

2021 心血管磁共振研究进展

朱乐怡, 王艺宁, 赵世华, 陆敏杰

【摘要】 心血管磁共振(CMR)作为重要的无创性影像学方法之一,可实现对心血管结构、功能、心肌灌注、组织特征及血流动力学等“一站式”全面检查,已广泛应用于心血管系统疾病的研究与临床诊疗。尤其近年来,CMR新技术集中涌现,相关临床与基础研究日渐推进,在各类心血管系统疾病的诊断、危险分层与预后评估等方面取得一系列重要成果。本文就2021年国内外CMR代表性研究进展进行系统综述。

【关键词】 心血管磁共振; 磁共振成像; 心血管疾病; 心肌病; 心肌梗死; 心力衰竭; 瓣膜病; 先天性心脏病; 新型冠状病毒肺炎

【中图分类号】 R543; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)05-0656-06
DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.05.023 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



心血管磁共振(cardiovascular magnetic resonance, CMR)具有无创、无辐射的特点,不仅能提供心脏结构与功能信息,还具有独特的组织特征定性及定量评估。自20世纪80年代以来,CMR广泛应用于缺血性及非缺血性心肌病、心力衰竭、瓣膜病、先天性心脏病等疾患,在各类心血管疾病的诊疗过程中发挥着日益重要的作用。尤其是2021年,CMR在各类心血管病的研究取得了新的进展,并在相关新技术方面进一步突破。本综述拟对其中的代表性成果进行总结,旨在为国内相关专业人员及时提供CMR最新研究进展。

非缺血性心肌病

非缺血性心肌病(nonischemic cardiomyopathy, NICM)是一组异质性疾病,CMR已被推荐用于其诊断与鉴别诊断、预后与危险因素分层等全病程管理。本文将重点介绍肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)、扩张型心肌病(dilated cardiomyopathy, DCM)及心肌炎相关进展。

1. HCM

最大左室壁厚度(maximal wall thickness, MWT) ≥ 15 mm(家族史或基因检测阳性 ≥ 13 mm,且

除外导致心肌肥厚的其他疾病)是目前HCM的诊断标准^[1]。Li等^[2]的研究发现部分虽尚未达到目前HCM诊断标准但心电图具有巨大倒置T波的患者在随访中有22.5%进展为典型心尖HCM,另有约50%的患者左室心尖壁厚度亦显著增加($>15\%$),表明有可能需要对心尖HCM的诊断标准进行重新审视。另外,MWT在包括植入型心律转复除颤器(implantable cardioverter-defibrillator, ICD)适应症选择方面具有指导价值,但Captur等^[3]的多中心HCM队列研究发现CMR测得的MWT在观察者间存在很大变异(标准差为11%)。尽管该研究未模拟CMR测得的MWT变异在ICD植入决策上的影响,基于超声心动图的模拟结果表明该变异将导致约15%患者的决策失误。因此,单纯采用MWT指导ICD植入时需慎重。

钆对比剂延迟增强(late gadolinium enhancement, LGE)技术可识别心肌纤维化与瘢痕,是HCM进行CMR检查的重要目的。Liu等^[4]的研究纳入了798例HCM患者,发现不同类型(包括非对称性室间隔肥厚型与心尖肥厚型、基因突变阳性与阴性)HCM患者的LGE均表现为不均匀、不对称,并且均首先累及室间隔(主要是基底部和中部)和前游离壁。林青等^[5]也发现了相似的LGE分布模式,该研究还表明LGE极少见于非肥厚节段,但上述节段的 T_1 值和细胞外间质容积分数(extracellular volume fraction, ECV)明显高于其他节段,可能与其多出现于终末期HCM患者有关。在最新指南^[1]中,LGE范围及严重程度与不良心血管事件[致命性室性心律失常(ventricular arrhythmias, VA)、心源性猝死(sudden cardiac death, SCD)等]相关。Liu等^[4]研究发现HCM患

