

超声引导下经胸或经皮封堵治疗室间隔缺损的进展

高植^{1,2}, 李红昕^{1,2*}

¹山东大学齐鲁医学院, 山东 济南

²山东第一医科大学第一附属医院(山东省千佛山医院)心脏外科, 山东 济南

收稿日期: 2024年3月19日; 录用日期: 2024年4月13日; 发布日期: 2024年4月19日

摘要

室间隔缺损(Ventricular septal defect, VSD)是一种常见的先天性心脏病, 约占全部先天性心脏病的20%~30%。根据解剖学位置, VSD可分为膜周部、双动脉干下型和肌部。近年来, 经食道超声心动图(Transesophageal echocardiography, TEE)引导下经皮或经胸封堵治疗VSD被广泛应用, 因其创伤小、手术时间短、操作简便、成功率高、并发症少等优点, 目前已成为国内微创治疗VSD的主要手段。除了TEE引导下经股动脉途径的经皮介入, TEE引导下经胸途径又根据VSD病理解剖特点, 分为经右胸、左胸和胸骨下段小切口三种途径。如何根据VSD解剖特点, 在TEE引导下选择不同的封堵路径和封堵器, 达到更安全、可靠的治疗效果, 同时减少手术并发症以及提高手术成功率, 正是本文综述的目的。

关键词

室间隔缺损, 微创, 介入治疗

Progress in Transthoracic or Percutaneous Device Closure of Ventricular Septal Defect Guided by Transesophageal Echocardiography

Zhi Gao^{1,2}, Hongxin Li^{1,2*}

¹Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan Shandong

²Department of Cardiology Surgery, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University (Shandong Provincial Qianfoshan Hospital), Jinan Shandong

*通讯作者。

Abstract

The ventricular septal defect (VSD) is a prevalent congenital heart disease, accounting for approximately 20%~30% of all cases of congenital heart disease. Based on anatomical location, VSD can be categorized into three types: perimembranous, subarterial, and muscular. In recent years, transesophageal echocardiography (TEE) guided percutaneous or transthoracic small incision closure therapy for VSD has been widely promoted and applied. Due to its advantages of small trauma, short surgical time, simple operation, high success rate, and few complications, it has become a widely used treatment for VSD in China. The purpose of this article is to review how to select different occlusion pathways and devices under TEE guidance based on the anatomical characteristics of VSD, in order to achieve safer and more reliable treatment outcomes, reduce surgical complications, and improve surgical success rates.

Keywords

Ventricular Septal Defect, Minimal Invasive, Interventional Treatment

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

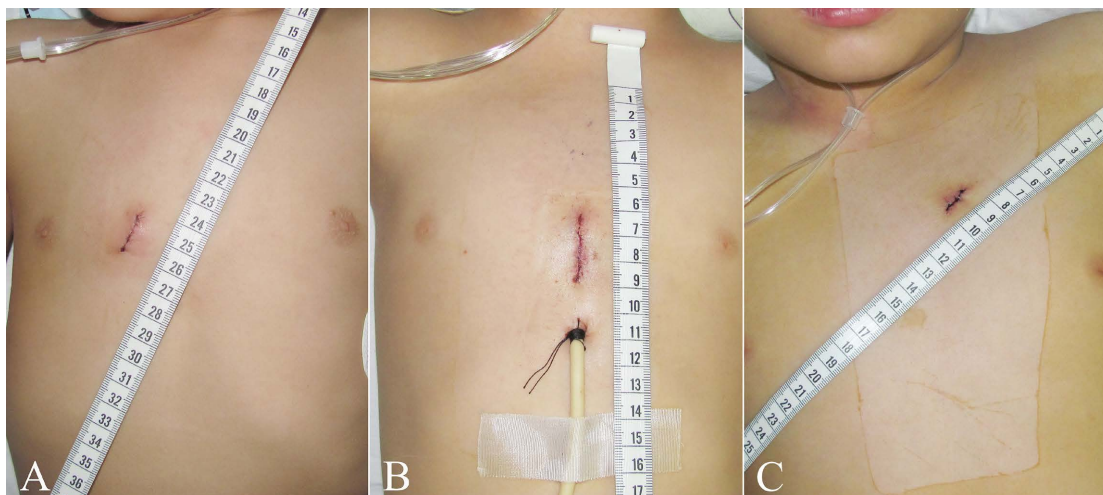


Open Access

1. 引言

室间隔缺损(Ventricular septal defect, VSD)是一种常见的先天性心脏病, 约占全部先天性心脏病的20%~30% [1]。根据解剖学位置, VSD 可分为膜周部、双动脉干下型和肌部[2]。1988年, Lock J.E.等在全球率先开展数字减影血管造影(Digital Subtraction Angiography, DSA)引导下 VSD 介入封堵术[3]。上世纪九十年代, 随着 Amplatzer 封堵器的问世[4], DSA 引导下的 VSD 介入封堵治疗逐渐风靡全球, 取代外科手术, 成为 VSD 的首选治疗并被广泛开展。国内 Yang 等人[5]研究显示 98.1% (n = 848)的患者于 DSA 下经皮介入封堵成功, 随访期内大于 85%的患者免于不良事件。但 DSA 引导下的经皮介入治疗, 由于受操作距离长, 导丝过 VSD 难以调控; 不能垂直 VSD 平面卡位; 偏心伞锚定不精准; 推拉测试力度不够等原因影响, 存在适应症受限, 容易选伞过大; 偏心伞方位难调, 或不敢用; 多发膜周部 VSD 封堵残余漏高, 难以植入双封堵器; 心尖部 VSD 轨道难建; 多发肌部 VSD 多伞难植; 双动脉下 VSD 难以介入封堵等问题。有封堵器脱落、房室传导阻滞和主动脉瓣损伤等并发症[5]。对于医患双方, 特别是儿童, 接触 X 线和造影剂也是该术式的弊端之一[6]。

