

无导线起搏器应用进展

荆炜林 谢瑞芹

(河北医科大学附属第二医院心血管内科, 河北 石家庄 050000)

【摘要】起搏器已广泛应用于临床,形式多样,各有千秋。近年来,无导线起搏的兴起,拓宽了起搏器在一些特殊人群中的应用,尤其是避免起搏器囊袋和起搏器导线所致的相关并发症,同时无导线起搏器的体积小和经皮穿刺静脉途径输送植入的优势受到越来越多的重视。无导线起搏器已用于临床一段时间,其应用现状及安全性日益受到人们的关注,现从无导线起搏器的应用进展与安全性等方面进行综述。

【关键词】无导线起搏器;起搏器植入;安全性

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2021.11.011

Application Progress of Leadless Pacemaker

JING Weilin, XIE Ruiqin

(Department of Cardiology, The Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, Hebei, China)

【Abstract】Pacemakers have been widely used in clinical practice, with various forms and different advantages. In recent years, the rise of leadless pacing has broadened the application of pacemaker in some special populations, especially to avoid the related complications caused by pacemaker bag and pacemaker lead. At the same time, more and more attention has been paid to the small volume of leadless pacing and the advantages of percutaneous venous delivery and implantation. Leadless pacemakers have been used in clinic for some time, and their application status and safety have been paid more and more attention. In this paper, the application progress and safety of leadless pacemakers are reviewed.

【Key words】Leadless pacemaker; Pacemaker implantation; Security

自 1958 年第一台起搏器问世以来,随着经验的积累和科技的进步,起搏器的发展有着翻天覆地的变化。目前全球每年植入起搏器例数近百万^[1],其中绝大部分为传统起搏器,然而传统起搏器有优势,但也有一些弊端,如存在术后导线及囊袋相关并发症的可能。无导线起搏器(leadless pacemaker, LP)是近年来的新技术,它将脉冲发生器与感知/起搏电极合为一体,避免了电极导线连接和囊袋制作等过程,它的问世无疑带给人们新的思路,给一些需起搏器治疗的特殊人群带来可替代的选择。现从 LP 的应用进展进行综述。

1 LP 的种类

在 1970 年就有人尝试在犬体内安装了第一例 LP,但由于电池技术的限制,仅维持了 66 d,随着高密度能量电池和低耗能电子元件的发展,LP 在临床中的应用成为了可能。目前临床常用的有两种,一种为圣犹达公司的 Nanostim 无导线起搏器,另一种则是美敦力公司开发的 Micra 经皮起搏系统(transcatheter

pacing system, TPS)。

两种起搏器对比可发现,其体积均足够小,可通过股静脉直达心内膜,且寿命相仿。Nanostim 无导线起搏器的优势在于其感知模式为温度传感,具有良好的频率适应性;而 TPS 起搏器则可兼容 1.5 T 和 3.0 T 磁共振成像,但目前也有新型扫描仪可替代磁共振成像以减少起搏器的电磁干扰^[2],但二者固定方式和感应方式的不同使其相关的安全性及有效性还需进一步对比研究。

2 LP 的应用人群

2.1 获益人群及禁忌证

由于起搏模式的限制及技术要求,无导线起搏并未作为常规治疗方式推广,更多作为一种替代疗法。就目前而言,众多学者以及奥地利心脏学会专家共识认为其适应人群主要为单腔起搏且预期心室起搏率低的患者^[2]。LP 的主要禁忌证包括:植入机械瓣膜患者,心内膜存在导线患者,下腔静脉或股静脉异常患

基金项目:河北省政府资助专科能力建设和专科带头人培养项目(361004)

