

【DOI】 10.3969 / j.issn.1671-6450.2026.05.022

综述

# 心脏磁共振延迟钆增强在肥厚型心肌病心源性猝死风险分层中的临床应用研究进展

汪莉莉综述 赵蕾审校



基金项目: 国家重点研发计划项目( 2024YFC2417504); 国家自然科学基金资助项目( 82471929 82071875); 北京市自然科学基金资助项目( 7222302)

作者单位: 100029 北京 ,首都医科大学附属北京安贞医院影像科

通信作者: 赵蕾 ,E-mail: s2006430@ 126.com

**【摘要】** 肥厚型心肌病( HCM) 是最常见的遗传性心肌病之一 ,也是心源性猝死( SCD) 的重要病因。心脏磁共振延迟钆增强( LGE) 成像可无创评估心肌纤维化 ,已被广泛用于 HCM 患者的 SCD 风险分层。文章围绕 HCM 患者 SCD 风险评估的研究进展 ,重点综述 LGE 的预后价值及其在风险评估中的争议与挑战 ,旨在为 LGE 在临床实践中的规范化应用及个体化风险分层提供参考。

**【关键词】** 肥厚型心肌病; 心源性猝死; 延迟钆增强成像; 心脏磁共振

**【中图分类号】** R542.2; R445.2 **【文献标识码】** A

**Clinical applications and research progresses of late gadolinium enhancement on cardiac magnetic resonance for sudden cardiac death risk stratification in hypertrophic cardiomyopathy** Wang Lili ,Zhao Lei. Department of Radiology , Beijing Anzhen Hospital ,Capital Medical University ,Beijing 100029 ,China

Funding program: National Key Research and Development Program of China( 2024YFC2417504); National Natural Science Foundation of China ( 82471929 82071875); Beijing Natural Science Foundation ( 7222302)

Corresponding author: Zhao Lei ,E-mail: s2006430@ 126.com

**【Abstract】** Hypertrophic cardiomyopathy (HCM) is one of the most common inherited cardiomyopathies and a major cause of sudden cardiac death (SCD). Late gadolinium enhancement (LGE) on cardiac magnetic resonance enables noninvasive assessment of myocardial fibrosis and has been widely applied in SCD risk stratification among patients with HCM. This review summarizes recent progresses in SCD risk assessment in HCM, with a particular focus on the prognostic value of LGE and the ongoing controversies and challenges associated with its application in clinical risk stratification. The aim of this review is to provide an updated overview to support the standardized clinical utility of LGE and individualized risk stratification in patients with HCM. Future studies, particularly large-scale multicenter prospective investigations, are warranted to further harmonize LGE quantification methods and thresholds, thereby improving the accuracy and clinical generalizability of SCD risk stratification.

**【Key words】** Hypertrophic cardiomyopathy; Sudden cardiac death; Late gadolinium enhancement; Cardiac magnetic resonance

肥厚型心肌病( hypertrophic cardiomyopathy ,HCM) 是一种以心肌异常肥厚为主要形态学特征的常染色体显性遗传病 ,也是心源性猝死( sudden cardiac death ,SCD) 的重要病因之一<sup>[1-3]</sup>。植入式心律转复除颤器( implantable cardioverter defibrillator ,ICD) 是预防 SCD 的主要手段 ,但其临床获益高度依赖于准确的风险分层 ,因此 ,如何在疾病早期识别 SCD 高危患者仍是 HCM 诊疗中的核心难题。心肌纤维化是 HCM 发生与进展的重要病理基础 ,与心律失常及 SCD 风险密切相关<sup>[4]</sup>。心脏磁共振( cardiac magnetic resonance ,CMR) 延迟钆增强( late gadolinium enhancement ,LGE) 成像可无创评估心肌纤维化 ,为

