

# 经导管主动脉瓣置换术后左束支传导阻滞的研究进展\*

杜招娜<sup>1</sup> 芦秀燕<sup>2</sup> 邵一兵<sup>2</sup> 夏伟<sup>2</sup>

**[摘要]** 左束支传导阻滞是经导管主动脉瓣置换术后最常见的传导障碍类型。术后新发持续性左束支传导阻滞可引起心室舒缩障碍,进展为高度房室传导阻滞时,常影响患者预后。永久起搏器植入术可作为经导管主动脉瓣置换术后新发持续性左束支传导阻滞的治疗方案,但其植入适应证尚需进一步临床论证。与左束支传导阻滞相关的传导系统起搏有望成为其主要治疗手段,但远期预后尚不明确。本文总结了经导管主动脉瓣置换术后左束支传导阻滞的相关因素、预后及治疗等方面的研究进展。

**[关键词]** 经导管主动脉瓣置换术;左束支传导阻滞;治疗;预后

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2024.01.002

**[中图分类号]** R541.7 **[文献标志码]** A

## Research progress of left bundle branch block associated with transcatheter aortic valve replacement

DU Zhaona<sup>1</sup> LU Xiuyan<sup>2</sup> SHAO Yibing<sup>2</sup> XIA Wei<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>School of Clinical Medicine, Weifang Medical College, Weifang, Shandong, 261053, China; <sup>2</sup>Qingdao Hospital of Rehabilitation University, Department of Cardiology, East Hospital of Qingdao Municipal Hospital)

Corresponding author: XIA Wei, E-mail: summer0419163@163.com

**Abstract** Left bundle branch block is the most common type of conduction disorder after transcatheter aortic valve replacement. Postoperative persistent left bundle branch block can cause ventricular systolic and diastolic dysfunction, which often affects the prognosis of patients when it progresses to high atrioventricular block. Permanent pacemaker implantation is often used as a new treatment for persistent left bundle branch block after transcatheter aortic valve replacement, but its indication needs further clinical demonstration. The pacing of the conduction system related to the left bundle branch block is the fundamental treatment, but the long-term prognosis is still unclear. This article summarized the research progress in the related factors, prognosis, and treatment of left bundle branch block after transcatheter aortic valve replacement.

**Key words** transcatheter aortic valve replacement; left bundle branch block; treatment; prognosis

经导管主动脉瓣置换术(TAVR)后的新发持续性左束支传导阻滞(NOP-LBBB)指术前未合并LBBB的患者在TAVR术后住院期间新发生的任何类型的LBBB,且在出院时持续存在,包括院内死亡LBBB未消退的患者<sup>[1]</sup>。其随着TAVR适应证扩展及手术量增加而越来越受到重视。TAVR相关的LBBB多见于具有器质性心脏病的患者,在40岁以上人群中的发病率约为3.6%,可导致左右心室机械不同步,引起卒中、心力衰竭(心衰)等

不良后果<sup>[2-5]</sup>。因此,对TAVR相关的NOP-LBBB,明确发病机制、识别危险因素、熟悉治疗手段有重要的意义。

### 1 TAVR相关LBBB的发生状况

TAVR相关新发LBBB的发病率报道不一,总体发生率为11%~65%,有相当比例的患者在术后持续存在<sup>[6]</sup>。Chamandi等<sup>[1]</sup>在对1 020例术前无LBBB或永久性起搏器植入的主动脉瓣狭窄患者植入自膨胀CoreValve瓣膜后发现,近33%的患者在TAVR术后即刻出现LBBB,其中15%的患者在出院时LBBB仍持续存在。此外,一项植入SAPIEN3瓣膜的研究中,14%的患者在TAVR期间新发LBBB,在随后30 d内,有7%的患者表现出

\*基金项目:青岛市医药卫生科研计划项目(No:2021-WJZD004)

<sup>1</sup>潍坊医学院临床医学院(山东潍坊,261053)

<sup>2</sup>康复大学青岛医院(青岛市市立医院东院区心内一科)