Amin 等人于 1998 年首次报道在心外膜超声引导下经胸骨正中封堵治疗肌部 VSD [7], 几年后, 他们又成功开展了胸骨正中 - 经右心室途径的膜周部 VSD 封堵手术, 手术结果令人满意[8]。从此之后, VSD 经胸介入封堵技术不断被改进、推广和应用[9] [10] [11] [12]。除了 TEE 引导下经股动脉途径的经皮介入, 经胸途径根据 VSD 病理解剖特点可分为经右胸、左胸和胸骨下段小切口三种途径(图 1)。尽管外科修补术仍是治疗 VSD 的金标准, 但由于必须在体外循环下操作, 存在创伤大、痛感强、切口不美观、并发症多、住院时间长等缺点, VSD 的微创介入治疗逐渐成为主流, 且取得良好的治疗效果。



(A) 经右胸途径; (B) 经胸骨下段途径; (C) 经左胸途径。

Figure 1. Surface incision of the right chest, lower sternum and left chest

图 1. 经右胸、胸骨下段和左胸三种途径体表切口

2. 超声引导下经胸或经皮封堵室间隔缺损现状

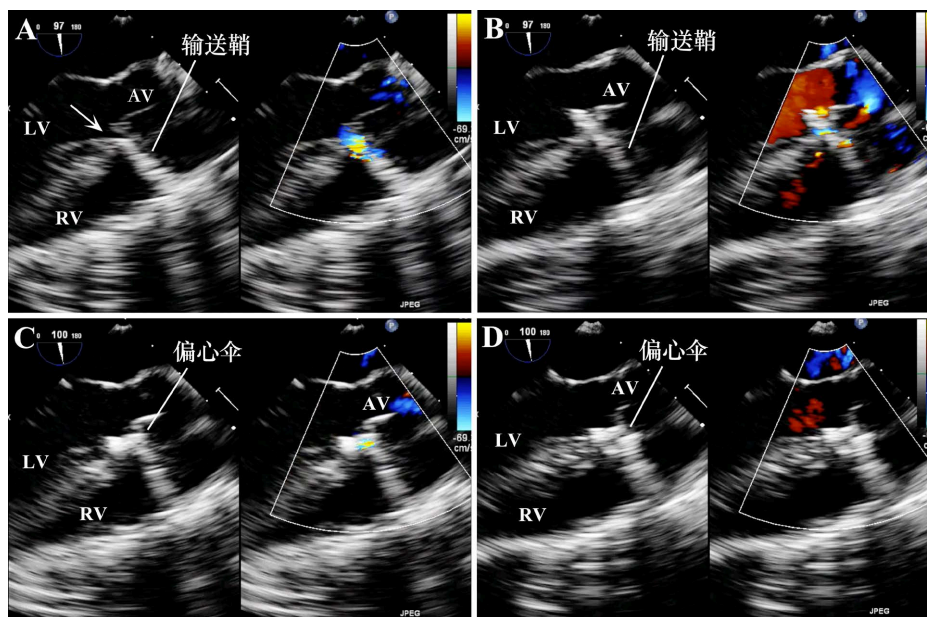
2.1. 胸骨下段小切口途径

经胸骨下段或剑突下小切口途径封堵 VSD 是最早开展的经胸 VSD 封堵技术[13], 应用广泛, 主要用于膜周部和肌部 VSD。

通过胸骨正中下段小切口进行[9] [10] [11] [12], 在儿童体表切口长约 2~3 cm, 成人约 4~5 cm, 术中通过剑突下(婴幼儿)或劈开下段 1/4~1/3 胸骨, 到达心包, 剪开心包并悬吊。在 TEE 引导下, 于右心室前壁按压, 选择合适穿刺点, 并缝置双层荷包。穿刺荷包后, 方法一(导丝法): 插入短导丝, 在 TEE 引导下, 瞄准 VSD 过导丝, 导丝穿过 VSD 建立轨道, 沿轨道送入相应型号的短输送鞘管, 经 VSD 到达左心室, 停留。选择合适的 VSD 封堵器, 纳入同型号装载鞘管, 衔接并推入输送鞘管, 将封堵器推送至左心室, 依次吐出左右伞盘, 卡位 VSD [9] [10] [11] [12]。方法二(直接输送法): 尖刀穿刺右心室荷包, 直接插入携带所选 VSD 封堵器的短输送鞘管, 在 TEE 引导下, 操纵输送鞘尖端瞄准并垂直室间隔平面通过 VSD, 进入左心室, 封堵器一步到位, 不需要导丝和建立轨道, 然后进行封堵器的吐出、卡位(图 2)。偏心伞可以精准调控, 使其无边缘朝向主动脉瓣[14]。方法三(中空探条法): 用于小、多发或通道状膜周部 VSD 或心尖部 VSD。该类 VSD 导丝难以通过, 先经右心室荷包插入特制直或“J”形中空探条(图 3(A)), 在 TEE 引导下, 用探条头端瞄准或通过 VSD 开口, 由探条外孔插入导丝, 经 VSD 入左心室, 建立输送轨道(图 3(B))。然后沿导丝推入输送鞘管, 到达左心室, 衔接装载鞘管, 送入所选 VSD 封堵器, 完成封堵[14]。后两种方法, 利用带伞短输送鞘和中空探条显影好, 操纵灵活, 更容易过 VSD, 完成介入封堵。

