

射组学模型(0.812)相当,均显著优于临床模型(0.664)。放射组学特征与 CD8、PD-L1、CD45RO 等免疫细胞及 PD-L1 等标志物的细胞核形态特征呈中等至强相关。结论表明放射组学模型可有效预测 LAN-PC 免疫治疗反应与预后,其与病理特征的关联为模型提供了生物学依据,具有重要临床应用价值。

Fan 等探讨基于多模态功能磁共振体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)和动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)的瘤内及瘤周生境分析对鼻咽癌(NPC)患者长期生存的预测价值。前瞻性纳入 106 例 NPC 患者,基于 T<sub>2</sub>WI 勾画肿瘤并自动扩张 3 mm、5 mm、10 mm 3 个瘤周环并手动校正。

利用 IVIM 参数图的纯扩散系数(pure diffusion coefficient, D)、平均峰度(mean kurtosis, MK)及 ASL 参数图的血流量(blood flow, BF)进行影像生境分割分析,通过 Cox 回归分别构建瘤内、瘤周、临床及组合模型。结果显示瘤内具有高 D 值、低 BF 与低 MK 值特征的亚区,提示为放疗抵抗区域,且治疗失败患者该区域体积分数显著更高。3 mm 瘤周环带为最优代表区域(C 指数:OS 0.800, PFS 0.774),显著优于仅含临床因素的模型( $P \leq 0.03$ )。结论表明结合 IVIM 与 ASL 的生境分析能够无创地评估肿瘤异质性及瘤周微环境,提供重要的预后信息。

(收稿日期:2026-01-27 修回日期:2026-02-03)

## • RSNA2025 聚焦 •

### RSNA2025 心脏 CT 及 MRI

罗毅,包雨微,严祥虎,潘子怡,向春林,冉玲平,李浩杰,黄璐,夏黎明

**【摘要】** 2025 年北美放射学会(Radiological Society of North America, RSNA)年会心脏影像学领域呈现了丰富的学术内容,共收录近 160 篇摘要,主要围绕人工智能在心脏影像中的应用,心血管 CT 与 MRI 成像技术临床应用以及影像组学相关研究。本文旨在综述这些领域的最新进展,为心脏影像学研究者与临床医生提供前沿的学术动态和科研参考方向。

**【关键词】** 心脏;人工智能;冠状动脉;磁共振成像;体层摄影术,X 线计算机

**【中图分类号】** R322.11;R-05;R322.12;R445.2;R814.4 **【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1000-0313(2026)02-0129-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2026.02.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



#### 人工智能在心血管影像中的应用

##### 1. 人工智能在心脏 CT 中的应用

人工智能(artificial intelligence, AI)为冠状动脉 CT 成像(coronary CT angiography, CCTA)带来了多维度突破,显著改善了图像质量,拓展了适用人群并优化了诊断流程。

Colak 等提出的 AI 驱动运动补偿重建(motion compensation reconstruction, MCR)技术,可有效解决高心率、心律不齐患者的成像难题,将部分原本不可诊断的部位转为可诊断。在图像降噪方面, Brendlin 等证实 AI 去噪(AI denoising, AID)算法能显著增强光子计数探测器 CT(photon counting detector CT,

PCD-CT)图像的清晰度。Kilburg 进一步验证 AID 技术相较于量子迭代重建(quantum iterative reconstruction, QIR),能更有效提高超高分辨率(ultra-high resolution, UHR)CCTA 的图像质量。针对不同患者人群, Zhang 等的研究表明高强度深度学习图像重建(high-intensity deep learning image reconstruction, DLIR-H)在“低辐射、低对比剂、低注射速率”方案下可显著提升不同体质指数(body mass index, BMI)患者收缩期冠状动脉 CTA 的图像质量。Cheng 则针对肥胖患者优化了“100 kVp 自由呼吸+DLIR+运动冻结”方案,在保证图像质量的同时有效降低辐射剂量。

AI 通过优化重建算法和开发无创功能评估模型,提升了诊断准确性。Tomizawa 等研究表明超分辨率深度学习重建(super-resolution deep learning reconstruction, SR-DLR)相较于常规分辨率深度学习重建,能将基于 CTA 的血流储备分数(fractional flow reserve, CT-FFR)检测功能性狭窄的血管诊断准确率从 74% 提升至 85%。Zou 等证实 SR-DLR 在斑块体积

作者单位:430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介:罗毅(1986-),男,湖北利川人,硕士,主管技师,主要从事心血管 MR 成像新技术开发及临床应用。