通信作者:夏伟,E-mail:summer0419163@163.com

持续性 LBBB<sup>[7]</sup>。

## 2 TAVR 相关 LBBB 的影响与预测因素

### 2.1 主动脉瓣与传导系统间的有效距离

主动脉瓣和心脏传导系统间的有效距离(纵向 CT 切片上窦管交界至肌间隔的距离和窦管交界至右冠状动脉最深点的距离之差)是 TAVR 术后 NOP-LBBB 发生的重要原因之一<sup>[8]</sup>。在瓣膜植入过程中,过近的距离可造成传导系统的机械性损伤及炎症反应,使其发生不同程度的水肿和缺血,而受损后的传导系统无法在数小时内恢复。研究表明,主动脉瓣和传导系统间的有效距离与 NOP-LBBB 有一定关联,NOP-LBBB 患者的有效距离明显小于非持续性 LBBB 患者[4.6(2.2,7.1) mm vs 8.0(5.8,10.2) mm,  $P < 0.05$ ]<sup>[9]</sup>。而且,在有效距离  $\leq 3$  mm 和  $> 10$  mm 的患者中,NOP-LBBB 的发生率分别  $\geq 50\%$  和  $< 10\%$ 。这表明,主动脉瓣和传导系统间的有效距离  $\leq 3$  mm 提示术后 NOP-LBBB 发生风险明显升高,可以此作为术后 NOP-LBBB 发展的预测因子。

### 2.2 瓣膜植入深度

假体瓣膜植入过深可增加 TAVR 术后新发 LBBB 的风险<sup>[7]</sup>。由于左束支走行邻近主动脉瓣瓣环(图 1),术中过深的瓣膜植入可能对其造成压迫<sup>[10]</sup>。先前研究指出,植入深度每增加 1 mm,可使术后新发 LBBB 发生风险增加  $15\% \sim 40\%$ <sup>[11]</sup>。Reiter 等<sup>[12]</sup>在 TAVR 期间的电生理检查中发现,植入深度  $> 6$  mm 的患者新发 LBBB 发生率高于  $\leq 6$  mm 的患者( $69.0\%$  vs  $45.9\%$ ,  $P = 0.033$ )。因此,在术中可将 6 mm 作为瓣膜植入深度的上限标准。此外,Keßler 等<sup>[13]</sup>指出,在左冠状动脉侧的更深瓣膜植入可导致更高的 NOP-LBBB 发生率[( $7.5 \pm 2.5$ ) mm vs ( $6.7 \pm 2.6$ ) mm,  $P < 0.001$ ]。

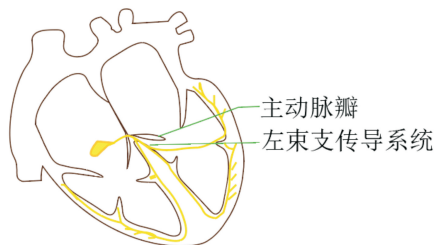


图 1 主动脉瓣和心脏传导系统的位置图

Figure 1 Aortic valve and cardiac conduction system

### 2.3 瓣膜类型

主动脉瓣瓣膜类型的多样性在一定程度上影响了 TAVR 后 LBBB 的发生率。第 1 代瓣膜中的新发 LBBB 发生率约  $25\%$ ,球囊扩张式瓣膜植入术中的 LBBB 发生风险常低于其他类型瓣膜<sup>[8]</sup>。

随访研究指出,机械膨胀式瓣膜可显著增加 NOP-LBBB 的发生率( $72.2\%$  vs  $27.8\%$ ,  $P < 0.001$ ),而球囊膨胀瓣膜的 NOP-LBBB 发生率相对较低( $35.2\%$  vs  $64.8\%$ ,  $P < 0.001$ )<sup>[13]</sup>。此外,Regueiro 等<sup>[14]</sup>研究表明,接受自膨胀瓣膜 CoreValve 患者的新发 LBBB 发生率高于接受球囊扩张式 Edwards SAPIEN 的患者[ $27\%$  ( $9\%$ ,  $65\%$ ) vs  $11\%$  ( $4\%$ ,  $18\%$ )]。这可能是因为自膨胀瓣膜的高瓣架增加了植入深度,产生的高径向支撑力对邻近传导系统产生持续压迫<sup>[3]</sup>。