该途径的最大优势就是输送系统垂直 VSD 操作, 封堵器平行 VSD 卡位, 成功率高, 封堵器卡位精准, 适用范围更广, 几乎不受年龄限制[14] [15] [16]。尤其适合于大型膜周部和心尖部 VSD、主动脉瓣侧边距短、有轻度主动脉瓣脱垂或骑跨、多发膜周部或肌部室缺、需应用偏心或多个封堵器(图 4)的患者[14] [15] [16]。国内吕蓓等人回顾性分析 691 例(95.05%)成功接受 VSD 封堵的患者, 随访时间 3~13 年中无死亡病例且术后残余分流的发生率较低, 证明经胸骨下端小切口途径治疗 VSD 的远期疗效良好[17]。值得注意的是, 经胸骨下端入路虽然皮肤切口较小, 但胸骨部分切开的长度通常比皮肤切口的长, 可能伴随出血、疼痛、疤痕和胸骨畸形, 需放置心包内引流管。在成人和较大儿童, 右心室游离壁显露差,

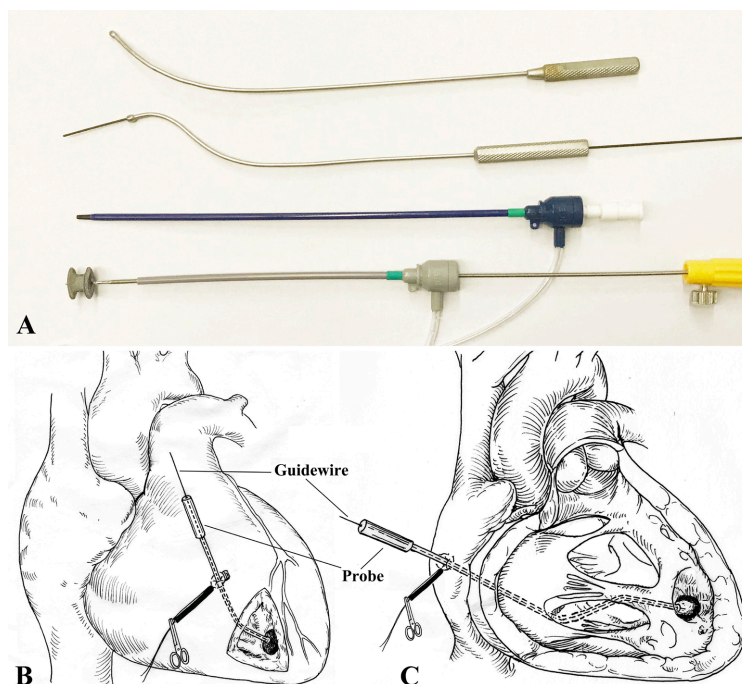
操作困难, 切口和胸骨劈开也相应扩大, 术毕需用钢丝固定胸骨[18]。



(A) 装有封堵器的输送鞘对准 VSD (箭头所指为 VSD); (B) 输送鞘垂直穿过缺损处; (C) 释放出左侧偏心封堵器伞盘, 无边缘朝向 AV; (D) 释放出右侧封堵器伞盘。(LV: 左心室; RV: 右心室; AV: 主动脉瓣)。

