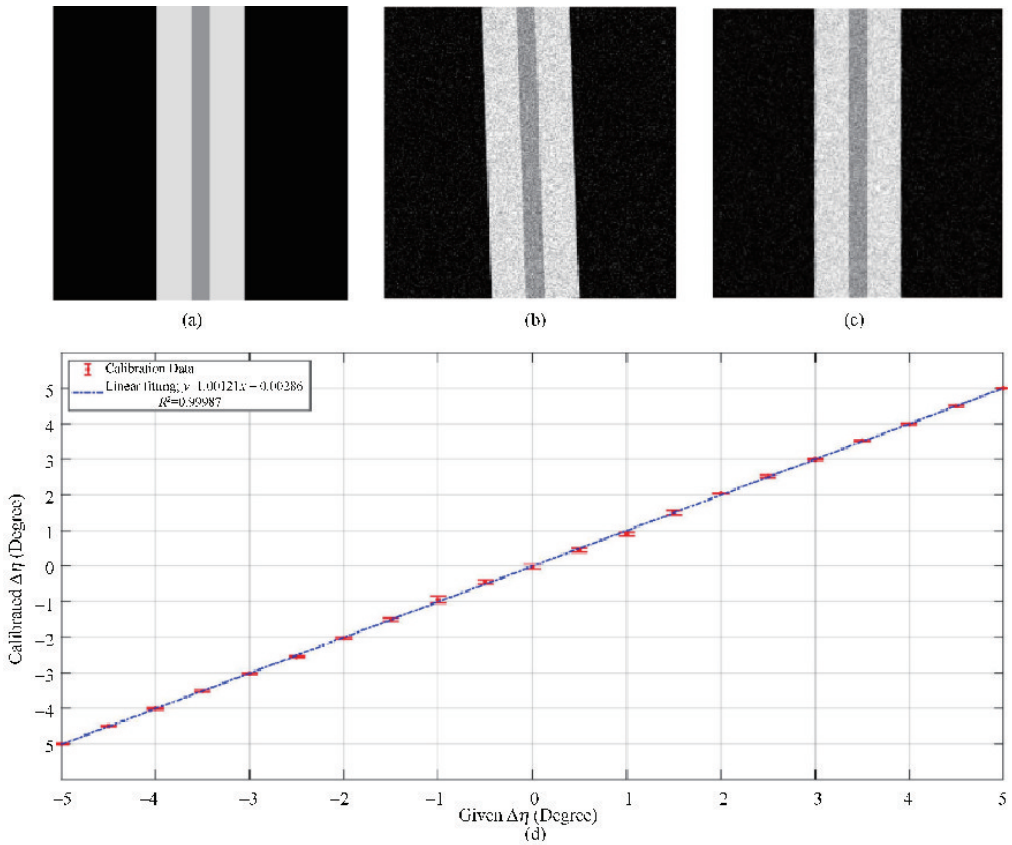


图 1　(a)数字体模；(b)测试图像；(c)PISC 算法的输出；(d)灵敏度分析

作者简介：王曌(1995.8-)，男(白族)，籍贯云南大理，硕士学历。研究方向：X 射线成像。E-mail：joaowang@outlook.com

当 $\Delta\eta$ 很小，噪声较大时，PISC 算法能取得较好的校正效果。以图 2(c)所示的 X 射线单毛细管光学器件(X-ray Monocapillary Optics，XMCO)作为样品，实验验证了 PISC 算法的有效性，重建图像如图 3 所示。可以看到：PISC 算法有效消除了 $\Delta\eta$ 和 Δu 导致的重建图像不闭合、假边缘等现象。

关键词：X 射线 CT；几何标定；Radon 变换

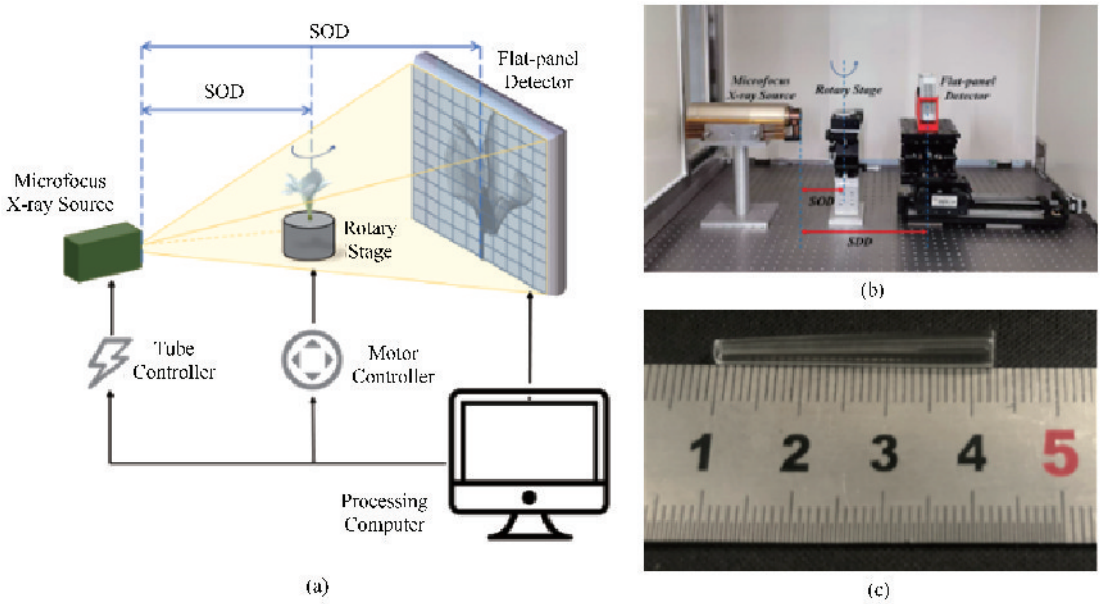


图 2　(a)Micro-CT 扫描示意图；(b)实验所用的 Micro-CT 系统；(c)椭球型 XMCO 样品

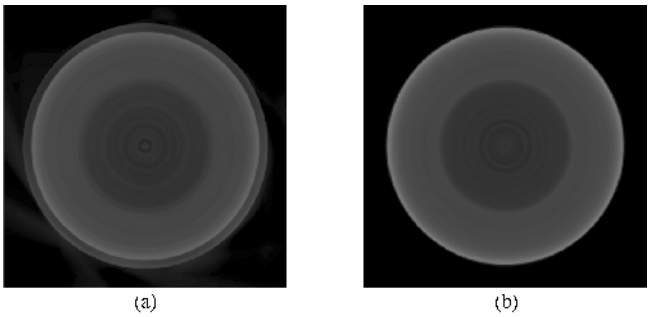


图 3　重建的 XMCO 轴位面，使用

(a)原始投影数据；(b)经 PISC 算法校正的投影数据($\Delta\eta = 0.84°$，$\Delta u = 28$ 像素)

参考文献

[1] Kai Y, Kwan A, Miller D, et al. A geometric calibration method for cone beam CT systems[J]. Medical Physics, 2006, 33: 1695-1706.

[2] Noo F, Clackdoyle R, Mennessier C, et al. Analytic method based on identification of ellipse parameters for scanner calibration in cone-beam tomography[J]. Physics in Medicine & Biology, 2000, 45(11): 3489-3508.

[3] Wu, Li, Zhang, et al. Geometric calibration of cone-beam CT with a flat-panel detector[C]. 2011: 2952-2955.

[4] Panetta D, Belcari N, Guerra A D, et al. An optimization-based method for geometrical calibration in cone-beam CT without dedicated phantoms[J]. Physics in Medicine and Biology, 2008, 53(14): 3841-3861.

The developments of HEPS and its hard X-ray imaging Beamline

LI Gang,　ZHANG Jie,　WANG Yanping,　DENG Tijian,　JIANG Xiaoming

(Beijing Synchrotron Radiation Facility, IHEP, CAS, Beijing, China)

Abstract:

High Energy Photon Source (HEPS), a 6 GeV green-field diffraction limited storage ring synchrotron light source, is constructing in Beijing, China. Its storage ring is based on a modified hybrid seven-bend achromat (7BA) design to reach an ultralow natural emittance of 34.2 pm with a circumference of 1360.4 m. Alternating high and low beta sections are specially designed to generate and deliver X-ray synchrotron radiation with high brightness of 5×10^{22} photons/s mm^2 mrad^2(0.1% bandwidth). 15 beamlines are constructing during Phase I of HEPS project.

The hard X-Ray imaging beamline is well adapted to the characteristics of HEPS machine. This beamline will serve the potentially very large user community, such as biomedicine, engineering materials, fossils and human relics, and so on. Its primary imaging methods is SRX in-line phase contrast imaging and diffraction contrast imaging. Its features are high sensitivity, deep penetration, multiscale spatial & temporal resolution, large FOV, multiple contrast mechanisms, and compatible with diverse sample environments. The ratio of spot size at sample and PSF is more than 150 k. HXI can have both high sensitivity at the high resolution and deep penetration at the same time. This beamline uses the low beta section for small source size and large emittance angle. The energy range is from 5 keV to 300 keV using one wiggler and one CPMU source. The distance between source and sample is 330 m. The spatial resolution is 0.4~100μm. The highest priority of this beamline design is high uniformity and high stability of the X-Ray spot. 4 high performance hard X-ray imaging detectors are developing in-house. .

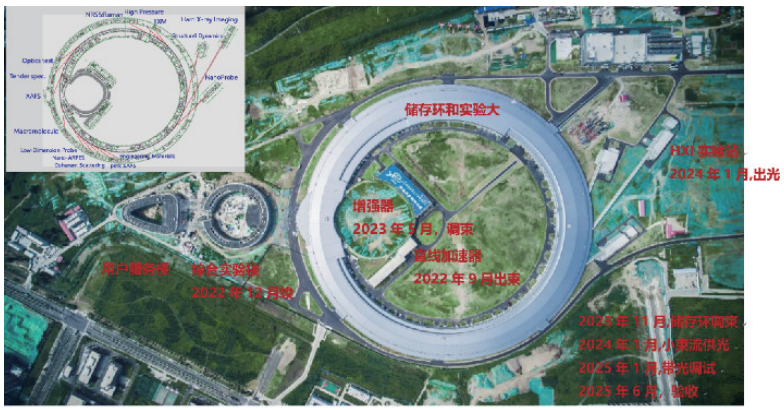


Fig. 1　HEPS aerial view

Key words: Synchrotron Radiation Hard X-ray; phase contrast imaging, CT

项目基金：国家大科学装置：高能同步辐射光源项目，多模态跨尺度生物医学成像项目，叶企孙基金等。

作者简介：黎刚(1969 年)，男，满族，籍贯北京，理学博士。研究方向：同步辐射成像方法学及其多学科应用研究。E-mail：lig@ ihep. ac. cn

通信作者：黎刚，研究员。

基于端到端卷积神经网络的双能 CBCT 多物质定量成像

朱炯滔[1]， 苏 婷[1]， 杨杰成[1]， 梁 栋[1,2]， 葛永帅[1,2]

（1. 中国科学院 深圳先进技术研究院医学人工智能研究中心， 深圳 518055
2. 中国科学院 深圳先进技术研究院劳特伯生物医学成像研究中心， 深圳 518055）

摘 要：

基于 X 射线平板探测器的锥束 CT(CBCT)成像系统在引导介入治疗、放射治疗等医学领域有着广泛的应用。然而传统的 CBCT 成像系统使用单一能量成像，无法提供不同物质的定量信息，使得其成像性能受到了很大的限制。双能 CT(DECT)可以实现定量物质成分识别，增强图像对比度，降低辐射剂量，是近年来的研究热点。而双能 CBCT 定量成像主要存在两个难点，一是传统算法很难获得高质量和高精度的多物质(>2)图像，二是 CBCT 定量成像需要消耗巨大的计算资源。为克服以上问题，本研究提出了一种深度卷积神经网络，在不消耗大量计算资源的同时，实现端到端的高精度双能 CBCT 多物质定量分解。该网络由投影域模块，域变换模块和图像域模块构成。投影域网络与图像域网络采用多层卷积神经网络实现降噪与分解的目的。域变换模块基于解析滤波反投影算法将数据由投影域转换到图像域。网络使用 CBCT 投影数据作为输入，进而输出三种基物质的定量分布图像。本研究使用数值仿真生成训练数据，并将训练好的网络模型直接用于实验数据处理。实验结果表明，该网络可以在有限的计算资源(8GB GPU)上实现水、氯化钙和碘基物质分解，且具有较高的分解精度(碘溶液与氯化钙溶液定量误差<5%)。综上所述，本文提出了一种基于端到端卷积神经网络的多物质分解方法，有助于实现高精度双能 CBCT 定量成像。

关键词：双能 CBCT；物质分解；深度神经网络

参考文献

[1] Patino, Manuel, et al. "Material separation using dual-energy CT: current and emerging applications." Radiographics 36.4 (2016): 1087-1105.

[2] Yeh, Benjamin M., et al. "Dual-energy and low-kVp CT in the abdomen." American Journal of Roentgenology 193.1 (2009): 47-54.

[3] Tran, David N., et al. "Dual-energy CT discrimination of iodine and calcium: experimental results and implications for lower extremity CT angiography." Academic radiology 16.2 (2009): 160-171.

[4] Narayanan, Ajay, Pratik Shah, and Bipul Das. "Design of spectral filtering for tissue classification." Medical Imaging 2012: Image Processing. Vol. 8314. International Society for Optics and Photonics, 2012.

项目基金：国家自然科学基金项目(12027812，11804356)，广东省基础与应用基础研究基金(2019A1515011262，2020A1515110685)

作者简介：朱炯滔(1994 -)，男，湖北随州人，硕士。研究方向：能谱 CT 成像。E-mail：jt. zhu2@ siat. ac. cn
通信作者：葛永帅，副研究员。Email：ys. ge@ siat. ac. cn

双能 CT 与差分相位衬度 CT 定量成像方法比较

张　欣[1,2]，　苏　婷[1]，　杨杰成[1]，　朱炯滔[1]，　夏冬梅[2]，　梁　栋[1,3]，　葛永帅[1,3]

（1. 中国科学院 深圳先进技术研究院医学人工智能研究中心，　深圳　518055；
2. 重庆大学 能源与动力工程学院低品位能源利用技术及系统教育部重点实验室，　中国 重庆　400044；
3. 中国科学院 深圳先进技术研究院劳特伯生物医学成像研究中心，　深圳　518055）

摘　要：

CT 成像技术在常规体检、疾病筛查与诊断、手术前方案制定及术后疗效评估等方面有着广泛的应用。基于 X 射线吸收成像的双能 CT(DECT)可以获得物质的定量图像，具有重要的临床价值。同时，另外一种定量 CT 成像方法，即差分相位衬度 CT 成像(DPCT)在获取软组织中的低对比度信息方面有着出色的成像表现。因此，本研究的主要目的是基于两种成像模态获得的物质的电子密度(ρ_e)和有效原子序数(Z_{eff})图像，对 DECT 和 DPCT 定量成像性能进行全面的对比和评价。为实现上述目标，本文通过数值仿真产生三个不同空间分辨率(0.3 mm，0.1 mm 和 0.03 mm)下的 CT 模体数据，并使用图像域分解算法得到 DECT 和 DPCT 相应的 ρ_e 和 Z_{eff} 图像。本研究使用图像对比度(CNR)和模型观测器(Channelized Hotelling observer)作为评价指标。结果表明，在低空间分辨率(0.3 mm)下，DECT 的定量成像表现要优于 DPCT，在超高分辨率(0.03 mm)下，DPCT 的成像表现则更好。而当空间分辨率为 0.1 mm 时，二者定量成像表现接近。总而言之，本文通过比较 DECT 和 DPCT 获得的电子密度和有效原子序数图像来评价二者的定量成像表现。研究表明 DECT 更适用于如临床诊断这样的低空间分辨率成像任务，而 DPCT 则更适合如显微 CT 成像这种超高分辨成像任务。

关键词：定量 CT 成像；双能 CT；差分相位衬度 CT

参考文献

[1] C. H. McCollough, S. Leng, L. Yu, and J. G. Fletcher, Dual-and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications, Radiology 276, 637-653 (2015).

[2] X. Ji, R. Zhang, K. Li, and G. -H. Chen, Dual Energy Differential Phase Contrast CT (DE-DPC-CT) Imaging, IEEE transactions on medical imaging 39, 3278-3289 (2020).

[3] R. Raupach and T. Flohr, Analytical evaluation of the signal and noise propagation in x-ray differential phase-contrast computed tomography, Phys. Med. Biol. 56, 2219-2244(2011).

[4] L. Yu, S. Leng, L. Chen, J. M. Koer, R. E. Carter, and C. H. McCollough, Prediction of human observer performance in a 2-alternative forced choice low-contrast detection task using channelized Hotelling observer: Impact of radiation dose and reconstruction algorithms, Medical physics 40, 041908 (2013).

[5] Z. Qi, J. Zambelli, N. Bevins, and G. -H. Chen, Quantitative imaging of electron density and effective atomic number using phase contrast CT, Phys. Med. Biol. 55, 2669-2677(2010).

项目基金：国家自然科学基金项目(12027812，11804356))，广东省基础与应用基础研究基金(2019A1515011262，2020A1515110685)

作者简介：张欣(1996-)，男，安徽合肥人，硕士研究生。研究方向：医学 CT 成像。E-mail：xin. zhang@ siat. ac. cn
通信作者：葛永帅，副研究员。E-mail：ys. ge@ siat. ac. cn

一种双层平板探测器 X 射线及 CT 成像性能评估

顾　珊，　周　浩，　王志磊，　祁宾祥，　高河伟

（清华大学 工程物理系，　北京　100084）

摘　要：

双层探测器采用两层相同或不同的闪烁晶体材料，在单次 X 射线曝光下可同时获取高低能投影数据。与快速千伏切换、双源双探测器等双能 CT 的方法相比，双层探测器技术的高低能投影数据配准性更高，临床应用实现复杂度低。基于平板探测器的锥束 CT 因结构简单、射线利用率高和便于小型化等优点，广泛应用于口腔检查、放射治疗图像引导等领域。当前，双层平板探测器应用于锥束 CT 实现能谱成像还处于实验室研究阶段。本文针对一款等晶体厚度、无层间金属滤波片的双层平板探测器试验产品进行了研究，评估了其 X 射线及 CT 成像性能。首先测量了该双层平板探测器高、低能成像性能如调制传递函数，噪声功率谱等，然后评估了其双能物质分解能力，最后也研究了此双能量成像方法在头颅中的应用。结果表明，使用 120 kV 管电压 80 mA×5 ms 脉冲电流扫描 CATPHAN600 的线对模型，顶层分辨率为 14 线对/cm，底层分辨率为 13 线对/cm，底部噪声较大，但在分辨率基本保持不变的情况下，两层投影数据相结合可使重建图像相比单层投影数据的噪声降低 10% 以上；扇束扫描下的基材料定量物质分解，碘的分解误差在 5% 以内；对扇束扫描头颅的高低能投影数据做物质分解，能够消除大部分的硬化伪影。

关键词：双层平板探测器；成像性能；物质分解

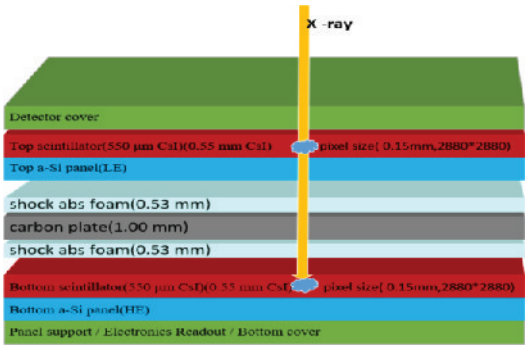


图 1　双层平板探测器结构示意图

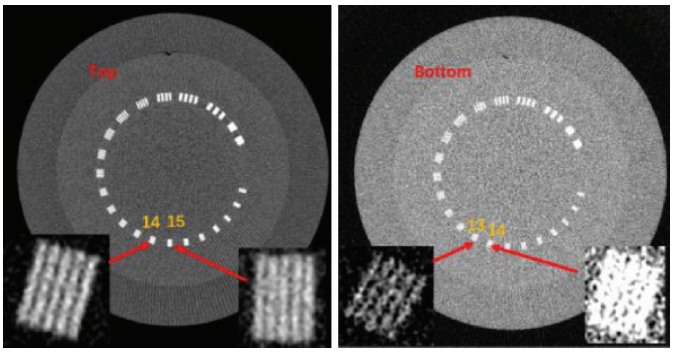


图 2　扇束扫描 CATPHAN600 的线对模型重建结果

项目基金：国家自然基金(U20A20169)

作者简介：顾珊，女，汉族，河南商丘人，博士。研究方向：CT 成像及关键技术。E-mail：gushan@ tsinghua. edu. cn

通信作者：高河伟，副教授。E-mail：hwgao@ tsinghua. edu. cn

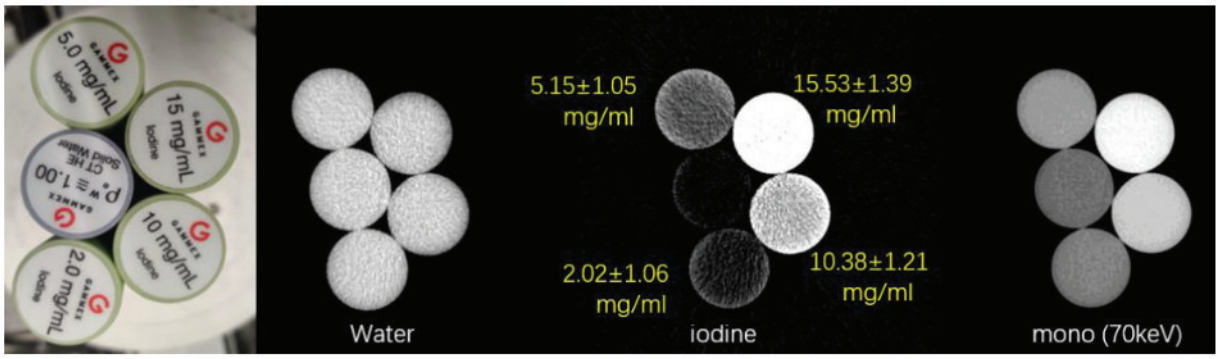


图 3　物质分解结果

基于深度学习的 CT 环形伪影校正

刘跃东[1,2]，　袁路路[1,2]，　谭莹莹[1,2]，　王　哲[1]，　魏存峰[1,2]，　许　琼[1]

1. 中国科学院 高能物理研究所，　北京　100049；
2. 中国科学院大学 核科学与技术学院，　北京　100049）

摘　要：

X 射线 CT 成像中，探测器单元计数响应的不一致性会使重建图像产生环形伪影，降低图像质量。针对这一问题，我们提出了两种基于深度学习的校正方法。一种是将带有环形伪影的重建图像转换到极坐标系，从而将环形伪影转换为条纹伪影，通过 CNN 和 RNN 来探测和校正条纹伪影，在此过程中，针对环形伪影在靠近旋转中心和远离旋转中心部分强度的不一致性，进行分区域的网络训练。实验结果表明该方法能够有效地抑制环形伪影。在此基础上，针对实际成像系统中伪影校正和噪声去除的共同需求，提出了一种利用探测器偏置和深度学习降噪的软硬结合的校正方法。该方法需要在探测器上增加运动控制装置，在进行 CT 扫描时，通过设置探测器在每个投影角度上的随机偏置，将环形伪影转化为图像上的噪点，在此基础上，利用 CNN 对重建图像进行降噪，由于此时网络只需学习噪声的特征，可以获得更好的校正效果。实验表明，使用这一方法可以同时达到图像噪声去除和环形伪影抑制的效果。

关键词：CT 成像；环形伪影；深度学习

项目基金：国家自然科学基金（No. 11975250，No. 12175267）

作者简介：刘跃东（1997-），男（汉），山东省泰安市肥城市，在读研究生。研究方向：CT 图像重建。E-mail：liuyuedong@ihep. ac. cn

通信作者：许琼，副研究员。E-mail：xuqiong@ ihep. ac. cn

Spectral Image Reconstruction via Subspace Representation

CAI Ailong, YU Xiaohuan, WANG Yizhong, YAN Bin

(Institute of Information System and Engineering, PLA Information Engineering University, Science Avenue No. 62, Zhengzhou 450001, China)

Abstract:

In recent years, the advent of photon counting detection (PCD) system has powerfully driven the development of spectral computed tomography (CT), which can provide higher dimensional information compared to conventional monochromatic CT. However, low signal-to-noise ratio of PCD caused by low photon counting efficiency in each energy window, together with insufficient projection views, makes accurate reconstruction of multi-channel image suffering from severe artifacts. This work focuses on developing an efficient algorithm for spectral reconstruction of multi-channel images based on optimization. The key of high quality reconstruction lies in effectively describe the single-channel image prior and multi-channel spectra prior, where the former has been enormously studied while relatively the latter lacks valid methods. In this work, the low-rank subspace representation[1] is studied to describe the multi-channel spectra prior. Under the consideration that the images among channels are highly similar in structures and gray scales, thus it is reasonably assume that in the multi-channel image the spectral vectors live in a low rank subspace[2] (whose dimension is smaller than channel counts). Therefore, the multi-channel image (x) can be decomposed into eigen-images (z) with respect to a group of orthogonal and semi-unitary basis (e). Noticing that the multi-channel image lies in low rank subspace and the eigen-images are self-similar, a subspace representation and sparse regularization is proposed. The eigen-images are regularized by the nonlocal block matching sparsity, while images of each channel are regularized by the L0 norm on gradients. The framework of alternating minimization is applied to develop a practical and fast algorithm, in which the techniques of separate quadratic surrogate algorithm, BM3D[3], L0-smoothing[4] and HySime[5] are utilized. Simulations verify that the proposed method reaches an accuracy of 0.0029 in terms of root mean squared error on the Moby mouse data, 8.6% higher compared to SISTER[6] method. Moreover, the running time of the proposed method is only about 1/4 of that of the latter.

