

## 希氏束起搏在心力衰竭患者中的临床应用进展

陈益帆<sup>1</sup> 周秀娟<sup>1,2</sup>

(1. 南京医科大学研究生院, 江苏 南京 210029; 2. 南京医科大学第一附属医院心内科, 江苏 南京 210029)

**【摘要】** 传统的右室起搏并非理想的起搏位点, 可引起心脏收缩不同步, 导致起搏介导的心肌病, 增加心力衰竭住院率。希氏束起搏是生理性起搏方式, 在维持心脏电及机械同步性方面具有优势。对于心房颤动合并心力衰竭、起搏介导心肌病及需再同步化治疗的患者, 希氏束起搏可维持并改善心功能。目前希氏束起搏在心力衰竭患者中的应用逐渐增多, 现综述该领域的进展。

**【关键词】** 希氏束起搏; 生理性起搏; 心力衰竭; 心脏再同步化治疗

**【DOI】** 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2021.01.016

## Clinical Application of His Bundle Pacing in Patients with Heart Failure

CHEN Yifan<sup>1</sup>, ZHOU Xiujuan<sup>1,2</sup>

(1. *Nanjing Medical University Graduate School, Nanjing 210029, Jiangsu, China*; 2. *Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital with Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu, China*)

**【Abstract】** Conventional right ventricular pacing has been considered not an ideal pacing site, which may cause ventricular systolic dyssynchrony, lead to pacing-induced cardiomyopathy, and increase hospitalization rate for heart failure. His bundle pacing (HBP), a physiological form of pacing, has advantage in preserving electrical and mechanical synchronization. In atrial fibrillation patients with heart failure, pacing-induced cardiomyopathy and requiring cardiac resynchronization therapy, HBP can maintain and improve cardiac function. At present, the application of HBP in patients with heart failure is increasing gradually. This paper reviews the progress in this field.

**【Key words】** His bundle pacing; Physiological pacing; Heart failure; Cardiac resynchronization therapy

对于不伴有心力衰竭(心衰)的房室传导阻滞患者, 既往认为传统的右室起搏(right ventricular pacing, RVP)是成熟和有效的治疗措施。但 RVP 可引起心室电激动和机械的失同步, 在心室起搏依赖或起搏比例>40%的患者中, RVP 可能导致心衰、心室扩大和死亡率增加, 称为起搏介导的心肌病(pacing-induced cardiomyopathy, PICM)<sup>[1]</sup>。而具有心室起搏指征、QRS 波群不宽的心衰患者, 传统的 RVP 则可能加重心衰。另一方面, 心衰伴 QRS 波群增宽的患者, 多个临床研究证实双心室起搏(biventricular pacing, BVP)治疗可逆转心室重塑, 改善临床预后<sup>[2]</sup>。作为目前最生理性的起搏方式, 希氏束起搏(His bundle pacing, HBP)可实现类似于正常希浦系统激动的传导顺序, 甚至可纠正病变于希氏束的束支传导阻滞, 最大程度地保证或恢复电及机械同步性, 在心衰患者中的应用逐渐增多, 现综述该领域的进展。

### 1 HBP 可维持心脏电及机械同步性, 改善血流动力学状态

传统的 RVP 或患者自身存在的左束支传导阻滞(left bundle-branch block, LBBB), 是引起左室电与机械失同步的常见原因, 参与了心衰的发生和发展。Arnold 等<sup>[3]</sup>通过无创心电成像技术显示, HBP 较 BVP 的左室激动时间更短, 左室不同步指数更小, 表明在改善心脏电同步性方面更优。此外, HBP 在维持心脏机械同步性及改善血流动力学参数方面较 RVP 与 BVP 更有优势。Zanon 等<sup>[4]</sup>通过核素心肌显像显示, HBP 在静息状态下维持心肌血流的生理性灌注方面优于右室心尖部起搏, 并能减少二尖瓣反流和左室非同步化运动。Pastore 等<sup>[5]</sup>则通过组织多普勒成像技术发现, HBP 可显著改善左房的功能, 如排空指数和左房相位容积等。Arnold 等<sup>[3]</sup>报道的急性期自身对照研究显示, HBP 相较于 BVP 能获得更佳的血流动力学效应。Zhang 等<sup>[6]</sup>利用静息心肌核素成像的相位分析技术评