Figure 2. Using the “direct delivery system” to block VSD

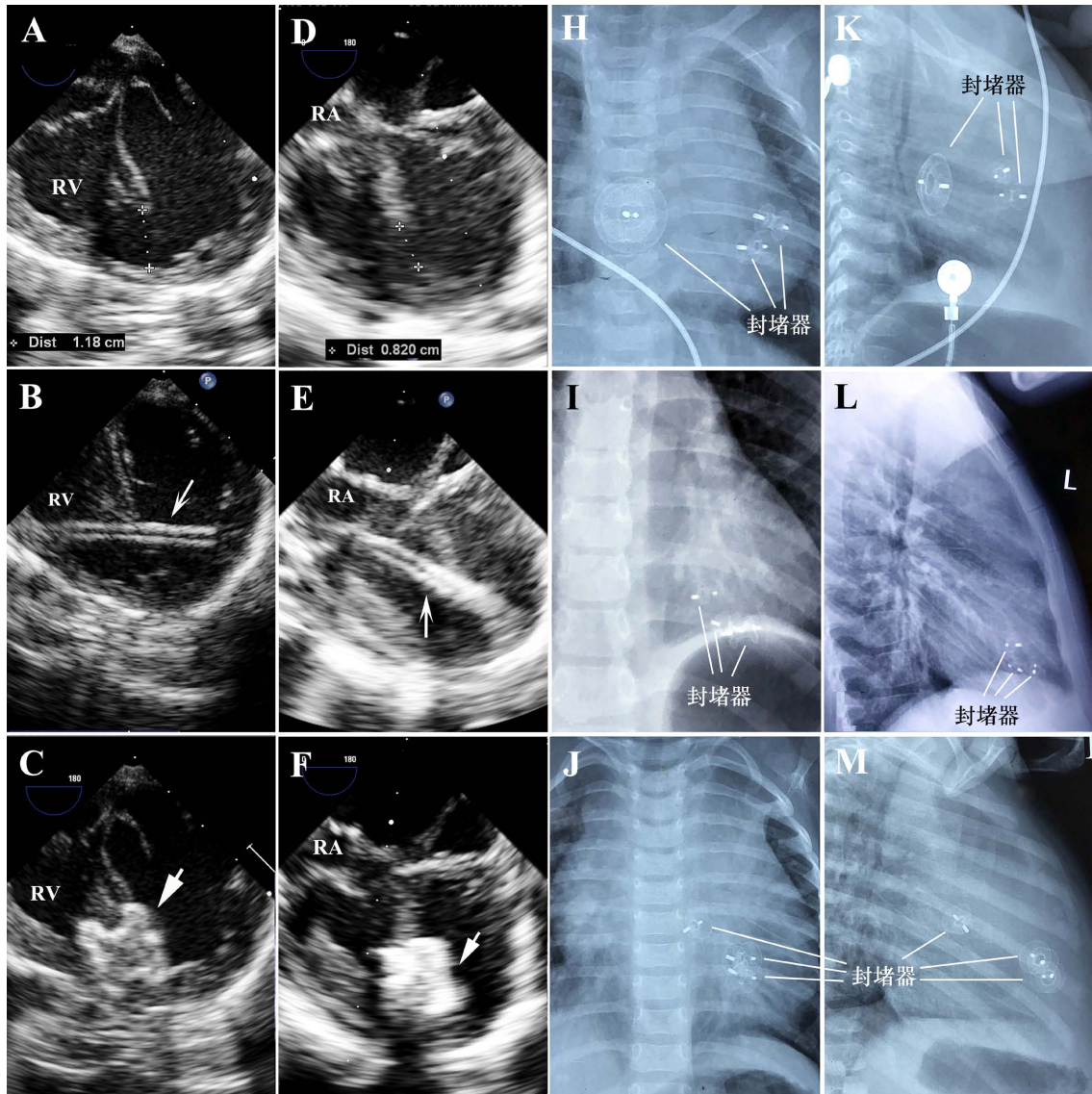
图 2. 使用“直接输送法”封堵 VSD



(A) 中空探条输送系统; (B) 使用“J”型中空探条经右心室瞄准心尖部 VSD; (C) 使用“Z”型探条经右心房通过三尖瓣后瞄准 VSD。

Figure 3. The instruction of “probe-assisted delivery system”

图 3. “中空探条法”操作示意图



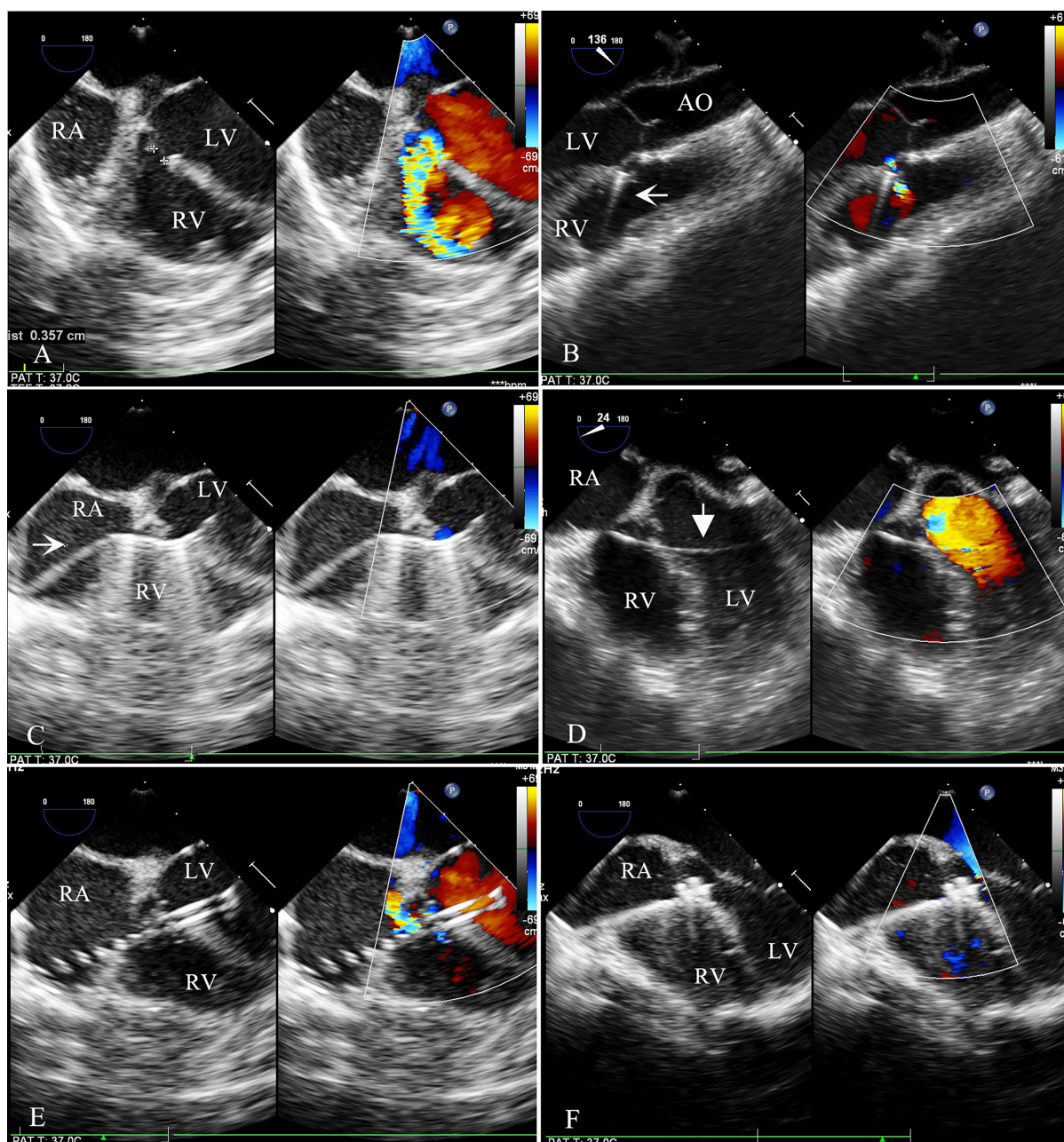
(A)~(C) 经胸骨下端途径封堵大型心尖部 VSD; (D)~(F) 经右胸途径封堵大型心尖部 VSD; (H)~(J) 多发缺损多伞封堵术后胸部正位; (K)~(M) 多发缺损多伞封堵术后胸部侧位; (RV, 右心室; RA, 右心房; 箭指输送鞘管; 箭头指示封堵器)。

