

综述

延迟增强心脏磁共振成像对扩张型心肌病的评估价值*

甘玉红¹ 杨 智² 文 苗²
龙义添² 付 兵^{2,*}

1.成都中医药大学医学与生命科学学院
2.成都市第五人民医院放射科
(四川 成都 611130)

【摘要】扩张型心肌病(dilated cardiomyopathy, DCM)是引发心衰、心律失常和猝死的常见心脏病,在人群中具有较高的发病率及死亡率。心肌纤维化是其主要的病理表现,纤维化显著促进心衰和功能障碍的加重,并增加折返性心律失常的风险,导致DCM的死亡率增加。早期诊断与病情监测具有重要的临床意义。钆增强(late gadolinium enhancement, LGE)心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)成像被认为是无创评估心肌纤维化的“金标准”。因此,我们总结了该方法在DCM诊断、心肌纤维化评估以及疾病预后预测等方面的研究成果,深入剖析了其在临床实践中的应用价值,期望为临床诊断及治疗提供思路。

【关键词】扩张型心肌病; 延迟增强;
磁共振成像; 心肌纤维化
【中图分类号】R542.2
【文献标识码】A
【基金项目】四川省卫生健康委员会课题
(20PJ216);
成都市科技局课题
(19-YF05-00111-SN)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.06.059

The Evaluation Value of Delayed-enhanced Cardiac Magnetic Resonance Imaging for Dilated Cardiomyopathy*

GAN Yu-hong¹, YANG Zhi², WEN Miao², LONG Yi-tian², FU Bing^{2,*}.
1.School of Medicine and Life Sciences, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611130, Sichuan Province, China
2.Department of Radiology, Chengdu Fifth People's Hospital, Chengdu 611130, Sichuan Province, China

ABSTRACT
Dilated cardiomyopathy (DCM) is a common type of cardiomyopathy that can lead to heart failure, arrhythmia, and sudden cardiac death. It has a relatively high incidence and mortality rate in the general population. Myocardial fibrosis is the main pathological manifestation of DCM. Fibrosis significantly contributes to the exacerbation of heart failure and functional impairment, and increases the risk of reentrant arrhythmias, resulting in an increased mortality rate of DCM. Early diagnosis and disease monitoring are of great clinical significance. Late gadolinium enhancement (LGE) cardiac magnetic resonance (CMR) imaging is regarded as the "gold standard" for non-invasive assessment of myocardial fibrosis. Therefore, we have summarized the research achievements of this method in the diagnosis of DCM, the assessment of myocardial fibrosis, and the prediction of disease prognosis, and deeply analyzed its application value in clinical practice, with the expectation of providing ideas for clinical diagnosis and treatment.
Keywords: Dilated Cardiomyopathy; Delayed Enhancement; Magnetic Resonance Imaging; Myocardial Fibrosis

扩张型心肌病(dilated cardiomyopathy, DCM)是一种表现为左室或双室增大并伴有收缩或舒张功能障碍的心肌病^[1]。DCM发病较缓,所有年龄段均可发病,以中年人居多,男性多于女性,每年的发病率超过7/10000^[2]。早期诊断及有效监测DCM,采用科学、高效的方法评估DCM,有助于预防、延缓疾病进展,降低并发症发生率、从而改善患者的预后。超声心动图或心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)检查评估DCM在临床广泛应用,超声心动图仅反应形态、结构功能变化,且空间分辨率较低,容易受主观因素及气体的干扰。CMR具有多参数、多模态成像的特点,可以高分辨率精确显示左室生理结构,且可重复性高,优于超声检查^[3]。随着磁共振技术不断进展,钆增强(late gadolinium enhancement, LGE)心脏磁共振成像在DCM诊断过程中得到广泛应用,能够发现心肌的组织学特征,在危险分层及预后评估方面有一定价值。