SCD 风险分层提供了新的影像学依据。近年来 ,多项研究证实 ,LGE 的存在、负荷及进展与 HCM 患者的不良预后密切相关<sup>[5-8]</sup> ,但受限于量化方法及阈值界定的差异 ,其在临床风险评估中的应用仍存在差异。基于上述背景 ,本文系统综述 HCM 患者 SCD 风险评估的研究进展 ,重点从 LGE 的预后价值、量化方法、临床争议及未来研究方向等方面进行总结与讨论 ,以期 LGE 在 HCM 患者个体化风险分层及 ICD 临床决策中的规范化应用提供参考。

## 1 HCM 患者 SCD 风险分层

基于早期的研究结果 ,学者们提出了 5 项 SCD 的传统危险

因素,包括不明原因晕厥、40 岁以下一级亲属 SCD 史、非持续性室性心动过速(non sustained ventricular tachycardia, NSVT)、左心室最大壁厚度 $\geq 30$  mm 以及运动诱发的异常血压反应<sup>[9]</sup>。欧洲早期指南提出,当患者合并 2 项及以上危险因素时推荐 ICD 植入,但后续研究发现,该策略对高危患者的识别能力并未明显优于单一危险因素评估<sup>[10-11]</sup>。为提高风险评估水平,欧洲学者进一步提出 HCM Risk-SCD 数学模型,将年龄、最大左心室壁厚度、左心室流出道压差等变量纳入,通过预测 5 年 SCD 风险指导 ICD 植入,并被 2014 年欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)指南采纳<sup>[12]</sup>。多项研究证实,该模型在特异度方面表现较好,但其敏感度相对不足,且在不同地域及人群中的预测效能存在明显差异<sup>[13-16]</sup>。

随着研究的深入,多项研究一致表明,广泛 LGE(LGE 的左心室心肌质量占比 $\geq 15\%$ )、心尖部室壁瘤及左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF) $< 50\%$ 均与 SCD 的发生独立相关<sup>[17-19]</sup>,并被纳入了 2022 年 ESC 和 2024 年美国心脏病学会/美国心脏协会(American College of Cardiology/American Heart Association, ACC/AHA)指南的风险评估框架<sup>[20-21]</sup>。然而,不同指南在危险因素整合策略上的差异,亦反映出有风险评估体系在敏感度与特异度之间仍存在权衡。一项基于 774 例 HCM 患者的大样本回顾性研究显示<sup>[7]</sup>,与 2022 年 ESC 指南相比,2024 年 ACC/AHA 指南在预测 SCD 方面具有更高的敏感度(0.848 vs. 0.761),但其特异度相对较低(0.674 vs. 0.762),可能增加 ICD 过度植入的风险。SCD 风险评估在指导 ICD 植入决策及改善 HCM 患者预后方面具有至关重要的临床意义。风险评估不足可能导致高危患者漏诊,而风险评估过度则可能增加装置相关感染、不恰当放电等不必要并发症。因此,如何在现有指南框架下进一步优化风险评估模型,实现对 HCM 患者更为精准的风险分层,仍是临床亟待解决的关键问题。

## 2 LGE 技术概述

近年来,影像学标志物如 LGE 为风险分层提供了新的视角,其核心在于对心肌纤维化这一关键病理改变的影像学可视化。心肌纤维化是 HCM 发生与进展过程中的关键病理学基础,其定性识别与定量评估对于疾病进程监测及预后风险分层具有重要意义。LGE 成像基于钆对比剂的延迟排空特性,可无创评估心肌纤维化,实现病理改变的影像学可视化。对比剂钆-二乙烯三胺五乙酸可自由通过毛细血管壁,但不能穿透完整的细胞膜。在 HCM 患者中,心肌细胞常被不同程度的胶原纤维取代,伴随心肌细胞排列紊乱及细胞外间隙显著扩大,导致对比剂在细胞外间隙中分布增加且清除延迟,从而在延迟期磁共振成像上表现为局灶或弥漫性高信号区域<sup>[22]</sup>。

在实际成像过程中,通常于静脉注射钆对比剂 10~15 min 后进行反转恢复序列扫描,通过调节反转时间以抑制正常心肌信号,从而提高病变心肌与正常组织之间的对比度。该技术能够实现局灶性替代性纤维化的高分辨率可视化,被认为是评估心肌纤维化的“金标准”<sup>[23]</sup>。