作者单位: 100037 北京,中国医学科学院阜外医院磁共振影像科,北京协和医学院,国家心血管病中心(朱乐怡,王艺宁,赵世华,陆敏杰); 510006 广州,华南理工大学影像医学系(朱乐怡); 100037 北京,中国医学科学院心血管影像重点实验室(培育)(陆敏杰)

作者简介: 朱乐怡(1999-),女,广东江门人,硕士研究生,主要从事心血管磁共振研究工作。

通讯作者: 陆敏杰, E-mail: coolkan@163.com

基金项目: 北京协和医学院研究生教育教学改革项目(10023201900204); 国家自然科学基金(81971588, 81771811); 首都临床特色项目(Z191100006619021); 中国医学科学院临床与转化医学研究基金(2019XK320063)

者的 LGE 程度与不良预后相关,且 LGE 体积每增加 10%,SCD 风险升高 1.8 倍;同时,节段 LGE 程度亦与不良预后相关。另一项中位数长达 10 年的随访研究发现,LGE 累及 >5% 左心室质量的 HCM 患者发生 SCD 的风险最高^[6],提示上述患者很可能是植入 ICD 的候选群体。LGE 部位在 HCM 预后评估中的作用也逐渐得到研究者关注。在 Li 等^[7]的研究中,非室间隔的 LGE 是 HCM 患者全因死亡的独立预测因子[HR(风险比)为 2.21, $P<0.001$]。

虽然相对于碘对比剂,钆对比剂是安全的,但对于严重肾功能不全及过敏体质的患者还是受限。Zhang 等^[8]提出了基于深度学习算法的 CMR 仿真无对比剂增强(virtual native enhancement, VNE)技术,可通过无对比 T_1 -mapping 和电影图像的信号产生虚拟 LGE 图像。测试结果显示 VNE 图像与 LGE 一致性好,且图像质量(信噪比)更佳、生成速度快(<1 s),有潜力成为 HCM 诊断的更快速、成本更低、并发症更少的检查方法。

2. DCM

LGE 在 DCM 危险分层与预后评估中有重要应用,尤其是在预测 VA 与 SCD 方面,LGE 较常规预测指标[左心室射血分数(LVEF)等]显示出更大的优势。LVEF $\leq 35\%$ 是指南推荐 NICM 患者植入 ICD 的主要标准^[9],但在 Klem 等^[10]的大型前瞻性多中心研究中,LGE 较 LVEF 对 SCD 和严重心律失常事件提供了更高的预测价值,提示 LGE 应纳入 NICM 患者的危险分层与 ICD 植入评价标准。Di Marco 等^[11]的大型回顾性 DCM 队列研究也得出了类似的结论,发现 LGE 是 VA 和 SCD 的独立预测因子(HR 为 9.7, $P<0.001$),也是 LVEF $>35\%$ 患者发生 VA 和 SCD 的唯一独立预测因子(HR 为 11.8, $P<0.001$)。该研究还提出了联合 LGE 与 LVEF 参数的风险分层模型,并确定了高危 LGE 分布模式(合并室间隔和游离壁的 LGE、心外膜或透壁 LGE),有助于 DCM 患者植入 ICD 的决策。

相较于 LGE 成像, T_1 -mapping 与 ECV 技术可检测出细微、弥散的心肌纤维化病变,有望成为评估 DCM 尤其是 LGE 成像阴性患者预后的重要方法。Li 等^[12]重点关注 LGE 阴性的 DCM 患者,发现非对比剂增强的心肌平均 T_1 值和心肌平均 ECV 值是上述患者与心脏死亡和心脏移植相关的独立变量,ROC 曲线显示 LGE 范围 $>7.9\%$ 的 LGE 阳性患者与平均 ECV $>27.0\%$ 的 LGE 阴性患者生存率更低。