Figure 4. The process of periventricular or peratrial device closure of large apical VSD and the chest X-rays of multiple VSDs after multi-device implantation

图 4. 经胸骨下段、经右胸途径封堵大型心尖部 VSD 过程和多发缺损多伞封堵术后胸部正侧位 X 片

2.2. 经右胸途径

为了避免胸骨下段途径劈开胸骨的缺点, 李红昕等人[18][19][20]又开展了经右胸-右心房途径封堵 VSD 技术(图 3(C))。手术切口通常选择右胸骨旁第四肋间, 做一长约 1.5~3.0 厘米的斜切口[18][19][20]。钝性剥离浅表组织进入胸膜腔, 推开右肺, 使用微型胸骨牵开器显露心包, 切开心包并悬吊。在右心房上缘缝置双层荷包。在荷包缝线内行右心房穿刺, 插入特制“Z”形中空探条, 经三尖瓣入右心室。在 TEE 引导下将探条头端瞄准 VSD 右室面开口, 沿探条孔道送入导丝, 插入 VSD 和左心室。拔除探条, 再沿导丝送入输送鞘管和封堵器完成封堵[20](图 5)。



(A) TEE 明确 VSD 位置、大小; (B) TEE 左室长轴切面将探条头端瞄准 VSD 右室面开口; (C) 探条穿过 VSD; (D) 沿探条将导丝送入左心室; (E) 顺导丝将输送鞘管和封堵器送入左心室; (F) 封堵器卡位成功。(RV: 右心室; RA: 右心房; LV: 左心室; 箭指示中空探条; 箭头指示导丝)。

Figure 5. The process of pericardial device closure of VSD

图 5. 经右胸 - 右心房途径封堵 VSD 过程

经右胸 - 右心房途径由于不劈开胸骨, 开胸、关胸、止血容易, 无需放置胸腔引流管, 较胸骨正中途径创伤更小、术后恢复快、切口美观、总手术时间更短[18] [19] [20]。但由于输送鞘管与室间隔平面相对不垂直, 患者选择有一定要求。主要用于主动脉瓣侧边缘好、有膜部瘤、分流束朝向右心房或右心室前壁的膜周部 VSD 和室间隔中部的肌部 VSD。不能用于双动脉干下型 VSD、分流束朝向肺动脉瓣的膜周型 VSD、合并主动脉瓣轻度脱垂和心尖部 VSD。过大、过小(<2 mm)、多发或主动脉瓣侧边缘短(<2 mm)

的 VSD 应慎用此途径。

此外, 国内学者采用直角中空探条输送系统, 经右下切口途径封堵膜周部 VSD, 也取得良好的治疗效果[21]。但由于输送鞘方向不够垂直于室间隔, 封堵大型膜周部 VSD 时或有困难。在上述研究中平均 9.9 ± 5.6 个月的随访周期内, 未发现明显瓣膜反流、完全性房室传导阻滞和封堵器脱落。

2.3. 经左胸途径

对于双动脉下型 VSD 和分流束朝向肺动脉瓣的膜周部 VSD, 可选择胸骨左缘第二或第三肋间 2~3 cm 小切口, 穿刺右心室流出道进行封堵[22] [23]。该方法相较于胸骨下端切口: 无需劈开胸骨, 创伤更小; 输送系统垂直于 VSD, 过 VSD 更容易; 封堵器卡位更精准; 并发症少; 术后恢复快, 住院时间短; 降低了患者痛苦以及治疗费用, 且远期随访效果良好[19]。

2.4. 经皮途径

单纯超声引导下, 同样可进行 VSD 的经皮介入治疗[24]。受超声视野的局限性所限, 无法建立通过 VSD 的动静脉轨道, 目前只能采取经股动脉途径的经皮介入封堵。即穿刺股动脉, 将裁剪过头端的猪尾导管经主动脉送入左心室, 调整猪尾导管的头端, 瞄准 VSD 的左室面开口, 过导丝, 进入右心室, 建立股动脉-主动脉-左心室-VSD-右心室的单向轨道, 然后沿导丝送入长输送鞘管, 经动脉途径过 VSD, 到达右心室。选择合适的 VSD 封堵器推入输送鞘, 完成经动脉系统的 VSD 封堵。近年来, 使用 TEE 替代放射线进行介入治疗成为经皮介入技术发展的重要方向[25], 真正做到了微创、无切口、避免辐射及造影剂损伤。但该技术应用指征严格, 只能用于主动脉瓣边距 ≥ 2 mm 的 VSD。有国内学者研究[26]显示: TEE 引导下经皮封堵组和经胸封堵组患者术后并发症发生率分别为 2.44% (2/82)、11.54% (9/78), 经皮封堵组患者术后并发症发生率低于经胸封堵组($\chi^2 = 5.171, P < 0.05$)。