1 LGE原理及常用特定序列

LGE技术利用正常心肌细胞膜完整,钆对比剂不能穿过具有完整细胞膜的正常心肌,只能通过血管进入心肌细胞间质,因此可以快速显影,快速廓清,呈现类似“快进快出”表现。当心肌细胞膜完整性丧失,细胞膜的通透性增加,钆剂可以不受限制地进入心肌细胞,并继续在细胞内积聚,从而出现延迟增强。钆剂能够缩短组织的T1弛豫时间,从而增加正常心肌组织和病变心肌组织之间的信号强度差异^[4]。在心肌纤维化过程中,心肌瘢痕组织逐步形成,同时心肌细胞间质也开始出现水肿,二者相互影响,致使心肌细胞外间隙明显变宽,这种结构上的改变,让心肌细胞外间隙有了更大的空间来容纳钆剂,随着钆剂不断进入,在磁共振成像扫描时,便展现出了延迟强化的特点^[5-6]。LGE显示需要特定的成像序列,目前常用的有^[4]: 单次激发PSIR(single-shot PSIR, SS-PSIR)序列、自由呼吸运动伪影校正PSIR(motion-correction PSIR, MOCO-PSIR)序列和非血流依赖黑血延迟强化(flow-independent dark-blood delayed enhancement, FIDDLE)序列。

2 LGE在DCM中的应用

2.1 检测纤维化 心肌纤维化是DCM的重要病理改变,它会导致心肌硬度增加、顺应性减低、电传导异常,进而影响心脏的功能。CMR相关技术可以检测到的纤维化分为替代性纤维化与弥漫性间质纤维化^[7]。弥漫性间质纤维化病理改变是心肌细胞之间的间质内纤维组织呈弥漫性、均匀性增多,胶原蛋白等细胞外基质成分大量沉积,常围绕心肌细胞分布,使心肌细胞被纤维组织分隔,但心肌细胞本身并未被大量破坏替代,心肌结构相对保持完整^[8-9]。替代性纤维化病理改变主要是心肌细胞因各种原因发生坏死、消失后,被纤维组织所取代,表现为局部或大片的心肌组织被纤维瘢痕组织替代,心肌细胞数量明显减少,正常心肌结构遭到严重破坏^[10]。LGE-CMR是评估DCM心肌替代性纤维化的有效且可重复的方法, LGE-CMR图像中,心肌的强化区域,也就是高信号区域,即为心肌纤维化区域^[11]。LGE阳性代表了替代性纤维化,但LGE-CMR难以辨别弥漫性间质纤维化的存在^[12]。在接受LGE-CMR的扩心病患者中,约60%患者可表现为LGE阴性,此类患者可

【第一作者】甘玉红, 女, 医师, 主要研究方向: 心胸影像诊断。E-mail: 1225926469@qq.com
【通讯作者】付 兵, 男, 主任医师, 主要研究方向: 心胸影像诊断。E-mail: 1125173278@qq.com

能存在弥漫性间质性纤维化,对左心室的重构有着重要的影响,高度弥漫性纤维化往往提示预后不良^[13]。因此LGE-CMR也存在一定的局限性。LGE模式(即纤维化区域)包括心外膜增强、心内膜增强、透壁性增强、局灶性增强、肌壁间增强、混合增强及右室插入点增强,其中肌壁间增强是最常见类型^[14-18]。其中替代性心肌纤维化在室间隔的肌壁间比较常见。DCM患者延迟强化(纤维化)分布可判断为室间隔增强、游离壁增强、室间隔合并游离壁混合增强。室间隔增强是DCM患者最常累及的区域。McCrohon等^[15]首次发现非缺血性扩心病患者室间隔肌壁间LGE,随后的一系列研究均证实了这一发现^[16-17]。

