

左束支起搏的研究进展

潘佳慧¹, 杨沙宁^{2*}

¹长江大学附属第一医院, 湖北 荆州

²荆州市第一人民医院心内科, 湖北 荆州

收稿日期: 2024年1月21日; 录用日期: 2024年2月14日; 发布日期: 2024年2月21日

摘要

心脏起搏是治疗症状性缓慢性心律失常的有效方法, 而传统右心室起搏、双心室起搏, 乃至希氏束起搏都因其缺点受到发展限制, 所以临床上迫切需要寻找更优起搏方式。在此背景下, 左束支起搏在我国应运而生, 因其具有独特优势, 势必成为未来的主流起搏方式。本文就左束支解剖、左束支起搏的最新研究进展及未来发展前景作一综述。

关键词

生理性起搏, 左束支起搏, 综述

Research Progress of Left Bundle Branch Pacing

Jiahui Pan¹, Shaning Yang^{2*}

¹The First Affiliated Hospital of Yangtze University, Jingzhou Hubei

²Department of Cardiology, The First People's Hospital of Jingzhou, Jingzhou Hubei

Received: Jan. 21st, 2024; accepted: Feb. 14th, 2024; published: Feb. 21st, 2024

Abstract

Cardiac pacing is an effective method of treating symptomatic bradyarrhythmias, while conventional right ventricular pacing, biventricular pacing and even Hirschsprung pacing are limited in their development due to their drawbacks, so there is an urgent need to find better pacing methods. In this context, left bundle branch pacing has emerged in China and is bound to become the mainstream pacing modality of the future because of its unique advantages. This article reviews

*通讯作者。

the anatomy of the left bundle branch, the latest research advances in left bundle branch pacing and the future prospects for development.

Keywords

Physiological Pacing, Left Bundle Pacing, Review

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由于预期寿命的增加和人口的老齡化, 缓慢型心律失常引起了公众的关注, 而心脏起搏对此类疾病有较好的疗效。据估计, 全球接受起搏器植入的患者数量每年植入率达到 100 万台, 其中传统起搏方式占大多数[1]。既往研究表明传统右心室起搏(right ventricular pacing, RVP)导致电和机械不同步, 增加了心力衰竭和心房颤动的风险[2] [3] [4]。而心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)即传统双心室起搏(biventricular pacing, BVP)对维持心室同步性等方面有较好疗效, 但冠状窦电极的放置困难、以及大比例的患者被归为无反应者等让其发展受限[5]。2000 年希氏束起搏(His bundle pacing, HBP)被首次报道[6], 其遵从生理性激动顺序, 避免一些与 RVP 相关的潜在危险。且 2021 年欧洲心脏病协会指南[7]进一步明确定义 HBP, 以及将 HBP 作为治疗 RV 起搏比例高的患者的 IIb 类适应症。但是希氏束起搏导线稳定性、高阈值和早期电池耗尽的担忧, 限制了其广泛的临床应用。2017 年 Huang 等[8]首次报道左束支起搏(left bundle branch pacing, LBBP), 同属于生理性起搏, 它既保留了 HBP 的优势同时操作相对简单, 且对于慢性心力衰竭等也有积极疗效。现就左束支解剖、LBBP 的最新研究进展及未来发展前景作一综述。

2. 左束支解剖

左束支呈瀑布状发自希氏束的分叉部, 发出后呈扁带状在室间隔左侧心内膜下走行 10~15 mm 后, 及多在室间隔的中上 1/3 交界处分为左前分支和左后分支。先分出的纤维形成左束支后组, 即左后分支, 再分出的形成前组, 即左前分支; 研究表明左束支前段比后段更细更长, 因而前段传导障碍比后段传导障碍更常见[9]; 左束支最大解剖特点是变异性大, 及在不同个体间存在较大差异, 可呈双分支、三支和扇形结构, 最终不断分支延伸在左心室游离壁内相互吻合成一个 Purkinje 纤维网, 相互间无明显界限。

