

RSNA2022 心脏 CT 及 MRI

赵赞,冉玲平,李浩杰,杨朝霞,乔金晗,温金扬,罗毅,向春林,唐媛媛,严祥虎,朱桐,黄璐,夏黎明

【摘要】 2022 年 RSNA 大会中关于心脏影像学方面的研究热点主要包括以下几个方面:①人工智能在冠状动脉 CTA 及 MRA 中的应用;②影像组学;③光子计数探测器 CT 成像技术;④非对比增强心脏磁共振成像;⑤冠状动脉周围脂肪组织定量评价;⑥心脏磁共振新技术。本文针对以上内容进行综述。

【关键词】 心脏;人工智能;影像组学;光子计数探测器;磁共振成像;体层摄影术,X 线计算机

【中图分类号】 R541;R445.2;R814.42 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2023)01-0014-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.01.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



2022 年 RSNA 心脏影像学内容丰富,本文从人工智能在冠状动脉 CTA 及 MRA 中的应用、影像组学、光子计数探测器 CT 成像技术、非对比增强心脏磁共振成像、冠状动脉周围脂肪组织定量评价及心脏磁共振新技术等方面对影像学研究热点和进展进行阐述。

人工智能在冠状动脉 CTA 及 MRA 中的应用

近年来,人工智能逐渐应用于心血管成像领域。冠状动脉计算机断层血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)是一种简单、无创的冠脉成像方式,是辅助冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD)诊断和预测的重要检查手段。超分辨率深度学习重建(super-resolution deep-learning reconstruction, SR-DLR)最近被应用于常规临床实践中,它可以最大限度地提高区域探测器 CT 的空间分辨率,但又不会降低对比度检测能力或增加辐射剂量。Nagayama 等评估 CAD 患者 CCTA 中 SR-DLR 的图像质量,发现 SR-DLR 显著提高了阻塞性 CAD 患者 CCTA 的主、客观图像质量和诊断信心。SR-DLR 在提高空间分辨率的同时降低了噪声和晕状伪影,从而可以准确评估阻塞性 CAD 患者的 CCTA 图像。同时,新型 SR-DLR 算法能减少支架引起的线束硬化伪影,改善冠状动脉支架评估。Ohno 等研究发现,与混合型和基于模型的迭代重建及体内外深度学习相比,SR-DLR 在提高冠状动脉狭窄评估准确性、图像质量和狭窄置信度方面具有一定潜力。

修复后的法洛四联症(repaired tetralogy of Fal-

lot, rTOF)患者经常因肺动脉瓣返流而出现右心室(right ventricle, RV)功能障碍。然而,一些患者也可能出现左心室(left ventricle, LV)功能障碍。Crabb 等试图应用左心室局部应变是否可以敏感地检测出该患者的左心室功能障碍,结果发现在 rTOF 患者中, LV 区域力学的全自动深度学习(deep learning, DL)分析可以检测早期 LV 功能障碍,并可能补充 RV 指标,以帮助指导瓣膜置换术的时间。

Ahmed 等应用基于专用卷积神经网络(convolution neural network, CNN)的单源和双源 CCTA 进行运动校正,发现所提出的 CNN 可以减少运动伪影并显著改善图像质量,且两位评分者一致性较高。CNN 可以提高单源 CT 的时间分辨率,使其更接近双源 CT,同时进一步提高双源 CT 的时间分辨率。

Choi 等在癌症患者的非心电门控胸部 CT 上评估基于 DL 全自动冠状动脉钙化(coronary artery calcium, CAC)评分软件的临床可行性,发现目前基于 DL 的自动 CAC 软件对 Agatston 评分和心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)风险分层显示出良好的可靠性,并可以识别 CVD 的高危癌症患者。

Wu 等基于 DL 联合压缩感知(compressed sensing, CS)下使用加速全心改良 DIXON 冠状动脉磁共振血管造影(magnetic resonance angiography, MRA),显著缩短了采集时间。与 CS 和常规方法相比,图像质量有所提高,并且可以提供额外的脂肪信息,这可能成为增强冠状动脉 MRA 临床工作流程的可行替代方案。

影像组学

影像组学可以从大量影像信息中挖掘、提取并分析纹理特征,构建模型预测疾病状态及临床结局,在心

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:赵赞(1999—),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事心脏磁共振成像诊断和研究工作。

