



• RSNA2018 聚焦 •

RSNA2018 心脏 MRI 及 CT

杨朝霞, 冉玲平, 詹晨奥, 李浩杰, 赵培君, 乔金吟, 黄璐, 夏黎明

【摘要】 2018 年 RSNA 关于心脏 MRI 及 CT 方面研究的热点和重点主要包括以下几个方面:

1. 心肌病的诊断; 2. MRI 及 CT 在冠状动脉疾病诊断及预后的应用; 3. 心律失常的诊断; 4. 心脏瓣膜成像; 5. 肿瘤治疗相关心脏毒性的早期检测; 6. 人工智能在心血管 CT 及 MRI 中的应用; 7. MRI 及 CT 新兴技术的研究。与 2017 年相比, 2018 年关于人工智能方面的研究有所增多, 本文对以上内容进行综述。

【关键词】 心脏; 体层摄影术, X 线计算机; 磁共振成像; 心肌病; 冠状动脉疾病; 心律失常; 心脏瓣膜成像; 肿瘤治疗; 心脏毒性; 人工智能; 卷积神经网络; 机器学习; 影像组学

【中图分类号】 R814.42; R445.2; R541; R543 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2019)02-0117-06

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.02.001

心脏 MRI 及 CT 在心肌病中的应用

1. 非缺血性心肌病

肥厚型心肌病 (hypertrophic cardiomyopathy, HCM) 是最常见的心肌病之一。有研究发现 HCM 有一个限制性表型的亚型, Li 等研究该亚型的发病率、心脏磁共振 (cardiac magnetic resonance, CMR) 特征及预后发现, 限制性 HCM 表现为充盈受限与舒张末期体积减低, CMR 特征包括轻到中度的左室肥厚、心房显著扩大、心室体积正常或减小、心包积液以及大范围的心肌延迟强化 (late gadolinium enhancement, LGE)。这类患者临床症状严重, 预后差, CMR 对这类亚型具有较高的诊断价值, 有助于临床评估患者预后。Amano 等研究心肌 LGE 的纹理分析特征发现, HCM 合并室性快速型心律失常的心肌 LGE 熵值较低, 提示在微观上存在更少的心肌纤维化。

Xu 等发现 CMR 组织特征追踪技术 (feature tracking CMR, FT-CMR) 可检出左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) 正常的左室致密化不全 (left ventricular noncompaction, LVNC) 患儿的早期心肌形变, 而早期临床干预可能对 LVEF 功能下降和心肌形变有重要意义。Gong 等使用 CMR 的

分形分析结果识别和进一步区分孤立性左室致密化不全 (isolated left ventricular noncompaction, IVNC) 与扩张型心肌病 (dilated cardiomyopathy, DCM) 发现, 分形分析能定量测量左室非致密化心肌的程度, 对于病理性非致密化心肌及正常肌小梁有一定的鉴别价值。

致心律失常性右室心肌病 (arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy, ARVC) 的早期诊断与可能发生恶性心律失常密切相关。Bourfiss 等发现初始 T_1 -mapping 能通过局部 (下侧壁及下壁) 的 T_1 从右室流出道室速对比组中区别 ARVC 患者及相对高风险患者。

糖尿病心肌病的 CMR 研究也是热点。Zitzelsberger 等采用 CMR 评估普通人群中糖尿病前期、糖尿病患者和正常对照组心肌的二维应变差异发现, 基于 CMR 的应变成像能够检测糖尿病前期患者心脏功能的早期变化, 而这些变化在治疗良好的糖尿病患者中未发现, 因此, 应考虑在糖尿病早期给予治疗以降低糖尿病心肌病的发生率。Zhu 等通过 2D/3D CMR 组织追踪法 (tissue tracking, TT) 发现, 伴有孤立性舒张功能障碍 (diastolic dysfunction, DD) 的自发性 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 恒河猴的左心室收缩和舒张应变均受损, 与人类 T2DM 的心脏改变相似。2D CMR-TT 所测的周向收缩期峰值应变和应变率在评估早期糖尿病性心肌病的心肌收缩和舒张功能方面是可行的, 较 3D CMR-TT 具有相对高的可重

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: 杨朝霞 (1993-), 女, 四川巴中人, 硕士研究生, 主要从事心血管及胸部影像诊断工作。