Key words: Spectral Computed Tomography, Multi-energy Image Reconstruction, Low Rank Subspace Representation, Sparse Regularization

项目基金：国家自然科学基金(62101596)，中国博士后科学基金(2019M663996)

作者简介：蔡爱龙(1988)，男(汉族)，江苏盐城人，博士。研究方向：智能成像技术研究。E-mail：cai. ailong@ 163. com

通信作者：闫镔，教授。E-mail：ybspace@ hotmail. com

Reference

[1] Sumarsono A, Du Q. Low-Rank Subspace Representation for Estimating the Number of Signal Subspaces in Hyperspectral Imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015, 53(11): 6286-6292.

[2] Zhuang L, Bioucas-Dias J M. Fast Hyperspectral Image Denoising and Inpainting Based on Low-Rank and Sparse Representations [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2018, 11(3): 730-742.

[3] Danielyan A, Katkovnik V, Egiazarian K. BM3D frames and variational image deblurring [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(4): 1715-1726.

[4] Xu L, Lu C, Xu Y, et al. Image smoothing via L0 gradient minimization [M]. SA'11: Proceedings of the 2011 SIGGRAPH Asia Conference. 2011: 1-12.

[5] Bioucas-Dias J M, Nascimento J M P. Hyperspectral Subspace Identification [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2008, 46(8): 2435-2445.

[6] Hu D, Wu W, Xu M, et al. SISTER: Spectral-Image Similarity-based Tensor with Enhanced-sparsity Reconstruction for Sparse-view Multi-energy CT [J]. IEEE Transactions on Computational Imaging, 2020, 6: 477-490.

Low-dose Dynamic Cerebral Perfusion CT Reconstruction Method Based on Voxel-level TAC Correction

Zixiang Chen[1,2], Ying Huang[1,2], Zhenxing Huang[1,2], Guotao Quan[3], Xiang Li[3], Xin Liu[1,2], Hairong Zheng[1,2], Dong Liang[1,2], Hu Zhanli[1,2]

(1. Lauterbur Research Center for Biomedical Imaging, Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China;
2. Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Health Informatics, Shenzhen 518055, China;
3. Department of CT Physics & Algorithms, United Imaging Healthcare Group, Shanghai 201807, China)

Abstract:

Background Dynamic cerebral perfusion computed tomography (DCP-CT) is a advanced imaging technique that help in clinical diagnosis of cerebrovascular diseases. However, the radiation dose deposition during the repeated CT scans serious choke off its clinical application. In this study, we proposed a DCP-CT images reconstruction method that is able to reconstruct images from low-dose scan protocol. **Methods** Raw DCP-CT data were acquired by uCT-960+ (United Imaging Healthcare Inc.), and data corresponding to the middle slice of the detector were used in our study. DCP-CT images were reconstructed from raw data using a least square-based iterative method accompanied with voxel-level time-attenuation curve (TAC) correction (LS-VC). Low-dose CT imaging protocol was simulated by data down-sampling (representing the mode of sparse-view) and adding gaussian noise to the down-sampled sinograms (representing the mode of reduced kVp). During the reconstruction iterations, dynamic image noise was eliminated from the temporal domain via the application of the theory of third-order Hermite interpolation (THI). Quantitative evaluations of the reconstructed images were carried out by using the peak signal-to-noise ratio (PSNR) and structural similarity (SSIM) referred to normal-dose DCP-CT images. Hemodynamic maps were calculated from the reconstructed images for imaging evaluation. The conventional FBP and the famous PICCS methods were involved for comparison. **Results**: Superior performance of the proposed PSVC method is demonstrated by the remarkable visual effect of image denoising and the better PSNR and SSIM values compared to several state-of-the-art methods. Accordingly, LS-VC yields the best hemodynamic maps among all the compared methods. **Conclusion**: The proposed LS-VC method has very advanced performance in DCP-CT image reconstruction with raw data acquired with a low-dose scan protocol. This may effectively promote the clinical application of DCP-CT. **Key words**: Low-dose dynamic cerebral perfusion CT; Iterative reconstruction; Voxel-level TAC correction; Third-order Hermite interpolation; Hemodynamic maps

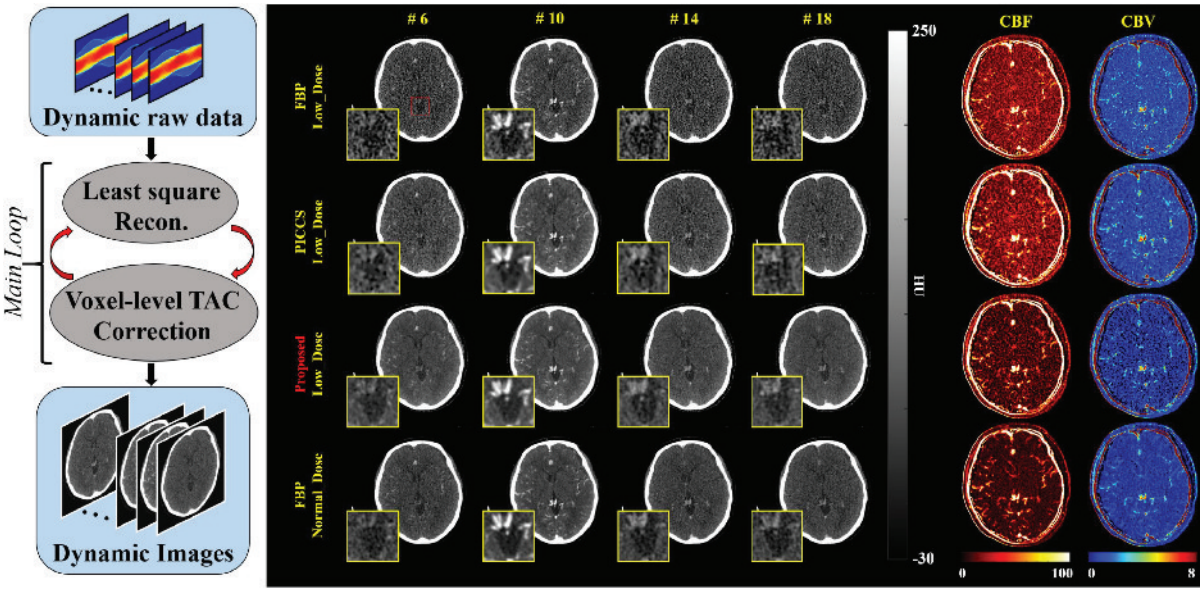


Figure 1　Brief flowchart of the proposed method and the experimental results (reconstructed images and calculated hemodynamic maps) in our study

Reference

[1] Hoeffner E G, Case I, Jain R, et al. Cerebral perfusion CT: technique and clinical applications[J]. Radiology, 2004, 231(3): 632-644.

[2] Chen G H, Tang J, Leng S. Prior image constrained compressed sensing (PICCS): a method to accurately reconstruct dynamic CT images from highly undersampled projection data sets[J]. Medical Physics, 2008, 35(2): 660-663.

[3] Wu O, Østergaard L, Weisskoff R M, et al. Tracer arrival timing-insensitive technique for estimating flow in MR perfusion-weighted imaging using singular value decomposition with a block-circulant deconvolution matrix[J]. Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 2003, 50(1): 164-174.

[4] Chen Z, Zeng D, Huang Z, et al. Temporal feature prior-aided separated reconstruction method for low-dose dynamic myocardial perfusion computed tomography[J]. Physics in Medicine & Biology, 2021, 66(4): 045012.

受限制的 CT 图像重建研究

龚长城[1,2]，　曾　理[1]

（1. 重庆大学 工业 CT 无损检测教育部工程研究中心，　重庆　400044；
2. 重庆工商大学，　重庆　400067）

摘　要：

CT 成像利用 X 射线的衰减特性能够获得被检测物体的密度或结构信息，广泛应用于医学诊断、工业无损检测、材料科学和考古文博等领域。随着经济社会的发展，CT 检测的需求和扫描对象多种多样。CT 系统几何结构、扫描现场环境、物体形状、辐射剂量或扫描时间等因素限制着传统的投影数据采集方式，可能使得很难采集完备的投影数据，或者不得不采集信噪比较低的投影数据。在不改变 CT 硬件的情况下适时调整 CT 扫描方案并发展 CT 重建方法具有重要意义。低强度 X 射线 CT 和有限角 CT 是两类典型的成像问题，滤波反投影算法重建的图像往往具有高水平噪声或明显伪影。结构信息是 CT 图像最主要的特征，并且表现出方向性、结构边界的灰度值变化大等特点。针对低强度 X 射线 CT 和有限角 CT 重建问题，利用噪声和伪影与图像结构的差异，建立 CT 重建模型，达到抑制噪声和伪影与保护图像结构的目的。针对低强度 X 射线 CT，建立基于相对全变分的重建模型，并使用 L 曲线方法辅助确定正则化参数。针对传统的有限角 CT，综合考虑伪影与结构的差异，利用图像结构的性质和伪影的方向性及缓慢变化的特点，分别建立基于各向异性的相对全变分的重建模型和基于自适应加权的各向异性全变分的重建模型。对于分段有限角 CT，根据伪影的分布特点建立基于多方向全变分的重建模型减少伪影。综上所述，针对受限制的 CT 成像问题，分析并利用重建图像的特征建立重建模型，抑制噪声和伪影、保护图像结构，提高了重建图像的质量。

关键词：CT；图像重建；受限制扫描；低强度；有限角

项目基金：国家自然科学基金项目（编号 61771003）

作者简介：龚长城（1992-），男（汉），籍贯河南新蔡，学历博士。研究方向：CT 图像重建。Email：chchgong@cqu.edu.cn
曾理（1959-），男（汉），籍贯四川郫县，学历博士。研究方向：CT 图像重建与处理。Email：drlizeng@cqu.edu.cn

通信作者：曾理，教授。Email：drlizeng@cqu.edu.cn

微焦点 X 射线 CT 在高密夹杂和孔隙分析的应用

董海江[1]，　高东林[2]，　肖　婷[2]，　李　杨[2]

摘　要：

铝合金、钛合金等有色金属铸造和增材制造的轻质高强度材料、构件广泛应用于航空航天工业。但受制造工艺参数等条件影响，构件内部会出现高密度夹杂物、孔隙或收缩等体积缺陷，严重影响产品质量和使用寿命。超声检测、射线检测等传统检测方法难以准确获得内部夹杂等缺陷的尺寸、全位置信息等参数，特别是 50 μm 以下微小高密夹杂或孔隙。近年来，X 射线计算机断层扫描(CT)应用于尺寸测量、缺陷检测和材料完整性评价，逐渐成为标准检测方式，为产品质量控制和制造工艺优化提供了有效途径。本研究采用微焦点 X 射线 CT 对试样进行高密度金属夹杂检测和孔隙率评估，对比分析 CT 检测参数对测试结果的影响，给出相关检测工艺设计建议，进一步促进检测工艺的标准化，并对 X 射线 CT 技术在增材制造无损检测发展趋势进行展望。

关键词：X 射线 CT；高密夹杂；孔隙分析；无损检测

参考文献

[1] 何龙，张延生. X 光检测钛合金高密度夹杂物方法的研究[J]. 钛工业进展，2005(01)：39-40.

[2] 雷勋惠，张立峰，杨文，姜东滨，张献光. X 射线断层扫描技术在铸坯质量检测上的应用[J]. 中国冶金，2020，30(12)：44-51.

[3] Porosity/Inclusion Analysis. https：//www. volumegraphics. com/en/products/vgsm/porosity-inclusion-analysis. html.

[4] Waller，J. M.，Saulsberry，R. L.，Parker，B. H.，et al. Summary of NDE of Additive Manufacturing Efforts in NASA [J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation，2015，1650，51-62.

作者简介：董海江(1986 年生)，男(汉族)，河北省蔚县，研究生学历。研究方向：无损检测新技术研究及测控仪器设备开发。E-mail：dhaijiang2008@ 163. com

通信作者：肖婷，工程师。E-mail：xiaoting@ gbtcgroup. com

CNT micro-focus X-ray source and in-situ pressure measurement

DONG Changkun, HUANG Weijun, KANG Song, LIU Ruizi, QIAN Weijin

(Wenzhou Key Lab of Micro-nano Optoelectronic Devices, Wenzhou University, Zhejiang 325035, China)

Abstract:

The micro-focus X-ray source with miniature pressure sensor was developed based on the multi-walled carbon nanotube (MWNT) field emission. The field emitters for both X-ray cathode and the pressure sensor were synthesized by direct chemical vapor deposition growth of MWNTs on catalytic substrates. MWNTs exhibited excellent field emission properties with the threshold field at 10 mA/cm^2 of 2.30 V/μm, and the high current density of 10 A/cm^2 could be reached at the field of 4.36 V/μm. The field emission electron gun was constructed with the aid of electrostatic simulations on the electron beam trajectories and the focal spot size (FSS) on the target with the demagnification factor of 5. The practical objects, including the semiconductor chip and the ceramic heating element, were tested by the X-ray source with the spatial resolution of less than 35 μm.

Thenovel mini-type vacuum sensor was developed based upon current enhancement from gas adsorption for MWNT field emitters. The first-principles simulations indicate that the energy barrier reductions, which are related to the surface energy well from nitrogen adsorption and the work function reduction for hydrogen adsorption, are attributed to the sensing effects. The field emission energy distribution (FEED) measurement demonstrated the reductions of electron tunneling energy barriers in H_2 and N_2 ambiences. The miniature sensor in millimeter dimensions based on MWNT field emitter with simple diode configuration can operate in a wide vacuum range from 10^{-7} to 10^{-2} Pa. The sensor was assembled inside the X-ray tube to measure the in-situ device vacuumduring the processing and after the sealing-off, and the pressures in the sealed sources were generally in 10^{-4} Pa level and could rise to 10^{-2} Pa level during the operation. This sensor showed great potentials for vacuum electronic device applications.

Key words: multi-walled carbon nanotube; field emission; Micro-focus; X-ray source; vacuum sensor

项目基金：真空自监控型碳纳米管强流场发射原理与微聚焦 X 射线应用研究(61620106006)，金属与氮掺杂对碳纳米管阵列氢传感效应影响的机理研究(61871292)

通信作者：董长昆，教授。Email：dck@ wzu. edu. cn

浅谈医学影像相关专业开展人工智能教学必要性及课程体系建设

侯庆锋
（山东第一医科大学 放射学院，　山东　271016）

E-mail：hougeamm@ 126. com

摘　要：

AI 是近几十年来的研究热点，在人类生活的各个方面均有应用。特别是在医学领域，AI 的迅速发展引起了很多思考，尤其在医学影像领域，AI 给传统的影像医生带来不小的挑战。作为影像医生必须积极行动，加强学习，主动拥抱 AI，提升自身的科研能力，在快速发展的医学影像科技潮流中立足，正如 Curtis(2019)所说“尽管 AI 尚不足以取代放射医生，但掌握 AI 的放射医生将会取代不会使用 AI 的放射医生”。在检索分析近年来发表的与医学影像相关的人工智能方面文献的基础上，结合本单位情况，对在医学影像相关专业开设人工智能相关课程、探索建立比较完善的课程体系提出观点。建议各医科院校尽快调整专业培养方案，增加人工智能相关课程，逐渐建立起完善的课程体系，培养更多“医”“智”兼备的医学影像人才。

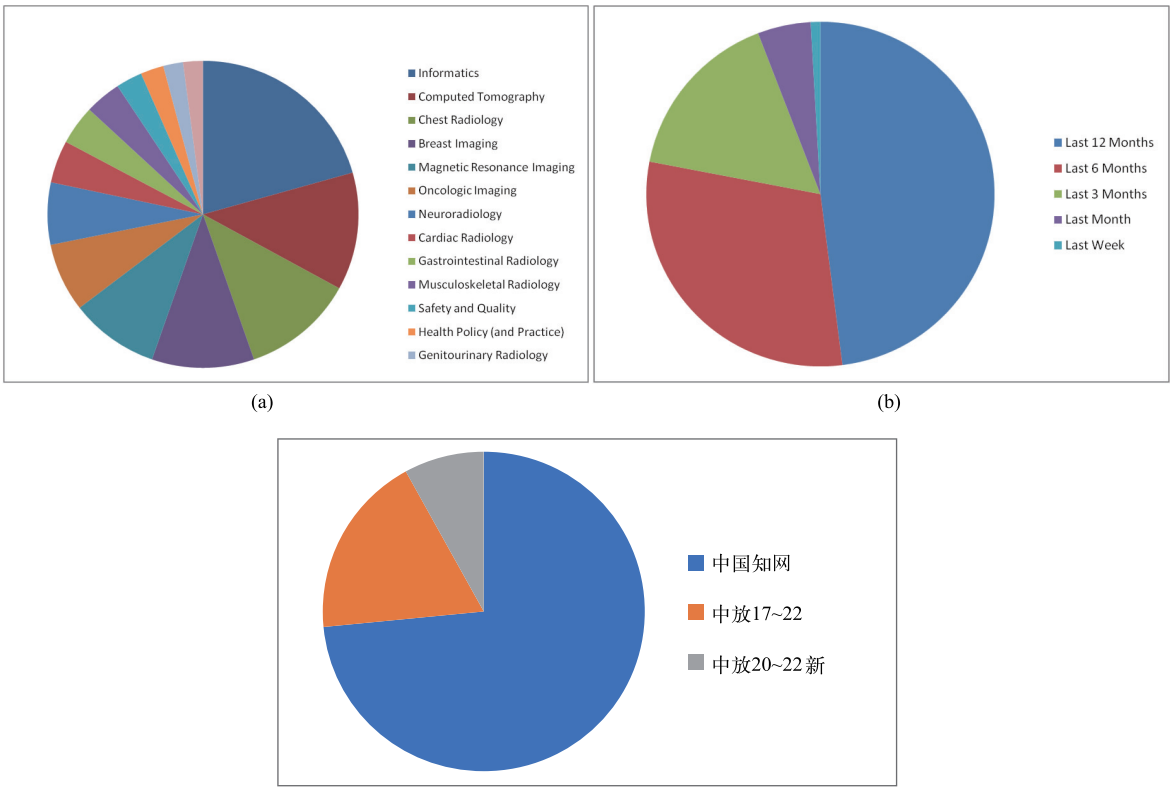


图 1　英文文献统计

(a)按文章主题分类；(b)按出版时间分类；(c)中文文献数量

关键词：人工智能；医学影像；课程体系

参考文献

[1] Curtis P L. 2019. Will artificial intelligence replace radiologists[J]. Radiology: Artificial Intelligence, 1(3): e190058[https://doi.org/10.1148/ryai.2019190058]

[2] 刘士远. 医学影像人工智能发展趋势与挑战[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(7): 700-702.

一种 X 射线 CT 硬化-散射伪影校正方法

夏迪梦[1,2], 张慧滔[1,2]

(1. 首都师范大学 数学科学学院, 北京 100048;
2. 北京成像技术高精尖创新中心, 北京 100048)

摘 要:

射束硬化和射线散射是导致图像对比度降低和图像灰度值不准确的主要因素。两者所产生的伪影通常很难在 CT 图像中加以区分。只针对射束硬化或者只针对射线散射进行的伪影校正方法难以取得较好的校正效果。本文提出了一种考虑散射的 X 射线多色衰减模型。该模型中探测器接收到的信号由两项组成--衰减项与散射项。其中, 衰减项采用指数有理分式近似, 散射项采用卷积形式刻画。有理分式系数与卷积核通过两次扫描标定模体, 构建相应的方程组并求解得到。针对构造的多色衰减模型, 本文提出了一种迭代类的硬化-散射伪影校正方法。在迭代过程中将去卷积过程与线性化反投影相结合, 简化了残差分配方式, 可同时校正硬化伪影和散射伪影。经模拟数据和实采数据实验验证, 本文方法在无需已知 X 射线能谱与被测物体材质的衰减系数信息的情况下, 可有效校正硬化-散射伪影, 提高 CT 图像对比度。

关键词: 多色衰减模型; 硬化伪影; 散射伪影; 伪影校正算法

项目基金: 国家自然科学基金(批准号: 61671311, 61827809)、国家重点研发计划(批准号: 2020YFA0712200)

作者简介: 夏迪梦(1992), 女(汉族), 山东省烟台市, 在读博士。研究方向: CT 理论与重建。E-mail: phynix_xia@cnu.edu.cn

通信作者: 张慧滔, 副教授。E-mail: zhanght@cnu.edu.cn

非负约束对相位衬度 CT 成像的影响

冀东江[1]，　赵雨晴[2]，　胡春红[3]

（1. 天津职业技术师范大学理学院，　天津　300222；
2. 天津医科大学 生物医学工程与技术学院，　天津　300070）

摘　要：

X 射线同轴相位衬度 CT(以下简称相衬 CT)成像是一种基于相位信息的新型成像技术，采用该技术对具有相似衰减系数的不同材料也可以产生较高的图像衬度。相衬 CT 成像的核心技术之一是图像重建算法。众所周知，采用优化算法求解合理的先验约束模型可以较好的抑制重建图像中的噪声，得到高质量的图像，对于传统的吸收 CT 来说，对吸收系数进行非负约束是一种常规的约束方式，然而对于相衬 CT 的折射率进行非负约束国内外并没有系统研究过，我们对相衬 CT 的非负约束在三方面进行了初步探索：(1)非负约束对吸收 CT 和相衬 CT 重建图像的影响；(2)用非负约束对于单材质样品和多材质样品重建的影响；(3)非负约束对优化求解算法的选取影响。

关键词：相衬 CT；非负约束；折射率

参考文献

[1] Ming Jiang, Ge Wang. Convergence of the simultaneous algebraic reconstruction technique (SART)[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(8): 957-961.

[2] Andersen AH, Kak AC. Simultaneous algebraic reconstruction technique (SART): A superior implementation of the ART algorithm[J]. Ultrasonic Imaging , 1984, 6(1), 81-94.

[3] B. Cai, X. Xing, X. Xu. Edgestructure preserving smoothing via relativity-of-Gaussian. In the Proceeding of 2017 [C]. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2017, 250-254.

[4] Haase, V., Hahn, K., Schndube, H., Stierstorfer, K., Maier, A. and Frédéric Noo. Impact of the non-negativity constraint in model-based iterative reconstruction from CT data[J]. Medical Physics, 2019, 46(12): 835-854.

[5] T. Takeda, A. Momose, Y. Itai, W. Jin, and K. Hirano. Phase-contrast imaging with synchrotron X-rays for detecting cancer lesions[J]. Acad Radiol, 1995, 2(9): 799-803.

