

# Research Progress of RSNA2021 Medical Imaging Technology\*

ZHANG Shao-jun<sup>1,2</sup>, LIN Jie-qiong<sup>1</sup>, XU Shu-min<sup>1</sup>, ZENG Hong-wu<sup>1,\*</sup>.

1.Department of Radiology, Shenzhen Children's Hospital, Shenzhen 518038, Guangdong Province, China

2.Shantou University Medical College, Shantou 515000, Guangdong Province, China

## ABSTRACT

With the iteration of medical imaging equipment and imaging technology, the development and clinical application of new technology has become the focus of imaging research. The authors summarized the latest research progress of RSNA imaging technology in 2021 as follows: ① CT imaging technology transformation, including dual-energy CT, photon counting CT, and spectral CT; MRI imaging technology transformation, including Diffusion Microstructure Imaging and breast microwave imaging technology innovation; ③ New advances in nuclear medicine; Artificial intelligence (AI) promoting intelligent imaging.

**Keywords:** *New Technology; Artificial Intelligence; Computer Tomography; Breast; Magnetic Resonance Imaging; Nuclear Medicine*

2021年RSNA会议影像技术聚焦于提高图像质量、缩短检查时间、降低辐射剂量。人工智能(Artificial intelligence, AI)赋能检查标准化及智能化,推动着放射学向精准、智能、多元的全新时代进发。现将会议关于新技术的研究进展进行以下报道。

## 1 计算机断层摄影(Computed tomography, CT)新技术及应用

CT自1971年诞生起,经历了CT头颅时代(1971~1973)、全身CT时代(1974~1989)、容积时代(1989~1993)、快宽时代(1993~2015),到近十年的双能时代(2006~2015)和光谱时代(2016~2021)。基于探测器的光谱CT技术包括双层光谱探测器技术和半导体光子计数CT技术,通过多能量数据采集为图像提供“色彩”,CT实现了从黑白单参数到彩色多参数的转变。

**1.1 双能CT(Dual-energy CT, DECT)** 双能CT(Dual-energy CT, DECT)是一个古老而又崭新的技术。早在1973年,Godfrey Hounsfield发现通过100kV和140kV扫描获得的两组图像可以区分单能量下无法区分的钙( $Z=20$ )和碘( $Z=53$ ),首次提出利用多个能量点可以区分不同的物质成分的新观点,为双能量CT提供了理论基础<sup>[1]</sup>。2006年基于球管(Tube-Based)的DECT的诞生,很好地解决了心脏扫描的问题,同时也重新开启了另一个CT发展方向——CT能量成像。DECT利用两套球管—探测器系统分别在两个能量点(常用80keV和140keV的管电压)成像后在投影数据域进行能量解析,分析物质衰减变化斜率及双能量指数(Dual source index, DEI),达到物质分离的目的。通过三物质分离算法进行量化计算,可区分碘与钙、尿酸盐结石与非尿酸盐结石、肌腱与软骨等,具有碘图、虚拟平扫图像(virtual non-contrast, VNC)、彩色编码钙抑制图(Virtual non-calcium, VNCa)、40-140keV能级范围的虚拟单能量图像(virtual monoenergetic image, VMI或MonoE)等多种后处理成像优势<sup>[2-3]</sup>。目前DECT较多应用于自动去骨、脑血肿定性、心血管动脉硬化斑块分析、胰腺及肾结石成分分析等方面<sup>[4-6]</sup>。

DECT在骨肌系统软骨疾病诊断上与MRI有异曲同工之效,是有MRI检查禁忌症患者的福音<sup>[7]</sup>。德国法兰克福大学Vitali Koch团队以3.0TMRI为参照,采用3.0TMRI及DECT对80例患者进行扫描,设定通过3.0T MRI图像诊断为腰椎间盘突出例数为参考值(100%),经DECT后处理得到VNCa图及常规平扫图像,结果显示VNCa图像诊断腰椎间盘突出例数的敏感性(94%)、特异性(96%)及准确性(96%)均比常规平扫图像的敏感性(73%)、特异性(82%)及准确性(81%)高,且VNCa图像在图像质量、噪声抑制方面优于常规平扫图像( $p < 0.01$ )。DECT的VNCa图在评估腰椎间盘突出方面具备较高的诊断效能。髋臼唇撕裂(acetabular labral tears, ALT)需与软骨缺损(chondral defects, CD)相鉴别<sup>[8]</sup>,意大利利尼格拉圣心医院Giovanni Foti等对比DECTA和MRA在鉴别ALT和CD中的诊断价值。分别对24例患者进行髋关节DECTA和MRA检查,结果显示两者诊断ALT的敏感性分别为83.3%、91.7%,特异性分别为100%、83.3%,诊断CD的敏感性分别为93.7%、87.5%,特异性均为87.5%,DECTA及MRA的诊断准确性无明显差异( $p=0.21$ )。DECTA可作为MRA鉴别髋关节ALT和CD的替代成像工具。当患者存在MRI禁忌症时DECT可成为骨肌疾病诊断效能相当的成像选择。

