



• RSNA2019 聚焦 •

## RSNA2019 心脏 CT 和 MRI

鲁健竅, 赵培君, 乔金晗, 杨朝霞, 冉玲平, 朱桐, 黄璐, 夏黎明

**【摘要】** 2019 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非缺血性心肌病的诊断及预后评估; ②CT 及 MRI 在缺血性心肌病治疗指导及预后评估中的价值; ③心脏瓣膜疾病的 CT 及 MR 成像; ④房颤消融的术后评估; ⑤人工智能在心血管 CT 和 MRI 中的应用; ⑥CT 图像质量改良技术。本文针对上述内容进行较全面的综述。

**【关键词】** 心脏; 体层摄影术, X 线计算机; 心脏磁共振成像

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

**【文章编号】** 1000-0313(2020)01-0009-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.01.002

### 非缺血性心肌病及心肌炎

#### 1. 非缺血性心肌病

磁共振诊断心肌淀粉样变性(Cardiac Amyloidosis, CA)主要依赖于延迟钆对比增强成像(Late gadolinium enhancement, LGE)。心脏磁共振(Cardiac magnetic resonance, CMR)心肌应变分析能在无钆对比剂的情况下评估 CA。Khazai 等发现左房纵向应变减小与 CA 有关, Cannao 等也发现, 全心周向应变可作为评估 CA 患者左室功能障碍的早期指标。肥厚性心肌病(Hypertrophic Cardiomyopathy, HCM)与心肌淀粉样变在影像上均表现为心肌肥厚, 而两者的预后差别很大。Huang 等探讨了两之间心肌应变与微循环障碍的关系, 发现淀粉样蛋白浸润对局部微血管和收缩功能的损害比 HCM 更为严重, 故心肌灌注参数对心肌淀粉样变与肥厚性心肌病的鉴别有重要作用。

早期法布里心肌病(Fabry's cardiomyopathy disease, FCD)患者诊断比较困难。酶替代治疗是安德森-法布里病(Anderson-fabry's disease, AFD)唯一的特异性治疗方法, 但费用昂贵, 仅限于有器官受累的患者。Coco 等认为 AFD 患者应该在心脏出现早期损害

时尽早治疗且初始  $T_1$ -mapping 能可靠且准确地检测在肥厚表型表达前的早期心脏受累情况。纤维化在 FCD 的疾病进展过程中起关键作用, 基底段下侧壁为常见受累节段, 可引起心律不齐、心力衰竭和心源性猝死。Dragonetti 等发现, CMR 可用于监测 FCD, 并有助于识别心脏受累的不同形式。Benz 等应用 CMR 应变评估无明显心脏受累的 AFD 患者, 发现组织特征追踪应变参数可以检出 AFD 的亚临床变化。Chen 等发现全心应变、不同时间的峰值应变变异系数和初始  $T_1$ -mapping 可以检测 AFD 患者在出现左室心肌肥厚(Left ventricular hypertrophy, LVH)和 LGE 前的早期功能和组织学异常。对于原因不明的 LVH 或 AFD 患者, 应进行心肌应变和初始  $T_1$ -mapping 序列的检查, 以明确左室心肌病理生理学特征和疾病严重程度, 这对是否启用 AFD 酶替代疗法有重要指导意义。组织特征追踪应变参数和初始  $T_1$  值有望成为检测 AFD 早期心脏受累的生物标志物, 并可能指导 AFD 患者的选择和治疗时机。

Behairy 等将细胞外容积(Extracellular volume, ECV)与 LGE 相关, 从而准确评估扩张型心肌病患者的心肌纤维化程度, 进而发现 ECV 对扩张型心肌病患者预后的价值优于 LGE。糖尿病心肌病也是研究热点之一。心肌脂质过度积累和脂毒性损伤的心肌代谢异常是引起心功能障碍的重要机制之一。对于早期糖尿病心肌病患者, 需要更多地关注心肌微循环障碍。Gao 等发现, 射血分数正常的糖尿病患者其心肌甘油三酯含量较正常升高, 这与心肌微循环障碍有关。Jiang 等应用多模态 CMR 进行研究, 发现 2 型糖尿病