[6] F. Pfeiffer, J. Herzen, M. Willner, M. Chabior, and F. Bamberg. Grating-Based X-ray Phase Contrast for Biomedical Imaging Applications[J]. Medical Physics. 2013, 23(3), 176-185.

[7] A. Momose. X-ray phase imaging reaching clinical uses[J]. Phys. Medica 2020, 79: 93-102.

[8] E. Y. Sidky, and X. Pan. Image reconstruction in circular cone-beam computed tomography by constrainedtotal-variation minimization[J]. Phys. Med. Biol., 2008, 53(17): 4777-4807.

作者简介：冀东江(1979-3)，男(汉族)，河北省张家口，博士。研究方向：CT 成像。
E-mail：zjkjdj@ tute. edu. cn

A new multi-view X-ray digital imaging stitching algorithm

KANG Yang[1], LI Yingrui[1], WU Sen[1], WU Rui[1], ZHA Gangqiang[1,2]

(1. Key Laboratory of Radiation Detection Materials and Devices Ministry of Industry and Information Technology, Northwestern Polytechnical University, 127 Youyi West Road, Xi'an, 710072;
2. Shenzhen Research Institute of Northwestern Polytechnical University, No. 45, Gaoxin South 9th Road, Shenzhen, 518063)

Abstract:

In current medical diagnosis, it is usually necessary to obtain a complete image of the human bone to observe the entire bone structure of the patient. However, due to the size of the detector, a complete picture cannot be obtained through a single scan. It is crucial to stitch the images of several scans into an overall image. Besides, in the image stitching process, the image obtained by fan beam X-ray irradiation, compared with the image obtained by parallel light, has deformation problems such as enlargement, reduction and partial overlap.

This paper proposes a multi-view X-ray digital imaging stitching algorithm to solve the problem of image stitching distortion caused by fan beam X-ray scanning. The complete stitched image is output by the multi-view stitching algorithm in four steps: multi-view projection data collection, positioning of overlapping points of view, weighted fusion, and pixel normalization. In the actual process, the algorithm can choose the number of views depending on the required accuracy of the measured object. Spine phantom and actual human body image scanned by fan beam X-rays is stitched by this algorithm, and the difference between the image before and after stitching and the actual image is compared. The quality of the stitched image and stitching time are recorded, and the feasibility of the multi-view stitching algorithm is discussed.

The results show that the image output by the algorithm is not only stitched more smoothly, without deformation, but also closer to the real image. The full stitching image can be obtained immediately after completing scans. This algorithm can also minimize the radiation dose received by the patient because of the adjustable number of views. The quality of image stitching becomes better as the number ofviews increases. The results show that the stitching problem of fan beam X-ray imaging can be solved by this algorithm.

Key words: X-ray imaging; digital Image stitching; algorithm

References

[1] B. Liu, Y. Luo, K. Li, and X. Zhao. X-Ray Layered Refocusing Imaging Based on Linear Scanning[J]. Ieee Photonics Journal, 2020, 12(3): 12.

[2] F. Yang, Y. He, Z. S. Deng, and A. Yan. Improvement of automated image stitching system for DR X-ray images[J]. Computers in Biology and Medicine, 2016, 71: 108-114.

项目基金：国家自然科学基金项目(61874089)

作者简介：康阳(1998)，男(汉族)，黑龙江省，博士。研究方向：X射线成像。E-mail：kang_ y@ mail. nwpu. edu. cn

通信作者：查钢强，教授。E-mail：zha_ gq@ nwpu. edu. cn

一种基于高斯近似的能谱 CT 重建算法

王迎美，　岳昱超，　李功胜

（山东理工大学数学与统计学院，山东省淄博市张店区新村西路 266 号，255000）

摘　要：

由于忽略了衰减系数依赖于能量的特性，传统 CT 不能提供被扫描物体的能谱信息。为了解决这个问题，能谱 CT 往往采用硬件解决方案。最常用的方法主要包括用高低两种剂量的射线对物体进行两次扫描和用可以辨别能量的探测器对物体进行一次扫描。但是硬件解决方法会导致剂量和费用增加。在本文中，基于非线性多色数据采集模型，利用数据的高斯近似和紧框架下的稀疏性，我们提出了一种软件解决方案，该方案利用传统能量集成探测器下的一次标准扫描数据进行了能谱 CT 重建。由于量子噪声，能谱 CT 的原始测量数据近似服从泊松分布。因此我们提出一种能谱 CT 的迭代重建算法，分析了算法的收敛性和稳定性。该算法重建出的带有能谱信息的图像可以用于生成真彩色图像和衰减系数的谱曲线，这些都是重要的肿瘤诊断工具。数值实验和真实数据实验结果表明，我们的方法可以提供更多的诊断信息，同时可以大大降低剂量。

关键词：关键词：能谱 CT；高斯近似；稀疏正则化；迭代重建；一次标准 CT 扫描

A Gaussian-approximation-based spectral CT reconstruction algorithm from one standard scan

Wang Yingmei,　Yue Yuchao,　Li Gongsheng

(School of Mathematics and Statistics, Shandong University of Technology, Xincunxi Road 266, Zibo, 255000)

Abstract: As for the ignorance of energy-dependent property of the attenuation coefficient, standard computed tomography (CT) cannot provide spectral information of an object. To solve this issue, there are always hardware solutions, which includes two scans with different X-ray energy levels, and one scan using energy discriminative detectors and photon counting detectors. However, hardware solutions could increase radiation exposure and costs. In this paper, based on the nonlinear polychromatic data acquisition model, with a Gaussian approximation and framelet sparsity of the data, we propose a software solution to reconstruct images with spectral information from one standard scan using the energy-

项目基金：山东省自然科学基金(ZR2022MA027)，中山大学广东省计算科学重点实验室开放基金(2021003)，横向课题(2D-C-20190158)

作者简介：王迎美(1987 年)，女(汉族)，山东新泰市，博士研究生。研究方向：医学图像处理与重建。E-mail：yingmeiwang@ sdut. edu. cn；

岳昱超(1998 年)，男(汉族)，山东荣成市，在读硕士研究生。研究方向：图像处理。E-mail：yueyuchao1998 @ 163. com

李功胜(1966 年)，男(汉族)，河南新乡市，博士研究生。研究方向：基于扩散模型的数学物理反问题。E-mail：ligs@ sdut. edu. cn

通信作者：王迎美，副教授。E-mail：yingmeiwang@ sdut. edu. cn

integrating detector. The raw measurement data approximately follow a Poisson distribution because of the quantum noise. Since the quantum number of the raw data are big enough, we can approximate it with a Gaussian distribution. Consequently, we develop an iterative reconstruction algorithm to realize spectral CT reconstruction and analyze its convergence and stability. The reconstructed images with spectral information can be used to produce true-color CT images and spectral curves of the attenuation coefficients, which are all valuable tools in cancerous diagnosis. Experiments with simulated data and real data are presented to validate that our algorithm can provide more diagnostic information and at the same time reduce radiation dose a lot.

激光微焦点 X 射线源技术研究

赵宗清， 杨 月， 吴玉迟， 王少义， 于明海， 朱 斌， 董克攻， 张晓辉，
李 纲， 毕 碧， 张天奎， 闫永宏， 谭 放， 卢 峰， 李博原，
曹莉华， 周维民， 谷渝秋， 张保汉

（中国工程物理研究院 激光聚变研究中心等离子体物理重点实验室， 绵阳 621900）

摘 要：

超高强激光等离子体 X 射线源因脉冲短、焦点小、发散度小、能量可调等优势，在瞬态动力学、状态方程测量、高面密度客体照相等领域具有广阔的应用前景。基于等离子体物理重点实验室的星光 III 激光装置[1,2]和 45TW 激光装置，我们研究了超高强激光与各类不同靶作用产生的 X 射线源技术，并在动态照相和 CT 照相方面实现了初步应用。

品质优良的电子束是产生是高品质辐射源的源头。为了调控和优化辐射源特性，我们利用微纳结构靶开展了激光驱动高品质电子束及辐射源产研究。结果表明，具有亚波长结构的纳米丝及纳米孔阵列，能够有效约束并引导激光产生的超热电子，从而产生亮度更高的微焦点脉冲 X 射线源[3-4]。目前，利用高能 ps 激光驱动，能够实现空间分辨优于 10 μm，时间分辨优于 10 ps 的动态透视照相能力，并实现了初步应用。基于激光等离子体加速器，细致研究了高能韧致辐射源的产生特性，建立了源尺寸数十 μm 的微焦点高能 X 射线源，能量 1 MeV 以上的光子产额达到 10^{10}/shot。利用此微焦点高能射线源率先完成了高能 CT 演示，空间分辨率达到约 90 μm[5-7]。这一空间分辨率的提升，展示了激光微焦点高能 X 射线在高分辨无损检测方面的应用潜力。

关键词：超高强激光；微焦点 X 射线源；微纳结构靶；动态照相；高能 CT

参考文献

[1] The Xingguang-III laser facility: precise synchronization with femtosecond, picosecon and nanosecond beams. Laser Phys. Lett. 15, 015301(2018).

作者简介：赵宗清(1980)，男，汉族，博士研究生。研究方向：激光惯性约束聚变物理，强场物理等。E-mail：zhaozongqing99@ caep. cn

[2] XingGuang III laser facility and its experimental ability to drive high-energy particle beams. Laser Phys. 30, 096001 (2020).

[3] Investigation on the transport efficiency of fast electrons with double-layer Kα fluorescence measurement. Phys. Plasmas 26, 073101 (2019).

[4] Manipulation and optimization of electron transport by nanopore array targets. Plasma Sci. Technol. 23 (2021) 015001.

[5] Micro-spot gamma-ray generation based on laser wakefield acceleration. J. Appl. Phys. 123, 243301 (2018).

[6] Design and characterization of high energy micro-CT with a laser-based X-ray source. Results in Physics 14, 102382 (2019).

[7] Towards high-energy, high-resolution computed tomography via a laser driven micro-spot gamma-ray source. Scientific Reports 8, 15888(2018).

工业 CT 团体标准制定进展汇报

彭亚辉[1]，　李兴东[2]，　叶　青[3]，　肖永顺[4]，　王贤刚[5]，　张朝宗[5]

(1. 北京交通大学；　2. 中国计量科学研究院　3. 北京固鸿科技有限公司；
4. 清华大学工程物理系；　5. 清华大学核能与新能源技术研究院)

摘　要：

目标：制定工业用计算机断层成像(computed tomography, CT)团体标准，第一阶段工作内容包括名词术语、性能参数和测试模体三份标准文件，适用于一般无损检测领域中的 X 射线或 γ 射线工业 CT 成像技术，主要针对横向 CT 成像方式。

方法：CT 理论与应用分会成立标准起草小组负责标准的制定工作，通过国内外相关标准文献的调研，结合我国工业 CT 发展现状和领域内专家意见，确定了工业 CT 标准团体标准的起草原则。(1)名词术语标准用于统一工业 CT 领域中各相关方对名词术语的认识，强调其科学性、实用性和时效性，以国内外主要标准的名词术语集合为基础，根据起草原则进行了适当的删减和修改，并在小范围内征集了专家意见；(2)性能参数标准用于定义可定量测定工业 CT 性能的指标及其测量方法，要求具有科学性、实用性、创新性和系统性，兼顾测试方法的成熟度；(3)测试模体标准用于定义测定性能参数的标准模体及其制备细节，面向实际应用，并满足科学性和完整性的要求。

结果：名词术语标准共收录 53 个工业 CT 的基本名词术语，并根据小范围专家意见完成了初稿的修订。性能参数标准收录了包括空间分辨力、对比灵敏度、尺寸测量等 5 类基础指标，以及其对应的测量方法。测试模体标准规定了以金属圆盘为基础的标准模体，包括圆盘、圆环和多个功能测试模块。后两个文件已初步成稿，并结合试验结果进行修订。

关键词：团体标准；工业用计算机断层成像；名词术语；性能参数；测试模体

北京市自然科学基金(1212011)

作者简介：彭亚辉，男(汉)，湖南临湘人，博士。研究方向：医学图像重建、定量医学图像分析与解释、诊断精度评价、模式识别、计算机辅助诊断。E-mail：yhpeng@ bjtu. edu. cn

通信作者：张朝宗，教授，E-mail：zhangcz@ tinghua. edu. cn

An image self-training segmentation method for PCB drilling via stub measurement based on computed laminography imaging

SHI Liu[1,2], WEI Cunfeng[1,2], JIA Tong[1,2], LIU Baodong[1,2]

(1. Beijing Engineering Research Center of Radiographic Techniques and Equipment, Institude of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
2. School of Nuclear Science and Technology, University ofChinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:

Back drilling technique is useful for reducing noise interference and improving signal integrity in high-speed printed circuit board design. The drilling via stub measurement is of great significance to back drilling. Currently, the stub measurement method is a destructive measuring method, involving cutting the PCB and obtain the results by optical imaging of the cut surface. X-ray computed laminography is an applicable technique for high-resolution imaging of plate-like object that will contribute to stub nondestructive measurement. However, the inter-slice aliasing artifacts in the reconstructed imagesdue to incomplete projection data make it difficult to position the trace layer and drilling tip. In this work, a new nondestructive and automatic method based on X-ray computed laminography imaging is firstly proposed for stub measurement. For better application to engineering, we propose a self-training segmentation method to segment the CL reconstructed images, which involves generating pseudo labels by combining U-net and automatic fuzzy c-means framework. Experiments on both simulated data and real data are carried out to verify the accuracy of the measuring results for the proposed method. The results show that the proposed method can not only achieve nondestructive automatic rapid measurement, but obtain similar results to the state-of-art destructive method, which brings great value to stub measurement in practical engineering application.

Key words: PCB stub length; CL; nondestructive; self-training; image segmentation

项目基金：中科院创新交叉团队(JCTD-2019-02)

作者简介：施柳(1996-)，女(汉族)，江西省宜春市，在读博士。研究方向：核技术应用方向。E-mail：shiliu@ ihep. ac. cn

通信作者：刘宝东，副研究员。E-mail：liubd@ ihep. ac. cn

基于泛化深度迭代网络的稀疏角度 CT 重建

苏　婷[1]，　朱炯滔[2]，　张　欣[1]，　梁　栋[1,3]，　葛永帅[1,3]

（1. 中国科学院 深圳先进技术研究院医学人工智能研究中心，　深圳　518055；
2. 深圳大学 物理与光电学院，　深圳　518055；
3. 中国科学院 深圳先进技术研究院劳特伯生物医学成像研究中心，　深圳　518055）

摘　要：

稀疏角度 CT 扫描可以有效降低病人所受的辐射剂量，但是由于投影角度的减少，使用传统滤波反投影(FBP)算法重建的 CT 图像存在严重的条状伪影。迭代重建算法可以抑制图像伪影，但是同时存在计算时间长、迭代参数难以调节等问题。近年来，模型驱动的深度学习 CT 重建算法成为研究热点，它主要通过将迭代优化过程展开成卷积神经网络来提高重建图像质量，并缩短重建时间。本研究基于该方法，探索深度迭代网络的泛化展开策略，以进一步提升稀疏角度 CT 图像质量。随着泛化策略的增强，迭代模型中的正则项、保真项以及迭代参数均可通过网络学习与优化。最后，通过数值仿真与实验结果验证，泛化性最强的深度迭代网络可以更好地去除条形伪影，并保持图像细节。

关键词：稀疏角度 CT；深度迭代网络；CT 重建

参考文献

[1] Su T, Cui Z, Yang J, et al. Generalized deep iterative reconstruction for sparse-view CT imaging[J]. Physics in Medicine & Biology, 2022, 67(2): 025005.

[2] Chen H, Zhang Y, Chen Y, et al. LEARN: Learned experts´ assessment-based reconstruction network for sparse-data CT[J]. IEEE transactions on medical imaging, 2018, 37(6): 1333-1347.

[3] He J, Yang Y, Wang Y, et al. Optimizing a parameterized plug-and-play ADMM for iterative low-dose CT reconstruction[J]. IEEE transactions on medical imaging, 2018, 38(2): 371-382.

[3] Liang D, Cheng J, Ke Z, et al. Deep magnetic resonance image reconstruction: Inverse problems meet neural networks [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2020, 37(1): 141-151.

项目基金：国家自然科学基金项目(12027812, 62201560)，广东省基础与应用基础研究基金(2020A1515110685)

作者简介：苏婷(1991-)，女，山东聊城人，博士。研究方向：CT 成像算法。E-mail：ting. su@ siat. ac. cn

通信作者：葛永帅，副研究员。E-mail：ys. ge@ siat. ac. cn

10 Lp/mm 空间分辨率高能工业 CT

刘清华[1]， 李 敬[1]， 单李军[1]， 肖德鑫[1]， 潘 清[1]， 刘 宇[1]， 王汉斌[1]，
张 鹏[1]， 李寿涛[1]， 王建新[1]， 张德敏[1]， 闫陇刚[1]， 胡栋材[1]， 张成鑫[1]，
甘孔银[1]， 周 征[1]， 李晓辉[2]， 王帅华[3]， 余 勇[4]， 陈 镐[5]， 王 远[1]，
杨兴繁[1]， 吴岱[1]， 黎明[1]， 陈门雪[1]， 胡进光[1]， 赵剑衡[1]

（1. 中国工程物理研究院 应用电子学研究所， 绵阳 621900； 2. 中国科学院 高能物理研究所，
北京 100049； 3. 中国科学院 福建物质结构研究所， 福州 350002；
4. 中国工程物理研究院 总体工程研究所， 绵阳 621999；
5. 中国工程物理研究院 材料研究所， 绵阳 621907）

摘 要：

高能 CT 作为最有效的无损检测手段之一，在国防军工、航空航天等行业的大型构件和装备精密检测方面具备重要应用价值。常规高能 CT 普遍采用工业加速器产生的毫米级电子束打靶产生焦斑尺寸约 2 mm 的韧致辐射 X 射线源，空间分辨率限制在 3.5 Lp/mm 以下，阻碍了其在高精度检测上的进一步应用。高能 CT 空间分辨率的提升亟需更先进的电子源，即一定流强下更低发射度、更低能散的高亮度电子束；辅以强聚焦透镜电子光学系统，产生高能、微焦点电子束团，进而打靶产生高能、微焦点 X 射线束。

基于光阴极直线加速器技术路线[1-2]，中物院应用电子学研究所建造了一台高能微焦点CT 系统。采用半导体光阴极、S 波段加速器实现能量 9 MeV、均方根能散度优于 0.3%、发射度 ~2 mm · mrad 的高品质电子束，平均电流 1~120 μA 可调，剂量率约为 1500 rad/(min · m)，并可工作在 3000 rad/(min · m)。电子束通过磁透镜聚焦至横向尺寸小于 100 μm，轰击高速旋转钨靶转化为微焦点 X 射线，探测器采用自研闪烁体荧光屏和 CCD 光学探测器[3-4]。

使用双丝像质计开展 DR 成像测试(放大比~1.9)，可清晰分辨 13 号丝(丝直径 50 μm)。采用自研分辨率测试卡开展 CT 成像测试(放大比~1.9)，可清晰分辨 10 Lp/mm (50 μm)。由于闪烁体探测效率与 CCD 读取时间限制，CT 成像时间~7 h，经过控制系统与阴极优化，系统长时剂量稳定性由 4.3%提升至 1.6%(标准差/平均值)，测试前后焦斑尺寸未见显著改。

采用国产平板探测器时，可将扫描时间缩短至 30~60 min，相比于世界最高空间分辨率的 CoLoSSIS 系统，该系统将 9 MeV 高能 CT 空间分辨率提高了 2~3 倍，扫描时间缩短了~5 倍。直线加速器可通过调节微波功率调节电子束能量，因此系统可实现能量 6~18 MeV 快速调节切换。由于能量越高时电子束的几何发射度越低，预计更高能量下焦斑将更小，下一步，将开展系统优化实现 15 Lp/mm 以上的超高分辨率，并进一步开展系统小型化工作。

基金项目：国家自然科学基金项目(11975218，12005211，11805192，11905210)，中国工程物理研究院创新发展基金项目(CX2019036，CX2019037)

作者简介：刘清华(1984-)，男，学士，助理研究员，从事工业 CT 成像算法与实验研究；wildwest@126.com

通信作者：吴岱(1986-)，男，博士，副研究员，从事加速器、自由电子激光和 FLASH 放疗研究；wudai04@163.com

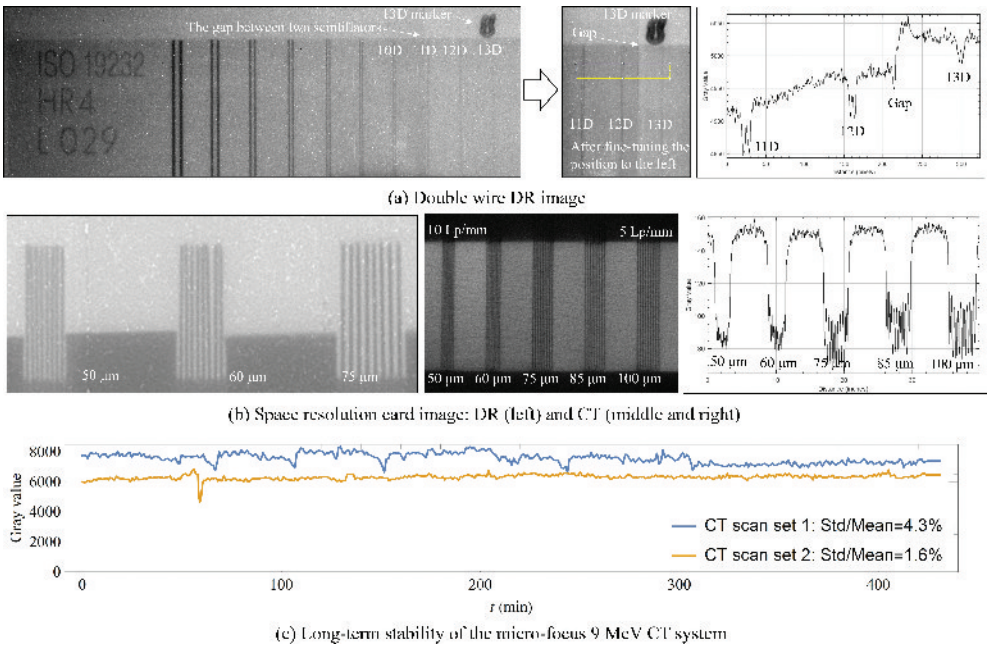


Fig. 1　Preliminary experimental results of the CT system

图 1　“精卫”CT 系统初步实验结果

关键词：高能微焦点 X 射线源；高能工业 CT；直线加速器；光阴极

参考文献

[1] 李鹏，王建新，肖德鑫，等. 9 MeV，小于 0.1 mm 微焦点 X 射线源验证实验[J]. 强激光与粒子束，2020，32：054001.

[2] Hu Dongcai，Zhou Zheng，Wang Jianxin，et al. High-energy High-dose Microfocus X-ray Computed Tomography Driven by High-average-current Photo-injector[J]. Journal of X-Ray Science and Technology，2022，30(1)：1-12.

[3] 谭龙升，李晓辉，魏存峰，等. 闪烁体特性对 X 射线探测器成像质量影响研究[J]. 中国体视学与图像分析，2022，27(2)：89-95.

[4] Xu Xieming，Wu Yiheng，Zhang Yi，et al. Two-Dimensional Perovskite Single Crystals for High-Performance X-ray Imaging and Exploring MeV X-ray Detection. Energy & Environmental Materials，2022，e12487.