**1.2 双层探测器光谱CT(Dual-layer spectral detector CT)** 自2016年开启光谱CT时代,双层探测器光谱CT实现真正意义上的“同源、同时、同向”的能量成像模式,单次扫描即可同时获得高、低能图像数据,实现高低能图像数据精准配准,是光谱CT发展史上的一大飞跃<sup>[9]</sup>。2018年飞利浦公司的IQon光谱CT逐渐实现临床化,其探测器端的能谱解析带来多维度、多参数的光谱图像,为疾病诊断、鉴别和治疗后疗效评价提供了新的方法【飞利浦全球首台IQon光谱CT[J].影像诊断与介入放射学,2019(6)。】。而于RSNA2021首次亮相的飞利浦新一代光谱CT——皓克Spectral CT,一次增强扫描即可完成心肺多种脏器组合的一站式评估,是光谱科研与光谱全能临床应用平台合二为一的顶尖设备。光谱CT在复杂物质成分分析、超早期病灶定位及定性、器官形态及功能评估等方面具有较大应用价值<sup>[10]</sup>。相比双能CT,光谱CT可提供更宽能级范围(40-200keV)的VMI,其中低能级

## 综述

## RSNA2021医学影像技术研究进展\*

张少君<sup>1,2</sup> 林洁琼<sup>1</sup> 徐淑敏<sup>1</sup>

曾洪武<sup>1,\*</sup>

1.深圳市儿童医院放射科(广东深圳518038)

2.汕头大学医学院(广东汕头515041)

【摘要】随着医学影像设备及成像技术更新迭代,各种新技术的开发和临床应用成为影像领域的研究重点。本文对2021年RSNA关于影像技术的最新研究进展总结如下:①双能CT、光谱CT及光子计数CT进展;②磁共振新进展,包括扩散微结构成像及微波乳腺成像新技术;③核医学新进展;④人工智能推进影像智能化。

【关键词】新技术;人工智能;计算机断层摄影;乳腺;磁共振;核医学

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】深圳市科技创新委项目(201739219)  
深圳市医疗卫生三名工程项目  
(SZSM202011005)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.03.062

【第一作者】张少君,女,住院医师,主要研究方向:儿童中枢神经系统影像学。E-mail: shaojunzhang2038@163.com

【通讯作者】曾洪武,男,主任医师,主要研究方向:儿童中枢神经系统影像学。E-mail: homerzeng@126.com

(40~50keV) MonoE图像适用于检出病灶及观察软组织细微差异, 高能级(>100keV) MonoE图像能有效减少图像伪影<sup>[11]</sup>。

光谱CT能准确鉴别碘、脑脊液及血肿这三种物质, 更好地地区分介入术中造影剂渗漏及活动性出血, 优化诊治流程<sup>[12]</sup>。德国巴伐利亚州奥格斯堡大学Christoph Johannes Maurer等对比光谱CT与传统CT对慢性硬膜下血肿患者介入栓塞术后术区造影剂渗漏、术后再出血及血肿三者的鉴别能力, 突出光谱CT的物质分析优越性。采用光谱CT及传统CT扫描105例经大脑中动脉栓塞治疗慢性硬膜下血肿患者, 利用MonoE、VNC、碘密度图多参数分析鉴别造影剂外漏及活动性血肿, 结果显示对比传统CT, 光谱CT有助于区分血肿重新积聚和造影剂渗漏, 对诊断脑栓塞术后再发出血具有重大临床意义。