随着特征追踪(feature-tracking cardiovascular MRI, CMR-FT)等技术的发展与应用,DCM 心肌应变在预后评估的作用也得到了广泛研究。仲影等^[13]研

究发现由 CMR-FT 得到的左心室节段径向应变(RS)与纵向应变(LS)两种参数的联合具有预测 DCM 患者 LGE 阳性节段的价值(曲线下面积为 0.811),提示 CMR-FT 技术有潜力识别 DCM 心肌纤维化病变,这对于存在对比剂使用禁忌的患者更具意义。Ochs 等^[14]应用 CMR-FT 技术研究发现左心室应变尤其是整体纵向应变(GLS)可为常规 CMR 参数(LVEF 与 LGE)提供增量预后价值,因此左心室心肌应变可能有助于改善目前常规的 DCM 危险分层方法。此外,近年来对 DCM 心肌应变的研究正逐渐转向左心房领域,左心房心肌应变可反映左心房功能的细微变化。在 Li 等^[15]的研究中,利用快速长轴应变方法获得的左心房储存和导管阶段应变是特发性 DCM 患者全因死亡与心脏移植的独立预测因子($P=0.008$),且其可为临床危险因素和 LGE 提供增量预后价值(P 值均 <0.05)。

3. 心肌炎

心内膜心肌活检(endomyocardial biopsy, EMB)是心肌炎诊断的金标准,但其为有创性检查,且有包括假阴性等在内的局限性。CMR 具有无创、可评估组织特征等优势,对于 EMB 阴性患者更是具有良好的补充诊断价值。杨淑娟等^[16]的研究纳入了临床诊断为心肌炎但 EMB 为阴性的患者,发现有 93% 存在 CMR 阳性结果,64% 存在 CMR 形态和/或功能异常。在另一项 Li 等^[17]的研究中,心内膜下分布的 LGE 模式被认为是心肌炎的新 CMR 表型。与不伴有心内膜下 LGE 的心肌炎患者相比,心内膜下受累的患者表现更为严重(LVEF 降低、LGE 范围更大),且具有更高的心血管死亡或移植率、更高的严重淋巴细胞性或巨细胞性心肌炎发生率和更多的主要不良心血管事件。

缺血性心脏病

缺血性心脏病仍是全球最主要的疾病负担及最常见的死亡原因之一。CMR 在缺血性心脏病病变范围、程度、内部特征等全面诊断、指导治疗、危险分层与预后评估方面具有重要价值。

在评估心肌缺血方面,心肌药物负荷灌注 CMR 仍是目前诊断心肌缺血的经典方法。Antiochos 等^[18]的多中心研究建议将负荷 CMR 评估的心肌缺血加入冠心病(coronary artery disease, CAD)患者的危险分层模型,将所占 95% 的非致命性心肌梗死/心血管死亡中等风险的患者重新分类为低(62%)风险和高(33%)风险(事件发生率分别为每年 1.4% 和 5.3%),而无负荷 CMR 诱导的心肌缺血证据与 $<2\%$ 的每年事件发生率相关。然而,目前心肌药物负荷灌注成像仍存在检查时间长、药物注射不良反应等局限性。

2021年, Ochs等^[19]应用快速应变编码(fast Strain-ENCodeD, fSENC)序列, 发现过度通气后屏气(hyper-ventilation/breath-hold maneuver, HVBH)可作为一种新负荷检测方法, 其诊断符合率较高, 且具有无需负荷药物注射与检查时间短的优势, 但其准确性及可行性仍需要进一步评估。

在心肌梗死及存活心肌方面, Zegard等^[20]使用LGE技术对CAD患者进行了大型回顾性研究, 发现LGE与VA、SCD密切相关, 而LVEF<35%与上述终点关联程度较弱; LGE阳性患者中LGE质量>5.0g与上述终点密切相关, 而LVEF<35%与上述终点关系依旧较弱。因此, 研究者建议在选择植入ICD的CAD患者时应评估心肌纤维化, 甚至可能较LVEF更加重要。Di Bella等^[21]则研究发现部分或完全保留收缩功能的LGE组织对心肌梗死患者预后更佳; 特别对于心源性死亡高风险的患者(年龄>65岁、高室壁运动评分指数、LVEF<30%或左心室舒张末期容积升高)更具有积极预后价值。