## 3 LGE 在 SCD 风险评估中的应用

基于 LGE 对心肌纤维化的可靠识别能力,其在 HCM 患者

SCD 及其他主要不良心血管事件(major adverse cardiac events, MACEs)风险评估中的应用日益受到关注,并显示出重要的预后价值。

3.1 定性研究:LGE 的有无与不良预后的相关性 在早期研究中,Greulich 等<sup>[24]</sup>对 711 例 HCM 患者进行了中位时间 3.5 年的随访研究。结果显示,在单变量分析中,LGE 的存在与 SCD 终点相关;然而,在校正 LVEF 后,其预测效能不再具有统计学意义。对于心源性死亡等 MACEs, LGE 的存在亦仅在单变量分析与终点事件相关,而在进一步校正 LVEF 及 NSVT 后,该关联不再显著。上述结果提示,LGE 与不良预后之间的相关性可能在一定程度上受到心功能状态及心律失常等临床因素的影响,其独立预测价值仍存在不确定性。在此基础上,后续更大样本的研究进一步从群体层面验证了 LGE 的存在与不良预后的相关性。另一项纳入 3 770 例 HCM 患者的荟萃分析显示,LGE 的存在与 SCD 等 MACEs 显著相关,提示心肌纤维化在疾病不良转归中具有重要作用<sup>[6]</sup>。最近,Siddiqi 等<sup>[25]</sup>的荟萃分析进一步证实,LGE 的存在与 SCD 显著相关( $OR = 3.64$ ,  $95\% CI 2.36 \sim 5.61$ ,  $P < 0.001$ ),进一步支持了 LGE 作为风险分层影像学标志物的潜在价值。

3.2 定量研究:LGE 负荷与 SCD 风险分层阈值 在定性研究基础上,研究者们进一步聚焦于 LGE 范围的定量评估,并尝试明确其用于风险分层的临界阈值。在一项随访时间长达 10 年的研究中,Greulich 等<sup>[24]</sup>通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析确定左心室心肌质量中 LGE 占比 5%为预测 SCD 的最佳临界值,并发现 LGE $> 5\%$ 与约 12 倍的 SCD 风险显著相关。此外,在 LGE $> 5\%$ 的患者中,SCD 的 5 年、10 年及 15 年累积发生率均明显高于总体人群(5.5% vs. 2.3%; 13.0% vs. 4.8%; 33.3% vs. 15.7%)。Amgad 等<sup>[18]</sup>在一项纳入 1 423 例低至中危 HCM 患者的队列研究中,采用限制性立方样条分析确定 15%为关键阈值,结果显示 LGE $\geq 15\%$ 的患者 SCD 风险约增加了 3 倍,且不受传统风险因素的影响。Todiere 等<sup>[26]</sup>在一项多中心、低中危人群的队列研究中,基于 ROC 曲线分析提出 10%作为风险界值,并发现 LGE $\geq 10\%$ 与约 9 倍的 SCD 风险相关。基于不断积累的循证医学证据,2020 年 AHA/ACC 指南及 2022 年 ESC 指南均将 LGE $\geq 15\%$ 纳入 HCM 患者 SCD 风险分层体系,作为指导 ICD 植入的重要影像学危险因素。然而,现有研究提示 SCD 风险并非仅在 LGE 达到 15%后才显著增加,较低程度的 LGE 负荷同样可能带来不可忽视的猝死风险,其在风险分层中的潜在价值仍有待进一步系统研究。

3.3 特征研究:LGE 的空间分布特征与预后差异 近年来,除范围外,LGE 的空间分布特征亦逐渐受到关注。既往影像学研究表明,HCM 患者的 LGE 并非随机分布,而是具有相对特异的解剖学模式,其中,右心室插入部是最常见的受累部位,其形成与局部较高的机械应力相关<sup>[27-28]</sup>,但目前针对其预后意义的研究仍相对有限。此外,尽管在 HCM 中,LGE 主要分布于心肌中层,但在一项队列研究中,Maron 等<sup>[29]</sup>报道至少 33%(67/202)的患者存在心内膜下受累的 LGE 模式,提示该分布类型并不少

