

•述评•

心脏生理性起搏的应用现状与展望

曾嘉欣,邹建刚

南京医科大学第一附属医院心血管内科,江苏南京,210029

通信作者:邹建刚,E-mail:jgzou@njmu.edu.cn



南京医科大学第一附属医院心脏科二级教授、二级主任医师,医学博士,博士研究生导师。美国心律学会 fellow (FHR) ;中华医学会心律学分会常委;中华医学会心电生理与起搏分会希浦系统起搏工作委员会副主任委员;江苏省心电生理与起搏学会希浦系统起搏工作委员会主任委员;江苏省心电生理与起搏学会候任主任委员;江苏省医学会内科分会副主任委员;江苏省优秀医学重点人才。

主持国家科技重大专项 1 项,国家自然科学基金面上项目 6 项,省部级重点项目多项,获国家科技进步二等奖 1 项(第五),省部级科技进步二等奖(第二)、三等奖多项,发表论文 150 余篇,其中以第一作者或通讯作者发表 SCI 收录论文 100 余篇,出版专著 5 部。牵头多项国际、国内多中心临床研究。2017 年和 2022 年在心律失常领域最具国际影响力的美国心律学(HRS)年会上做最新突破性临床研

究的报告,重点研究成果发表在 JAMA 主刊、JACC 主刊、Circulation 主刊、JACC imaging、JACC EP、Circulation AE, Europace, Heart Rhythm 等国际著名期刊。2010 年获中国 CRT 杰出成就奖;2021 年获中国心律失常领域十大原创研究;2022 年获中国心血管病临床和流行病学领域十大研究进展。

专业特长:心脏起搏器植入术和射频消融术,擅长心衰患者的心脏再同步化治疗、生理性起搏即希浦系统起搏。

【摘要】 心脏生理性起搏(CPP)旨在恢复或维持心室收缩同步性,其形式包括基于双心室起搏(BiVP)的心脏再同步化治疗(CRT)、房室束起搏(HBP)以及左束支起搏(LBBP)。近年来,以LBBP为代表的CPP迅速发展,相关临床证据不断增加,同时也引发了诸多新的研究与临床实践问题。本述评旨在总结CPP的最新进展与临床应用现状,并探讨未来的发展方向,其中重点聚焦于LBBP的研究与应用前景。

【关键词】 生理性起搏;左束支起搏;双心室起搏;心脏再同步化治疗;心动过缓;心力衰竭

【文章编号】 2095-834X (2025)05-01-06

DOI: 10.26939/j.cnki.CN11-9353/R.2025.05.001

本文著录格式: 曾嘉欣,邹建刚. 心脏生理性起搏的应用现状与展望[J]. 当代介入医学电子杂志, 2025, 2(5): 01-06.

Cardiac physiologic pacing: current applications and future perspectives

Zeng Jiaxin, Zou Jiangang.

Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University (Jiangsu Province Hospital), Nanjing, Jiangsu 210029, China

Corresponding author: Zou Jiangang, E-mail: jgzou@njmu.edu.cn

【Abstract】 Cardiac physiologic pacing (CPP) includes the cardiac resynchronization therapy (CRT) by biventricular pacing, and the conduction system pacing (CSP) of His bundle pacing (HBP) and left bundle branch

pacing (LBBP). CPP has emerged as a new strategy to restore or preserve ventricular synchrony to treat and potentially prevent heart failure (HF). With growing clinical evidence, recent guidelines have increasingly emphasized the role of LBBP. This perspective provides an overview of the current applications of CPP and explores future directions, with a particular emphasis on LBBP.

