

心脏磁共振在评估左束支传导阻滞疾病中的应用进展

代静文, 张旻, 陈敏*

北京医院放射科 国家老年医学中心 中国医学科学院老年医学研究院, 北京 100730; *通信作者 陈敏

✉cjr.chenmin@vip.163.com

【摘要】左束支传导阻滞与心力衰竭、心肌重构及不良预后密切相关。与传统心电图相比, 心脏磁共振可对心肌机械运动不同步性、心肌纤维化及血流动力学异常等进行多维度分析, 为左束支传导阻滞的诊疗及预后评估提供影像学依据, 优化心脏再同步化治疗的适应证筛选策略。本文就心脏磁共振在左束支传导阻滞疾病中的应用进展进行综述。

【关键词】心脏磁共振; 左束支传导阻滞; 心脏再同步化治疗; 综述

【中图分类号】R445.2; R541.761 **【DOI】**10.3969/j.issn.1005-5185.2025.07.018

Application Progress of Cardiac Magnetic Resonance in the Assessment of Left Bundle Branch Block

DAI Jingwen, ZHANG Min, CHEN Min*

Department of Radiology, Beijing Hospital, National Center of Gerontology, Institute of Geriatric Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China; *Address Correspondence to: CHEN Min; E-mail: cjr.chenmin@vip.163.com

【Abstract】 Left bundle branch block is associated with heart failure, myocardial remodeling and adverse clinical outcomes. Cardiac magnetic resonance imaging provides a comprehensive assessment of myocardial mechanical dyssynchrony, myocardial fibrosis and hemodynamic abnormalities. This multimodal imaging analysis enhances the diagnosis, treatment and prognosis evaluation of left bundle branch block and refines patient selection for cardiac resynchronization therapy. This review summarizes recent advances in the application of cardiac magnetic resonance in left bundle branch block disease.

【Key words】 Cardiac magnetic resonance; Left bundle branch block; Cardiac resynchronization therapy; Review

Chinese Journal of Medical Imaging, 2025, 33 (7): 785-790

左束支传导阻滞(left bundle branch block, LBBB)是常见的束支传导型心律失常, 表现为心室激动传导异常, 不仅导致心脏机械运动不同步, 还与心室重塑、心力衰竭的发生及不良预后密切相关。LBBB的病因包括高龄、心肌纤维化、冠心病、医源性因素(如起搏器植入)及遗传因素等^[1]。目前临床诊疗仍以心电图异常为主要依据, 缺乏有效的影像学指标。心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)能够一站式提供心脏功能、结构、心肌组织特征及血流动力学等多维度信息, 在评估心脏运动不同步性、心肌纤维化、预后及疗效等方面具有较大潜力。本文对CMR的影像学参数在评估LBBB方面的进展进行综述。

1 心脏机械运动不同步的影像学表现

LBBB患者心脏电冲动经左前、左后束支传导时发生延迟或阻滞, 电冲动由右心室经室间隔传入左心室, 导致左心室尤其是左心室侧壁激动明显延迟, 进而发生左右心室之间、室间隔及左心室游离壁之间的

运动不同步^[2]。CMR可发现室间隔闪烁、心尖摆动等机械运动不同步征象。此外, 基于特征追踪技术的心肌应变分析可量化评估心肌形变异常。

1.1 室间隔闪烁 室间隔闪烁是指室间隔在收缩早期先向左随后向右的异常运动, 其主要机制是LBBB导致的右心室壁及室间隔收缩早于左心室壁。收缩早期右心室心腔压力超过左心室, 推动室间隔向左运动。随后左心室壁主动收缩, 左心室内压力升高, 推动室间隔向右运动, 此时室间隔被动拉伸, 而非参与左心室泵血^[3]。Revah等^[4]研究发现高达79%的LBBB患者可出现室间隔闪烁征象, 且与左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)呈负相关。Salatzki等^[5]通过计算因室间隔闪烁导致的左心室容积变化, 对室间隔闪烁程度进行量化, 研究显示容积变化较大的患者左心室功能障碍和结构重构更显著。但合并左、右心功能障碍、室间隔心肌缺血、室间隔瘢痕或高右心室舒张压时, 可不伴有室间隔闪烁^[6]。此外, Aalen等^[7]研究显示, 左心室侧壁纤维化的

