

·综述 General review·

室间隔缺损经导管介入封堵术并发症及相关研究进展

赵文焯, 李 奋

【摘要】 室间隔缺损(VSD)是最常见先天性心脏病之一。VSD 经导管介入封堵术在我国已得到广泛应用,但仍存在心律失常、主动脉瓣反流和房室瓣反流等术后相关并发症。研究这些并发症相关危险因素具有重要临床防范意义。随着封堵器类型及材料改进,手术方式不断进步,术后相关并发症问题将会得到解决。该文就 VSD 介入封堵术后相关并发症和最新研究进展作一综述。

【关键词】 室间隔缺损; 儿童; 间隔封堵器

中图分类号:R541.1 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2019)-012-1206-05

Transcatheter interventional closure for ventricular septal defect: research progress in its complications and the related risk factors ZHAO Wenchuo, LI Fen. Department of Cardiology, Shanghai Children's Medical Center, School of Medicine, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200127, China

Corresponding author: LI Fen, E-mail: lifen_88@aliyun.com

【Abstract】 Ventricular septal defect (VSD) is one of the most common congenital heart diseases. Transcatheter interventional closure has already been widely employed in treating VSD in China. Unfortunately, transcatheter interventional closure carries some postoperative complications, such as arrhythmia, aortic regurgitation, atrioventricular regurgitation, etc. It is of great clinical significance to study these complications and their related risk factors. Undoubtedly, along with the improvements of the design of occluders together with their materials and the continuous optimization of surgical procedures, the clinical issues about the complications after transcatheter interventional closure will be solved for certain. This paper aims to make a comprehensive review on the latest research progress in the complications and their related risk factors of transcatheter interventional closure treatment for VSD. (J Intervent Radiol, 2019, 28: 1206-1210)

【Key words】 ventricular septal defect; child; septal defect occluder

室间隔缺损(ventricular septal defect, VSD)是心室间隔部分因组织缺损引起心室间血液交通的一种先天性心脏病。作为最常见先天性心脏病之一,其在所有先天性心脏病中约占 40%^[1]。膜周部室间隔缺损(perimembranous ventricular septal defect, pmVSD)是 VSD 中最常见类型,约占所有 VSD 的 80%^[2]。VSD 介入治疗已探索近 30 年,在处理相对棘手的肌部室间隔缺损方面有所建树^[3]。自 2002 年 Amplatzer 膜性 VSD 封堵器(AMVSD,美国 AGA 医药公司)临床应用以来,其通过导管介入封堵 VSD,具有血管损伤小、操作方法简便等特点,开始在越来越多临床中心得到应用^[4]。

与经胸外科手术相比,介入封堵虽带来诸如更短住院天数、更小创伤和减少体外循环相关并发症等收益,但也出现术后最严重并发症心律失常。心律失常尤其是完全性房室传导阻滞(complete atrioventricular block, CAVB),使膜性 VSD 封堵器临床应用大为受限^[5]。封堵器材虽经不断更新,但介入术后患者仍或多或少伴发不同程度心律失常^[6-9]。即使是经胸或经腋下微创封堵术,减少了对患者心肺功能的损伤,也不可避免术后残余分流、心律失常、瓣膜损伤等相关并发症^[10-11]。一些迟发型 CAVB 甚至威胁生命,而完全性左束支传导阻滞(complete left bundle branch block, CLBBB)所致心室收缩不同步有一定概率影响患者心功能。