【Keywords】 Physiological pacing; Left bundle branch pacing; Biventricular pacing; Cardiac resynchronization therapy; Brady cardia; Heart failure

心脏生理性起搏(cardiac physiologic pacing, CPP)是旨在恢复或维持心室收缩同步性的起搏策略,包括传统以双心室起搏(biventricular pacing, BiVP)为基础的心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)和基于传导系统的起搏(conduction system pacing, CSP), CSP 包括房室束起搏(his bundle pacing, HBP),以及近年来发展迅速并逐渐占据重要地位的左束支起搏(left bundle branch area pacing, LBBP)[1]。

CPP 的临床应用主要涉及两个方面。第一,对于有症状的心动过缓患者,右心室起搏(right ventricular pacing, RVP)长期以来被视为常规治疗手段。然而长期 RVP 可能在部分患者中导致左室电机械不同步,进而引起起搏诱导心肌病(pacing-induced cardiomyopathy, PICM),对远期心脏功能及临床结局产生不良影响。因此,CPP 在心功能保留的心动过缓患者中能否更好地维持心脏功能,以及在已发生 PICM 的患者中能否逆转其左室不良重构,成为临床关注的重点[1]。第二,尽管 CRT 已被充分证实能够改善心力衰竭(heart failure, HF)患者的左室功能并降低死亡风险,但在实际应用中,仍有相当比例患者未能从中获益,即所谓的“CRT 无反应”问题。以 LBBP 为主的 CPP 进一步发展为此类患者提供了新的治疗选择,有望改善其心脏重构及远期预后[1]。

2017 年中国学者 Huang 等[2]提出的 LBBP 可经静脉将起搏电极导线旋入到左室间隔内膜下,从而实现左侧传导系统的直接激活。随着相关循证研究的不断积累,LBBP 已逐渐被广泛接受,并成为临床实践中重要的生理性起搏方式。本述评将重点阐述 LBBP 的临床应用研究进展,同时结合与双心室起搏 CRT (BiVP-CRT)及 HBP 的比较,充分概述 CPP 的应用现状与未来发展方向。

1 CPP 相关定义

LBBP 指夺获左束支(left bundle branch, LBB)主干或其近端分支,可伴左室间隔部心肌夺获,在较低的输出下实现快速的生理性左心室激活的起搏方式,若仅夺获左室间隔心肌则为左室间隔部起搏 left ventricular septal pacing, LVSP)[3]。左束支区域起搏(left bundle branch area pacing, LBBAP)是指在 LBB

区域实现起搏,包括 LBBP 、 LVSP 或未能明确是否夺获 LBB 的“未分型 LBBAP ”[4]。尽管 LVSP 也可取得较窄且形态与 LBBP 相似的 QRS 波,但因其仅夺获心内膜下心肌,电激动信号通过心肌细胞传导,导致左心室游离壁去极化延迟。

在 LBBP 应用于临床之前,CRT 多指 BiVP ,即在右心室(心尖或间隔)和左心室心外膜表面(多经冠状静脉)植入起搏电极导线,通过同时激动双心室以恢复或维持心室同步性。HBP 则通过直接刺激房室束同步激动心室[1]。LBBP 相较于 HBP 具有更宽的靶区,因而更易夺获传导系统,并可越过房室束远端的传导阻滞,具备起搏阈值低和成功率高等优势[5]。

2 CPP 在心动过缓患者中的应用现状

在 LBBP 临床应用的早期阶段,多项小规模研究已证实其在因心动过缓需植入手心脏起搏器患者中的可行性。Hou 等[6]采用核素心肌显像进一步证实,LBBP 能够较好维持患者的左室机械同步性,为其临床推广提供重要理论依据。此后,Su 等[7] 和 Jastrzebski 等[8] 分别报道了中国和欧洲的长期随访数据,均显示在具有起搏适应症患者中,LBBP 具有高成功率、稳定的起搏阈值,以及低并发症的特征。

LBBP 能否替代传统 RVP 仍存在一定争议。RVP 目前仍是国内外指南推荐的心动过缓伴心功能正常患者的标准起搏治疗策略,然而长期 RVP 可能导致左心室重构与功能受损,增加 PICM 发生的风险[1]。多项回顾性数据表明 LBBP 较 RVP 可降低 PICM 、新发房颤、心衰再住院和心血管复合事件的风险,并更好的维持左室功能[9-12]。近期多项前瞻性研究进一步提供了循证支持,CSPACE 研究是一项在房室传导阻滞(atrioventricular block, AVB)患者中直接比较 CSP 与 RVP 的随机对照试验(randomized controlled trial, RCT),结果显示 CSP 显著降低了 PICM 和 CRT 升级需求,使其主要复合终点(PICM 、 CRT 升级、心衰再住院、全因死亡)发生率显著低于 RVP 组($HR=0.35$, 95% CI: 0.19~0.64, $P<0.001$)[13]。在 Prague CSP 试验中,AVB 患者经 1 年随访显示 CSP 组 LVEF 下降幅度小于 RVP 组(-2% vs.-4%, $P=0.03$),且 LVEF 下降 $\geqslant 10\%$ 的比例亦明显更低(5% vs. 16%, $P=0.01$),尽