微血管阻塞(microvascular obstruction, MVO)是冠脉介入治疗后出现无复流现象的重要原因。胡培堃等^[22]的CMR研究表明, 伴有MVO的ST段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction, STEMI)患者的LVEF更低($P<0.001$), 且MVO预测30天内不良事件的能力更佳(曲线下面积为0.889)。Scarsini等^[23]同样关注合并MVO的STEMI, 但该研究从冠脉微血管功能障碍的角度出发, 同时评估了上述患者的长期预后; 在该研究中, 冠脉微血管功能障碍患者(微循环阻力指数>40U和/或伴有MVO)发生不良事件的长期风险增加4倍以上, 且微循环阻力指数>40U与MVO预测不良预后(包括短期与长期风险)的能力相当。MVO常随着梗死心肌病程的增加而消失, Smulders等^[24]提出了一种可稳定预测MVO的新CMR参数, 称为全层梗死的心外膜表面积(EpiSA), 其是MVO的最强预测因子, 并可为梗死面积和透壁性参数提供增量预测价值($P<0.0001$)。

非冠状动脉阻塞性心肌梗死(myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries, MINOCA)是指存在心肌梗死的证据但冠状动脉造影狭窄小于50%。其发病机制多样, 正确判断病因对于治疗方案的选择非常重要。Sorensson等^[25]采用T₁-mapping和ECV技术对148例入院早期的MINOCA患者进行了前瞻性的斯德哥尔摩MINOCA(Stockholm Myocardial Infarction With Normal Coronaries, SMINC)-2研究, 结果表明SMINC-2研究获得CMR病因诊断的患者比例(77%)显著高于SMINC-1研

究, 提示早期运用T₁-mapping和ECV技术的CMR检查是MINOCA的有力诊断工具。相较于SMINC-1, 该SMINC-2研究检测到更高比例的心肌炎和takotsubo综合征, 而心肌梗死和其他心肌病的比例相似。MINOCA多见于女性, 另一项前瞻性研究则纳入了145例女性MINOCA患者, 结果显示84.5%的患者通过冠脉内光学相干断层成像与CMR的双模态成像可确定MINOCA病因, 均高于使用单个模态成像方法^[26]。

心力衰竭

射血分数保留的心力衰竭(heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF)的LVEF仍在正常范围之内, 但患者具有心衰的症状与体征, 常规影像学诊断具有挑战性。近年来, 负荷CMR在HFpEF诊断上的应用价值逐渐被研究证实。Backhaus等^[27]的前瞻性临床研究证明实时运动负荷CMR具有高度准确的诊断能力, 其对于临床评估和超声心动图仍不能确定诊断且无需进行侵入性检查的患者具有重要意义。在预后判断方面, Pezel等^[28]评估了不伴CAD的HFpEF患者的长期预后, 结果显示药物负荷CMR诱导的心肌缺血是主要不良心血管事件的独立预测因子(HR为6.10, $P<0.001$)。

心肌应变可评估心脏功能的细微改变, 近年研究亦表明其有助于HFpEF诊断及预后评估。高血压(hypertension, HTN)是HFpEF最常见的危险因素, He等^[29]应用CMR-FT评估伴与不伴HFpEF的HTN患者的应变参数改变; 结果表明, 伴有HFpEF的HTN患者除整体径向向峰值收缩应变(GRS)外的左心室应变参数均显著受损, 整体收缩期峰值周向应变率(sGCSR)具有鉴别伴与不伴HFpEF的HTN的最高诊断价值。He等^[30]的另一项研究证实CMR-FT获得的整体舒张早期纵向应变率(eGLSR)与HFpEF患者更高的心衰住院或全因死亡率独立相关(HR为2.0, $P=0.02$), 其最佳截断值为eGLSR<0.57/s。

