

希氏束起搏的研究进展

罗立博 梁华生 梁远红 陈东骊 刘烈 张黔桓

【摘要】 生理性起搏是心脏起搏与电生理领域的研究热点,希氏束起搏因为最大限度地保留生理性心室激动顺序,被认为是最具生理性的起搏模式。该文介绍希氏束起搏的定义、电生理特点与临床研究进展。

【关键词】 希氏束起搏;生理性起搏;心脏电生理学

doi:10.3969/j.issn.1673-6583.2019.05.002

心脏起搏是治疗心动过缓的有效手段。右室心尖部是经典的起搏部位,具有电极置入方便、起搏位点阈值稳定等特点。近期研究表明,长期高比例的右室心尖部起搏类似左束支传导阻滞,可导致心室内与心室间的不同步收缩,明显增加患者的心房颤动(房颤)发生率、心力衰竭住院率、全因死亡率^[1-5]。右室间隔部与右室流出道起搏对心脏的保护作用仍存在争议^[6-9]。希氏束起搏通过夺获希氏-浦肯野系统的传导束,实现双心室的同步收缩,是目前最具生理性的起搏模式。

1 希氏束起搏的定义

根据 2018 年希氏束起搏国际协作工作组发表的专家共识^[10],希氏束起搏从广义上分为选择性和非选择性。选择性希氏束起搏(SHBP)指输出电压只夺获希氏束,又称为直接希氏束起搏或纯希氏束起搏。非选择性希氏束起搏(NSHBP)指起搏点局部的心肌及希氏束同时被夺获,又称间接希氏束起搏或希氏束旁起搏。此外,希氏束起搏的诊断标准还需根据患者是否合并希氏-浦肯野系统传导病变进行详细鉴别,见表 1。

NSHBP 存在心肌传导,既往被认为劣于 SHBP,但近期研究表明,二者在电-机械同步性、血流动力学及临床评估上并无明显差异^[11-12]。希氏-浦肯野系统的传导明显快于心肌传导,因此,SHBP 和 NSHBP 均通过夺获希氏-浦肯野系统的传导束

实现心室激动。

2 希氏束的解剖特点

希氏束长约 18 mm,直径 2~3 mm^[13],由房室结发出,穿过中心纤维体,沿室间隔膜部走行,于室间隔肌部上缘左侧分成左、右束支。Kawashima 等^[14]根据 105 例成人心脏的解剖结果,将希氏束分 3 类:Ⅰ型(46.7%),希氏束沿室间隔膜部下缘走行,由一层从室间隔肌部发出的纤薄心肌纤维包绕;Ⅱ型(32.4%),希氏束从中心纤维体穿出后即离开室间隔膜部下缘,进入室间隔肌部;Ⅲ型(21.0%),希氏束紧贴于心内膜下方,走行于室间隔膜部表面(又称裸露希氏束)。Vijayaraman 等^[15]指出,Ⅰ型希氏束起搏后表现为 NSHBP,因包绕的心肌成分少,delta 波较小,起搏后的 QRS 波间期一般不超过 120 ms;Ⅱ型希氏束起搏后也表现为 NSHBP,此时电极位于室间隔肌部,不同输出下可观察到右室夺获与希氏束夺获的心电图变化,前者阈值低于后者;Ⅲ型希氏束由于裸露且无纤维组织包绕,起搏时为 SHBP,阈值常<0.5 V,术中可见到较大的希氏束损伤电流。损伤电流提示电极头端刺破绝缘包膜并位于希氏束中,术中可见到急性期起搏阈值升高,但术后会获得更低、更稳定的起搏阈值^[16]。

关于希氏束起搏电极置入位点与三尖瓣环的空间关系仍存在争议,但通过超声心动图、心脏 CT^[17]、3D 打印技术^[18]甚至是尸检^[19]的方法验证,发现希氏束起搏电极均位于三尖瓣环以上的心房侧。

3 希氏束起搏的电生理基础

对于病态窦房结综合征患者,心房起搏和最小

基金项目:国家自然科学基金(81470505)

作者单位:515041 汕头大学医学院第一附属医院(罗立博);528251 广州,广东省人民医院南海医院(梁华生);510080 广州,广东省心血管病研究所(梁远红,陈东骊,刘烈,张黔桓)