### 2.4 主动脉瓣瓣叶类型

二叶式主动脉瓣狭窄患者 TAVR 术后 LBBB 的发生风险较高。Shiyovich 等<sup>[15]</sup>纳入 387 例二叶式主动脉瓣狭窄患者发现,该类患者 TAVR 术后 NOP-LBBB 的发生率显著高于三叶式主动脉瓣狭窄手术患者( $29.2\%$  vs  $16.9\%$ ,  $P = 0.02$ )。这可能与该类患者较短的主动脉膜部间隔长度有关。研究表明,二叶式主动脉瓣狭窄患者的主动脉膜间隔长度较三叶式主动脉瓣狭窄患者显著缩短[( $6.2 \pm 2.5$ ) mm vs ( $8.4 \pm 2.7$ ) mm,  $P < 0.001$ ]<sup>[16]</sup>。而且,与三叶式主动脉瓣相比,二叶式主动脉瓣狭窄中较短的膜间隔长度是术后 LBBB 发生的独立危险因素( $OR = 1.38$ ,  $95\% CI: 1.15 \sim 1.55$ ,  $P = 0.003$ )。此外,多变量分析显示,在二叶式主动脉瓣亚型中,SIEVERS 分型中的 1 型是 NOP-LBBB 的独立预测因子( $OR = 3.2$ ,  $95\% CI: 1.5 \sim 6.7$ ,  $P < 0.001$ )。

### 2.5 其他

TAVR 术中主动脉瓣环处的球囊扩张及瓣中瓣瓣膜植入过深等操作可能压迫其附近的左束支,造成暂时性或永久性 LBBB<sup>[3]</sup>。此外,主要心血管危险因素以及术中操作不当也可导致 LBBB<sup>[1]</sup>。年龄是全因死亡率的独立相关因素,女性患者中 TAVR 相关 LBBB 的发生率可能高于男性<sup>[17]</sup>。

## 3 TAVR 相关 LBBB 的预后

### 3.1 术后 NOP-LBBB 对心脏功能的影响

TAVR 术后并发的 NOP-LBBB 与患者心功能下降、左室射血分数(LVEF)降低、心肌病发生等不良预后相关<sup>[18]</sup>。术后 NOP-LBBB 可能导致不同步性左心室收缩功能损害,降低 LVEF,增加心衰发病率<sup>[12]</sup>。一项多中心研究发现,术后并发 NOP-LBBB 患者  $> 2$  年的 LVEF 随时间逐渐降低( $P < 0.01$ )<sup>[19]</sup>。这大多是由于传导阻滞使得心室不同步收缩,外周组织灌注不足,触发神经体液调节机制,加重了心肌细胞的负担。

### 3.2 术后 NOP-LBBB 对生存率的影响

TAVR 术后 NOP-LBBB 与患者生存率的关系仍有争议。Faroux 等<sup>[4]</sup>在 1 年的随访研究中发现,术后 NOP-LBBB 增加了  $32\%$  的全因死亡风险。

一项 meta 分析表示, LBBB 患者的全因死亡风险在 30 d ( $P < 0.001$ )、1 年 ( $P < 0.001$ ) 和 2 年 ( $P = 0.003$ ) 时均高于非 LBBB 组<sup>[20]</sup>。另一些研究中心并未发现术后 NOP-LBBB 组与非 LBBB 组患者全因死亡率之间的差异<sup>[21-22]</sup>。鉴于目前研究结果的多样性,仍需要更多的大样本研究进一步探索。

### 3.3 术后 NOP-LBBB 进展为房室传导阻滞

TAVR 术后的 NOP-LBBB 进展为高度房室传导阻滞 (AVB) 可导致晕厥、心衰及心源性猝死,严重影响患者预后,因此积极的预测至关重要<sup>[23-24]</sup>。研究指出, TAVR 术后 AVB (定义为 HV 间期  $> 55$  ms) 的发生率为 16.1%<sup>[25]</sup>。术后的 NOP-LBBB 可增加 AVB 的发生率<sup>[26]</sup>。此外, Auberson 等<sup>[27]</sup>发现, 窦性心律 (123 例) 患者的多变量分析中, 术前与术后发生 NOP-LBBB 患者的  $\Delta PR \geq 20$  ms 时, 其 HV 间期  $> 55$  ms ( $P = 0.002$ ), 可能作为进展为 AVB 的预测因子。