其他

1. 心脏瓣膜病

二尖瓣脱垂(mitral valve prolapse, MVP)是原发性二尖瓣关闭不全(mitral regurgitation, MR)的常见原因, 近年来MVP相关左心室重塑的研究取得较大进展。相关研究采用LGE评估MVP患者左心室心肌纤维化程度, 结果显示左心室心肌纤维化在MVP患者中常见(28%), 且在轻度MR患者中, 左室纤维化与特定二尖瓣装置的改变、不能用容量过负荷解释的左心室异常扩张和VA有关^[31], 表明MVP患者不

仅存在二尖瓣病变,邻近心肌亦存在病变。Daza 等^[32]的研究则重点关注 LVEF 保留的 MVP 患者,发现上述患者即使没有显著的 MR 或明显的 MVP,CMR 也存在左心室扩张、基底部下外侧心肌肥厚、后侧瓣环偏移增加和乳头肌缩短受损等异常改变。

2. 先天性心脏病

4D Flow 技术可无创获取活体血流信息,其准确性与真实性较计算流体力学等传统方法更高,现已广泛应用于评估先天性心脏病的血流动力学,尤其是在术后(如 Ozaki 术^[33]、大动脉调转术^[34]等)复杂血流的评估及晚期并发症的预测方面,4D Flow 技术显示出独特优势^[35]。在新技术方面,Nguyen 等^[36]的多中心研究证实了应用超顺磁氧化铁作为对比剂的四维多期稳态动态增强成像在先天性心脏病中的应用价值,结果表明该技术得到的图像质量评分与病变诊断置信度均较高,且该技术相较于常规 CMR 还具有明显缩短图像采集时间的优势。

3. 新型冠状病毒肺炎

新型冠状病毒肺炎(coronavirus disease 2019, COVID-19)可导致心肌损伤,且该损伤与院内死亡率升高相关^[37]。因此,一种能早期且可靠地识别心肌损伤的标志物对于正确指导治疗、降低死亡率十分关键。肌钙蛋白是临床检测心肌损伤的重要标志物,但其在识别 COVID-19 相关心肌损伤中的价值仍存在争议。Chen 等^[38]纳入了出现症状 10 天内的 COVID-19 患者,发现肌钙蛋白 I 水平正常或升高的患者均可存在心肌受累,包括 CMR 应变参数和组织特征异常。另一项中位确诊至 CMR 检查间隔时间为 20 天的研究发现, T_2 值升高在活动性 COVID-19 患者中最为常见,且其与肌钙蛋白 T 水平呈正相关^[39],有潜力成为识别活动性 COVID-19 心肌损伤的 CMR 标志物。

随着 COVID-19 的继续流行与康复病例数的增加,其长期心血管后遗症亦成为近年的研究热点。Kotecha 等^[40]研究发现伴有肌钙蛋白水平升高的重度 COVID-19 患者中有 54% 在康复早期存在异质性的 CMR 异常;且在具有心肌炎样 LGE 的患者中,约 1/3 在康复早期仍显示持续活动性的心肌炎表现,但心肌损伤常仅限于三个或更少的节段,也没有相关的左室功能障碍。另一项研究纳入的中至重度 COVID-19 患者虽然在康复时无相关心脏症状与结构或功能损伤,但在出院超过 90 天后有部分可检测到亚临床 CMR 异常表现,包括 ECV 升高与左室 GLS 降低^[41]。王海涛等^[42]的研究亦关注 COVID-19 康复者的 ECV 改变,发现普通型与重型患者在出院 3 个月后的左心室 ECV 均高于健康对照组。