LBBB 患者室间隔闪烁发生率明显减低,这可能会降低心力衰竭患者后续对再同步化治疗的反应。

1.2 心尖摆动 LBBB 患者室间隔先行收缩,左心室壁被动拉伸,心尖被牵拉向右运动,随后左心室壁延迟收缩且室间隔被动拉伸,心尖向左运动,在四腔心上可以观察到心尖“摇摆”运动,65%的 LBBB 患者可出现心尖摆动^[4]。超声可通过心尖横向运动即在长轴切面中测量左心室心尖在收缩期及整个心动周期的横向位移,量化心尖摆动^[3]。MRI 具有较高的组织分辨率,对心尖的显示优于超声心动图,未来研究可通过量化心尖摆动,探讨其在 LBBB 预后及心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)反应中的价值。

需要注意的是,室间隔闪烁与心尖摆动并非 LBBB 的特有影像征象。室间隔闪烁还可见于部分永久起搏器患者,这类患者由于右心室起搏,导致心室收缩不同步,心电图表现类似完全性 LBBB,且与内源性 LBBB 类似,右心室起搏患者进一步发生左心室功能障碍、左心室重构及不良事件的风险增加^[8]。此外,心尖摆动还可见于左心室功能障碍或缺血性心脏病患者^[3]。

1.3 左心室射血延迟 LBBB 患者左心室射血延迟具体表现为:①主动脉瓣开放的绝对延迟;②肺动脉瓣至主动脉瓣开放的时间间隔延长。在等容收缩期,室间隔先收缩,左心室压升高但不足以形成射血,随后左心室壁收缩,左心室压进一步升高,主动脉瓣开放。这一过程中左心室等容收缩期延长,主动脉瓣开放晚于肺动脉瓣,左心室射血延迟。Revah 等^[4]的研究显示,左、右心室射血不同步是 LBBB 患者左心室收缩功能受损的独立预测因子,可导致左心室重构,与 QRS 波持续时间呈正相关,与左心室收缩功能呈负相关。主动脉瓣开放延迟可通过三腔心或主动脉根部的长轴电影图像评估及测量。此外,为区分单纯心肌收缩力下降(如心力衰竭)导致的主动脉瓣开放延迟,也可在相位对比图像上,通过测量肺动脉瓣与主动脉瓣开放的相对延迟时间进行更准确的评估。

1.4 心肌应变异常 基于磁共振特征追踪技术的心肌应变分析可以定量评估心肌整体及节段的形变。Baritussio 等^[9]研究显示,在无症状的 LBBB 患者中,即使射血分数减低不明显,左心室的纵向、径向及圆周应变仍较正常人明显减低,提示 CMR 能够发现无症状 LBBB 患者早期功能异常。

此外,QRS 波持续时间及形态并不能很好地预测心肌应变受损^[10],LBBB 患者由于病因及疾病阶段不同,其心肌应变异常也表现出较大的异质性。Santos 等^[11]根据室间隔纵向应变,将 LBBB 应变异常分为 4 种模式(LBBB-1 至 LBBB-4)。LBBB-1:室间隔在等容收缩期出现“S”形曲线,随后在射血后期形成应变峰值,此模式左心室重构最轻,应变绝对值相对保留。LBBB-2:室间隔在等容收缩期出现早期峰值,随后在射血期形成更大的主导峰值,此模式出现应变峰值减低。LBBB-3:室间隔在射血早期形成主导峰值,随后出现较小的晚期峰,此时,左心室重构进一步进展,应变峰值进一步降低,提示收缩效率下降。LBBB-4:室间隔在左心室早期形成应变峰值后,无有效射血缩短,表现为持续拉伸,提示收缩功能严重受损,基于 CMR 的 LBBB 应变分型与超声应变的研究基本一致^[12]。此外,随着 LBBB 应变模式的进展,左心室收缩末期及舒张末期容量逐步增加,LVEF 逐渐减低,但 QRS 波持续时间、室间隔-侧壁运动不同步与应变模式无显著关联,表明心电活动异常程度与心肌重构并不完全一致。

总之,CMR 可以精确地呈现 LBBB 机械运动不同步性,心肌应变量化及分型能有效反映左心室重构程度和收缩效率。但在部分患者中,传统心电指标与机械不同步程度缺乏显著关联,提示心肌电-机械耦联的复杂性。未来可整合室间隔闪烁、心尖摆动及应变分型等的多影像学参数,量化机械失同步特征及异质性分析,建立精准的评估体系及风险分层。