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2019.012.020

作者单位: 200127 上海交通大学附属上海儿童医学中心心血管内科

通信作者: 李 奋 E-mail: lifen_88@aliyun.com

1 VSD 封堵器发展简史

1988 年,Lock 等^[3]率先报道采用 Rashkind 双

面伞经皮介入封堵 6 例(7 处)VSD 患者。1990 年,任森根等^[12]完成国内第一台 Rashkind 双面伞介入封堵 VSD 术。2002 年,AMVSD 开始应用于临床,初步报道效果良好^[13]。但随着术后随访时间延长,AMVSD 出现Ⅲ度房室传导阻滞概率较高,因此并未通过美国食品药品监督管理局(FDA)批准,临床应用受限^[14-16]。2001 年,国产 pmVSD 封堵器问世,并先后研制出对称型、小腰大边型、零边型等多种类型,临床应用范围扩大,房室传导阻滞等严重并发症发生率进一步降低,主要并发症甚至低于外科手术,在符合相关适应证患者中已逐步成为传统外科手术的替代方案^[17-19]。

2 VSD 经皮导管介入治疗相关并发症

2.1 心律失常

AMVSD 为一腰高 1.5 mm、自膨性镍钛合金网双面伞状装置。偏心型 AMVSD 右侧盘片比腰部直径大 4 mm,左侧盘片靠近主动脉侧边缘仅为 0.5 mm,相对侧为 5.5 mm^[13]。Butera 等^[20]2006 年报道一项经皮介入闭合治疗 430 例 pmVSD 患者(含成人和肌部室缺样本)多中心研究,术后发生 CAVB 16 例(3.7%),其中早发型 CAVB 一半和迟发型 CAVB 均安装了永久性心脏起搏器(permanent pacemaker, PPM),单因素分析发现封堵器类型和 VSD 位置是 CAVB 相关危险因素。

我国 2001 年开始应用自行研制的 VSD 封堵器,器型与 AMVSD 相似,但腰高延长至 3~5 mm。对称型封堵器双盘直径比腰部直径长 4 mm,释放后无需调整方向;偏心型封堵器右盘直径比腰部直径长 3~4 mm,左室侧盘直径比腰部直径长 6~8 mm,上端(主动脉侧)仅有 0~1 mm 边缘;小腰大边形封堵器左室面大,比腰部直径长 8 mm,右室侧盘仍比腰部直径长 4 mm,可将多个出口完全覆盖^[21]。Li 等^[22]报道对 553 例患者应用对称型 AMVSD 或国产封堵器,术后发生 CAVB 4 例(0.72%),未安装 PPM;发现术后早期、持续性和晚期心律失常与封堵器过大有关系,术前存在心律失常和缺损距三尖瓣距离近是术后持续性心律失常的危险因素。刘璟等^[18]报道 2001 年至 2008 年共植入封堵器 583 枚,发生 CAVB 11 例,其中 9 例恢复,2 例安装 PPM。Yang 等^[7]报道 2003 年至 2007 年共随访 228 例,其中有 CAVB 3 例,CLBBB 3 例,术后心脏传导阻滞危险因素主要与缺损距主动脉瓣越远、距三尖瓣越近、封堵器直径与室缺大小比值较大相关,文中也提到术后心脏

传导阻滞形成越早越难恢复。高磊等^[23]报道 2004 年至 2012 年共成功封堵 660 例 VSD,发生 CAVB 4 例,CLBBB 5 例,均好转。郑鸿雁等^[24]报道 2002 年至 2010 年 1 071 例术后中远期心律失常情况,早期严重心律失常治疗后均好转;有 4 例迟发型 CAVB 植入 PPM,1 例 CLBBB 最终因心功能衰竭死亡;手术年龄大是术后中远期心律失常发生的保护因素,术后中远期心律失常发生的危险因素主要有封堵器大、手术距今时间长以及封堵器类型为小腰大边型。Bai 等^[9]报道 2001 年至 2014 年共随访 1 046 例(含成人样本),发生 CAVB 17 例,其中 8 例安装 PPM,未发生 CLBBB;CAVB 危险因素为年龄 >18 岁,迟发型 CAVB 更难恢复。Zhao 等^[25]报道 2010 年至 2015 年共随访 395 例患儿,术后出现暂时性 CAVB 1 例,CLBBB 11 例;偏心型封堵器、封堵器大和曝光时间长是术后心律失常的危险因素。总之,封堵器类型(小腰大边、偏心)、封堵器过大、缺损距主动脉瓣远或距三尖瓣近,导致房室交界区更易被刺激,从而引起传导阻滞,这从临床实践角度也是可以理解的。