管两组在临床复合终点上无显著差异^[14]。与此同时, TREEBEARD 注册研究在 65 岁及以下患者中证实,LBBAP 较 RVP 显著减少心衰再住院和心血管复合事件,但未能改善单独的死亡结局^[15]。综合现有证据,LBBP 为代表的 CSP 在降低起搏相关不良事件、改善心功能及部分临床结局方面均较 RVP 具有优势,为其作为心动过缓患者的优选起搏策略提供了重要支持。

在 2025 版 ACC/AHA 心脏植入式电子设备适用标准中已新增对 CSP 的推荐^[16]。具体而言:对于 LVEF ≤ 35% 且预计心室起搏比例较高的患者,CSP 被认为“适宜”;对于 LVEF 36%~50% 合并窦房结功能障碍、AVB,或因房颤伴心室率缓慢/接受房室结消融而预计需大量右心室起搏的患者,CSP 同样被认为“适宜”。这一更新不仅完善了指南推荐,也进一步突出了以 LBBP 为代表的 CSP 在维持患者心功能方面的价值,并彰显其在心动过缓治疗领域的重要地位。

对于因高比例 RVP 而发生 PICM 的患者,指南推荐采用 CPP 以恢复双心室同步,以改善左室功能和心衰症状^[1]。不过,现有指南仍将 BiVP 列为 I 类推荐,而 CSP 因循证证据有限仅被列为 II 类推荐。He 等^[17]报道的一项小样本研究显示,尽管 LBBAP 与 BiVP 在远期临床结局方面差异不显著,但 LBBAP 能够带来更显著的 LVEF 改善。这提示 LBBAP 作为更接近生理传导的起搏方式,在改善 PICM 患者左室功能方面可能优于传统 BiVP,具有更高的临床应用价值。目前在 PICM 人群中直接比较 BiVP 与 CSP 疗效的随机对照试验仍然缺乏。

3 CPP 在心力衰竭患者中的应用现状

自 2017 年首例 HF 合并左束支传导阻滞(left bundle branch block, LBBB)患者接受 LBBP 以来,以 LBBP 为主的 CPP 发展迅速。CPP 通过恢复 HF 患者的电学同步性并持续改善血流动力学,从而促进左心室的逆重塑。其中,LBBP 拥有跨越传导阻滞部位夺获下游传导系统,恢复接近生理性激动模式的优势。在其可行性和安全性得到广泛验证的基础上^[18~19],多项研究进一步证实 LBBP 较传统 BiVP-CRT 可以实现更优的电机械再同步化,并带来更显著的心脏结构和功能改善以及远期临床获益^[18~20]。

首项对比 LBBP 与 BiVP 疗效的随机对照研究(LBBP-RESYNC)报道,在 6 个月随访时 LBBP 组主要终点^ΔLVEF 的提升幅度显著高于 BiVP 组(效应估计值:5.6%, $P=0.039$),并伴随更显著的心室重构逆转及临床心功能改善^[21],此后报道的多项 RCT 亦呈现出一致的趋势^[22]。目前样本量最大的全球多中心观察性研究(I-CLAS)报道在平均随访(33 ± 16)个