通讯作者: 夏黎明, E-mail: cjr.xialiming@vip.163.com

基金项目: 国家自然科学基金 (81873889)

复性。Kang 等研究无症状 T2DM 患者隐匿性心肌瘢痕(occult myocardial scar,OMS)在对比增强 CMR 中的检出率,并评价该检出率与对比增强冠状动脉 CT 血管成像(coronary artery CT angiography,CCTA)检出的冠状动脉粥样硬化的关系发现,7.1%的无症状 T2DM 患者经 CMR 确定为 OMS,OMS 患者中梗死相关动脉(infarction related artery,IRA)与非 IRA 在斑块特征上无明显差异。

2. 缺血性心肌病

Wang 等通过 FT-CMR 研究急性 ST 段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction,STEMI)患者左心室重构前心肌应变与微血管阻塞(microvascular obstruction,MVO)的关系发现,经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention,PCI)术后 4~6 个月无左心室重构的急性 STEMI 患者,无论是否存在 MVO,其左心室的整体径向应变(global radial strain,GRS)、整体周向应变(global circumferential strain,GCS)和整体纵向应变(global longitudinal strain,GLS)均增加,而 MVO 组 GLS 的变化更为明显,这可能提示左心室出现早期重构。FT-CMR 能评估心肌收缩功能及心肌损伤,并且推荐用于急性 STEMI 患者的预后。Cannizzaro 等应用腺苷注射的负荷 CMR 应变成像联合心肌灌注发现,应变分析对局灶性心内膜下充盈缺损患者的心肌整体及节段性形变的改变具有高度识别能力。Kendziora 等的 meta 分析发现, T_2 WI 可显示 STEMI 危险区域的水肿心肌,同时结合 LGE-MRI 显示的坏死心肌,可定量可逆转损伤心肌的比例,即心肌挽救指数。利用 T_2 WI 和 LGE-MRI 定量 STEMI 患者可逆性心肌损伤、可挽救心肌比例进行疗效评价是可行的。

在 T_1 -mapping 技术中,应用梗死心肌的初始 T_1 值和细胞外体积(extracellular volume,ECV)可评估心肌损伤的严重程度,并预测急性心肌梗死患者的功能恢复。Yang 等发现梗死心肌中,MVO 可能影响心肌的初始 T_1 值,而 ECV 则不受影响。梗死心肌的初始 T_1 值及 ECV 在预测心梗后不良左室重构及选择需要进一步治疗的高危患者中具有潜在价值。

T_2^* -mapping 评估心肌内出血(intramyocardial hemorrhage,IMH)的灵敏度高于常规 T_2 图像,是首选的 CMR 方法。再灌注 IMH 与 MVO 密切相关。Bordonaro 等通过 T_2^* -mapping 技术在体内证明 MVO 与 IMH 在梗死区域病理生理的一致性,证实了 MVO 与 IMH 是心肌梗死急性再灌注损伤的同一种并发症。 T_2^* -mapping(优于 T_2)可用于评估不能接受钆剂患者的 MVO。Xia 等应用 7.0T MR 研究心肌缺血再灌注大鼠在 48 h~7 d 的 IMH、心肌水肿和心

肌缺血的改变发现,水肿心肌与缺血心肌面积在 48 h~7 d 明显减少,而 IMH 在这期间并未出现明显变化。再灌注可减轻心肌水肿与心肌缺血,但也能导致 IMH。同时,Xia 等发现急性心肌缺血再灌注大鼠 48 h 后大面积心肌缺血可引起较大面积的 IMH 和较小的危险区域,二者应该成为心肌缺血患者行 PCI 术的一个重要的风险因子。Haenel 等评估未修饰的自体脂肪组织来源的再生细胞(unmodified,autologous adipose-derived regenerative cells,UA-ADRCs)在猪慢性心肌梗死(chronic myocardial infarction,CMI)再灌注模型中的作用发现,在这种 CMI 模型中,逆行静脉注射 UA-ADRCs 是可行的、安全的,这种治疗可显著改善血液动力学并增加心肌质量同时减少心肌瘢痕。