## 4 治疗

### 4.1 永久起搏器植入术

文献报道, 8%~25% 的 TAVR 术后患者需要植入永久性起搏器 (PPM)<sup>[28-29]</sup>。目前已有 TAVR 术后 NOP-LBBB、AVB 起搏器治疗的循证医学证据支持。

随访数据表明, TAVR 术后的 NOP-LBBB 可作为 PPM 植入的预测因素之一<sup>[30-31]</sup>。但对于术后 NOP-LBBB 的起搏时机仍存在争议。Mirolo 等<sup>[32]</sup>认为, 对 NOP-LBBB 伴 PR 间期延长 ( $> 200$  ms) 或 HV 间期延长 ( $> 70$  ms) 的患者可考虑 PPM 植入术。新近指南提出, TAVR 术后的 NOP-LBBB 患者, 当 QRS  $> 150$  ms 或 PR  $> 240$  ms, 且术后  $> 48$  h 无进一步延长时, 可考虑给予 7~30 d 的动态心电图监测, 当 HV  $\geq 70$  ms 时, 可考虑 PPM 植入<sup>[23]</sup>。

此外, 新发 LBBB 进展为高度 AVB 是 PPM 植入的主要指征<sup>[33]</sup>。一项对 TAVR 术后 LBBB 的研究中, 11.6% 的患者发展为高度 AVB<sup>[7]</sup>。另一项对 TAVR 术后患者的随访中, 16.7% 的 NOP-LBBB 患者因其恶性演变植入了 PPM<sup>[34]</sup>。因此, 对于 TAVR 术后新发 LBBB 及有异常传导进展的患者, 应给予及时的长程动态心电图监测或行电生理检查<sup>[33]</sup>。通常考虑对 TAVR 后持续 24~48 h 或  $> 48$  h 出现的 AVB 行 PPM 植入, 术后完全持续性或高度 AVB 是 PPM 植入的最佳适应证<sup>[23]</sup>。

### 4.2 左束支区域起搏

左束支区域起搏 (LBBaP) 指将起搏导线植入左侧传导系统, 起搏夺获左束支区域<sup>[35]</sup>。LBBaP 通过直接激发左束支来校正 LBBB, 维持左心室电机械同步性, 使心脏再同步化, 克服了希氏束起搏中将导线放置在束支阻滞位点近端, 通过夺获阻滞位点周边组织下传冲动的局限性, 可作为 TAVR

术后 NOP-LBBB 患者的潜在治疗方案<sup>[36-38]</sup>。

LBBaP 被证实可以有效地治疗 LBBB 合并心衰, 缩短 QRS 间期和提高 LVEF<sup>[39]</sup>。Liu 等<sup>[40]</sup>随访了 27 例接受 LBBaP 的 NOP-LBBB 伴心衰患者, 3~6 个月后, LBBP 的 QRS 间期较植入时显著缩小 [ $(177.1 \pm 16.7)$  ms vs  $(113.0 \pm 18.4)$  ms,  $P < 0.001$ ], LVEF 明显改善 [ $(29.9 \pm 4.8)\%$  vs  $(47.1 \pm 8.3)\%$ ,  $P < 0.001$ ]。新近一项荟萃分析显示, LBBaP 起搏与 QRS 持续时间缩短、LVEF 改善显著相关, 且 LBBaP 的起搏阈值显著低于希氏束起搏<sup>[41]</sup>。

鉴于 LBBaP 的高成功率、高安全性、起搏阈值低及电学参数优化等优势, 其在 TAVR 相关 NOP-LBBB 方面的应用逐渐受到广泛关注<sup>[42]</sup>。Guo 等<sup>[43]</sup>研究了 4 例 TAVR 患者的 LBBaP, 起搏成功率为 80%, 在  $(16.1 \pm 10.8)$  个月的随访期间起搏阈值低而稳定。另一项针对 TAVR 后新发 NOP-LBBB 并尝试 LBBaP 患者的  $(18.6 \pm 6.7)$  个月的随访中, 患者 QRS 持续时间显著降低 ( $P < 0.001$ ), QRS  $\geq 48$  ms 的患者 LVEF 显著改善。该研究表明, LBBaP 在 TAVR 术后的长期随访期间是可行的, 成功率高, 并发症发生率低<sup>[44]</sup>。