第五分会场

第一届全国智能成像技术学术会议

面向自适应放疗的深度学习锥束 CT 伪影校正方法

万鲁平[1]，　吴　昊[2]，　张文文[1]，　孙保华[1]，　赵　维[1]

（1. 北京航空航天大学物理学院，　北京　100191；
2. 北京大学肿瘤医院，　北京　100142）

摘　要：

目的　平板探测器锥形束 CT(CBCT)广泛应用于临床图像引导放射治疗。然而，由于散射辐射、运动等因素导致 CBCT 影像伪影多，定量精度与诊断 CT 相比明显不足，限制了 CBCT 在诊断、放疗计划制定等方面的进一步应用。提出一种深度学习的 CBCT 伪影校正方法，提升图像质量(特别是 HU 定量精度)，以保证所合成 CT 影像满足临床快速自适应放疗的要求。**方法**　该方法包含两部分：①将 CBCT 影像进行重采样，同时利用刚性配准算法将 CBCT 与计划 CT 进行配准，生成配对的训练数据；②利用数据训练循环对抗生成网络，并构造均方误差和感知损失的复合损失函数。为了评估该方法，选取训练集以外的 14 例患者的 CBCT 影像输入训练后的模型预测合成 CT，利用不同均匀组织的 15 个感兴趣区(ROI)的 HU 值对预测结果进行定量评估；利用自动勾画软件在合成 CT 上对膀胱重新勾画并经资深物理师校正，将重新勾画后的合成 CT 根据原放疗计划进行剂量计算。**结果**　在选取的 ROI(肌肉、脂肪、膀胱)内，合成 CT 与计划 CT 的平均绝对误差(MAE)分别为 29.0、26.5、25.1 HU；而 CBCT 与计划 CT 的 MAE 分别为 92.0、71.3、60.8 HU。以计划 CT 的剂量计算结果为标准，对于 PTV，合成 CT 剂量通过率在 1mm/1%、2mm/2%、3mm/3%时分别为 80.6%、98.3%、99.9%；而 CBCT 剂量通过率分别为 71.9%、97.2%、99.9%。根据合成 CT 重新勾画膀胱后的剂量计算，有两例患者膀胱剂量 V40>50%，对这两例患者我们进行了快速再计划，在 PTV 满足处方剂量的条件下将膀胱剂量降至 V36<50%、V33<50%。**结论**　本文提出了一种采用深度学习校正 CBCT 伪影的方法。该方法可显著提升 CBCT 影像质量和定量精度，所合成的 CT 影像满足临床自适应放疗的需求。

关键词：深度学习；CT；CBCT；自适应放疗；前列腺癌

项目基金：国家自然科学基金(No. 12175012)

作者简介：万鲁平(1998-)，男(汉)，山东省泰安市，硕士研究生。研究方向：医学物理。E-mail：lpwan@buaa.edu.cn

通信作者：赵维，教授。E-mail：zhaow20@buaa.edu.cn

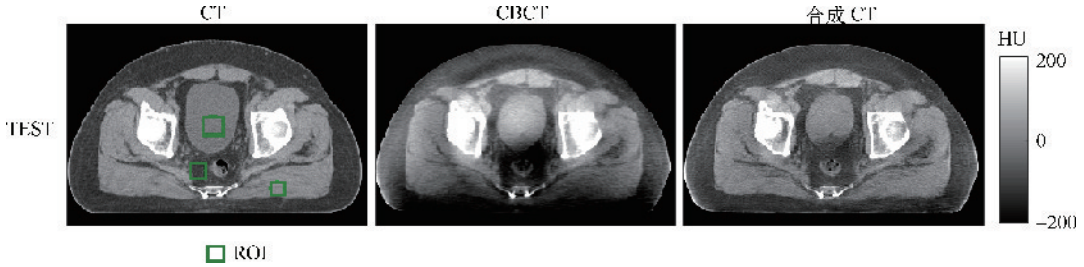


图 1　预测结果与 ROI 选取示意

参考文献

[1] Zhao, Wei, DonVernekohl, Jun Zhu, Luyao Wang, and Lei Xing. A model-based scatter artifacts correction for cone beam CT. Medical Physics 2016, 43(4): 1736-1753.

[2] Zhao, Wei, Stephen Brunner, KaiNiu, Sebastian Schafer, Kevin Royalty, and Guang-Hong Chen. Patient-specific scatter correction for flat-panel detector-based cone-beam CT imaging. Physics in Medicine & Biology, 2015, 60(3): 1339.

[3] Niu, Tianye, Mingshan Sun, Josh Star-Lack, Hewei Gao, Qiyong Fan, and Lei Zhu. Shading correction for on-board cone-beam CT in radiation therapy using planning MDCT images. Medical physics, 2010, 37(10): 5395-5406.

[4] Liang, X., Jiang, Y., Zhao, W., Zhang, Z., Luo, C., Xiong, J., Yu, S., Yang, X., Sun, J., Zhou, Q. and Niu, T. Scatter correction for a clinical cone-beam CT system using an optimized stationary beam blocker in a single scan. Medical Physics, 2019, 46(7): 3165-3179.

[5] Liu, Yingzi, Yang Lei, Tonghe Wang, Yabo Fu, Xiangyang Tang, Walter J. Curran, Tian Liu, Pretesh Patel, and Xiaofeng Yang. CBCT-based synthetic CT generation using deep-attention cycleGAN for pancreatic adaptive radiotherapy. Medical Physics, 2020, 47(6): 2472-2483.

[6] Liang, Xiao, Liyuan Chen, Dan Nguyen, Zhiguo Zhou, Xue jun Gu, Ming Yang, Jing Wang, and Steve Jiang. Generating synthesized computed tomography (CT) from cone-beam computed tomography (CBCT) using CycleGAN for adaptive radiation therapy. Physics in Medicine & Biology, 2019, 64(12): 125002.

[7] Shi, L., Wang, A., Wei, J. and Zhu, L. Fast shading correction for cone-beam CT via partitioned tissue classification. Physics in Medicine & Biology, 2019, 64(6): 065015.

[8] Paganetti, Harald, Pablo Botas, Gregory C. Sharp, and Brian Winey. Adaptive proton therapy. Physics in Medicine & Biology, 2021, 66(22): 22TR01.

[9] Cui, Hehe, Xiao Jiang, Chengyijue Fang, Lei Zhu, and Yidong Yang. Planning CT-guided robust and fast cone-beam CT scatter correction using a local filtration technique. Medical Physics, 2021, 48(11): 6832-6843.

A Dual-domain deep learning method for low-dose CT reconstruction based on Bernoulli sampling constraint

AN Ran,　LI Hongwei

(School of Mathematical Sciences, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract:

In practical applications, to reduce physical damage, low dose data are often acquired. The reduction of radiation dose will lead to noisy projection data which result in degraded reconstruction. In recent years, there emerge many denoising methods based on deep learning to post-process low dose reconstruction and achieve excellent results. These learning based methods have their limitations, however, since they are applied only for post-processing and do not consider the consistency of image and projection data. Indeed, the obtained images are often over-smoothed and seriously smeared at the image edges. Dual-domain deep learning methods could achieve better results by pre-process the projection data. However, projection data smoothing easily leads to streak artifacts. So, how to control the processing strength of convolutional neural networks for projection data becomes an issue worthy of study. Focusing on this, we propose a dual-domain deep learning method that introduces Bernoulli sampling into the training stage of the projection data domain process. By generating different noise-level data as labels in the projection data training process with the Bernoulli sampling, the smoothing ability of the training process is controlled. The proposed network also considers the data consistency by building into a reconstruction layer, which helps to improve the network's stability. The effectiveness and efficiency of the proposed method are verified by numerical experiments.

Key words: low-dose CT; Bernoulli sampling; deep learning

基金项目：国家自然科学基金(No. 61971292)

作者简介：安然，男，博士研究生。研究方向：CT 重建与图像处理。E-mail：2210501023@cnu.edu.cn

通信作者：李宏伟，教授。E-mail：hongwei.li91@cnu.edu.cn

一种基于深度学习投影到图像的 CT 分块重建算法

马根炜[1,2]， 赵 星[1,2]， 朱溢佞[1,2]， 张慧滔[1,2]

（1. 首都师范大学 数学科学学院， 北京 100043；
2. 北京成像技术高精尖创新中心， 北京 100043）

摘 要：

为了解决基于学习的 CT（computed tomography，CT）重建问题，许多研究者提出了了各种重建网络。然而，尽管各种网络不断地改进，但将神经网络应用 CT 成像仍然具有挑战性。一方面利用传统方法直接映射将重建过程的参数减少到几个。但是这样大大减少了网络在重建过程中的智能性。另一方面基于参数自动学习的方法中需要训练的网络参数量仍然较大。在本研究中，我们提出了一种新的轻量级分块重建网络（LBRN）用于 CT 重建。该方法采用分块重建策略实现权重共享有效的减少重建中网络的学习参数。具体的，通过展开滤波反投影（FBP）方法，先通过卷积网络进行滤波实现探测器方向的去相关，然后利用分块策略实现块重建，最后通过一个卷积网络实现块图像的重组得到高质量的重建图像。此外，这种方法是端到端的训练，直接从原始投影数据工作，不依赖于任何初始图像。通过四组实验来评估 LBRN 的性能：全角度、低剂量 CT、感兴趣区域重建和实际采集的数据实验。数值实验结果表明，LBRN 可以有效地引入到重建过程中，在不同的重建问题上具有突出的优势。

关键词：深度学习；CT 重建；分块重建

项目基金：国家自然科学基金（61827809，61971293，61671311）；国家重点研发计划（2020YFA0712200）；国防技术基础项目（JSZL2018208C003）

作者简介：马根炜（1992-），男（汉），江西省吉安市，在读博士。研究方向：CT 理论与重建。E-mail：magenwei@126.com
通信作者：赵星，教授。E-mail：zhaoxing_1999@126.com

Attentive transformation based normalization for breast tumor segmentation in PET images

QIAO Xiaoya[1], YUAN Yuan[2], ZENG Qinglong[1], HUANG Qiu[1,3]

(1. School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;
2. School of Computer Science, The University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia
3. Department of Nuclear Medicine, Ruijin Hospital, Shanghai 200240, China)

Abstract:

Deep convolutional neural networks have become the state-of-the-art in PET tumor segmentation. Normalization is one of the key components for accelerating network training and improving the performance of the network. However, existing normalization methods either introducing shared batch noise into instance PET image or introducing shared global statistics, influenced by background, into every single pixel with varying importance, which interferes with and eliminates the specific characteristics of ROI in PET image. In this paper, we proposed an attentive transformation-based normalization method for breast tumor segmentation in PET images. We exploit the distinguishability of breast tumor in PET images and generate the pixel-dependent learnable parameters dynamically by transformation on a combination of channel-wise and spatial-wise attentive response maps. Each pixel in the feature map will be re-calibrated with learnable parameters containing attentive information. These attentive learnable parameters learn to emphasize the amplitude of the foreground area, suppress irrelevant information in the distracting parts, and provide guiding prior information to speed up network training procedures. Experimental results on the realistic dataset show that our proposed method improves the performance on breast tumor segmentation in PET images.

Key words: breast tumor; segmentation; positron emission tomography (PET); normalization; convolutional neural network (CNN)

作者简介：乔萧雅(1994-)，女(汉)，陕西省西安市，博士研究生。研究方向：PET 图像分割，运动校正。E-mail：qiaoxiaoya@sjtu.edu.cn

通信作者：黄秋，长聘教轨副教授。E-mail：qiuhuang@sjtu.edu.cn

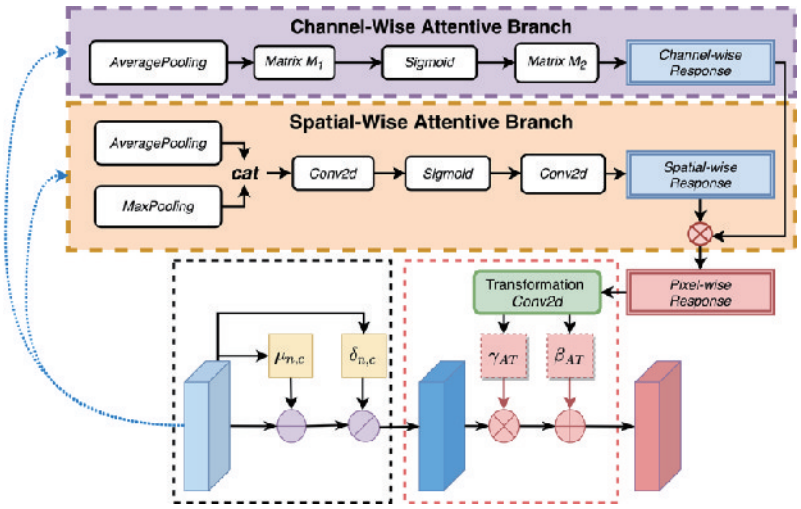


Fig. 1 The workflow of attentive transformation based normalization method

Reference

[1] Cui R, Chen Z, Wu J, et al. A multiprocessing scheme for pet image pre-screening, noise reduction, segmentation and lesion partitioning[J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2021, 25(5): 1699-1711.

[2] Ayinde B O, Inanc T, Zurada J M. Regularizing deep neural networks by enhancing diversity in feature extraction[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2019, 30(9): 2650-2661.

[3] Zhou X, Yang G. Normalization in training u-net for 2-d biomedical semantic segmentation[J]. IEEE Robotics and Automation Letters. 2019, 4(2): 1792-1799.

Prior-based ROI reconstruction using weighted Hessian Schatten regularizations

周玉府，　邓子恒，　赵　俊

（生物医学工程学院 上海交通大学，　上海　200240）

Abstract：

Computed tomography (CT) is widely applied in clinical diagnosis and its radiation dose has aroused public concern. Studies show that a higher cancer risk is closely related to more radiation exposure, which motivates many dose-saving strategies, e. g. automated tube current modulation, fewer views and region-of-interest (ROI) scan. ROI scan can be conducted in some specific medical applications, such as CT Angiography (CTA) and lung nodules follow-up examinations, wherein doctors pay more attention to the organs and structures than the surrounding tissues. Moreover, the shape and size of these structures are essential for diagnosis, since appearance changes often indicate diseases. In the ROI scan, the acquired data are truncated and noisy, resulting in an ill-posed reconstruction problem. Within the compressed sensing (CS) framework, the total variation (TV) penalty has shown excellent performance in edge preservation and noise suppression in ROI reconstruction. However, the TV penalizes the first-order derivatives and produces piecewise constant images, which probably conflicts with the characteristics of the underlying image and generates staircase effect. To avoid the over-smoothness induced by the TV penalty, we utilize Hessian Schatten regularizations to mitigate noise and artifacts, which penalizes the second-order derivatives and is perfect for reconstruction of piecewise linear images. Furthermore, in ROI reconstruction, weights based on the data deficiency are attached to the Hessian Schatten norm to compensate the inhomogeneity of back-projections. The structure-coupling method is adopted to update the ROI of the prior image from the reconstructed image iteratively to improve the quality of ROI reconstruction. In the experiment, a low-mAs, sparse-view, ROI scan was simulated, which greatly reduced the radiation dose. The prior images were obtained from the previous scans of the same patient. The results showed that the proposed method outperformed other TV-based methods, especially in structure preservation and tissue contrast.

Key words：CT imaging, ROI reconstruction, weighted Hessian Schatten regularizations

Reference

[1] Lefkimmiatis S, Ward J P, Unser M. Hessian Schatten-norm regularization for linear inverse problems[J]. IEEE transactions on image processing, 2013, 22(5): 1873-1888.

项目基金：大锥角 CT 图像重建方法研究(2016YFC0104608)

作者简介：周玉府(1996 年)，男(土家族)，江苏江阴，博士在读。研究方向：CT 重建算法。E-mail：henryzhouyufu@sjtu.edu.cn

通信作者：赵俊，长聘教授。E-mail：junzhao@sjtu.edu.cn

[2] Zhang W, Song Y, Chen Y, et al. Limited-range few-view CT: using historical images for ROI reconstruction in solitary lung nodules follow-up examination[J]. IEEE transactions on medical imaging, 2017, 36(12): 2569-2577.

[3] Zhou Y, Zhang X, Zhang W, et al. Previous-stage-based ROI Reconstruction Method for Ultra-low-dose CT Angiography[C]//2020 IEEE 20th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE). IEEE, 2020: 969-974.

结合多模态影像信息的心脏 CT 重建算法

邓子恒， 周玉府， 赵 俊

(上海交通大学)

摘 要：

心血管疾病严重危害人类健康。作为心血管疾病诊断的金标准，心脏 CT 具有重要意义。而由于心脏血管成像对 CT 系统的空间、时间分辨率有着极为严苛的要求，心脏 CT 也被誉为 CT 成像领域的圣杯。受限于机械结构，当前螺旋 CT 的时间分辨率已接近理论极限，在实际临床应用中，即使结合心电门控等技术，心脏运动伪影仍然难以避免。

为了进一步提升心脏 CT 的时间分辨率，我们提出了结合患者心脏电影磁共振图像信息的 CT 图像运动估计、运动补偿算法。心脏电影磁共振序列是磁共振心脏成像中的常用序列，临床上，医生会采集患者心脏的一系列动态短轴图像，并估计心脏射血分数以诊断评估心衰。虽然心脏电影磁共振图像无法提供各向同性的高分辨率图像，但是其具有较高的时间分辨率。因此，我们通过配准算法从心脏电影磁共振图像中估计心脏运动模型，结合心电门控技术，重建高空间分辨率的心脏 CT 图像并进行运动补偿，从而减少 CT 图像运动伪影，提升图像质量。

算法在数字模体上进行了可行性验证。实验表明，心脏电影磁共振图像的高时间分辨率特性可以与 CT 图像的高空间分辨率特性互补，基于磁共振图像运动模型的运动补偿 FDK 算法能够提高重建质量。

项目基金：大锥角 CT 图像重建方法研究(2016YFC0104608)

作者简介：邓子恒，男(汉)。研究方向：CT 成像原理及 CT 重建算法。E-mail：ivy9092111111@ sjtu. edu. cn

通信作者：赵俊，长聘教授。E-mail：junzhao@ sjtu. edu. cn

基于图像识别的无人驾驶汽车软件系统优化设计

李　笔[1]，　邱亦睿[1]，　翁才恩[2]，　易际明[1]

（1. 机械与汽车工程学院 厦门理工学院，　厦门　361024；
2. 机械工程学院 三明学院，　三明市　365000）

摘　要：

智能车辆是集环境感知、路径决策规划、自动驾驶和其他功能于一体的系统。为了提高智能车辆的跟踪和运动性能，设计并优化了一个包括图像预处理、图像处理、路径跟踪规划和智能车辆控制的系统。首先，讨论了三种基本阈值算法和图像降噪算法的原理和实现效果。其次，对传统的边缘提取算法和路况判断算法进行了改进。然后，提出并简化了基于中线算法的路径跟踪规划方法和基于最小二乘法的边缘拟合算法。最后，针对传统 PID 算法不能更新 K_p、K_i和 K_d的缺点，提出了一种基于 PID 算法和模糊控制的智能车辆控制系统。实验结果表明：①所设计的滤波算法能有效地降低图像噪声。②改进的边缘提取算法对智能车辆运行过程中的异常数据具有明显的滤波效果；③改进的路况判断算法得到的直道与弯道的弯曲程度差为 7.39，大于传统算法得到的 1.78，明显提高了智能车对道路弯曲程度的敏感性，克服了传统算法随弯曲度的上升，弯曲程度数值反而出现下降的问题；④使用简化边缘算法可以得到相似于 R 平方大于 0.994 的基于最小二乘法的边缘拟合算法，且用于计算的边缘点由原本的 48 个点降低为 2~3 个点，大大提高了智能车的运行效率。⑤采用基于模糊的 PID 控制算法，在目标转速变化后，输出曲线在 0.44 s 时达到目标转速，最大超调量约为 16.4 rpm，算法在 7.9 s 后稳定于目标转速，分别小于传统 PID 控制的 1.2 s、56.7 rpm 和 12.1 s，明显提升了系统的控制性能。

关键词：智能车辆；图像预处理；边缘提取；跟踪路径规划；模糊 pid 控制

参考文献

[1] Fu R, Wang H, Zhao W. Dynamic driver fatigue detection using hidden Markov model in real driving condition. Expert Systems with Applications, 2016: 397-411.

[2] Useche S A, Viviola Gómez, Cendales B E. Stress-related psychosocial factors at work, fatigue, and risky driving behavior in bus rapid transport (BRT) drivers. Accident Analysis & Prevention, 2017, 104(2017): 106-114.

[3] Zhang G, Yau K K W, Zhang X, et al. Traffic accidents involving fatigue driving and their extent of casualties. Accident Analysis & Prevention, 2016, 87: 34-42.

[4] Konig M, Neumayr L. Users´ resistance towards radical innovations: The case of the self-driving car. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2017, 44: 42-52.

[5] Rao Y, Yang F. Research on Path Tracking Algorithm of Autopilot Vehicle Based on Image Processing. International

项目基金：基金名称(编号)

作者简介：李笔(1996-)，性别(汉)，仙游，硕士。研究方向：新能源车。bili@ stu. xmut. edu. cn

通信作者：邱亦睿，教授。E-mail：chiuyijui@ xmut. edu. cn

Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2019: 2054013.

[6] Li H, Yang H, Chen K. Feature Point Extraction and Tracking Based on a Local Adaptive Threshold. IEEE Access, 2020, 8: 44325-44334.

[7] Xu X, Xu S, Jin L, et al. Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(7): 956-961.

[8] Bretti G, Piccoli B. A Tracking Algorithm for Car Paths on Road Networks. Siam Journal on Applied Dynamical Systems, 2008, 7(2): 510-531.

[9] Naranjo J E, Gonzalez C, Garcia R, et al. Lane-Change Fuzzy Control in Autonomous Vehicles for the Overtaking Maneuver. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, 9(3): 438-450.

[10] Milanes V, Shladover S E, Spring J, et al. Cooperative Adaptive Cruise Control in Real Traffic Situations. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(1): 296-305.

[11] Gaining H, Weiping F, Wen W, et al. The Lateral Tracking Control for the Intelligent Vehicle Based on Adaptive pid Neural Network. Sensors, 2017, 17(6): 1244.

[12] Chen X W, Zhang J G, Liu Y J. Research on the Intelligent Control and Simulation of Automobile Cruise System Based on Fuzzy System. Mathematical Problems in Engineering, 2016: 1-12.

[13] Chen G, Zhang W, Li X, et al. Adaptive speed control method for electromagnetic direct drive vehicle robot driver based on fuzzy logic. Measurement and Control, 2019, 52(1): 002029401986684.

[14] Guo J, Luo Y, Li K. Integrated adaptive dynamic surface car-following control for nonholonomic autonomous electric vehicles. Science China Technological Sciences, 2017, 60(8): 1221-1230.

[15] Mohammadzadeh A, Taghavifar H. A robust fuzzy control approach for path-following control of autonomous vehicles. Soft Computing, 2020, 24(8).

[16] Liu S, Hou Z, Tian T, et al. A Novel Dual Successive Projection-Based Model-Free Adaptive Control Method and Application to an Autonomous Car. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2019: 1-14.

[17] Almagambetov A, Velipasalar S, Casares M. Robust and Computationally Lightweight Autonomous Tracking of Vehicle Taillights and Signal Detection by Embedded Smart Cameras. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(6): 3732-3741.

[18] Chen, C-H, Lee, et al. Smart in-car camera system using mobile cloud computing framework for deep learning. Vehicular Communications, 2017, 10: 84-90.

[19] Drage T, Kalinowski J, Braunl T. Integration of Drive-by-Wire with Navigation Control for a Driverless Electric Race Car. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2014, 6(4): 23-33.

[20] Kabzan J, Hewing L, Liniger A, et al. Learning-Based Model Predictive Control for Autonomous Racing. IEEE Robotics and Automation Letters, 2019, 4(4): 3363-3370.

[21] Etlik U B, Korkmaz B, Beke A, et al. A fuzzy logic-based autonomous car control system for the JavaScript Racer game. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2019: 014233121988952.

[22] Li Q, Zhou J, Li B, Guo, Y, et al. Robust Lane-Detection Method for Low-Speed Environments. Sensors, 2018, 18(12): 4274.

[23] Yu L, Yan X, Kuang Z, et al. Driverless Bus Path Tracking Based on Fuzzy Pure Pursuit Control with a Front Axle Reference. Applied Sciences, 2019, 10(1): 230.

[24] Hwang C L, Chang L J. Internet-Based Smart-Space Navigation of a Car-Like Wheeled Robot Using Fuzzy-Neural Adaptive Control. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2008, 16(5): 1271-1284.

[25] Krishnan P. Design of Collision Detection System for Smart Car Using Li-Fi and Ultrasonic Sensor. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018: 1-1.