价左室机械同步性,结果显示选择性或非选择性 HBP 均可维持正常的左室机械同步性。王焱等<sup>[7]</sup>利用实时三维超声技术也得到相似结果。

## 2 HBP 在心衰患者中的应用

### 2.1 HBP 应用于心房颤动合并心衰的患者

HBP 最早的临床应用是需房室结 (atrioventricular node, AVN) 消融的心房颤动 (房颤) 伴心衰患者,以代替传统的 RVP。Deshmukh 等<sup>[8]</sup>纳入 18 例慢性房颤合并心衰 [左室射血分数 (LVEF) <40%] 的患者行 HBP, 并对其中 10 例心室率控制不佳的患者行 AVN 消融, 术后患者临床症状改善伴 LVEF 升高,但受限于当时植入工具和植入技术,成功率较低 (66%)。Occhetta 等<sup>[9]</sup>将 16 例慢性房颤并行 AVN 消融的患者随机分入 HBP 组与 RVP 组,6 个月后交换起搏模式,HBP 组 NYHA 心功能分级、生活质量评分、6 分钟步行试验距离及二尖瓣、三尖瓣反流程度均较术前改善。黄伟剑等<sup>[10]</sup>于 2017 年报道在 52 例有症状性房颤合并心衰的患者中行 AVN 消融联合 HBP,成功植入 42 例 (成功率 81%),平均随访 20 个月,患者左室舒张末径下降,LVEF 改善,NYHA 心功能分级改善和脑钠肽水平下降,且 HBP 阈值保持稳定。Vijayaraman 等<sup>[11]</sup>的研究也报道了一致的结果。近期,吴圣杰等报道的单中心经验中,将 86 例房颤合并心衰并有植入型心律转复除颤器 (implantable cardioverter defibrillator, ICD) 植入指征且不适合行射频导管消融的患者分为希浦系统起搏治疗组 (HBP 44 例,左束支区域起搏 8 例)、AVN 消融组以及单纯 ICD 植入联合药物治疗组,平均随访 30.5 个月,希浦系统起搏治疗组临床症状及左室功能改善,并且无 ICD 不恰当放电事件发生,而 ICD 植入联合药物治疗组共计发生 11 次不恰当放电事件 (其中 10 次由快心室率房颤引起,1 次由 ICD 电极异常感知引起)<sup>[12]</sup>。

### 2.2 HBP 应用于治疗或预防 PICM

目前 PICM 的主要治疗方案升级为 BVP,HBP 作为另一种再同步化治疗策略提供了新的选择<sup>[13]</sup>。国内 Shan 等<sup>[14]</sup>报道的单中心小样本研究初步证实 HBP 应用于 PICM 患者装置升级的可行性。Vijayaraman 等<sup>[15]</sup>报道的一项多中心、回顾性和观察性研究中,纳入 60 例 PICM 患者 (平均右室起搏时间 78.8 个月) 行 HBP 治疗,成功率 95% (57 例)。术后 52 例患者 LVEF 改善  $\geq 5\%$ ,左室收缩末容积和左室舒张末容积也显著改善,显示 HBP 可逆转长期 RVP 所引起的左室重塑,改善心功能。

Kronborg 等<sup>[16]</sup>的一项随机、双盲和交叉对照研究中,对 38 例窄 QRS 波群和高度房室传导阻滞患者行

HBP 或右室间隔部起搏,随访 12 个月后,HBP 组 LVEF 显著高于右室间隔部起搏组 ( $55\% \pm 10\%$  vs  $50\% \pm 11\%$ ,  $P=0.005$ ),提示 HBP 可能预防 PICM 的发生。

### 2.3 HBP 应用于伴有长 PR 间期而 QRS 波群正常的心衰患者

MADIT-CRT 研究<sup>[17]</sup>显示,PR 间期显著延长的患者 ( $>230$  ms) 较 PR 间期正常者死亡或心衰风险显著增加。机制可能是房室间失同步加重心功能损害,对于伴长 PR 间期而 QRS 波群正常的心衰患者,HBP 可能成为有效的治疗策略。Sohaib 等<sup>[18]</sup>对 16 例伴 PR 间期延长的心衰患者行 HBP 治疗前后的有创血压监测显示,起搏时收缩压平均增加 4.1 mm Hg (1 mm Hg = 0.133 3 kPa),显示 HBP 可改善此类患者的急性期血流动力学效应。正在进行的 HOPE-HF 试验<sup>[19]</sup> (NCT02671903) 是一项多中心、随机、双盲、交叉研究,拟纳入 160 例 PR 间期延长 ( $\geq 200$  ms)、心功能不全 (射血分数  $\leq 40\%$ )、QRS 波群  $\leq 140$  ms 或右束支传导阻滞 (right bundle-branch block, RBBB) 的患者,主要结局指标为 HBP 治疗 6 个月和 12 个月后患者活动耐量变化,旨在评价 HBP 在此类患者中的疗效。