2.2 鉴别缺血性及非缺血性DCM 非缺血性扩心病是指没有明显的冠状动脉疾病,继发于除冠状动脉病变以外的其他因素造成的心脏进行性扩大^[19]。缺血性扩心病是一种由冠状动脉粥样硬化性心脏病引起,冠状动脉狭窄或阻塞导致心肌长期供血不足,心肌细胞缺血缺氧引起的心室扩大的疾病^[20]。LGE的模式可以鉴别以上两种DCM,LGE的心内膜下分布或透壁强化可识别缺血性损伤,缺血性LGE一般累及心内膜下,分布符合冠脉供血区的节段特征^[21]。中外膜或外膜下分布及肌壁间分布的纤维化是非缺血性改变的典型特征,且室间隔肌壁间LGE被认为是非缺血性扩张型心肌病的特征性表现,与冠状动脉灌注区域无关^[22]。然而有10%~15%存在无意义的冠状动脉狭窄或阻塞性病变的DCM患者表现为缺血性延迟强化模式,目前尚不明确DCM患者出现缺血性延迟强化的具体原因,可能是在心肌病变的基础上出现血栓或栓子(一过性栓塞冠状动脉或血管痉挛导致心肌缺血)^[23]。也有研究表明特发性DCM的扩张左心室由于壁应力升高、心肌需氧量升高和心内膜下灌注减少而具有反复缺血性损伤的独特风险^[21]。以上研究根据各种LGE模式描述了LGE-CMR对区分缺血性或非缺血性心肌病具有一定诊断价值。

3 预测预后

3.1 LGE阳性与预后 LGE存在对DCM患者的预后有预测价值,与无LGE的患者相比,合并LGE的DCM患者不良心血管事件发生率更高^[24]。Pi等^[25]研究发现LGE阳性的患者发生全因死亡或需要进行心脏移植的风险是LGE阴性照组的4.73倍。另一项研究^[26]也表明,在LGE阳性患者中,心源性猝死或适当的植入式除颤器电击这一复合心律失常终点的5年累积发生率为12%,而无LGE的患者仅为5%。Becker等^[27]在对选定的DCM患者同质人群进行的meta分析中发现具有LGE的患者发生心血管死亡的风险比率为3.40(95%可信区间:2.04至5.67),发生室性心动过速事件的风险比率为4.52(95%可信区间:3.41至5.99),而发生左心室逆转重构的风险比率为0.15(95%可信区间:0.06至0.36),无LGE可以预测左心室逆转重构。左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)严重降低是当前心源性猝死风险分层指南的核心参数,然而有大量证据表明LGE与非缺血性心肌病的室性心律失常风险相关,且独立于LVEF等传统危险因素^[28]。其他研究^[29-30]同样发现LGE是左心室射血分数较高的患者心律失常事件的更强预测因子,有助于指导非缺血性扩心病患者的风险分层和管理。另有研究表明^[14],在预估不良预后时,LGE阳性或许比LGE的累及范围对结果的影响更为关键,即便只有少量的LGE,也会显著增加全因死亡风险和心源性猝死的发生风险。Gabriel等^[31]研究表明瘢痕(LGE区域)和存活心肌之间的界面区域,以及模拟的折返活动,与非缺血性扩心病LGE患者发生主要心律失常事件的风险升高相关,并代表了新的风险预测因子。还有研究^[32]发现,将LGE和基因型及运动期间的收缩压反应相结合可以改善DCM患者预后的预测。此外,磁共振引导的底物消融电生理学,进一步支持将LGE纳入风险分层体系。

3.2 LGE程度与预后 LGE能定量识别纤维化,在DCM患者中,LGE的程度往往在终末期急剧增加。Behera等^[33]研究发现LGE程度>14%可预测DCM的不良心脏事件,无论LVEF和LGE的位置、模式或分布如何。另一项研究表明^[34]有广泛LGE的DCM患者发生不良心血管事件的可能性是无广泛LGE的患者的4.89倍。但是根据Halliday等人^[14]的研究,当存在大量LGE时,LGE程度的预后

价值有限。尽管一些研究报告称,LGE范围越大,左心室质量的临界值也越近,临界值就越高,发生左室重塑的可能性也越大,但其他研究并未将额外的预测值归因于单独存在LGE的程度。以上研究表明LGE程度与不良终点事件的关联仍待进一步研究。