3. 其他

透析治疗在终末期肾病(end stage renal disease,ESRD)患者中应用广泛,而心肌缺血和心血管疾病是慢性肾病(chronic kidney disease,CKD)患者死亡的主要原因。Guo 等发现首过灌注 CMR 参数可以早期检测 ESRD 透析患者局部心肌微循环功能障碍,从而预测心力衰竭的进展。Zhang 等使用 FT-CMR 研究 ESRD 患者左室心肌形变以及其对心衰的预测发现,FT-CMR 可通过提供亚临床及预后信息在 LVEF 明显降低之前预测 ESRD 患者心衰的发生,左室整体周向应变(GCS)与纵向峰值应变是 ESRD 患者心衰发生的独立风险因子,可指导心血管的早期治疗。

Luetkens 等应用 CMR 评估强直性肌营养不良症(myotonic muscular dystrophy,DM)患者亚临床性心肌受累发现,与健康对照组相比,DM 患者心肌组织成分发生改变,LVEF 无明显差异,但 DM 患者的平均收缩期纵向值较低,心肌无 LGE 的改变。CMR 可作为 DM 患者心血管疾病初发的潜在筛查参数。

CMR 可评估铁过载患者铁沉积所致的心肌纤维化程度。Peng 等使用铁过载猪模型在 3.0T MRI 上研究 ECV 与心肌纤维化指数-胶原容积分数(collagen volume fraction,CVF)间的关系发现,铁过载猪模型中 ECV 与 CVF 高度相关。

心律失常与电生理

房颤(atrial fibrillation,AF)是最常见的持续性心律失常类型,影响 1%~2% 的人群。血管内肺静脉隔离(pulmonary vein isolation,PVI)是常见的血管内治疗选择,但复发率很高。LaBarbera 等发现 CT 显示的肺静脉和左心房形态的影像学特征可成功预测 AF 血管内治疗后的复发。Matsumoto 等探讨术前心脏 CT 图像中完全低温(cryoballoon,CB)消融治疗阵发性房

颤(paroxysmal atrial fibrillation, PAF)的肺静脉解剖特征发现,肺静脉角度与 CB 消融失败有显著关系,心脏 CT 扫描所获得的解剖信息有助于选择合适的消融策略(CB 消融或常规射频消融)。Matsumoto 等采用一种基于对比度噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)的低剂量(80 kVp)左心房 CT(left atrial CT, LACT)和肺静脉成像的新方案发现,在不降低 AF 导管消融(catheter ablation, CA)过程中图像质量和准确性的同时,降低 LACT 的辐射剂量。Gunasekaran 等纳入接受 PVI 的 AF 患者,并测量消融前后基线左室纤维化和 LVEF 的变化发现,AF 介导的左室收缩功能不全患者不存在左心室纤维化。

约 25% 的缺血性脑卒中患者病因不明,无症状 PAF 常被怀疑是这些隐源性卒中(cryptogenic strokes, CS)的原因,AF 常伴左心房结构和功能的改变。Staab 等通过 FT-CMR 检测 CS 患者左心房形变,结果显示左心房峰值应变延长与 CS 患者既往缺血性病变的存在有关,表明晚期左心房损害是 CS 的一个显著特征,可能与未被检出的 PAF 有关。已知左房重构与 AF 的进展相关,CMR 可以通过左心房容积(left atrial volume, LAV)和左心房 LGE (LA-LGE)评估左房重构。Lee 等发现使用 CMR 评价左房重构时,左房前壁和左下肺静脉区域局灶性 LA-LGE 与 PAF 相关,CMR 测定的左房重构可能有助于 AF 机制的理解。LaBarbera 等采用图像分析和机器学习的方法发现,AF 复发患者和未复发患者之间左房解剖形态存在差异,CMR-LGE 是评价心肌梗死后瘢痕形成的良好工具。

电解剖标测(electroanatomic mapping, EAM)传统上用于定位引起室性心动过速(ventricular tachycardia, VT)的瘢痕组织区域并指导消融。然而,采用像素信号强度(pixel signal intensity, PSI)算法的新软件使利用 CMR-LGE 定位瘢痕组织中形成室速底物的传导通道(conducting channels, CC)成为可能。Litt 等发现与 EAM 结果相比,基于 CMR-LGE 的 PSI 分析在识别心肌梗死后瘢痕上的室速位点具有良好的敏感性和阳性预测价值,可以预测室速消融的靶区,以帮助术前计划,潜在地减少对大量 EAM 的需要。