2.5. 超声引导技术在 VSD 封堵中的应用

近些年来, 随着 TEE 引导下经胸微创封堵 VSD 技术的广泛开展, TEE 的重要性、必要性突显, 国内外学者的大量临床实践也形成了较为完善的技术资料[27]。由于经胸微创 VSD 封堵术与经皮介入封堵术之间存在差异, 且 TEE 在观察缺损与周围组织的关系, 尤其是显示缺损与主动脉瓣之间的距离方面优于 TTE, 故经胸微创封堵对于 TEE 的依赖性很大[27]。也正是因为 TEE 对经胸微创 VSD 封堵术起到了术前诊断、定位、术中监测、术后即刻观察疗效的重要作用, 因此该类技术对超声科医生的技术水平也提出了更高的要求。

超声引导技术作为经胸、经皮介入封堵技术中重要的一环, 两者的发展密切相关。近年来, 不断有新的超声引导技术出现, 例如心腔内超声心动图(Intracardiac echocardiography, ICE), 该种技术无需全麻及气管插管, 成人患者清醒状态下可耐受, 图像质量不受气道及食道分泌物影响。缺点是需经股静脉进行穿刺, 受患儿年龄、体重以及血管条件限制[28]。该种技术已被应用于经皮介入房间隔缺损(Atrial septal defect, ASD)封堵中[29], 相信经过不断改进, 其使用范围将不断扩大。

2.6. 超声引导下的介入治疗在生物可降解封堵器植入领域的优势

当前, 经胸微创 VSD 封堵术中所用的封堵器从不可降解、部分可降解到完全可降解的过程探索业已初步完成。传统封堵器的骨架结构是镍钛合金制成, 术后永久残留在体内, 不仅增加了术后房室传导阻滞的风险, 更可能导致心肌磨蚀等严重并发症[30], 还会给患者带来心理上的困扰。目前由国内学者牵头成功研发的完全可降解封堵器, 其最终降解产物为二氧化碳和水[30]。但完全可降解 VSD 封堵器在 X 线下不显影, 传统 DSA 引导下介入治疗存在风险, TEE 完美解决了可吸收材料在放射线下不显影的问题