见。在此基础上 ,Yang 等<sup>[30]</sup> 在一项回顾性队列研究中发现 ,在 LGE<15% 的 HCM 患者中 ,心内膜下分布的 LGE 与 MACEs 的发生独立相关 ,这一发现提示即便在纤维化总体负荷较低的人群中 ,LGE 特定的分布特征仍具有重要的风险分层价值 ,为进一步优化现有 SCD 风险评估模型提供了新的研究方向。

#### 4 LGE 定量评估在 SCD 风险分层中的研究现状

在明确 LGE 的重要预测价值后 ,如何准确、可重复地量化成为影响其临床应用的关键问题。关于 LGE 的定量评估 ,目前主要包括视觉评估法、半自动灰阶阈值法及全宽半高( full width at half maximum ,FWHM) 法等。不同量化方法在操作流程、重复性及适用性方面各具特点 ,也由此导致定量结果存在显著差异。

视觉评估法主要依赖观察者对 LGE 范围的主观判断 ,通过目测方式估计强化区域 ,其操作简便 ,适用于临床快速评估 ,在早期研究及常规临床实践中应用较为广泛。然而 ,其结果受阅片经验影响较大 ,观察者内和观察者间一致性相对较低<sup>[31]</sup> ,难以作为精确量化工具应用于风险分层研究。半自动灰阶阈值法则以非强化心肌作为正常参考区域 ,根据其平均信号强度并设定高于该值若干倍标准差( standard deviation ,SD) 的阈值 ,对强化区域进行半自动识别和定量 ,是目前应用最为广泛的方法之一。在 HCM 患者中 ,目前应用最多的是 2 SD 法和 6 SD 法。但即使在同一研究中 ,不同阈值设定对结果影响显著 :较低阈值( 如 2 SD) 可能高估纤维化范围 ,而较高阈值( 如 6 SD) 则可能低估病变程度。因此 ,不同研究之间由于阈值选择差异 ,导致 LGE 负荷结果存在较大差异<sup>[32]</sup>。FWHM 法除需选取正常参考心肌外 ,还需在强化区域内确定最大信号强度 ,并通常以该最大值的一半作为阈值界定 LGE。该方法具有较好的重复性 ,在心肌梗死等以局灶性瘢痕为主要表现的疾病中应用较为广泛<sup>[31-33]</sup>。然而 ,该方法依赖于左心室内存在信号强度明显高于周围心肌的局灶性高信号核心区 ,而在多数 HCM 患者中 ,LGE 往往呈斑片状或弥漫性分布 ,边界欠清晰 ,导致其在实际应用中受到一定限制。

近期 ,Gavrysh 等<sup>[34]</sup> 在 98 例慢性心肌梗死( chronic myocardial infarction ,CMI) 、91 例 HCM 及 96 例炎性心肌病( inflammatory heart disease ,IHD) 患者中 ,比较了视觉评估法、半自动灰阶阈值法( 2~6 SD) 及 FWHM 法的一致性。结果显示 ,在 CMI 患者中 ,FWHM 法的一致性最高 ;而在 HCM 及 IHD 患者中 ,半自动灰阶阈值法中的 5 SD 及 6 SD 方法一致性更佳。上述结果提示 ,不同 LGE 定量方法在技术原理及适用人群方面各具特点 ,应结合具体临床情境进行合理选择。

对于 HCM 患者而言 ,尽管当前指南已将 LGE ≥ 15% 作为 SCD 风险分层的重要危险因素 ,但并未对具体的量化方法作出统一推荐。既往研究多将半自动化结果与视觉评估结果进行比较 ,尚未形成一致结论 ,且对不同方法预后价值的研究仍较有限。Harrigan 等<sup>[32]</sup> 在 201 例 HCM 患者中分别采用视觉评估法及半自动灰阶阈值法中的 2 SD、4 SD 和 6 SD 量化 LGE 结果发现随着阈值升高 ,LGE 范围逐级减小 ,其中 6 SD 法所得结果与视觉评估最为接近 ,二者一致性最高。Mikami 等<sup>[31]</sup> 进一