冠状动脉疾病

1. CCTA

Shuai 等研究发现与有创冠状动脉造影(invasive coronary angiography, ICA)相比较,16cm 宽探测器的自由呼吸 CCTA 在不能屏气患者的冠状动脉狭窄诊断中具有较高的准确性。Han 等评估 CCTA 在冠状动脉粥样硬化狭窄患者中使用深度学习及转换学习方

法的可行性发现,推荐使用的冠状动脉心脏病-人工智能(coronary artery heart disease-artificial intelligence, CHD-AI)能使一系列 2D CT 图像生成模拟的 CCTA 图像,该方法在检测狭窄中具有较高的敏感性及阴性预测值,且检测钙化斑块及非钙化斑块较 CCTA 更准确,但仍具有相当高的假阳性率。CHD-AI 会删除一些 CCTA 重建步骤,减少诊断时间并降低医生评估冠状动脉狭窄时的主观错误。

Zhang 等发现冠状动脉钙化积分(coronary artery calcium score, CACS)与血浆尿酸和肌酐明显相关,CACS 的严重程度可能说明血浆尿酸和肌酐异常。Lau 等回顾性研究 CCTA 中静脉空气栓塞(venous air embolism, VAE)发生的风险发现,与常规单对比 CT 胸部成像相比,CCTA 的 VAE 发生率显著增加,可能与双腔注射器的使用有关。注射前需要非常小心地排除空气,因为 23.7% 的患者有左右心分流的危险,可能导致严重的系统性空气栓塞。Li 等比较 256 层 CCTA 与经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)对成人冠状动脉-肺动脉瘘(coronary-pulmonary artery fistula, CPAF)的研究发现,CCTA 具有良好的诊断性能,可作为检测及表征 CPAF 的首选影像学检查方法。

2. 血流储备分数(FFR)

Tang 等发现无论在基线还是充血状态下,病变冠状动脉的高内皮细胞切应力(endothelial shear stress, ESS)与病变特异性缺血有关,两者在检测血流储备分数(fractional flow reserve, FFR) ≤ 0.8 时具有与冠状动脉血流储备分数(CT-FFR)相同的诊断准确性;低 ESS 在静息和负荷状态之间有所不同,CTA 的 ESS 值能检测病变特异性的缺血,且这种方法不需要模拟充血。Assen 等联合使用 CT 心肌灌注显像(CT myocardial perfusion imaging, CTMPI)与 CT 血管成像所得的 CT-FFR 提高了预测冠心病患者主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular event, MACE)的诊断准确性。Baggiano 等的一项前瞻性研究发现,除 CCTA 外,CT-FFR 和负荷 CT 灌注(CT perfusion, CTP)都是评价冠状动脉疾病(coronary artery diseases, CAD)功能相关性的有效工具,在疑似 CAD 患者中,CCTA 或 CCTA 结合 CT-FFR 均可明确排除患者是否存在冠脉狭窄,且具有低辐射剂量和低剂量对比剂进行单次采集的优势。在一些 CCTA 结合 CT-FFR 检查呈阳性结果的患者中,应该联合负荷 CTP 数据以进一步提高特异性。

Tang 等发现起源于左冠状动脉窦的异位右冠状动脉(anomalous origin of the right coronary artery from the left coronary sinus with interarterial cour-

ses, AORLIC) 患者具有异常 CT-FFR 值的概率较大, 动脉间通路、典型心绞痛、非典型心绞痛的发生率在异常 CT-FFR 值的 AORLIC 患者较正常 CT-FFR 值患者更高, 这种非侵入性 CT-FFR 方法可能具有识别处于心源性猝死风险患者的潜力。Kumamaru 等以心导管 FFR 为标准值, 基于模块构建的全自动 3D 深度学习模型, 计算 CCTA 的 FFR 对于异常 FFR 诊断准确度可达到 76%, 在选择适合血管重建手术的患者时可以大大改善临床工作流程。Koo 等研究基于机器学习 (machine learning, ML) 的 FFR (ML-FFR) 病变特异性缺血发现, 以介入 FFR 为参考标准, ML-FFR 在评价冠脉狭窄方面与基于 CT-FFR 的计算流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) 有相同的诊断性能。Jonathan 等研究影响常规临床实践中 CT-FFR 分析的因素发现, 严格的患者准备、病例选择和后处理策略有可能提高成功利用 CT-FFR 分析的机会。