2 心肌纤维化评估

CMR 钆对比剂延迟强化及 T1 mapping 技术已成为无创评估心肌纤维化的最佳方法^[13-14]。心肌纤维化在部分心律失常的病理生理机制及预后中具有重要价值^[15],但目前心肌纤维化与 LBBB 的关系尚未明确。Rimskaya 等^[16]研究显示,相对于健康人群,部分特发性 LBBB 患者存在弥漫心肌纤维化。Salatzki 等^[5]研究也显示,特发性 LBBB 患者左心室心肌整体初始 T1 值增加,提示 LBBB 可能是心肌潜在弥漫性病变的早期表现。Liu 等^[17]纳入 210 例射血分数保留的心脏疾病患者,结果显示存在室间隔中层纤维化(septal mid-wall fibrosis, SMF)患者的 LBBB 发生率显著高于无 SMF 患者,且在射血分数保留患者中,LBBB 的存在对于检测 SMF 的特异度为 94%,阴性预测值为 80%。

Grigoratos 等^[18]在非缺血性扩张型心肌病(dilated cardiomyopathy, DCM)研究中发现,存在 SMF 的患者发生左束支疾病的风险比无 SMF 患者高 6 倍,且与左心室容积及收缩功能减低无关,提示 SMF 可能与左束支疾病的发生独立相关。刘晓洁等^[19]研究显示,存在 SMF 的患者 LBBB 发生率显著高于无 SMF 患者,提示 SMF 可以有效预测 LBBB 的发生。但 Rimskaya 等^[16]研究显示,在 DCM 患者中,合并 LBBB 与不合并 LBBB 的患者 CMR 延迟强化无显著差异,心肌纤维化与 LBBB 的发生无相关性,提示心肌纤维化并非 LBBB 形成的必要条件。造成以上差异的原因可能是研究人群不同,Rimskaya 等^[16]纳入 DCM 患者及特发性 LBBB 患者;而 Grigoratos 等^[18]纳入合并左束支疾病的 DCM 患者,包括左前、后分支阻滞,刘晓洁等^[19]纳入住院患者,多数合并其他心血管疾病。既往研究方法学局限,受限于样本量偏小、研究人群异质性较高等,未来研究可通过扩大样本量、细化研究对象分层分组,并建立多中心研究等方式,对心肌纤维化在 LBBB 中的价值进行更准确的探讨。

3 LBBB 预后评估

LBBB 在普通人群中的发生率约为 0.8%,即使在无症状人群中,亦被视为心血管危险因素^[20]。Zegard 等^[21]纳入 193 例无症状 LBBB 患者,结果显示存在 CMR 检查阳性发现(包括 LVEF<50%、左心室扩张或左心室心肌纤维化等异常)的患者预后较差,其中心肌纤维化和 LVEF<50%是无症状 LBBB 患者总死亡率的独立预测因素,存在 CMR 异常的 LBBB 患者的全因死亡率较对照组高 7 倍,全因死亡率或主要不良心血管事件的发生率高 13 倍,表明 CMR 在无症状 LBBB 患者风险分层及随访预后中的重要价值。

在 DCM 患者中,Yuan 等^[22]通过测量心肌各节段径向应变峰值时间标准差,能够更精确地评估左心室机械不同步,并可发现心电图阴性的潜在 DCM 纯机械不同步,该指标与 DCM 患者预后独立相关,提示 CMR 有望从左心室机械不同步的角度,成为更有效的预后评估工具。

4 血流动力学改变

四维血流 CMR 通过对 3 个空间维度的血流进行速度编码,可以对 LBBB 机械运动不同步导致的血流动力学改变进行解构分析^[23]。Eriksson 等^[24]研究显示,心力衰竭合并 LBBB 患者在舒张早期血流动力学

存在更多的横向分布,与心室主要血流方向成正交,降低了左心室的泵血效率,且 QRS 波持续时间越长,左心室充盈力与主要血流方向不一致程度越高。Zajac 等^[25]研究显示,LBBB 患者中舒张期左心室直接血流的动能降低,但血流体积与非 LBBB 患者并无明显差异,较低的动能与血流速度较低、心脏充盈时直接血流的延迟进入有关,反映了 LBBB 导致的左心室机械不同步对舒张功能的影响。Miyajima 等^[26]发现,LBBB 患者左心室舒张期血流呈反向涡流模式,即舒张期血流从二尖瓣流向心尖,先顺时针旋转,随后逆时针旋转,这与非 LBBB 患者的单向顺时针旋转涡流不同。此外,LBBB 左心室血流能量损失增加,以收缩期为著,提示 LBBB 患者的左心室血流动力学低效。