Automated segmentation of skeletal muscle at the third lumbar vertebral level in radiotherapy CT images

ZHAO Xuzhi[1], YUE Haizhen[2], DU Yi[2], PENG Yahui[1]

(1. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Shangyuan Cun No. 3, Xizhimen Wai, Haidian District, Beijing 100044, China;

2. Key Laboratory of Carcinogenesis and Translational Research (Ministry of Education/Beijing), Department of Radiation Oncology, Peking University Cancer Hospital & Institute, Beijing 100142, China)

Abstract:

Objective To develop a computer algorithm to segment skeletal muscles at the third lumbar vertebrae (L3) level in radiotherapy computed tomography (CT) images. **Methods** Included in the study are 13 patients (9 males and 4 females) with rectal cancer who were admitted to the Department of Radiation Oncology at Peking University Cancer Hospital from January 2015 to June 2020. The age of the patients ranges from 32 to 77 years, with the mean of 55.9 years. On the axial CT images at the L3 level, an oncologist selects 3-5 slices for each patient and annotates the skeletal muscle contours manually with the ITK-SNAP software. A total of 48 axial images are annotated and used as the ground truth. Abdominal and paraspinal muscles are segmented separately. The former is segmented with mathematical morphology techniques while the latter is segmented with an adaptive thresholding method and the connected component analysis. In addition, a direct global thresholding-based segmentation is also developed, served as a comparison benchmark. To assess the performance of the proposed algorithm, Jaccard similarity coefficient (JSC) is used. JSC is estimated for male and female patients, respectively, and for different age groups, as well as for all patients. **Results** JSC is 85.32±4.84 (mean ± standard deviation), 75.74±8.15, and 82.32±7.47, for male, female and all patients, respectively. For patients aged ≤ 55 and > 56 years old, JSC is 83.74±9.95 and 81.32±5.00, respectively. All the above JSC values are much better than that of the benchmark JSC, which is 50.03±10.08. **Conclusions** The promising results indicate that the proposed image-processing algorithm may help segment skeletal muscles at the L3 level in radiotherapy CT images accurately.

Key words: muscle segmentation; third lumbar vertebral level (L3); CT images

项目基金：北京市自然科学基金(1202009)；北京市自然科学基金(1212011)；国家自然科学基金(12005007)

作者简介：赵旭之(1997-)，男(汉)，山西省，本科。研究方向：低剂量 CT 成像、定量医学图像分析。E-mail：20111055@bjtu.edu.cn

通信作者：彭亚辉，教授。E-mail：yhpeng@bjtu.edu.cn

基于图像局部质量增强的迭代重建算法

蔡剑梅， 段嘉毓， 牟轩沁

（西安交通大学 信息与通信工程学院， 西安 710049）

摘 要：

通过利用 X 射线穿越物体的衰减特性获得物体内部结构信息，CT 成像技术被广泛地应用于医学诊断、放射治疗和工业无损检测等多个领域。但由于 X 射线会对人体造成不可逆的损坏，因此在 CT 成像过程中应严格控制 X 射线剂量，遵守“ALARA”准则[1]。如何用低剂量 X 射线获得高质量的成像图像成为越来越多研究人员的关注焦点。在整个 CT 成像过程中，针对不同阶段有不同的质量评价算法[2]，主要为针对算法层面的通用图像质量评价算法（General Image Quality Assessment，GIQA），例如 SSIM[3] 等，和针对诊断层面的面向任务图像质量评价算法（Task-specific Image Quality Assessment，TIQA），如观察者模型[4]等。目前已有学者将 GIQA 算法应用于 CT 重建过程中[5]。但 CT 重建的最终目标是为了给医生提供足够的病理信息，也就是图像的局部质量特别是病灶质量尤为重要。而在成像过程中无法预先获得病理信息，只能采用 GIQA 算法。因此，本文希望提出一种算法可以在重建过程中保持医学图像整体质量的前提下，增强医学图像的局部质量，提高病灶识别度，为医生提供足够的病理信息。通过研究 GIQA 算法和 TIQA 算法的共同点，即采用圆对称的一阶和二阶图像特征提取图像质量感知信息的方法，本文结合以前的工作[6]，将高斯和拉普拉斯这两个线性结构算子引入到迭代重建算法的正则项中，该正则项采用结构增强的 MSE 质量感知准则，构建一种基于图像局部质量增强的迭代重建算法。我们利用 Mayo 数据库对本算法进行验证，并且分别采用 BIQA 算法和通道化 Hotelling 模型对迭代重建图像进行评价，从实验结果可以看出，根据本算法重建的医学图像相较于传统迭代算法获得图像在两种评价下更加一致。

关键词：感知特征；迭代重建；图像质量；CT

项目基金：国家自然科学基金（No. 62071375），国家重点研发计划（No. 2016YFA0202003）

作者简介：蔡剑梅（1992-），女（汉），陕西，博士研究生。研究方向：医学图像质量评价。E-mail：312360111@qq.com

通信作者：牟轩沁，教授。E-mail：xqmou@mail.xjtu.edu.cn

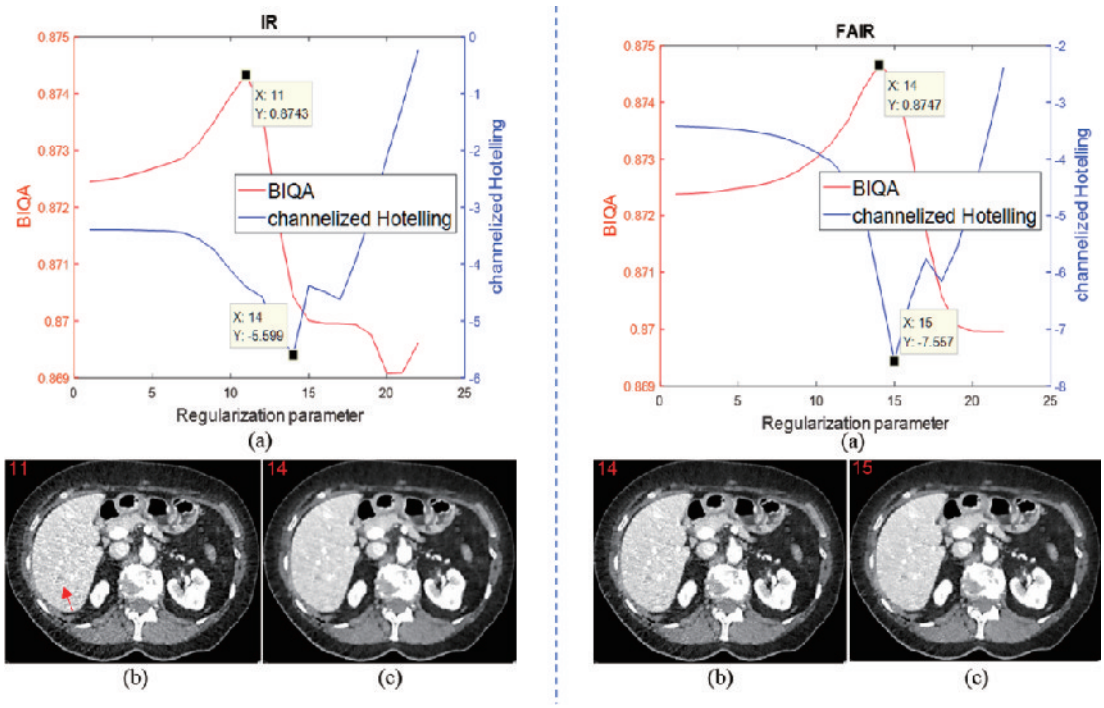


图 1　Mayo 数据实验结果

虚线左边为基于字典的迭代重建算法，虚线右边为基于图像局部增强的迭代重建算法，红色箭头为仿真病灶。(a) 正则参数与通道化 Hotelling 观察者和 BIQA 之间的关系曲线；(b) BIQA 选择的最优重建图像；(c) 通道化 Hotelling 模型选择的最优重建图像

参考文献

[1] Baert, Albert L. Encyclopedia of Diagnostic Imaging[J]. Springer Berlin Heidelberg, 2008, 10.1007/978-3-540-35280-8(Chapter 1155): 886-886.

[2] Cai J, Chen X, Huang W and Mou X. Image Quality Assessment on CT Reconstruction Images: Task-specific vs. General Quality Assessment. 14th Annual Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, pp. 814-819, 2017.

[3] Zhou W, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Trans Image Process, 2004, 13(4).

[4] Barrett HH, Yao J, Rolland J P, and Myers K J. Model observers for assessment of image quality. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 90, no. 21, pp. 9758-9765, 1993.

[5] Bai T, Mou X, Xue W, Yan H, and Jiang B J. Iterative CT reconstruction with regularization parameter tuned by blind image quality assessment. The 13th Annual Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, pp. 124-127, 2015.

[6] Xue W, Mou X, Zhang L, et al. Perceptual fidelity aware mean squared error. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2013: 705-712.

一种基于新型平板射线源的数据校正方法

段嘉毓， 李 阳， 蔡剑梅， 牟轩沁

（西安交通大学 信息与通信工程学院， 西安 710049）

摘 要：

传统 X 射线源基于热阴极，具有响应速度慢，功率高，体积大，寿命短等缺陷，这些因素都限制着传统成像系统的进一步发展。近年来，随着制造技术的发展，出现了基于冷阴极的场致发射 X 射线源。它具有高密度的发射电流，响应快，功率低等特点，使得成像系统结构紧凑且具有高时空分辨率。目前已有很多工作针对场致发射冷阴极 X 射线源展开，例如透视成像[1]、微焦点断层成像[2-3]、动态透视成像[4]、静止 CT[5-7]等。但它与传统射线源一样，仍需要较远的源和探测器距离，才能完全覆盖成像对象。并且，目前的冷阴极 X 射线源是单个封装的，这意味着很难设计高密度的源阵列，因此在设计静态成像系统时，会带来稀疏角问题，导致成像质量下降。为了使成像系统更小型化，便携化，实现只覆盖感兴趣部位的照射，人们又提出了平板 X 射线源[8-9]，它可以看作是高密度的二维 X 射线阵列[10]。本文基于该类型射线源，研究了射线源的光束形状以及数据校正策略，为后续重建工作打下基础。在光束形状研究中首先采用蒙卡仿真对分析光源角度信息，接着采用多项式拟合空扫数据的方式，将实际各个光源的强度因素，探测器接收效率，焦斑大小与射束强度的关系，构建了光束形状函数。由于冷阴极平板 X 射线源的断层成像系统的电压电流不稳定，在此情况下，测量数据的电流水平不同，会造成后续的重建误差。为了校正测量数据，本文采取有效电流的方式进行校正，在校正后，可使得所有测量数据的同一水平线上，这些数据预处理将为之后的重建打下基础。

关键词：冷阴极 X 射线源；平板射线源；数据处理

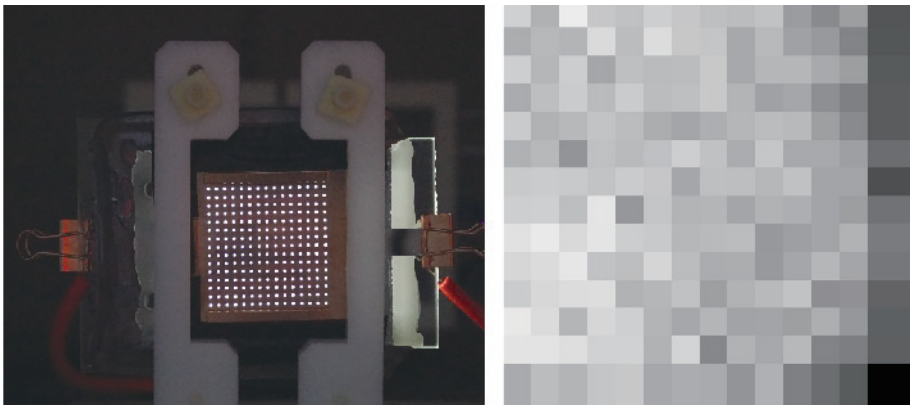


图 1 光源强度测量与处理结果

项目基金：国家重点研发计划（No. 2016YFA0202003）

作者简介：段嘉毓（1993-），女（汉），陕西，博士研究生。研究方向：医学图像处理。E-mail：duanjiayu@ stu. xjtu. edu. cn

通信作者：牟轩沁，教授。E-mail：xqmou@ mail. xjtu. edu. cn

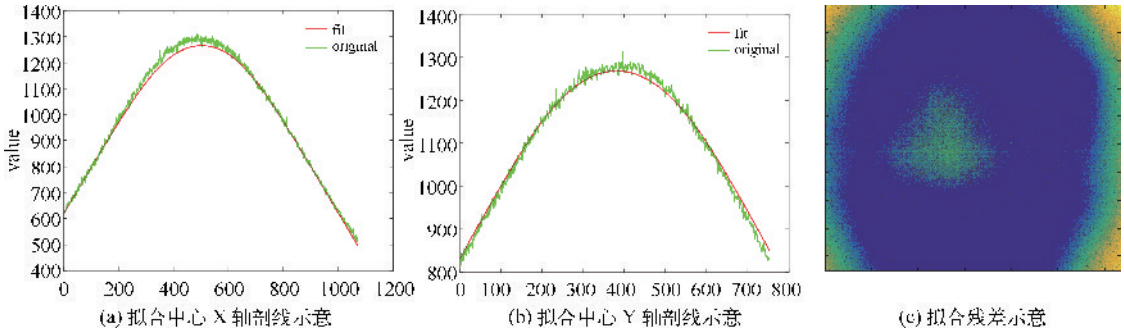


图 2　光束拟合实验结果示意

(a)拟合中心 X 轴剖线示意；(b)拟合中心 Y 轴剖线示意；(c)拟合残差示意

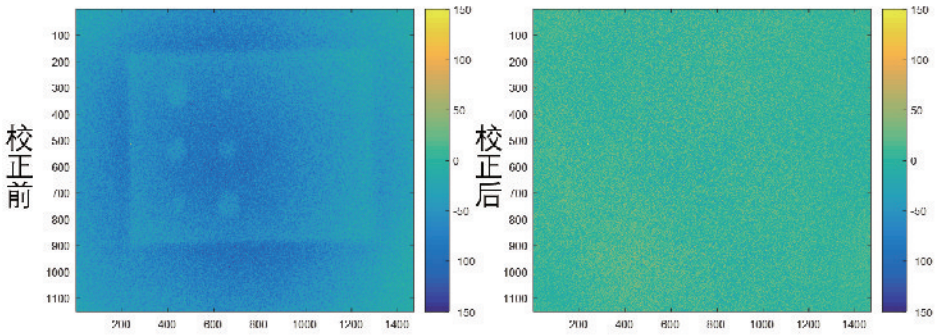


图 3　校正前校正后的不同测量数据差值

参考文献

[1] Sugie H, Tanemura M, Filip V, et al. Carbon nanotubes as electron source in an x-ray tube[J]. Applied Physics Letters, 2001. 78(17): 2578-2580.

[2] Liu Z, Yang G, Lee Y, et al. Carbon nanotube based microfocus field emission x-ray source for microcomputed tomography[J]. Applied Physics Letters, 2006, 89(10): 103111.

[3] Cao G, Lee Y, Peng R, et al. A dynamic micro-CT scanner based on a carbon nanotube field emission X-ray source [J]. Physics in Medicine & Biology, 54(8): 2323-2340.

[4] Cheng Y, Zhang J, Lee Y, et al. Dynamic radiography using a carbon-nanotube-based field-emission x-ray source [J]. Review of scientific instruments, 2004, 75(10): 3264-3267.

[5] Yang G, Rajaram R, Cao G, et al. Stationary digital breast tomosynthesis system with a multi-beam field emission x-ray source array[J]. Physics of Medical Imaging, 2008.

[6] Shan J, Tucker A, Gaalaas L, et al. Stationary intraoral digital tomosynthesis using a carbon nanotube X-ray source array[J]. Dentomaxillofacial Radiology, 2015, 44(9): 20150098.

[7] Qian X, Tucker A, Gidcumb E, et al. High resolution stationary digital breast tomosynthesis using distributed carbon nanotube x-ray source array[J]. Medical Physics. 39(4): 2090.

[8] Grant E J, Posada C, Castano C, et al. A Monte Carlo simulation study of a flat-panel X-ray source[J]. Applied Radiation & Isotopes, 2012, 70(8).

[9] Lin Z, Xie P, Zhan R, et al. Defect-enhanced field emission from WO3 nanowires for flat-panel X-ray sources[J]. ACS Applied Nano Materials, 2019, 2(8): 5206-5213.

[10] Libin Wang, Yangyang Zhao, Keshuang Zheng, Juncong She, Shaozhi Deng, Ningsheng Xu, Jun Chen. Fabrication of large-area ZnO nanowire feld emitter arrays by thermal oxidation for high-current application. Applied Surface Science, 2019, 484: 966-974.

基于冷阴极平板射线源的稀疏角度 CT 成像方法

李　阳，　段嘉毓，　牟轩沁

（西安交通大学 信息与通信工程学院，　西安　710049）

摘　要：

相比于传统的热阴极 X 射线源，冷阴极 X 射线源体积小、能耗低、响应快，具有更高的时间分辨率，为计算机断层重建的发展带来了新的契机。大体积的热阴极射线源在成像时，为了使射线覆盖成像物体的感兴趣区(ROI)，源与成像物体距离较远，造成成像系统体积庞大。冷阴极射线源可以将上千点源密集集成在同一平板上[1-3]，工作时，这种平板射线源的每个点源覆盖成像物体的一部分，所有点源联合可完全覆盖成像物体的感兴趣区域，使 X 射线源能够与成像物体紧密耦合，实现近距离成像，避免对非相关区域的辐射，降低剂量并缩小成像系统体积，使得成像系统小型化，便携化，降低 X 射线检查带来的危害，增加 CT 成像应用场景。目前，冷阴极平板射线源成像能量低，单一光源射线强度远低于探测器的探测下限，射线束均匀发散，不加约束的直接使用，不仅光子利用率低，且会对物体的非感兴趣区进行照射，增加辐射剂量。针对这些问题，我们设计了应用于冷阴极平板射线源的束光器。另外，基于平板射线源的面阵列特点，其单次投影可提供更多角度信息，我们设计了使用冷阴极平板射线源的稀疏角度成像系统及成像算法，可以实现对物体的近距离 CT 成像。通过仿真实验，证明了系统设计与算法的有效性，为后续研究基于新型平板射线源的成像系统打下基础。

关键词：冷阴极；平板射线源；稀疏角度；CT

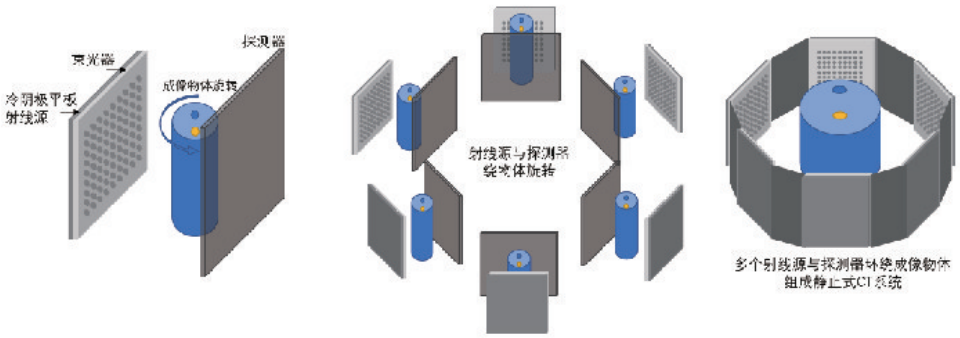


图 1　基于冷阴极平板射线源的稀疏角度 CT 成像系统示意图

项目基金：国家重点研发计划(No. 2016YFA0202003)

作者简介：李阳(1994-)，男(汉)，陕西，博士研究生。研究方向：医学图像处理。E-mail：1065277253@qq.com

通信作者：牟轩沁，教授。E-mail：xqmou@mail.xjtu.edu.cn

图 2　基于冷阴极平板射线源的稀疏角度 CT 仿真成像结果

参考文献

[1] Chen D, Song X, Zhang Z, et al. Transmission type flat-panel X-ray source using ZnO nanowire field emitters[J]. Applied Physics Letters, 2015, 107(24): 243105.

[2] Chen D, Xu Y, Zhang G, et al. A double-sided radiating flat-panel X-ray source using ZnO nanowire field emitters [J]. Vacuum, 2017, 144: 266.

[3] Wang L, Zhang Y, Zheng K, et al. Fabrication of large-area ZnO nanowire field emitter arrays by thermal oxidation for high-current application[J]. Applied Surface Sience, 2019, 484(AUG. 1): 966.

Mutli-energy CT reconstruction by intrinsic tensor spatial sparsity and low-rank regularization

ZHENG Zhizhong, CAI Ailong, LU Zhibo, YU Xiaohuan, WANG Yizhong, HONG Xinyi

(Information Engineering University, ScienceAvenue No. 62, Zhengzhou, China)

Abstract:

The photon counting detector-based computed tomography (CT) based on energy resolution is one of the main methods of spectral CT. The photon counting detector is limited in the number of photons in the narrow energy window. Such as counting deviation and spectral distortion which seriously affect the accurate reconstruction and the effect of substrate decomposition[1]. It is convenient for multi-energy CT (MECT) data to be convenient to form a tensor structure, which can be used to extract useful information and improve the image quality. In this work, a synergic MECT reconstruction method was proposed by investigating the nonlocal intrinsic tensor spatial sparsity and low rank regularization. The three-order tensor data was obtained by block matching extraction and staking along the multi-energy CT data. The Tucker decomposition[2] was applied to exploit the tensor spatial sparsity[3]. After performed discrete Fourier transform along with the mode-3 of the original tensor, tensor nuclear norm (TNN) [4] was applied to the nonlocal tensors instead of acting directly on the original tensors to take advantage of the low-rank property. The iterative alternating direction method of multipliers (ADMM) [5,6] was used to solve the reconstruction model based on an efficient framework. The proposed method was applied to the digital phantom, and the root mean square error (RMSE) was reduced by 78.63%, 27.75%, and 13.81% on the constructed images compared with the analytical result, Tucker decomposition, and TNN - based methods, respectively. Also, the decomposition results have an improvement, where the RMSE was reduced by 87.96%, 34.14%, 17.05%, respectively.

In this work, a reconstruction method for photon-counting detector-based MECT combining intrinsic tensor spatial sparsity and low-rank regularization was proposed. The effect and efficiency of the proposed method in noise suppression and preserving detail structures were substantiated by evaluations on the digital phantom.

Key words: multi energy CT reconstruction; tensor sparsity; low rank; tucker decomposition; tensor nuclear norm

Reference

[1] 冯初晴. 能谱 CT 的系统标定和多重信息解析优化方法研究[D]. 清华大学, 2018.

[2] TUCKER L R. Some mathematical notes on three-mode factor analysis[J]. Psychometrika, 1966, 31(3): 279-311.

作者介绍：郑治中(1981-)，男(汉)，安徽滁州人，副教授，研究方向：成像算法。E-mail：zhengzz81@163.com

[3] XIE Q, ZHAO Q, MENG D, et al. Kronecker-Basis-Representation based tensor sparsity and its Applications to tensor recovery[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2018, 40(8): 1888-1902.

[4] HAN Z F, LEUNG C S, HUANG L T, et al. Sparse and Truncated Nuclear Norm based Tensor Completion[J]. Neural Processing Letters, 45(3): 729-743.

[5] LU C, ZHU C, XU C, et al. Generalized singular value thresholding//Austin, Texas[C], United States: 2015: 1805-1811.

[6] BOYD S, PARIKH N, CHU E, et al. Distributed optimization and statistical learning via the alternating direction method of multipliers[J]. Foundations and Trends in Machine Learning, 2011, 3: 1-122.