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

脏 CT 及 MRI 领域得到初步探索,尤其应用在冠状动脉斑块及周围脂肪组织的影像学特征提取。Zhu 等研究发现基于 CCTA 的斑块影像组学特征在预测冠状动脉斑块进展方面优于传统参数,影像组学特征和传统斑块参数的结合进一步提高了其预测能力。

Ren 等探讨 CCTA 提取的放射学特征无创性鉴别慢性完全闭塞与次全闭塞可行性,发现基于闭塞段放射学特征构建的模型可以对两者进行有效区分,为预测手术难度提供可靠的信息。

Jing 等在探讨基于冠状动脉周围脂肪组织(pericoronary adipose tissue, PCAT)放射组学构建急性冠状动脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)预测模型的临床价值,发现 PCAT 放射组学构建的预测模型可以有效预测患者 ACS 的临床风险。PCAT 放射组学特征可以帮助无创识别有 ACS 风险的患者,从而为早期临床预防提供方向。Shang 等研究 PCAT 影像组学在预测 ACS 患者主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)中的作用,基于多血管疾病和 PCAT Radscore 的 COX 比例风险回归模型对 ACS 患者复发的 MACE 具有良好的预测能力,可以为 PCAT 的病理生理变化提供更多的预测信息,这些变化可能与 ACS 患者的临床结局密切相关。PCAT 影像组学具有早期发现高危 ACS 患者并进行风险分层的潜力,从而指导临床选择合适的治疗策略。

Secchi 等评估基于非增强 CT 量化的心外膜脂肪组织(epicardial adipose tissue, EAT)影像学特征预测 CAD 的能力,研究发现 EAT 的影像学特征可能有助于通过评估钙化积分来预测 CAD 的存在。

Li 等研究双能 CT 衍生碘叠加图的影像组学在心房颤动患者左心耳血栓检测中的应用,发现与常规对比增强 CT 相比,碘叠加图的影像组学表现更好,对于房颤患者准确检测血栓形成具有重要意义。

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)患者心肌易发生进行性纤维化,在终生随访期间需要反复进行增强心脏磁共振以检测纤维化。Pu 等开发了一个基于电影成像的实用模型,融合整个左心室心肌图像特征,以帮助识别纤维化高风险患者并筛查没有纤维化的患者,从而避免不必要的对比剂注射。

光子计数探测器 CT 成像技术

近年来,光子计数探测器 CT(photon-counting detector CT, PCD-CT)技术日渐成熟,相较于传统 CT,PCD-CT 能够在保证图像质量的同时降低噪声和辐射剂量。Griffith 等发现与传统能量积分探测器 CT(energy-integrating-detector CT, EID CT)相比,

PCD-CCTA 可以显著提高图像信噪比,有望转化为临床优势,包括低剂量扫描或改善冠状动脉疾病的检测。Petritsch 等也提出,PCD-CT 和超锐卷积核的组合在相同甚至更低的噪声水平下,提供了更好的支架内管腔可见度和主观图像质量,能够提高对冠状动脉支架以及潜在支架内再狭窄的评估。

PCD-CT 的高分辨率与高能量的虚拟单能图像(virtual monoenergetic images, VMI)的联合使用,可以减少模型和标本钙化斑块的膨胀伪影。McCollough 等基于双源 PCD-CT 研究其对冠状动脉管腔狭窄百分比视觉估计的影响,发现 PCD-CT 分辨率提高和 100KeV VMI 的晕状伪影减少,从而更好地进行狭窄程度评估。Zsarnoczay 等研究也发现,光谱重建可用于提高 CCTA 狭窄定量的准确性,因此有可能减少不必要的侵入性冠状动脉造影。

Mergen 通过 PCD-CT 获得的心脏晚期增强扫描虚拟非碘重建图像,评估主动脉瓣、二尖瓣环和冠状动脉中定量钙化的准确性,通过 PCD-CT 获得的晚期增强光谱心脏扫描的虚拟非碘重建能够准确定量主动脉、二尖瓣和冠状动脉钙化,从而降低辐射剂量。