3. 左束支起搏操作

3.1. 电极的植入

LBBP 指经静脉穿室间隔起搏夺获左侧传导系统, 模拟了自然的传导路径, 减少了电信号的传播时间, 有助于维持心脏同步性; 且通常在较低输出下能夺获左侧心室间隔心肌, 激活左心室, 有助于改善心室激动的传播, 减少室间和室内的电机械不同步。其技术要点在于电极植入, 目前操作并无统一标准, Huang 等[10]作为 LBBP 的开创者, 描述电极植入方式如下: 以 Seldinger 法穿刺左腋静脉后, 置入 C315 希氏鞘(美敦力, 美国), 送入主动固定起搏 3830 导线(美敦力公司)至右心房, 在 X 射线透视下, 以电生理记录仪标测希氏束, 在右前斜位 30°透视下, 沿着希氏束远端与心尖部连线上, 距希氏束 1.0~2.0 cm 范

围内作为 LBBP 的初始位点, 该位点起搏时特征表现为 V1 导联成“W”形, 顿挫在 QRS 底部。在左前斜 30°~45°透视下, 逆时针旋转鞘管保持导线头端垂直于室间隔心肌中。同时应监测起搏阻抗(单极阻抗应 $>500\ \Omega$), 观察有无失夺获及阈值升高, 避免导线穿孔至左心室腔内。目前有一些改进的技术及方法, 包括“九分区法”、“三维标测法”、“心腔内超声”、“三尖瓣造影显像技术”、“左室鞘辅助植入”等[11] [12] [13] [14], 可以提高 LBBP 植入成功率及安全性, 且能获得更稳定和理想的起搏参数。

3.2. LBB 夺获标准

1) 直接证据: 当左束支夺获时, 电激动快速沿传导系统直接顺传到远端或逆传至希束, 可以在相应的电极上可检测到清晰的束支电位。

2) 起搏形态: LBBP 时因左心室激动早于右心室, 故起搏形态呈右束支阻滞(RBBB)图形。而在电生理中可以发现同一位置起搏心电图形态可不同, 将起搏心电图为典型的右束支传导阻滞(RBBP)图形, 即 V1 导联呈 rsR'型, 称为选择性左束支起搏(S-LBBP), 该起搏仅夺获左束支; 而起搏心电图呈现右束支传导延迟的图形(RBBD), V1 导联呈 QR 或 Qr 型, 称为非选择性左束支起搏(NS-LBBP), 此起搏同时夺获周边的心肌。当从非选择到选择性起搏中 QRS 波逐渐缩短[15] [16] [17]。

3) 脉冲-左室达峰时间(Sti-LVAT): 为起搏信号起始测量至 V5 至 V6 导联的 R 波顶点的间期, 反应起搏脉冲到左室壁除极的时间。该间期越短往往提示左室收缩同步性越好。左束支夺获时会出现达峰时间突然缩短, 并且在不同输出时保持最短和恒定。通常来说, 左束支夺获时脉冲-左室达峰时间 $< 80\ \text{ms}$ [16] [17] [18]。