目前,基于四维血流 CMR 的 LBBB 相关研究较少,未来可通过结合心肌应变、电生理参数及血流动力学等多参数,建立 LBBB 血流异常分型,探讨其临床诊疗及预后标志物的潜力,并开发基于血流能量优化的个体化干预策略。

5 预测 CRT 反应

CRT 是心力衰竭伴心肌收缩不同步患者的主要治疗方法^[27],可有效改善心功能,降低死亡率,但约 30% 的患者对再同步化治疗无应答^[28]。目前,临床上 CRT 筛选指征主要基于心电图及心功能参数,缺乏可靠的影像学指标。欧洲心脏病学会发表的《2021 版心脏起搏和心脏再同步化治疗指南》^[29]中并未明确 CMR 在 CRT 患者筛选中的推荐等级,但强调了 CMR 在评估心肌瘢痕范围、心室收缩功能等方面的重要性,有助于识别对 CRT 无反应的患者。

Sohal 等^[30]的前瞻性研究通过 CMR 测量左心室心肌机械不同步性,显示体积收缩不同步指数,即左心室各节段达到最小容积时间的标准差占心动周期的百分比,可以有效预测 LBBB 患者 CRT 后左心室逆向重构,且具有较好的可重复性。Aimo 等^[31]通过分析非缺血性心力衰竭合并 LBBB 患者的左心室容积/时间曲线,发现双峰、多峰或平坦型的左心室容积/时间曲线提示更严重的心肌运动不同步,患者对 CRT 的反应更好,且与 QRS 波持续时间无关,提示容积/时间曲线的形态在评估机械不同步和预测 CRT 反应方面具有潜力。Larsen 等^[32]纳入 136 例接受 CRT 治疗的 LBBB 患者,研究显示室间隔瘢痕和室间隔闪烁是预测 CRT 反应的独立预测因子,与 QRS 波持续

时间及形态无关,存在室间隔瘢痕及不伴有室间隔闪烁会显著降低治疗反应率,结合这两者预测 CRT 应答的曲线下面积为 0.86。Chen 等^[33]研究显示,在非缺血性心肌病患者中,左心室心肌瘢痕百分比可较好地预测 CRT 后左心室容积恢复,预测效能优于 QRS 波形态标准,其中左心室整体及室间隔瘢痕负荷预测 CRT 应答的曲线下面积分别为 0.857、0.864,提示术前 CMR 瘢痕及心肌运动评估有助于识别潜在反应者和判断临床结局。

此外,CMR 可以评估左心室外侧壁形态和功能,鉴别 LBBB 与 DCM 发生的时间顺序,从而预测 CRT 反应。LBBB 发生早于 DCM 的患者左心室侧壁厚度及功能保留,CRT 可以显著改善左心室功能。而 DCM 发生早于 LBBB 的患者左心室侧壁变薄、运动减低,即使 CRT 纠正左心室运动不同步,心肌病仍然存在,对 CRT 反应较差^[34]。

总之,通过 CMR 评估心脏运动不同步性、心肌瘢痕有助于预测 CRT 反应,但仍需更多数据支持,未来可使用人工智能结合临床、电生理和 CMR 参数,探讨可从 CRT 中获益的患者表型,优化 CRT 患者选择,并提升临床疗效。

6 LBBB 相关“心肌病”

Vaillant 等^[35]于 2013 年首次报道 6 例孤立性 LBBB,在平均随访 11.6 年后出现左心室扩大、LVEF 减低,并对 CRT 治疗表现出超反应,提供了 LBBB 诱导“心肌病”存在的临床证据。Vaillant 等^[35]也提出 LBBB 诱导的“心肌病”诊断标准,包括:①正常窦性心律且 LBBB 病史超过 5 年;②首次诊断 LBBB 时 LVEF>50%;③LVEF 进行性下降至<40%,左心室舒张末期直径>55 mm,纽约心脏病协会心功能分级为 II~IV 级;④存在左心室收缩不同步;⑤无其他心肌病病因;⑥对 CRT 呈超反应。此外,刘飞等^[36]对于 LBBB 相关“心肌病”也提出类似的诊断标准,包括:①发现 LBBB 前心功能正常;②诊断 LBBB 后经较长时间出现左心室重构及心功能下降,最终发展为心肌病,并排除其他心血管病的影响;③纠正 LBBB 可逆转心肌病。目前,越来越多的研究提示,LBBB 本身可能是心功能不全的独立促进因素^[37],且在部分患者中,LBBB 是心肌病的主要原因。Barake 等^[38]研究显示,首次确诊 LBBB 到出现左心室功能障碍的平均间隔时间为 (4.1±3.9) 年。