通信作者:谢瑞芹, E-mail: xieruiqin66@163.com

者,近期发生急性心肌病患者等。另外,由于目前起搏模式的限制,一些病窦综合征、血管迷走性晕厥或房室传导阻滞伴心动过缓的患者也暂不作为无导线起搏的首选。

2.2 应用人群扩展

2.2.1 儿童和老年人群

LP 在成人中的作用逐渐被公认,也获得了明显的益处,相比之下,儿童患者的植入经验和随访数据更为有限。Mahendran 等^[3]报道的在 1 例 4 岁高度房室传导阻滞患儿体内成功植入了 LP,LP 有可能造成儿童血管损伤,小儿血管和心腔较小是 LP 的重要限制因素,因此在植入前应评估血管宽度与扩张鞘管是否匹配。另 Morani 等^[4]成功在软骨发育不全的侏儒症患儿身上安装了 1 例 LP,术后无并发症出现。LP 在儿童中的应用正在逐渐增加。

同时在年龄 ≥ 90 岁的老年患者中 LP 的应用也逐步得到验证。El Amrani 等^[5]对 129 例患者植入 TPS,其中年龄 ≥ 90 岁患者 41 例,年龄 < 90 岁患者 88 例。研究对比手术时间、手术成功率以及术后并发症等,结果显示 LP 对年龄 ≥ 90 岁的患者同样安全有效。

2.2.2 特殊需要人群

在一些特殊病例中,LP 的优势也得到凸显。当患者静脉出现多次感染,再次安装有导线起搏器可能引发菌血症甚至危及生命时,LP 可成为患者的一个有效选择。Parker 等^[6]为 1 例 65 岁静脉入路反复感染患者选择了 LP,患者经过心脏再同步化治疗及植入型心律转复除颤器植入 3 年后反复感染,抗生素效果不佳,首要目标便是减少感染,最终选择了 LP。术后 2 个月随访,阻抗及阈值均良好。

关于新型冠状病毒肺炎(COVID-19)阳性患者的心脏情况也在不断研究中,这些患者的心功能影响还有很多未知。Cakulev 等^[7]报道了 1 例 COVID-19 阳性患者出现了房室传导阻滞和心房颤动(房颤)相关的异常停搏,考虑停搏可能是 COVID-19 感染的表现,对患者进行了 LP 植入,术后患者症状得到改善,但由于患者的特殊性,远期效果还有待进一步考证。

研究表明,有 4.5% ~ 20.0% 的心脏移植患者需植入起搏器,高感染风险和低起搏依赖性使心脏移植患者成为 LP 的理想选择。通过长期随访,证实了无导线装置在这类特殊患者中的可行性和可接受的安全性^[8]。并提出术前心脏三维重建有助于预测植入 LP 的手术难度^[9]。随着技术的发展及经验的积累,LP 将使更多特殊人群的需要得到满足。

3 植入方式和途径

3.1 常规植入途径和方式

与传统起搏器不同,LP 植入时,术者通常以患者

股静脉为入路,通过导管将设备送入右心室间隔部位,获得稳定持续的感知和起搏参数后释放固定。TPS 的放置需一个 23 F 鞘管,在扩张血管时,锥形 Coons 扩张器是一种有效和经济的工具,相对并发症低^[10]。当导管进入体内时,大多数导管以“鹅颈形”可顺利将起搏器放入心室进行固定。LP 最佳固定位置为右心室间隔部,其次为右心室心尖部,而右心室游离壁相对薄弱,此处固定会增加心肌穿孔的风险^[11]。印度一项研究^[12]也表明右心室间隔部植入更具有生理性。LP 植入时间相对短,其植入困难程度除与术者经验和患者配合有关外,另一重要因素则与右心室间隔突出小梁有关。Garweg 等^[13]对 126 例患者分析显示,手术时间与间隔边缘小梁突出部分的存在呈正相关($P < 0.001$),与手术次数呈负相关($P < 0.001$)。

3.2 非常规途径和植入方法

股静脉是常规途径,但也并非唯一入路,当股静脉畸形或其他原因不能作为入路时,也可考虑其他静脉作为入路,如左锁骨下静脉、髂静脉和颈内静脉等^[14-16]。确定入路后,在导管进入心腔的过程中,除了传统的“鹅颈形”导管方式进入,亦可根据患者的血管情况调整导管形状。Nakamura 等^[17]报道了 1 例 92 岁女性由于脊柱侧凸和严重驼背使得起搏器导管的尖端无法直接指向右室间隔或心尖,于是尝试改变导管形状为“环形”,使导管尖端可朝向右室间隔的下基底部,成功释放,术后无严重并发症。