基于 SPECT 数据的碘-125 粒子放射性信息可视化

孙　蕾[1]，　孙裕洋[1]，　谷　浩[1]，　胡效坤[2]，　陈　明[1]

(1. 山东科技大学 数学与系统科学院，　青岛　266590；
2. 青岛大学 附属医院 介入医学中心，　青岛　266555)

摘　要：

临床中常采用放射性碘-125 粒子对有关肿瘤进行治疗，SPECT 是对植入放射性粒子发射的 γ 射线进行成像，其图像中灰度信息反映了 γ 射线的计数值，变换后可对应于射线剂量值。植入粒子的剂量和在脑部肿瘤治疗中对 γ 射线剂量的分布是碘-125 粒子诊疗的关键参数。我们基于仿真设计，模拟多个碘粒子在体内的放射分布情况，给出放射性计数值的分布情况。实验以多颗不同活度的碘粒子，以它们的几何中心为中心，模拟半径 15mm 以内的数据分布情况，将多粒子周围的放射性计数信息可视化。针对临床诊疗对 SPECT 图像显示的需求，我们提出了一种含有可调双向量参数的 SPECT 图像伪彩色映射显示模型，该方法可清晰、准确地显示 SPECT 图像中感兴趣病灶部位的剂量区域和数据范围，与 CT 图像融合后可明显增强 SPECT/CT 的病灶区域和剂量分布层次感，为临床疗效的判定提供了可靠依据。

关键词：SPECT 图像，放射性粒子，剂量仿真，伪彩色映射

项目基金：山东省自然科学基金(ZR202102220343)；国家重点研发计划(2019YFE0120100)

作者简介：孙蕾(1997-)，女(汉)，山东省潍坊市，研究生。研究方向：CT 成像理论和方法研究。E-mail：sunlei19971102@163.com

通信作者：陈明，副教授。E-mail：mingchen_gang@163.com

一种基于焦点测量的超分辨重建方法

杨　平[1,2]，　赵云松[1,2]，　赵　星[1,2]

（1. 首都师范大学 数学科学学院，　北京　100048；
2. 首都师范大学 检测成像北京高等学校工程研究中心，　北京　100048）

摘　要：

目的　空间分辨率是衡量 CT 系统的重要指标，与射线源焦点大小、探测器单元尺寸、射线源到探测器距离和射线源到旋转中心距离密切相关。在工业检测领域，为了提高穿透力，需要高功率 X 射线源。但高功率的 X 射线源的焦点通常比较大，甚至达到毫米级别，导致了 CT 系统的空间分辨率降低。本文的目的是提出一种基于焦点测量的超分辨 CT 重建方法来提高图像的空间分辨率。**方法**　对焦点大小主导空间分辨率的成像系统，提出了一种基于焦点测量的超分辨 CT 重建方法。该方法首先设计实验装置和方案，恢复成像系统有效焦点的大小和强度分布；然后基于该焦点的信息构造非线性成像模型；最后提出一种求解该成像模型的高精度迭代求解方法。**结果**　在仿真数据和实采数据上对该方法进行了测试，实验结果表明，该方法是可行的。我们使用空间分辨率测试模型进行数值实验，发现重建图像的局部细节的高频部分，相较其他方法，本文的方法显示更清晰。除此之外，我们在有效焦点为 1 mm，探测器单元尺寸为 0.2 mm 的 CT 系统中对 CT 性能测试体模 Catphan600 进行扫描，并对得到的投影数据重建，发现该方法的空间分辨率有了明显提高，且降低了图像的噪声。**结论**　本文提出的一种基于焦点测量的超分辨重建方法，可以有效地提高图像的空间分辨力，降低图像的噪声，且该方法简单、易行。除此之外，对非线性模型直接求解保证了解的精确性。

关键词：有效焦点；空间分辨率；非线性

参考文献

[1] Hu, Hui. Multi-slice helical CT: Scan and reconstruction[J]. Medical Physics, 1999, 26(1): 5-18.

[2] Zhang H T, Ping YU, Zhao X, et al. A Virtual-Focal-Spot-Based Method for High-Resolution Image Reconstruction on X-ray ICT[J]. Nondestructive Testing, 2010.

[3] Yu H, Wang G. Finite detector based projection model for high spatial resolution[J]. Journal of X-ray science and technology, 2012, 20(2): 229.

[4] Nuyts J, Man B D, Fessler J A, et al. Modelling the physics in the iterative reconstruction for transmission computed tomography[J]. Physics in Medicine & Biology, 2013, 58(12): 63-96.

[5] Little K S, Riviere P. An algorithm for modeling non-linear system effects in iterative CT reconstruction[C]// Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2012 IEEE. IEEE, 2012.

[6] 韩放达，肖永顺，常铭，等. X 射线源焦点尺寸测量方法和标准综述[C]// 2014 年全国射线数字成像与 CT 新技术研讨会论文集. 2014.

[7] Aarle W V, Batenburg K J, Gompel G V, et al. Super-Resolution for Computed Tomography Based on Discrete Tomography[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(3): 1181-1193.

[8] Zhu Y, D Chen, Zhao Y, et al. An approach to increasing the resolution of industrial CT images based on an aperture collimator[J]. Optics Express, 2013, 21(23): 27946-27963.

Adaptive-weighted high order TV image reconstruction algorithm based on Chambolle-Pock algorithm frame

XI Yarui[1,2], YU Haijun[1,2], TAN Chuandong[2,3], Liu Fenglin[1,2,3]

(1. Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Engineering Research Center of Industrial Computed Tomography Nondestructive Testing, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. College of Mechanical and Vehicle Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract:

Analytic algorithms and iterative algorithms are two main computed tomography (CT) image reconstruction algorithms. Especially, total variation (TV) minimization algorithm is a classical iterative algorithm. Traditional TV minimization algorithm is an image reconstruction algorithm based on compressed sensing, which can accurately reconstruct images from sparse data or highly noisy data. However, the traditional TV minimization algorithm often incurs over-smoothness at structure´s edges if the reconstructed image has an obvious piecewise constant feature. Meanwhile, it may lead to block artifacts for grayscale fluctuation images. Herein, this paper proposed an adaptive - weighted high order total variation (AWHOTV) algorithm based on Chambolle-Pock (CP) algorithm frame. We constructed the second order TV-norm using the second order gradient, adopted anisotropic edge property between neighboring image pixels, adaptively adjusted local image-intensity gradient to keep edge information, and designed CP solving algorithm. To evaluate performance of AWHOTV, we utilized simulation and real data to reconstruct images and conduct qualitative and quantitative analysis under ideal data projection and noisy data projection. Experiment results show that relative to the traditional TV algorithm, AWHOTV can effectively suppress the block artifacts and has good edge protection performance. AWHOTV is a better reconstruction algorithm for images with obvious grayscale fluctuation features, which also can be extended to other imaging modalities.

Key words: **Key words**: adaptive-weighted high order total variation; Chambolle-Pock algorithm; compressed sensing; iterative algorithm; image reconstruction

项目基金：工业 CT 无损检测教育部工程研究中心开放课题资助

作者简介：席雅睿(1993-)，女，山西省临汾市，博士研究生。研究方向：图像重建算法。E-mail：xiy@ cqu. edu. cn

通信作者：刘丰林，研究员。E-mail：liufl@ cqu. edu. cn

NETN: Noise encode transfer network for clinical low-dose CT image generation

LI Ming[1], WANG Jiping[2], DU Qiang[1], WU Zhongyi[1], ZHENG Jian[1]

(1. Department of Medical Imaging, Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215163, China; 2. Institute of Electronic Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract:

Current deep learning-based methods applied to x-ray low-dose imaging are mostly supervised methods that rely on Mayo Clinic data for training. However, the Mayo Clinic data was synthesized by adding Poisson noise to the simulated projection map, which may not accurately model the underlying physical mechanism of low-dose computed tomography (LDCT) imaging, so that supervised methods are usually not well generalized to clinical applications. To solve the above problem, we propose the first deep learning method for generating clinical low-dose CT image dataset for supervised training. Specifically, we introduce a method to encode noise synthesis operators for generating an attenuation adaptive noise kernel space. Meanwhile, to generate clinical low-dose CT dataset with realistic noise distribution, we propose a transfer learning approach via transferring noise synthesis operators from simulated noise dataset to real noise domain. In addition, we innovatively introduce a noise control factor into the network testing phase, which can regulate the noise level of the generated low-dose CT image. Extensive experiments show that, compared with Mayo Clinic data, three supervised models trained based on low-dose data generated by our proposed method can be better generalized to clinical low-dose denoising tasks.

Key words: LDCT, deep learning, adaptive noise kernel space, transfer learning

Reference

[1] H. Chen et al. Low-dose CT with a residual encoder-decoder convolutional neural network. IEEE Trans. Med. Imag., 2017, 36(12): 2524-2535.

[2] Li, Mei, et al. Incorporation of Residual Attention Modules into Two Neural Networks for Low-Dose CT Denoising. Med. Phys., 2021.

[3] Q. Yang et al. Low-dose CT image denoising using a generative adversarial network with wasserstein distance and perceptual loss. IEEE Trans. Med. Imag., 2018, 37(6): 1348-1357.

[4] H. Shan et al. Competitive performance of a modularized deep neural network compared to commercial algorithms for low-dose CT image reconstruction. Nature Mach. Intell., 2019, 1(6): 269-276.

[5] AAPM. (2017). Low Dose CT Grand Challenge. [Online]. Available: http://www.aapm.org/GrandChallenge/Low-DoseCT/#.

项目基金：国家自然科学基金(62001471, 61701492)

作者简介：李铭(1984-)，男(汉)，河北石家庄，博士。研究方向：医学成像技术。E-mail: lim@sibet.ac.cn

通信作者：郑健，研究员，博士生导师。E-mail: zhengj@sibet.ac.cn

IDOL-Net: Aninter active dual-domain parallel network for CT metal artifact reduction

WANG Tao[1], LU Zexin[1], XIA Wenjun[1], SUN Huaiqiang[3], LIU Yan[2], CHEN Hu[1], ZHOU Jiliu[1], ZHANG Yi[1]

(1. College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. School of Electrical Engineering Information, Sichuan, Chengdu 610065, China;
3. Department of Radiology, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, China)

Abstract:

Due to the presence of metallic implants, the imaging quality of computed tomography (CT) would be heavily degraded. With the rapid development of deep learning, several neural network models have been proposed for metal artifact reduction (MAR). Since the dual-domain MAR methods can leverage the hybrid information from both sinogram and image domains, they have significantly improved the performance compared to single-domain methods. However, current dual-domain methods usually operate on both domains in a specific order, which implicitly imposes a certain priority prior into MAR and may ignore the latent information interaction between both domains. To address this problem, in this paper, we propose a novel interactive dual-domain parallel network for CT MAR, dubbed as IDOL-Net. Different from existing dual-domain methods, the proposed IDOL-Net is composed of two modules. The disentanglement module is utilized to generate high-quality prior sinogram and image as the complementary inputs. The follow-up refinement module consists of two parallel and interactive branches that simultaneously operate on image and sinogram, fully exploiting the latent information interaction between both domains. The simulated and clinical results demonstrate that the proposed IDOL-Net outperforms several state-of-the-art models in both qualitative and quantitative aspects.

Key words: computed tomography, metal artifact reduction, deep learning, dual-domain network, parallel network.

BP-Net: Back-Projection directly from TOF PET listmode following Network filtration

Author (Lv Li)[1], Corresponding Author (Huang Qiu)[1,2]

(1. School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;
2. Department of Nuclear Medicine, Rui Jin Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200025, China)

Abstract:

Reconstruction directly from listmode data has been shown to be able to achieve better image quality than that from sinogram[1]. However, the analytical reconstruction method directly from listmode is missing, due to the challenge of deriving an explicit filter. In this work, we proposed the BP-Net for TOF PET reconstruction, which combined the BPF algorithm with a modified U-net architecture to perform the spatial filtration. Specifically, it learns the deconvolution in the spatial domain to avoid the wrong DC value[2]. The proposed BP-Net method was validated via Monte Carlo simulations of TOF PET listmode data with three different time resolutions for three dosages of activity phantoms. The network was only trained on full-dose XCAT dataset and then evaluated on simulated XCAT with different time resolutions and dose levels. As shown in Figure 1 and Figure 2, reconstructed images show that when compared with the conventional BPF algorithm and the MLEM algorithm proposed for TOF PET, the BP-Net has the ability to obtain better image quality in terms of peak signal-to-noise ratio (PSNR), relative mean square

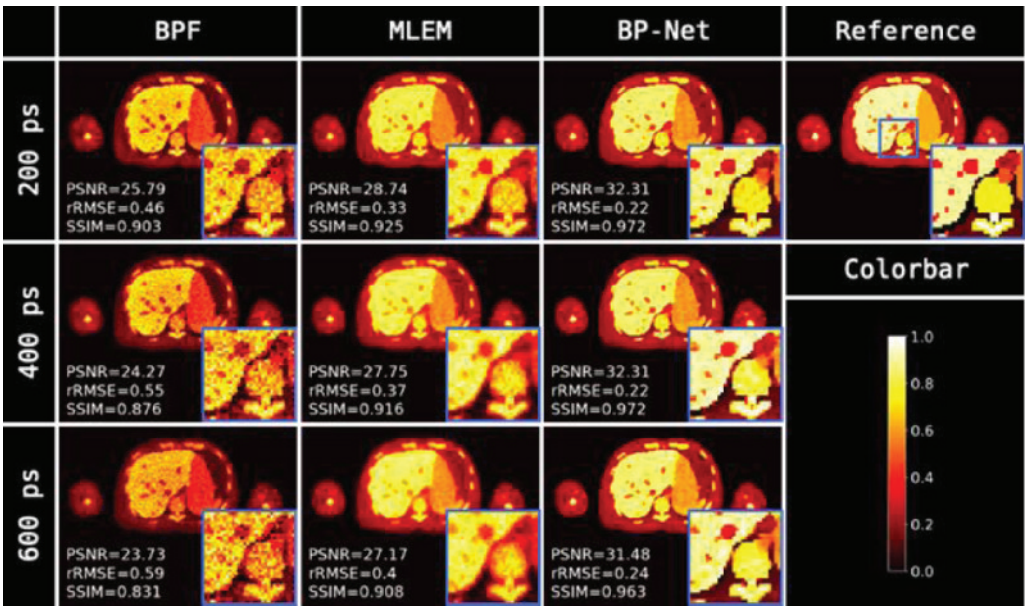


Fig. 1 Reconstructed images of the XCAT phantom using two traditional methods (BPF and MLEM) and the proposed BP-Net method at different time resolutions (200 ps, 400 ps, 600 ps). BP-Net shows the best image quality compared with the other two methods, especially when the time resolution is high

error (rRMSE) and structure similarity index (SSIM); besides, from Table 1, the reconstruction speed of the BP-Net is 1.75 times faster than BPF and 29.05 times faster than MLEM using 15 iterations. The results also indicate that the performance of the BP-Net degrades with worse time resolutions and lower tracer doses, but degrades less than BPF or MLEM reconstructions.

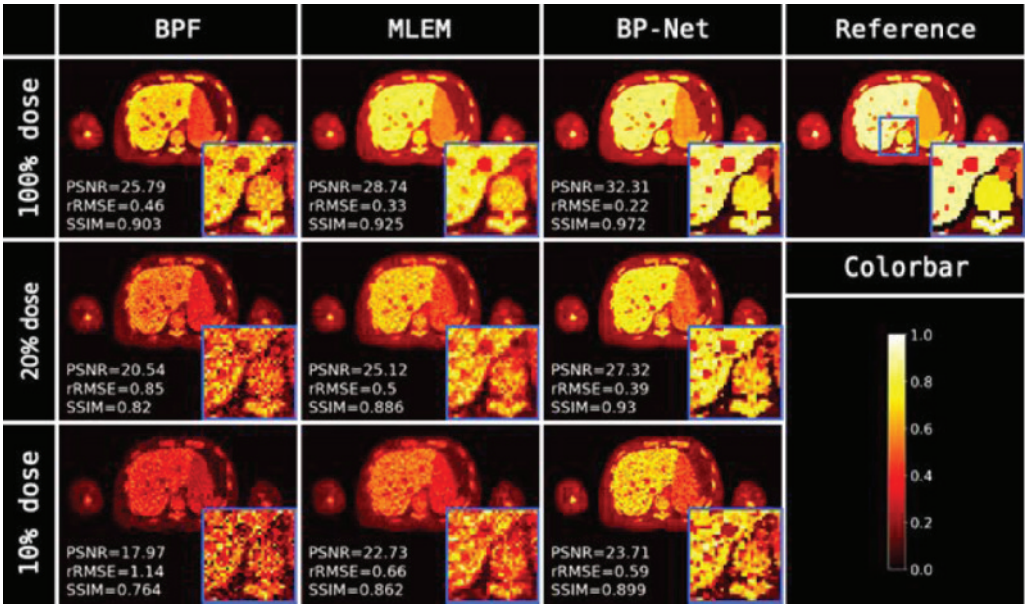


Fig. 2　Reconstructed images of the XCAT phantom with different doses (100%, 20%, 10% of the dose used in Figure. 1) for time resolution being 200 ps. Compared to the other two methods, BP-Net maintains more details and better reserves the contrast between organs as the dose goes down, up to five-fold

Table 1　The statistics ($n=247$) of time consumption to reconstruct one slice in different methods

	Time/s
BPF	3.73
MLEM	61.88
BP-Net	2.13

Key words: TOF PET; analytical reconstruction; listmode; BPF; deep learning

Reference

[1] D. Bharkhada, V. Panin, M. Conti, M. E. Daube-Witherspoon, S. Matej, and J. S. Karp. Listmode Reconstruction for Biograph Vision PET/CT Scanner. 2019 IEEE Nucl. Sci. Symp. Med. Imaging Conf. NSS/MIC 2019, 2019: 1-6.

[2] G. L. Zeng and G. T. Gullberg. Can the backprojection filtering algorithm be as accurate as the filtered backprojection algorithm?. IEEE Nucl. Sci. Symp. Med. Imaging Conf., 1995, (3): 1232-1236.

基于深度学习的铁路铸件射线 DR 图像缺陷检测算法研究

赵先圣[1]， 冯 鹏[1,2]， 沈 宽[2]， 杨敬轩[1]， 漆 伟[1]， 罗 燕[1]，
何 鹏[1,2]， 刘 鑫[1]

（1. 重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室， 重庆 400044；
2. 重庆大学 工业 CT 无损检测教育部工程研究中心， 重庆 400044）

摘 要：

背景：

铁道车辆铸钢摇枕、侧架是非常重要的承载元件，快速、准确地检测其质量对于保障列车行车安全有着重大意义。摇枕和侧架内部缺陷通常包括疏松、气泡等，现有检测方法是将铸件通过 DR 扫描后，由经验丰富的质控人员对 DR 图片进行目视识别，时间和精度均难以控制；而传统目标检测算法如 HOG，LBP 等无法对上述缺陷类型进行精确分级与分类。探索高效率、高准确度的铁路铸件缺陷检测技术是铁路重载技术过程中亟待解决的问题。

方法：

本文提出基于深度学习的铁路铸件缺陷识别技术，以期实现较高精度的缺陷检测。实验数据来自车间实际生产的摇枕与侧架铁路铸件的射线 DR 图像。将原始 DR 图像经预处理增强，由工厂质控人员对缺陷类型与位置进行标注，形成数据集。进而，使用 YOLO v5 的主干神经网络 CSPDarknet-53 作为基础构建模型，对数据集进行学习和训练，实现对两种铁路铸件射线 DR 图像中的 2 类缺陷 5 个等级进行自动检测与分级分类。

实验：

首先对原始图像进行预处理，采用引导滤波进行图像平滑和差分运算，将两者相加以增强图像细节信息；将训练集输入到 Yolov5 网络的输入端，进行 Mosaic 数据增强、自适应锚框计算；经过输入端提取特征之后进入网络的 Backbone 模块，利用 Focus 结构和 CSP 结构进一步提取特征细节；再传入 Neck 模块，采用 FPN 和 PAN 的结构，加强网络特征融合的能力；最后在输出端实现目标区域的检测，并验证算法在测试集上的效果。YOLO v5 的 Bounding box 损失函数采用了 GIOU_Loss，定义如式(1)所示。最后与 YOLO V3 和 Mask R-CNN 网络在同等条件下进行了对比。

$$\mathrm{CIOU_Loss} = 1 - \mathrm{CIOU} = 1 - \left(\mathrm{IOU} - \frac{\mathrm{Distance_2}^2}{\mathrm{Distance_C}^2} - \frac{\nu^2}{(1-\mathrm{IOU})+\nu}\right) \tag{1}$$

$$\nu = \frac{4}{\pi^2}\left(\arctan\frac{w^{gt}}{h^{gt}} - \arctan\frac{w^{p}}{h^{p}}\right)^2 \tag{2}$$

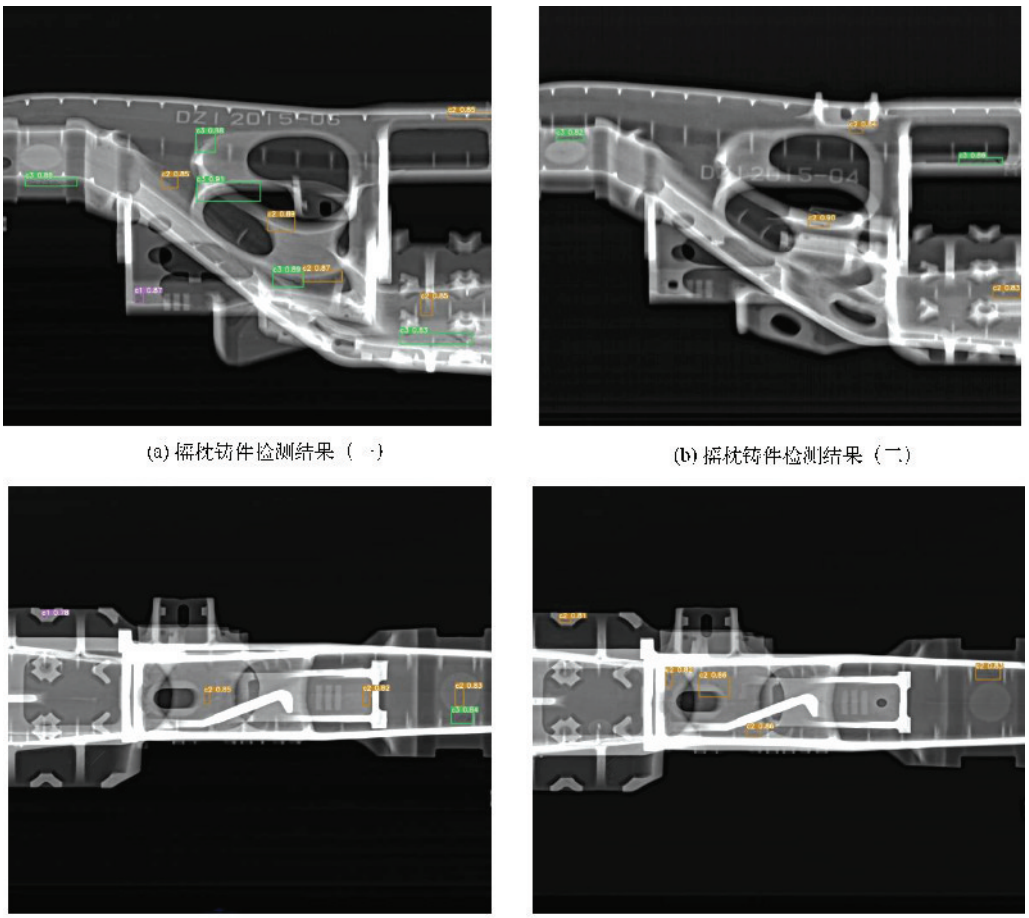
结果：

实验结果如图 1(a)-(d)所示，YOLO v5 的平均 map 值能达到 91.3%，平均置信度能达到 84.3%，检测结果较好，缺陷检测结果汇总如表 1 所示。与 YOLO v3 和 Mask R-CNN 的检测效果进行对比，采用平均 map 值和平均置信度作为评价指标，结果表 2 可以得出：YOLO v3 的平均

本文受科技部重点研发计划(2019YFC0605203)资助。

通信作者：冯鹏，coe-fp@cqu.edu.cn

map 值为 68.5%，平均置信度为 61.2%；Mask R-CNN 的平均 map 值为 76.2%，平均置信度为 71.4%；YOLO v5 的平均 map 值为 91.3%，平均置信度为 84.3%。综合考虑可以得出 YOLO v5 的检测速度更快，检测精度更高。