光谱CT在保证图像质量的前提下, 减少血管钙化斑块和腔内支架X线束硬化伪影, 只需传统CTA造影剂用量的10%即可完成肾功能不全患者冠脉CTA检查, 减轻患者脏器造影剂负担, 在心脑血管的应用有独特的优势<sup>[13]</sup>。美国梅奥诊所Andre Euler等采用光谱CT与能量集成探测器CT(Energy-integrating detector CT, EID-CT)分别对25例患者进行主动脉CTA扫描, 其中EID-CT使用自动管电压选择技术, 保证两者辐射剂量相匹配, 结果显示光谱CT的40keV和45keV MonoE图像对比信噪比(21.9±7.3和19.7±6.5)较EID-CT图像(15.7±7.5)明显提高(P均<0.05), 而两者的整体图像质量主观评分无明显差异。光谱CT低能级MonoE图像可提高图像对比信噪比, 在保证图像质量的同时优化造影剂剂量。

**1.3 光子计数CT (Photon counting computed tomography, PCCT)** 另一项基于探测器的光谱CT技术——半导体光子计数CT, 突破了DECT较多的光谱重叠及不完全性能量分离的局限性, 采用电信号光子计数探测器(photon counting detector, PCD), 按能量排序、解析及拆分入射光子, 能够解决传统螺旋CT无法进行物质成分分析的难题, 且优化光谱成像对比度, 具有扫描速度快、空间分辨率高、图像噪声小以及诊断性能高等优点。目前主要用于微小肿瘤病灶检出、良恶性病变鉴别、特殊物质定性定量分析、器官功能评估、增加血管对比度、去除伪影等方面<sup>[14]</sup>。但PCCT存在不足, 其一, 当光子数量超过109/s时会出现计数错误, 光子计数未能保持于所有能级中图像噪声均低的水平, 低能级(下限40keV)的噪声会成倍增加<sup>[15]</sup>; 其二, 从理论角度出发, PCCT可进行多造影剂检查及分子影像的探索, 但现有的分子类药物实现临床化推广还需一定时间, 限制了PCCT在分子影像学领域的发展<sup>[16]</sup>。但毋庸置疑, CT发展朝向是基于探测器的能量成像, 未来临床CT性能将达到巅峰级水准, 有望成为临床影像学的主流。

C臂CT利用C臂旋转采集3D容积图像, 在介入治疗中因其易用性备受青睐, 但在成像质量方面仍逊色于传统CT<sup>[17]</sup>。基于PCD开发的集成式C臂光子计数探测器(c-arm PCCT)原型系统兼并了C臂CT的易用性和PCCT的良好成像性能, 可实现高达100帧/秒的数据采集, 具备定量成像能力, 可提高术中微小病变检出率, 改善微血管成像效果<sup>[18]</sup>。麦迪逊威斯康星大学Ke Li等评估c-arm PCCT和传统FPD-CBCT图像对脑血管可视性, 为心脑血管介入术提供优质设备选择。使用c-arm PCCT和传统FPD-CBCT扫描人体模型, 对比扫描直径10mm范围内的碘化脑动脉血管MIP图像, 结果显示c-arm PCCT的极限空间分辨率是FPD-CBCT的2倍, 可清晰显示FPD-CBCT图像上完全或部分缺失的远端血管。c-arm PCCT能改善术中动脉分支显像效果, 有助于患者的个体化治疗方案制定。新算法和数据采集系统升级旨在减少PCCT伪影, 提高低对比度分辨率<sup>[19]</sup>。麦迪逊威斯康星大学物理学系Kevin Joseph Treb团队进行如下改进: 利用分解校正函数分离目标相关成分, 校正并重构图像, 去除束硬化伪影及同心状伪影, 明显降低修正后图像不均匀指数; 采用步进采集模式(step-and-shoot acquisition mode)增加PCD探测器z轴覆盖范围, 提高低对比度分辨率, 改善脑小血管成像质量。

## 2 MRI新技术

**2.1 磁共振显微成像(magnetic resonance microscopy, MRM)** 采用显微线圈进行的磁共振显微成像(magnetic resonance microscopy, MRM), 具备达亚毫米级别(25-200 $\mu$ m)的空间分辨率, 可直接获取三维数据集, 被广泛应用于分子影像、组织胚胎学及动物模型研究中, 自此人类对大脑的超精细观察深入到分子层面<sup>[20]</sup>。海马硬化型颞叶难治性癫痫的治疗为临床一大难题, 手术治疗长期结果不理想。美国费城托马斯杰斐逊大学Rammohan Vadapalli等采用飞利浦3.0T超磁共振成像仪及其生产的显微线圈采集3D T1WI、T2WI及其FLAIR序列, 评估MRM图像检出病灶的诊断效能。比较125例海马硬化型颞叶癫痫患者的MRM图像和组织病理结果, 使用ITK snap手动分割方法定位海马亚区, 结果表明