通讯作者:夏黎明, E-mail: lmxia@tjh.tjmu.edu.cn

测量和狭窄检出方面优于传统迭代重建,能改善有造影的一致性。Gulli 和 Hajkhalil 的研究分别验证了 AI 驱动的 CT-FFR 模型在诊断病变特异性缺血和非侵入性 FFR 估算中的可靠效能,有助于减少不必要的侵入性操作。

AI 在冠状动脉钙化 (coronary artery calcification, CAC) 积分评估中既提升效能,也暴露出技术迭代中的潜在问题。Bukhari 发现 AI CAC 评分算法的 v1.4 版本虽提高了支架检测能力,但其评分普遍低于 v1.3 版本,可能导致心血管风险被低估,提示算法更新后需本地验证与持续监控。Jeong 的研究则凸显了 AI 在动态风险评估中的价值,证实 AI 驱动 CAC 增长评估与不良心血管事件密切相关,可作为肺癌筛查参与者的心血管风险预测工具。

AI 通过整合影像与临床数据,提供更精准的风险预测工具。Barr 的研究证实 CAC CT 衍生的 AI 心腔容积测量结合临床风险评分能显著提高心力衰竭 (heart failure, HF) 的预测准确性,其中左心房容积价值突出。Konstantin 的研究提示 UHR-CCTA 中低时间分辨率重建会系统性高估斑块负荷和狭窄程度,而 AI 技术有助于优化此类参数,降低评估偏倚。

## 2. 人工智能在 CMR 中的应用

AI 技术在心脏磁共振成像 (cardiac magnetic resonance, CMR) 的图像质量提升、流程加速、自动化分析及智能决策支持方面成效显著。

AI 有效解决了 CMR 图像质量受运动影响大、扫描时间长的问题。Makoto 验证了 2D 多节段延迟强化序列联合 AI 降噪算法的可行性,在缩短扫描时间的同时实现了准确的延迟强化检测。Adi Zehavi-Lenz 证实基于 AI 的运动校正技术可大幅提高屏气困难患者的 CMR 检查可靠性。Patricia 报道的基于深度学习的 CMR 重建技术实现了 12 倍加速,扫描时间减少 83%,且完全保持诊断完整性。Aziz-Safai 推出的基于深度学习的单搏 CMR 方案,将心肌病评估流程压缩至约 24 min。

AI 赋能的自动化分割技术实现了精准、可重复的心脏结构量化。Lee 开发的基于深度学习的 CT 分割迁移技术,创新性地实现了心脏内 4D 流 MRI 的准确分割与量化,无需额外采集电影序列,简化了流程并保证了一致性。

AI 模型在多个临床场景中推动决策精准化。Junyoeng Ko 开发的 1D-CNN 模型可基于左心室容积时间序列数据快速自动筛查射血分数保留型心衰 (heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF)。Crabb 开发的深度学习算法在识别心律失常性心肌病 (arrhythmogenic cardiomyopathy, ACM) 患者右心室

室壁运动异常方面表现优异。Wang 等的机器学习模型能有效预测心肌梗死 (myocardial infarction, MI) 患者发生主要不良心血管事件 (major adverse cardiovascular events, MACE) 的风险。Min 等的多中心研究证实结合先进提示工程技术的大型语言模型 (large language model, LLMs),能高效提取 CCTA 报告中的标准化成分,改善报告质量。

## 心脏 CT 成像临床应用

### 1. 冠状动脉 CTA 成像

Zhao 等评估的无心电门控 (electrocardiogram less, ECGless) 技术可在自由呼吸状态下获取高质量冠脉图像。Wang 进一步证实其在诊断梗阻性冠状动脉疾病 (coronary artery disease, CAD) 中与有造影高度一致,尤其适用于急诊或心律失常患者。Lu 等研究的二代运动校正算法 (spatial sharpness filter Level 2, SSF2) 进一步扩大了其在急诊评估中的应用。Xiao 等提出的三重优化方案 (80 kVp 扫描 + DLIR + 低碘注射) 实现了辐射剂量降低 51%、碘剂量降低 60% 的双重突破。Yuan 等的研究将低对比剂方案的适用范围拓展至广泛 BMI 和心率范围患者,对比剂用量可减少至 0.4 mL/kg。PCD-CT 和双能 CT 技术为斑块鉴别和管腔评估提供更精准工具。Dobrolinska 发现 PCD-CT 单能量重建可改善非钙化斑块鉴别。Halfmann 等证实 PCD-CCTA 测得的管腔结果与腔内光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT) 高度接近。Park 等评估的动态 FFR-CT 技术有助于检测血管痉挛性心绞痛。Demmert 等证实 CTA 对自发性冠状动脉夹层 (spontaneous coronary artery dissection, SCAD) 愈合的诊断准确率达 79%。Kim 的研究将 CT-FFR 整合入 CAD-RADS 2.0 系统,显著提升了缺血性病变的识别准确性。