CMR 在 LBBB 相关“心肌病”的诊断、风险分

层及预后评估中也具有重要价值。在疾病诊断方面,CMR 可精准区分 LBBB 相关“心肌病”与其他心肌病类型,前者通常表现为无或低瘢痕负荷,而缺血性或浸润性心肌病表现为节段性或透壁瘢痕。T1 mapping 技术对弥漫性心肌纤维化较敏感,弥补了心肌延迟强化的局限性,为亚临床心肌异常提供证据^[16]。风险分层中,心肌延迟强化量化瘢痕负荷是关键,一项基于 MRI 的双导联心脏再同步治疗研究显示瘢痕≥10%的 LBBB 患者死亡、心力衰竭住院或室性心律失常风险显著升高^[39]。瘢痕与室性心动过速及心室颤动风险强相关,并可能影响左束支起搏成功率^[40]。此外,CMR 有助于指导治疗,Ponnusamy 等^[40]研究显示低瘢痕患者可仅行左束支起搏以减少植入型心律转复除颤器并发症,高瘢痕患者需联合植入型心律转复除颤器,同时优化电极植入位置以避免瘢痕区域。总之,CMR 多参数技术为 LBBB 相关“心肌病”提供精准诊疗依据,未来需进一步探索其在早期干预及不同临床起搏策略中的优化作用。

7 总结

CMR 不仅能够对 LBBB 心脏机械运动不同步进行可视化评估,还可提供心肌组织特征、血流动力学参数等信息,但目前临床诊疗仍多依赖电生理指标(如 QRS 波持续时间及形态)及传统左心室功能参数(如 LVEF)。未来仍需进一步探索 CMR 参数(如应变、心肌纤维化、血流动力学指标等)与患者临床危险分层、预后及 CRT 疗效的直接关联,并可借助人工智能辅助的影像分析技术,建立多模态影像学模型,为临床诊疗提供有价值的影像学依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 王婷,胡苏,赵娜,等.左束支传导阻滞的研究进展[J].中国临床研究,2024,37(6):821-825. DOI: 10.13429/j.cnki.cjcr.2024.06.001.
- [2] Pujol-López M, Tolosana JM, Upadhyay GA, et al. Left bundle branch block: characterization, definitions, and recent insights into conduction system physiology[J]. Cardiol Clin, 2023, 41(3): 379-391. DOI: 10.1016/j.ccl.2023.03.003.
- [3] Lazăr-Höcher AI, Cozma D, Cirin L, et al. A comparative analysis of apical rocking and septal flash: two views of the same systole?[J]. J Clin Med, 2024, 13(11): 3109. DOI: 10.3390/jcm13113109.
- [4] Revah G, Wu V, Huntjens PR, et al. Cardiovascular magnetic resonance features of mechanical dyssynchrony in patients