MRM检出的异常灶部位与病理结果高度一致。MRM可准确识别致痫灶, 提供术前预测分析, 提高海马硬化诊断特异性和侧化性。

**2.2 扩散微结构成像(Diffusion Microstructure Imaging, DMI)** 传统扩散磁共振成像如DTI可得到平均扩散系数、各项异性分数等DTI参数, 但这种平均化的参数只能显示统计描述层面的体素内组织结构, 不能准确描述复杂环境下(如多个纤维交叉、弯曲)的结构特征。在此基础上, DMI可联合分析组织细胞结构特定属性、水分子扩散模式及扩散MRI信号, 更准确描述组织微结构属性<sup>[21]</sup>。弗莱堡大学Alexander Rau等[9]研究了DMI在诊断进行性核上麻痹(Progressive supranuclear palsy, PSP)中的价值。该研究使用3.0T MRI扫描DTI序列, 基于多隔室模型分析52例PSP患者、20例帕金森(Parkinsonism, PD)患者、26例多系统萎缩患者和25例健康对照的DMI参数, 发现PSP患者的轴突内体积在腹内侧丘脑和额叶白质等区域明显减少, 这些异常区域与手术病理区域高度吻合, 在验证集(n=25)中采用丘脑和额叶白质区域DMI参数识别PSP的准确率为96%。DMI可在组织微观层面描述疾病机制, 在疾病诊断、脑发育评估等方面具有应用前景, 在其他器官如心肝肾等部位的研究也正在探索中。

**2.3 微波乳腺成像(Microwave Breast Imaging, MBI)** 自2011年正式投入应用的数字乳腺三维断层合成摄影(Digital Breast Tomosynthesis, DBT)系采用X射线管弧形移动、多角度扫描乳腺和3D断层重建的方式, 克服了传统二维乳腺X线摄影因组织重叠而容易漏诊的局限性, 有益于乳腺腺体较为致密的女性的隐匿性乳腺癌检测<sup>[22, 23]</sup>。对比DBT技术, 近来发布的微波乳腺成像(Microwave breast imaging, MBI), 具有无辐射、低风险、高灵敏度和高对比度等一系列优点, 在乳腺癌随访患者具有更大的应用价值<sup>[24]</sup>。Wavelia MBI系统在合成乳腺显像的临床前研究中被证明具有在纤维腺体组织中检测肿瘤的能力。爱尔兰国立大学医学院Brian Michael Moloney等<sup>[25]</sup>采用Wavelia MBI系统首次进行人体临床试验, 结果显示MBI系统检测到12/13例乳腺良性病变和9/11例乳腺癌, 包括1例常规影像显示阴性的浸润性小叶癌。采用基于形状和纹理特征的二次判别分析(quadratic discriminant analysis, QDA)分类器进行良恶性病变分类, 其对乳腺良恶性病变的鉴别率为88.5%。Wavelia MBI可检测并准确估计乳腺病变的大小和位置, 确定肿瘤的恶性风险。这些发现需要未来更大规模的研究来验证。

## 3 核医学新进展

分子影像核医学的亮点在于示踪剂的特异性, 新型示踪剂的研发应用有望提高病灶检出率。浸润性小叶癌(Invasive lobular carcinoma, ILC)是乳腺癌的第二常见亚型, 通常在体查和常规影像学检查(包括乳腺DSA、超声、CT和FDG PET/CT)上难以发现<sup>[26]</sup>。雌激素受体ER在95%ILC中呈阳性, 近来研究发现放射性雌激素类似物(18)F-FES能够特异性地与雌激素受体结合, FES PET/CT有望提高乳腺浸润性小叶癌检出率<sup>[27]</sup>。犹他大学Matthew Covington等对比FDG PET/CT与FES PET/CT对ILC患者ER阳性病灶摄取率, 首次评估FES PET/CT对ILC病灶的诊断效能。该研究获取9例患者(14处ILC病灶, 其中12处ER阳性)的FDG PET/CT与FES PET/CT图像, 结果表明FES PET/CT显示ER阳性病灶率为100%, FDG PET/CT为90%, 并且FES PET/CT可显示1处FDG PET/CT上未见明显摄取的ER阳性病灶, 1例三阴性ILC患者显示病灶FES异常摄取, 提示该患者可能具有ER阳性疾病的肿瘤异质性。使用(18)F-FES PET/CT可以反映体内雌激素受体的表达情况, 具有较高的诊断效能, 具有优势性、无创性和重复性<sup>[28, 29]</sup>。