总结与展望

综上所述,2021 年 CMR 在各种心血管疾病的诊断、危险分层与预后评估等方面取得一系列重要成果,对目前处于大流行当中的 COVID-19 心肌受累识别及其机制的研究亦不断深入。因篇幅所限,难免挂一漏万,很多优秀的研究进展并未纳入本次综述,感兴趣的专业人员可通过包括图书馆、网络数据库、各种学术交流等进一步了解相关进展情况。虽然扫描时间长、图像伪影多仍是 CMR 的主要局限性,但展望未来,包括磁共振指纹(fingerprinting)技术、压缩感知(compressed sensing)技术、多任务(multitasking)技术等多种新技术的不断完善将有望显著缩短 CMR 扫描时间,另外,诸如心肌弥散张量成像、心肌化学交换饱和转移(chemical exchange saturation transfer, CEST)等技术的应用进一步将 CMR 从宏观组织特征成像提高到微观的细胞与代谢水平评估,必将更加夯实与丰富其“一站式”检查的独特优势,为心血管疾病的临床诊治提供更大的指导作用。

参考文献:

- [1] Ommen SR, Mital S, Burke MA, et al. 2020 AHA/ACC Guideline for the Diagnosis and Treatment of Patients with Hypertrophic Cardiomyopathy: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. *Circulation*, 2020, 142(25): e558-e631.
- [2] Li S, He J, Xu J, et al. Patients who do not fulfill criteria for hypertrophic cardiomyopathy but have unexplained giant T-wave inversion: a cardiovascular magnetic resonance mid-term follow-up study[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2021, 23(1): 67.
- [3] Captur G, Manisty CH, Raman B, et al. Maximal wall thickness measurement in hypertrophic cardiomyopathy: biomarker variability and its impact on clinical care[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(11): 2123-2134.
- [4] Liu J, Zhao S, Yu S, et al. Patterns of replacement fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy[J]. *Radiology*, 2022, 302(2): 298-306.
- [5] 林青, 王佳佳, 葛英辉. 磁共振 T_1 -mapping 及细胞外容积在肥厚型心肌病中的应用价值[J]. *放射学实践*, 2021, 36(9): 1095-1100.
- [6] Greulich S, Seitz A, Herter D, et al. Long-term risk of sudden cardiac death in hypertrophic cardiomyopathy: a cardiac magnetic resonance outcome study[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(7): 732-741.
- [7] Li X, Lai L, Luo R, et al. The clinical prognosis of presence and location of late gadolinium enhancement by cardiac magnetic resonance imaging in patients with hypertrophic cardiomyopathy: a single-center cohort study[J]. *J Cardiovasc Transl Res*, 2021, 14(5): 1001-1016.
- [8] Zhang Q, Burrage MK, Lukaschuk E, et al. Toward replacing late gadolinium enhancement with artificial intelligence virtual native enhancement for gadolinium-free cardiovascular magnetic resonance tissue characterization in hypertrophic cardiomyopathy[J].