Gerdes 等^[18]报道了 1 例 76 岁患有永久性房颤和伴缓慢心律失常的男性患者,其超声心动图显示左心房严重扩大,在 TPS 植入过程中,输送系统向前移动和顺时针旋转时,尖端要么在右心室流出道中向高处滑动,要么移到右心房,因此无法获得有效起搏点。随后尝试使用一个“圈套”样辅助装置固定输送系统的近端部分,在尖端施力,最终获得了良好的稳定性和电位。这些新方法为起搏器植入提供了新思路。

3.3 与其他手术的联合植入

心脏瓣膜置换术后常伴有安装起搏器的指征,传统起搏器植入感染风险大,对瓣膜有潜在损伤,LP 为这些患者提供了一种新思路。有 1 例 51 岁女性患者,在接受经导管主动脉瓣置换术和二尖瓣瓣膜置换术后出现严重的心动过缓,Gul 等^[19]对其进行 LP 植入术,进一步证实了其在瓣膜病术后的有效性。有 1 例 71 岁的女性患者进行三尖瓣边缘修补术后,患者出现房颤伴心动过缓,考虑传统起搏器的导线会干扰修复部位,LP 成为了最佳选择,最终在三维经食管超声心动图的辅助下,使用更小的导管,找到了合适的起搏

位点^[20]。

有些伴有瓣膜病患者本身存在植入起搏器的指征,相关学者尝试在外科手术换瓣的同时,可视下完成 LP 植入。Shivamurthy 等^[21]对 15 个瓣膜手术同时安装 LP 的成人患者进行了回顾性分析,纳入患者年龄(67.5 ± 17.0)岁,伴有房颤 14 例(93%)。有 5 例患者(33.3%)行单纯三尖瓣置换术,其余患者行多瓣膜手术,包括同时行三尖瓣修复/置换术,随访(151 ± 119)d,所有患者的阻抗/阈值均正常且稳定。进一步证明了瓣膜手术中植入无导线心脏起搏器安全可行,这种联合起搏方法可简化有单腔起搏指征的瓣膜手术患者的围手术期处理,减少患者的手术花费及痛苦。

对于一些房颤合并起搏器指征的患者,能否在只穿刺股静脉的同时进行房室结消融及 LP 的植入呢? Chieng 等^[22]通过回顾 14 例同时接受 TPS 置入和房室结消融治疗的房颤患者验证了这种联合手术方式的可行性,而且在中短期内具有良好的安全性和有效性。因此 LP 可联合多种手术同时进行,一次手术解决患者多个问题,减少患者的手术次数,减轻患者的手术痛苦。

4 LP 的安全性

4.1 长期安全性

LP 作为新技术出现,其短期安全性得到初步验证^[23-25],而它的长期安全性还有待随访研究。Sanchez 等^[26]在研究起搏器依赖患者中使用 LP 和使用经静脉起搏器(transvenous pacemaker, TVP)诱发心肌病的研究中,纳入 2014—2019 年左室射血分数 $\geq 50\%$ 的所有起搏器依赖的 LP 或 TVP 患者,其中 131 例 TVP 患者和 67 例 LP 患者纳入研究,TVP 组平均随访时间为(592 ± 549)d,LP 组平均随访时间为(817 ± 600)d。LP 组心肌病(3%)的发生率明显低于 TVP 组(18.7%)($P=0.02$),进一步证明 LP 在术后起搏器相关心肌病方面更安全,分析其可能原因与 LP 安装时心肌损伤小以及无导线相关并发症等因素有关。