通信作者:张黔桓,Email:helendoctor@139.com

化心室起搏模式可达到生理性起搏。但近期一项荟萃分析显示,与传统起搏模式相比,最小化心室起搏模式在房颤发生率、全因住院率及全因死亡率方面均未见优势。这是由于最小化心室起搏模式人为将 AV 间期延长,使得左房充盈时间延长,左房压升高,左室充盈受损,导致房颤及心力衰竭发生

率升高^[20]。对于 PR 间期正常的病态窦房结综合征患者,心房起搏是生理性起搏,而对于存在 PR 间期延长的病态窦房结综合征患者,单纯心房起搏可能无法达到生理性起搏的要求,此时希氏束起搏或许可以满足这一需求,但需要临床研究加以证实。

表 1 不同类型希氏束起搏的诊断标准

类别	希氏-浦肯野系统传导正常	存在希氏-浦肯野系统传导病变	
		希氏束起搏纠正束支传导阻滞	希氏束起搏未能纠正束支传导阻滞
选择性希氏束起搏	S-QRS = H-QRS, 且存在等电位线 S-V = H-VW 起搏后 QRS 波形态与自身 QRS 波形态一致 记录到唯一的希氏束夺获阈值	S-QRS ≤ H-QRS, 且存在等电位线 希氏束导联上的起搏钉与 V 波完全分离 起搏的 QRS 波时限 < 自身 QRS 波时限 2 个独立的夺获阈值 (夺获希氏束且纠正束支传导阻滞的阈值, 夺获希氏束但未能纠正束支传导阻滞的阈值)	S-QRS ≤ 或 > H-QRS, 且存在等电位线 希氏束起搏电极上的起搏钉与心室波完全分离 起搏的 QRS 波时限 = 自身 QRS 波时限 仅有单一的希氏束夺获阈值 (夺获希氏束但未能纠正束支传导阻滞的阈值)
非选择性希氏束起搏	S-QRS < H-QRS, S-QRS _{end} = H-QRS _{end} 起搏刺激后直接夺获局部心室肌 起搏后 QRS 波时限 > 自身 QRS 波时限, 起搏后 QRS 波的整体电轴与自身的 QRS 波电轴一致, 两者 QRS 波快速的 dV/dt 一致 2 个独立的夺获阈值 (右心室夺获阈值和希氏束夺获阈值)	S-QRS < H-QRS, S-QRS _{end} = H-QRS _{end} 起搏刺激后直接夺获局部心室肌 起搏后 QRS 波时限 ≤ 自身 QRS 波时限 3 个独立的夺获阈值 (夺获希氏束且纠正束支传导阻滞的阈值, 夺获希氏束但未能纠正束支传导阻滞的阈值和右心室夺获阈值)	S-QRS < H-QRS 起搏刺激后直接夺获局部心室肌 起搏后 QRS 波时限 > 自身 QRS 波时限 2 个独立的夺获阈值 (夺获希氏束但未能纠正束支传导阻滞的阈值和右心室夺获阈值)

注: S-QRS 为起搏钉至 QRS 波起始点的时限; H-QRS 为希氏束电位至 QRS 波起始点的时限; S-V 为希氏束导联起搏钉至 V 波起始点的时限; H-V 为希氏束导联 H 波至 V 波起始点的时限; S-QRS_{end} 为起搏点至 QRS 波终末点的时限; H-QRS_{end} 为希氏束导联 H 波至 QRS 波终末点的时限

对于心室起搏依赖的房室传导阻滞患者,希氏束起搏是唯一的生理性起搏。由于传导阻滞位点与希氏束电极置入位点较为一致,希氏束起搏手术难度大,成功率低。对于这类患者,术中需根据腔内图标测结果,将房室传导阻滞具体分为结性阻滞或结下性阻滞。结性阻滞表现为 A 波固定出现, HV 脱落。结下性阻滞可进一步分为希氏束内或希氏束下阻滞。希氏束内阻滞的腔内图标测结果可具体分为以下 3 类: (1) H 波分裂, 即可记录到 H1 与 H2; (2) 近端希氏束可记录到 AH 固定出现, V 波脱落, 远端希氏束可记录到 A 波固定出现, HV 脱落; (3) HV 间期延长或 AH 固定出现, V 波脱落,