3. 风险评估及预测

Nam 等研究冠状动脉疾病报告和数据系统 (coronary artery disease-reporting and data system, CAD-RADS) 评分优于冠状动脉 CACS 预测无胸痛的卒中患者 MACE 的预后价值发现, CAD-RADS 评分对未来 MACE 具有预后价值; 此外, CAD-RADS 评分能识别额外的 CACS 风险, 可推荐用于评估无胸痛脑卒中患者的心血管危险。冠脉斑块可分为以下几种组织学类型: 适应性和病理性内膜增厚、纤维斑块、早期和晚期的纤维粥样斑块以及薄帽纤维粥样斑块。晚期的动脉粥样硬化病变 (早期和晚期纤维粥样斑块及薄帽纤维粥样斑块) 比早期斑块有更高的风险。Kolossvary 等发现基于影像组学的机器学习在识别 CCTA 晚期动脉粥样硬化斑块的能力优于传统评估, 但对于组织学分型的准确性并不高, 还需要更大的样本量进行分析与验证。Baggiano 等发现低剂量 CTP 诊断血流动力学障碍的冠心病患者的诊断准确性比 CCTA 明显增高, CTP 结合 CCTA 能提高有血流动力学障碍的冠心病患者的诊断。Palumbo 等比较腺苷负荷 MR 与 CCTA 在心脏病患者长期预后的预测作用中发现, 尽管中度狭窄的血管在 CCTA 上为阳性, 但腺苷负荷 MR 阴性是患者预后的正性预测因素; 另一方面, CCTA 上阴性结果, 但腺苷负荷 MR 阳性与心血管事件的发生高度相关, 构成了负性预测因素。CTP 扫描是全心覆盖的, 具有高空间分辨率和时间分辨率。Mushtaq 等以 ICA 为参考标准, 评估 CCTA、CTP 和 CCTA 结合 CTP 在支架置入患者可疑支架内再狭窄或冠心病进程的诊断效能发现, CTP 评估冠脉支架置入患者比 CCTA 更可行, 更准确。冠脉 CTA 的长期随访是很重要的, Shindo 等在长达 10 年的随访中评

估 CCTA 对正常冠脉的预后发现, CCTA 诊断为“真正”正常血管的患者在这 10 年内均未出现冠脉事件。Masuda 等发现结合患者各种临床特征, 以及对比剂团注的时间密度曲线的广义线性回归模型有助于预测 CCTA 的血管强化。

终末期心衰患者, 心脏移植 (heart transplantation, HT) 可提供最佳的长期生存率。然而, HT 与一系列严重并发症有关。CACS 是 HT 患者风险度分层的有效工具。Baizan 等发现根据基础 CACS, 具有轻至重度风险的 HT 患者 5 年后发展为梗阻性冠状动脉移植血管病变 (coronary allograft vasculopathy, CAV) 的可能性是无风险或极低风险患者的 2.4 倍; 此外, HT 患者中, 初始 CCTA 图像上冠状动脉狭窄 $\geq 50\%$ 的 CAV 可以预测 MACE 的进展, 5 年风险比为 5, CCTA 的预测价值有助于 HT 受者的随访。Kocher 等探讨先前置入左心室辅助装置 (left ventricular assist device, LVAD) 的 HT 患者和常规 HT 患者术后 CT 检出并发症的发生率, 发现 HT 后各种并发症的发生率及不同并发症的类型均具有显著差异; 先前置入 LVAD 的 HT 患者似乎有较高的早期并发症风险。CT 是 HT 后早期检测及检出严重并发症从而进行快速特异治疗的最重要的成像方法, Tischendorf 等发现冠脉 CT 与负荷超声心动图能为肝移植患者提供良好的风险评估和中期预后。