另外,Oliveira 等^[27]对多中心植入 LP 患者进行大数据分析,通过回顾性分析研究发现,在纳入的 4 739 例患者中,随访 1~38 个月,4 670 例患者 LP 植入成功(98.5%)。随访期间有 248 例患者(5.23%)发生并发症,最常见的是起搏问题如阈值升高、移位或电池故障(1.43%),穿刺部位相关并发症如出血、血肿或假性动脉瘤(1.37%),以及与操作相关的心脏损伤如心脏穿孔、堵塞或心包积液(1.01%)。随访期间有 360 例患者死亡,其中 11 例与手术或器械有关。而传统起搏器植入患者仅穿刺相关并发症就占 4.67%^[28]。总的来讲,LP 的并发症发生率相对较低,对于有单腔起搏

指征的患者,LP 是个安全的选择。

4.2 特殊人群的安全性

4.2.1 高龄患者

Pagan 等^[29]比较了 TPS 起搏器和传统 TVP 在高龄患者中的应用,选取包括 2015 年 12 月—2019 年 11 月在 Northwell 卫生系统 6 家医院接受两种方式治疗的所有年龄 ≥ 85 岁患者。在年龄 ≥ 85 岁的患者中植入了 183 个 TPS 和 119 个 TVP,平均年龄(89.7 ± 3.4)岁,男性占 47.4%。结果发现 TPS 植入:(1)成功率为 98.4%;(2)与 TVP 组相比,手术相关并发症无差异,是安全的,手术时间明显缩短[(35.7 ± 23.0)min vs (62.3 ± 31.5)min, $P < 0.001$]。由于目前无导线起搏模式为心室按需型/心室按需型频率应答式(VVIR),Loring 等^[30]在研究 QRS 波群时限和心室功能正常的有起搏器指征的患者过程中,将 1 284 例符合入选标准的患者分为两组,全自动双腔起搏频率适应(DDDR)组($n=630$)和 VVIR(LP)组($n=654$),结果发现 DDDR 和 VVIR 起搏的患者死亡率、卒中或心力衰竭发生率相似,但 VVIR 起搏显著增加了房颤的发生风险。

4.2.2 瓣膜置换术患者

瓣膜置换术后需起搏器植入的患者也越来越多,LP 感染风险更小,有可能成为这类患者的首选方式,其安全性也逐渐得到认可。Garweg 等^[31]对比了 170 例安装 LP 的患者,其中 54 例(31.8%)有瓣膜手术史,包括主动脉瓣置换术后 28 例,二尖瓣置换术后 10 例,三尖瓣成形术后 1 例,多瓣膜手术后 15 例,所有患者($n=170$)均成功植入,无任何与手术相关的主要并发症。随访 12 个月后起搏器工作均正常,两组患者射血分数均有下降,无明显差异,考虑与右室起搏比例相关,进一步验证了 LP 在瓣膜介入术后是安全的。

4.3 特殊并发症

无导线起搏方式在大多数情况下是安全的,但在众多成功植入患者中也不乏出现特殊并发症等事件。Razeghi 等^[32]对 155 例植入 TPS 起搏器患者进行随访,其中 15 例患者在植入术后平均 226 d 出现菌血症,革兰氏阳性菌感染占菌血症的 73.3%($n=11$),经过适当的抗菌治疗后,所有患者的菌血症都得到了改善。也有报道 1 例患者 LP 安装后不久出现恶性心律失常,分析其恶性心律失常很可能与既往冠心病病史相关,术后合并急性冠状动脉缺血是导致患者恶性心律失常出现的重要诱发因素^[33]。Gumireddy 等^[34]也报道了 1 例 85 岁患者,有着 10 年房颤病史,术前超声心动图显示射血分数为 56%,无局部室壁运动异常、

轻度二尖瓣反流和轻度三尖瓣反流,但 LP 植入术后 15 d 便出现了二尖瓣反流严重杂音。另外,术后右室假性动脉瘤^[35]等并发症也偶有发生,因此术前全面综合评估患者的手术风险是必要的。