### 2. 心肌 CT 灌注成像

联合诊断方案可显著提升 CAD 的诊断效能。Huang 等通过系统评价与网络 Meta 分析证实冠状动脉 CT 血管造影联合 CT 衍生血流储备分数和 CT 心肌灌注 (myocardial perfusion, CTP) 的综合诊断方案,在检测血流动力学冠状动脉疾病时表现出更优性能。Hu 等的研究聚焦低剂量“一站式”心肌 CT 灌注技术,证实该方案结合深度学习图像重建,可有效降低图像噪声并提高图像质量,证实其可同步提供冠脉解剖、左室功能、应变及灌注信息,提升了检查效率。

### 3. 左心房与左心耳 CT 成像

CT 技术在左心房、左心耳及卵圆孔相关病变诊断中的应用,凭借无创优势和精准效能,为临床筛查与风险分层提供了重要支撑。Tuo 等针对肺静脉 CT 血

管造影(pulmonary vein CT angiography, PVCTA)的延迟相位成像展开研究,发现 10 s 延迟相 PVCTA 在左心耳血栓诊断中表现突出,不仅显著提高了诊断的特异性和准确性,还完整保留了 100% 的敏感性。Xiong 等的研究证实冠状动脉 CTA 检测卵圆孔未闭(patent foramen ovale, PFO)具有高特异度,并可同步测量评估分流负荷,精准标记出易发生隐匿性卒中或偏头痛的高危患者,为临床制定针对性干预策略提供了数据支持。

#### 4. 光子计数 CT 成像进展

光子计数 CT 凭借超高分辨率和光谱成像优势,在冠状动脉斑块鉴别与管腔评估中实现精准突破。Dobrolinska 等发现 PCD-CT 的单能量重建技术可显著改善非钙化冠状动脉斑块的鉴别能力,其中脂质丰富斑块的独特亨氏单位光谱特征,为易损斑块的早期识别提供了关键依据。Moritz Halfmann 等进一步证实 PCD-CCTA 测得的冠状动脉管腔结果与冠状动脉内光学相干断层扫描高度接近。

PCD-CT 在冠状动脉支架评估和心肌细胞外容积(extracellular volume, ECV)定量方面的应用,为术后监测和组织病变评估提供了新工具。Hagar 等评估证实结合超高分辨率和光谱成像的 PCD-CT 可显著改善冠状动脉支架评估,55 keV 的虚拟单能量图像(virtual monoenergetic image, VMI)尤其是碘图(iodine map, IM),即使在较高心率下也能提供稳定一致的图像质量;其另一项研究还证实,基于 PCD-CT 合成血细胞比容的定量技术上可行,与 MRI 具有中等相关性,经偏倚校正后可减轻系统高估、改善一致性。Bao 的对比研究进一步验证了 PCD-CT 的 ECV 定量优势,其单相和双相 ECV 测量与 CMR ECV 显示出极好的相关性,且在高心率组中表现更优,为高心率患者的心肌纤维化评估提供了可靠选择。

PCD-CT 在心肌梗死定量和特殊体质患者适配方面的进展,进一步扩大了其临床适用范围。Doussineau 等评估证实双期钆对比剂适用于光谱光子计数 CT(spectral photon-counting CT, SPCCT)和 MRI 的心肌梗死定量,且 SPCCT 的空间分辨率优于 MRI,可提高成像染色准确性,为心肌梗死范围评估提供更精准的量化依据。Li 等的研究则聚焦静脉通路受限患者,证实 PCD-CT 中的超低对比度流速方案可保持与标准协议相当的客观图像质量,诊断性能可接受,为该类特殊人群提供了可行的检查选择。Gkizas 等比较证实,双源 PCD-CT 是 MRI 评估肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)的有前景非侵入性替代方案,其衍生的 ECV 定量分析可为 HCM 患者的风险分层提供增量价值,丰富了 HCM 的无创