由于 HV 间期作为 PPM 适应证分界点的多种不确定性, LBBaP 可能是 TAVR 后 LBBB 患者的一个有力的选择, 以降低起搏诱导的潜在心肌病风险。但目前 LBBaP 治疗 TAVR 术后 NOP-LBBB 的研究较为局限, 仅为单中心、小样本的临床研究。未来可能需要更大规模的随访研究来评估 LBBaP 在该患者队列中的作用。

### 4.3 其他

心脏再同步化治疗 (CRT) 已被证实可用于治疗 LBBB 伴 LVEF 降低的患者, 但对 TAVR 术后 NOP-LBBB 患者近中期预后的临床研究有限<sup>[45]</sup>。ESC 指南指出, 对于窦性心律患者, 当其 QRS  $\geq 130$  ms 且合并 LBBB 时应考虑 CRT<sup>[46]</sup>。随访研究也显示, CRT 可降低 LBBB 合并心衰患者的中期全因死亡率<sup>[47]</sup>。因此, 对于 TAVR 术后 NOP-LBBB 患者, 心脏再同步化治疗可能作为降低 NOP-LBBB 合并心衰患者心室不同步率、心衰住院率及全因死亡率的一种积极的治疗手段<sup>[48]</sup>。

## 5 总结与展望

NOP-LBBB 是 TAVR 术后不可忽视的并发症, 其远期预后欠佳。因此, 对有 TAVR 相关 LBBB 风险的患者进行准确的评估及有效的应对显得尤为重要。传统的 PPM 植入对术后 NOP-LBBB 患者的救治起到了一定的积极的作用。LBBaP 定位准确与易实现、起搏效益高, 可能是 TAVR 后 NOP-LBBB 患者有效的潜在治疗措施<sup>[42]</sup>。期待未来探索出 TAVR 术后 NOP-LBBB