5 无导线起搏面临的挑战及展望

目前无导线起搏面临的电池寿命问题以及单腔起搏问题成为现代技术发展的热点方向。有学者提出利用压电能量收集系统对来自心脏的动能进行收集,从而实现长久供能,但此供能装置需限制在 1 cm³ 体积内,并在心率范围内获得固有频率,这无疑给科研人员带来挑战。另一挑战则来自于起搏模式,由于起搏模式的限制,仅能满足单腔起搏模式,适用范围窄,如何达到心脏同步化治疗成为亟待解决的问题,2018 年 Bereuter 等^[36]报道了双腔无导线起搏的动物实验(猪)结果,为双腔无导线起搏带来了可能,但由于双腔起搏过程中的信号衰减造成的能量消耗使其应用到临床尚需时日。同时 LP 与植入型心律转复除颤器和心脏再同步化治疗等设备的联合应用也在尝试探究中。

随着 LP 植入时代的到来,新型起搏器的研究如火如荼,这将使越来越多的植入人群从中获益,越来越多的植入技巧被发现验证,其安全性也逐渐得到验证。但与此同时,也要看到其不足与应用限制。由于 LP 的兴起,很多数据还停留在小型非随机试验阶段,仍需大型随机对照试验验证其优越性。相信随着术者经验的增加和手术器械的完善,LP 会越来越多地应用于临床,为更多患者带来希望。

参 考 文 献

- [1] Sideris S, Archontakis S, Dilaveris P, et al. Leadless cardiac pacemakers; current status of a modern approach in pacing [J]. *Hellenic J Cardiol*, 2017, 58 (6): 403-410.
- [2] Steinwender C, Lercher P, Schukro C, et al. State of the art: leadless ventricular pacing; a national expert consensus of the Austrian Society of Cardiology [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2020, 57 (12): 27-37.
- [3] Mahendran AK, Bussey S, Chang PM. Leadless pacemaker implantation in a four-year-old, 16-kg child [J]. *J Innov Card Rhythm Manag*, 2020, 11 (10): 4257-4261.
- [4] Morani G, Bolzan B, Zimelli E, et al. Leadless pacemaker twins in an achondroplastic dwarf [J]. *HeartRhythm Case Rep*, 2020, 6 (7): 434-436.
- [5] El Amrani A, Campos B, Alonso-Martín C, et al. Performance of the Micra cardiac pacemaker in nonagenarians [J]. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*, 2020, 73 (4): 307-312.
- [6] Parker AM, Vilario JR, Aranda JM Jr, et al. Leadless pacemaker use in a patient with a durable left ventricular assist device [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2020, 43 (9): 1048-1050.
- [7] Cakulev I, Sahadevan J, Osman MN. A case report of unusually long episodes of asystole in a severe COVID-19 patient treated with a leadless pacemaker [J]. *Eur Heart J Case Rep*, 2020, 4 (F11): 1-6.
- [8] Rordorf R, Savastano S, Bontempi L, et al. Leadless pacing in cardiac transplant recipients: primary results of a multicenter case experience [J]. *J Electrocardiol*, 2020, 60: 33-35.
- [9] Sano M, Urushida T, Sakakibara T, et al. Tortuous inferior vena cava with severe scoliosis; an impediment to successful leadless pacemaker implantation [J]. *J Cardiol Cases*, 2020, 23 (5): 218-220.
- [10] Mohammed M, Arshi J, Ramza BM, et al. Outcomes using a single tapered dilator for Micra leadless pacemaker implant [J]. *Indian Pacing Electrophysiol J*, 2020, 20 (3): 105-111.
- [11] Okabe T, Afzal MR, Houmsse M, et al. Time-based leadless pacemaker; strategies for safe implantation in unconventional clinical scenarios [J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2020, 6 (10): 1318-1331.
- [12] Sharma P, Singh Guleria V, Bharadwaj P, et al. Assessing safety of leadless pacemaker (MICRA) at various implantation sites and its impact on paced QRS in Indian population [J]. *Indian Heart J*, 2020, 72 (5): 376-382.
- [13] Garweg C, Vandenberk B, Foulon S, et al. Determinants of the difficulty of leadless pacemaker implantation [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2020, 43 (6): 551-557.
- [14] Kita K, Le TT, Doshi RN. Implantation of a leadless pacemaker via left subclavian vein following transvenous pacemaker extraction [J]. *HeartRhythm Case Rep*, 2020, 6 (6): 338-340.
- [15] Surti AK, Ambrose M, Cortez D. First description of a successful leadless pacemaker implantation via the left internal jugular vein (in a 20 kg patient) [J]. *J Electrocardiol*, 2020, 60: 1-2.
- [16] Shehadeh M, Costello J, Brar V, et al. Successful Micra leadless pacemaker implantation through an iliac vein stent [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75 (11): 2685-2685.
- [17] Nakamura K, Sasaki T, Minami K, et al. Halo-shape technique for leadless pacemaker implantations; a case report [J]. *Indian Pacing Electrophysiol J*, 2020, 21 (1): 65-66.
- [18] Gerdes C, Kristensen J, Nielsen JC. Use of a snare to aid implanting leadless pacemaker in a patient with severely dilated atria [J]. *Europace*, 2021, 23 (2): 246.
- [19] Gul EE, Haseeb YB, Haseeb S, et al. Successful leadless pacemaker implantation in a patient with profound bradycardia following transcatheter aortic valve replacement and mitral valve-in-valve procedure [J]. *Turk Kardiyol Dern Ars*, 2020, 48 (4): 443-446.
- [20] Adukauskaitė A, Hintringer F, Dichtl W, et al. Implantation of leadless pacemaker through neo-orifice after tricuspid valve edge-to-edge repair [J]. *Europace*, 2020, 22 (6): 869.
- [21] Shivamurthy P, Miller MA, El-Eshmawi A, et al. Leadless pacemaker implantation under direct visualization during valve surgery [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, Aug 6: S0022-5223 (20) 32264-9. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2020.07.092. Epub ahead of print.
- [22] Chieng D, Lee F, Ireland K, et al. Safety and efficacy outcomes of combined leadless pacemaker and atrioventricular nodal ablation for atrial fibrillation using a single femoral puncture approach [J]. *Heart Lung Circ*, 2020, 29 (5): 759-765.
- [23] Curnis A, Salghetti F, Cerini M, et al. Leadless pacemaker; state of the art and incoming developments to broaden indications [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2020, 43 (12): 1428-1437.
- [24] Reynolds DW, Ritter P. A leadless intracardiac transcatheter pacing system [J]. *N Engl J Med*, 2016, 374 (26): 2604-2605.
- [25] Duray GZ, Ritter P, El-Chami M, et al. Long-term performance of a transcatheter pacing system: 12-Month results from the Micra Transcatheter Pacing Study [J]. *Heart Rhythm*, 2017, 14 (5): 702-709.