(a) 摇枕铸件检测结果（一）　(b) 摇枕铸件检测结果（二）

(c) 侧件铸件检测结果（一）　(d) 侧件铸件检测结果（二）

图 1　实验结果

表 1　缺陷检测结果汇总

缺陷	正确检测	误检	漏检
气泡(a1)	76%	2%	22%
气泡(a2)	92%	3%	5%
疏松(c1)	83%	3%	14%
疏松(c2)	96%	1%	3%
疏松(c3)	99%	1%	0%

表 2　不同缺陷检测模型相关参数对比

检测模型	map@0.5	平均置信度
Mask R-CNN	76.2%	71.4%
Yolo v3	68.5%	61.2%
Yolo v5	91.3%	84.3%

慢性踝关节不稳患者在不稳定平面单脚站立时皮质活动特征研究

李宇琳， 徐 玥， 倪国新

（北京体育大学 运动医学与康复学院， 北京 100084）

摘 要：

目的

研究慢性踝关节不稳患者、扭伤后功能趋于正常的 Coper 人群和未扭伤的健康人群在不同稳定平面进行姿势控制任务时大脑皮质激活程度，探究踝关节在不同平面进行姿势控制的能力与大脑皮层活动的关系，并讨论踝关节不稳在中枢神经系统的发生机制，为高危损伤人群的预防和更精准全面的康复策略提供依据。

方法 纳入符合标准的 10 例慢性踝关节不稳组（CAI 组）、3 例 Coper 组和 4 例健康对照组，分别进行稳定平面和不稳定平面（海绵垫，5 cm）的闭眼单腿站立测试，测试期间佩戴功能性近红外光谱成像仪（NirSmart，汇创医疗技术有限公司，中国）采集前额叶、双侧辅助运动区皮质的氧合血红蛋白的变化情况，并对其均值和标准差采用单因素方差分析及 Kruskal-Wallis H 检验进行统计分析。

结果 CAI 组、Coper 组和健康对照组在不同平面站立时，前额叶、双侧辅助运动区相较于基线的氧合血红蛋白激活程度均值差异无统计学意义（$P>0.05$）。对比各组脑区在不同情况下氧合血红蛋白变化的标准差，正常组（0.0550±0.0068）mmol/L×mm 比 CAI 组（0.0902±0.0275）mmol/L×mm 在不稳定平面上闭眼单脚站立时的前额叶皮质激活程度的变异性更小且具有显著差异（$P<0.01$，95% $CI=-0.0603$，-0.0100）；在不稳定平面站立时，CAI 组相较于 Coper 组的右侧辅助运动区变异性更大（$P<0.05$）；Coper 组相较于正常组左侧辅助运动区具有显著变异性（$P<0.01$）；Coper 组在不稳定平面（0.0518±0.0356）mmol/L×mm 闭眼单腿站立时的前额叶皮质激活程度与稳定平面（0.0837±0.3760）mmol/L×mm 相比具有显著变异性（$P<0.01$，95% $CI=0.02009$，0.04367）。

结论 慢性踝关节不稳患者在不稳定平面进行姿势控制时前额叶具有更大的皮质激活变异性。

关键词：慢性踝关节不稳；姿势控制；脑皮质活动；近红外

项目基金：中央高校基本科研业务费专项基金（20211003，20212071，20212072）；第一作者：李宇琳，北京体育大学运动康复学硕士研究生在读，E-mail：rehab_ lyl@163.com；通信作者：倪国新，E-mail：fjrehab@163.com

Dual-energy CT Imaging via an Augmented Attention Deep Learning Approach

ZHANG Wenwen,　WAN Luping,　SUN Baohua,　ZHAO Wei

(Department of Medical Physics, School of Physics at Beihang University, Changping District, Beijing, China, 102200)

Abstract:

Compared to conventional single-energy CT (SECT), dual-energy CT (DECT) allows differentiation and quantification of different tissues and can be used for a wide spectrum of emerging clinical applications. While providing innumerable benefits, DECT has not been widely used yet, especially in less-developed region, mainly because of its cost. Recently, some deep learning-based approaches have been devoted to perform DECT imaging from easily available SECT. Here we propose an augmented attention U-Net which includes weight map generator and DECT imaging module to generate DECT images using standard SECT data. The weight map generator provides pixel-level weights according to the features extracted from SECT. DECT imaging module encompasses a classical U-Net and several augmented attention gates. With weight maps as input, the augmented attention gates can assist U-Net to focus on region of interest (ROI) to reduce the inference of CT noise in non-denoised data. The performance of our approach was studied using images from patients who received contrast-enhanced abdomen DECT scan with popular DECT applications: virtual non-contrast (VNC) imaging and contrast quantification. Clinically relevant metrics were used for quantitative assessment. The absolute HU difference between the original high-energy CT (HECT) images generated from DECT scan and the predicted ones by our method are 2.6 HU, 2.4 HU, 2.0 HU, 0.4HU and 2.9 HU for the ROIs on heart, aorta, spine, liver and kidney, respectively. In addition, comparing our method with the state-of-the-art deep learning-based DECT imaging method, we find that the distribution of ROI´s CT value predicted by our method are closer to ground truth, showing the merit of the proposed model. The premise of the approach is that DECT can be attained without any additional measurement than a SECT acquisition. The technique provides a simple and cost-effective solution for modern DECT clinical applications.

Key words: Dual-energy CT, Single-energy CT, Deep learning, Attention

---

项目基金：国家自然科学基金(No. 12175012)

作者简介：张文文(1997-)，女(汉)，山东淄博，博士研究生。研究方向：医学物理。E-mail：wwzhang@buaa.edu.cn

通信作者：赵维，教授。E-mail：zhaow20@buaa.edu.cn

孙保华，教授。E-mail：bhsun@buaa.edu.cn

References

[1] Zhao, Wei, Tianling Lv, Peng Gao, Liyue Shen, Xianjin Dai, Kai Cheng, Mengyu Jia, Yang Chen, and Lei Xing. A deep learning approach for dual-energy CT imaging using a single-energy CT data[J]. In 15th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, vol. 11072, p. 1107222. International Society for Optics and Photonics, 2019.

[2] Zhao W, Lv T, Lee R, et al. Obtaining dual-energy computed tomography (CT) information from a single-energy CT image for quantitative imaging analysis of living subjects by using deep learning[C]//PACIFIC SYMPOSIUM ON BIOCOMPUTING 2020. 2019: 139-148.

[3] Lyu T, Zhao W, Zhu Y, et al. Estimating dual-energy CT imaging from single-energy CT data with material decomposition convolutional neural network[J]. Medical image analysis, 2021, 70: 102001.

[4] Li S, Wang Y, Liao Y, et al. Pseudo dual energy CT imaging using deep learning based framework: initialstudy[J]. arXiv preprint arXiv: 1711. 07118, 2017.

[5] Oktay O, Schlemper J, Folgoc L L, et al. Attention u-net: Learning where to look for the pancreas[J]. arXiv preprint arXiv: 1804. 03999, 2018.

[6] Liao, Yuting, Yongbo Wang, Sui Li, Ji He, Dong Zeng, Zhaoying Bian, and Jianhua Ma. Pseudo dual energy CT imaging using deep learning-based framework: basic material estimation[J]. In Medical Imaging 2018: Physics of Medical Imaging, vol. 10573, p. 105734N. International Society for Optics and Photonics, 2018.

[7] Cong, Wenxiang, Yan Xi, Paul Fitzgerald, Bruno De Man, and Ge Wang. Virtual monoenergetic CT imaging via deep learning[J]. Patterns 1, no. 8 (2020): 100128.

第六分会场

青年学术论坛

Dual-scale residual network for spectral CT image super-resolution

ZHONG Xinyi,　CAI Ailong,　WANG Yizhong,　LI Lei

(Institute of Information System and Engineering, PLA Information Engineering University, Science Avenue No. 62, Zhengzhou, 450001)

Abstract:

The photon counting detector obtains CT images from multiple energy bins, and obtains X-ray intensity data of different energy bins through one X-ray exposure[1]. However, due to the narrow width of the energy box, quantum noise, and the response of the detector unit[6], the spatial resolution of the reconstructed image will decrease and the image will become blurred[2]. Super-resolution[3] reconstruction technology can provide a solution to this problem, and it is also conducive to the later use and processing of multi-energy CT images. In recent years, more and more deep learning networks[5] have been applied to the field of super-resolution reconstruction. Since the zero and non-zero position sets of high- and low-energy CT images gradient images under different energy levels are almost the same, they have strong structural similarities with each other. Through observation, it is found that high-energy CT images in CT images of different energy levels on the same slice are often clearer than low-energy CT images. We proposes a dual-scale residual network[4]. There are two branches in our model: dual-scale feature extraction branch and texture attention branch. This network proposes a new and improved dual-scale residual block to capture features at different scales. A new and improved dual-scale residual network is proposed, which combines the dual-scale feature extraction branch and the texture attention branch to reconstruct low-energy CT images in a more targeted manner. The gradient image of high-energy CT images is used as a priori information to assist the network for training low-energy CT images. The resulting network can realize the mapping of low-energy CT images from low-resolution to high-resolution. The experimental results show that low-energy CT image has significant improvements in peak signal-to-noise ratio (PSNR) and root mean square error (RMSE), thereby improving the quality of subsequent material decomposition results.

Key words: super-resolution, multi-energy image reconstruction, residual networks, deep learning

Reference

[1] Mccollough C H, Leng S, Yu L, et al. Dual- and Multi-Energy CT: Principles, Technical Approaches, and Clinical Applications[J]. Radiology, 2015, 276(3): 637-653.

[2] Schirra, Carsten O., Brendel, Bernhard, Anastasio, Mark A., & Roessl, Ewald. Spectral ct: a technology primer for contrast agent development. Contrast Media & Molecular Imaging, 9(1), 62-70.

项目基金：国家自然科学基金(62101596)，中国博士后科学基金(2019M663996)

作者简介：仲心怡(1998-)，女(汉)，江苏泰州人，博士。研究方向：智能成像技术研究。E-mail：woaiz312@163.com

通信作者：李磊，副教授。E-mail：leehotline@aliyun.com

[3] Zeng K, Ding S F. Research progress of image super resolution reconstruction [J]. Computer Engineering and Applications, 053(016): 29-35.

[4] Kim J, Lee J K, Lee K M. Deeply-recursive convolutional network for image super-resolution[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016: 1637-1645.

[5] Dong C, Loy C C, He K, et al. Image super-resolution using deep convolutional networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 38(2): 295-307.

[6] Greenspan H. Super-resolution in medical imaging[J]. The Computer Journal, 2009, 52(1): 43-63.

基于反投影域变换和神经网络的低剂量断层重建算法

张其阳[1]， 杨永峰[2]， 刘 新[2]， 郑海荣[2]， 梁 栋[2]， 胡战利[2]

(1. 国家高性能医疗器械创新中心，深圳市龙华区汇德大厦 38-41 层，518126；
2. 中国科学院深圳先进技术研究院，深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号，518055)

摘 要：

近年来，深度学习技术在低剂量断层成像方面取得了很多研究成果，各种成像网络先后被提了出来，其中端到端的直接成像网络因其网络结构简单，重建速度快，成像质量高等优点，得到了广泛的研究，具有较高的临床应用价值。然而采用端到端网络实现从投影域到图像域的直接断层重建，面临计算资源消耗过大的问题。

我们通过对网络权重的可视化分析，发现端到端直接重建网络将耗费绝大部分计算资源来学习域变换，而断层重建中的域变换可以采用成熟的反投影算法来实现，因此我们提出将支持梯度回传的反投影域变换解析算法嵌入到神经网络(bpNet & hdNet)，这样既可以有效降低计算资源的占用也可以让神经网络的非线性拟合能力在伪影校正、散射校正、噪声抑制等问题上得到充分的发挥。我们分别将提出的方法应用到了低剂量 PET 和有限角 CT 重建中，实验结果表明，提出方法的各项性能指标均优于传统重建方法，尤其得益于解析算法的嵌入，网络的重建速度要优于基于模型迭代展开式的重建网络，且易于部署。图 1(a)为网络训练后学到的权重与解析算法计算的权重对比图。(b-c)分别为有限角 CT 重建结果和低剂量 PET 重建结果。

关键词：低剂量；断层重建；PET/CT；人工智能

项目基金：国家自然科学基金青年项目(62001465)

作者简介：张其阳(1985-)，男，河北，博士。研究方向：断层成像。E-mail：qy. zhang@ nmed. org. cn

通信作者：胡战利，研究员。E-mail：zl. hu@ siat. ac. cn

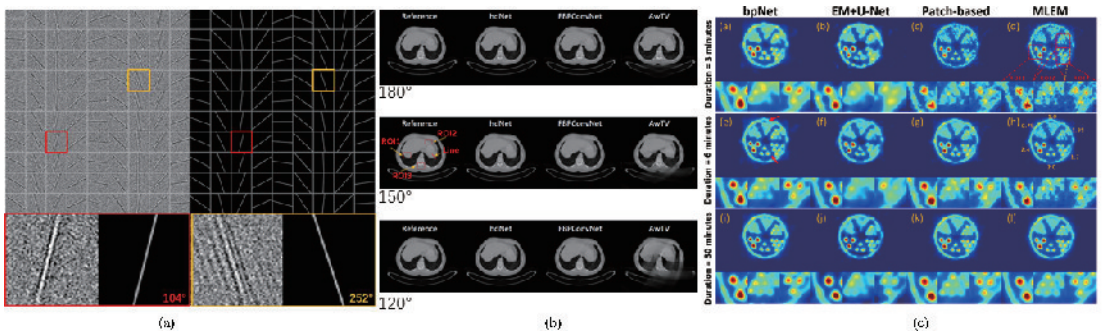


图 1　(a)AI 权重可视化；(b)CT 重建结果；(c)PET 重建结果

参考文献

[1] Zhang, Q., Gao, J., Ge, Y., Zhang, N., Yang, Y., Liu, X., Zheng, H., Liang, D., & Hu, Z. (2020). PET Image Reconstruction Using a Cascading Back-Projection Neural Network. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 14, 1100-1111.

[2] Zhang, Q., & Liang, D. (2020). Visualization of fully connected layer weights in deep learning CT reconstruction. arXiv: Image and Video Processing.

[3] Zhang, Q., Hu, Z., Jiang, C., Zheng, H., Ge, Y., & Liang, D. (2020). Artifact removal using a hybrid-domain convolutional neural network for limited-angle computed tomography imaging. Physics in medicine and biology.

基于局部自适应阈值的红外遥感图像弱小目标检测

刘　畅[1]，　谢凤英[1]，　董小萌[2]，　邱林伟[1]，　廖　崴[1]

（1. 北京航空航天大学，北京市昌平区高教园南三街 9 号，102206；
2. 中国空间技术研究院钱学森空间技术实验室，北京市海淀区友谊路 104 号，100094）

摘　要：

红外弱小目标检测是红外图像处理中的重要研究内容，在低信杂比的复杂背景中有效检测目标非常关键。针对这类红外辐射特性弱，尺寸小，无纹理和形状特征的点状目标，本文将目标与背景间的异质性和目标自身内部的紧凑性相结合，提出了一种基于局部自适应阈值的弱小目标检测算法，该算法主要包括四个步骤。首先，采用异质性滤波器对原图像进行滤波，以增强红外弱小目标的局部对比度信息，得到局部对比度增强图。其次，采用紧凑性滤波器对局部对比度增强图进行滤波，生成红外弱小目标候选图。然后，在局部对比度增强图中自适应地计算局部窗口中每个像素的对应阈值以提取目标，利用该自适应阈值操作校正上一步中的红外弱小目标候选区

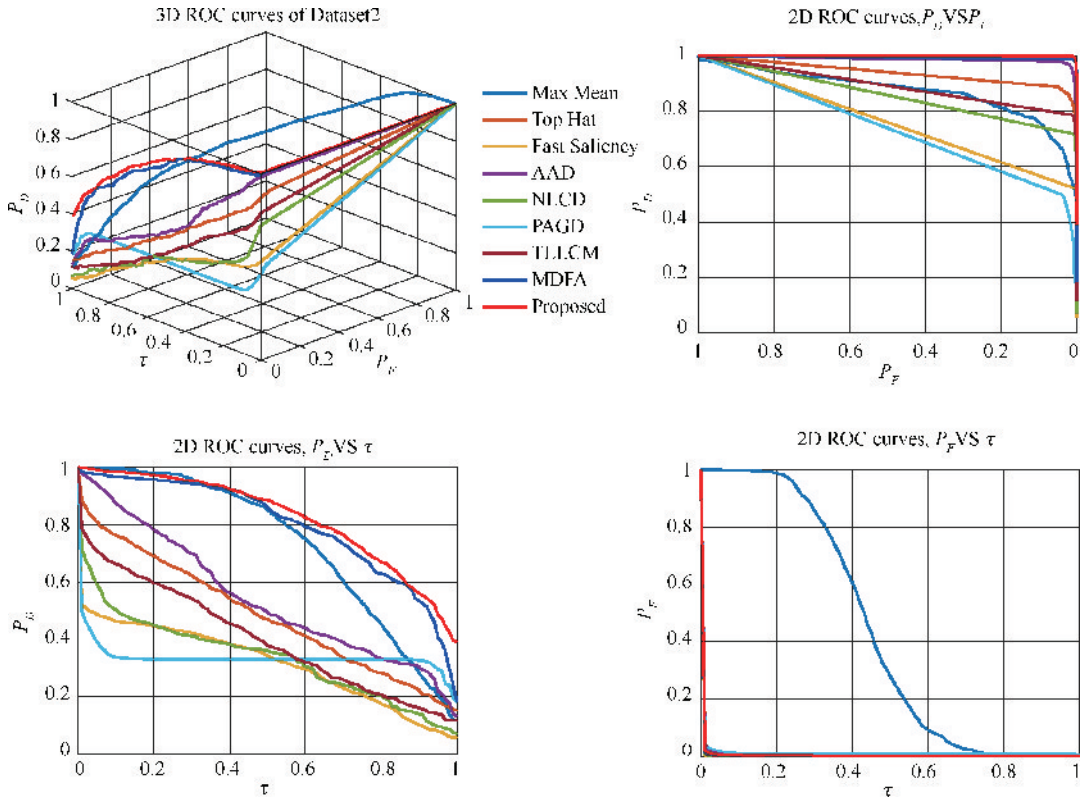


图 1　不同算法的 3DROC 和 3DROC 曲线结果。（P_D，P_F 和 τ 分别为检测率，虚警率和自变量）

项目基金：北京市自然科学基金(4192032)，国家自然科学基金(61871011)

作者简介：刘畅(1994-)，男(汉)，山东济宁，博士在读。研究方向：红外弱小目标检测，遥感图像质量评价。E-mail：by1915010@ buaa. edu. cn

通信作者：谢凤英，教授。E-mail：xfy_73@ buaa. edu. cn

域，可以减少虚警和漏警。最后，将局部对比度增强图与校正后的红外弱小目标候选区域求积，得到接近实际尺寸的红外弱小目标检测结果。算法中设计的异质性滤波器和紧凑性滤波器能够有效抑制背景杂波，增强目标，生成目标候选区域。本文提出的自适应阈值法是一种局部阈值法，即在一个小的局部窗口内进行计算，各个像素点通过公式推导计算得到相应的阈值结果，该自适应阈值操作能够有效地降低算法的虚警率和漏警率。对人工合成的仿真图像和真实场景图像进行了定性和定量实验，3DROC 实验结果表明，本方法具有良好的目标增强和背景抑制能力，检测精度高，优于其他的先进算法。

关键词：红外弱小目标检测；自适应阈值；遥感图像；目标增强；背景抑制

参考文献

[1] Qin Y, Bruzzone L, Gao C, et al. Infrared small target detection based on facet kernel and random walker[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2019, 57(9): 7104-7118.

[2] Nasiri M and Chehresa S. Infrared small target enhancement based on variance difference[J]. Infrared Physics & Technology. 2017, 82: 107-119.

[3] Deshpande S D, Er M H, Venkateswarlu R, et al. Max-mean and max-median filters for detection of small targets [C]. The International Society for Optical Engineering, 1999, 3809: 74-83.

[4] Bai X and Zhou F. Analysis of new top-hat transformation and the application for infrared dim small target detection [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(6): 2145-2156.

[5] Qi S, Xu G, Mou Z, et al. A fast-saliency method for real-time infrared small target detection[J]. Infrared Physics & Technology. 2016, 77: 440-450.

[6] Aghaziyarati S, Moradi S, Talebi H. Small infrared target detection using absolute average difference weighted by cumulative directional derivatives[J]. Infrared Physics & Technology. 2019, 101: 78-87.

[7] Jiang Y, Dong L, Chen Y, et al. An infrared small target detection algorithm based on peak aggregation and gaussian discrimination[J]. IEEE Access, 2020, 8: 106214-106225.

[8] Han J, Moradi S, Faramarzi I, Liu C, et al. A local contrast method for infrared small-target detection utilizing a tri-layer window[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letter. 2020, 17(10): 1822-1826.

[9] Wang H, Zhou L Wang L. Miss detection vs. false alarm: Adversarial learning for small object segmentation in infrared images[C]. International Conference on Computer Vision. 2019: 8508-8517.

[10] Chang C I. An effective evaluation tool for hyperspectral target detection: 3D receiver operating characteristic analysis [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2021, 59(6): 5131-5153.

Deep leaning for low-dose CT image combined with anatomical prior information

HUANG Zhenxing[1,2], CHEN Zixiang[1,2], ZHANG Qiyang[1,2], LIU Xinfeng[3], WANG Rongpin[3], LIIU Xin[1,2], ZHENG Hairong[1,2], LIANG Dong[1,2], HU Zhanli[1,2]

(1. Lauterbur Research Center for Biomedical Imaging, Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China;
2. Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Health Informatics, Shenzhen 518055, China;
3. Department of Radiology, Guizhou Provincial People's Hospital, Guiyang 550002, China)

Abstract:

Background Dose reduction in computed tomography (CT) has gained considerable attention in clinical applications because it decreases radiation risks. To suppress noise and artifacts caused by reduced radiation, several deep learning (DL)-based image restoration methods have been proposed to improve diagnostic performance. Many of these popular DL-based methods adopt an encoder-decoder framework. However, this popular framework may suffer from information loss for continual down-sampling operations. On the other hand, most of them disregard the anatomical differences among human body sites. **Methods** In this study, we primarily introduce an optimized model based on the popular encoder-decoder network. Then, a novel denoising approach by introducing information of the anatomical prior are proposed in Figure 1(a) and (b). For the first optimized model, several optimization strategies are engaged, for example, optimizing the network architecture by increasing attention module and introducing multiple loss functions so as to improve visual effect. On the other hand, a unified network framework for the denoising model is employed to process anatomical information. The anatomical prior is represented as a pattern of weights of the features extracted from the corresponding image. **Results** Experimental results demonstrate that our method, which incorporates anatomical prior information, is effective in denoising in Figure. 1(c). The quantitative results also prove the superiority of proposed methods in terms of evaluation metrics, including PSNR and SSIM. **Conclusions** Compared with the traditional networks that do not consider the anatomical prior and whose weights are consequently the same for each anatomical site, the proposed network achieves better performance by adaptively adjusting to the anatomical prior information.

Key words: low dose CT; deep learning; anatomical prior information; denoising; CNN

项目基金：国家自然科学基金(62101540)，中国科学院健康信息学重点实验室(2011DP173015)
作者简介：黄振兴(1993-)，男(汉族)，湖北黄冈，博士。研究方向：医学影像成像。E-mail：zx. huang1@ siat. ac. cn
通信作者：胡战利，研究员。E-mail：zl. hu@ siat. ac. cn

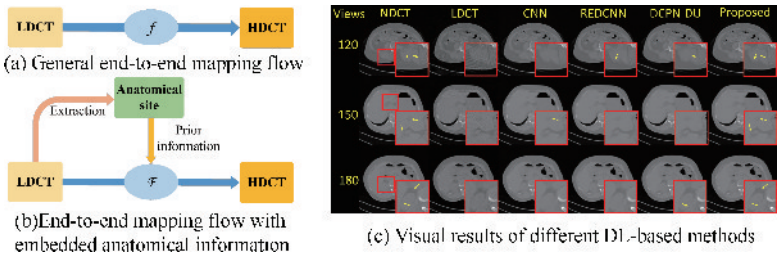


Fig. 1　The scheme of proposed method and visual comparison results

Reference

[1] Z. Hu et. al. A feature refinement approach for statistical interior CT reconstruction[J]. Physics in Medicine & Biology, 2016, 61(14): 5311.

