

## · 综述 ·

## CMR 参数及相关纹理分析预测肥厚型心肌病患者主要心脏不良事件研究进展

郑月, 马运婷, 沙立辉, 赵晓莹, 赵新湘

**【摘要】** 肥厚型心肌病(HCM)是最常见的遗传性心肌病之一,轻者可无任何症状,重者可发生心脏猝死(SCD)。临床上需要评估 SCD 风险,进而指导植入式心室转复除颤器(ICD)的应用。目前临床上常用的风险预测指南不能很好地评估患者预后,因此需要探索更准确的指标来提供预后信息。心脏磁共振(CMR)已成为评估 HCM 的金标准成像方式,其多参数成像可识别 HCM 中高危 SCD 人群,从而及时接受治疗,改善预后。本文就目前国内外有关 CMR 参数评价 HCM 患者预后的研究进行综述。

**【关键词】** 肥厚型心肌病;纹理分析;磁共振成像;心脏磁共振;主要心脏不良事件;预测价值

**【中图分类号】** R445.2;R542.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)03-0410-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.03.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)是一种常染色体显性遗传心肌病,是 35 岁以下成人心脏猝死(sudden cardiac death, SCD)最常见的原因<sup>[1]</sup>。据 2021 年《Lancet》发布的 HCM 临床管理指南,全球人口中, HCM 发病率约为 0.2%~0.5%<sup>[2]</sup>。在我国,经年龄、性别校正后的患病率为万分之八,估计我国成人 HCM 患者超过 100 万<sup>[1]</sup>。HCM 的特点为左室壁厚度增加,不能用异常负荷解释(如高血压或主动脉瓣狭窄)<sup>[2]</sup>。HCM 常累及室间隔,表现为室壁非对称性增厚,心腔缩小,其病理特征为心肌细胞肥大和间质纤维化。HCM 患者轻者可无任何症状,重者可出现劳力性呼吸困难、晕厥、心力衰竭甚至 SCD。目前已出现多种方式治疗 HCM,如药物治疗(常用为β受体阻滞剂或钙离子拮抗剂)、介入手术(经皮室间隔消融术)、外科手术(室间隔心肌切除术)以及植入式心室转复除颤器(implantable cardioverter defibrillator, ICD)植入治疗,但上述方式无一能彻底治愈 HCM。HCM 患者远期预后仍不理想,其根本原因是主要心脏不良事件(major adverse cardiac events, MACE)的高发生率及缺乏准确的指标对 MACE 的发生风险进行评估。本文就目前国内外有关心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)参数及相关纹理分析预测 MACE 发生风险的研究进行综述,旨在对 HCM 的危险分层提供一定的建议和参考,从而及时

干预并改善预后。

## HCM 经典 SCD 危险分层指南

MACE 主要包括:SCD、植入 ICD、恶性心律失常、栓塞性卒中、植入心脏起搏器、心衰、心脏移植等。SCD 是 HCM 患者最严重的后果,而植入 ICD 是目前减少 SCD 风险最有效的措施。因此,临床上需要评估 SCD 的发生风险,进一步评估、指导 ICD 的应用。目前,对 HCM 患者 SCD 危险分层指南有 2014 年欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)提出的 5 年 HCM Risk-SCD 风险模型和 2020 年美国心脏病学会/美国心脏协会(American College of Cardiology/American Heart Association, ACC/AHA)提出的 7 种 SCD 临床危险因素<sup>[3-4]</sup>。两者共同纳入的主要危险因素包括:SCD 家族史、最大室壁厚度≥30 mm、非持续性室性心动过速、不明原因的晕厥。此外,ESC 指南将年龄、左房内径、左室流出道梗阻、运动血压反应纳入 SCD 风险评估,而 ACC/AHA 指南将左室收缩功能障碍、左室心尖室壁瘤、(延迟钆强化质量/左室质量)%>15%纳入风险评估。由于两种指南评估的主要危险因素不全相同,会导致同一患者 SCD 风险等级存在差异。且最近的一项包含 784 例 HCM 的大样本研究表明<sup>[5]</sup>,ESC 提出的 5 年 HCM Risk-SCD 风险模型敏感性较低,而 ACC/AHA 提出的 SCD 风险分层的 7 种临床因素的特异性较低。因此,现有的 SCD 风险分层指南不能很好的预测远期发生 MACE 的概率,临床医生制定正确的治疗策略仍具有极大的挑战性。