全身PET/CT将病灶功能、代谢等分子信息, 与精准解剖定位结合, 在肿瘤定性和复发判断、药物研究、疾病筛查等方面提供重要信息<sup>[30, 31]</sup>。对于恶病质患者而言, 尽可能缩短检查时间是优化医疗服务质量的重要一环。俄亥俄州立大学韦克斯纳医学中心Michelle Knopp等基于自适应正则化重建算法<sup>[32]</sup>对常规PET/CT图像采集进行优化, 有效缩短检查时间, 且诊断效能接近常规PET/CT。对275例肿瘤患者进行传统FDG PET/CT(扫描频率90s/次)和基于优化算法的超快速低剂量FDG PET/CT(扫描频率9s/次)全身扫描, 结果两者诊断效能无差异。对比传统FDG PET/CT, 超快速低剂量FDG PET/CT全身扫描在BMI<35患者中节省了90%时间, 在BMI≥35患者中节省了50%时间。该研究证实了在最低剂量条件下(5.0 mCi), 超快速低剂量FDG PET/CT肿瘤全身成像诊断效能可媲美传统PET/CT成像, 且有效减少检查时间。

对原有算法的改进持续减少图像伪影及噪声, 改善图像质量。为更好地观察邻近膈肌的肿瘤PET图像, 通常使用ANZAI呼吸门控来减少膈肌呼吸运动伪影, 但会增加图像噪声<sup>[33]</sup>。为兼顾去伪影及

降噪, 巴基斯坦Alkhidmat雅各布医院Adeel Haq等提出了弹性运动校正与去模糊算法(Elastic motion correction with deblurring, EMCD)<sup>[34]</sup>, 用于改善膈肌周围肿瘤的图像质量。对肺底部及肝脏活动性恶性肿瘤患者(n=10)进行PET-CT扫描, 结果显示采用EMCD校正的PET/CT图像的最大标准摄取值(Max standard uptake value, SUV-max)、代谢肿瘤体积(Metabolic tumor volume, MTV)均较常规ANZAI 呼吸门控运动校正图像高(均p=0.01), 图像噪声在视觉上比常规ANZAI 呼吸门控运动校正图像更低。EMCD重建方法有利于膈肌邻近肿瘤患者病变显示及诊断。

#### 4 AI赋能、智能影像

AI赋能影像设备及技术, 优化检查流程及实现扫描智能化, 协助疾病的早期诊断、风险评估及预后预测, 让放射科医师在临床决策过程中展现更多价值<sup>[35]</sup>。AI算法不断推进影像技术革新, 旨在减少图像噪声、加快扫描速度、降低辐射剂量、提高图像质量; 联邦学习(Federated Learning)和跨中心迁移学习这两种机器学习框架<sup>[36-37]</sup>为使用多中心数据提供了新思路, 协助开发具备更好稳健性和通用性的AI模型; 3D打印通过高效沟通与信息展示增进了放射科医生与临床工作者和患者的互动。目前AI力求在更多临床场景中找到应用“落地点”, “AI+医学影像”有望成为全新医疗发展质量<sup>[38-39]</sup>。

**4.1 AI提高图像质量, 降低辐射剂量** 医工结合的深度学习聚焦于提高影像设备成像性能。噪声量化是CT图像质量评估和协议优化的基础, 美国梅奥诊所Nathan Huber等<sup>[40]</sup>开发了基于卷积神经网络(Convolutional neural network, CNN)的单图像局部方差估计(Single image local variance estimator, SILVER)深度学习框架, 实现CT图像噪声量化。利用训练得到的SILVER框架对测试集噪声图进行评估, 并与100次常规重复扫描(120 kV, 70 mAs, 4.71 mGy)计算得到的噪声图相比较, 两者高度匹配(RMSE: 6.7HU)。SILVER深度学习框架能基于图像准确量化噪声, 实现工作站图像质量评估、方案优化和自适应图像处理。德国癌症研究中心Joscha Maier等对原有心脏CT重建方法进行改进, 将基于神经网络的深度分角运动补偿(Deep partial-angle based motion compensation, Deep PAMoCo)算法<sup>[41]</sup>和迭代算法相结合。训练集包括10万个冠状动脉数据, 测试集包括25例临床病例, 结果显示冠脉评估过程中, Deep PAMoCo算法能明显去除心脏运动伪影, 减少35%噪声, 缩短检查时间, 图像质量明显优于传统运动补偿方法。