- (12):937-955.
- [24] Osmanic P, Herman D, Neuzil P, et al. Left atrial appendage closure versus direct oral anticoagulants in high-risk patients with atrial fibrillation [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(25):3122-3135.
- [25] Dukkupati SR, Kar S, Holmes DR, et al. Device-related thrombus after left atrial appendage closure; incidence, predictors, and outcomes [J]. *Circulation*, 2018, 138(9):874-885.
- [26] Yao X, Gersh BJ, Holmes DR Jr, et al. Association of surgical left atrial appendage occlusion with subsequent stroke and mortality among patients undergoing cardiac surgery [J]. *JAMA*, 2018, 319(20):2116-2126.
- [27] Lakkireddy D, Turagam M, Afzal MR, et al. Left atrial appendage closure and systemic homeostasis [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(2):135-144.
- [28] 黄从新, 张澍, 黄德嘉, 等. 左心耳干预防心房颤动患者血栓栓塞事件: 目前的认识和建议—2019 [J]. *中国心脏起搏与心电生理杂志*, 2019, 33(5):385-401.
- [29] Salzberg SP, Emmert MY, Caliskan E. Surgical techniques for left atrial appendage exclusion [J]. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol*, 2017, 28(4):360-365.
- [30] Caliskan E, Sahin A, Yilmaz M, et al. Epicardial left atrial appendage AtriClip occlusion reduces the incidence of stroke in patients with atrial fibrillation undergoing cardiac surgery [J]. *Europace*, 2018, 20(7):e105-e114.
- [31] Suematsu Y, Shimizu T. Clip-and-loop technique for left atrial appendage occlusion [J]. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*, 2020, 28(9):618-620.
- [32] Branzoli S, Marini M, Guarracini F, et al. Epicardial standalone left atrial appendage clipping for prevention of ischemic stroke in patients with atrial fibrillation contraindicated for oral anticoagulation [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2020, 31(8):2187-2191.
- [33] Franciulli M, de Martino G, Librera M, et al. Stand-alone thoracoscopic left atrial appendage closure in nonvalvular atrial fibrillation patients at high bleeding risk [J]. *Innovations (Phila)*, 2020, 15(6):541-546.
- [34] di Biase L, Burkhardt JD, Mohanty P, et al. Left atrial appendage; an underrecognized trigger site of atrial fibrillation [J]. *Circulation*, 2010, 122(2):109-118.
- [35] Starck CT, Steffel J, Emmert MY, et al. Epicardial left atrial appendage clip occlusion also provides the electrical isolation of the left atrial appendage [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2012, 15(3):416-418.
- [36] Caliskan E, Eberhard M, Falk V, et al. Incidence and characteristics of left atrial appendage stumps after device-enabled epicardial closure [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2019, 29(5):663-669.
- [37] Kuzmin B, Staack T, Wippermann J, et al. Left atrial appendage occlusion device causing coronary obstruction; a word of caution [J]. *J Card Surg*, 2021, 36(2):723-725.