3.3 LGE分布与预后 心肌LGE的分布也和患者预后密切相关。晚期钆增强中的室间隔LGE是远期发生不良终点事件可靠的预测因子^[35-36]。然而Halliday等^[14]研究室间隔与左室游离壁联合LGE,发现该类患者远期发生不良终点事件的风险最高,高于单独室间隔LGE的患者,游离壁LGE患者与LGE阴性患者的风险相似。李睿等^[18]发现,尽管单独室间隔LGE和室间隔与游离壁联合LGE组的患者均可表现为NYHA心功能分级增高、LVEF下降,但联合LGE组一年内进行心脏移植的比例明显高于单独室间隔LGE的患者。日本学者^[37]回顾性分析了83例终末期肥心病患者和DCM患者的5年随访结果,发现LGE分布主要分布于室间隔,但LGE扩散到左室其他节段(广泛延迟强化)也较广泛,据此分为了室间隔LGE组及广泛延LGE组,研究发现广泛LGE患者没有功能恢复,广泛性LGE患者的复合结局事件发生率最高,室间隔LGE患者的结局事件发生率倾向低于无LGE患者,但差异无统计学意义。这表明在临床实践中应该对DCM患者LGE分布特征进行关注,早期采取相关治疗措施,降低DCM患者不良心血管事件的发生率。

3.4 LGE模式与预后 除肌壁间LGE外,DCM患者还可能合并其他的LGE模式,包括心外膜增强、心内膜增强、透壁性增强、局灶性增强、混合增强及右室插入点增强,与DCM患者预后密切相关。Markman研究表明^[26]恶性室性心律失常的发生情况因LGE模式的不同而存在显著差异。尽管肌壁间、心内外膜、透壁、局灶性增强以及“其他模式”的恶性心律失常发生率处于20%至27.3%之间,但具有局灶或心内膜模式的患者却未发生任何恶性心律失常事件。部分患者若同时呈现多种LGE模式类型(如肌壁间线状或局灶、心外膜下或心内膜下增强等),则会增加原发终点事件的发生风险。此外透壁性延迟强化与不良结局的可能存在关联。在26例非缺血性心肌病患者中,发现累及壁厚26%-75%的瘢痕是诱发性室性心动过速的最显著预测指标^[38]。针对右室插入点增强对DCM患者预后的影响,不同研究持有不同观点。Neilan^[39]的研究表明右心室插入点增强提示可能对心血管事件有保护作用。Yi等^[40]的研究也显示非缺血性心肌病患者仅局限于右室插入点的LGE不会显著增加不良心脏事件的风险,且比同等范围的LGE位于左室的预后更好。但最近一项研究表明^[41]右室插入点的LGE存在与16.7%的恶性心律失常事件发生率相关,在没有室间隔肌壁间强化的情况下,右心室插入部位纤维化与双心室重塑和心力衰竭入院或死亡的中等风险有关,且右心室插入部位纤维化是室间隔肌壁间纤维化增量发展的先决条件,室间隔肌壁间纤维化是一种与更大的左心室重塑和临床事件风险相关的更高级表型。由此可见不同模式LGE对DCM患者预后影响有差异,但是无论LGE模式如何,都应该对DCM患者进行早期评估治疗。

4 LGE与不同范围的LVEF的关联

LGE不仅反映了心肌纤维化的程度,更提示了心肌病变的不可逆性,使得心脏在极低的泵血功能基础上,更容易发生致命性心律失常,进一步恶化病情。LVEF严重降低是当前心源性猝死风险分层指南的核心参数。评估LGE作为风险预测因子在LVEF严重降低,以及轻至中度左心室功能不全甚至保留LVEF的患者中产生了不同的影响。在LVEF>40%的DCM患者中,LGE预测心源性猝死和不良心血管事件的复合终点^[24]。在平均LVEF低于35%的研究里,相较于平均LVEF高于35%的研究,LGE与心律失常终点之间的关联更为显著^[42]。其他研究显示在LVEF<30%,而LVEF>10%的患者中,检测到LGE时发生心律失常事件的风险增加了一倍^[43]。Purmah研究表明^[44]室间隔肌壁间纤维化可识别中度左心室功能障碍患者(LVEF 35-50%),其事件发生率与重度左心室功能障碍患者相当。在一些研究中,LGE预测了不良事件,但LVEF却没有。同样,Neilan等人^[39]研究表明,虽然LVEF不具有预测性,但LGE的存在和程度是幸存者复发事件的最强预测因子。总体而言,LGE是DCM患者室性心律失常和猝死的强有力预测因子,无论LVEF处