## CMR 获得的心脏结构、组织特征参数与 MACE

## 1. 常规电影序列

**作者单位:** 650101 云南昆明,昆明医科大学第二附属医院放射科

**作者简介:** 郑月(1996—),女,四川眉山人,硕士研究生,住院医师,主要从事心脏磁共振研究。

**通讯作者:** 赵新湘, E-mail: zhaoxinxiang06@126.com

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(82160332);北京医学奖励基金会课题研究项目(YXJL-2022-0665-0214);云南省重点项目(202201AY070001-097);昆医附二院院内临床研究项目(ynllT2021010)

既往研究发现,左房内径<sup>[6]</sup>、最大室壁厚度<sup>[7]</sup>和左室心尖室壁瘤<sup>[8]</sup>已确定为 HCM 患者预后不良的危险因素,并已纳入 SCD 危险分层<sup>[3-4]</sup>。近年来,有关右房室、二尖瓣环平面收缩偏移(mitral annular plane systolic excursions, MAPSE)、三尖瓣环平面收缩期偏移(tricuspid annular plane systolic excursions, TAPSE)与 HCM 预后的研究取得一定的成果。Doesch 等<sup>[9]</sup>将 HCM 患者分为房颤组(包括最初诊断时出现房颤和随访期间出现房颤)和窦性心率组,与健康对照组相比,窦性心率组 MAPSE 减少,而房颤组则 TAPSE 减少和右心房扩张。受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析显示, TAPSE、右心房直径和 MAPSE 对存在房颤风险的患者有良好的预测能力,提示可作为 HCM 患者发生房颤风险的标志物。Dong 等<sup>[10]</sup>研究发现,与无严重右心室肥厚的 HCM 患者相比,合并严重右心室肥厚的患者有更严重的临床症状和更高的纽约心脏病协会(New York Heart Association, NYHA)心功能分级,并且有更差的临床随访结果。Zhang 等<sup>[11]</sup>对 893 例 HCM 进行随访研究,并将存在右心室肥厚、梗阻或延迟强化之一定为右心室受累,发现右心室受累是 HCM 患者心血管死亡、全因死亡、心衰相关死亡的独立危险因素。

## 2. 钆延迟强化

心肌纤维化是 HCM 的病理特征之一,也是发生心律失常甚至 SCD 的重要病理基础。根据不同病因及病理特征改变,心肌纤维化分为替代性纤维化、反应性纤维化和浸润性纤维化。HCM 是替代性纤维化的常见疾病之一,其原因可能与小血管缺血导致心肌细胞死亡并最终间质纤维增生修复有关,也有研究提到可能与细胞外基质蛋白的过度沉积有关<sup>[12]</sup>。心脏磁共振延迟钆强化(cardiac magnetic resonance late gadolinium enhancement, CMR-LGE)是检测心肌纤维化的有效手段。HCM 患者中 LGE 的平均报告率为 65%,但可能存在于高达 86%的患者中<sup>[13]</sup>。研究证实,CMR-LGE 检测的心肌纤维化是 HCM 患者不良预后的独立预测因子。Doesch 等<sup>[14]</sup>利用 5 年 HCM Risk-SCD 模型对 149 例患者进行风险评估发现, LGE% $\geq 20\%$  的患者有很高的 MACE 发生率,而 LGE% $< 20\%$  的患者,尽管 SCD 风险评分 $\geq 6\%$ (高危),但 MACE 发生率很低。不同类型的心肌病存在一定的 LGE 分布特征, HCM 患者心肌强化区域常位于肥厚节段的心肌中层,以室间隔和右室插入点多见,表现为点状、片状或团块状强化。基于此, Li 等<sup>[15]</sup>对 HCM 患者 LGE 强化位置和预后关系进行研究,发现 LGE 位于室间隔外的患者的全因死亡率、心血管死亡