但在标测位点起搏后即可夺获远端希氏束且 S-V 间期在正常范围内。对于希氏束内阻滞, 术中需标测阻滞位点的具体位置, 并在阻滞位点远端置入电极, 术中甚至可以使用临时多极电生理导管来寻找希氏束的阻滞位点。对于上述第 3 种类型的希氏束内阻滞, 电极置入位置接近但并未跨越阻滞点, 电极通过高起搏输出跨越阻滞点, 并激动远端的希氏束, 患者很可能在术后因电极微脱位或电极张力改变出现阈值升高而不得不重置电极^[21-22]。希氏束下阻滞表现为 AH 固定出现, V 波脱落, 且通过标测或起搏的方法仍无法找到远端希氏束。这类患者因阻滞位点偏低, 电极未能跨越或接近阻滞点,

无法夺获希氏束。Vijayaraman 等^[23]的研究结果显示,结性阻滞患者行希氏束起搏的成功率可达 93%,但结下性阻滞患者成功率只有 76%^[23]。对于结下性阻滞患者,更推荐行 NSHBP,因 NSHBP 存在心肌激动,若出现希氏束失夺获,局部心肌激动可等同于右室间隔部起搏,不至于出现严重并发症。

对于束支传导阻滞患者,希氏束起搏可纠正约 80%的束支传导阻滞^[24],但是具体机制尚不明确。相关的假说分为以下几类:(1)纵向分离学说。纤维传导束在希氏束内纵向分离为左、右束支,希氏束内阻滞可表现为束支传导阻滞^[25]。在近期一篇病例报道中,左束支传导阻滞患者行希氏束标测时见到 H 波分裂,这证实了阻滞位点位于希氏束内^[26]。因此,术中需将电极置入希氏束远端,跨越阻滞点,纠正束支传导阻滞^[27]。(2)起搏输出依赖学说。起搏电极高输出可跨越阻滞点,激动远端传导束,纠正束支传导阻滞^[25]。这一学说在希氏束起搏纠正左束支传导阻滞的手术中得以证实,因术中可见到起搏电极低输出时即可夺获希氏束,但起搏电极高输出方可纠正左束支传导阻滞^[28]。(3)虚拟电极极化作用。电极发放电脉冲产生的电荷将在局部传导纤维组织中形成去极化与超极化^[29],使处于不应期的希氏-浦肯野传导纤维组织兴奋,恢复正常的电传导,纠正束支传导阻滞^[30]。

4 希氏束起搏的临床特点及优势

Deshmukh 等^[31-32]首次证实了对药物控制不佳的慢性房颤患者进行房室结消融及希氏束起搏的可行性,发现患者术后的左室舒张末期内径、纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级、左室射血分数(LVEF)及心肺储备功能均得到改善。在一项前瞻性交叉对照研究中,患者分别接受 6 个月的希氏束起搏或右室起搏,术后发现,希氏束起搏组在心功能分级、生活质量、6 min 步行试验、二尖瓣及三尖瓣反流方面均明显优于右室起搏组^[33]。Vijayaraman 等^[34]和 Huang 等^[35]的研究也指出,房室结消融及希氏束起搏的手术成功率可达 80%~95%,术后随访电极阈值稳定,患者的 LVEF、心功能分级改善,利尿剂的使用减少,这进一步证实了此疗法的可行性及有效性。

希氏束起搏还逐渐运用于心室依赖性起搏的高度房室传导阻滞(AVB)患者。Barba-Pichardo 等^[36]首先运用电生理标测导管为 AVB 患者进行标测与起搏,64.8%的患者成功置入希氏束电极,术

后 LVEF 明显升高。Kronborg 等^[37]在一项交叉对照试验中,在 85%的患者中成功置入希氏束电极,患者术后分别接受为期 12 个月的希氏束起搏或右室间隔部起搏,结果提示希氏束起搏组在 LVEF 和机械同步性方面均明显优于右室间隔部起搏组。在 Pastore 等^[38]的一项随机对照试验中,患者分别接受了 3 个月的希氏束起搏或右室心尖部起搏,术后显示希氏束起搏组的左室电激动与机械收缩更具同步性,且能更好地保护患者的左房功能,减慢房颤的进展。在另一项纳入 260 例 AVB 患者的临床研究中,希氏束起搏的成功率达 85%,术后因阈值升高而行电极重置的患者仅占 5%^[23]。