步比较了视觉评估法、2~6 SD 灰阶阈值法及 FWHM 法 ,发现不同方法量化的 LGE 范围差异显著 ,其中以 3 SD 法量化的 LGE 范围与视觉评估结果的相关性最高。为进一步阐明 LGE 的组织学基础 ,研究者对不同量化方法所得的 LGE 结果进行了病理学对照分析。Moravsky 等<sup>[35]</sup> 发现 ,采用 4 SD 和 5 SD 法量化的 LGE 范围与总体纤维化负荷的相关性最强 ,而使用 10 SD 法所得的 LGE 范围则更能反映替代性纤维化。Moon 等<sup>[36]</sup> 在 1 例接受心脏移植的 28 岁男性 HCM 患者的离体心脏中 ,通过组织学分析证实 ,采用 2 SD 法量化的 LGE 范围与胶原纤维含量呈显著正相关(  $r=0.70$   $P<0.001$ ) ,为 LGE 量化的病理学意义提供了直接证据。在预后评估方面 ,尽管多项研究一致表明 ,不同方法量化的 LGE 范围均与 HCM 患者的不良临床结局独立相关 ,但针对各方法预后效能的直接比较仍然有限。既往研究显示 ,采用 2 SD、3 SD、4 SD、5 SD 及 6 SD 法量化的 LGE 范围在多因素分析中均与不良预后相关<sup>[7,24,37-38]</sup> ;相比之下 ,FWHM 法量化的 LGE 范围仅在单因素分析中与预后相关 ,在进一步校正 LVEF<50% 后 ,其预测效能不再显著<sup>[19]</sup>。

基于上述研究证据 ,尽管 LGE 定量在 HCM 风险分层中具有重要临床价值 ,但不同量化方法在结果一致性、病理学对应及预后预测效能方面仍存在明显差异 ,缺乏统一标准。这一现状在一定程度上限制了 LGE 在临床实践和指南推荐中的进一步应用 ,也提示有必要对不同量化方法进行系统比较与优化 ,以提高其在 SCD 风险评估中的可重复性和临床实用性。

#### 5 小结与展望

早期、精准 SCD 风险分层是指导 HCM 患者 ICD 临床决策的核心环节。LGE 作为无创评估心肌纤维化的重要影像学标志 ,在 SCD 风险预测中展现出重要价值。然而 ,现有 LGE 量化方法尚未统一 ,不同方法所得结果的可比性和临床适用性仍存在争议。未来研究亟需依托多中心、前瞻性队列对 LGE 的最佳量化方法及阈值进行系统验证 ,同时推动自动化、标准化 LGE 定量工具的开发 ,进一步探索 LGE 与其他影像学参数及生物标志物的联合应用 ,以提高 HCM 患者 SCD 风险分层的准确性与临床可推广性。