**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:** 鲁健竅(1996-), 女, 云南临沧人, 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:** 国家自然科学基金面上项目(81471637, 81873889)

患者的心脏运动、心肌灌注、组织学特征和重构均出现损害。收缩期和舒张期运动均与心肌灌注功能相关,而舒张功能障碍更容易发生左室重构、心肌纤维化和水肿。能量代谢在慢性缺氧性疾病(Chronic hypoxic disease, CHD)的心肌损伤过程中起着关键作用。<sup>31</sup> P 磁共振波谱(Magnetic Resonance Spectrum, MRS)可以研究心脏的能量变化。Zhu 等应用 7.0T 磁共振扫描慢性低氧模型大鼠心脏,发现能量调节障碍早于心肌损伤和心室功能障碍。

## 2. 心肌炎

心肌炎是一种心肌的炎症性疾病,可导致不良心脏事件。而心肌炎患者的右心室(right ventricle, RV)损伤和功能障碍鲜有报道。Jing 等采用实验自身免疫性心肌炎(experimental autoimmune myocarditis, EAM)大鼠模型,研究 RV 心肌形变在心肌炎发病前、急性期和慢性期的损伤。研究显示,在心肌炎的不同阶段,RV 的形变能力有不同程度的受损。RV 应变分析不仅可以无创性区分正常心肌和炎性心肌,而且可以区分疾病的不同阶段。因此,RV 形变功能评价在心肌炎诊断和随访中应作为常规应用。

急性心肌炎具有非特异性的临床表现,且临床结局难以预测,从完全恢复到终末期扩张型心肌病都有可能发生。左室重构不良的关键因素是炎症的迁延。在急性心肌炎的诊断中,心肌应变分析比常规 CMR 图像更敏感。然而,其在检测细微炎症中的作用仍在研究中,并且患者临床结局的影像学预测因子仍然未知。Palmisano 等发现恢复期  $T_1$  值与正常  $T_1$  值差异较大,可能会引起舒张末期容积增大和 LVEF 降低。故早期评估  $T_1$  值的改变能预测临床转归,并且可能有助于风险分层和指导个性化治疗。

疑似急性心肌炎的患者应进行 CMR 检查。临床上通常基于路易斯湖标准(Lake Louise Criteria, LLC)来进行影像学诊断。Rubeis 等发现 2018 年提出的新 LLC 与原来的 LLC 存在诊断性能上的差异,Luetkens 等也发现 2018 年 LLC 在诊断急性心肌炎上有很高的准确性,并且与原来的 LLC 相比大大提高了诊断急性心肌炎的敏感性。

## 3. 其他

心肌损伤是中度至重度一氧化碳(CO)中毒的常见后果。合并心肌损伤的 CO 中毒患者的长期死亡率明显高于无心肌损伤的患者。Lee 等在 15 例急性中度至重度 CO 中毒并高敏肌钙蛋白 I(high-sensitive cardiac troponin I, hs-cTnI)升高的患者中发现心脏 MRI-LGE 序列能识别其心脏损伤,这是有关 CO 中毒的 CMR 结果的首次报道。

心脏损伤在神经肌肉疾病(neuromuscular disea-

ses, NMDs)中很常见,也是进展性心力衰竭的主要原因,早期检测到 NMDs 的心脏损伤有助于预防心力衰竭。然而,检测 NMDs 的亚临床性心脏损伤十分困难。Huang 等发现初始  $T_1/T_2$ -mapping 图的组织异质性对识别 NMDs 患者心脏损伤有较高的诊断价值。

肝硬化是各种慢性肝病的终末期,常引起多种系统性疾病,死亡率高。肝硬化心肌病(Cirrhotic cardiomyopathy, CCM)是指肝硬化患者的心脏损伤,可增加心功能不全的风险,并导致不良预后,尤其是在其他侵入性手术的背景下,如外科手术、经颈静脉肝内门静脉分流术(Transjugular intrahepatic portal vein shunt, TIPS)或肝移植。Isaak 等应用 CMR 方法来确定肝硬化患者心血管受累的程度。他们发现,在无心脏病史或心脏症状的肝硬化患者中,CMR 图像能显示广泛的心肌病变。CMR 检出的局灶性和弥漫性心肌纤维化及炎症标志物的升高代表了肝硬化患者很可能出现了亚临床心肌疾病,而这可能是晚期肝硬化患者 CCM 的先兆。