的 PPM 最佳植入适应证及传导系统起搏在 TAVR 中的应用指南,降低 TAVR 并发 NOP-LBBB 的患者的不良预后。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] Chamandi C, Barbanti M, Munoz-Garcia A, et al. Long-Term Outcomes in Patients With New-Onset Persistent Left Bundle Branch Block Following TAVR[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(12): 1175-1184.
- [2] 张文杰,孟哲,李黎,等.经导管主动脉瓣置入术后新发左束支传导阻滞危险因素分析及对左心室功能的影响[J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(6): 495-500.
- [3] Sammour Y, Krishnaswamy A, Kumar A, et al. Incidence, Predictors, and Implications of Permanent Pacemaker Requirement After Transcatheter Aortic Valve Replacement [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2021, 14(2): 115-134.
- [4] Faroux L, Chen S, Muntané-Carol G, et al. Clinical impact of conduction disturbances in transcatheter aortic valve replacement recipients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(29): 2771-2781.
- [5] 周达新,潘文志,吴永健,等.经导管主动脉瓣置换术中国专家共识(2020 更新版)[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2020, 28(6): 301-309.
- [6] Nazif TM, Williams MR, Hahn RT, et al. Clinical implications of new-onset left bundle branch block after transcatheter aortic valve replacement: analysis of the PARTNER experience [J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(24): 1599-1607.
- [7] Isogai T, Dykun I, Agrawal A, et al. Early Resolution of New-Onset Left Bundle Branch Block After Transcatheter Aortic Valve Implantation With the SAPIEN 3 Valve[J]. *Am J Cardiol*, 2022, 168: 117-127.
- [8] Auffret V, Puri R, Urena M, et al. Conduction Disturbances After Transcatheter Aortic Valve Replacement: Current Status and Future Perspectives[J]. *Circulation*, 2017, 136(11): 1049-1069.
- [9] Poels TT, Stassen R, Kats S, et al. Effective Distance between Aortic Valve and Conduction System Is an Independent Predictor of Persistent Left Bundle Branch Block during Transcatheter Aortic Valve Implantation[J]. *Medicina(Kaunas)*, 2021, 57(5): 476.
- [10] Syed FF, Hai JJ, Lachman N, et al. The infrahisian conduction system and endocavitary cardiac structures: relevance for the invasive electrophysiologist [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2014, 39(1): 45-56.
- [11] Aktug Ö, Dohmen G, Brehmer K, et al. Incidence and predictors of left bundle branch block after transcatheter aortic valve implantation[J]. *Int J Cardiol*, 2012, 160(1): 26-30.
- [12] Reiter C, Lambert T, Kellermair J, et al. Intraprocedural dynamics of cardiac conduction during transcatheter aortic valve implantation: Assessment by simultaneous electrophysiological testing [J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(3): 419-425.
- [13] Keßler M, Gonska B, Seeger J, et al. Long-term clinical outcome of persistent left bundle branch block after transfemoral aortic valve implantation[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2019, 93(3): 538-544.
- [14] Regueiro A, Abdul-Jawad Altisent O, Del Trigo M, et al. Impact of New-Onset Left Bundle Branch Block and Periprocedural Permanent Pacemaker Implantation on Clinical Outcomes in Patients Undergoing Transcatheter Aortic Valve Replacement: A Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2016, 9(5): e003635.
- [15] Shiyovich A, Kornowski R, Plakht Y, et al. Increased Rate of New-onset Left Bundle Branch Block in Patients With Bicuspid Aortic Stenosis Undergoing Transcatheter Aortic Valve Implantation(From a National Registry) [J]. *Am J Cardiol*, 2021, 156: 101-107.
- [16] Hamdan A, Nassar M, Schwammenthal E, et al. Short membranous septum length in bicuspid aortic valve stenosis increases the risk of conduction disturbances [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2021, 15(4): 339-347.
- [17] Singh A, Musa TA, Treibel TA, et al. Sex differences in left ventricular remodelling, myocardial fibrosis and mortality after aortic valve replacement [J]. *Heart*, 2019, 105(23): 1818-1824.
- [18] Ponnusamy SS, Vijayaraman P. Left Bundle Branch Block-Induced Cardiomyopathy: Insights From Left Bundle Branch Pacing[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2021, 7(9): 1155-1165.
- [19] Chamandi C, Barbanti M, Munoz-Garcia A, et al. Long-Term Outcomes in Patients With New-Onset Persistent Left Bundle Branch Block Following TAVR[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(12): 1175-1184.
- [20] Wang J, Liu S, Han X, et al. Prognostic Outcome of New-Onset Left Bundle Branch Block After Transcatheter Aortic Valve Replacement in Patients With Aortic Stenosis: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 842929.
- [21] Akdemir B, Roukoz H. A single-centre cohort and short-term follow-up of patients who developed persistent new onset left bundle branch block after transcatheter aortic valve replacement [J]. *Acta Cardiol*, 2020, 75(4): 360-365.
- [22] Schlömicher M, Useini D, Haldenwang PL, et al. Outcomes in Patients with Left Bundle Branch Block after Rapid Deployment Aortic Valve Replacement [J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 71(7): 528-534.
- [23] Glikson M, Nielsen JC, Kronborg MB, et al. 2021 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchroni-