#### 参考文献

- [1] Maron BJ. Clinical course and management of hypertrophic cardiomyopathy [J]. N Engl J Med ,2018 ,379( 7) : 655-668. DOI: 10.1056/NEJMc1812159.
- [2] Maron BJ ,Rowin EJ ,Maron MS. Paradigm of sudden death prevention in hypertrophic cardiomyopathy [J]. Circ Res ,2019 ,125( 4) : 370-378. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.119.315159.
- [3] Monda E ,Limongelli G. Integrated sudden cardiac death risk prediction model for patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. Circulation ,2023 ,147( 4) : 281-283. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.122.063019.
- [4] Matthia EL ,Setteducato ML ,Elzeneini M ,et al. Circulating biomarkers in hypertrophic cardiomyopathy [J]. J Am Heart Assoc ,2022 ,11( 23) : e027618. DOI: 10.1161/jaha.122.027618.
- [5] 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. DOI: 10.1093/ehjci/jeaa423.
- [6] He D , Ye M , Zhang L , et al. Prognostic significance of late gadolinium enhancement on cardiac magnetic resonance in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Heart Lung* , 2018 , 47( 2) : 122-126. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2017.10.008.
- [7] Wang J , Yang S , Ma X , et al. Assessment of late gadolinium enhancement in hypertrophic cardiomyopathy improves risk stratification based on current guidelines [J]. *Eur Heart J* , 2023 , 44( 45) : 4781-4792. DOI: 10.1093/eurheartj/ehad581.
- [8] Tang Y , Chen X , Zhao K , et al. Serial myocardial fibrosis assessments predict outcomes in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *JACC Cardiovasc Imaging* , 2026. DOI: 10.1016/j.jcmg.2026.01.008.
- [9] Gersh BJ , Maron BJ , Bonow RO , et al. 2011 ACCF/AHA guideline for the diagnosis and treatment of hypertrophic cardiomyopathy: A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg* , 2011 , 142( 6) : e153-203. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2011.10.020.
- [10] Maron BJ , Shen WK , Link MS , et al. Efficacy of implantable cardioverter-defibrillators for the prevention of sudden death in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *N Engl J Med* , 2000 , 342( 6) : 365-373. DOI: 10.1056/nejm200002103420601.
- [11] Maron BJ , Rowin EJ , Maron MS. Evolution of risk stratification and sudden death prevention in hypertrophic cardiomyopathy: Twenty years with the implantable cardioverter-defibrillator [J]. *Heart Rhythm* , 2021 , 18( 6) : 1012-1023. DOI: 10.1016/j.hrthm.2021.01.019.
- [12] 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. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu284.
- [13] Liu J , Wu G , Zhang C , et al. Improvement in sudden cardiac death risk prediction by the enhanced American College of Cardiology/American Heart Association strategy in Chinese patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Heart Rhythm* , 2020 , 17( 10) : 1658-1663. DOI: 10.1016/j.hrthm.2020.04.017.
- [14] Oliveira Antunes M , Fernandes F , Arteaga-Fernandez E , et al. Validation of ACC/AHA and ESC sudden cardiac death risk guidelines in diverse hypertrophic cardiomyopathy cohort: Stratification HCM study [J]. *Glob Heart* , 2024 , 19( 1) : 94. DOI: 10.5334/gh.1380.
- [15] Choi YJ , Kim HK , Lee SC , et al. Validation of the hypertrophic cardiomyopathy risk-sudden cardiac death calculator in Asians [J]. *Heart* , 2019 , 105 ( 24) : 1892-1897. DOI: 10.1136/heartjnl-2019-315160.
- [16] Wang J , Zhang Z , Li Y , et al. Variable and limited predictive value of the european society of cardiology hypertrophic cardiomyopathy sudden-death risk model: A Meta-analysis [J]. *Can J Cardiol* , 2019 , 35( 12) : 1791-1799. DOI: 10.1016/j.cjca.2019.05.004.
- [17] Maron MS , Rowin EJ , Maron BJ. Hypertrophic cardiomyopathy with left ventricular apical aneurysm: The newest high-risk phenotype [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* , 2020 , 21( 12) : 1351-1352. DOI: 10.1093/ehjci/jeaa277.
- [18] Amgad M , Pejman RG , Smedira NG , et al. Late Gadolinium enhancement in patients with hypertrophic cardiomyopathy and preserved systolic function [J]. *J Am Coll Cardiol* , 2018 , 72( 8) : 857-870. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.05.060.
- [19] Ismail TF , Jabbour A , Gulati A , et al. Role of late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance in the risk stratification of hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Heart* , 2014 , 100( 23) : 1851-1858. DOI: 10.1136/heartjnl-2013-305471.
- [20] Zeppenfeld K , Tfelt-Hansen J , de Riva M , et al. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death [J]. *Eur Heart J* , 2022 , 43( 40) : 3997-4126. DOI: 10.1093/eurheartj/ehac262.
- [21] Ommen SR , Ho CY , Asif IM , et al. 2024 AHA/ACC/AMSSM/HRS/PACES/SCMR Guideline for the management of hypertrophic cardiomyopathy: A report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines [J]. *J Am Coll Cardiol* 2024 , 83( 23) : 2324-2405. DOI: 10.1016/j.jacc.2024.02.014.
- [22] Nazarian S , Bluemke DA , Lardo AC , et al. Magnetic resonance assessment of the substrate for inducible ventricular tachycardia in nonischemic cardiomyopathy [J]. *Circulation* , 2005 , 112 ( 18) : 2821-2825. DOI: 10.1161/circulationaha.105.549659.
- [23] Weng Z , Yao J , Chan RH , et al. Prognostic value of LGE-CMR in HCM: A Meta-Analysis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging* , 2016 , 9( 12) : 1392-1402. DOI: 10.1016/j.jcmg.2016.02.031.
- [24] 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. DOI: 10.1093/ehjci/jeaa423.
- [25] Siddiqi AK , Maniya MT , Bilal O , et al. Prognostic value of late gadolinium enhancement on cardiac magnetic resonance imaging for non-sustained ventricular tachycardia and sudden cardiac death in hypertrophic cardiomyopathy: A meta-analysis [J]. *Eur Radiol* , 2026 , 36( 2) : 1158-1169. DOI: 10.1007/s00330-025-11961-y.
- [26] Todiere G , Nugara C , Gentile G , et al. Prognostic role of late gadolinium enhancement in patients with hypertrophic cardiomyopathy and low-to-intermediate sudden cardiac death risk score [J]. *Am J Cardiol* , 2019 , 124( 8) : 1286-1292. DOI: 10.1016/j.amjcard.2019.07.023.
- [27] Cardim N , Galderisi M , Edvardsen T , et al. Role of multimodality cardiac imaging in the management of patients with hypertrophic cardiomyopathy: An expert consensus of the European Association of Cardiovascular Imaging Endorsed by the Saudi Heart Association [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* , 2015 , 16( 3) : 280. DOI: 10.1093/ehjci/jeu291.
- [28] Freed BH , Gomberg-Maitland M , Chandra S , et al. Late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance predicts clinical worsening in patients with pulmonary hypertension [J]. *J Cardiovasc Magn Reson* , 2012 , 14( 1) : 11. DOI: 10.1186/1532-429x-14-11.