率、心脏移植和 SCD 显著高于 LGE 位于室间隔的患者,多因素 Cox 回归分析显示, LGE 位于室间隔外是预后不良的独立预测指标。以上研究显示, LGE 的存在、程度及分布位置是独立于常规危险因素的重要预测指标,可为 HCM 患者 MACE 风险评估提供一定的增量价值。

## 3. 心肌应变

CMR 特征追踪(cardiovascular magnetic resonance feature tracking, CMR-FT)技术基于常规电影序列,可以自动追踪心动周期中心内膜及心外膜上体素的相对运动与位移,评价心肌在张力作用下的形变能力。与左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)相比, CMR-FT 可以评价局部心肌的运动及舒张早期功能的变化,对于射血分数保留的 HCM 患者心功能的评价亦具有明显的优势。通过 CMR-FT 反应的心肌应变和 HCM 患者预后有一定的关系。Negri 等<sup>[16]</sup>研究发现,在所有的应变参数中,整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)是 HCM 患者终点事件的独立预测因子,将 GLS 添加到其常规包含临床、影像危险因子的预测模型中,其 C-统计量从 0.48 升至 0.65。与 GLS 相关的峰值舒张期应变率(peak diastolic strain rate, PDSR)也是预测 HCM 患者不良结局的一种新的、易于获得的标志物,有利于风险分层<sup>[17]</sup>。另一项研究显示,整体径向收缩期应变率值 $< 1.4/s$ 和整体径向舒张期应变率值 $\geq 1.38/s$ 与随访时的临床事件独立相关<sup>[18]</sup>。心肌纤维化是引起心肌运动异常的重要原因之一,且 CMR-FT 检测心肌运动功能的改变非常敏感,因此具有间接反应纤维化的价值。有研究者将 HCM 随机分为训练组和验证组,发现 CMR-FT 衍生的节段周向应变(segmental circumferential strain, SCS)可将两组中有无 LGE 鉴别出来,原因可能是 HCM 心肌纤维化通常位于心肌中层,而周向应变主要由心肌中部的心肌周纤维产生<sup>[19]</sup>。另一项研究显示,室间隔的 GLS 和梗阻型 HCM 组织学上的心肌纤维化及室性心律失常独立相关<sup>[20]</sup>。因此,不管是心肌运动还是心肌纤维化, CMR-FT 都能很准确地监测 HCM 患者的疾病进展,为预后评价提供参考。

## 4. T<sub>1</sub>-mapping、ECV

HCM 患者中局灶和弥漫性心肌纤维化常共同存在。LGE 对局灶性纤维化敏感,在弥漫性心肌纤维化中,由于缺乏对比,其诊断效能不佳。纵向弛豫时间定量(T<sub>1</sub>-mapping)技术无需以正常心肌作为对比,可测得一定场强下的心肌 T<sub>1</sub>值,反映弥漫纤维化过程中的不良心肌组织重构。按照是否注入对比剂可测得初始 T<sub>1</sub>(Native T<sub>1</sub>)值和增强后 T<sub>1</sub>(Enhanced T<sub>1</sub>)值,但