肿瘤治疗相关的心脏毒性

接受阿霉素 (doxorubicin) 等蒽环类药物治疗的癌症患者化疗后的心脏毒性很常见。识别蒽环类相关心功能障碍的传统影像学方法以射血分数 (EF) 降低为目标, 而新的方法则侧重于检测心肌应变的改变。Naresh 等利用心肌组织相位图 (tissue phase mapping, TPM), 在阿霉素诱导的心脏毒性小鼠模型中检测 EF 降低和心肌细胞凋亡发生之前的心功能障碍发现, TPM 量化纵向收缩速度可能成为阿霉素诱导心脏毒性的早期成像生物学标志物。T₁-mapping 是一种定量测定蒽环类药物所致心脏毒性的有效方法, Park 等发现在早期和晚期的蒽环类诱导的心脏毒性大鼠模型中, MRI 参数和病理表现都有显著变化, 即使在 LVEF 正常的受试者中也是如此。ECV 和 T₁ 值与组织学评分有较好的相关性。儿童肿瘤存活者, 尤其是接受蒽环类化疗药物治疗的女性患者, 其左室心肌纤维化程度增加。Tong 等在一个相对较大的青少年和年轻成人长期儿童肿瘤存活者队列中, 使用 CMR-T₁-mapping 技术检测心肌纤维化的严重程度发现, T₁-mapping 未见明显的心肌纤维化征象, 女性存活者的 T₁ 值较男性高, 但与对照组无显著性差异。将来的研

究应着重于纵向随访和使用 T_1 -mapping 对心力衰竭患者而不是无症状患者进行危险分层。

心脏瓣膜成像

主动脉狭窄(aortic stenosis, AS)中有相当比例的低流量、低梯度(low-flow, low-gradient, LF/LG) AS, 定义为小主动脉瓣面积(aortic valve area, AVA) ($< 1.0 \text{ cm}^2$)、低平均压力梯度(pressure gradient, PG) ($< 40 \text{ mmHg}$)及低流量(每搏输出量 $< 35 \text{ mL/m}^2$)。AS 的诊断是基于瓣膜面积、平均 PG 和超声心动图测量的峰值流速。Koo 等发现在需要置换主动脉瓣的 32% AS 患者中, CT 测量的 AVA 值与超声心动图测量的 AS 值存在差异; 超声心动图峰值速度 $< 4 \text{ m/s}$ 或平均 PG $< 40 \text{ mmHg}$, CT 平均 AVA $< 1.0 \text{ cm}^2$ 的患者的 EF、峰值速度、平均 PG 均明显降低, 两种技术的使用可能有助于患者风险分层并作出治疗决定。Takagi 等发现虽然 CT 对严重 AS 患者中的二瓣化畸形(bicuspid aortic valve, BAV)的检测准确性较高, 但显示瓣膜复合体数目的敏感性和曲线下面积(area under the curve, AUC)较低, 瓣叶数的特异性较低。Gatti 等发现基于心血管 CT 的主动脉环 3D 打印可以为主动脉瓣置换术前规划提供可靠、经济的患者特异性信息。Chen 等通过 CMR 研究主动脉返流(aortic regurgitation, AR)在 HCM 患者中的发病率、机制和危险因素发现, AR 是 HCM 的一种常见合并症, 年龄和左室流出道梗阻是导致这种病理生理结果的最可能的危险因素。

冠状动脉口阻塞是经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)的严重并发症, 死亡率高。虚拟经导管心脏瓣膜至冠状动脉(valve to coronary, VTC)距离是一种重要的 CT 测量方法, 有助于冠状动脉梗阻的危险分层。Juan 等研究发现, VTC 是一种高度可重复的测量方法, TAVR 术前 CT 上 VTC 距离的准确测量是冠状动脉梗阻危险分层的关键; 当 $VTC \leq 4 \text{ mm}$ 或 $> 4 \text{ mm}$ (高或低风险) 时, 一致性为良好至优秀。Koo 等发现心脏 CT 可以显示 TAVR 术后瓣膜下软组织、瓣膜血栓形成、瓣叶开口限制和支架腔大小情况, 随访心脏 CT 有助于 TAVR 早期并发症的发现。

Rizvi 等发现多时相心脏 CT 可为原发性和功能性二尖瓣返流患者提供复杂的三维二尖瓣几何形状的术前动态评估, 对经导管二尖瓣置换术规划具有指导意义。Nam 等研究发现定量 CT 纹理分析可能有助于鉴别可疑瓣膜置换术患者人工瓣膜阻塞(prosthetic valve obstruction, PVO)的血管翳与其他病变, 如血栓或赘生物, 降低了分析的主观性。Lim 等研究发现二

尖瓣返流患者中, 乳头肌在 CMR 的 LGE 中并不少见; 甚至仅在二尖瓣脱垂患者中, 34% 的患者显示心肌 LGE 或乳头肌(8%)强化; 虽然还没有发现乳头肌强化与室性心律失常发生的密切相关性, 但考虑到二尖瓣返流患者乳头肌强化与室性心律失常的发生率, CMR 上乳头肌强化是不容忽视的。