月后,LBBP 组患者提升的^ΔLVEF 显著优于 BiVP 组 [^ΔLVEF:(13 ± 12)% vs. (10 ± 12)%, $P<0.001$],死亡和心衰再住院的复合终点发生率低于 BiVP 组(20.8% vs. 28%, $P<0.001$)^[23],LBBP 组患者的室性心动过速/心室颤动、室速风暴以及新发房颤的发生率更低^[24]。在经济学方面,Wang 等^[25]研究发现对于 HF 合并 LBBB 患者,LBBP 不仅带来更显著的 LVEF 改善,同时住院总费用及成本效益比均优于 BiVP。尽管仍需更大样本、长期随访的随机对照研究进一步验证,但现有证据可充分提示,LBBP 相较于 BiVP 能够实现更接近生理的再同步化,带来更显著的心脏结构和功能改善、临床心功能提升及更低的心律失常风险,并展现出更优的经济学效益。最新的 PhysioSync-HF^[26] 是一项旨在对比 CSP 和 BiVP 在 HF 合并 LBBB 患者中的非劣效性随机对照研究,该研究将主要终点分层,优先考虑全因死亡率,心力衰竭住院,心力衰竭紧急就诊,最后将 LVEF 的变化程度纳入分析。2025 年欧洲心血管病学会(ESC)大会上公布了该研究的初步结果,CSP 并未显示出较 BiVP 更佳的获益,该研究最终结果后续值得研究者关注和讨论。

当传统 BiVP 冠状窦导线植入失败或疗效不佳时,升级为 LBBP 是一种可行的替代方案^[27]。Chen 等^[28]研究中将 CRT 无反应患者非随机分入升级 LBBP 组和持续 BiVP 组,结果显示升级 LBBP 组患者 LVEF 显著改善,而持续 BiVP 的患者则未见明显变化。研究提示在 CS 导线植入困难或既往对 BiVP 无反应的患者升级 LBBP 是可行的,且可带来更多的临床获益。

此外,在不耐受药物治疗或强化心率控制无反应的心房颤动(atrial fibrillation, AF)患者中,房室结消融(atrioventricular node ablation, AVNA)联合永久心室起搏是有效的治疗方式,在此背景下 CSP 也被认为是 BiVP 的可行替代方案^[29]。近期一项 Meta 分析比较了 CSP 与 BiVP 在此类患者中的差异,结果显示 CSP 能够在起搏后获得更短的 QRS 时限和更优的临床心功能改善,而在超声心动图参数和临床结局方面则与 BiVP 相当^[30]。

4 CPP 应用推广的难点与展望

尽管现有研究已在多种应用场景下证实 CSP 可为传统 RVP 或 BiVP 的替代方案,并带来额外临床获益,但随着研究的不断深入,研究者发现以 LBBP 为主的 CSP 在临床推广过程中仍存在若干尚未解决的问题,这在一定程度上限制了其广泛应用。下文将重点阐述热点问题的研究进展,并提出相应的思考与展望。

4.1 在 LBBP 中是否需要追求 LBB 的夺获 在 LBBP 临床应用的早期阶段,多数研究并未严格区分 LBBP 与 LVSP,而是统一归类为 LBBAP。如前文所述,LBBP 与 LVSP 在心室激动机制上存在显著差异。虽然 LVSP 能够产生相对较窄、且在波形上与 LBBP 相似的 QRS 波,但其仅能夺获心内膜下心肌,电激动主要依赖心肌细胞间的传导^[3]。

针对心动过缓患者的 LVSP 研究目前仍较有限。已有小样本研究报道,LVSP 较 LBBP 的左室侧壁除极时间更长,但能够维持左右心室间同步性;而 LBBP 虽可实现更接近生理的左室激动模式,却可能增加心室间失同步^[31]。另一项采用心脏做功指标的研究从机械学方面表明,LBBP 能够较好地维持此类患者的心肌做功能力,而 LVSP 的做功效率较生理状态有所下降^[32]。在临床结局方面,Shimeno 等^[10]的回顾性研究显示,尽管 LBBAP 整体上 PICM 发生率和 LVEF 下降幅度均低于 RVP,但在 LBBAP 组内 LBBP 与 LVSP 之间并未观察到显著差异。现有 LBBP 和 LVSP 直接对比研究尚不足以明确两者在缓慢心动过缓患者中的优劣性。