- Circulation, 2021, 144(8):589-599.
- [9] Al-Khatib SM, Stevenson WG, Ackerman MJ, et al. 2017 AHA/ACC/HRS Guideline for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society[J]. J Am Coll Cardiol, 2018, 72(14):1677-1749.
- [10] Klem I, Klein M, Khan M, et al. Relationship of LVEF and myocardial scar to long-term mortality risk and mode of death in patients with nonischemic cardiomyopathy[J]. Circulation, 2021, 143(14):1343-1358.
- [11] Di Marco A, Brown PF, Bradley J, et al. Improved risk stratification for ventricular arrhythmias and sudden death in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy[J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 77(23):2890-2905.
- [12] Li S, Zhou D, Sirajuddin A, et al. T₁-mapping and extracellular volume fraction in dilated cardiomyopathy: a prognosis study[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(4):578-590.
- [13] 仲影, 王冠, 戴旭. 心脏磁共振组织追踪技术评估扩张型心肌病左室应变及其诊断价值[J]. 磁共振成像, 2021, 12(7):6-11.
- [14] Ochs A, Riffel J, Ochs MM, et al. Myocardial mechanics in dilated cardiomyopathy: prognostic value of left ventricular torsion and strain[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2021, 23(1):136.
- [15] Li Y, Xu Y, Tang S, et al. Left atrial function predicts outcome in dilated cardiomyopathy: fast long-axis strain analysis derived from MRI[J]. Radiology, 2022, 302(1):72-81.
- [16] 杨淑娟, 李静惠, 李璐, 等. 磁共振成像在心内膜心肌活检阴性心肌炎患者中的诊断价值: 回顾性病例系列研究[J]. 中华心血管病杂志, 2021, 49(1):23-30.
- [17] Li JH, Xu XQ, Zhu YJ, et al. Subendocardial Involvement as an underrecognized cardiac MRI phenotype in myocarditis[J]. Radiology, 2022, 302(1):61-69.
- [18] Antiochos P, Ge Y, Heydari B, et al. Prognostic value of stress cardiac magnetic resonance in patients with known coronary artery disease[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(1):60-71.
- [19] Ochs MM, Kajzar I, Salatzki J, et al. Hyperventilation/breath-hold maneuver to detect myocardial ischemia by strain-encoded CMR: diagnostic accuracy of a needle-free stress protocol[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2021, 14(10):1932-1944.
- [20] Zegard A, Okafor O, De Bono J, et al. Myocardial fibrosis as a predictor of sudden death in patients with coronary artery disease[J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 77(1):29-41.
- [21] Di Bella G, Aquaro GD, Bogaert J, et al. Non-transmural myocardial infarction associated with regional contractile function is an independent predictor of positive outcome: an integrated approach to myocardial viability[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2021, 23(1):121.
- [22] 胡培堃, 何杰, 吴连明, 等. ST段抬高型心肌梗死患者微血管阻塞对左室功能及预后的影响[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2021, 41(2):173-179.
- [23] Searsini R, Shanmuganathan M, De Maria GL, et al. Coronary microvascular dysfunction assessed by pressure wire and CMR after STEMI predicts long-term outcomes[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2021, 14(10):1948-1959.
- [24] Smulders MW, Van Assche LMR, Bekkers S, et al. Epicardial surface area of infarction: a stable surrogate of microvascular obstruction in acute myocardial infarction[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2021, 14(2):e010918.
- [25] Sorensson P, Ekenback C, Lundin M, et al. Early comprehensive cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2021, 14(9):1774-1783.
- [26] Reynolds HR, Maehara A, Kwong RY, et al. Coronary optical coherence tomography and cardiac magnetic resonance imaging to determine underlying causes of myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries in women[J]. Circulation, 2021, 143(7):624-640.
- [27] Backhaus SJ, Lange T, George EF, et al. Exercise stress real-time cardiac magnetic resonance imaging for noninvasive characterization of heart failure with preserved ejection fraction: the HFpEF-stress trial[J]. Circulation, 2021, 143(15):1484-1498.
- [28] Pezel T, Hovasse T, Sanguineti F, et al. Long-term prognostic value of stress CMR in patients with heart failure and preserved ejection fraction[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2021, 14(12):2319-2333.
- [29] He J, Sirajuddin A, Li S, et al. Heart failure with preserved ejection fraction in hypertension patients: a myocardial MR strain study[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 53(2):527-539.
- [30] He J, Yang W, Wu W, et al. Early diastolic longitudinal strain rate at MRI and outcomes in heart failure with preserved ejection fraction[J]. Radiology, 2021, 301(3):582-592.
- [31] Constant D, Beaufilet AL, Huttin O, Jobbe-Duval A, et al. Replacement myocardial fibrosis in patients with mitral valve prolapse: relation to mitral regurgitation, ventricular remodeling, and arrhythmia[J]. Circulation, 2021, 143(18):1763-1774.
- [32] Daza AR, Chokshi A, Pardo P, et al. Mitral valve prolapse morphofunctional features by cardiovascular magnetic resonance: more than just a valvular disease[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2021, 23(1):107.
- [33] Secinaro A, Milano EG, Ciancarella P, et al. Blood flow characteristics after aortic valve neocuspidization in paediatric patients: a comparison with the Ross procedure[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2022, 23(2):275-282.
- [34] Sotelo J, Valverde I, Martins D, et al. Impact of aortic arch curvature in flow haemodynamics in patients with transposition of the great arteries after arterial switch operation[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2022, 23(3):402-411.
- [35] 张归玲, 周依然, 吴迪, 等. 4D Flow MRI 血流动力学成像概述及其临床应用[J]. 放射学实践, 2022, 37(1):4-9.
- [36] Nguyen KL, Ghosh RM, Griffin LM, et al. Four-dimensional multiphase steady-state MRI with ferumoxytol enhancement: early multicenter feasibility in pediatric congenital heart disease[J]. Radiology, 2021, 300(1):162-173.
- [37] Shi S, Qin M, Shen B, et al. Association of cardiac injury with mortality in hospitalized patients with COVID-19 in Wuhan, China[J]. JAMA Cardiol, 2020, 5(7):802-810.
- [38] Chen BH, Shi NN, Wu CW, et al. Early cardiac involvement in patients with acute COVID-19 infection identified by multiparametric cardiovascular magnetic resonance imaging[J]. Eur Heart