评估手段。

### 心脏 MRI 成像技术临床应用研究

#### 1. 心肌应变与心功能评估

Mu 等研究发现心脏磁共振特征追踪(cardiac magnetic resonance feature tracking, CMR-FT)测得的左心房储备应变,在高血压性心脏病相关射血分数保留型心力衰竭(HFpEF)诊断中表现突出。Xie 等证实 CMR 分形分析的分形维数(fractal dimension, FD)对高血压心力衰竭具有独立预测价值。

Jiang 等证实 CMR 衍生的左心室整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)在非扩张型左心室心肌病(non-dilated left ventricular cardiomyopathy, NDLVC)中具有独立于左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)和晚期钆增强(late gadolinium enhancement, LGE)的增量预后价值,可精准识别高危患者。针对重度主动脉瓣狭窄患者, Jing 发现 CT 衍生的左心室三维最大主应变(maximum principal strain, MPS)对主动脉瓣置换术后不良心脏事件具有预后价值, Takagi 则证实 CT 衍生的 GLS 可独立预测该类患者的心力衰竭事件,提供超越传统生物标志物的增量价值。

Liu 等发现左室血流动力学功能(hemodynamic function, HDF)可以作为肥胖相关早期心肌功能受损的敏感工具。Wang 的研究证明了自由呼吸的 3D 电影在 0.6T MRI 中的可行性,其图像质量可接受,且能准确量化左、右心室参数,为低场强 MRI 的心功能评估提供了技术支撑。

2. 心肌定量( $T_1/T_2$ -mapping、 $T_1\rho$ 、ECV)  $T_1/T_2$ -mapping 技术的稳定性提升与正常参考值完善,为个体化诊断和细微病变检测奠定了基础。Alessio 等的研究证实心肌初始  $T_1$  值在不同加速和重建条件下保持稳定。Liu 等的研究完善了心室血液  $T_2$  值的正常参考范围。

Beissel 等证实心肌  $T_1\rho$  延长有助于急性心肌炎诊断。在预后评估方面, Ma 等研究发现  $T_2$  WI 右心室/左心室血池比值( $T_2$  比值)可作为新型心力衰竭风险分层生物标志物。Forouzannia 的 Meta 分析证实较高的 ECV 和初始  $T_1$  值与心脏淀粉样变性(cardiac amyloidosis, CA)患者较差的预后相关,且 ECV 的递增与死亡风险呈直接关联,为 CA 患者的风险分层提供了关键依据。

Zhang 等的研究证实心脏双层光谱探测器 CT 可对 CA 患者进行准确的心肌 ECV 定量,二者一致性良好,为有 MRI 禁忌症或需快速评估的患者提供替代方案。Qiao 等的研究则拓展了非对比定量技术的应用,

利用改良八分节段射血分数(modified octant ejection fraction, mOEF)定量 CMR 技术发现,缺血性心衰患者的 mOEF 降低且 ECV 升高,当 ECV 较高或 LGE 负荷较大时 mOEF 下降更明显,证实 mOEF 可作为评估缺血性心衰氧代谢与严重纤维化的重要补充指标,丰富了疾病评估的维度。

### 3.LGE

LGE 技术的方法学创新的核心是简化流程、缩短时间并保证检测准确性,适配更多临床场景。Ohta 等研究表明采用固定反转时间的合成 LGE 技术可获得与传统方法相当的定量结果,简化了流程。Makoto 验证的 2D 多节段 LGE 联合 AI 降噪,在缩短扫描时间的同时保证了准确性。

LGE 量化指标在多种心血管疾病的预后评估和 risk 分层中展现出关键价值,为治疗决策提供数据支撑。Tian 的研究提示将 CMR-LGE 量化的梗死负荷整合入 SYNTAX Score II 可改善对多支病变患者的 risk 预测。Tang 发现 LGE 快速进展是肥厚型心肌病患者不良事件的强预测因子。Lian 等发现透壁性纤维化模式和灰区纤维化是预测心脏性猝死的关键指标。

### 4.4D Flow 成像与灌注成像

4D Flow MRI 凭借精准的血流参数量化能力,在瓣膜病、肺动脉高压及先天性心脏病术后评估中展现出重要临床价值。Mori 评估 2021 年 FDA 批准的 Hamony TPV25 4D Flow MRI 发现,其测量的肺动脉瓣反流分数与右心室重塑改善、肺动脉扩张程度具有更强相关性,且可同步评估血管壁剪切应力(vascular wall shear stress, WSS),为肺动脉瓣反流的长期进展提供了潜在预测因子。针对肺动脉高压, Hayashida 的研究表明 4D Flow MRI 检测的肺动脉干及双侧主肺动脉绝对血流量、血管面积等参数,与平均肺动脉压(mean pulmonary arterial pressure, mPAP)显著相关,有助于依据 2022cESC/ERS 指南精准预测结缔组织病相关肺动脉高压(connective tissue disease-associated pulmonary hypertension, CTD-PHA)患者分组,为 risk 分层提供量化依据。在先天性心脏病术后评估中, Crabb 的研究发现右心室流出波形的延迟达峰时间,与大动脉右旋转位动脉调转修复术后患者的新肺动脉狭窄严重程度密切相关,可作为狭窄严重程度的无创替代标志,减少有创检查需求。