**4.2 AI辅助诊断** 在乳腺疾病AI的辅助应用较为成熟, 基于乳腺疾病有质量标准法案(MQSA), 结构化乳房成像报告和数据库系统, 本届大会隆重纪念加州大学洛杉矶分校放射科学名誉教授Bassett博士在乳腺疾病标准化的贡献<sup>[42]</sup>。传统的计算机辅助检查/诊断(computer aided detection / diagnosis, CAD)系统可用于DBT数据, 但在功能单一、病灶检出假阳性率过高的局限性, 供应商设备及种族的不同亦是影响其诊断性能的因素<sup>[43]</sup>。韩国首尔国立大学医学院Ki Hwan Kim等<sup>[44]</sup>以13435例多中心设备(Hologic和GE)不同种族(韩、美)的DBT数据为训练集, 开发了基于CNN的AI算法, 适用于不同设备及种族DBT乳腺癌筛查。在独立外部测试集上(700例美国DBT数据)进行测试, 该算法的诊断性能良好(AUC0.943, 敏感性84.5%, 特异性91.6%), 有较好的稳定性和可靠性。为了更好的显示乳腺CT成像的微钙化灶, 美国梅奥诊所Nathan Huber等<sup>[45]</sup>将基于深度学习网络框架下的图像去噪算法应用于高分辨率光子计数CT(HRPCCT), 评估图像显示乳腺癌相关乳腺微钙化的临床价值, 得到的图像与乳腺钼靶图像相匹配, AI提升了CT在乳腺成像中的潜在价值。

磁共振乳腺成像(Magnetic resonance mammography, MRM)对于乳腺病灶良恶性判别和疗效评估具备独特优势, 应用于乳腺导管原位癌(Ductal carcinoma in situ, DCIS)是否进展为侵袭性乳腺癌<sup>[44]</sup>。美国俄亥俄州克利夫兰诊所Dana Ataya等采用半监督学习算法, 构建基于乳腺MRI动态增强的机器模型, 用于预测DCIS进展为侵袭性肿瘤的概率, 模型在风险评估方面显示出较高的准确性。加州大学Yang Zhang等<sup>[45]</sup>基于深度学习构建了一个联合模型, 将掩膜基于区域的卷积神经网络(Mask Region-based Convolutional Neural Network, Mask R-CNN)与ResNet50分类<sup>[46]</sup>两种原有模型相结合, 用于乳腺良恶性病灶判别。结果显示模型总体敏感性为96%(99/103), 假阳性率为21%(32/153), 将其直接应用于新数据集, 同样获得了较高的灵敏度及较低的假阳性率。AI辅助乳腺癌诊断具备良好的临床前景。

联合(18F)-FDG PET/MRI影像组学和机器学习分析可无创性预测乳腺癌腋窝淋巴结转移, 具有一定临床价值<sup>[47]</sup>。奥地利维也纳医科大学Valeria Romeo等<sup>[48]</sup>构建了一个SVM分类器的机器学习模型, 用于评估乳腺癌患者腋窝淋巴结转移状态。数据来自74例经组织学证实乳腺癌

患者的PET/MRI图像, 从动态增强(DCE)、扩散加权成像ADC图和PET图像提取定量参数和影像组学特征, 建立组学模型。结果显示该模型预测淋巴结转移准确率高, 敏感性为75.5%, 特异性为66.8%。

#### 5 总结

2021RSNA主题为Redefining Radiology(重新定义放射学), 重点突出了由基于数量的实践(volume based)转变为基于价值的实践(value based)的放射学理念, 旨在提升放射学医师在疾病诊治过程中的价值。新时代AI持续助力, 医学影像技术面临着百年未有之机遇, 人们对医疗图像质量、信息有效性、检查安全性等要求越来越高, 新算法、新技术不断突破原有认知, 未来影像技术发展将朝着智能化、精准化、临床化的方向继续前进。