4) 损伤电流: 研究发现[19]记录左束支电位伴随有损伤电流, 损伤电流的出现反映电极尖端可能已经触及左束支传导组织。可作为 LBB 夺获标准替代标准。

4. 左束支起搏的临床应用

4.1. 在心动过缓中的应用

心动过缓多由于窦房结功能受到抑制, 或者窦房结功能障碍, 以及出现房室传导的阻滞导致心率慢, 单位时间内射血功能降低, 难以维持正常活动出现一系列症状。起搏器的发明有效改善了心动过缓症状, LBBP 作为近年中国原创的一项新型起搏技术, 遵从心脏起搏顺序起搏, 可达到接近生理状态。Chen 等[20]将 RVP 与 LBBP 进行比较, 研究发现 LBBP 可显著缩短心动过缓患者的 QRS 时限[(111.85 \pm 10.77) ms vs (160.15 \pm 15.04) ms, $P < 0.001$], 随访 3 个月, 左束支起搏阈值较低(0.73 \pm 0.20 V)且稳定、心功能也有所改善, 证实了左束支起搏的可行性。Su 等[19]对行 117 例 LBBP 患者的左束支电位程控分析, 其中 92.2% 实现左束支平均夺获阈值(0.67 \pm 0.25) V/0.5ms, 心室感知(11.31 \pm 5.43) mV, 且 1 年的随访参数稳定, 证明了 LBBP 低阈值, 长期感知功能好。近期, Gao 等[21]开展多中心回顾性研究, 探索了不同房室传导阻滞部位与 HPSP (HBP 和/或 LBBP)成功率的关系, 纳入 637 例 AVB 患者, 其中房室结阻滞占 63.0% (401/637), 希氏束内阻滞占 22.9% (146/637), 希氏束远段或以下阻滞占 14.1% (90/637), 发现随着 AVB 部位由近及远, HPSP 及 HBP 成功率虽都呈下降趋势, 但在希氏束远段或以下阻滞患者中, HPSP 的成功率明显高于 HBP (87.7%比 47.1%, $\chi^2 = 11.789$, $P = 0.001$), 其中对于 QRS $\geq 120\ \text{ms}$ 且 AVB 部位在希氏束远段或以下的患者, HPSP 成功率(79.5%)显著高于 HBP (25%), 提示 LBBP 应作为该类患者首选, 进一步细化受益人群, 同时可以证明 LBBP 可作为生理性传导束起搏对 HBP 的重要补充。最后, 《希氏-浦肯野系统起搏中国专家共识》[22]建议: 1) 对有心动过缓起搏适应证的患者(包括房颤患者), 预计心室起搏比例 $\geq 40\%$, LVEF $< 50\%$, 应该考虑希浦系统起搏。2) 对于阻滞位点位于房室结水平的患者, 可以首选尝试 HBP, 若植入困难或电学参数不理想, 可改为 LBBP; 而对于阻滞位点位于希氏束以下的

起搏依赖患者, LBBP 是理想的选择。

4.2. 在心力衰竭中的应用

据估计我国心血管病现患人数 3.3 亿, 其中心力衰竭 890 万[23]。而心衰常伴有传导异常或心房心室激动不同步特点, 而现行改善心衰药物对传导及结构异常的心衰疗效有限, 尽管 CRT 治疗有较好疗效, 但随着 LBBP 的创新技术的到来为心衰患者的器械治疗提供了新选择。2019 年 Wu [24]等报道了 11 例慢性心衰伴 LBBP 患者行左束支起搏治疗, 随访观察 2 年, 结果显示 LBBP 安全性良好, 心功能得到显著改善。国内的一项前瞻性、多中心研究[25]纳入了左室射血分数(LVEF) < 50%合并左束支阻滞的心力衰竭患者 63 例, 且排除了缺血性心肌病患者, 成功植入 LBBP 61 例, 随访 1 年后, 中位 BNP 水平由 595 pg/dl (313 pg/dl~1430 pg/dl)降低至 100 pg/dl (32 pg/dl~286 pg/dl), LVEF 由 $33\% \pm 7.6\%$ 改善至 $55\% \pm 10\%$ 。左室舒张末期内径(LVEDD)明显改善[(62.4 ± 7.4) mm vs (52.7 ± 7.5) mm, $P < 0.001$], 心功能分级(NYHA 分级)显著好转[(2.8 ± 0.6) vs (1.4 ± 0.6), $P < 0.001$], 且服用利尿剂和地高辛的患者数量显著减少($P < 0.001$), 证实了 LBBP 有助于心衰治疗; Wu 等[26]一项的非随机观察研究分析比较了 HBP、LBBP 和 BVP 患者, 平均随访 1 年, 结果显示 HBP 组与 LBBP 组在 LVEF、心功能分级方面优于 BVP 组。Vijayaraman 等[17]对有 CRT 适应症患者实施 LBBP (277/325 成功), 术后平均随访 6 个月, 左室射血分数明显改善[(33% ± 10%) vs (44% ± 11%), $P < 0.01$], 左室舒张末期内径及心功能分级都明显改善, 表明 LBBP 可代替 CRT 改善心衰。国内一项关于左束支起搏与双心室起搏(BiVP)对心脏再同步化的影响对比[27], 经过 6 个月随访, 结果发现在非缺血性心肌病和 LBBB 的心力衰竭患者中, LBBP 的 LVEF 改善显著高于 BiVP ($P = 0.039$), 且 LBBP 组的 LVESV 和 NT-proBNP 均有良好的降低。进一步体现了 LBBP 具有良好心脏再同步化效果。上述研究表明, LBBP 在心力衰竭患者中对维持心脏再同步有较好的临床效果, 且 2021 年欧洲心脏病学会(ESC)心脏起搏和心脏再同步化治疗指南[7]指出, 对于冠脉窦导管植入不成功的 CRT 患者, 应考虑将 HBP 与其他技术治疗为 IIa 类推荐。但是, 目前 LBBP 研究多限于小样本、非随机对照研究, 未来仍有待大规模、随机对照临床研究, 以评估 LBBP 在心衰伴 CRT 适应证患者中的获益以及与 BVP 比较的优劣。最后, 对于慢性心衰伴非特异性室内阻滞患者, LBBP 不能完全纠正室内阻滞, 近期有研究发现[28] [29] [30]左束支起搏优化的心脏再同步化治疗(left bundle branch-cardiac resynchronization therapy, LOT-CRT)通过 LBBP 联合冠状窦静脉左心室起搏优于单一 LBBP 和 CRT, 对心脏再同步化及心功能的改善更为显著。左束支起搏联合其他起搏治疗方式为心衰治疗提供新思路 and 手段。