[31]。因此, 超声引导下的介入治疗, 对于完全可降解封堵器的植入有着无可取代的优势, 既可清楚显影, 引导其植入过程, 又可评估其降解过程(图 6)。

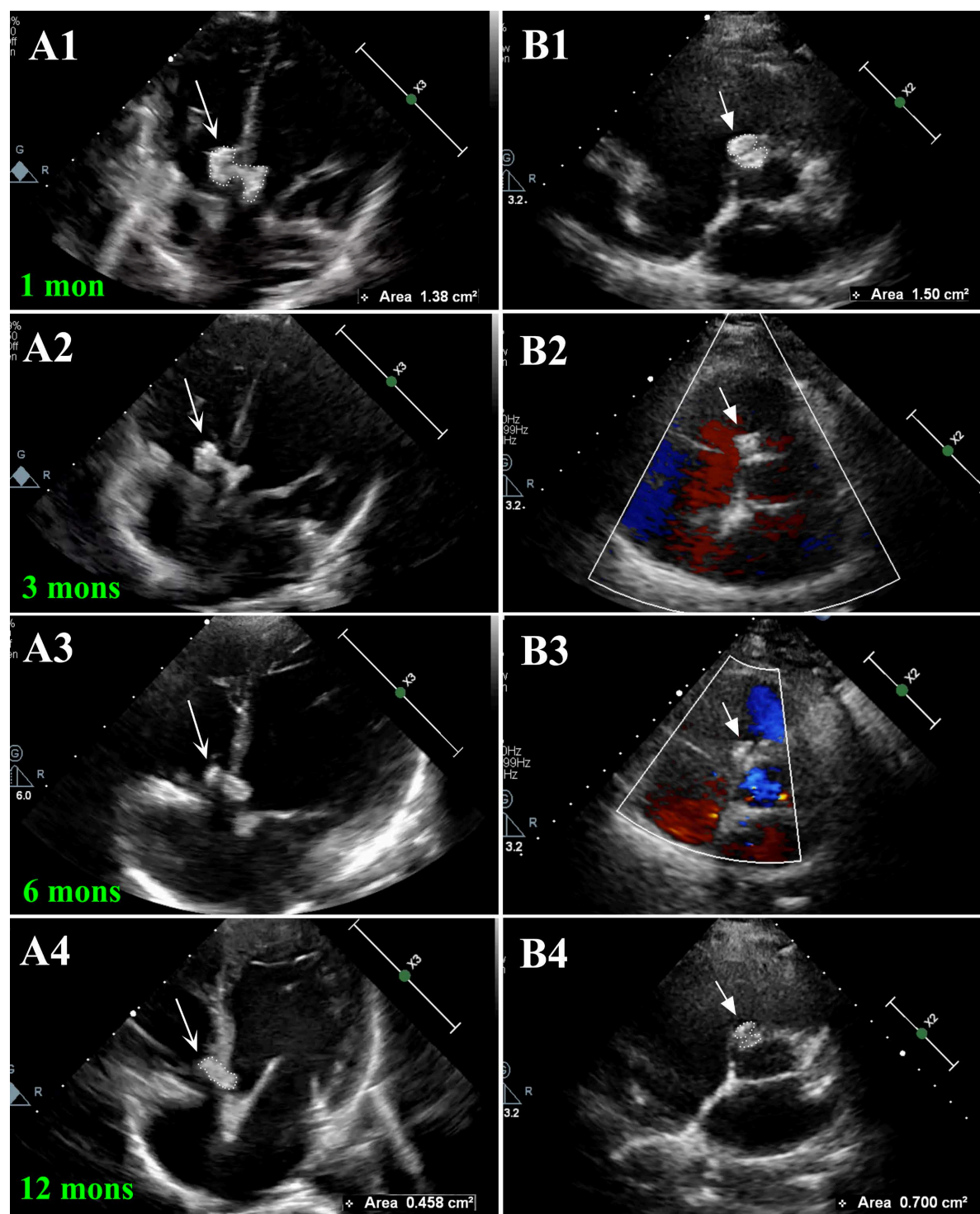


Figure 6. Degradation of VSD biodegradable occluder at TEE four-chamber heart view (A1)~(A4) and aortic brachyaxis view (B1)~(B4) during different follow-up months

图 6. VSD 可降解封堵器在 TEE 四腔心切面(A1)~(A4)和主动脉短轴切面(B1)~(B4)不同随访月份的降解情况

3. 讨论与展望

经 TEE 引导下经胸或经皮封堵治疗 VSD, 目前技术上已经非常成熟。相较于传统修补手术, 该技术无需进行体外循环, 创伤小, 术后并发症少。与 DSA 下经皮导管介入技术相比, 经胸介入治疗操作路径短; 输送系统亦短, 可控性好、操作灵活, 不需要建立动静脉轨道; 封堵器卡位精准, 适应症广; 不受年龄限制; 不接触 X 线和造影剂。对于可降解材料, TEE 下同样可清晰显影, 并将成为可降解材料植入的重要方法。

经胸微创 VSD 封堵技术在临床应用中仍不能完全替代传统外科手术和 DSA 引导下的经导管介入治疗。对于一些直径过大、主动脉瓣侧无边、位置不理想的 VSD, 传统外科修补术仍是首选的治疗方式。相比 DSA 引导下的经导管介入技术, 超声引导下 VSD 封堵仍需要全身麻醉、气管插管及呼吸机辅助呼吸, 对于导丝、导管位置的宏观观察不如 DSA 影像。

参考文献

- [1] Rudolph, A.M. (2009) *Congenital Diseases of the Heart: Clinical-Physiological Considerations*. Wiley-Blackwell, Hoboken. <https://doi.org/10.1002/9781444311822>
- [2] Soto, B., Becker, A.E., Moulart, A.J., Lie, J.T. and Anderson, R.H. (1980) Classification of Ventricular Septal Defects. *Heart*, **43**, 332-343. <https://doi.org/10.1136/hrt.43.3.332>
- [3] Lock, J.E., Block, P.C., McKay, R.G., Baim, D.S. and Keane, J.F. (1988) Transcatheter Closure of Ventricular Septal Defects. *Circulation*, **78**, 361-368. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.78.2.361>
- [4] Masura, J., Gavora, P., Formanek, A. and Hijazi, Z.M. (1997) Transcatheter Closure of Secundum Atrial Septal Defects Using the New Self-Centering Amplatzer Septal Occluder: Initial Human Experience. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, **42**, 388-393. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0304\(199712\)42:4<388::AID-CCD7>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0304(199712)42:4<388::AID-CCD7>3.0.CO;2-7)
- [5] Yang, J., Yang, L., Wan, Y., et al. (2010) Transcatheter Device Closure of Perimembranous Ventricular Septal Defects: Mid-Term Outcomes. *European Heart Journal*, **31**, 2238-2245. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq240>
- [6] Butera, G., Chessa, M. and Carminati, M. (2007) Percutaneous Closure of Ventricular Septal Defects. State of the Art. *Journal of Cardiovascular Medicine*, **8**, 39-45. <https://doi.org/10.2459/01.JCM.0000247434.59451.d7>
- [7] Amin, Z., Berry, J.M., Foker, J.E., Rocchini, A.P. and Bass, J.L. (1998) Intraoperative Closure of Muscular Ventricular Septal Defect in a Canine Model and Application of the Technique in a Baby. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **115**, 1374-1376. [https://doi.org/10.1016/S0022-5223\(98\)70222-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(98)70222-3)
- [8] Amin, Z., Danford, D.A., Lof, J., Duncan, K.F. and Froemming, S. (2004) Intraoperative Device Closure of Perimembranous Ventricular Septal Defects without Cardiopulmonary Bypass: Preliminary Results with the Perventricular Technique. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **127**, 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2003.08.023>
- [9] Li, F., Chen, M., Qiu, Z., Lu, J. and Wu, W. (2008) A New Minimally Invasive Technique to Occlude Ventricular Septal Defect Using an Occluder Device. *The Annals of Thoracic Surgery*, **85**, 1067-1071. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.10.048>
- [10] Gan, C., An, Q., Lin, K., et al. (2008) Perventricular Device Closure of Ventricular Septal Defects: Six Months Results in 30 Young Children. *The Annals of Thoracic Surgery*, **86**, 142-146. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2008.03.058>
- [11] Zeng, X.J., Sun, S.Q., Chen, X.F., et al. (2008) Device Closure of Perimembranous Ventricular Septal Defects with a Minimally Invasive Technique in 12 Patients. *The Annals of Thoracic Surgery*, **85**, 192-194. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.07.018>
- [12] Xing, Q., Pan, S., An, Q., et al. (2010) Minimally Invasive Perventricular Device Closure of Perimembranous Ventricular Septal Defect without Cardiopulmonary Bypass: Multicenter Experience and Mid-Term Follow-Up. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **139**, 1409-1415. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.01.018>
- [13] 邢泉生, 庄忠云, 泮思林, 等. 应用新型输送系统经胸微创封堵膜周部室间隔缺损[J]. 中华实验外科杂志, 2007, 24(9): 1135-1136, 1154.
- [14] 李红昕, 张慧, 郭文彬, 等. 探条辅助微创室间隔缺损封堵术[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2011, 27(5): 271-272.
- [15] Liang, F., Hongxin, L., Zhang, H.Z., Wenbin, G., Zou, C.W. and Farhaj, Z. (2017) Perventricular Double-Device Closure of Wide-Spaced Multi-Hole Perimembranous Ventricular Septal Defect. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **12**,