于何种范围, LGE阳性都与不良预后相关, 二者相结合更有利于DCM患者风险分层。

5 指导治疗决策

5.1 植入型心律转复除颤器(implantable cardioverter defibrillator, ICD)植入决策 目前的指南推荐^[45], 对于有症状的心衰(NYHA-II-III级)患者, 在最佳药物治疗下, LVEF $\leq$ 35%, 即缺血性心肌病和非缺血性心肌病, 建议植入ICD。然而部分患者LVEF高于35%, 因此LVEF高于推荐临界值的高危患者可能被排除在ICD植入之外^[46], 因此仅依靠射血分数对DCM患者进行风险分层会降低一级预防植入式心律转复除颤器的临床疗效和成本效益。当前LVEF以及心力衰竭症状状态, 作为在缺血性心肌病中已被证实的、与猝死风险增加相关的标志物, 在DCM中却难以发挥同样有效的指示作用。一项研究支持在DCM延迟强化阳性患者中植入ICD, 无论LVEF如何^[24,47]。评估室间隔心肌中层LGE的存在可以进一步指导预防性ICD植入患者的选择^[36]。Piers等人^[48]定义了LGE质量 $\geq$ 7.2g的最佳临界值, 以预测接受ICD植入的非缺血性心肌病患者的单形性室速发作。

5.2 心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)决策 CRT适用于存在心脏收缩不同步的DCM患者。LGE-CMR不仅可以评估心肌纤维化情况, 还能通过相位分析等技术评估心脏收缩同步性。对于存在LGE且心脏收缩不同步的患者, CRT联合药物治疗可能更有效地改善心脏功能, 提高生活质量。LGE-CMR有助于筛选出真正能从CRT中获益的患者, 避免不必要的手术风险和医疗资源^[49,50]。

6 在合并症中的应用

在DCM的情况下, 双心室血栓的发生很少见, 使用超声心动图检测左心室心尖部血栓和右心室血栓可能很困难, 与之相比, CMR展现出了极高的敏感度与特异度。它对于附壁型血栓以及较小血栓有着较高的检出率, 不仅能够识别单个血栓, 还能发现多发血栓。在CMR影像中, 血栓主要呈现为充盈缺损影, 且在延迟强化序列下无明显强化表现。CMR在DCM病情诊断及治疗指导方面起着关键作用。尤其是在超说明书使用直接口服抗凝剂来预防血栓发生的情形下, CMR凭借其精准的血栓检测能力, 能够为临床决策提供重要依据, 助力医生制定更为合理有效的治疗方案^[51]。

7 优势与局限性

7.1 优势 LGE-CMR是无创评估心肌活力的参考标准^[52], 日常临床实践中用于诊断各种非缺血性心肌病, 区分正常心肌与受损心肌之间的信号强度差异为疾病诊断提供关键依据。该技术最大的优势在于无辐射损伤, 对人体相对安全, 这一特性使其特别适用于那些需要多次检查的患者, 例如在心血管疾病长期随访过程中, LGE-CMR能够持续、安全地为医生提供病情变化的相关信息。

7.2 局限性 磁共振技术存在固有的局限性, 例如部分体积效应: 对于一些微小的心肌病变或早期病变, 因信号强度变化不明显而不容易发现。采集时间长: 不适合病情危重患者及无法长时间配合患者。成本高: 磁共振设备昂贵, 检查费用相对较高。检查禁忌症多: 体内有金属植入物如心脏起搏器、金属支架、人工耳蜗等铁磁性装置、幽闭恐惧症患者以及肾功能损害患者, 一般不能进行磁共振检查, 会影响图像质量甚至导致严重后果。LGE成像显示局灶性心肌纤维化, 但是仅约30%的DCM患者在CMR上显示LGE^[53], 且无法检测到弥漫性纤维化^[6]。因此, 有必要应用额外的CMR技术来研究弥漫性心肌纤维化。

总之LGE-CMR能够一站式评价心脏形态、功能、结构和心肌活性等方面信息。在DCM的诊疗领域, LGE发挥着至关重要的作用, 可为DCM的诊断、合理治疗方案的制定以及预后评估提供关键参考依据。根据特征性的LGE模式, 延迟增强磁共振成像可以鉴别缺血性及非缺血性扩心病。LGE对于不良心血管事件的发生有预测价值, LGE的存在、程度、模式及分布与预后不良有显著相关性, 是预后的重要预测因素。这有助于临床医生对患者进行