希氏束起搏通过自身希氏-浦肯野系统传导并可纠正束支传导阻滞,最早由 Narula^[25]发现。随后,希氏束起搏用于有双心室起搏(BVP)行同步化治疗适应证的患者。Barba-Pichard 等^[39]首先在 BVP 左室电极置入失败的患者中尝试进行希氏束起搏,16 例患者中有 9 例最终成功置入希氏束电极并纠正束支传导阻滞,术后随访发现,患者 LVEF 水平较基线水平有明显提高。Lustgarten 等^[24]在一项交叉对照研究中,通过左室电极 Y 型接口对患者进行 6 个月的 BVP 或希氏束起搏治疗,结果显示两组患者在心功能分级、6 min 步行试验、生活质量及 LVEF 方面均较术前有明显改善,且二者临床结果无明显差异。Ajjola 等^[40]的研究结果也支持希氏束起搏对心功能的保护作用。Sharma 等^[41]的一项多中心临床研究显示,希氏束起搏具有阈值稳定的特点,可缩短 QRS 波间期,提高 LVEF,改善心功能分级。Huang 等^[28]进行了为期 37 个月的临床随访研究,发现希氏束起搏不仅可以明显改善患者左心功能,且阈值稳定,临床预后与 BVP 相比无明显差异,进一步肯定了希氏束起搏在同步化治疗中的疗效及安全性。Arnold 等^[42]的另一项研究指出,希氏束起搏在 QRS 波间期缩短率、心室同步性以及血流动力学参数方面明显优于 BVP。在术后程控方面,建议设置希氏束电极极性为 tip 端到右室电极 coil 端^[43]。Sharma 等^[44]将希氏束起搏用于右束支传导阻滞合并慢性心力衰竭的患者,患者术后的 QRS 波间期、LVEF、心功能分级都得到明显改善,这一结果改变了既往对右束支传导阻滞患者 BVP 同步化治疗效果较差的看法^[45]。而对于 BVP 治疗无效的患者,可考虑改为希氏束起搏,因为患者改为希氏束起搏后,LVEF、心功能分级、二尖瓣反流

面积、心胸比例以及血清脑钠肽水平都可以明显改善^[46]。

对于右室起搏介导的心肌病患者,Shan 等^[46]尝试在患者行起搏器更换时改行希氏束起搏,术后 1 年随访发现,患者的心功能明显改善。Ye 等^[47]进行为期半年的随访发现,对于右室起搏介导的心肌病患者,从右室心尖部起搏或右室间隔部起搏改行希氏束起搏后,患者心功能分级、左室舒张末期口径都明显改善。

Vijayaraman 等^[48]对希氏束起搏术后起搏器电池耗竭患者行起搏器更换手术,在手术过程中测量的 HV 间期、QRS 波间期与首次置入时相同,以不同频率起搏希氏束时,希氏束至心室可达到 1:1 传导,提示希氏束起搏术后并未出现新发的希氏-浦肯野系统病变。Vijayaraman 等^[49]进行了为期 5 年的临床随访,对希氏束起搏的安全性及疗效进行评估,结果显示在右室起搏和希氏束起搏比例超过 40% 的人群中,希氏束起搏组的全因死亡率或心力衰竭住院率均明显低于右室起搏组,起搏介导的心肌病的发生率也远低于右室起搏组。而 Abdelrahman 等^[50]一项以全因死亡率、心力衰竭住院率以及改行 BVP 为联合临床终点的队列研究显示,在心室起搏比例超过 20% 的患者中,希氏束起搏组明显优于右室起搏组。

5 希氏束起搏的局限性与展望

目前,希氏束起搏的成功率在 80%~90%,部分患者因希氏束存在解剖变异或阻滞点过低而未能成功置入电极。此外,约有 10% 的患者术后出现阈值升高^[51],5% 的患者因阈值持续升高行电极重置^[49]。起搏阈值升高常出现在术后的前 3 个月内,可能是由于电极头端未能刺入希氏束和长期的瓣叶活动使电极出现微脱位。与右室电极相比,希氏束周围心肌成分少,希氏束电极感知明显偏低^[49],这就需要厂家改进塑形鞘管和起搏电极,制造不同形状的鞘管,阈值更低、感知更好、固定更牢的电极,以及适合希氏束起搏逻辑算法的起搏器,以提高手术成功率,减少手术并发症,延长起搏器寿命。

对于结下性阻滞患者,电极置入位点与阻滞点相近,若结下性阻滞因病情进展而出现希氏束失夺获,NSHBP 产生的局部心肌激动可等同于右室间隔部起搏,作为后备起搏使用,但是否安全仍需要长期随访证据支持。