### 2.4 HBP 在再同步化治疗中的应用

合并 LBBB 或 QRS 波群宽度  $\geq 150$  ms 的心衰患者中,通过 BVP 实现心脏再同步化是成熟和有效的治疗方式,但仍有约 30% 的患者无反应。此外,BVP 虽然部分纠正了失同步,但仍和心脏正常生理性的电激动顺序有较大的差异,且部分患者出现左室电极植入失败、高阈值和膈神经刺激等问题。而 HBP 可纠正大多数的 LBBB,最大程度地实现心室电激动和机械同步,是一种更具有发展前景的心脏再同步化治疗 (cardiac resynchronization therapy, CRT) 策略。

#### 2.4.1 HBP 作为 BVP 的补救治疗

2005 年,Moriña-Vázquez 等<sup>[20]</sup>首次报道 1 例心衰合并 LBBB 的患者,因左室电极植入失败而行 HBP。2013 年 Barba-Pichardo 等<sup>[21]</sup>报道 9 例左室电极植入失败的患者行 HBP,平均随访 31.33 个月,NYHA 心功能分级由 III 级提高到 II 级。Sharma 等<sup>[22]</sup>回顾性观察了多中心具有 CRT 适应证患者中行补救性 HBP (左室电极植入失败或 BVP 无应答) 或直接 HBP 的临床效果,植入成功率为 90%,平均随访 14 个月,QRS 波群明显变窄,LVEF 和 NYHA 心功能分级均显著改善,且电极相关并发症较低。目前在 BVP 无应答患者中应用 HBP 的临床证据较少,多限于小样本研究中的亚组分析,有待进一步多中心和大规模临床研究。

#### 2.4.2 HBP 直接应用于 CRT 适应证的患者

黄伟剑等<sup>[23]</sup>报道 74 例合并 LBBB 的心衰患者,

72 例(97.3%)的 LBBB 可被 HBP 纠正,其中 16 例(10 例纠正起搏阈值过高,6 例电极固定失败)转而行 BVP,最终成功率为 75.7%。急性期平均纠正阈值为  $(2.13 \pm 1.19) V/0.5 ms$ ,随访 3 年保持稳定,NYHA 心功能分级、LVEF 和左室舒张末期容积均显著改善。Ajjola 等<sup>[24]</sup>对符合 CRT 指征的患者行 HBP,16 例(76.2%)成功植入,随访 12 个月,11 例患者 NYHA 心功能分级和 LVEF 显著改善。于海波等<sup>[25]</sup>报道了将 HBP 作为首选治疗方法在希浦系统病变的心衰患者中临床应用的可行性及短期效果,得到一致的结果,术后 1 个月 LVEF 较基线显著提高。

Lustgarten 等<sup>[26]</sup>报道了一项多中心、前瞻性、随机、单盲、交叉、对照研究,通过使用 Y 型适配器连接希氏束电极与左室电极,对 29 例具有 CRT 指征患者(LBBB 28 例,RBBB 1 例)同时行 HBP 和 BVP,术后随机分入 HBP 组和 BVP 组,6 个月后交换起搏模式,结果显示 HBP 和传统 BVP 治疗均可改善生活质量和 LVEF。