准确的风险分层, 并据此制定更为科学合理的临床治疗决策。

参考文献

- [1] Orphanou N, Papatheodorou E, Anastakis A. Dilated cardiomyopathy in the era of precision medicine: latest concepts and developments[J]. Heart Fail Rev, 2022, 27(4): 1173-1191.
- [2] Schultheiss H, Fairweather D, Caforio A L P, et al. Dilated cardiomyopathy[J]. Nature Reviews Disease Primers, 2019, 5(1): 32.
- [3] 杨利娟, 金学蔚. MRI与二维超声心动图对原发扩张型心肌病功能评价及其与NYHA分级的相关性[J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17(7): 56-59.
- [4] 成涛, 陈康, 王远军, 等. 心脏磁共振延迟强化技术进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2022, 45(6): 686-689.
- [5] Vöhringer M, Mahrholdt H, Yilmaz A, et al. Significance of late gadolinium enhancement in cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) [J]. Herz, 2007, 32(2): 129-137.
- [6] Holtackers R J, Emrich T, Botnar R M, et al. Late gadolinium enhancement cardiac magnetic resonance imaging: from basic concepts to emerging methods[J]. Rofo, 2022, 194(5): 491-504.
- [7] Mewton N, Liu C Y, Croisille P, et al. Assessment of myocardial fibrosis with cardiovascular magnetic resonance[J]. J Am Coll Cardiol, 2011, 57(8): 891-903.
- [8] López B, Ravassa S, Moreno M U, et al. Diffuse myocardial fibrosis: mechanisms, diagnosis and therapeutic approaches[J]. Nat Rev Cardiol, 2021, 18(7): 479-498.
- [9] Barison A, Grigoratos C, Todiere G, et al. Myocardial interstitial remodelling in non-ischaemic dilated cardiomyopathy: insights from cardiovascular magnetic resonance[J]. Heart Fail Rev, 2015, 20(6): 731-749.
- [10] Espeland T, Lunde I G, H A B, et al. Myocardial fibrosis[J]. Tidsskr Nor Lægeforen, 2018, 138(16).
- [11] Disertori M, Rigoni M, Pace N, et al. Myocardial fibrosis assessment by LGE is a powerful predictor of ventricular tachyarrhythmias in ischemic and nonischemic lv dysfunction: a meta-analysis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2016, 9(9): 1046-1055.
- [12] Francone M. Role of cardiac magnetic resonance in the evaluation of dilated cardiomyopathy: diagnostic contribution and prognostic significance[J]. ISRN Radiol, 2014, 2014: 365404.
- [13] Hong Y J, Park C H, Kim Y J, et al. Extracellular volume fraction in dilated cardiomyopathy patients without obvious late gadolinium enhancement: comparison with healthy control subjects[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2015, 31 Suppl 1: 115-122.
- [14] Halliday B P, Baksi A J, Gulati A, et al. Outcome in dilated cardiomyopathy related to the extent, location, and pattern of late gadolinium enhancement[J]. JACC: Cardiovascular Imaging, 2019, 12(8, Part 2): 1645-1655.
- [15] McCrohon J A, Moon J C, Prasad S K, et al. Differentiation of heart failure related to dilated cardiomyopathy and coronary artery disease using gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance[J]. Circulation, 2003, 108(1): 54-59.
- [16] Gulati A, Ismail T F, Jabbour A, et al. The prevalence and prognostic significance of right ventricular systolic dysfunction in nonischemic dilated cardiomyopathy[J]. Circulation, 2013, 128(15): 1623-1633.
- [17] Alba A C, Gaztañaga J, Foroutan F, et al. Prognostic value of late gadolinium enhancement for the prediction of cardiovascular outcomes in dilated cardiomyopathy: an international, multi-institutional study of the MINICOR group[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2020, 13(4): e010105.
- [18] Li R, Cui C, Lan T, et al. [Late gadolinium enhancement distribution pattern of left ventricular wall in patients with dilated cardiomyopathy: a preliminary study] [J]. Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi, 2020, 48(11): 922-929.
- [19] Yang Z, Huang L. Editorial for "The Impact of Hypertension on Left Ventricular Function and Remodeling in Non-Ischemic Dilated Cardiomyopathy Patients: A 3.0 T MRI Study" [J]. J Magn Reson Imaging, 2023, 58(1): 172-173.