希氏束起搏是目前公认的最符合生理性的起

搏模式,但当前的临床研究大多数为单中心回顾性研究,仍需要更多大样本、多中心的前瞻性随机对照研究对希氏束起搏的安全性及有效性进行评估。

参 考 文 献

- [1] Skanes AC, Krahn AD, Yee R, et al. Progression to chronic atrial fibrillation after pacing: the Canadian trial of physiologic pacing. CTOPP Investigators [J]. J Am Coll Cardiol, 2001, 38(1):167-172.
- [2] Nielsen JC, Kristensen L, Andersen HR, et al. A randomized comparison of atrial and dual-chamber pacing in 177 consecutive patients with sick sinus syndrome—echocardiographic and clinical outcome [J]. J Am Coll Cardiol, 2003, 42(4):614-623.
- [3] Hussain MA, Furuya-Kanamori L, Kaye G, et al. The effect of right ventricular apical and nonapical pacing on the short- and long-term changes in left ventricular ejection fraction: a systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials [J]. Pacing Clin Electrophysiol, 2015, 38(9):1121-1136.
- [4] Kiehl EL, Makki T, Kumar R, et al. Incidence and predictors of right ventricular pacing-induced cardiomyopathy in patients with complete atrioventricular block and preserved left ventricular systolic function [J]. Heart Rhythm, 2016, 13(12):2272-2278.
- [5] Merchant FM, Hoskins MH, Musat DL, et al. Incidence and time course for developing heart failure with high-burden right ventricular pacing [J]. Circ Cardiovasc Qual Outcomes, 2017, 10(6):e003564.
- [6] Witt CM, Lenz CJ, Shih HH, et al. Right ventricular pacemaker lead position is associated with differences in long-term outcomes and complications [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2017, 28(8):924-930.
- [7] Leong DP, Mitchell AM, Salna I, et al. Long-term mechanical consequences of permanent right ventricular pacing: effect of pacing site [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2010, 21(10):1120-1126.
- [8] Shimony A, Eisenberg MJ, Filion KB, et al. Beneficial effects of right ventricular non-apical vs. apical pacing: a systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials [J]. Europace, 2012, 14(1):81-91.
- [9] Zou C, Song J, Li H, et al. Right ventricular outflow tract septal pacing is superior to right ventricular apical pacing [J]. J Am Heart Assoc, 2015, 4(4):e001777.
- [10] Vijayaraman P, Dandamudi G, Zanon FA, 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.
- [11] Upadhyay GA, Tung R. Selective versus non-selective his bundle pacing for cardiac resynchronization therapy [J]. J