Enhanced  $T_1$  值易受多种因素(如给药剂量、延迟强化时间等)影响,其稳定性和可重复性逊色于 Native  $T_1$  值,因此临床诊断工作时多使用 Native  $T_1$  值<sup>[21]</sup>。测得 Native  $T_1$  值和 Enhanced  $T_1$  值后结合红细胞压积,可计算得到细胞外容积(extracellular volume, ECV)。HCM 患者中,Native  $T_1$  值和 ECV 值较正常人升高,值越大,提示心肌纤维化越重,且 Native  $T_1$  值和 ECV 值检测的纤维化与组织学上的纤维化有良好的对应关系<sup>[22-24]</sup>。此外,Native  $T_1$  值和 ECV 值还与心肌肥厚相关,并可将 HCM 与常见的引起左室心肌肥厚的疾病鉴别开,如心肌淀粉样变性、高血压心脏病等。近年来,Native  $T_1$  值和 ECV 值也越来越多地用于预后评价。有研究者发现,整体 Native  $T_1$  值与 MACE 独立相关, $T_1$ -mapping 作为一种新的 SCD 风险分层生物标志物,有潜力成为当前 SCD 风险评估指南的补充<sup>[25]</sup>。Li 等<sup>[26]</sup>研究显示,ECV 是评价 HCM 不良预后的强有力指标,且 ECV 每增加 3%,主要终点发生的风险将增加 1.374 倍。另一项研究显示,当平均 ECV 值 $>27\%$ 时,HCM 患者发生室性心律失常的风险增加 2 倍,从而更易发生猝死<sup>[27]</sup>。Native  $T_1$  值升高与心肌收缩功能受损有密切关系,而 ECV 与舒张功能障碍相关,提示可通过监测两者值的改变为心功能评价提供信息<sup>[22,27]</sup>。

#### 5. $T_2$ -mapping、 $T_2^*$ -mapping 和 $T_2$ BOLD

心肌水肿是 HCM 早期的病理特征, $T_2$  WI 序列上信号强度可以反映由于微循环功能障碍导致的心肌水肿改变<sup>[28]</sup>。高  $T_2$  信号与标志心肌损伤的高敏心肌钙蛋白 T(hs-cTnT)相关,提示在影像上高  $T_2$  信号可作为心肌损伤的标志物<sup>[29]</sup>。一项多中心研究显示,伴有高  $T_2$  信号的 HCM 患者 SCD 风险分层更有可能位于中高危,且 SCD 预计发生率比无高  $T_2$  信号的患者高 1.5 倍,但高  $T_2$  信号相关的混杂因素较多,其单独预测能力较低<sup>[30]</sup>。 $T_2$ -mapping 能定量测得不同心肌节段的  $T_2$  值,可以更准确、更直观地反映心肌和间质水含量的变化。 $T_2$  值越大,心肌细胞水肿越严重。 $T_2$ -mapping 可在心脏形态和功能改变之前,定量发现异常的心肌组织重构,有利于 HCM 的早期诊断<sup>[28]</sup>。但有关  $T_2$  值大小与预后的研究,尚未见文献报道,其原因也可能是相关混杂因素较多,研究设计存在一定难度。

$T_2^*$ -mapping 是另一项表征心肌组织特征的技术,反映组织本身及主磁场不均匀导致的横向磁化强度矢量的衰减,称为  $T_2^*$  弛豫时间或  $T_2^*$  值。HCM 患者由于微循环障碍,氧合血红蛋白减少,脱氧血红蛋白增加,脱氧血红蛋白具有顺磁性,从而降低  $T_2^*$  值。 $T_2^*$  降低可提示心肌缺血和心肌纤维化,并与心律失

常具有一定的相关性<sup>[31-32]</sup>。新近出现的  $T_2^*$  血氧水平依赖(blood oxygen level dependent, BOLD) MRI 技术,可用于心肌的氧合评价,该值降低提示灌注不足,并与纤维化形成相关,不利于 HCM 患者预后<sup>[13,33]</sup>。

#### 基于 CMR 图像获得的纹理特征与 MACE

心脏正常的收缩及舒张功能依赖于心肌细胞的数量、形态及排列顺序。HCM 患者心肌细胞肥大、畸形,心肌纤维排列紊乱,从而显示出一定的异质性。CMR 作为常见的一种生物医学成像方式,包含了反应疾病特定过程和状态的信息,但传统的图像分析方式无法识别、量化。近年来,基于 MR 图像的纹理特征分析已成为研究热点,在肿瘤领域的应用价值已经得到验证。纹理分析可以通过一定的算法从图像中提取信息,呈现为定量的放射学特征,反映人眼无法识别的微小改变,从而提高诊断效能和预测价值。