- J Cardiovasc Imaging, 2021, 22(8):844-851.
- [39] Galea N, Marchitelli L, Pambianchi G, et al. T₂-mapping increase is the prevalent imaging biomarker of myocardial involvement in active COVID-19: a cardiovascular magnetic resonance study[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2021, 23(1):68.
- [40] Kotecha T, Knight DS, Razvi Y, et al. Patterns of myocardial injury in recovered troponin-positive COVID-19 patients assessed by cardiovascular magnetic resonance[J]. Eur Heart J, 2021, 42(19):1866-1878.
- [41] Li X, Wang H, Zhao R, et al. Elevated extracellular volume fraction and reduced global longitudinal strains in participants recovered from COVID-19 without clinical cardiac findings[J]. Radiology, 2021, 299(2):E230-E240.
- [42] 王海涛, 韩明锋, 尹桂涛, 等. 心脏 MR 纵向弛豫时间定量成像评估新型冠状病毒肺炎康复患者心肌损伤的价值[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(3):245-249.

(收稿日期:2022-01-20 修回日期:2022-08-17)

《放射学实践》连续三年入选《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告》



近日,《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告(2022)》(简称《WJCI 报告》)正式发布,《放射学实践》杂志再度入选。这是自 2020 年《WJCI 报告》首次发布以来,《放射学实践》连续第三年入选,既是对《放射学实践》办刊质量、学术水平和价值的充分肯定,也为期刊的宣传和发展提供了更广阔的舞台。

《WJCI 报告》是由中国科学技术信息研究所、《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、清华大学图书馆、万方数据有限公司、中国高校科技期刊研究会、中国科学技术期刊编辑学会联合研制的世界科技期刊评价报告,于 2020 年首次发布。《WJCI 报告》旨在建立新的期刊评价系统,从全球 6 万余种活跃科技期刊中精选 1.5 万种具有地区代表性、学科代表性的重要学术期刊,通过研制发布“科技期刊世界影响力 WJCI 指数”,对其在全球科技创新活动中起到的出版传播效果和服务作用进行科学评价。与其他评价系统相比,WJCI 指数更加客观反映了以中国为代表的新兴科技大国期刊、非英语期刊、新兴前沿学科期刊对全球科技创新的真实贡献,对推动世界科技期刊公平评价、同质等效使用具有重要参考作用。

经严格遴选,《WJCI 报告》2022 版收录全球科技期刊 15022 种,其中中国科技期刊 1634 种,中文期刊 1262 种。