Emrich 等使用动态循环模型研究临床 PCD-CT 系统上 CCTA 中减少碘对比剂的应用。在双源 PCD-CT 系统上使用 40keV 的 VMI 重建,对比剂浓度可降低 50%,以获得动态血管体模中 CTA 的诊断衰减和客观图像质量,可能提高检查的安全性。

Mergen 等评价超高分辨率(ultra-high-resolution, UHR)CCTA 联合 PCD-CT 在高冠状动脉钙化负荷患者中的可行性和质量,发现使用 Bv64 内核、200mm×200mm 的 FOV 和 512 矩阵可实现最佳的冠状动脉斑块表征。在冠状动脉钙负荷高的患者中使用 UHR 模式和 PCD-CT 可获得出色的 CCTA 图像质量。Heidenreich 等基于专用重建内核评估超高分辨率 PCD-CCTA 评估支架内再狭窄,可提供卓越的图像质量和显著增强的分辨率,从而显著增强支架内狭窄的评估。

非对比增强心脏磁共振成像

1. 心肌应变

心肌整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)、环向应变(global circumferential strain, GCS)以及径向应变(global radial strain, GRS)可以定量评价左心室局部以及整体的功能障碍,常被应用于评价早期心肌功能损伤。Ref 等在猪模型上测量局部室壁应变对收缩功能障碍的预测能力,对冠状动脉供血区域进行局部性分析,研究提供了前降支(left anterior descending, LAD)闭塞后 LAD 和左旋支(left circum-

flex, LCX) 区域的预期变化。研究发现 LCX 区域应变的变化比 LAD 区域减少 8.5%。右冠状动脉(right coronary artery, RCA) 区域的应变值在 GLS 上有显著变化,而在 GCS 和 GRS 上无显著变化。这种不良的 RCA GLS 值归因于一种代偿性现象, RCA 区域弥补了 LAD 心肌纤维的不足。局部心肌应变的临床前测量可以在猪模型中作为心衰结果的预测指标。

心室整体收缩功能是 rTOF 不良事件的既定影像学预测指标,但心肌形变测量的价值尚不明确。Thomas 等通过心血管磁共振测量心肌应变,在高危人群中,双心室应变异常与 MACE 相关。与常规磁共振指标相比,应变在预测 rTOF 晚期恶化方面可提供增量价值。

Deng 等通过心脏磁共振特征追踪(cardiac magnetic resonance feature tracking, CMR-FT) 技术评估轻链型心肌淀粉样变(light-chain cardiac amyloidosis, AL-CA) 患者的左心室舒张功能, CMR-FT 应变分析得到的左心室舒张早期整体纵向应变率和左房储备射血分数在预测 AL-CA 全因死亡率中具有重要意义。

Sinha 等应用 CMR 参数和应变分析评估风湿性二尖瓣狭窄患者中左室心肌的不良重构,研究发现几乎所有接受 CMR 检查患者的纵向应变值减低,纵向应变与射血分数呈较强的正相关关系($r=0.83, P<0.001$),提示不良的心脏重塑及功能障碍。

以蒽环类药物为基础的全身化疗方案会对心脏产生短期和长期的毒性作用。Chen 等利用 CMR-FT 研究基于顺铂的系统化疗所致睾丸癌长期存活者心肌应变的变化。发现睾丸癌幸存者的心肌变形显著恶化,以顺铂为基础的化疗对双室收缩功能有晚期不良影响。双室 GCS 可能是保证射血分数保存的潜在代偿机制,可用于监测顺铂化疗前、中、后的心功能。

Erley 等通过测定整体以及区域性心肌应变监测 ST 段抬高性心肌梗死(ST-elevation myocardial infarction, STEMI) 急性期至慢性期变化,并确定其预测晚期钆增强(late gadolinium enhancement, LGE) 的能力。研究发现从急性到慢性 STEMI 心肌应变有所改善,但 LGE 阳性区域节段心肌应变持续受损,可以确定 STEMI 后存在心肌功能的损伤以及修复。其中,环向应变能够用以预测 STEMI 后的 LGE 病灶。

Ming-Yen Ng 等通过心脏磁共振研究射血分数保留型心力衰竭(heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF) 诊断,相比于相位对比成像、tagging 和细胞外体积分数,基于 CMR-FT 的舒张早期径向应变率、收缩期径向应变率和环向应变更加具有识别 HFpEF 的潜力。