- zation therapy[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(35): 3427-3520.
- [24] Viskin D, Halkin A, Sherez J, et al. Heart Failure Due to High-Degree Atrioventricular Block: How Frequent Is It and What Is the Cause? [J]. *Can J Cardiol*, 2021, 37(10): 1562-1568.
- [25] El-Sabawi B, Welle GA, Cha YM, et al. Temporal Incidence and Predictors of High-Grade Atrioventricular Block After Transcatheter Aortic Valve Replacement [J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(10): e020033.
- [26] Urena M, Mok M, Serra V, et al. Predictive factors and long-term clinical consequences of persistent left bundle branch block following transcatheter aortic valve implantation with a balloon-expandable valve [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(18): 1743-1752.
- [27] Auberson C, Badertscher P, Madaffari A, et al. Non-invasive predictors for infranodal conduction delay in patients with left bundle branch block after TAVR [J]. *Clin Res Cardiol*, 2021, 110(12): 1967-1976.
- [28] Jørgensen TH, Thyregod H, Ihlemann N, et al. Eight-year outcomes for patients with aortic valve stenosis at low surgical risk randomized to transcatheter vs. surgical aortic valve replacement [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(30): 2912-2919.
- [29] Moat NE, Ludman P, de Belder MA, et al. Long-term outcomes after transcatheter aortic valve implantation in high-risk patients with severe aortic stenosis; the U. K. TAVI (United Kingdom Transcatheter Aortic Valve Implantation) Registry [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 58(20): 2130-2138.
- [30] Khan MZ, Gupta A, Franklin S, et al. Predictors of Early and Late Atrioventricular Block Requiring Permanent Pacemaker Implantation After Transcatheter Aortic Valve Replacement: A Single-Center Experience [J]. *Cardiovasc Revasc Med*, 2022, 42: 67-71.
- [31] Elchinova E, Nozica N, Bartkowiak J, et al. Permanent pacemaker implantation late after transcatheter aortic valve implantation [J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(12): 2033-2039.
- [32] Mirolo A, Viart G, Durand E, et al. Pacemaker memory in post-TAVI patients; Who should benefit from permanent pacemaker implantation? [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2018, 41(9): 1178-1184.
- [33] 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.
- [34] Poels TT, Engels EB, Kats S, et al. Occurrence and Persistency of Conduction Disturbances during Transcatheter Aortic Valve Implantation [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2021, 57(7): 695.
- [35] 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.
- [36] Zhang S, Zhou X, Gold M R. Left Bundle Branch Pacing: JACC Review Topic of the Week [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(24): 3039-3049.
- [37] 马博斐, 谢瑞芹. 希氏束及其束支起搏治疗进展 [J]. *中华心律失常学杂志*, 2019, 23(2): 115-119.
- [38] 严霜霜, 熊峰, 张丽娟, 等. 二维斑点追踪技术评价左束支区域起搏早期右心室收缩功能及同步性 [J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(7): 561-565.
- [39] Hua J, Chen Y, Yu J, et al. Long-term outcomes of left bundle branch area pacing versus biventricular pacing in patients with heart failure and complete left bundle branch block [J]. *Heart Vessels*, 2022, 37(7): 1162-1174.
- [40] Liu W, Hu C, Wang Y, et al. Mechanical Synchrony and Myocardial Work in Heart Failure Patients With Left Bundle Branch Area Pacing and Comparison With Biventricular Pacing [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 727611.
- [41] Zhang J, Li F, Zhang ZY, et al. Conduction system pacing is superior to biventricular pacing in patients with heart failure: Insights from the pooled clinical studies [J]. *Front Physiol*, 2023, 14: 1125340.
- [42] Gui Y, Ye L, Wu L, et al. Clinical Outcomes Associated With His-Purkinje System Pacing vs. Biventricular Pacing, in Cardiac Resynchronization Therapy: A Meta-Analysis [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 707148.
- [43] Guo J, Li L, Xiao G, et al. Feasibility and stability of left bundle branch pacing in patients after prosthetic valve implantation [J]. *Clin Cardiol*, 2020, 43(10): 1110-1118.
- [44] 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.
- [45] Fan L, Choy JS, Raissi F, et al. Optimization of cardiac resynchronization therapy based on a cardiac electro-mechanics-perfusion computational model [J]. *Comput Biol Med*, 2022, 141: 105050.
- [46] McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(36): 3599-3726.
- [47] Jastrzebski M, Baranchuk A, Fijorek K, et al. Cardiac resynchronization therapy-induced acute shortening of QRS duration predicts long-term mortality only in patients with left bundle branch block [J]. *Europace*, 2019, 21(2): 281-289.
- [48] Zhang S, Shan Q. Discussion of LBBP synchronization effects in HF patients with LBBB and comparison with BiV-CRT [J]. *Heart Fail Rev*, 2022, 27(6): 2181-2186.