

先天性心脏病-房间隔缺损的手术治疗进展

冶志鹏¹ 马伟^{2*}

1 青海大学研究生院 2 青海大学附属医院心脏血管外科

DOI:10.12238/bmtr.v7i4.15515

[摘要] 房间隔缺损(atrial septal defect, ASD)是成人最常见的先天性心脏病之一,近年来治疗策略不断演进,涵盖传统正中开胸修补、各类微创手术与介入封堵术等多种路径。尽管多种术式在临床广泛应用,关于其适应证选择、术后并发症管理及远期疗效的争议仍未统一。本文系统梳理了近年ASD主流治疗方式的适用人群、技术特征、疗效数据及安全性结果,重点比较不同术式在复杂解剖条件、美容需求与围术期管理中的优势与局限。同时,本文提出“解剖结构—术式匹配—策略决策”三维评估模型,尝试为临床制定个体化治疗方案提供循证支持。通过批判性整合现有证据,本文为推动ASD治疗的微创化与精准化提供理论基础和实践参考。

[关键词] 房间隔缺损; 外科修补; 介入封堵; 微创手术; 临床决策

中图分类号: R6 **文献标识码:** A

Advances in surgical treatment of congenital heart disease – atrial septal defect

Zhipeng Ye¹ Wei Ma^{2*}

1 Graduate School of Qinghai University

2 The Department of Cardiothoracic and Vascular Surgery, Affiliated Hospital of Qinghai University

[Abstract] Atrial septal defect (ASD) is one of the most common congenital heart diseases in adults. In recent years, treatment strategies have continuously evolved, covering various approaches such as traditional median sternotomy repair, various minimally invasive surgeries, and interventional occlusion. Although multiple surgical procedures are widely used in clinical practice, controversies regarding the selection of their indications, management of postoperative complications, and long-term efficacy remain unresolved. This article systematically combs through the applicable populations, technical characteristics, efficacy data, and safety outcomes of mainstream treatment methods in recent years, with a focus on comparing the advantages and limitations of different surgical procedures under complex anatomical conditions, cosmetic requirements, and perioperative management. At the same time, this article proposes a three-dimensional evaluation model of "anatomical-structure-surgical procedure matching-strategic decision-making" to attempt to provide evidence-based support for the clinical formulation of individualized treatment plans. By critically integrating existing evidence, this article provides a theoretical foundation and practical reference for promoting the minimally invasive and precise treatment of ASD.

[Key words] Atrial septal defect; Surgical repair; Interventional occlusion; Minimally invasive surgery; Clinical decision-making

引言

房间隔缺损(atrial septal defect, ASD)是因胚胎发育异常导致心房水平异常分流的先天性心脏病, 占所有先天性心脏畸形的10%~15%, 在成人先天性心脏病中发病率达25%~30%^[1,2]。根据解剖起源, ASD主要分为继发孔型(80%)、原发孔型(15%)、静脉窦型(5%~6%)及冠状窦型(<1%)^[2]。婴幼儿期部分小缺损(尤其是<8mm的继发孔型)存在自然闭合可能(<3mm缺损1岁半内

自然闭合率达100%, 3~8mm缺损自然闭合率>80%), 但缺损>8mm者几乎无法自然闭合^[3]。成人ASD早期常无明显症状, 多数患者40岁后逐渐出现活动耐量下降、右心衰竭或心律失常, 部分病例因长期肺循环高压导致肺血管重塑, 最终发展为肺动脉高压, 甚至进展为艾森曼格综合征。10%的未经治疗的ASD患者在40岁或以后发生室上性心律失常, 特别是房颤、右心衰竭及脑卒中等, 其发病率随着年龄的增长而持续增加^[4]。根据《2020年欧洲心

脏病学学会(European Society of Cardiology, ESC)先天性心脏病管理指南, ASD手术适应症包括^[5]:

I类推荐(强指征): 右心室容量超负荷且无肺动脉高压(PVR<3Wood单位)或左心室功能异常者, 无论症状均需闭合;

IIa类推荐(中等指征): 排除其他病因的异常栓塞患者; PVR3~5Wood单位且左向右分流显著(肺/体血流比>1.5)者;

IIb类推荐(弱指征): PVR>5Wood单位, 经靶向治疗后PVR降至<5Wood单位且存在显著左向右分流(肺/体血流比>1.5)者。

早期ASD外科治疗以传统正中开胸体外循环修补术为主, 但该术式存在创伤大、瘢痕明显、术后恢复慢及并发症风险较高等局限。随着外科技术的发展, ASD的手术治疗方式已逐渐向创伤更小、恢复更快的方向演进。下文将从正中开胸术、微创外科技术及介入封堵等角度系统梳理ASD的治疗进展。

1 文献检索与选取策略

本文通过检索PubMed、Web of Science、中国知网、万方等数据库国内外近5年具有代表性的ASD外科治疗相关文献及研究, 排除与研究主题不相符或者重复陈旧性文献, 系统综述ASD各类治疗方式的临床应用进展、适用人群及优缺点, 以及对比术后并发症的发生率, 为优化治疗策略选择提供理论依据和实践参考。