儿童相比于成人,存在生长发育相关问题,其传导系统更易受损,封堵术后需要更加长程、密切随访。由于可能发生一些迟发性传导阻滞,这一随访时限甚至有必要延长至成人期。目前对于这一长程随访结果在儿童方面还缺乏大样本量、多中心循证医学资料分析,在相关专家共识制定方面,还需要更多证据支持。

2.2 主动脉瓣反流

介入操作过程中封堵器夹住瓣膜或封堵器卡在瓣膜口,使得瓣膜无法正常关闭,会造成术后主动脉瓣反流(aortic regurgitation, AR)。AMVSD 由于呈偏心形状,不易引起 AR^[26]。国产封堵器在封堵时需要注意封堵器释放位置,不宜在主动脉瓣上释放封堵器,安置封堵器后需在心脏超声和左心室造影下观察,确认封堵器安置位置恰当^[27]。

VSD 术前患者常伴发主动脉瓣脱垂(aortic valve prolapse, AVP),其中动脉干下型 VSD 因右冠状瓣叶缺乏纤维支持,伴发 AVP 较多见,占 69%~79%^[28-29]。1.5%~10.6% pmVSD 伴有 AVP 或 AR,且出现反流和反流加重程度随时间逐渐进展,是一种进行性病变^[30-31]。2011 年《常见先天性心脏病介入治疗中国专家共识》中仅将无主动脉右冠瓣脱入 VSD 及 AR 纳入 pmVSD 明确适应证中^[27],使 VSD 伴 AVP 和 AR 介入治疗受限。2015 年,我国《儿童

常见先天性心脏病介入治疗专家共识》中将轻度 AVP 但无明显 AR 纳入 II a 类适应证^[32]。然而有研究认为术前伴发的 AR 在放置封堵器后能够减轻,可能的原因是封堵器上缘将主动脉瓣托起,36.5% AVP 会得到改善^[33]。本中心总结 40 例 pmVSD 伴发右冠瓣膨出患儿,介入封堵术后无明显不良并发症^[34]。陈智等^[35]总结 51 例 VSD 伴 AVP 患者,成功封堵 39 例,无严重并发症。目前关于 pmVSD 伴发 AVP 或 AR 相关研究报道较少,亟待更多研究明确此类 VSD 是否存在介入治疗机会。

2.3 房室瓣反流

由于特殊位置关系,pmVSD 以中心纤维体为边缘。从右心室面观察,pmVSD 位于三尖瓣隔瓣与室间隔附着处,且被三尖瓣隔瓣分为上下两部分。尤其是隔瓣后型 VSD,同右房室瓣关系密切,置入封堵器后或可引起明显的房室瓣反流。

在未处理的 pmVSD 中也会发生三尖瓣反流,主要原因有:①VSD 产生左向右分流,右心负荷增加,进一步进展导致肺动脉高压,三尖瓣反流量增加;②三尖瓣瓣膜或腱索与 pmVSD 周围组织粘连,形成不规则通道,使分流束直接进入右心房;③通过缺损的高压血流直接冲击三尖瓣和腱索,血流在此发生反射,加重反流;④pmVSD 中三尖瓣隔瓣发育可能存在异常,发育短小或隔瓣裂,三尖瓣前瓣增厚、冗长,导致部分分流直接入右心房^[36]。因此,后两种情况在 VSD 封堵术后会较前减轻。付武良等^[37]报道认为介入封堵术后,平均三尖瓣反流能够得到减轻,且随时间延长有进一步获益。有报道甚至认为,介入治疗 pmVSD 伴中重度三尖瓣反流患儿优于传统胸外科手术治疗^[38]。