- Electrocardiol, 2017, 50(2):191-194.
- [12] Zhang JL, Guo JH, Hou XF, 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.
- [13] Scherlag BJ, Lazzara R. Functional aspects of His bundle physiology and pathophysiology: clinical implications[J]. J Electrocardiol, 2017, 50(1):151-155.
- [14] Kawashima T, Sasaki H. A macroscopic anatomical investigation of atrioventricular bundle locational variation relative to the membranous part of the ventricular septum in elderly human hearts[J]. Surg Radiol Anat, 2005, 27(3): 206-213.
- [15] Vijayaraman P, Dandamudi G. Anatomical approach to permanent His bundle pacing: optimizing His bundle capture [J]. J Electrocardiol, 2016, 49(5):649-657..
- [16] Vijayaraman P, Dandamudi G, Worsnick S. Acute His-bundle injury current during permanent His-bundle pacing predicts excellent pacing outcomes [J]. Pacing Clin Electrophysiol, 2015, 38(5):540-546.
- [17] Vijayaraman P, Dandamudi G, Bauch TA. Imaging evaluation of implantation site of permanent direct His bundle pacing lead[J]. Heart Rhythm, 2014, 11(3):529-530.
- [18] Bauch T, Vijayaraman P, Dandamudi G. Three-dimensional printing for in vivo visualization of His bundle pacing leads [J]. Am J Cardiol, 2015, 116(3):485-486.
- [19] Correa de Sa DD, Hardin NJ, Crespo EM, et al. Autopsy analysis of the implantation site of a permanent selective direct his bundle pacing lead [J]. Circ Arrhythm Electrophysiol, 2012, 5(1):244-246.
- [20] Shurrab M, Healey JS, Haj-Yahia SA, et al. Reduction in unnecessary ventricular pacing fails to affect hard clinical outcomes in patients with preserved left ventricular function; a meta-analysis[J]. Europace, 2017, 19(2):282-288.
- [21] Herweg B, Gerczuk PZ, Sofi A, et al. Permanent His bundle pacing in intra-Hisian conduction block; mechanistic insights [J]. J Electrocardiol, 2017, 50(6):933-936.
- [22] Sharma PS, Trohman R. An electro-anatomic Atlas of His bundle pacing: combining fluoroscopic imaging and recorded electrograms[J]. Card Electrophysiol Clin, 2018, 10(3): 483-490.
- [23] Vijayaraman P, Naperkowski A, Ellenbogen KA, et al. Electrophysiologic insights into site of atrioventricular block; lessons from permanent His bundle pacing[J]. JACC Clin Electrophysiol, 2015, 1(6):571-581.
- [24] 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.
- [25] Narula OS. Longitudinal dissociation in the His bundle, Bundle branch block due to asynchronous conduction within the His bundle in man [J]. Circulation, 1977, 56(6): 996-1006.
- [26] Sharma PS, Ellison K, Patel HN, et al. Overcoming left bundle branch block by permanent His bundle pacing: evidence of longitudinal dissociation in the His via recordings from a permanent pacing lead[J]. HeartRhythm Case Rep, 2017, 3(11):499-502.
- [27] Sharma PS, Huizar J, Ellenbogen KA. Recruitment of bundle branches with permanent His bundle pacing in a patient with advanced conduction system disease: What is the mechanism?[J]. Heart Rhythm, 2016, 13(2):623-625.
- [28] 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, 2018, 105(2):137-143.
- [29] Sepulveda NG, Roth BJ, Wikswo JP. Current injection into a two-dimensional anisotropic bidomain [J]. Biophys J, 1989, 55(5):987-999.
- [30] Sambelashvili AT, Nikolski VP, Efimov IR. Virtual electrode theory explains pacing threshold increase caused by cardiac tissue damage[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2004, 286(6):H2183-H2194.
- [31] Deshmukh P, Casavant DA, Romanynshyn 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.
- [32] Deshmukh PM, Romanynshyn M. Direct His-bundle pacing: present and future[J]. Pacing Clin Electrophysiol, 2004, 27(6):862-870.
- [33] 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.
- [34] Vijayaraman P, Subzposh FA, Naperkowski A. Atrioventricular node ablation and His bundle pacing [J]. Europace, 2017, 19(4):10-16.
- [35] 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.
- [36] Barba-Pichardo R, Moríña-Vázquez P, Fernández-Gómez JM, et al. Permanent His-bundle pacing: seeking physiological ventricular pacing[J]. Europace, 2010, 12(4): 527-533.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] Ajjola OA, Upadhyay GA, Macias CA, 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.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] Su L, Xu L, Wu SJ, et al. Pacing and sensing optimization of permanent His-bundle pacing in cardiac resynchronization therapy/implantable cardioverter defibrillators patients: value of integrated bipolar configuration[J]. *Europace*, 2016, 18(9):1399-1405.
- [44] 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.
- [45] Sipahi I, Chou JC, Hyden M, et al. Effect of QRS morphology on clinical event reduction with cardiac resynchronization therapy: meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Am Heart J*, 2012, 163(2):260-267.
- [46] 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.
- [47] Ye Y, Zhang Z, Sheng X, et al. Upgrade to his bundle pacing in pacing-dependent patients referred for pulse generator change: feasibility and intermediate term follow up [J]. *Int J Cardiol*, 2018, 260:88-92.
- [48] Vijayaraman P, Dandamudi G, Lustgarten D, et al. Permanent His bundle pacing: electrophysiological and echocardiographic observations from long-term follow-up[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2017, 40(7):883-891.
- [49] Vijayaraman P, Naperkowski A, Subzposh FA, et al. Permanent His-bundle pacing: long-term lead performance and clinical outcomes[J]. *Heart Rhythm*, 2018, 15(5): 696-702.
- [50] Abdelrahman M, Subzposh FA, Beer D, et al. Clinical outcomes of His bundle pacing compared to right ventricular pacing[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(20):2319-2330.
- [51] Vijayaraman P, Ellenbogen KA. Approach to permanent His bundle pacing in challenging implants[J]. *Heart Rhythm*, 2018, 15(9):1428-1431.

(收稿:2018-09-18 修回:2019-06-28)

(本文编辑:胡晓静)