在 HF 患者中关于 LBBP 与 LVSP 的研究逐渐完善。Curila 等^[33]利用超高频心电图 (ultra-high frequency electrocardiogram, UHF-ECG) 评估心室内及室间同步性,结果显示 LBBP 能够实现更佳的左室再同步,并伴随更显著的收缩压升高;而 LVSP 与 BiVP 相比,在 UHF-ECG 所反映的心室激动模式、左室同步性及收缩压改善方面差异并不显著。在临床结局方面,Diaz 等^[34]和 Zhu 等^[35]两项回顾性研究结果趋势一致:LBBP 患者在长期终点事件发生风险上显著低于 LVSP 和 BiVP,而 LVSP 的风险则与 BiVP 相近甚至更高。近日 Xue 等^[36]报道在接受 LBBP 的 HF 患者中若未实现 LBB 夺获,LVSP 联合左室起搏较单纯 LVSP 可带来更显著的急性血流动力学改善、更优的电学再同步化以及更佳的临床结局,这也提示了 (left bundle-optimized therapy CRT, LOT-CRT) 或为这些患者的更佳的治疗策略。

现有研究结果提示,在需要再同步化治疗的患者中,LBBP 有望成为 BiVP 的替代方案;而 LVSP 则不能直接取代 BiVP,因此在行 LBBAP 时应尽可能实现 LBB 的夺获。对于无法实现 LBB 夺获的患者,是选择 LOT-CRT 方案还是回归传统 BiVP,仍有待进一步探讨和验证。另一方面对于心动过缓患者,在进行 LBBAP 时应优先追求 LBB 夺获,还是强调术式的可操作性与推广便利性,目前仍缺乏明确结论,尚需进一步研究和临床数据加以验证。

4.2 CPP 后心衰患者疗效的预测 心脏磁共振 (cardiac magnetic resonance, CMR) 是评估心脏结构、功能及组

织学特征的无创影像学金标准,其中延迟钆增强 (late gadolinium enhancement, LGE) 对心肌瘢痕的诊断具有重要意义。Chen 等^[37-38]研究发现在接受 LBBAP 的患者中更低的瘢痕负荷和更高的超声反应率相关,进一步研究发现在低间隔瘢痕负荷的患者中,LBBAP 组的 LVEF 改善幅度及超声反应率均显著优于 BiVP 组,而在高间隔瘢痕负荷人群中则表现为 BiVP 获益更佳。

此外,Ye 等^[39]报道的最新研究应用 18-F-氟代脱氧葡萄糖正电子发射断层显像和心肌灌注显像对 HF 合并 LBBB 患者接受 LBBP 的疗效进行了评估,结果发现尽管 LBBP 能够纠正电学不同步,但仍有约三分之一患者在 6 个月随访时临床反应欠佳,这类患者代谢影像学提示在基线时常表现为室间隔葡萄糖摄取异常,且与基线较长的 QRS 时限密切相关;而在有反应者中,可见葡萄糖摄取异质性的改善。进一步分析表明,将术前左室舒张末期容积与室间隔葡萄糖摄取指标结合,可有效识别 LBBP 的无应答者,其预测价值 ($AUC=0.906$) 显著优于单纯依赖 QRS 时限等电学指标。以上这些利用多种组学技术获得的预测指标为临床医生在评估起搏疗效时提供了多维度参考,实际应用中需要结合患者的多方面基线特征,才能对起搏后的疗效进行更为精准和个体化的预测。

5 总结

综上所述,随着近年来 LBBP 的快速发展及相关循证证据的不断积累,其临床地位已逐步从传统 BiVP 的替代方案提升为更具优势的优选策略。然而,指南的更新仍需更多高质量、长程随访的前瞻性 RCT 研究加以支持。在个体化治疗与疗效预测方面,多组学及多模态影像学的联合应用有望构建更为完善的风险分层与决策体系。与此同时,针对 LBBP 的专用器械与技术手段亦需持续改进,以提升操作的安全性与可推广性。未来,在循证医学证据、个体化策略及器械创新的共同推动下,LBBP 有望在生理性起搏的推广与普及中发挥更加核心的作用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Chung MK, Patton KK, Lau CP, et al. 2023 HRS/APHRS/LAHRS guideline on cardiac physiologic pacing for the avoidance and mitigation of heart failure [J]. Heart Rhythm, 2023, 20(9): e17-e91.
- [2] Huang W, Su L, Wu S, et al. A novel pacing strategy with