##### 1. 基于电影序列的纹理特征分析

常规电影序列提供心脏形态学和功能学特征。纹理分析可将常规的电影图像转换为高维数据,客观、定量地描述组织水平上的心肌形态学特征。基于电影序列的影像组学特征差异有助于区分 HCM 患者 LGE(+)和 LGE(-)的心肌,识别无纤维化的患者,减少不必要的钆给药<sup>[34]</sup>。关于电影序列获取的纹理特征与 HCM 预后的研究,尚无文献报道。

##### 2. 基于 LGE 的纹理特征分析

传统的 LGE 通常以量和分布来诊断和预测疾病,纹理分析可提供纤维化的空间异质性信息。Wang 等<sup>[35]</sup>从 LGE 图像中提取的放射组学特征 LBP 和 Moment 可反映瘢痕的异质性,对识别 SCD 高危的 HCM 患者具有独立的预测价值。Aquaro 等<sup>[36]</sup>利用 LGE 纹理分析一色散映射方法,发现整体色散评分(global dispersion score, GDS) $>0.86$  患者预后差于低 GDS 患者,其 GDS $>0.86$  对 LGE $\%>15\%$  HCM 患者有附加预测作用,其 5 年 SCD 风险从 8%上升至 34%,多因素分析显示,GDS $>0.86$  是心脏事件的唯一独立预测因子,可以提供比 LGE 的存在和程度更好的危险分层。Alis 等<sup>[37]</sup>利用基于机器学习的 LGE 纹理分析研究 HCM 患者的室性心律失常发现,k-nearest-neighbors 模型预测室性心律失常的敏感度和特异度可分别达到 95.2%和 93.0%。

##### 3. 基于 $T_1$ -mapping、 $T_1$ WI 的纹理特征分析

不同心脏疾病之间、心脏疾病与健康人之间的  $T_1$  值和 ECV 值可出现重叠,且  $T_1$  值受设备、场强影响很难确定截断值。因此,通过  $T_1$  值和 ECV 值的大小诊断疾病表型有一定的难度。实际用到的  $T_1$  值多为

整体测量的平均值,大量反映疾病特征的信息未被利用。纹理分析允许对  $T_1$ -mapping 图像中像素灰度水平的空间分布进行量化分析,提供更多有用的信息。基于 Native  $T_1$ -mapping 的纹理特征分析有利于 HCM 与其他心脏疾病的检出和分类,且在描述心肌肥厚方面优于传统的 Native  $T_1$  值<sup>[38]</sup>。此外,通过对 Native  $T_1$ -mapping 的纹理分析还能表征 HCM 与其他心脏疾病不同的纤维化模式<sup>[39]</sup>。Neisius 等<sup>[40]</sup>对 188 例疑似或确诊 HCM 患者研究时,验证了基于 Native  $T_1$ -mapping 的纹理特征 LRLGE-45°和 LBP-22 等能够识别所有的 LGE(+)患者和 37% 的 LGE(-)患者,可用于筛查识别出避免使用钆剂的患者。

$T_1$  WI 序列通常用于辅助其他序列对疾病进行诊断。HCM 患者心肌纤维化可在  $T_1$ -mapping 和 LGE 上发现异常,而在  $T_1$  WI 序列上单纯通过视觉观察和主观分析无法识别。纹理分析有利于定量检测心肌组织异常。研究显示,基于  $T_1$  WI 获得的四种纹理特征 GLenNonU、WavEnLL、Fraction、Sum Average 在 HCM 和对照组间有差异,包含单参数 GLenNonU 的模型被证明是区分 HCM 患者和对照组的最佳模型,其敏感度、特异度分别为 91%、93%<sup>[41]</sup>。基于  $T_1$ -mapping、 $T_1$  WI 获取的纹理特征是否可以预测 HCM 不良预后,尚未见文献报道。