Zhuang 等研究了经心脏磁共振定量的 ECV 和初始  $T_1$  值是否能在高血压(hypertension, HTN)猪模型中证实左室细胞外间质纤维化,并定量评价其随时间的动态变化。他们发现,在高血压性心脏病心肌间质纤维化的早期检测中,由 CMR 得到的  $T_1$  值和 ECV 可以无创地反映高血压进展过程中心肌受累的严重程度。在检测心肌纤维化方面,结合初始  $T_1$  值(更高的敏感性)和 ECV(更高的特异性)的优势,可以更准确地评价心肌纤维化。

## 缺血性心肌病

### 1. MRI

难治性心绞痛的治疗是一大临床挑战。在冠状动脉窦内植入沙漏状支架可以改善患者的症状,但其对心肌灌注储备的作用机制缺乏客观数据。Palmisano 等研究了负荷-静息 CMR 对沙漏状支架植入后心肌灌注储备的影响。结果发现,基于跨壁梯度的沙漏状支架植入术可以显著改善心肌灌注储备,缺血节段越多,灌注储备改善越明显。

Tahir 等利用心脏磁共振  $T_1$ -mapping 和  $T_2$ -mapping 技术对心肌梗死后左室重构进行组织特征定量研究,为预测心肌梗死后左室重构提供更多的信息。他们发现,在急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)早期测定的 ECV 以及 CMR LGE 梗死面积是 6 个月随访期内发生左室重构的最佳预测指标,并且显示出比常规非增强 mapping 和增强后 mapping 技术更好的鉴别效能。故 mapping 技术可用于对 AMI 患者发生左室重构的风险进行分层,以便及时进

行抗重构治疗。

猪心肌梗死模型被认为是在用于临床前分析心肌保护/再生策略的金标准,然而,没有研究系统地探讨过心脏结构和功能与缺血损伤持续时间之间的关系。Arzanauskaite 等用 CMR 评估了缺血时间对心肌的损害及随时间的变化。结果发现冠状动脉左前降支(left anterior descending, LAD)中段阻塞 60 分钟足以引起心脏结构和功能的改变;他们认为,有必要在类人动物模型中将心梗诱导的方法标准化,以成功地将临床前获益转化到临床领域。

## 2. CT

代谢紊乱已被证实是冠状动脉疾病的危险因素。然而,代谢综合征与高危斑块的关系尚不清楚。Shi 等应用双源(dual source)CT 比较代谢综合征患者和非代谢综合征患者在冠心病(coronary artery Disease, CAD)经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)中高危斑块(high-risk plaques, HRP)的发生率。他们发现,代谢综合征患者和非代谢综合征患者 PCI 术后冠状动脉斑块负荷程度相同,而代谢综合征患者出现了更多的 HRP。此外,代谢综合征可能是 PCI 患者出现高危斑块的重要预测因素。因此,PCI 术后应重视代谢管理,以防止 HRP 的发生发展。

能谱 CT 冠脉造影(Spectral CT-coronary angiography, SCCTA)只需一次扫描就可以高精度地定量碘摄取。Nadjiri 等试图前瞻性地评估这种测量冠状动脉斑块中碘摄取量的定量方法,并将这种方法作为炎症的可能替代标志物。研究中发现,非钙化斑块的碘摄取量与斑块密度相对应,并且 SCCTA 检出的所有非钙化斑块都存在相关性。然而,在极低密度斑块中(HU<90),HU 相近的冠脉斑块摄碘量存在一定的差异,这表明摄碘量可提供更多的信息。由此得出的 CT 的冠脉斑块特征不仅可以用于临床风险评分、钙化和狭窄的评估,还可以对患者心血管事件的个体风险进行分层。