4.3. 在特殊患者人群中的应用

起搏介导的心肌病 传统右心室起搏引起电和机械不同步, 进而心脏收缩功能下降, 产生起搏介导的心肌病(pacing induced cardiomyopathy, PICM) [31] [32]。Wu 等[33]报道了 1 例起搏介导的心肌病患者 (LVEF 34%, LVEDD 62 mm, NYHA 心功能分级 III 级)成功行 LBBP 病例, 术后 6 个月随访, 心功能得到显著改善(LVEF 63%, LVEDD 46 mm, NYHA 心功能分级 I 级)。Qian 等[34]的研究纳入了 PICM 患者 13 例, 术前评估心功能: LVEF $40.3\% \pm 5.2\%$, LVEDD (59.3 ± 7.5) mm, 心功能分级(NYHA 分级) 2.5 ± 0.5 。行 LBBP 后, 随访 10.4 ± 6.1 个月发现心功能得到显著改善[LVEF $48.1\% \pm 9.5\%$, LVEDD (55.2 ± 7.5) mm, 心功能分级(NYHA 分级) 1.7 ± 0.8 , P 均 < 0.05], 证实了在 PICM 患者中应用 LBBP 的可行性。

持续性房颤伴心衰房室结消融 大量研究证实 HBP 可用于因房颤行房室结射频消融的可行性及有效性[35] [36] [37], 而 LBBP 具有越过阻滞部位起搏以及起搏参数更理想等突出的优势是否同样可用于控制心室率的房颤消融中, Wang 等[38]将 His-Purkinje 传导系统起搏(HBP + LBBP)联合 ICD 和房室结消融的房颤患者($n = 55$, 2 组)与仅植入植入型心律转复器(ICD)房颤患者($n = 55$, 1 组)进行比较, 随访了 30.5

个月后发现, 2组左室舒张末容积[(83.68 ± 62.53) ml vs (122.69 ± 65.18) ml, $P < 0.01$]和LVEF (49.44% ± 14.9% vs 34.8% ± 11.23%, $P < 0.01$)均显著改善; 与1组相比, 2组显著减少患者抗心律失常药物的使用、心衰住院次数及因房颤导致的ICD误放电(15.6% vs 0%, $P < 0.001$)等, 该研究证实了HPSP (His-Purkinje-conduction system pacing)联合AVN消融是可行且安全的。目前暂缺少LBBP单独用于房室结消融的研究。但HPSP联合房室结消融来控制心室率的持续性房颤患者提供了足够的消融靶点空间, 保证了消融安全并可以提高了患者生活质量。

经导管主动脉瓣置换术作为近年来新兴术式, 术后引起缓慢性心律失常并不少见, 有研究表明[39]接受TAVR的患者新发AVB的阻滞点往往位于远端, LBBB发生率约占25%。而接受TAVR治疗患者多数有心肌梗死、心脏收缩不同步、心力衰竭等器质性改变, 故对该类患者行生理性起搏更为合适选择。Vijayaraman等[40]一项多中心研究评估了希浦系统起搏在TAVR术后需要起搏的患者中的可行性和成功率, 结果表明TAVR术后LBBP的成功率(93%)显著高于HBP, 且能跨越阻滞位点, 起搏参数更加理想。Xu等[41]一项临床研究同样证明人工心脏瓣膜置换术后发生缓慢性心律失常的患者行HPSP成功率高, 是可行的。