- with left bundle branch block[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2016, 32(9): 1427-1438. DOI: 10.1007/s10554-016-0925-x.
- [5] Salatzki J, Fischer T, Riffel J, et al. Presence of contractile impairment appears crucial for structural remodeling in idiopathic left bundle-branch block[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2021, 23(1): 39. DOI: 10.1186/s12968-021-00731-6.
- [6] Calle S, Delens C, Kamoen V, et al. Septal flash: at the heart of cardiac dyssynchrony[J]. *Trends Cardiovasc Med*, 2020, 30(2): 115-122. DOI: 10.1016/j.tcm.2019.03.008.
- [7] Aalen JM, Remme EW, Larsen CK, et al. Mechanism of abnormal septal motion in left bundle branch block: role of left ventricular wall interactions and myocardial scar[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(12): 2402-2413. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.11.030.
- [8] Mao Y, Duchenne J, Yang Y, et al. Left bundle branch pacing better preserves ventricular mechanical synchrony than right ventricular pacing: a two-centre study[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2024, 25(3): 328-336. DOI: 10.1093/ehjci/jead296.
- [9] Baritussio A, Biglino G, Moharem-Elgamal S, et al. Are all left bundle branch blocks the same? Myocardial mechanical implications by cardiovascular magnetic resonance[J]. *Int J Cardiol*, 2021, 324: 221-226. DOI: 10.1016/j.ijcard.2020.09.025.
- [10] Andersson LG, Wu KC, Wieslander B, et al. Left ventricular mechanical dyssynchrony by cardiac magnetic resonance is greater in patients with strict vs nonstrict electrocardiogram criteria for left bundle-branch block[J]. *Am Heart J*, 2013, 165(6): 956-963. DOI: 10.1016/j.ahj.2013.03.013.
- [11] Santos MR, Santos Silva M, Guerreiro SL, et al. Assessment of myocardial strain patterns in patients with left bundle branch block using cardiac magnetic resonance[J]. *Int J Cardiovasc Imag*, 2024, 40(4): 801-809. DOI: 10.1007/s10554-024-03049-3.
- [12] Calle S, Duchenne J, Beela AS, et al. Clinical and experimental evidence for a strain-based classification of left bundle branch block-induced cardiac remodeling[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(11): e014296. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.122.014296.
- [13] Guglielmo M, Pontone G. Clinical implications of cardiac magnetic resonance imaging fibrosis[J]. *Eur Heart J Suppl*, 2022, 24(Suppl I): I123-I126. DOI: 10.1093/eurheartjsupp/suac085.
- [14] Gao Y, Wang H, Liu M, et al. Early detection of myocardial fibrosis in cardiomyopathy in the absence of late enhancement: role of T1 mapping and extracellular volume analysis[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(3): 1982-1991. DOI: 10.1007/s00330-022-09147-x.
- [15] Nikolaidou C, Ormerod JOM, Ziakas A, et al. The role of cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with cardiac arrhythmias[J]. *Rev Cardiovasc Med*, 2023, 24(9): 252. DOI: 10.31083/j.rcm.2409252.
- [16] Rimskaya E, Aparina O, Stukalova O, et al. Relationship between myocardial fibrosis and left bundle branch block. Does it exist?[J]. *Cardiovasc Pathol*, 2025, 75: 107713. DOI: 10.1016/j.carpath.2024.107713.
- [17] Liu X, Li M, Chen J, et al. Association between left bundle branch block and ventricular septal mid-wall fibrosis in patients with preserved left ventricular ejection fraction[J]. *J Electrocardiol*, 2024, 83: 21-25. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2024.01.002.
- [18] Grigoratos C, Liga R, Bennati E, et al. Magnetic resonance imaging correlates of left bundle branch disease in patients with nonischemic cardiomyopathy[J]. *Am J Cardiol*, 2018, 121(3): 370-376. DOI: 10.1016/j.amjcard.2017.10.024.
- [19] 刘晓洁, 李慕嶂, 陈佳莹, 等. 室间隔肌壁间纤维化与左束支传导阻滞的相关性及对新发左束支传导阻滞的预测价值[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2024, 16(11): 1335-1340. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4055.2024.11.14.
- [20] Marques CA, Cabrita A, Pinho AI, et al. Left bundle branch block cardiomyopathy (LBBB-CMP): from the not-so-benign finding of idiopathic LBBB to LBBB-CMP diagnosis and treatment[J]. *Heart Vessels*, 2025, 40(1): 62-71. DOI: 10.1007/s00380-024-02441-2.
- [21] Zegard A, Okafor O, de Bono J, et al. Prognosis of incidental left bundle branch block[J]. *Europace*, 2020, 22(6): 956-963. DOI: 10.1093/europace/eaab008.
- [22] Yuan Y, Sun J, Jin D, et al. Quantitative left ventricular mechanical dyssynchrony by magnetic resonance imaging predicts the prognosis of dilated cardiomyopathy[J]. *Eur J Radiol*, 2023, 164: 110847. DOI: 10.1016/j.ejrad.2023.110847.
- [23] Ashkir Z, Myerson S, Neubauer S, et al. Four-dimensional flow cardiac magnetic resonance assessment of left ventricular diastolic function[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 866131. DOI: 10.3389/fcvm.2022.866131.
- [24] Eriksson J, Zajac J, Alehagen U, et al. Left ventricular hemodynamic forces as a marker of mechanical dyssynchrony in heart failure patients with left bundle branch block[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 2971. DOI: 10.1038/s41598-017-03089-x.
- [25] Zajac J, Eriksson J, Alehagen U, et al. Mechanical dyssynchrony