收稿日期:2021-05-11

(上接第 1006 页)

- [26] Sanchez R, Nadkarni A, Buck B, et al. Incidence of pacing induced cardiomyopathy in pacemaker dependent patients is lower with leadless pacemakers compared to transvenous pacemakers [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2021, 32(2):477-483.
- [27] Oliveira SF, Carvalho MM, Adão L, et al. Clinical outcomes of leadless pacemaker; a systematic review [J]. *Minerva Cardiol Angiol*, 2021, 69(3):346-357.
- [28] Clémenty N, Fernandes J, Carion PL, et al. Pacemaker complications and costs; a nationwide economic study [J]. *J Med Econ*, 2019, 22(11):1171-1178.
- [29] Pagan E, Gabriels J, Khodak A, et al. Safety of leadless pacemaker implantation in the very elderly [J]. *Heart Rhythm*, 2020, 17(12):2023-2028.
- [30] Loring Z, North R, Hellkamp AS, et al. VVI pacing with normal QRS duration and ventricular function; MOST trial findings relevant to leadless pacemakers [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2020, 43(12):1461-1466.
- [31] Garweg C, Vandenberk B, Foulon S, et al. Leadless pacemaker for patients following cardiac valve intervention [J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2020, 113(12):772-779.
- [32] Razeghi O, Stocchi M, Lee A, et al. Tracking the motion of intracardiac structures aids the development of future leadless pacing systems [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2020, 31(9):2431-2439.
- [33] Nguyen T, Jarrett-Smith L, Rinaldi CA. Ventricular tachycardia secondary to leadless pacemaker implantation in the setting of myocardial ischemia [J]. *J Electrocardiol*, 2020, 62:204-206.
- [34] Gumireddy SR, Katayama M, Chaliki HP. A case of severe mitral valve regurgitation in a patient with leadless pacemaker [J]. *Case Rep Cardiol*, 2020, 2020:5389279.
- [35] Patel S, Siddiqui ST. Leadless pacemaker insertion complicated by right ventricular pseudoaneurysm [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(11):3259.
- [36] Bereuter L, Gysin M, Kueffer T, et al. Leadless dual-chamber pacing; a novel communication method for wireless pacemaker synchronization [J]. *JACC Basic Transl Sci*, 2018, 3(6):813-823.

收稿日期:2021-05-10