5. LBBP的局限性

LBBP作为一项新颖起搏方式, 相较于HBP的低阈值及CRT的操作简单等, 自问世就得到了广泛关注, 但仍不可避免存在自身的局限性: 1) 用于左束支起搏导线, 输送鞘和电极是为右室起搏设计, 并没有用于左束支起搏的专用器材, 从技术上无法提高左束支起搏安全性和可靠性; 2) LBBP依赖于室间隔的可通过性, 对于室间隔中部弥漫性纤维化病变起搏困难, 所以起搏空间区域具有一定局限性。3) 缺乏大样本、随机、对照试验来进一步证实LBBP的长期安全性和有效性, 进而受益人群无法评估。

6. 总结及展望

左束支起搏具有低阈值、跨越阻滞位点、相对操作简单的优势, 是生理性起搏的一项重要研究成果, 且大量临床研究也证实了其在恢复心室同步性、改善心功能以及纠正远端传导阻滞方面的显著效果。随着左束支起搏技术的不断发展, 我们可以期待其成功率的不断提高, 适用症的不断扩展, 从而使更多的患者受益。因此, 可以预见左束支起搏有望成为未来的主流起搏方式。

参考文献

- [1] Mond, H.G. and Proclemer, A. (2011) The 11th World Survey of Cardiac Pacing and Implantable Cardioverter-Defibrillators: Calendar Year 2009—A World Society of Arrhythmia's Project. *Pacing and Clinical Electrophysiology: PACE*, **34**, 1013-1027. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2011.03150.x>
- [2] De Sisti, A., Márquez, M.F., Tonet, J., et al. (2012) Adverse Effects of Long-Term Right Ventricular Apical Pacing and Identification of Patients at Risk of Atrial Fibrillation and Heart Failure. *Pacing and Clinical Electrophysiology: PACE*, **35**, 1035-1043. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2012.03371.x>
- [3] Dias-Frias, A., Costa, R., Campinas, A., et al. (2022) Right Ventricular Septal versus Apical Pacing: Long-Term Incidence of Heart Failure and Survival. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, **9**, Article No. 444. <https://doi.org/10.3390/jcdd9120444>
- [4] Liu, Y., Zheng, Y., Tse, G., et al. (2023) Association between Sick Sinus Syndrome and Atrial Fibrillation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Cardiology*, **381**, 20-36. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2023.03.066>
- [5] Daubert, C., Behar, N., Martins, R.P., et al. (2017) Avoiding Non-Responders to Cardiac Resynchronization Therapy: A Practical Guide. *European Heart Journal*, **38**, 1463-1472.
- [6] Deshmukh, P., Casavant, D.A., Romanyshyn, M., et al. (2000) Permanent, Direct His-Bundle Pacing: A Novel Approach to Cardiac Pacing in Patients with Normal His-Purkinje Activation. *Circulation*, **101**, 869-877. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.8.869>