经皮介入封堵 pmVSD 术后新发三尖瓣反流的危险因素仍有异议。手术时导管、导丝损伤腱索等与手术操作相关因素是公认的危险因素^[37]。张玉顺等^[36]分析认为封堵器磨损腱索及封堵器本身存在设计缺陷,均为术后新发三尖瓣反流的危险因素。马进举等^[39]分析 332 例患儿,认为术后三尖瓣反流与封堵器类型无关,反流程度不随时间推移加重。万浩等^[40]分析认为,术后记忆合金重塑过程可逐渐减轻三尖瓣反流等并发症。随着近年研究报道增多,迟发性右房室瓣反流引起临床关注,术后三尖瓣反流发生的危险因素研究成为新热点。

2.4 其它相关并发症

经皮导管介入封堵 VSD 还存在其它一些并发症,如封堵器移位、脱落、残余分流、溶血、感染性心

内膜炎、血管相关并发症等。准确测量缺损大小、选择合适封堵器、合理放置封堵器,有助于避免或减少发生较大的移位和残余分流,术中熟练操作并注意无菌观念是减少和预防此类并发症的有效方法^[27]。

3 经皮导管介入治疗 VSD 研究进展

3.1 VSD 封堵器研究进展

封堵器器型及其材料在不断改进中。对一些细长小型 VSD,可选用 II 型 Amplatzer 动脉导管封堵器(ADO-II)进行封堵^[41]。第二代 AMVSD 经过增长腰高、左盘面向上弯曲等设计,分为偏心型和对称型两种,能够在降低 75%径向力、45%钳夹力的同时提高装置稳定性,在近期随访中取得了令人满意的初步结果^[42-43],但其安全性需要更长时间临床随访。

封堵器材料已从不可降解材料(如目前市场上常见的镍钛合金)逐渐向部分可降解材料发展。Gareth 等^[44]2010 年随访 10 例接受新型部分可降解封堵器(BioSTAR)封堵 VSD 患儿,随访 6 个月显示安全、稳定。目前一些完全可降解类封堵器仍在研制中,具体可分为可降解类聚合物及可降解类金属^[45],但大多处于体外或动物实验阶段^[46-47]。2016 年,一款用于 VSD/卵圆孔未闭的 Carag 生物可吸收封堵器(Carag bioresorbable septal occlude,CBSO)完成 I 期临床试验研究,随后投入欧洲市场。这是完全可降解类封堵器领域首次突破^[48],其聚合物材料被及时降解取代,具有良好的生物相容性^[47]。2018 年 2 月,张凤文等^[49]报道完成我国自主研发的完全可降解 VSD 封堵器(上海形状记忆合金材料公司)治疗 2 例,封堵器骨架结构由可降解高分子聚合材料聚对二氧环己酮(polydioxanone,PDO)单丝编织,阻流膜结构由左旋聚乳酸(poly-L-lactic acid, PLLA)无纺布制成,随访 6 个月状态良好。期待随后多中心临床试验研究和远期随访结果,能从根源上解决镍钛合金长期机械压迫引起的相关并发症、金属过敏等问题。

3.2 其它方式引导下 VSD 介入封堵

介入治疗封堵 VSD 一直存在电离辐射对患者及医护人员产生一定程度不良影响的问题,且常有小部分患者发生对比剂过敏等不良事件。为避免放射线 and 对比剂损伤,刘垚等^[50]对比分析 42 例单纯超声引导组和 100 例传统经皮导管介入组在手术耗时、封堵器直径、并发症、耗材费等方面差异,结果显示单纯超声引导组各指标均优于经皮导管介入组,应用前景广阔。Wang 等^[51]报道采用单纯超声

导引下介入封堵术治疗 118 例 pmVSD<8 mm 患儿,平均随访 3.4 年,结果显示预后与传统经皮导管介入组类似。Ratnayaka 等^[52]报道实时 MRI 下行经导管腔肺分流的动物试验,结果良好。随着机器人辅助血管介入技术发展^[53],也许在不久的将来,介入治疗过程中完全避免电离辐射并非空想。