- [29] Maron MS ,Appelbaum E ,Harrigan CJ ,et al. Clinical profile and significance of delayed enhancement in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Circ Heart Fail* ,2008 ,1( 3 ) : 184-191. DOI: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.108.768119.
- [30] Yang S ,Zhao K ,Yang K , et al. Subendocardial involvement as an underrecognized LGE subtype related to adverse outcomes in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *JACC Cardiovasc Imaging* , 2023 , 16( 9 ) : 1163-1177. DOI: 10.1016/j.jcmg.2023.03.011.
- [31] Mikami Y ,Kolman L ,Joncas SX , et al. Accuracy and reproducibility of semi-automated late gadolinium enhancement quantification techniques in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *J Cardiovasc Magn Reson* ,2014 ,16( 1 ) : 85. DOI: 10.1186/s12968-014-0085-x.
- [32] Harrigan CJ ,Peters DC ,Gibson CM , et al. Hypertrophic cardiomyopathy: Quantification of late gadolinium enhancement with contrast-enhanced cardiovascular MR imaging [J]. *Radiology* , 2011 , 258( 1 ) : 128-133. DOI: 10.1148/radiol.10090526.
- [33] Jones RE ,Zaidi HA ,Hammersley DJ , et al. Comprehensive phenotypic characterization of late gadolinium enhancement predicts sudden cardiac death in coronary artery disease [J]. *JACC Cardiovasc Imaging* , 2023 , 16( 5 ) : 628-638. DOI: 10.1016/j.jcmg.2022.10.020.
- [34] Gavrysh J ,Reisdorf P ,Hadler T , et al. Reproducibility of late gadolinium enhancement quantification techniques in ischemic and non-ischemic heart diseases ( ReLate study ) [J]. *Front Cardiovasc Med* , 2025 , 12: 1621292. DOI: 10.3389/fcvm.2025.1621292.
- [35] Moravsky G , Ofek E ,Rakowski H , et al. Myocardial fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy: Accurate reflection of histopathological findings by CMR [J]. *JACC Cardiovasc Imaging* , 2013 , 6( 5 ) : 587-596. DOI: 10.1016/j.jcmg.2012.09.018.
- [36] Moon JC ,Reed E ,Sheppard MN , et al. The histologic basis of late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *J Am Coll Cardiol* , 2004 , 43( 12 ) : 2260-2264. DOI: 10.1016/j.jacc.2004.03.035.
- [37] 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. DOI: 10.1161/circimaging.120.010489.
- [38] Avanesov M ,Münch J ,Weinrich J , et al. Prediction of the estimated 5-year risk of sudden cardiac death and syncope or non-sustained ventricular tachycardia in patients with hypertrophic cardiomyopathy using late gadolinium enhancement and extracellular volume CMR [J]. *Eur Radiol* , 2017 , 27( 12 ) : 5136-5145. DOI: 10.1007/s00330-017-4869-x.