HIS-SYNC 研究<sup>[27]</sup>是一项前瞻性、多中心、单盲、随机对照研究,共入组 41 例符合 CRT 适应证患者(1 例退出),随机分配入 HBP 组 21 例,BVP 组 19 例。最终 16 例患者接受 HBP 治疗,24 例患者接受 BVP 治疗,HBP 组的交叉率为 48%,BVP 组的交叉率为 26%。随访 6 个月,按照意向性治疗分析显示,HBP 组的 QRS 波群时限较 BVP 组显著缩短,两组患者在 LVEF 和超声反应率(术后 6 个月 LVEF 改善 $>5\%$ )方面均有改善,终点事件(因心血管疾病住院与死亡)发生率均较低,差异无统计学意义。根据实际治疗方案<sup>[28]</sup>进行分析显示,HBP 组患者 QRS 波群宽度变窄更明显 $[(125 \pm 22) ms vs (164 \pm 25) ms, P<0.001]$ ,超声心动图参数方面,HBP 组 LVEF 改善中位数优于 BVP 组,但差异无统计学意义 $(+7.2\% vs +5.9\%, P=0.17)$ 。HIS-SYNC 研究初步证实了 HBP 在 CRT 中的临床应用价值,但两组之间结果无统计学意义,可能与样本量较小且组间交叉率较高有关,目前并无足够临床证据支持 HBP 可取代 BVP 治疗,有待更大规模临床研究的开展。

#### 2.4.3 HBP 联合左室起搏

在晚期心肌病患者中,LBBB 和心室内传导延迟可能并存。Upadhyay 等<sup>[29]</sup>报道,64%的 LBBB 的阻滞位点位于希氏束内或近端左束支,有 54%的患者 LBBB 能被 HBP 完全纠正。此时 HBP 联合左室起搏(His-optimized cardiac resynchronization therapy, HOT-CRT)通过右束支激动右室并在恰当时间融合左室起搏,从而达到心室间同步以及优化左室内同步。Padeletti 等<sup>[30]</sup>研究显示,HOT-CRT 起搏方式在每搏输出量和左室每搏做功方面均有改善。Vijayaraman

等<sup>[31]</sup>首先报道了 HOT-CRT 的临床应用,共纳入 27 例符合 CRT 适应证、HBP 纠正束支传导阻滞失败或对 CRT 无反应的患者(其中 LBBB 患者 22 例,室内传导阻滞患者 5 例),成功植入 25 例,术后 QRS 波群宽度从 $(183 \pm 27) ms$ 降至 $(120 \pm 16) ms$ 。平均随访 14 个月,希氏束及左室的夺获阈值保持稳定,LVEF 由术前的 $24\% \pm 7\%$ 提高到 $38\% \pm 10\%$  ( $P<0.0001$ ),超反应率为 92% (LVEF 改善 $\geq 20\%$ 或 LVEF $>50\%$ ),84% 患者 NYHA 心功能分级改善,并减少了利尿剂的剂量。该小样本观察性研究初步显示了 HOT-CRT 的可行性与有效性,是一种优化的 CRT 新方法。

#### 2.4.4 HBP 应用于心衰合并 RBBB 患者

BVP 对心衰合并 RBBB 的患者效果差<sup>[32]</sup>。Sharma 等<sup>[33]</sup>对 39 例合并 RBBB 的心衰患者成功植入 HBP,成功率为 95%,其中 29 例(78%)成功纠正 RBBB,8 例患者通过 HBP 联合 RVP 缩短了 QRS 波群时限。随访显示希氏束夺获阈值与 RBBB 纠正阈值保持稳定,QRS 波群时限较基线显著缩短,临床症状和 LVEF 显著改善。HBP 应用于心衰合并 RBBB 患者的报道较少,确切的临床意义还须进一步研究证实。

### 3 HBP 的局限性及展望

植入工具与技术的进步大大提升了 HBP 的成功率与安全性,中期随访结果也证实其参数的稳定性,但 HBP 的推广应用仍有一定的局限性<sup>[34-35]</sup>:(1)希氏束的解剖特点决定了电极植入过程中易受瓣膜活动及腱索的干扰,操作难度较大,学习曲线较长,对术者要求较高。(2)植入时阈值较传统起搏位点高,并且存在远期阈值升高的可能;HBP 感知偏低,易出现心房交叉感知。(3)对需再同步化治疗的患者,HBP 通常需更高的输出能量纠正束支传导阻滞,可能降低了起搏器的使用年限。(4)合并非特异性室内传导阻滞、左室瘢痕负荷重及束支远端病变的患者,可能对 HBP 反应不佳,探索希氏束远端起搏和左束支区域起搏可能是有益的补充。