#### 4. 基于 $T_2$ WI 的纹理特征分析

$T_2$  WI 序列显示的信号强度差异和阈值设定有关,高于阈值的心肌表现为高信号,而人眼识别高信号是主观的,不是基于组织学发现的。 $T_2$ -mapping 可量化心肌组织的  $T_2$  值,但需要额外的扫描序列。Amano 等<sup>[42]</sup>研究发现,HCM 患者中基于  $T_2$  WI 获得的纹理特征 GLenNonU、SumAverg 和 Energy 明显高于对照组,其中 GLenNonU 是 HCM 患者和对照组之间的最佳鉴别指标。与 HCM 肥厚但无  $T_2$  高信号和 LGE 的区域相比, $T_2$  异常高信号区域的 GLenNonU 明显较小,而 SumAverg、Energy 和 99% 百分位数较大。GLenNonU 主要反应灰度的不均匀性,从而反映心肌的异质性,而 SumAverg 主要反应肥厚区域心肌含水量的变化。因此,基于  $T_2$  WI 序列的纹理分析可以反映 HCM 组织特征改变,有利于 HCM 的诊断和鉴别诊断。

HCM 人群患病率高且存在 SCD 风险,虽然已有 ESC 和 ACC/AHA 指南用于 SCD 识别,但多项研究指出指南的应用价值有限。目前,CMR 参数评价成为临床诊断、治疗参考和预后评估的重要组成部分。传统的 CMR 图像分析结果已经成为临床决策的参考,可提供心脏形态、结构、功能方面的信息,甚至在一定程度上反应心肌病理生理改变,但其效能有限。基于

影像组学的图像纹理分析正在成为一种趋势,可提供更全面、更丰富的信息,提高 CMR 诊断和预测价值。基于 LGE 的图像纹理分析特征可以反映瘢痕的异质性,具有较 LGE 本身更好的预测效能,但仍需要使用对比剂。而 HCM 多为年轻人发病,随访过程中需要反复使用钆剂,会造成各系统异常钆剂聚集,对身体造成伤害<sup>[34,41]</sup>。虽然心脏电影、 $T_1$ -mapping、 $T_1$  WI、 $T_2$  WI 等序列无需注射对比剂,可进行图像纹理分析,但研究成果还处在 HCM 诊断、心肌组织特征的识别及表征层面,其预测价值还有待进一步探索。

综上,CMR 传统图像分析手段和纹理分析各具优缺点,随着 CMR 新技术的发展与成熟,两者结合是必然的发展趋势,且将在 HCM 危险分层和预后评估方面发挥越来越重要的作用。

#### 参考文献:

- [1] 中国心血管健康与疾病报告编写组.中国心血管健康与疾病报告 2020 概要[J].中国循环杂志,2021,36(6):521-545.
- [2] Ommen SR,Semsarian C.Hypertrophic cardiomyopathy;a practical approach to guideline directed management[J].Lancet,2021,398(10316):2102-2108.
- [3] Elliott PM,Anastasakis A,Borger MA,et al.2014 ESC guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy: the task force for the diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC)[J].Eur Heart J,2014,35(39):2733-2779.
- [4] Ommen SR,Mital S,Burke MA,et al.2020 AHA/ACC guideline for the diagnosis and treatment of patients with hypertrophic cardiomyopathy:executive summary;a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines[J].Circulation,2020,142(25):e533-e557.
- [5] Zegkos T,Tziomalos G,Parcharidou D,et al.Validation of the new American College of Cardiology/American Heart Association Guidelines for the risk stratification of sudden cardiac death in a large mediterranean cohort with hypertrophic cardiomyopathy[J].Hellenic J Cardiol,2022,63:15-21.
- [6] Nakao R,Nagao M,Higuchi S,et al.Relation of left atrial flow, volume,and strain to paroxysmal atrial fibrillation in patients with hypertrophic cardiomyopathy[J].Am J Cardiol,2022,166:72-80.
- [7] Rowin EJ,Maron BJ,Romashko M,et al.Impact of effective management strategies on patients with the most extreme phenotypic expression of hypertrophic cardiomyopathy [J]. Am J Cardiol, 2019,124(1):113-121.
- [8] Lee DJZ, Montazeri M, Bataiosu R, et al. Clinical characteristics and prognostic importance of left ventricular apical aneurysms in hypertrophic cardiomyopathy [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022,15(10):1696-1711.
- [9] Doesch C, Lossnitzer D, Rudic B, et al. Right ventricular and right atrial involvement can predict atrial fibrillation in patients with hypertrophic cardiomyopathy? [J]. Int J Med Sci, 2016,13(1):1-7.