- [7] Glikson, M., Nielsen, J.C., Kronborg, M.B., *et al.* (2022) 2021 ESC Guidelines on Cardiac Pacing and Cardiac Resynchronization Therapy. *Europace*, **24**, 71-164. <https://doi.org/10.1093/europace/euab232>
- [8] Huang, W., Su, L., Wu, S., *et al.* (2017) A Novel Pacing Strategy with Low and Stable Output: Pacing the Left Bundle Branch Immediately beyond the Conduction Block. *Canadian Journal of Cardiology*, **33**, 1736e1-e3. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2017.09.013>
- [9] Massing, G.K. and James, T.N. (1976) Anatomical Configuration of the His Bundle and Bundle Branches in the Human Heart. *Circulation*, **53**, 609-621. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.53.4.609>
- [10] Huang, W., Chen, X., Su, L., *et al.* (2019) A Beginner's Guide to Permanent Left Bundle Branch Pacing. *Heart Rhythm*, **16**, 1791-1796. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.06.016>
- [11] Zhang, J., Wang, Z., Zu, L., *et al.* (2021) Simplifying Physiological Left Bundle Branch Area Pacing Using a New Nine-Partition Method. *Canadian Journal of Cardiology*, **37**, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2020.05.011>
- [12] Vijayaraman, P., Panikkath, R., Mascarenhas, V., *et al.* (2019) Left Bundle Branch Pacing Utilizing Three Dimensional Mapping. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **30**, 3050-3056. <https://doi.org/10.1111/jce.14242>
- [13] 匡晓晖, 张曦, 高晓龙, 等. 心腔内超声指导左束支起搏[J]. 中华心律失常学杂志, 2019(2): 109-114.
- [14] Su, L., Ellenbogen, K.A. and Huang, W. (2022) Left Bundle Branch Pacing: How I Do It? *Cardiac Electrophysiology Clinics*, **14**, 165-179. <https://doi.org/10.1016/j.ccep.2022.01.003>
- [15] Chen, X., Wu, S., Su, L., *et al.* (2019) The Characteristics of the Electrocardiogram and the Intracardiac Electrogram in Left Bundle Branch Pacing. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **30**, 1096-1101. <https://doi.org/10.1111/jce.13956>
- [16] Ponnusamy, S.S., Arora, V., Namboodiri, N., *et al.* (2020) Left Bundle Branch Pacing: A Comprehensive Review. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **31**, 2462-2473. <https://doi.org/10.1111/jce.14681>
- [17] Vijayaraman, P., Ponnusamy, S., Cano, Ó., *et al.* (2021) Left Bundle Branch Area Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy: Results from the International LBBAP Collaborative Study Group. *JACC: Clinical Electrophysiology*, **7**, 135-147. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2020.08.015>
- [18] Zhang, S., Zhou, X. and Gold, M.R. (2019) Left Bundle Branch Pacing: JACC Review Topic of the Week. *Journal of the American College of Cardiology*, **74**, 3039-3049. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.10.039>
- [19] Su, L., Xu, T., Cai, M., *et al.* (2020) Electrophysiological Characteristics and Clinical Values of Left Bundle Branch Current of Injury in Left Bundle Branch Pacing. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **31**, 834-842. <https://doi.org/10.1111/jce.14377>
- [20] Chen, K., Li, Y., Dai, Y., *et al.* (2019) Comparison of Electrocardiogram Characteristics and Pacing Parameters between Left Bundle Branch Pacing and Right Ventricular Pacing in Patients Receiving Pacemaker Therapy. *Europace*, **21**, 673-680. <https://doi.org/10.1093/europace/euy252>
- [21] Gao, Y., Li, M.M., Yu, H.B., *et al.* (2022) The Success Rate of His-Purkinje System Pacing in Patients with Various Sites of Atrioventricular Block. *Chinese Journal of Cardiovascular Diseases*, **50**, 543-548.
- [22] 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]. 中华心律失常学杂志, 2021, 25(1): 10-36.
- [23] 中国心衰中心工作报告(2021)——心力衰竭患者的诊疗现状[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2022, 30(5): 328-336.
- [24] 吴圣杰, 苏蓝, 项文豪, 等. 永久左束支起搏心脏再同步治疗在左束支阻滞患者远期疗效的初步研究[J]. 中华心律失常学杂志, 2019(5): 399-404.
- [25] Huang, W., Wu, S., Vijayaraman, P., *et al.* (2020) Cardiac Resynchronization Therapy in Patients with Nonischemic Cardiomyopathy Using Left Bundle Branch Pacing. *JACC: Clinical Electrophysiology*, **6**, 849-858. <https://doi.org/10.1093/europace/euy252>
- [26] Wu, S., Su, L., Vijayaraman, P., *et al.* (2021) Left Bundle Branch Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy: Nonrandomized On-Treatment Comparison with His Bundle Pacing and Biventricular Pacing. *Canadian Journal of Cardiology*, **37**, 319-328. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2020.04.037>
- [27] Wang, Y., Zhu, H., Hou, X., *et al.* (2022) Randomized Trial of Left Bundle Branch vs Biventricular Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy. *Journal of the American College of Cardiology*, **80**, 1205-1216. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.07.019>
- [28] 李孝勇, 俞杉, 安亚平, 等. 右心室起搏电极植于左束支区域的心脏再同步化联合房室结消融应用于心力衰竭合并心房颤动患者 1 例报告[J]. 中国实用内科杂志, 2020, 40(12): 1042-1045.
- [29] Vijayaraman, P. (2021) Left Bundle Branch Pacing Optimized Cardiac Resynchronization Therapy: A Novel Approach. *JACC: Clinical Electrophysiology*, **7**, 1076-1078. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2021.04.005>
- [30] Jastrzębski, M., Moskal, P., Huybrechts, W., *et al.* (2022) Left Bundle Branch-Optimized Cardiac Resynchronization