综上所述,经皮导管介入封堵术是一种微创、安全有效地治疗 pmVSD 的方法。但应基于选择合适适应证患者、术者操作规范并有相当操作经验,术后长期、密切随访经胸超声心动图和心电图,及时处理相关并发症。随着封堵器类型及材料改进,手术方式不断进步,期待能够从源头上解决经皮导管介入封堵 pmVSD 术后相关并发症问题。

[参 考 文 献]

- [1] Hoffman JI. Incidence of congenital heart disease: I . postnatal incidence[J]. *Pediatr Cardiol*, 1995, 16: 103-113.
- [2] Hoffman JI, Kaplan S, Liberthson RR. Prevalence of congenital heart disease[J]. *Am Heart J*, 2004, 147: 425-439.
- [3] Lock JE, Block PC, McKay RG, et al. Transcatheter closure of ventricular septal defects[J]. *Circulation*, 1988, 78: 361-368.
- [4] Hijazi ZM, Hakim F, Haweleh AA, et al. Catheter closure of perimembranous ventricular septal defects using the new Amplatzer membranous VSD occluder: initial clinical experience [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2002, 56: 508-515.
- [5] Fischer G, Apostolopoulou SC, Rammos S, et al. The Amplatzer membranous VSD occluder and the vulnerability of the atrioventricular conduction system[J]. *Cardiol Young*, 2007, 17: 499-504.
- [6] Yang J, Yang L, Wan Y, et al. Transcatheter device closure of perimembranous ventricular septal defects: mid-term outcomes [J]. *Eur Heart J*, 2010, 31: 2238-2245.
- [7] Yang R, Kong XQ, Sheng YH, et al. Risk factors and outcomes of post-procedure heart blocks after transcatheter device closure of perimembranous ventricular septal defect[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2012, 5: 422-427.
- [8] Predescu D, Chaturvedi RR, Friedberg MK, et al. Complete heart block associated with device closure of perimembranous ventricular septal defects [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2008, 136: 1223-1228.
- [9] Bai Y, Xu XD, Li CY, et al. Complete atrioventricular block after percutaneous device closure of perimembranous ventricular septal defect: a single-center experience on 1046 cases [J]. *Heart Rhythm*, 2015, 12: 2132-2140.
- [10] Liu H, Lu FX, Zhou J, et al. Minimally invasive periventricular versus open surgical ventricular septal defect closure in infants and children: a randomised clinical trial[J]. *Heart*, 2018, 104: 2035-2043.
- [11] Liang W, Zhou S, Fan T, et al. Midterm results of transaxillary occluder device closure of perimembranous ventricular septal defect guided solely by transesophageal echocardiography[J]. *Heart Surgery Forum*, 2019, 22: E112-E118.
- [12] 任森根,鲁金祥. 经导管关闭心室间隔缺损[J]. *中华心血管病杂志*, 1991, 19: 388-389.
- [13] Thanopoulos BD, Tsaousis GS, Karanasios E, et al. Transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defects with the amplatzer asymmetric ventricular septal defect occluder: preliminary experience in children[J]. *Heart*, 2003, 89: 918-922.
- [14] Butera G, Carminati M, Chessa M, et al. Transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defects: early and long-term results[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50: 1189-1195.
- [15] Carminati M, Butera G, Chessa M, et al. Transcatheter closure of congenital ventricular septal defects: results of the European Registry[J]. *Eur Heart J*, 2007, 28: 2361-2368.
- [16] Holzer R, de Giovanni J, Walsh KP, et al. Transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defects using the amplatzer membranous VSD occluder: immediate and midterm results of an international registry[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2006, 68: 620-628.
- [17] Yang J, Yang L, Yu S, et al. Transcatheter versus surgical closure of perimembranous ventricular septal defects in children: a randomized controlled trial[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 63: 1159-1168.
- [18] 刘 璟,游晓华,赵仙先,等. 国产封堵器治疗先天性膜周部室间隔缺损的疗效评估[J]. *中华心血管病杂志*, 2010, 38: 321-325.
- [19] Mandal KD, Su D, Pang Y. Long-term outcome of transcatheter device closure of perimembranous ventricular septal defects [J]. *Front Pediatr*, 2018, 6: 128.
- [20] Butera G, Massimo C, Mario C. Late complete atriovenous block after percutaneous closure of a perimembranous ventricular septal defect[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2006, 67: 938-941.
- [21] 章 伟,陈 亮,秦永文. 室间隔缺损封堵器的研制和临床应用进展[J]. *心血管病学进展*, 2015, 36: 238-241.
- [22] Li Y, Hua Y, Fang J, et al. Identification of risk factors for arrhythmia post transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defect[J]. *J Invasive Cardiol*, 2015, 27: E158-E166.
- [23] 高 磊,刘 君,何小梅,等. 国产器材封堵儿童室间隔缺损 682 例并发症分析[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2013, 28: 989-992.
- [24] 郑鸿雁,张智伟,李渝芬,等. 儿童室间隔缺损封堵术后心律失常中远期随访结果分析[J]. *临床儿科杂志*, 2014, 32: 601-606.
- [25] Zhao LJ, Han B, Zhang JJ, et al. Postprocedural outcomes and risk factors for arrhythmias following transcatheter closure of congenital perimembranous ventricular septal defect: a single-center retrospective study[J]. *Chin Med J*, 2017, 130: 516-521.
- [26] 左 健,蔡振杰,张卫达,等. 应用 Amplatzer 室间隔缺损封堵器经导管关闭膜周部室间隔缺损 [J]. *第四军医大学学报*,