- [10] Dong X, Zhang D, Qu Y, et al. Severe right ventricular hypertrophy in hypertrophic cardiomyopathy: saerious symptoms, complex surgical procedures, and poor prognosis in Fuwai hospital [J]. *Anatol J Cardiol*, 2021, 25(7): 476-483.
- [11] Zhang Y, Zhu Y, Zhang M, et al. Implications of structural right ventricular involvement in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes*, 2022; 9(1): 34-41.
- [12] Liu J, Zhao S, Yu S, et al. Patterns of replacement fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Radiology*, 2022, 302(2): 298-306.
- [13] Sivalokanathan S. The role of cardiovascular magnetic resonance imaging in the evaluation of hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Diagnosics (Basel)*, 2022, 12(2): 314.
- [14] Doesch C, Tülümen E, Akin I, et al. Incremental benefit of late gadolinium cardiac magnetic resonance imaging for risk stratification in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 6336.
- [15] 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.
- [16] Negri F, Muser D, Driussi M, et al. Prognostic role of global longitudinal strain by feature tracking in patients with hypertrophic cardiomyopathy: the STRAIN-HCM study [J]. *Int J Cardiol*, 2021, 345: 61-67.
- [17] Li ZL, He S, Xia CC, et al. Global longitudinal diastolic strain rate as a novel marker for predicting adverse outcomes in hypertrophic cardiomyopathy by cardiac magnetic resonance tissue tracking [J]. *Clin Radiol*, 2021, 76(1): 78.e19-78.e25.
- [18] Martínez-Vives P, Cecconi A, Vera A, et al. Usefulness of tissue tracking by cardiac magnetic resonance to predict events in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Am J Cardiol*, 2022, 174: 126-135.
- [19] She J, Zhao S, Chen Y, et al. Detecting regional fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy: the utility of myocardial strain based on cardiac magnetic resonance [J]. *Acad Radiol*, 2023, 30(2): 230-238.
- [20] Song Y, Bi X, Chen L, et al. Reduced myocardial septal function assessed by cardiac magnetic resonance feature tracking in patients with hypertrophic obstructive cardiomyopathy: associated with histological myocardial fibrosis and ventricular arrhythmias [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2022, 23(8): 1006-1015.
- [21] 周笛, 赵世华, 陆敏杰. 心肌 T<sub>1</sub>-mapping 进展: 成像技术与临床应用 [J]. *放射学实践*, 2020, 35(7): 933-938.
- [22] Swoboda PP, McDiarmid AK, Erhayiem B, et al. Effect of cellular and extracellular pathology assessed by T<sub>1</sub>-mapping on regional contractile function in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2017, 19(1): 16.
- [23] Cui Y, Chen Y, Cao Y, et al. Myocardial extracellular volume fraction measurements with MOLLI 5(3)3 by cardiovascular MRI for the discrimination of healthy volunteers from dilated and hypertrophic cardiomyopathy patients [J]. *Clin Radiol*, 2019, 74(9): 732.e9-732.e16.
- [24] Xu J, Zhuang B, Sirajuddin A, et al. MRI T<sub>1</sub>-mapping in hypertrophic cardiomyopathy: evaluation in patients without late gadolinium enhancement and hemodynamic obstruction [J]. *Radiology*, 2020, 294(2): 275-286.
- [25] Qin L, Min J, Chen C, et al. Incremental values of T<sub>1</sub>-mapping in the prediction of sudden cardiac death risk in hypertrophic cardiomyopathy: a comparison with two guidelines [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 661673.
- [26] Li Y, Liu X, Yang F, et al. Prognostic value of myocardial extracellular volume fraction evaluation based on cardiac magnetic resonance T<sub>1</sub>-mapping with T<sub>1</sub> long and short in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(7): 4557-4567.
- [27] Levine J, Collins JD, Ogele E, et al. Relation of late gadolinium enhancement and extracellular volume fraction to ventricular arrhythmias in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Am J Cardiol*, 2020, 131: 104-108.
- [28] Huang L, Ran L, Zhao P, et al. MRI native T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>-mapping of myocardial segments in hypertrophic cardiomyopathy: tissue remodeling manifested prior to structure changes [J]. *Br J Radiol*, 2019, 92(1104): 20190634.
- [29] Chen S, Huang L, Zhang Q, et al. T<sub>2</sub>-weighted cardiac magnetic resonance image and myocardial biomarker in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(23): e20134.
- [30] Gommans DHF, Cramer GE, Bakker J, et al. High T<sub>2</sub>-weighted signal intensity for risk prediction of sudden cardiac death in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2018, 34(1): 113-120.
- [31] Gastl M, Gruner C, Labucay K, et al. Cardiovascular magnetic resonance T<sub>2</sub>\*-mapping for the assessment of cardiovascular events in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Open Heart*, 2020, 7(1): e001152.
- [32] Gastl M, Gotschy A, von Spiczak J, et al. Cardiovascular magnetic resonance T<sub>2</sub>\*-mapping for structural alterations in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Eur J Radiol Open*, 2019, 6: 78-84.
- [33] Ando K, Nagao M, Watanabe E, et al. Association between myocardial hypoxia and fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy: analysis by T<sub>2</sub>\* BOLD and T<sub>1</sub>-mapping MRI [J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(8): 4327-4336.
- [34] Mancio J, Pashakhanloo F, El-Rewaidy H, et al. Machine learning phenotyping of scarred myocardium from cine in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2022, 23(4): 532-542.
- [35] Wang J, Bravo L, Zhang J, et al. Radiomics analysis derived from lge-MRI predict sudden cardiac death in participants with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 766287.
- [36] Aquaro GD, Grigoratos C, Bracco A, et al. Late gadolinium enhancement-dispersion mapping: a new magnetic resonance imaging technique to assess prognosis in patients with hypertrophic cardiomyopathy and low-intermediate 5-year risk of sudden death [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(6): e010489.
- [37] Alis D, Guler A, Yergin M, et al. Assessment of ventricular tachyarrhythmia in patients with hypertrophic cardiomyopathy with machine learning-based texture analysis of late gadolinium enhancement cardiac MRI [J]. *Diagn Interv Imaging*, 2020, 101(3): 137-146.