- alters left ventricular flow energetics in failing hearts with LBBB: a 4D flow CMR pilot study[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2018, 34(4): 587-596. DOI: 10.1007/s10554-017-1261-5.
- [26] Miyajima K, Urushida T, Ito K, et al. Four-dimensional flow magnetic resonance imaging visualizes reverse vortex pattern and energy loss increase in left bundle branch block[J]. *Europace*, 2022, 24(8): 1284-1290. DOI: 10.1093/europace/euab299.
- [27] Gerra L, Bonini N, Mei DA, et al. Cardiac resynchronization therapy (CRT) nonresponders in the contemporary era: a state-of-the-art review[J]. *Heart Rhythm*, 2025, 22(1): 159-169. DOI: 10.1016/j.hrthm.2024.05.057.
- [28] Kaza N, Keene D, Whinnett ZI. Generating evidence to support the physiologic promise of conduction system pacing: status and update on conduction system pacing trials[J]. *Card Electrophysiol Clin*, 2022, 14(2): 345-355. DOI: 10.1016/j.ccep.2022.01.002.
- [29] Glikson M, Nielsen JC, Kronborg MB, et al. 2021 ESC guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy[J]. *Europace*, 2022, 24(1): 71-164. DOI: 10.1093/europace/euab232.
- [30] Sohal M, Shetty A, Duckett S, et al. Noninvasive assessment of LV contraction patterns using CMR to identify responders to CRT[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2013, 6(8): 864-873. DOI: 10.1016/j.jcmg.2012.11.019.
- [31] Aimo A, Valleggi A, Barison A, et al. Morphologies and prognostic significance of left ventricular volume/time curves with cardiac magnetic resonance in patients with non-ischaemic heart failure and left bundle branch block[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2021, 37(7): 2245-2255. DOI: 10.1007/s10554-021-02194-3.
- [32] Larsen CK, Aalen JM, Stokke C, et al. Regional myocardial work by cardiac magnetic resonance and non-invasive left ventricular pressure: a feasibility study in left bundle branch block[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(2): 143-153. DOI: 10.1093/ehjci/jez231.
- [33] Chen Z, Ma X, Gao Y, et al. Cardiac magnetic resonance-derived myocardial scar is associated with echocardiographic response and clinical prognosis of left bundle branch area pacing for cardiac resynchronization therapy[J]. *Europace*, 2023, 25(11): euad326. DOI: 10.1093/europace/euad326.
- [34] Wang H, He Y, Du X, et al. Differentiation between left bundle branch block (LBBB) preceded dilated cardiomyopathy and dilated cardiomyopathy preceded LBBB by cardiac magnetic resonance imaging[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2020, 43(8): 847-855. DOI: 10.1111/pace.14007.
- [35] Vaillant C, Martins RP, Donal E, et al. Resolution of left bundle branch block-induced cardiomyopathy by cardiac resynchronization therapy[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 61(10): 1089-1095. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.10.053.
- [36] 刘飞, 董颖雪, 夏云龙. 左束支阻滞的研究进展[J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(7): 717-720. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2020.07.016.
- [37] 王小贤, 缪长青, 葛贝贝, 等. 多模态影像学定量评估左束支传导阻滞性心肌病左心室重构程度[J]. *中华超声影像学杂志*, 2025, 34(1): 26-32. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20240808-00431.
- [38] Barake W, Witt CM, Vaidya VR, et al. Incidence and natural history of left bundle branch block induced cardiomyopathy[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2019, 12(9): e007393. DOI: 10.1161/CIRCEP.119.007393.
- [39] Ponnusamy SS, Ganesan V, Ramalingam V, et al. Magnetic resonance imaging based dual lead cardiac resynchronization therapy: a prospective left bundle branch pacing study (MADURAI LBBP study)[J]. *Heart Rhythm*, 2023, 20(8): 1119-1127. DOI: 10.1016/j.hrthm.2023.05.019.
- [40] Ponnusamy SS, Murugan M, Ganesan V, et al. Predictors of procedural failure of left bundle branch pacing in scarred left ventricle[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2023, 34(3): 760-764. DOI: 10.1111/jce.15853.
- 【收稿日期】2025-02-21 【修回日期】2025-07-07
(本文编辑 冯婧)