总之,HBP 是最符合生理性的起搏方式,可最大限度地保持心脏正常的电及机械同步性。2018 年 ACC/AHA/HRS 将 HBP 纳入指南<sup>[36]</sup>,对于 LVEF 为 36%~50% 和预计起搏比例 $>40\%$  的房室传导阻滞患者,HBP 是合理的(IIa)。现有的研究已初步证实,HBP 在起搏介导心肌病、心衰合并房颤或伴有长 PR 间期以及具有 CRT 指征的患者治疗中的应用价值,长期的有效性及安全性有待大规模的随机对照试验进一步验证。

#### 参考文献

- [1] Merchant FM, Mittal S. Pacing induced cardiomyopathy [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2020, 31(1):286-292.
- [2] Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis

- and treatment of acute and chronic heart failure; the task force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC [J]. *Eur Heart J*, 2016, 37(27): 2129-2200.
- [3] Arnold AD, Shun-Shin MJ, Keene D, et al. His resynchronization versus biventricular pacing in patients with heart failure and left bundle branch block [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(24): 3112-3122.
- [4] Zanon F, Bacchega E, Rampin L, et al. Direct His bundle pacing preserves coronary perfusion compared with right ventricular apical pacing: a prospective, cross-over mid-term study [J]. *Europace*, 2008, 10(5): 580-587.
- [5] Pastore G, Aggio S, Baracca E, et al. Hisian area and right ventricular apical pacing differently affect left atrial function: an intra-patients evaluation [J]. *Europace*, 2014, 16(7): 1033-1039.
- [6] Zhang J, Guo J, Hou X, et al. Comparison of the effects of selective and non-selective His bundle pacing on cardiac electrical and mechanical synchrony [J]. *Europace*, 2018, 20(6): 1010-1017.
- [7] 王垚, 钱智勇, 张金龙, 等. 希氏束起搏对心脏机械同步性的影响 [J]. *中华心律失常学杂志*, 2018, 22(2): 117-122.
- [8] Deshmukh P, Casavant DA, Romanyshyn M, et al. Permanent, direct His-bundle pacing: a novel approach to cardiac pacing in patients with normal His-Purkinje activation [J]. *Circulation*, 2000, 101(8): 869-877.
- [9] Occhetta E, Bortnik M, Magnani A, et al. Prevention of ventricular desynchronization by permanent para-Hisian pacing after atrioventricular node ablation in chronic atrial fibrillation: a crossover, blinded, randomized study versus apical right ventricular pacing [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 47(10): 1938-1945.
- [10] Huang W, Su L, Wu S, et al. 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 [J]. *J Am Heart Assoc*, 2017, 6(4): e005309.
- [11] Vijayaraman P, Subzposh FA, Naperkowski A. Atrioventricular node ablation and His bundle pacing [J]. *Europace*, 2017, 19(suppl\_4): iv10-iv16.
- [12] Wang S, Wu S, Xu L, et al. 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 [J]. *J Am Heart Assoc*, 2019, 8(24): e014253.
- [13] Merchant F, Mittal S. Pacing-induced cardiomyopathy [J]. *Card Electrophysiol Clin*, 2018, 10(3): 437-445.
- [14] Shan P, Su L, Zhou X, et al. Beneficial effects of upgrading to His bundle pacing in chronically paced patients with left ventricular ejection fraction < 50 [J]. *Heart Rhythm*, 2018, 15(3): 405-412.
- [15] Vijayaraman P, Herweg B, Dandamudi G, et al. Outcomes of His-bundle pacing upgrade after long-term right ventricular pacing and/or pacing-induced cardiomyopathy: insights into disease progression [J]. *Heart Rhythm*, 2019, 16(10): 1554-1561.
- [16] Kronborg MB, Mortensen PT, Poulsen SH, et al. His or para-His pacing preserves left ventricular function in atrioventricular block: a double-blind, randomized, crossover study [J]. *Europace*, 2014, 16(8): 1189-1196.
- [17] Stockburger M, Moss A, Klein H, et al. Sustained clinical benefit of cardiac resynchronization therapy in non-LBBB patients with prolonged PR-interval: MADIT-CRT long-term follow-up [J]. *Clin Res Cardiol*, 2016, 105(11): 944-952.
- [18] Sohaib S, Wright I, Lim E, et al. Atrioventricular optimized direct His bundle pacing improves acute hemodynamic function in patients with heart failure and PR interval prolongation without left bundle branch block [J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2015, 1(6): 582-591.