- 2002,23: 封 3.
- [27] 秦永文.常见先天性心脏病介入治疗中国专家共识 二、室间隔缺损介入治疗[J]. 介入放射学杂志, 2011, 20: 87-92.
- [28] Tohyama K, Satomi G, Momma K. Aortic valve prolapse and aortic regurgitation associated with subpulmonic ventricular septal defect[J]. Am J Cardiol, 1997, 79: 1285-1289.
- [29] 李 虹, 梁 平, 伦建成, 等. 动脉干下型室间隔缺损继发主动脉瓣病变的长期随访[J]. 中华儿科杂志, 2001, 39: 592-595.
- [30] Soufflet V, Van de Bruene A, Troost E, et al. Behavior of unrepaired perimembranous ventricular septal defect in young adults[J]. Am J Cardiol, 2010, 105: 404-407.
- [31] Padiyath A, Makil ES, Braley KT, et al. Frequency of development of aortic valve disease in unrepaired perimembranous ventricular septal defects[J]. Am J Cardiol, 2017, 119: 1670-1674.
- [32] 中国医师协会儿科医师分会先天性心脏病专家委员会, 中华医学会儿科学分会心血管学组,《中华儿科杂志》编辑委员会. 儿童常见先天性心脏病介入治疗专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2015, 53:17-24.
- [33] Chen GL, Li HT, Li HR, et al. Transcatheter closure of ventricular septal defect in patients with aortic valve prolapse and mild aortic regurgitation: feasibility and preliminary outcome [J]. Asian Pac J Trop Med, 2015, 8: 315-318.
- [34] Ji W, Zhang ZF, Zhao WC, et al. Clinical study of transcatheter occlusion in treating ventricular septal defect combined with right coronary cusp bulge[J]. J Intervent Med, 2018, 1: 205-211.
- [35] 陈 智, 杨 舟, 肖云彬, 等. 儿童室间隔缺损并主动脉瓣脱垂 51 例精准介入治疗的效果[J]. 精准医学杂志, 2018, 33: 9-13.
- [36] 张玉顺, 代政学, 李 寰, 等. 室间隔缺损介入治疗后并发三尖瓣反流原因的探讨[J]. 中华心血管病杂志, 2005, 33: 166-168.
- [37] 付武良, 程应樟, 李运德, 等. 室间隔缺损封堵术对三尖瓣反流的影响[J]. 临床心血管病杂志, 2011, 27: 332-334.
- [38] 尚小珂, 柳 梅, 张刚成, 等. 膜周型室间隔缺损并发中、重度三尖瓣反流时行介入封堵的可行性分析[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2013, 21: 212-215.
- [39] 马进举, 姚 青, 宋治远, 等. 膜周部室间隔缺损经导管封堵术后三尖瓣反流的发生与转归[J]. 第三军医大学学报, 2013, 35:1294-1296.
- [40] 万 浩, 段书华, 周彩萍, 等. 膜周部室间隔缺损微创封堵术后新发三尖瓣反流程度变化的原因分析[J]. 中国医疗设备, 2016, 31:125-127.
- [41] Esmaeili A, Behnke - Hall K, Schrewe R, et al. Percutaneous closure of perimembranous ventricular septal defects utilizing almost ideal Amplatzer Duct Occluder II : Why limitation in sizes?[J]. Congenit Heart Dis, 2019, 14: 389-395.