- Therapy (LOT-CRT): Results from an International LBBAP Collaborative Study Group. *Heart Rhythm*, **19**, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2021.07.057>
- [31] Merchant, F.M. and Mittal, S. (2020) Pacing Induced Cardiomyopathy. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **31**, 286-292. <https://doi.org/10.1111/jce.14277>
- [32] Osiecki, A., Kochman, W., Witte, K.K., *et al.* (2022) Cardiomyopathy Associated with Right Ventricular Apical Pacing-Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, **11**, Article No. 6889. <https://doi.org/10.3390/jcm11236889>
- [33] Wu, S., Su, L., Wang, S., *et al.* (2019) Peri-Left Bundle Branch Pacing in a Patient with Right Ventricular Pacing-Induced Cardiomyopathy and Atrioventricular Infra-Hisian Block. *Europace*, **21**, Article No. 1038. <https://doi.org/10.1093/europace/euz031>
- [34] Qian, Z., Wang, Y., Hou, X., *et al.* (2021) Efficacy of Upgrading to Left Bundle Branch Pacing in Patients with Heart Failure after Right Ventricular Pacing. *Pacing and Clinical Electrophysiology: PACE*, **44**, 472-480. <https://doi.org/10.1111/pace.14147>
- [35] Su, L., Cai, M., Wu, S., *et al.* (2020) Long-Term Performance and Risk Factors Analysis after Permanent His-Bundle Pacing and Atrioventricular Node Ablation in Patients with Atrial Fibrillation and Heart Failure. *Europace*, **22**, ii19-ii26. <https://doi.org/10.1093/europace/eaab306>
- [36] Huang, W., Su, L., Wu, S., *et al.* (2017) Benefits of Permanent His Bundle Pacing Combined with Atrioventricular Node Ablation in Atrial Fibrillation Patients with Heart Failure with both Preserved and Reduced Left Ventricular Ejection Fraction. *Journal of the American Heart Association*, **6**, e005309. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.005309>
- [37] Koniari, I., Gerakaris, A., Kounis, N., *et al.* (2023) Outcomes of Atrioventricular Node Ablation and Pacing in Patients with Heart Failure and Atrial Fibrillation: from Cardiac Resynchronization Therapy to His Bundle Pacing. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, **10**, Article No. 272. <https://doi.org/10.3390/jcdd10070272>
- [38] Wang, S., Wu, S., Xu, L., *et al.* (2019) Feasibility and Efficacy of His Bundle Pacing or Left Bundle Pacing Combined with Atrioventricular Node Ablation in Patients with Persistent Atrial Fibrillation and Implantable Cardioverter-Defibrillator Therapy. *Journal of the American Heart Association*, **8**, e014253. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.014253>
- [39] Siontis, G.C., Jüni, P., Pilgrim, T., *et al.* (2014) Predictors of Permanent Pacemaker Implantation in Patients with Severe Aortic Stenosis Undergoing TAVR: A Meta-Analysis. *Journal of the American College of Cardiology*, **64**, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.04.033>
- [40] Vijayaraman, P., Cano, Ó., Koruth, J.S., *et al.* (2020) His-Purkinje Conduction System Pacing Following Transcatheter Aortic Valve Replacement: Feasibility and Safety. *JACC: Clinical Electrophysiology*, **6**, 649-657. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2020.02.010>
- [41] 徐顺, 钱智勇, 薛思源, 等. 希氏-浦肯野系统起搏在置入人工心脏瓣膜患者中的应用[J]. 中华心律失常学杂志, 2021(5): 385-390.