Gohmann 等研究后发现,冠状动脉 CT 血管造影(CT coronary angiography, cCTA)和经导管主动脉瓣植入术前评价可以联合进行,无需额外的造影剂或药物。cCTA 能够以相对高比例排除明显的主要冠脉疾病。

## 心脏瓣膜疾病

Kang 等将放射组学和机器学习应用于主动脉瓣钙积分的测定,这种方法可以更好地将超声评价受限患者(例如低流量、低流速梯度的主动脉瓣狭窄患者)的严重主动脉瓣钙化识别出来。

CMR 是近年来出现的一种比超声心动图更准确的评估二尖瓣返流(mitral regurgitation, MR)严重程度的技术。CMR 评估二尖瓣返流的标准方法是测量返流体积(regurgitate Volume, RV),即 SSFP(稳态自由进动)电影成像获得的左室每搏输出量与相位对比(phase contrast, PC)成像获得的正向血流之间的差值。已有研究表明,利用 CMR SSFP-PC 评估的术后左室重构与 MR 严重程度具有很强的相关性。最近研发了时间分辨相位对比 CMR(也称为 4D Flow),它具有沿着三个血流方向的速度编码和三维(3D)解剖范围。Muscogiuri 等发现无需对比剂的 CMR 4D Flow 成像可以准确、快速地评估 MR 返流量,对二尖瓣返流患者的治疗具有很大帮助。

Peng 等利用第二代运动校正算法对高心率儿童主动脉瓣和肺动脉瓣的图像质量进行了提升。Lenz 等探讨了 4D Flow MRI 评价先天性主动脉瓣病变在保留主动脉瓣术前后主动脉血流模式的可行性。研究后发现基于 4D Flow MRI 的主动脉血流模式的评估可以监测二尖瓣、主动脉瓣疾病患者的瓣膜修复术的成功率,并有助于优化手术流程。

## 心律失常

心房颤动(atrial fibrillation, AF)是最常见的心律失常,与高发病率、死亡率相关。结构性心房重构对房颤的复发和持续有很重要的影响。Beyer 等定性评估了心房和心外膜的特征来预测消融后房颤复发率。他们发现,在 CT 扫描中评估心房壁厚度以及心外膜脂肪量,可预测消融术后患者的房颤复发率。

Rochlis 等通过评估各种心脏解剖和功能参数,并引进 TactiCath™ 消融导管,对肺静脉窦隔离(pulmonary vein antrum isolation, PVAI, 又称肺静脉消融)术治疗房颤的长期疗效进行了评价。他们发现性别和左室射血分数是 PVAI 术后房颤复发的显著预测因子,其它解剖特征和导管类型对 PVAI 术后长期复发率无显著影响。

目前房颤导管消融对左室心肌细胞外容积(LV-ECV)的影响尚不清楚。Park 等利用 CMR 评估房颤消融对 LV-ECV 的长期影响后发现,房颤导管消融后,维持窦性心律的患者 LV-ECV 明显改善;相反,房颤复发患者 LV-ECV 升高。

## 先天性心脏病

Azarine 等发现在合理的扫描时间内, kat-ARC 快速双速编码(dual-venec) 4D-flow MRI 可以用于复杂先天性心脏病(congenital heart disease, CHD)患者随访,同时还能可靠地结合低速场和高速场。

标准实时相位对比(real-time phase-contrast, rt-PC) MRI 的空间、时间分辨率较差,限制了其在儿科领域的应用。压缩感知(Compressed sensing, CS)可用于高度加速 rt-PC MRI,实现了高的空间( $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm} \times 6\text{mm}$ )和时间(40ms)分辨率。然而,由于 CS 的图像重建时间较长(约 10 分钟),很难将其应用于临床。Valizadeh 等应用深度学习(deep learning, DL)技术来快速重建 rt-PC 图像并评估其在先天性心脏病患者中的表现,发现与 CS 相比,DL 框架可显著减少(93 倍)rt-PC MRI 的重建时间。故先天性心脏病患者可受益于自由呼吸成像的快速 rt-PC MRI 脉冲序列。