2. T_1/T_2 -mapping

Wang 等基于右心室前插入部和下插入部初始 T_1 值对肺动脉高压患者进行危险分层,初始 T_1 值和基于 CMR 的心功能参数的组合模型可以补充 PAH 患者危险分层的评估。另外,右心室前插入部 native T_1 -mapping 和主肺动脉/主动脉直径比值的联合模型有望预测 PAH 患者的治疗效果。

Cundari 等在应用心肌初始 T_1 和 T_2 -mapping 在鉴别急性心肌炎(acute myocarditis, AM)、急性心肌梗死和应激性心肌病(Takotsubo syndrome, TTS) 诊断效能发现无对比剂原始 T_1 和 T_2 -mapping 在识别急性心脏疾病,以及 AM 与心肌梗死或 TTS 之间的鉴别中发挥作用。与整体 T_1 、 T_2 值相比, T_1 、 T_2 最大值及平均值表现出更高的诊断效能。

T_2 -mapping 对血氧水平敏感, Halfmann 等提出的 RV/LV T_2 比值与 6 分钟步行试验结果紧密相关,并且能够独立预测心衰患者的运动能力和运动后呼吸困难的存在。这是运动能力的一个标志。

Jia 等利用 CMR 成像参数显示心肌异常和慢性肾脏病(chronic kidney disease, CKD) 严重程度之间的关联,研究发现初始 T_1 、 T_2 值与 CKD 分期相关。此外, CMR 参数表明血液透析可以改善心肌水肿,但不能改善心肌纤维化。非对比增强 CMR 可以无创评估 CKD 患者心脏病理变化,以预防 CVD 早期发生。

3. 4D 血流成像

Ming-Yen 等利用心室内四维血流相位对比磁共振成像(four-dimensional flow magnetic resonance imaging, 4D flow MRI) 对 HFpEF 患者进行评估,发现 4D flow MRI LV 直接流、延迟流和停滞流在区分 HFpEF 和非 HFpEF 患者方面显示出良好的效果,其中停滞流评价效果最佳。

4. MRS

Fabry 病的特征是 α -半乳糖苷酶 A 缺乏引起的鞘脂沉积,心脏受累对发病率和死亡率至关重要。因此,心肌鞘脂沉积的测量对于评估早期心脏受累和酶替代治疗的指征非常重要。Shiotani 等使用单屏气¹H-MR 波谱中的疾病特异性峰评估 Fabry 病患者心肌受累的新型代谢成像生物标志物,研究发现 3.5 ppm 的 MRS 峰与鞘脂 Lyso-GB3 有关,可作为疾病特异性成像生物标志物,可用于直接定量常规 MRI 序列之外的 Fabry 病心肌鞘脂积累,对于评估早期心脏受累、疾病严重程度和酶替代疗法适应症具有重要意义。

冠状动脉周脂肪组织定量评价

近年来 PCAT CT 衰减成为识别冠状动脉炎症和

潜在斑块不稳定性的工具,对周围脂肪密度的三维映射,特别是右冠状动脉近端周围区域,已经显示出预测 CAD 患者不良心血管结局的潜力。主动脉狭窄患者合并 CAD 十分常见,PCAT CT 是否能在接受经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)的主动脉狭窄患者中发挥类似的作用仍有待探索。Martin 等测定 RCA 近端周围感兴趣区内的平均衰减,发现与狭窄程度和冠状动脉钙化评分(coronary artery calcium score, CACS)相比, TAVR 术前 PCAT CT 是 MACE 的更好预测指标。因此, PCAT CT 可提高识别严重 CAD 患者的特异性,并减少额外的检查。

冠状动脉炎症的检测和量化可能有助于 CAD 患者的早期风险分类,甚至可能有助于预测冠状动脉斑块的进展。Jing 等基于 CCTA 测量 CAD 患者中冠状动脉粥样硬化斑块周围脂肪组织在不同斑块类型之间的差异,发现脂肪衰减指数(fat attenuation index, FAI)和 HU 值等 PCAT 特征在钙化斑块、非钙化斑块和混合斑块中具有差异,可以无创准确评估冠脉炎症,有助于临床预防 CAD,改善患者预后。此外,他还发现冠状动脉斑块和斑块周围脂肪组织的 CT 衰减与斑块的类型、位置和体积有关,可作为监测斑块发展和易损性的临床影像学标记物。