Article No. 24. <https://doi.org/10.1186/s13019-017-0585-5>

- [16] Changwe, G.J., Hongxin, L., Zhang, H.Z., *et al.* (2021) Pericardial Closure of Large Apical Ventricular Septal Defects in Infants: Novel Modifications and Mid-Term Results. *Journal of Cardiac Surgery*, **36**, 928-938. <https://doi.org/10.1111/jocs.15291>
- [17] 吕蓓, 陈瑞, 任悦义, 等. 超声引导下经胸微创封堵治疗先心病的远期随访结果分析[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21(2): 162-169.
- [18] 李红昕, 梁飞, 郭文彬, 等. 经右胸——右心房途径微创室间隔缺损封堵术[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2012, 28(12): 712-715.
- [19] 李红昕, 郭文彬, 张海洲, 等. 经右胸或左胸途径微创封堵膜周部室间隔缺损[J]. 中华小儿外科杂志, 2015, 36(8): 577-581.
- [20] Hongxin, L., Zhang, N., Wenbin, G., *et al.* (2014) Pericardial Device Closure of Perimembranous Ventricular Septal Defects through a Right Parasternal Approach. *The Annals of Thoracic Surgery*, **98**, 668-674. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.03.029>
- [21] Song, S., Fan, T., Li, B., *et al.* (2017) Minimally Invasive Pericardial Device Closure of Perimembranous Ventricular Septal Defect through a Right Infraaxillary Route: Clinical Experience and Preliminary Results. *The Annals of Thoracic Surgery*, **103**, 199-204. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.05.069>
- [22] Hongxin, L., Wenbin, G., Liang, F., Zhang, H.Z., Zhu, M. and Zhang, W.L. (2015) Pericardial Device Closure of a Doubly Committed Juxtaarterial Ventricular Septal Defect through a Left Parasternal Approach: Midterm Follow-Up Results. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **10**, Article No. 175. <https://doi.org/10.1186/s13019-015-0376-9>
- [23] 张玉展, 李红昕, 邹承伟, 郭文彬, 袁贵道, 梁飞. 经胸骨旁途径嵴内型嵴上型室间隔缺损微创封堵术[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2013, 29(1): 8-11.
- [24] 潘湘斌, 逢坤静, 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应用研究[J]. 中国循环杂志, 2015(8): 774-776.
- [25] Zhu, D., Gan, C., Li, X., *et al.* (2013) Pericardial Device Closure of Perimembranous Ventricular Septal Defect in Pediatric Patients: Technical and Morphological Considerations. *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon*, **61**, 300-306. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1334997>
- [26] 李延军, 刘罡, 杜德禄, 李俊杰. 超声引导下经皮室间隔缺损封堵术与经胸小切口室间隔缺损封堵术疗效比较[J]. 新乡医学院学报, 2019, 36(3): 262-264.
- [27] 陈苏江, 严济泳, 刘庆华, 俞波, 赵伟. 经食道超声心动图在开胸微创封堵室间隔缺损术中的应用[J]. 江西医药, 2018, 53(12): 1476-1477, 1498.
- [28] 贾龑婷. 食道超声引导下经胸小切口封堵术治疗复合型先天性心脏病的临床研究[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2017.
- [29] Earing, M.G., Cabalka, A.K., Seward, J.B., Bruce, C.J., Reeder, G.S. and Hagler, D.J. (2004) Intracardiac Echocardiographic Guidance during Transcatheter Device Closure of Atrial Septal Defect and Patent Foramen Ovale. *Mayo Clinic Proceedings*, **79**, 24-34. <https://doi.org/10.4065/79.1.24>
- [30] 潘湘斌, 李泽夫. 中国原创心血管器械研发的新领域——室间隔缺损可降解封堵器获批上市的启示[J]. 中国循环杂志, 2022, 37(8): 766-768.
- [31] 潘湘斌, 曹华, 李红昕, 赵天力. 单纯超声心动图引导经皮介入技术中国专家共识[J]. 中国循环杂志, 2018, 33(10): 943-952.