- low and stable output: pacing the left bundle branch immediately beyond the conduction block[J]. *Can J Cardiol*, 2017, 33(12): 1736. e1–1736. e3.
- [3] Wu S, Chen X, Wang S, et al. Evaluation of the criteria to distinguish left bundle branch pacing from left ventricular septal pacing[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2021, 7(9): 1166–1177.
- [4] Huang W. Left bundle branch pacing: state of the art and future directions[J]. *Circulation*, 2025, 151(16): 1131–1133.
- [5] 中华医学会心电生理和起搏分会, 中国医师协会心律学专业委员会. 希氏-浦肯野系统起搏中国专家共识[J]. *中华心律失常杂志*, 2021, 25(1): 10–36.
- [6] Hou X, Qian Z, Wang Y, et al. Feasibility and cardiac synchrony of permanent left bundle branch pacing through the interventricular septum[J]. *Europace*, 2019, 21(11): 1694–1702.
- [7] Su L, Wang S, Wu S, et al. Long-term safety and feasibility of left bundle branch pacing in a large single-center study[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2021, 14(2): e009261.
- [8] Jastrzebski M, Kiełbasa G, Cano O, et al. Left bundle branch area pacing outcomes: the multicentre european melos study[J]. *Eur Heart J*, 2022, 43(40): 4161–4173.
- [9] Tan ESJ, Soh R, Lee JY, et al. Clinical outcomes in conduction system pacing compared to right ventricular pacing in bradycardia[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2023, 9(7): 992–1001.
- [10] Shimeno K, Matsumoto N, Kashima Y, et al. Left bundle branch area pacing preserves left ventricular ejection fraction in patients with preserved systolic function: a comparison with right ventricular pacing and the influence of left bundle branch capture[J]. *Heart Rhythm*, Published online August 29, 2025.
- [11] Ungureanu AI, Târtea G, Tierau E, et al. Left bundle branch area pacing prevents new-onset atrial fibrillation and improves echocardiographic parameters compared with right ventricular pacing in patients with bradyarrhythmias[J]. *Biomedicines*, 2025, 13(6): 1374.
- [12] Vijayaraman P, Sharma PS, Atwater BD, et al. Two-year follow-up of the safety and clinical outcomes of stylet-driven leads for left bundle branch area pacing compared with right ventricular pacing in the medicare population [J]. *Heart Rhythm*, Published online July 9, 2025.
- [13] Chow CL, Wong C, Sutherland N, et al. Clinical outcomes of conduction system pacing vs right ventricular septal pacing in atrioventricular block[J]. *JACC*, 2025, 86(8): 563–573.
- [14] Curila K, Mizner J, Morava J, et al. Prospective randomized trial of conduction system pacing vs right ventricular pacing for patients with atrioventricular block; prague csp trial[J]. *Heart Rhythm*, 2025, 22(10): e894–e902.
- [15] Bertini M, Canovi L, Vitali F, et al. Two-year outcomes of left bundle branch area pacing versus traditional right ventricular pacing in middle-aged adults: a registry-based trial[J]. *Europace*, 2025, 27(8): euaf181.
- [16] Russo AM, Desai MY, Do MM, et al. ACC/AHA/ASE/HFSA/HRS/SCAI/SCCT/SCMR 2025 appropriate use criteria for implantable cardioverter-defibrillators, cardiac resynchronization therapy, and pacing[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2025, 85(11): 1213–1285.
- [17] He C, Xu S, Wang C, et al. Effectiveness of upgrading to left bundle branch area pacing compared with biventricular pacing in patients with right ventricular pacing-induced cardiomyopathy[J]. *Heart Rhythm*, Published online May 22, 2025.
- [18] Wang Y, Gu K, Qian Z, et al. The efficacy of left bundle branch area pacing compared with biventricular pacing in patients with heart failure: a matched case-control study [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2020, 31(8): 2068–2077.
- [19] Li X, Qiu C, Xie R, et al. Left bundle branch area pacing delivery of cardiac resynchronization therapy and comparison with biventricular pacing[J]. *ESC Heart Fail*, 2020, 7(4): 1711–1722.
- [20] Chen X, Ye Y, Wang Z, et al. Cardiac resynchronization therapy via left bundle branch pacing vs. optimized biventricular pacing with adaptive algorithm in heart failure with left bundle branch block: a prospective, multi-centre, observational study[J]. *EP Europace*, 2022, 24(5): 807–816.
- [21] Wang Y, Zhu H, Hou X, et al. Randomized trial of left bundle branch vs biventricular pacing for cardiac resynchronization therapy[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2022, 80(13): 1205–1216.
- [22] Pujol-López M, Graterol FR, Borràs R, et al. Clinical response to resynchronization therapy[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2025, 11(8): 1820–1831.
- [23] Vijayaraman P, Sharma PS, Cano Ó, et al. Comparison of left bundle branch area pacing and biventricular pacing in candidates for resynchronization therapy[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2023, 82(3): 228–241.