( 收稿日期: 2026-01-26)

## ( 上接 621 页)

- [3] Gentile LF ,Cuenca AG ,Efron PA , et al. Persistent inflammation and immunosuppression: A common syndrome and new horizon for surgical intensive care [J]. *J Trauma Acute Care Surg* ,2012 ,72( 6 ) : 1491-1501. DOI: 10.1097/TA.0b013e318256e000.
- [4] Chadda KR ,Blakey EE ,Davies TW , et al. Risk factors ,biomarkers , and mechanisms for persistent inflammation , immunosuppression , and catabolism syndrome ( PICS ) : A systematic review and meta-analysis [J]. *Br J Anaesth* ,2024 ,133( 3 ) : 538-549. DOI: 10.1016/j.bja.2024.03.038.
- [5] Nakamura K ,Ogura K ,Nakano H , et al. C-reactive protein clustering to clarify persistent inflammation , immunosuppression and catabolism syndrome [J]. *Intensive Care Med* ,2020 ,46( 3 ) : 437-443. DOI: 10.1007/s00134-019-05851-3.
- [6] Efron PA ,Mohr AM ,Bihorac A , et al. Persistent inflammation , immunosuppression , and catabolism and the development of chronic critical illness after surgery [J]. *Surgery* ,2018 ,164( 2 ) : 178-184. DOI: 10.1016/j.surg.2018.04.011.
- [7] Chadda KR ,Puthuchery Z. Persistent inflammation , immunosuppression , and catabolism syndrome ( PICS ) : A review of definitions , potential therapies , and research priorities [J]. *Br J Anaesth* ,2024 , 132( 3 ) : 507-518. DOI: 10.1016/j.bja.2023.11.052.
- [8] Zhang J ,Luo W ,Miao C , et al. Hypercatabolism and anti-catabolic therapies in the persistent inflammation , immunosuppression , and catabolism syndrome [J]. *Front Nutr* ,2022 ,9: 941097. DOI: 10.3389/fnut.2022.941097.
- [9] Xiong D ,Geng H ,Lv X , et al. Inflammatory response and anti-inflammatory treatment in persistent inflammation-immunosuppression-catabolism syndrome ( PICS ) [J]. *J Inflamm Res* ,2025 ,18: 2267-2281. DOI: 10.2147/JIR.S504694.
- [10] Ditsatham C ,Chongruksut W. Phyllodes tumor of the breast: Diagnosis ,management and outcome during a 10-year experience [J]. *Cancer Manag Res* ,2019 ,11: 7805-7811. DOI: 10.2147/CMAR.S215039.

( 收稿日期: 2025-07-16)