- [19] Keene D, Arnold A, Shun-Shin MJ, et al. Rationale and design of the randomized multicentre His Optimized Pacing Evaluated for Heart Failure (HOPE-HF) trial [J]. *ESC Heart Fail*, 2018, 5(5): 965-976.
- [20] Morina-Vázquez P, Barba-Pichardo R, Venegas-Gamero J, et al. Cardiac resynchronization through selective His bundle pacing in a patient with the so-called InfraHis atrioventricular block [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2005, 28(7): 726-729.
- [21] Barba-Pichardo R, Manovel Sánchez A, Fernández-Gómez JM, et al. Ventricular resynchronization therapy by direct His-bundle pacing using an internal cardioverter defibrillator [J]. *Europace*, 2013, 15(1): 83-88.
- [22] Sharma PS, Dandamudi G, Herweg B, et al. Permanent His-bundle pacing as an alternative to biventricular pacing for cardiac resynchronization therapy: a multicenter experience [J]. *Heart Rhythm*, 2018, 15(3): 413-420.
- [23] Huang W, Su L, Wu S, et al. Long-term outcomes of His bundle pacing in patients with heart failure with left bundle branch block [J]. *Heart*, 2019, 105(2): 137-143.
- [24] Ajijola OA, Upadhyay GA, Macias C, et al. Permanent His-bundle pacing for cardiac resynchronization therapy: initial feasibility study in lieu of left ventricular lead [J]. *Heart Rhythm*, 2017, 14(9): 1353-1361.
- [25] 于海波, 梁延春, 王娜, 等. 希氏束起搏在希氏-浦肯野系统传导病变心力衰竭患者中的应用 [J]. *中华心律失常学杂志*, 2018, 22(2): 105-110.
- [26] Lustgarten DL, Crespo EM, Arkhipova-Jenkins I, et al. His-bundle pacing versus biventricular pacing in cardiac resynchronization therapy patients: a crossover design comparison [J]. *Heart Rhythm*, 2015, 12(7): 1548-1557.
- [27] Upadhyay GA, Vijayaraman P, Nayak HM, et al. His corrective pacing or biventricular pacing for cardiac resynchronization in heart failure [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(1): 157-159.
- [28] Upadhyay GA, Vijayaraman P, Nayak HM, et al. On-treatment comparison between corrective His bundle pacing and biventricular pacing for cardiac resynchronization: a secondary analysis of the His-SYNC Pilot Trial [J]. *Heart Rhythm*, 2019, 16(12): 1797-1807.
- [29] Upadhyay GA, Cherian T, Shatz DY, et al. Intracardiac delineation of septal conduction in left bundle-branch block patterns [J]. *Circulation*, 2019, 139(16): 1876-1888.
- [30] Padeletti L, Pieragnoli P, Ricciardi G, et al. Simultaneous His bundle and left ventricular pacing for optimal cardiac resynchronization therapy delivery: acute hemodynamic assessment by pressure-volume loops [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2016, 9(5): e003793.
- [31] Vijayaraman P, Herweg B, Ellenbogen KA, et al. His-optimized cardiac resynchronization therapy to maximize electrical resynchronization: a feasibility study [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2019, 12(2): e006934.
- [32] Zareba W, Klein H, Cygankiewicz I, et al. Effectiveness of cardiac resynchronization therapy by QRS morphology in the Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial-Cardiac Resynchronization Therapy (MADIT-CRT) [J]. *Circulation*, 2011, 123(10): 1061-1072.
- [33] Sharma PS, Naperkowski A, Bauch TD, et al. Permanent His bundle pacing for cardiac resynchronization therapy in patients with heart failure and right bundle branch block [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2018, 11(9): e006613.
- [34] Vijayaraman P, Dandamudi G, Zanon F, et al. Permanent His bundle pacing: recommendations from a multicenter His bundle pacing collaborative working group for standardization of definitions, implant measurements, and follow-up [J]. *Heart Rhythm*, 2018, 15(3): 460-468.
- [35] 范建华. 希氏束起搏研究进展 [J]. *心血管病学进展*, 2018, 39(4): 547-551.
- [36] Kusumoto F, Schoenfeld M, Barrett C, et al. 2018 ACC/AHA/HRS Guideline on the Evaluation and Management of Patients With Bradycardia and Cardiac Conduction Delay: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society [J]. *Circulation*, 2019, 140(8): e382-e482.

收稿日期: 2020-05-24