- [24] Herweg B, Sharma PS, Cano Ó, et al. Arrhythmic risk in biventricular pacing compared with left bundle branch area pacing: results from the i-clas study[J]. *Circulation*, 2024, 149(5): 379–390.
- [25] Wang S, Xue S, Jiang Z, et al. Cost-effectiveness ratio analysis of lbbp versus bvp in heart failure patients with lbbb[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2024, 47(11): 1539–1547.
- [26] Zimmerman A, Dal Forno A, Rohde LE, et al. Conduction system pacing vs biventricular resynchronization in heart failure with reduced ejection fraction and left bundle branch block: Rationale and design of the PhysioSync-HF Trial[J]. *Am Heart J*, 2025, 290: 38–45.
- [27] Vijayaraman P, Herweg B, Verma A, et al. Rescue left bundle branch area pacing in coronary venous lead failure or nonresponse to biventricular pacing: results from international lbbap collaborative study group[J]. *Heart Rhythm*, 2022, 19(8): 1272–1280.
- [28] Chen X, Jin Q, Qiu Z, et al. Outcomes of upgrading to lbbp in crt nonresponders[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2024, 10(1): 108–120.
- [29] Cai M, Wu S, Wang S, et al. Left bundle branch pacing postatrioventricular junction ablation for atrial fibrillation: propensity score matching with his bundle pacing[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2022, 15(10): e010926.
- [30] Mavilakandy A, Abdelrazik AM, Abouelmagd K, et al. A comparative analysis of conduction system pacing and biventricular pacing in patients undergoing atrioventricular node ablation: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Heart J*, 2024, 45(Sup_1): ehae666. 428.
- [31] Curila K, Jurak P, Jastrzebski M, et al. Left bundle branch pacing compared to left ventricular septal myocardial pacing increases interventricular dyssynchrony but accelerates left ventricular lateral wall depolarization[J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(8): 1281–1289.
- [32] Bertini M, Vitali F, Malagù M, et al. Left ventricular mechanical insights into left bundle branch pacing and left ventricular septal pacing[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2025, 11(8): 1852–1861.
- [33] Curila K, Poviser L, Stros P, et al. Lvsp and lbbp result in similar or improved lv synchrony and hemodynamics compared to bvp[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2024, 10(7): 1722–1732.
- [34] Diaz JC, Tedrow UB, Duque M, et al. Left bundle branch pacing vs left ventricular septal pacing vs biventricular pacing for cardiac resynchronization therapy[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2024, 10(2): 295–305.
- [35] Zhu H, Qin C, Du A, et al. Comparisons of long-term clinical outcomes with left bundle branch pacing, left ventricular septal pacing, and biventricular pacing for cardiac resynchronization therapy[J]. *Heart Rhythm*, 2024, 21(8): 1342–1353.
- [36] Xue S. Left ventricular septal pacing combined with left ventricular pacing improves acute electric resynchronization, hemodynamic responses and clinical outcomes: results of sport study[J]. *Europace*, 2025, 27(8): euaf147.
- [37] 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.
- [38] Chen Z, Ma X, Wu S, et al. A comparison of the association of septal scar burden on responses to lbbap-crt and bvp-crt[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2024, 10(7): 1439–1451.
- [39] Ye Y, Zhang Y, Mao Y, et al. Determinants of mid-term response to left bundle branch pacing in heart failure patients with left bundle branch block[J]. *Can J Cardiol*, Published online July 4, 2025.