- [20] 王彬宇, 王妍, 郭冰立, 等. 沙库巴曲缬沙坦治疗缺血性心脏病与扩张型心脏病所致心力衰竭的效果比较[J]. 中国医药, 2022, 17(1).
- [21] Haas G J, Zareba K M, Ni H, et al. Validating an idiopathic dilated cardiomyopathy diagnosis using cardiovascular magnetic resonance: the dilated cardiomyopathy precision medicine study[J]. *Circ Heart Fail*, 2022, 15(5): e008877.
- [22] Palmisano A, Vignale D, Benedetti G, et al. Late iodine enhancement cardiac computed tomography for detection of myocardial scars: impact of experience in the clinical practice[J]. *Radiol Med*, 2020, 125(2): 128-136.
- [23] Soriano C J, Ridocci F, Estornell J, et al. Noninvasive diagnosis of coronary artery disease in patients with heart failure and systolic dysfunction of uncertain etiology, using late gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 45(5): 743-748.
- [24] Halliday B P, Gulati A, Ali A, et al. Association between midwall late gadolinium enhancement and sudden cardiac death in patients with dilated cardiomyopathy and mild and moderate left ventricular systolic dysfunction[J]. *Circulation*, 2017, 135(22): 2106-2115.
- [25] Pi S H, Kim S M, Choi J O, et al. Prognostic value of myocardial strain and late gadolinium enhancement on cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy with moderate to severely reduced ejection fraction[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2018, 20(1): 36.
- [26] Markman T M, Nazarian S. Moving toward improved risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(4): e010629.
- [27] Becker M, Cornel J H, van de Ven P M, et al. The prognostic value of late gadolinium-enhanced cardiac magnetic resonance imaging in nonischemic dilated cardiomyopathy: a review and meta-analysis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(9): 1274-1284.
- [28] Keil L, Chevalier C, Kirchhof P, et al. CMR-based risk stratification of sudden cardiac death and use of implantable cardioverter-defibrillator in non-ischemic cardiomyopathy[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(13).
- [29] Feng X Y, He W F, Zhang T Y, et al. Association between late gadolinium enhancement and outcome in dilated cardiomyopathy: a meta-analysis[J]. *World J Radiol*, 2023, 15(11): 324-337.
- [30] Centurión O A, Alderete J F, Torales J M, et al. Myocardial fibrosis as a pathway of prediction of ventricular arrhythmias and sudden cardiac death in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy[J]. *Crit Pathw Cardiol*, 2019, 18(2): 89-97.
- [31] Balaban G, Halliday B P, Porter B, et al. Late-gadolinium enhancement interface area and electrophysiological simulations predict arrhythmic events in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2021, 7(2): 238-249.
- [32] Mirelis J G, Escobar-Lopez L, Ochoa J P, et al. Combination of late gadolinium enhancement and genotype improves prediction of prognosis in non-ischaemic dilated cardiomyopathy[J]. *Eur J Heart Fail*, 2022, 24(7): 1183-1196.
- [33] Behera D R, V K A, K K N, et al. Prognostic value of late gadolinium enhancement in cardiac MRI of non-ischemic dilated cardiomyopathy patients[J]. *Indian Heart J*, 2020, 72(5): 362-368.
- [34] Dang Y, Hou Y. The prognostic value of late gadolinium enhancement in heart diseases: an umbrella review of meta-analyses of observational studies[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(7): 4528-4537.
- [35] Mayala H A, Bakari K H, Zhaohui W. The role of cardiac magnetic resonance (CMR) in the diagnosis of cardiomyopathy: a systematic review[J]. *Malawi Med J*, 2018, 30(4): 291-295.
- [36] Becker M, van der Lingen A, Cornel J H, et al. Septal midwall late gadolinium enhancement in ischemic cardiomyopathy and nonischemic dilated cardiomyopathy—characteristics and prognosis[J]. *Am J Cardiol*, 2023, 201: 294-301.