Oechtering 等应用 MRI 4D-Flow 评估体外机械瓣膜(mechanical valves, MV)和生物瓣膜(biological valves, BV)远端的血流动力学发现, 与 MV 相比, BV 导致主动脉窦和升主动脉中的流速增加; 与其他 BV 相比, Trifecta 瓣膜的瓣膜小叶连接在连合的外侧, 会导致较小程度的相对狭窄, 峰值速度介于 MV 和 BV 之间; 此外, BV 还引起二次流动模式, 而 MV 则显示接近正常的血流动力学。Silvestri 等利用 MRI 4D-Flow 评估一种新的瓣膜保留主动脉根部置换术发现, 与经典手术相比, 4D-Flow 显示类似的血流动力学和血流模式; 4D-Flow 能够详细分析手术后胸主动脉的血流动力学。

人工智能在心血管 CT 和 MRI 中的应用

人工智能在心脏 MRI 和 CT 中的应用逐渐增多。Blansit 等认为基于卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)的解剖学定位是用于计划 CMR 成像平面的可行策略, 该方法可产生类似于专业心脏技术人员选择的成像平面, CNN 有可能提高 CMR 成像的质量和普及性。Mallon 等使用 CNN 在大样本 CMR 数据中进行心肌病的全自动诊断发现, 每例患者图像处理时间约 2 s, 利用 CNN 对时间分辨 CMR 图像进行直接分析可对心肌病进行高精度正确诊断以排除健康成年人。Tao 等将深度学习 CNN 图像分割应用于梗死后患者 LGE 的全自动分析发现, 深度学习 CNN 可全自动分析同时识别左室正常心肌和心肌瘢痕组织, 进一步验证后, 研发的深度学习 CNN 能快速从 MRI LGE 中识别并定量心肌瘢痕。Schlcmper 等发现深度学习可通过减少对欠采样数据的重建图像所需的 K 空间数据量从而加速 CMR 采集, 减轻患者负担并提高图像质量。Shao 等的研究认为, 基于计算机的纹理分析和人工智能, T_1 -mapping 能作为诊断 DCM 的一种客观工具。

Johnson 等利用机器学习在 CCTA 上寻找冠状动脉成像特征的最佳组合, 用于预测全因死亡率、心肌梗死和血运重建发现, 机器学习优于 CAD-RADS, 可用于预测死亡和冠状动脉事件。CACS 是心脏病最重要的标志之一, 既往研究发现明确冠状动脉钙含量可以提高风险量化的准确度。Barda 等的研究结果显示, 通过机器学习方法从常规 CT 扫描中提取的冠状动脉

钙含量可作为一种新型生物标记物,与常用模型相比,提高了预测的准确性;在实际应用中,将转化为更好的临床决策。Eslam 等评估基于影像学特征和机器学习提取详细的冠状动脉钙化(coronary artery calcium, CAC)特征发现,该方法独立于传统风险因素和 Agatston 评分,可预测心血管事件。人工智能可以识别出对预后有重要意义的 CAC 的影像学特征。Eslami 等发现基于影像组学特征提取和机器学习的 CAC 特征可提高预测心血管事件的效能,CAC 独立于传统风险因素和 Agatston 评分。Utsunomiya 等探讨深度学习重建(deep learning reconstruction,DLR)对 3.0T 非对比增强磁共振冠状动脉成像(magnetic resonance coronary angiography,MRCA)图像质量的影响发现,3.0T 非对比增强 MRCA 使用 DLR 能提供更高的 CNR 而不降低血管锐度,DLR 有助于改善 MRCA 中冠状动脉的可视化,实现对心脏的无创检查。既往研究表明在儿童先天性心脏病患者中使用压缩感知(compressed sensing,CS)的单次、实时冠状动脉的静态间隔单次激发(quiescent-interval slice-selective, QISS)MRA 的可行性。CS 由于重建时间较慢(每幅图像约 60s),并不适用于在线图像的重建,深度学习是另一种具有快速重建 MR 图像的方法。Evanston 等证明深度学习对先天性心脏病患者的加速及单次激发冠状动脉 QISS 进行在线图像重建的可行性。