心肌灌注定量技术的创新与优化,提升了灌注评估的可行性和预后价值,适配更多临床场景。Kwan 的对比研究显示双序列应激的心肌血流量(myocardial blood flow, MBF)和心肌灌注储备(myocardial perfusion reserve, MPR),其预后能力显著优于双推注应

激方案,为心肌灌注评估的技术选择提供了循证依据。Maya 的研究进一步拓展了灌注定量的应用范围,证实单次推注离线 MBF 定量技术可行,无需复杂操作即可识别心肌灌注储备差异,尤其适用于有残余血管舒张作用或心肌疤痕的患者,简化了临床评估流程。

### 5.DWI 和 DTI 以及 MRS 成像

心脏 MRI 的弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)与磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)技术,在心肌微结构评估、纤维化检测及代谢分析中实现了精准突破,为相关疾病的无创诊断提供了新工具。Ikeda 的评估证实结合加速运动补偿梯度和扩散加权成像定位像的心脏扩散张量成像(cardiac diffusion tensor imaging, cDTI),展现出强大的心肌微结构识别能力-即便在 LGE 的情况下,仍能精准区分各种非缺血性心脏病的心肌微结构改变差异,填补了无明显瘢痕时心肌病变评估的空白。Ruan 等的研究则推动了缺血性心脏病的纤维化评估,证实心肌 T<sub>1</sub>-mapping 联合运动校正扩散加权成像(motion-corrected diffusion-weighted imaging, MoCo cDWI)可有效识别心肌梗死患者的“灰色区域”,为评估弥漫性心肌纤维化提供了全新的无创、定量且无需对比剂的技术方案,避免了对比剂相关风险,提升了评估的安全性与便捷性。

在心肌代谢评估领域, Shiotani 采用 MRS 的 LC 模型展开分析,证实该模型能够详细解析 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)患者的心肌脂质代谢状态,其中细胞内脂质比值(intracellular lipid ratio, ICR)具有卓越的诊断准确性,为糖尿病相关心肌病变的早期识别与机制研究提供了精准的代谢量化依据。

### 6.其他

MRI 技术在多种罕见病、遗传性疾病及自身免疫性疾病的心脏受累评估中,提供了关键诊断与 risk 分层依据。Pennig 的 CMR 评估发现,二尖瓣环分离(mitral annular disjunction, MAD)在 Marfan 综合征(Marfan syndrome, MFS)中极为常见,且主要累及下位点,其定位和范围与左室扩张、功能障碍及二尖瓣脱垂(mitral valve prolapse, MVP)存在显著相关性,为 MFS 的心脏并发症评估提供了特异性指标。Mota 的研究针对二叶式主动脉瓣(bicuspid aortic valve, BAV)患者,发现即便升主动脉直径匹配,该类患者仍存在主动脉长度增加、A:D 比和瓣环角减小等独特形态改变,这些额外形态测量对 BAV 相关主动脉病变的评估具有重要价值。Proff 的两项多参数 CMR 研究均聚焦自身免疫性疾病:其一证实初步诊断为巨细胞动脉炎(giant cell arteritis, GCA)的患者存在亚临

床心脏受累,表现为活动性炎症、缺血后瘢痕及心肌纤维化,心肌 T1 值和 ECV 可作为早期心脏受累的敏感无创标志物;其二发现急性心包炎患者初次诊断时心尖基部血流动力降低,与长期心脏并发症风险增加独立相关,为预后判断提供了量化指标。