#### 参考文献

- [1] Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography): Part I. Description of system. *Br J Radiol*, 1995, 68(815): H166-72.
- [2] 张雪薇, 王艳. 双源CT能量成像的研究进展. *医学综述*, 2017, 23(19): 3918-3921, 3926.
- [3] Sakabe D, Funama Y, Taguchi K, et al. Image quality characteristics for virtual monoenergetic images using dual-layer spectral detector CT: Comparison with conventional tube-voltage images. *Phys Med*, 2018, 49: 5-10.
- [4] 《双能量CT临床应用指南》简介. *国际医学放射学杂志*, 2016, 39(4): 425-425.
- [5] 张洪, 何晓清, 邹亚毅. 双源CT双能量成像技术在骨关节金属内固定去伪影成像的应用. *中国CT和MRI杂志*, 2018, 16(11): 137-139.
- [6] 陈泉梓, 黎军强. 双源CT双能量成像识别尿路结石成分的临床应用研究. *中国CT和MRI杂志*, 2018, 16(7): 133-135, 139, 封4.
- [7] 刘飞, 张永海. 双能量CT在肌肉骨骼成像中的临床应用. *实用放射学杂志*, 2019, 35(3): 484-487.
- [8] Magee T. Comparison of 3.0-T MR vs 3.0-T MR arthrography of the hip for detection of acetabular labral tears and chondral defects in the same patient population. *Br J Radiol*, 2015, 88(1053): 20140817.
- [9] 任海燕, 甄艳华, 郑加贺. 双源光谱探测器CT临床应用与研究进展. *中国医学影像技术*, 2020, 36(10): 1555-1558.
- [10] Hsieh SS, Leng S, Rajendran K, et al. Photon counting CT: clinical applications and future developments. *IEEE Trans Radiat Plasma Med Sci*, 2021, 5(4): 441-452.
- [11] 中华放射学杂志. 双源探测器光谱CT临床应用协作组. 双源探测器光谱CT临床应用中国专家共识(第一版). *中华放射学杂志*, 2020, 54(7): 635-643.
- [12] 贾萍, 王晓明. 双源探测器光谱CT在头颈部血管相关疾病中的应用研究进展. *中国医学影像学杂志*, 2021, 29(10): 1052-1055.
- [13] Sandfort V, Persson M, Pourmortezza A, et al. Spectral photon-counting CT in cardiovascular imaging. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2021, 15(3): 218-225.
- [14] 陈海燕, 杨永波, 刘璐璐, 等. 光子计数探测器CT初步临床应用的研究进展. *中华放射学杂志*, 2022, 56(02): 213-216.
- [15] Flohr T, Petersilka M, Henning A, et al. Photon-counting CT review. *Phys Med*, 2020, 79: 126-136.
- [16] Sawall S, Amato C, Klein L, et al. Toward molecular imaging using spectral photon-counting computed tomography. *Curr Opin Chem Biol*, 2021, 63: 163-170.
- [17] 李晓光, 朱海清, 李振峰. 浅谈C臂类CT成像在介入放射学中的临床应用. *中外医学研究*, 2015, 13(19): 66-67.
- [18] Ji X, Feng M, Treb K, et al. Development of an integrated c-arm interventional imaging system with a strip photon counting detector and a flat panel detector. *IEEE Trans Med Imaging*, 2021, 40(12): 3674-3685.
- [19] Zhou W, Bartlett D J, Diehn F E, et al. Reduction of metal artifacts and improvement in dose efficiency using photon-counting detector computed tomography and tin filtration. *Invest Radiol*, 2019, 54(4): 204-211.
- [20] 马伟伟, 周子恩, 陈增爱, 等. 磁共振显微成像及其在生物医学中的相关研究. *中国医学计算机成像杂志*, 2015, 21(4): 404-407, 409.
- [21] 徐水红, 丁玲. 基于扩散磁共振的脑组织微结构成像研究综述. *中国生物医学工程学报*, 2021, 40(3): 354-363.
- [22] Chong A, Weinstein SP, McDonald ES, et al. Digital breast tomosynthesis: concepts and clinical practice. *radiology*, 2019, 292(1): 1-14.
- [23] 刘文霞, 林青, 崔春晓, 等. 数字乳腺断层合成摄影诊断乳腺癌放射病学的价值. *中华放射学杂志*, 2021, 55(5): 512-516.
- [24] Oel#39; Loughlin D, Oel#39; F, et al. Microwave breast imaging: clinical advances and remaining challenges. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2018, 65(11): 2580-2590.
- [25] Moloney BM, McAnena PF, Abd Elwahab SM, et al. Microwave imaging in breast cancer - results from the first-in-human clinical investigation of the wavelia system. *Acad Radiol*, 2022, 29 Suppl 1: S211-S222.