Koo 等利用深度学习从心脏 CT 扫描中自动分割的左心室心肌与人工分割的数据相当,自动左室分割可缩短心肌壁增厚及左室功能信息获取时间,提高临床评价的重现性。Rueckert 等提出一种基于机器学习的 CMR 图像质量控制与分割流水线,该流水线自动化、快速、准确,将促进大规模 CMR 人群研究(如英国生物样本库)的分析,并使包括心室容积和质量在内的临床相关表型的自动提取成为可能。弥漫性心肌纤维化是各种慢性心脏疾病的主要征象,可通过 CT 或 MRI 的 ECV 来定量。Varga-Szemes 等认为基于人工智能的机器学习可准确估算血细胞比容值(Hct)并计算 ECV,从而避免从血液采样的需要。

新兴心血管 MRI 和 CT 技术

后处理 FT-CMR 成像发展迅速。Halfmann 等研究 FT-CMR 应变分析的标准化发现,应变参数之间的差异可通过不同软件的使用、追踪的层数及测量的应变参数来解释,在临床常规中有效使用 FT-CMR 之前,需要进一步标准化。FT-CMR 所得的成像生物标记物在提高心肌病理改变诊断准确性方面具有很大的潜力,同时可减少有创的诊断检查的使用。Tantawy

等应用 FT-CMR 评估慢性缺血患者心肌活力的应变分析发现,患者整体周向应变(GCS)及径向应变(GRS)明显较对照组减小,FT-CMR 在无需额外序列及对比剂情况下可有效地区分慢性缺血患者的存活和非存活心肌。

Diao 等采用化学交换饱和转移(chemical exchange saturation transfer,CEST)MRI 鉴别猪的梗死心肌和正常心肌,结果表明 CMI 组猪的梗死心肌与正常心肌的 Cr、ATP 及 Glu 具有统计学差异,而急性心肌梗死(AMI)组仅 Cr、ATP 具有统计学差异;CEST 伪彩图显示了较大的异常区域,比 LGE 和病理识别的 MI 区域的肌酸浓度更低。CEST 成像测量的代谢情况可用于梗死心肌的识别,具有较低肌酸浓度的心肌区域大于证实的梗死心肌区域,再次证明梗死心肌周围存在损伤或顿抑心肌。CEST MRI 为观察梗死心肌的代谢状态提供了一种有前景的方法,需要进行更多关于 MI 患者的研究以验证其临床应用。

内脏脂肪组织(visceral adipose tissue,VAT)缺氧与胰岛素抵抗和肥胖相关的慢性低度炎症有关(代谢性炎症)。Figini 等利用血氧水平依赖磁共振成像(blood oxygen level-dependent MRI,BOLD-MRI)评价 Zucker 糖尿病肥胖大鼠 VAT 的氧合作用发现,BOLD-MRI 可作为评价 VAT 缺氧和肥胖相关的胰岛素抵抗及系统性炎症的无创检查工具。 T_2^* BOLD 成像是一种评估心肌氧供需平衡及心肌出血的定量 MR 技术。Chen 等的研究表明, T_2^* BOLD-MRI 能准确评估 STEMI 患者心肌损伤的严重程度,同时能鉴别可逆与不可逆的心肌损伤,推荐作为 STEMI 患者的一线检查手段。 T_2^* BOLD 值增加提示可抢救心肌的病理生理学机制。

CT 是 TAVR 术前患者手术规划的首选成像方法,而进行 TAVR 术常是一些存在肾功能损伤的老年人。Hokamp 等在 60 名患者进行 TAVR 术前,通过光谱探测器计算机断层扫描(spectral detector computed tomography,SDCT)使对比剂剂量减少 50%。对于存在肾功能受损的患者,应考虑使用 SDCT 进行 TAVR 术前检查。Reddy 等研究发现,具有快速 kVp 转换的双能量 CTA 对冠状动脉狭窄的检测具有较高的灵敏度和阴性预测值。Inada 等探讨快速 kVp 转换双能量 CT 冠状动脉成像(dual energy CCTA,DE-CCTA),运动校正算法-快照冻结(snapshot freeze,SSF)在低能量(50keV)虚拟单色图像(virtual monochromatic images,VMI)上的应用效果发现,SSF 可有效减少运动伪影并改善图像质量。此外,低能量(50 keV) VMI 结合 SSF 能更有效地控制运动伪影。