## 人工智能在心血管 CT 和 MRI 中的应用

依赖于钆对比剂(contrast agents, CA)的心肌延迟成像技术因为有潜在的肾毒性而不适用于肾功能受损患者的心肌梗死诊断,而肾脏损害在冠心病患者中较常见。Xu 等开发了一种 DL 方法,从非增强的电影(cine)MR 图像中合成与延迟强化图像相似的图像,并验证了这种合成的 LGE 图像可以保持与真实 LGE 图像相同的诊断质量,从而减少相关副作用的发生。

压缩感知(CS)能够高度加速单脉冲增强(late gadolinium enhanced, LGE)MRI,以实现相对较高的空间分辨率( $1.6\text{mm} \times 1.6\text{mm}$ ),但是图像重建时间长(每幅图像约 50s)和一致性较差阻碍了其发展。Shen 等提出一种迁移学习(transfer learning, TL)的方法,利用与单脉冲 LGE 图像内容相似的实时电影图像,为单脉冲 LGE 开发一个快速图像重建框架。这项研究证明了这种 TL 方法可以比传统的 DL 方法更快地重建单脉冲 LGE 图像,并具有更好的图像质量。

CMR 是心脏功能定量评估的临床参考标准。然而,CMR 需要经历很长的采集时间,需要对多个心跳进行平均,需要在时间和空间分辨率上进行权衡。Masutani 等使用卷积神经网络(convolutional neural networks, CNN)来恢复亚采样 MR 图像的空间分辨率,以加速 CMRI 的检查过程。

由于确定冠状动脉钙分数(coronary artery calcium scores, CACS)既费力又费时,因此需要一种更自动化的工作流程来减少对人机交互的需求。Martin 等的研究评估了基于人工智能(artificial intelligence, AI)的自动冠状动脉钙评分技术在非对比增强心电图

(ECG)门控心脏 CT 中的应用。与手动获取的参考评分相比,基于 AI 的自动钙评分技术表现出很高的准确性。这种全自动程序可以减少人机交互时间,从而提高工作流程效率。冠状动脉钙化(CAC)可在低剂量胸部 CT 上定量并指导他汀类药物的使用。由于时间和设备的限制,通常不会进行 CAC 量化。Boston 等研发了一种 DL 算法,能在标准肺筛查 CT 上自动量化冠状动脉钙化,并且对全国肺筛查试验(NLST)中 14959 例参与者进行评估,从而鉴别出冠状动脉疾病的危险人群,以指导心血管预防。

## CT 图像质量改良技术

Marom 等评估了超低剂量 CT (ultra-low-dose CT, ULDCT)降噪方法对钙评分的影响,发现 ULDCT 可能会导致钙评分出现错误,但是用于降噪的非局部平均式局部一致(locally-consistent non-local-mean, LCNLM)算法可以改进 ULDCT 图像,因此钙评分结果与正常辐射剂量扫描中获得的结果相似。LCNLM 算法对 ULDCT 进行降噪可实现正确的钙化评分,且辐射剂量减少可超过 90%。

在传统的冠脉内支架成形术中,冠状动脉支架的金属伪影导致支架内再狭窄难以评估。Xie 等发现, Mono+重建技术可改善支架的可视性,帮助评估管腔的可视性和通畅性,为冠状动脉支架成像提供更好的客观和主观图像质量。冠状动脉支架的存在导致成像中出现射线硬化伪影以及导致截面直径增大、形态失真和局部信噪比(contrast-to-noise ratio, CNR)的增加。Rajagopal 等研究后发现高分辨率光子计数 CT 图像伪影较少,评估斑块形状和大小更准确,可以改善冠脉支架存在时冠状动脉斑块的结构和特征的显示。

Cao 等利用基于模型的迭代重建技术(model-based iterative reconstruction, MBIR),在 16cm 范围高时间分辨率系统上,对冠状动脉 CT 血管造影的图像质量进行评估。MBIR 显著提高了诊断图像的质量,将时间分辨率提高了至少 25%。除此以外,在图像质量的其他方面,如信噪比和分辨率也有提升。小于  $180^\circ$  投影数据的稳定 MBIR 重建可以减少冠状动脉 CT 血管造影中的运动伪影,显著提高单次心跳扫描的成功率,从而减少重复扫描。