- [37] Machii M, Satoh H, Shiraki K, et al. Distribution of late gadolinium enhancement in end-stage hypertrophic cardiomyopathy and dilated cardiomyopathy: differential diagnosis and prediction of cardiac outcome[J]. *Magn Reson Imaging*, 2014, 32(2): 118-124.
- [38] Nazarian S, Bluenke D A, Lardo A C, et al. Magnetic resonance assessment of the substrate for inducible ventricular tachycardia in nonischemic cardiomyopathy[J]. *Circulation*, 2005, 112(18): 2821-2825.
- [39] Neilan T G, Coelho-Filho O R, Danik S B, et al. CMR quantification of myocardial scar provides additive prognostic information in nonischemic cardiomyopathy[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2013, 6(9): 944-954.
- [40] Yi J E, Park J, Lee H J, et al. Prognostic implications of late gadolinium enhancement at the right ventricular insertion point in patients with non-ischemic dilated cardiomyopathy: a multicenter retrospective cohort study[J]. *PLoS One*, 2018, 13(11): e0208100.
- [41] Mikami Y, Cornhill A, Dykstra S, et al. Right ventricular insertion site fibrosis in a dilated cardiomyopathy referral population: phenotypic associations and value for the prediction of heart failure admission or death[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2021, 23(1): 79.
- [42] Cleland J G, Daubert J C, Erdmann E, et al. The effect of cardiac resynchronization on morbidity and mortality in heart failure[J]. *N Engl J Med*, 2005, 352(15): 1539-1549.
- [43] Masci P G, Doulaptsis C, Bertella E, et al. Incremental prognostic value of myocardial fibrosis in patients with non-ischemic cardiomyopathy without congestive heart failure[J]. *Circ Heart Fail*, 2014, 7(3): 448-456.
- [44] Purmah Y, Cornhill A, Lei L Y, et al. Mid-wall striae fibrosis predicts heart failure admission, composite heart failure events, and life-threatening arrhythmias in dilated cardiomyopathy[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 1739.
- [45] Priori S G, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, et al. 2015 ESC guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death[J]. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*, 2016, 69(2): 176.
- [46] Infante A N, Koo C, Yip A, et al. Magnetic resonance imaging of dilated cardiomyopathy: prognostic benefit of identifying late gadolinium enhancement in Asian patients[J]. *Singapore Med J*, 2021, 62(7): 347-352.
- [47] 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.
- [48] Piers S R, Everaerts K, van der Geest R J, et al. Myocardial scar predicts monomorphic ventricular tachycardia but not polymorphic ventricular tachycardia or ventricular fibrillation in nonischemic dilated cardiomyopathy[J]. *Heart Rhythm*, 2015, 12(10): 2106-2114.
- [49] Iles L, Pfluger H, Lefkovits L, et al. Myocardial fibrosis predicts appropriate device therapy in patients with implantable cardioverter-defibrillators for primary prevention of sudden cardiac death[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 57(7): 821-828.
- [50] White J A, Yee R, Yuan X, et al. Delayed enhancement magnetic resonance imaging predicts response to cardiac resynchronization therapy in patients with intraventricular dyssynchrony[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 48(10): 1953-1960.
- [51] Fonseca M, Savvatis K, Khanji M. Complete regression of multiple biventricular thrombi in dilated cardiomyopathy: the role of cardiovascular magnetic resonance imaging for diagnosis and assessing treatment response[J]. *BMJ Case Rep*, 2021, 14(4).
- [52] Kramer C M, Barkhausen J, Bucciarelli-Ducci C, et al. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020, 22(1): 17.
- [53] Donal E, Delgado V, Bucciarelli-Ducci C, et al. Multimodality imaging in the diagnosis, risk stratification, and management of patients with dilated cardiomyopathies: an expert consensus document from the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(10): 1075-1093.

(收稿日期: 2024-02-14)

(校对编辑: 韩敏求)