[2] H. Chen et al. Low-dose CT via convolutional neural network[J]. Biomedical Optics Express, 2017, 8(2): 679-694.

[3] Z. Hu et al. Artifact correction in low-dose dental CT imaging using wasserstein generative adversarial networks[J]. Medical Physics, 2019, 46(4): 1686-1696.

[4] H. Chen et al. Low dose CT with a residual encoder-decoder convolutional neural network[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2017, 36(12): 2524-2535.

[5] Z. Huang et al. Learning a deep CNN denoising approach using anatomical prior Information implemented with attention mechanism for low-dose CT imaging on clinical patient data from multiple anatomical sites[J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2021, 25(9): 3416-3427.

[6] Z. Huang et al. Considering anatomical prior information for low-dose CT image enhancement using attribute-augmented Wasserstein generative adversarial networks[J]. Neurocomputing, 2021, 428: 104-115.

[7] Q. Yang et al. Low-dose CT image denoising using a generative adversarial network with wasserstein distance and perceptual loss[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2019, 37(6): 1348-1357.

[8] Y. Liu et al. Low-dose CT restoration via stacked sparse denoising autoencoders[J]. Neurocomputing, 2018, 284: 80-89.

一种改进型千伏切换锥束 CT 能谱成像

周　浩，　邓一凡，　祁宾祥，　高河伟

（清华大学 工程物理系，北京市　100084）

摘　要：

千伏切换技术是目前多排螺旋 CT 实现能谱成像的主流方式之一，在锥束 CT 中也具有巨大的应用潜力。然而，将千伏切换技术应用于锥束 CT 能谱成像存在两个主要问题：射线散射和双能能量差异有限。本论文中，我们探索了融入能谱调制和飞焦点技术的改进型千伏切换锥束 CT 能谱成像。能谱调制能够提高双能能量差异；结合飞焦点技术可以快速进行散射估计。能谱调制能谱调制器由 0.4 mm 厚的铜片制作而成；千伏切换的电压组合为 120/80 kVp；定量分析了水和碘的物质分解效果，测量对比了 70 keV 的虚拟单能图像的对比度噪声比（CNR）。实验结果表明，能谱调制提高了双能 CT 的物质分解精度，CNR 相比与千伏切换的物质分解结果提高了 15% 以上。初步的实验结果表明能谱调制在提高快速千伏切换双能锥束 CT 双能能量差异的可行性。

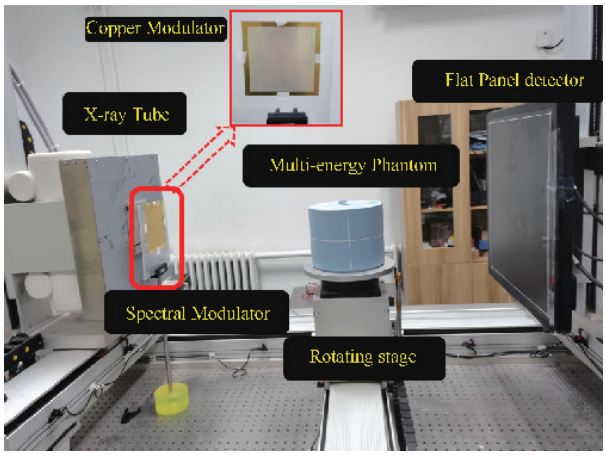


图 1　实验平台示意图

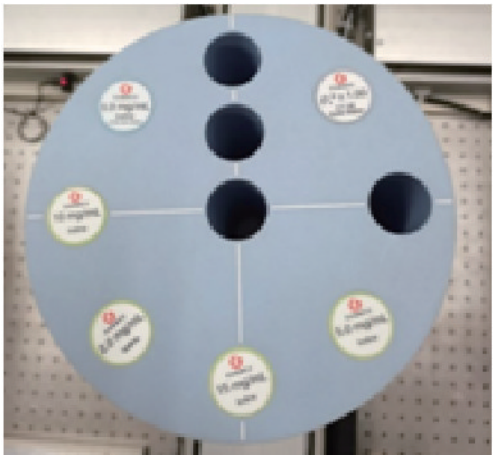


图 2　多能模体

项目基金：国家自然基金：U20A20169

作者简介：周浩，男（土家族），贵州铜仁人，博士生。研究方向：CT 成像及关键技术。E-mail：zhou－h19@mails.tsinghua.edu.cn

通信作者：高河伟，副教授。E-mail：hwgao@tsinghua.edu.cn

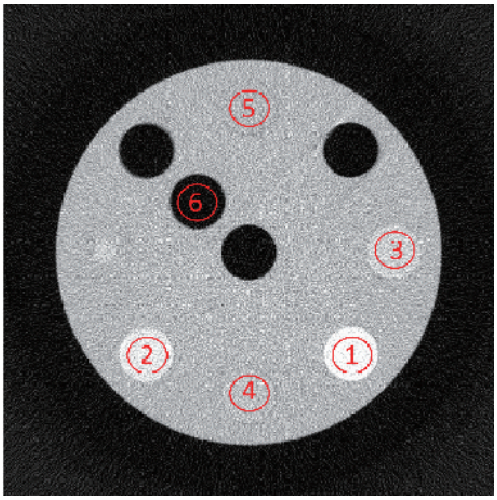


图 3　虚拟单能图(70 kV)

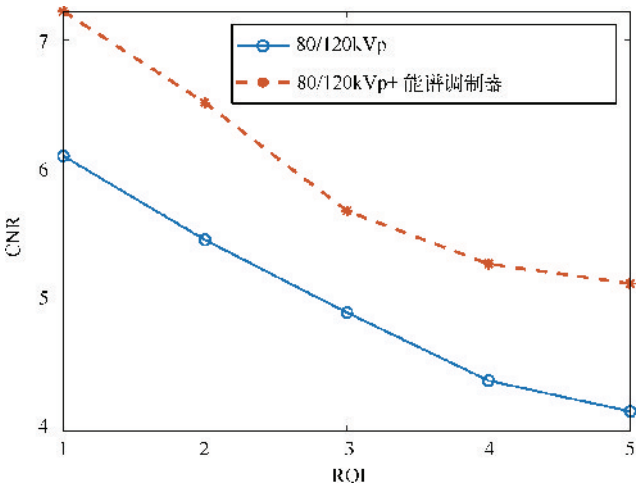


图 4　CNR 统计结果

表 1　物质分解定量测量结果

ROI	1	2	3	4	5	6
快速千伏切换	174.50	117.10	58.51	23.46	1057	-4.9
快速千伏切换+能谱调制器	173.82	115.65	56.04	21.01	1012	1.50
参考(100 μg/cc)	150	100	50	20	1000	0

关键词：锥束 CT；能谱调制器；飞焦点；快速千伏切换；物质分解

参考文献

[1] Zhang T, Chen Z, Zhou H, Bennett NR, Wang AS, Gao H. An analysis of scatter characteristics in x-ray CT spectral correction. Physics in Medicine & Biology, 2021 Mar 23; 66(7): 075003.

[2] Gao H, Zhang L, Grimmer R, Fahrig R. Physics-based spectral compensation algorithm for x-ray CT with primary modulator. Physics in Medicine & Biology, 2019 Jun 12; 64(12): 125006.

废物桶 TGS 定量成像检测技术研究

王雨阳，　李　亮

（清华大学 工程物理系，　北京　100084）

摘　要：

在核废物的处理过程中，废物放射性检测是一个重要的步骤，是后续废物分类、废物储存的重要依据。层析伽马扫描技术（Tomographic gamma scanning，TGS）是目前公认的核废物桶检测的首选技术。TGS 利用高纯锗（HPGe）探测器对样品进行扫描，同时采集桶内放射性核素发出的 gamma 光子和透射源衰减后的透射信息，并使用 CT 图像重建技术，同时获得废物桶线衰减系数分布图像和经过该图像衰减校正之后的各放射性核素活度分布图像，解决了桶内放射性核素因桶的自吸收导致活度测量不准确的问题。本研究对 TGS 定量成像系统进行了系统仿真和优化，包括：TGS 数据采集时间、几何尺寸，以及透射源活度等。发现：探测器数据采集时间采取桶边缘时间短、桶中心时间长的策略可以使得图像重建效果比一致的采集时间策略更好，并得到在不同透射源、探测器位置下的最优几何参数，并发现探测器步进距离误差会导致重建结果的不稳定。

关键词：层析伽马扫描；CT 重建算法；衰减校正；最优几何参数

TGS quantitative imaging detection technology of waste barrel

WANG Yuyang，　LI Liang

（Department of Engineering Physics，Tsinghua University，Tsinghua Garden，
Haidian District，Beijing 100084，China）

Abstract：

In the process of nuclear waste disposal，waste radiation detection is an important step and an significant basis for the classification and storage of the wastes. Tomographic gamma scanning（TGS）is recognized as the best technology of nuclear waste barrel detection. In TGS，High purity germanium（HPGe）detector is used to scan the waste sample，so that the gamma photon emitted by the radionuclide in the barrel and the transmission information after the attenuation of the transmission source are collected at the same time，and the image reconstruction technology of CT is used to obtain the linear attenuation coefficient distribution image of the waste barrel and the activity distribution image of each radionuclide after the

项目基金：国家自然科学基金面上项目（11775124）

作者简介：王雨阳（1998-），男（汉），辽宁锦州，大学本科。研究方向：辐射成像。E-mail：wyy21@ mails. tsinghua. edu. cn

通信作者：李亮，副教授。E-mail：lliang@ tsinghua. edu. cn

attenuation correction of the linear attenuation coefficient distribution image, which solves the problem of inaccurate activity measurement caused by the self-absorption of the radionuclide in the barrel. In this study, the TGS quantitative imaging system is simulated and optimized, including the optimization of TGS data acquisition time, geometric size, transmission source activity and so on. It is found that the data acquisition time of the detector adopts the strategy of short barrel edge time and long barrel center time, which can make the image reconstruction effect better than the consistent acquisition time strategy. And the optimal geometric parameters under different transmission sources and detector positions are obtained. Finally, it is found that the step distance error of the detector leads to the instability of the reconstruction results.

参考文献

[1] 张金钊. 核废物桶层析γ扫描关键技术研究[D]. 成都理工大学, 2014.

[2] R. J. Estep, T. H. Prettyman, G. A. Sheppard. Tomographic Gamma Scanning to Assay Heterogeneous Radioactive Waste[J]. Taylor & Francis, 2017, 118(3).

[3] Herman Gabor T., Rowland Stuart. Resolution in ART: An experimental investigation of the resolving power of an algebraic picture reconstruction technique[J]. Academic Press, 1971, 33(1).

[4] Sidky Emil Y., Kao Chien Min, Pan Xiaochuan. Accurate image reconstruction from few-views and limited-angle data in divergent-beam CT[J]. Journal of X-Ray Science and Tech-nology, 2006, 14(2).

[5] Lange K, Carson R. EM reconstruction algorithms for emission and transmission tomography. [J]. Journal of computer assisted tomography, 1984, 8(2).

针对低能 X 射线荧光成像的康普顿相机系统

武传鹏[1,2]， 李 亮[1,2]

（1. 清华大学 工程物理系， 北京 100084；
2. 粒子技术与辐射成像教育部重点实验室（清华大学）， 北京 100084）

摘 要：

通过理论计算和分析，选择了四种最常用的 XF 元素 I，Ba，Gd 和 Au，以探索针对 20～80 keV 的低能 X 射线荧光光子成像的康普顿相机的分辨率上限。结果表明，随着入射光子能量的增加，由能量分辨率 $\Delta\theta_E$ 和多普勒展宽 $\Delta\theta_D$ 引起的角度误差将减小，而由空间分辨率 $\Delta\theta_r$ 引起的角度误差与入射光子能量的关系很小。从结果看，随着入射光能量的增加，角分辨率将逐渐减小。在这四个元素中，Au 的角分辨率性能极限最佳为 4.97°，在 10 cm 的检测距离下对应的空间分辨率为 8.70 mm，具有一定的成像潜力。此外，还使用高时间分辨率的面阵列 Si 半导体探测器，进行了真实实验的验证，但由于 X 光机激发的 X 射线荧光系统，其散射噪声极强，成像结果尚不理想，本工作中针对 X 射线荧光进行成像的康普顿相机系统还有待进一步的完善。

关键词： X 射线荧光；康普顿相机；成像分辨率；角分辨率

参考文献

[1] 武传鹏，李亮．康普顿相机成像技术进展［J］．核技术，2021，44(05)：45-56.

[2] L. Li，R. Li，S. Zhang，and Z. Chen. Simultaneous X-ray fluorescence and K-edge CT imaging with photon-counting detectors，in Developments in X-Ray Tomography X，vol. 9967，S. R. Stock，B. Muller，and G. Wang，Eds. Proceedings of SPIE，2016.

[3] D. Vernekohl，M. Ahmad，G. Chinn，and L. Xing. Feasibility study of Compton cameras for x-ray fluorescence computed tomography with humans. Physics in Medicine and Biology，vol. 61，no. 24，pp. 8521-8540，Dec 21 2016.

[4] M. Singh. An electronically collimated gamma camera for single photon emission computed tomography. Part I：Theoretical considerations and design criteria. Medical Physics，vol. 10，no. 4，pp. 421-427，1983 1983.

项目基金：国家自然科学基金（11775124）

作者简介：武传鹏（1996-），男（汉），籍贯吉林省，本科学历，博士研究生在读。研究方向：X 射线荧光成像。E-mail：wcpthu@ foxmail. com

通信作者：李亮，副教授。E-mail：lliang@ tsinghua. edu. cn

Unsupervised PET Reconstruction Using DeepRED with Bayesian perspective

SHEN Chenyu[1], LU Zexin[1], XIA Wenjun[1], LIU Yan[2], ZHOU Jiliu[1], ZHANG Yi[1]

(1. College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)
* E-mail: yzhang@ scu. edu. cn

Abstract:

Positron emission tomography (PET) reconstruction becomes an ill-posed inverse problem due to the low-count projection data (sinogram) and a robust algorithm is urgently required to improve the imaging quality. Recently, deep image prior (DIP) has drawn much attention and was successfully applied in several image restoration tasks such as denoising and inpainting, since it does not need any labels (reference image). However, overfitting is a vital defect of this framework. Hence, lots of methods have been proposed to mitigate this problem and DeepRED is a typical representation which combines DIP and Regularization by Denoising (RED). In this article, we leverage DeepRED from a Bayesian perspective to reconstruct PET image from single corrupted sinogram without any supervised or auxiliary information. Contrary to the conventional denoisers customarily used in RED, DnCNN-like denoiser, which can add a constrain to DIP adaptively and facilitate the derivation, is employed. Moreover, in order to enrich the regularization, Gaussian noise is injected to the gradient updates deriving a Markov Chain Monte Carlo (MCMC) sampler. Experimental studies on both brain and whole body datasets demonstrate that our proposed method can achieve better performance in terms of both qualitative and quantitative metrics compared to several classic and state-of-the-art methods.

Key words: PET image reconstruction; unsupervised learning; deep image prior; regularization by Denoising; Bayesian inference

动态双能 CT 成像算法研究

姚一頔[1,2]， 李 亮[1,2]， 陈志强[1,2]

（1. 清华大学 工程物理系， 北京 100084；
2. 粒子技术与辐射成像教育部重点实验室（清华大学）， 北京 100084）

摘 要：

随着近年来光子计数探测器的发展，多能窗能谱 CT 的应用范围越来越广。然而，随着能窗数量的增加，每一个能窗中所记录的光子数越来越少，这会导致 CT 重建图像的统计噪声相应增加、图像质量变差。在本文中，我们创新性地提出了一种动态双能 CT 成像模式及相应的迭代重建算法。该算法可以在进行多能窗 CT 重建的同时保持接近双能 CT 的统计噪声水平。同时，我们从理论上说明了动态双能 CT 的图像质量优于传统多能 CT 的原因所在：当整个能谱的光子总数相同时，动态双能 CT 相比传统多能 CT 其每个能区中有更多的光子计数。因此，动态双能 CT 每个能窗的投影数据的统计噪声会更低，由其所重建出图像的质量也会更好。最后，该算法首次在一台双阈值光子计数探测器中的得到了实现。数值仿真及实际实验结果皆表明，动态双能 CT 的重建图像质量显著优于传统多能 CT，且随着能区数量的增加优势越发明显。

关键词：能谱 CT；多能 CT；CT 重建；光子计数 CT；迭代重建算法

参考文献

[1] L. Li, Z. Chen, W. Cong, and G. Wang. Spectral CT modeling and reconstruction with hybrid detectors in dynamic-threshold-based counting and integrating modes. IEEE Trans. Med. Imaging, 2015, 34(3): 716-728.

[2] Y. D. Yao, L. Li, and Z. Q. Chen. Dynamic-dual-energy spectral CT for improving multi-material decomposition in image-domain. (in English), Physics in Medicine and Biology, Article, 2019, 64(13): 2, Art no. 135006, doi: 10.1088/1361-6560/ab196d.

[3] R. E. Alvarez and A. Macovski. Energy-selective reconstructions in x-ray computerised tomography. Physics in Medicine & Biology, 1976, 21(5): 733.

[4] K. Taguchi and J. S. Iwanczyk. Vision 20/20: Single photon counting X-ray detectors in medical imaging, Medical physics, 2013, 40(10).

项目基金：国家自然科学基金（11775124）

作者简介：姚一頔（1995），男（汉族），籍贯北京，本科学历，博士研究生在读。研究方向：能谱 CT 成像。E-mail：yaoyd17@mails.tsinghua.edu.cn

通信作者：李亮，副教授，E-mail：lliang@tsinghua.edu.cn；陈志强，首席研究员，E-mail：czq@tsinghua.edu.cn

基于投影矩阵的机械臂 CT 迭代重建

周　璇[1,2]，　贾　统[1,2]，　魏存峰[1,2]，　王燕芳[1]，　许　琼[1]

（1. 中国科学院高能物理研究所，北京市射线成像技术与装备工程技术研究中心，　北京　100049
2. 中国科学院大学 核科学与技术学院，　北京　100049）

摘　要：

机械臂 CT 是由两只机械臂分别挂载射线源与探测器围绕物体进行 CT 数据采集的一种新型 CT。与通常的机架旋转或转台旋转的 CT 结构相比，机械臂 CT 部署灵活、运动轨迹自由，对于一些特殊应用场合有重要意义。然而，受到机械臂运动精度、两只机械臂运动同步性等因素的影响，机械臂 CT 实际投影位置与理想值常常存在偏移，从而导致重建图像产生伪影。针对这一问题，使用校正模体的投影矩阵方法基于一个表示三维空间到二维投影图像之间投影关系的投影矩阵，利用校正模体中的已知位置的标记点及其对应投影坐标计算该投影矩阵，对每个角度独立实施校正，适用于机械臂。本文利用投影矩阵反映投影几何的特性，建立了射线轨迹方程与二维投影坐标之间的一一对应关系，从而在投影矩阵的基础上实现了相应不依赖于参数的正反投影算法，利用该算法搭建了基于投影矩阵的迭代重建方式。投影矩阵具有准确描述投影几何的特性，可实现任意轨迹下图像重建，避免机械臂运动误差及同步性带来的图像伪影。实验结果表明，使用这一方法可显著提高机械臂 CT 重建图像质量。

关键词：机械臂 CT；校正模体；投影矩阵；迭代重建

参考文献

[1] X. Li, D. Zhang, and B. Liu, A generic geometric calibration method for tomographic imaging systems with flat-panel detectors - A detailed implementation guide[J]. Medical Physics, 2010, 37(3): 3844-3854, 2010.

[2] M. X. e. al. Direct determination of cone-beam geometric parameters using the helical phantom[J]. Physics in Medicin& Biology, 2014.

项目基金：国家自然科学基金(No. 11975250，No. 12175267)

作者简介：周璇(1998)，男(汉族)，湖北，研究生在读。研究方向：机械臂 CT 高精度重建算法。E-mail：zhouxuan@ihep. ac. cn

通信作者：许琼，副研究员。E-mail：xuqiong@ ihep. ac. cn

NANOVISION

突破视觉极限

成为高速高精度辐射成像领先者

公司发展历程

2014

3月

北京纳米维景科技有限公司成立并获得天使投资

2015

6月

光子相衬显微CT，获得北京市科委创新基金的支持

12月

Pre-A融资成功

2017

10月

获得“中关村高新技术企业”荣誉称号

12月

获得国家“高新技术企业”荣誉称号

A轮融资成功

2018

4月

获批北京市科技委员会“G20工程医药产业创新研发”项目

5月

纳米维景（成都）科技有限公司正式成立

11月

全球首创静态CT技术亮相第104届RSNA

2019

4月

纳米维景静态CT获批北京市科委“医药创新品种培育及产业支撑平台能力建设”项目

公司发展历程

2019

8月

纳米维景（上海）医疗科技有限公司正式成立

12月

荣登“2019未来医疗100强—中国创新器械榜TOP100”

B轮融资成功

2020

3月

“纳米维景静态CT研发生产基地”正式开工

11月

纳米维景多源静态“复眼24显微CT”亮相第106届RSNA

12月

纳米维景登榜人民网人民健康“2020中国健康新势力企业”

2021

5月

纳米维景“复眼24显微CT”国内首秀CMEF

7月

纳米维景多源静态CT研发生产基地（一期）顺利封顶

11月

C轮融资成功

12月

获第十届中国创新创业大赛全国总决赛成长组三等奖

2022

5月

荣获北京市“专精特新”中小企业

10月

成功进入第七届“创客中国”中小企业创新创业大赛50强

北京纳米维景科技有限公司于2014年3月成立，总部坐落于中关村永丰产业基地，在用友软件园拥有数千平米的研发基地，并在成都和上海设立了子公司，是一家致力于高速高精度辐射成像的高新技术企业，主要业务包括静态CT及其新型X射线源和探测器，X射线成像软件等。

纳米维景团队拥有超过二十年放射影像产品和核心部件研发经验并在业界积累了良好的口碑，研发团队覆盖系统、工艺、芯片、电气、结构、软件及算法等七大专业方向。基于深厚的研发创新实力，纳米维景获得了100多项知识产权，包括PCT、国家专利、软件著作权及集成电路布图设计等。

经过多年的发展和沉淀，纳米维景获得了国家高新技术企业、人民网·人民健康“2020中国健康新势力企业”、北京市“专精特新”中小企业等荣誉称号。

诚信·担当

专注·拼搏

高效·创新

合作·共赢

NANOVISION

北京纳米维景科技有限公司

北京市海淀区北清路68号院用友软件园西区1号楼一层1-06

100094

www.nanovision.com.cn

+86 10 6248 9512

marketing@nanovision.com.cn

北京纳米维景科技有限公司产品介绍

多源静态 CT 是公司自研的全新一代 CT 产品，真正实现了核心部件从“前端设计”到“后端制造”的自主可控及国产化。

产品采用了无滑环设计，通过探测器阵列和射线源阵列构成了双环结构，同时采用时序电子控制射线源依次进行脉冲曝光。在全球首次实现射线源阵列的无滑环多角度高速轮替扫描来进行数据采集成像，而无需机械旋转。通过像素内生性分割技术，在大幅度提高探测器单位面积像素数量的同时，也进一步提高了探测器对 X 射线的利用效率，实现了高精度数据采样；同时，光源像素与人体解剖位置固定，曝光时间内所有光子积分在固定像素点上，积分效能高，相对剂量较低；由于球管不再转动，避免了因高速旋转产生的噪音；具有以下特点：

(1) 高精度成像：空间分辨率达到 21LP/cm @10%MTF，各项同性分辨率高达 0.165mm，使 CT 的视觉极限从器官组织的解剖学成像向组织细胞的生物学成像进化；

(2) 大矩阵成像：业内唯一实现 0.165mm@2048×2048 矩阵扫描、重建，像素信息量是传统 CT 的 16 倍，能更真实地反映生物本源；

(3) 低剂量成像：在相同图像质量的前提下，扫描剂量可降低 40% 以上；

(4) 静音扫描：机房噪音在 60 分贝以下。

(5) 高速度：最快扫描速度为 0.08 秒/圈。