- [26] 秦巧娜, 郑剑, 魏. MRI及其联合在乳腺癌患者诊断效能比较. *中国CT和MRI杂志*, 2017, 15(6): 69-71+86.
- [27] Ulaner GA, Jhaveri K, Chandrappat S, et al. Head-to-head evaluation of (18)F-FES and (18)F-FDG PET/CT in metastatic invasive lobular breast cancer. *J Nucl Med*, 2021, 62(3): 326-331.
- [28] Chae S Y, Son H J, Lee D Y, et al. Comparison of diagnostic sensitivity of [(18)F]Fluoroestradiol and [(18)F]Fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography for breast cancer recurrence in patients with a history of estrogen receptor-positive primary breast cancer. *EJNMI Res*, 2020, 10(1): 54.
- [29] He S, Wang M, Yang Z, et al. Comparison of 18F-FES, 18F-FDG, and 18F-FMISO PET imaging probes for early prediction and monitoring of response to endocrine therapy in a mouse xenograft model of ER-positive breast cancer. *PLoS One*, 2016, 11(7): e0159916.
- [30] 牟安娜, 李霞, 姚鸿民. 18F-FDG PET/CT在评价肺癌分期和评估新辅助化疗疗效中的价值研究. *中国CT和MRI杂志*, 2019, 17(6): 44-48.
- [31] Torres Espallardo I. PET/CT: underlying physics, instrumentation, and advances. *Radiologia*, 2017, 59(5): 431-445.
- [32] 黄伟钦, 黄德天, 顾培培, 等. 空间自适应正则化的图像超分辨率重建算法. *小型微型计算机系统*, 2017, 38(6): 1398-1403.
- [33] Talapatra K, Majumder D, Chadha P, et al. Stereotactic body radiotherapy for lung tumors: Dosimetric analysis and clinical outcome. *Indian J Cancer*, 2018, 55(2): 170-175.
- [34] Pöös S, Bührer F, Mannweiler D, et al. Comparison of two elastic motion correction approaches for whole-body PET/CT: motion deblurring vs gate-to-gate motion correction. *EJNMI Res*, 2020, 7(1): 19.
- [35] 陈冲, 夏黎明. 积极稳妥地推进人工智能在医学影像的应用. *中华放射学杂志*, 2022, 56(1): 5-8.
- [36] 邱陈群, 黄志飞, 夏顺仁, 等. 人工智能在医学影像辅助诊断中的应用综述. *航天医学与医学工程*, 2021, 34(5): 407-414.
- [37] 刘再敏, 石镇维, 梁长虹. 推进联邦学习技术在医学影像人工智能中的应用. *中华医学杂志*, 2022, 102(5): 318-320.
- [38] 朱文珍, 胡琼洁. 人工智能与医学影像融合发展: 机遇与挑战. *放射学实践*, 2019, 34(9): 938-941.
- [39] 萧毅, 刘士远. 医学影像人工智能进入深水区的思考. *中华放射学杂志*, 2019, (1): 2-5.
- [40] Huber N R, Missert A D, Yu L, et al. Evaluating a convolutional neural network noise reduction method when applied to CT images reconstructed differently than training data. *J Comput Assist Tomogr*, 2021, 45(4): 544-551.
- [41] Maier J, Lebedev S, Erath J, et al. Deep learning-based coronary artery motion estimation and compensation for short-scan cardiac CT. *Med Phys*, 2021, 48(7): 3559-3571.
- [42] Bassett LW. Imaging of breast masses. *Radiol Clin North Am*, 2000, 38(4): 669-91, vii-viii.
- [43] 宋丽君, 张家君, 卢川. 乳腺影像报告与数据库系统临床应用进展. *中国医学影像技术*, 2017, 33(11): 1728-1731.
- [44] Bragg A, Candelaria R, Adrada B, et al. Imaging of noncalcified ductal carcinoma in situ. *J Clin Imaging Sci*, 2021, 11: 34.
- [45] He K, Gkioxari G, Dollár P, et al. Mask R-CNN. *IEEE trans pattern anal mach intell*, 2020, 42(2): 386-397.
- [46] Yu X, Kang C, Guttery DS, et al. ResNet-SCDA-50 for breast abnormality classification. *IEEE/ACM Trans Comput Biol Bioinform*, 2021, 18(1): 94-102.
- [47] Romeo V, Clauser P, Rasul S, et al. AI-enhanced simultaneous multiparametric (18)F-FDG PET/MRI for accurate breast cancer diagnosis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49(2): 596-608.

(收稿日期: 2022-02-10)

(校对编辑: 姚丽娜)