Jing 等测定急性冠脉综合征和稳定性冠状动脉疾病患者中 PCAT 之间的差异,发现 ACS 组 FAI、PCAT 的 90 百分位数、第 10 百分位数和 HU 值中位数均高于稳定 CAD 组患者,PCAT 的定量参数可能成为一种新的、无创的临床影像学指标,用于血管炎症引起的 ACS 患者的早期识别和预测。

Azhe 等通过磁共振灌注成像分析川崎病患者 PCAT CT 衰减与冠状动脉瘤(coronary artery aneurysms, CAA)和心肌灌注的关系。与无 CAA 的川崎病患者及正常对照组相比,川崎病伴 CAA 患者的 PCAT CT 衰减增加。CAA 的存在是 PCAT CT 衰减的独立预测因子。川崎病患者的 PCAT CT 衰减与心肌灌注功能有关。CAA 川崎病患者 PACT CT 衰减增加提示持续性冠状动脉炎症反应,可能影响心肌灌注。

心脏磁共振新技术

Chen 等将二阶血流补偿弥散和计算机化 DWI 相结合,无需外源性对比剂应用,研究其识别心肌梗死的价值,发现两者结合可获得更高的 b 值心脏 DWI 图像,从而提高心肌梗死的检出率,在没有外源性对比剂的情况下提高其他微观结构重构的检出率。

Kravchenko 等比较 CMR 自由呼吸(free-breath-

ing, FB)多层呼吸触发伪黄金分割角稳态自由进动电影序列与标准屏气(breath-hold, BH)序列在先天性心脏病呼吸暂停困难患者中的应用,FB 序列在心室容积测量和功能方面与目前可用的 BH 序列结果几乎一致。当屏气受到限制时,FB 序列能够提供一种可替代的方案。

左心房肌病(left atrial myopathy, LAM)的血流动力学改变可能导致血栓形成和脑血管栓塞,从而导致无症状性脑梗死(silent cerebral infarcts, SCI)。4D flow MRI 能够量化左心房(left atrium, LA)和左心耳的血流动力学改变,作为 LAM 的标志性指标。Pradella 等利用 4D flow MRI 技术研究发现,年龄和左心耳峰值速度与 SCI 独立相关。以体积为基础的 LA 参数,如最大/最小体积或左房射血分数与 SCI 无关。这些发现表明,基于流量的 LA 测量可能优于基于体积的 LA 测量。

胸主动脉瘤常见于三叶主动脉瓣(tricuspid aortic valves, TAV)患者的主动脉根部和升主动脉,主动脉血流动力学的改变与动脉瘤的形成相关。Juffermans 等利用 4D Flow MRI 主动脉根部瘤和升主动脉瘤的血流动力学特征,与无动脉瘤的患者相比,主动脉根部瘤或升主动脉瘤的患者表现出两种不同的血流动力学特征。主动脉根部瘤患者的左心室每搏输出量显著增加,而升主动脉瘤患者的标准化血流位移、射流角和剪切角显著增加。

尽管体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)磁共振成像已成为微血管功能障碍的体内标志,但其在预测 HCM 患者预后方面的作用尚不清楚。Xiang 等基于 IVIM 评价的微血管功能障碍与 HCM 患者的不良临床预后相关,IVIM 衍生的 D* 值和 f 值是除 LGE 外的独立预测因子,为在常规实践中使用非对比剂增强 IVIM-MRI 辅助评估微血管功能障碍提供了依据。

心肌内出血(intramyocardial hemorrhage, IMH)的检测和定量已被确定为心肌梗死(myocardial infarction, MI)患者管理的基本生物标志物。定量磁敏感 mapping 成像(quantitative susceptibility mapping, QSM)是脑组织铁成像的标准。然而,其应用于心脏存在很多的技术限制,如成像过程中的心跳及呼吸运动、心脏内 B0 场强烈的不均匀性,以及出血性病变中高浓度铁聚集引起的条纹伪影,使它在心脏中的应用一直具有挑战性。Huang 等开发了一种高动态范围重建算法,自由呼吸下进行心脏定量磁敏感成像量化再灌注损伤心肌内铁沉积,为心脏铁定量提供了一种可靠的方法。

(收稿日期:2023-01-02)