- [38] Antonopoulos AS, Boutsikou M, Simantiris S, et al. Machine learning of native T<sub>1</sub>-mapping radiomics for classification of hypertrophic cardiomyopathy phenotypes[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 23596.
- [39] El-Rewaidy H, Neisius U, Nakamori S, et al. Characterization of interstitial diffuse fibrosis patterns using texture analysis of myocardial native T<sub>1</sub>-mapping [J]. PLoS One, 2020, 15(6): e0233694.
- [40] Neisius U, El-Rewaidy H, Kucukseymen S, et al. Texture signatures of native myocardial T<sub>1</sub> as novel imaging markers for identification of hypertrophic cardiomyopathy patients without scar [J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 52(3): 906-919.
- [41] Baeßler B, Mannil M, Maintz D, et al. Texture analysis and machine learning of non-contrast T<sub>1</sub>-weighted MR images in patients with hypertrophic cardiomyopathy-Preliminary results[J]. Eur J Radiol, 2018, 102: 61-67.
- [42] Amano Y, Yanagisawa F, Omori Y, et al. Detection of myocardial tissue alterations in hypertrophic cardiomyopathy using texture analysis of T<sub>2</sub>-weighted short inversion time inversion recovery magnetic resonance imaging[J]. J Comput Assist Tomogr, 2020, 44(3): 341-345.

(收稿日期:2022-09-29 修回日期:2023-02-16)

## 《放射学实践》连续 3 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。