Kravchenko 的评估证实,CAR-T 疗法相关低度细胞因子释放综合征(cytokine release syndrome, CRS)患者,在基线至急性 CRS 期及后续随访中,多参数 CMR 未显示显著心肌变化,为 CAR-T 疗法的心脏安全性提供了有力佐证。Li 等的研究证实氧敏感 MRI(oxygen-sensitive MRI, OS-MRI)可精准识别心脑氧储备降低的心力衰竭患者,且氧储备受损与认知功能下降相关,为多器官整合治疗策略提供了技术支持。Zehavi-Lenz 的研究验证了基于 AI 的运动校正技术的价值,该技术可显著提高 CMR 的可靠性,尤其适用于无法屏气的患者,解决了此类人群的成像难题。Bedaya 总结大型三级中心 10 年经验发现,通过标准化流程与多学科协作,可大幅扩大植入式心脏器械人群的 MRI 检查可及性,且未发生重大不良事件,为植入式心脏器械患者的 MRI 评估提供了安全保障。

MRI 结合多学科技术,为探索心血管疾病的病理生理机制提供了深度视角。Yang 整合定量 CMR 与转录组学、线粒体分析,发现产前合成糖皮质激素(synthetic glucocorticoids, sGC)暴露会通过协调线粒体损伤、转录组重编程和左心室重塑,导致老年雄性狒狒出现持续心功能障碍,清晰揭示了早期暴露与远期心脏损伤的关联机制。这一研究将影像学表型与分子机制相结合,为理解疾病发生发展的深层逻辑提供了范例。

## 影像组学

影像组学结合临床或多模态数据,在预后预测、风险分层和疾病鉴别中展现出超越传统方法的潜力。

影像组学结合临床变量或多模态指标,在心血管疾病预后预测与风险分层中展现出显著优势,超越传统评估方法。Lei 等开发的整合影像组学与临床特征的模型,在预测房颤消融术后复发方面表现优异,曲线下面积(area under the curve, AUC) 达 0.884,性能优于单一模型,为术后个体化随访提供了可靠工具。Gabrielle 的评估证实基于可解释人工智能的机器学习模型结合 CT 和临床变量,预测主要不良心血管事件的准确性良好,显著优于传统临床风险评分和单独的冠状动脉钙化评分。Ding 等的研究进一步优化了

预测方案,证实 CT 衍生血流储备分数联合病变特异性脂肪衰减指数,对冠心病患者 MACE 的预测价值更高,各向异性分数(fractional anisotropy, FA) 相较于单独使用 CT-FFR 具有增量预后价值(AUC = 0.854)。Chiara 的研究则聚焦重度主动脉瓣狭窄患者,证实 CT 衍生的 ECV 能在超声心动图分类基础上进一步改善风险分层,凸显间质纤维化在决定患者预后中的关键作用。

机器学习与影像组学技术有效解决了传统影像学在病因鉴别、病变精准检测中的难题,提升了诊断特异性。Liu 等基于心肌超声影像组学特征开发的 Light GBM 算法,可精准鉴别左心室肥厚的常见病因(肥厚型心肌病、高血压性心脏病、尿毒症心肌病、心脏淀粉样变性),成功弥补了传统超声诊断的不足。Su 等开发的 ML 模型,利用 CMR 衍生的分层特异性心肌应变,在区分急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)和急性心肌炎(acute myocarditis, AM)方面具有较高准确性,为临床易混淆疾病的鉴别提供了新路径。Chen 开发并验证的基于 CCTA 的全自动深度学习模型可实现冠状动脉斑块的精准检测和量化,与专家阅片结果及血管内超声检查结果高度一致,且对未来不良心脏事件具有预后价值。Hajkhalil 的评估证实,基于深度学习的 CorEx 模型在非侵入性 FFR 估算中表现出中等至良好的诊断效能,有助于识别显著冠状动脉病变,减少不必要的侵入性操作;Wasmer 则证实,PCD-CT 结合在体 CT-FFR 分析是无创评估支架内再狭窄的可行方法,具有良好诊断潜力(需个体化解读和阈值优化)。

影像组学的技术适配与流程优化,为其临床转化提供了关键支撑,既保障特征完整性,又提升检查效率。Andreas 的研究证实融合临床数据与光谱 PCD-CT 放射组学,有望改善急性冠状动脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)患者 CT 后的分层,优化导管室分流决策,提升临床处置效率。Durga 的试点研究评估发现,深度学习重建方法(如 SmartSpeed)可在提高信噪比的同时不改变空间分辨率,有效保持大多数影像组学特征的完整性,尤其对形状和一阶指标的保留效果显著,为影像组学分析的技术标准化提供了依据。Thekla 验证的深度学习原型算法实现了自动、在线心脏 MRI 切片定位,85%以上影像可直接诊断,人工调整后能进一步提升定位质量与一致性,大幅减轻了医师工作负荷,优化了检查流程。

(收稿日期:2026-01-21 修回日期:2026-01-27)