- [42] Tzikas A, Ibrahim R, Velasco-Sanchez D, et al. T Transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defect with the Amplatzer® membranous VSD occluder 2: initial world experience and one-year follow-up[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2014, 83: 571-580.
- [43] Velasco-Sanchez D, Tzikas A, Ibrahim R, et al. Transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defects: initial human experience with the Amplatzer® membranous VSD occluder 2[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2013, 82: 474-479.
- [44] Morgan G, Lee KJ, Chaturvedi R, et al. A biodegradable device (BioSTAR) for atrial septal defect closure in children[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2010, 76: 241-245.
- [45] Levi DS, Cheng AL. Biodegradable Implants[M]. London:Springer, 2014: 1219-1235.
- [46] Huang XM, Zhu YF, Cao J, et al. Development and preclinical evaluation of a biodegradable ventricular septal defect occluder [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2013, 81: 324-330.
- [47] Sigler M, Soderberg B, Schmitt B, et al. Carag bioresorbable septal occluder(CBSO): histopathology of experimental implants [J]. EuroIntervention, 2018, 13: 1655-1661.
- [48] Soderberg B, Vaskelyte L, Gafoor S, et al. TCT-826 prospective single center first in human(FIH) clinical trial to evaluate the safety and effectiveness of a septal occluder with bioresorbable framework in patients with clinically significant atrial septum defect(ASD) or patent foramen ovale(PFO)[J]. J Am Coll Cardiol, 2016, 68: B334.
- [49] 张凤文, 孙 毅, 谢涌泉, 等. 完全可降解封堵器治疗膜周部室间隔缺损两例[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2018, 25: 98-100.
- [50] 刘 垚, 郭改丽, 欧阳文斌, 等. 单纯超声心动图引导下经皮室间隔缺损封堵术的疗效和安全性[J]. 中华医学杂志, 2017, 97:1222-1226.
- [51] Wang S, Ouyang W, Liu Y, et al. Transcatheter perimembranous ventricular septal defect closure under transthoracic echocardiographic guidance without fluoroscopy[J]. J Thorac Dis, 2018, 10: 5222-5231.
- [52] Ratnayaka K, Rogers T, Schenke WH, et al. Magnetic resonance imaging - guided transcatheter cavopulmonary shunt [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2016, 9: 959-970.
- [53] 陈 政, 沈 毓, 陆清声. 机器人辅助血管介入治疗研究进展 [J]. 介入放射学杂志, 2018, 27: 1-4.

(收稿日期:2019-04-03)

(本文编辑:边 伟)