2 结果

2.1 正中开胸手术

正中开胸手术作为治疗ASD的经典术式, 历经60余年的临床实践与技术革新, 至今仍是复杂心内畸形矫治的重要术式。其临床适应证覆盖全部ASD解剖亚型(包括原发孔型、继发孔型及静脉窦型缺损), 尤其适用于以下高难度场景: ①巨大型缺损(直径>30mm)或合并肺静脉异位引流等复杂畸形; ②需同期矫治法洛四联症、瓣膜返流等联合心脏病变; ③低体重婴幼儿患者群体, 该术式在此类人群中已实现围术期死亡率趋近于0%的临床安全性^[6]。然而, 其创伤性特征导致的术后并发症谱系仍需重视, 其术后出血、心律失常、纵隔感染、小儿胸壁畸形、切口愈合不良等并发症发生率显著高于经导管介入或微创手术^[7,8]。尽管如此, 在需要精准暴露复杂解剖结构、处理复杂心内畸形或实施同期心脏瓣膜修复、矫治的病例中, 该术式凭借其稳定的操作视野和成熟的技术体系, 在复杂病例处理及多病变同期矫治中仍具有不可替代的临床价值。

2.2 微创手术

相比传统正中开胸术的广泛适应性与稳定性, 微创外科手术在创伤控制和术后恢复方面展现出越来越多优势, 如显著减少了住院时间、术后疼痛, 并加快了患者的恢复速度, 使患者能够更快的回归正常生活^[9]。尤其通过隐蔽切口设计实现了良好的美容效果, 成为年轻患者的优选方案。以下将重点阐述三种主流微创术式的技术特征与临床适用场景。

2.2.1 右胸骨旁小切口

右胸骨旁小切口(第四肋间入路)是ASD微创治疗的常用术式, 其低位解剖优势可使切口隐匿于成年女性乳房下缘皮肤褶皱内, 满足对外观要求较高的患者需求。Lei等人最近进行的一

项系统评价和荟萃分析纳入了7篇文献和665例患者, 比较了右胸骨旁小切口和正中胸骨切开术治疗ASD的短期疗效。证明两种方法同样安全有效, 成功率和并发症发生率相似。与胸骨切开术组相比, 前外侧小切口胸廓切开术患者功能恢复更快, 美容效果更好^[10]。Cristina Barbero等对127例右胸小切口手术患者的回顾性分析显示, 对于特定先天性心脏病的患者, 右胸骨旁小切口心脏手术可避免正中开胸大瘢痕, 加速恢复, 降低再次手术风险^[11]。此外, 李旭等人通过对胸骨旁小切口入路与正中开胸术治疗ASD的对比研究, 结果显示: 右胸骨旁小切口组手术时间、体外循环时间、主动脉阻断时间、机械通气时间、ICU停留时间、术后住院时间均短于正中开胸组, 切口长度短于正中开胸组, 术中出血量、术后24小时引流量均少于正中开胸组, 差异均具有统计学意义。胸骨旁小切口组并发症发生率(6.82%)低于正中开胸组(25.00%), 差异具有统计学意义。充分证明胸骨旁入路小切口手术临床应用优势明显, 符合微创手术的理念, 创伤小, 手术时间短, 术后恢复快, 并发症发生率低, 且能确保心功能恢复效果, 利于被患者接受^[12]。然而, 对于青春前期女性, 该术式因需切开胸大肌等胸壁组织, 存在干扰乳腺组织发育的潜在风险, 可能导致术后双侧乳房不对称或肋间神经损伤, 需在术前评估中重点关注^[6]。

2.2.2 右腋下小切口

右腋下小切口(Vertical right thoracotomy, VRAT)(腋中线第三至腋前线第五肋间)适用于体重4.5~40kg的婴幼儿及儿童, 可充分暴露主动脉、腔静脉及右心房结构^[13]。该切口隐藏于腋下, 避免乳房组织损伤, 术中需注意保护胸长神经及胸壁血管。VRAT治疗ASD单中心回顾性研究中显示VRAT在小儿心脏手术中具有优势, 具体表现为安全性高、切口隐蔽、不影响乳房发育、肌肉损伤小、骨骼畸形风险低, 且未增加体外循环和主动脉阻断时间, 术后恢复更快^[14]。Luo等在一项关于右腋下小切口、右侧胸骨旁小切口及正中开胸治疗ASD的对比研究显示: 所有患者ASD均成功闭合, 未出现术后低心输出量综合征、死亡、恶性心律失常、二次手术、多器官功能障碍或脑血管意外等致命并发症。三组在手术时间、体外循环(CPB)时间、输血量、术后机械通气时间、ICU停留时间、住院时长和住院费用方面无统计学显著差异。右腋下小切口和右侧胸骨旁小切口在切口长度方面有明显的优势。另正中开胸组有4例胸骨愈合不良(3例鸡胸、1例漏斗胸), 右侧胸骨旁小切口组右腋下小切口无胸部畸形^[15]。Yang等对比研究得出同样结论, 显示腋下垂直小切口组在切口长度、引流量、镇痛需求、伤口愈合及外观满意度上均显著更优, 胸廓畸形发生率更低^[16]。值得注意的是, 对于体重>40kg的患者, 因术野较深需借助加长器械及头灯辅助, 操作难度增加, 需谨慎选择^[13]。该切口隐藏于腋下, 虽避免了乳房组织损伤, 但术中仍需注意保护胸长神经及胸壁血管。目前, VRAT术后疼痛管理方式不断改进, 采用非甾体抗炎药等组合方案, 以减少阿片类药物的使用。然而, VRAT也存在不足, 如部分患者需二次体外循环关闭残余缺损, 对于复杂病例可能不如正中开胸术^[14]。

表 1 经皮介入术与经胸介入术的对比^[25, 26]

手术方式	切口位置	适用人群	手术时间	术中出血量	术后疼痛 (VAS 评分)	住院时间	术后主要 并发症	封堵成 功率
经皮介入 封堵术	右侧腹股沟 2-3mm 穿刺 口	年龄应大于 2 岁， 体重超过 10 公 斤，以确保血管能 够承受导管的操 作，并减少并发症 的发生	30-45 分	9.79±	2.51±0.97	3.03±0.64	6.06% (穿 刺点瘀	98.17%
			钟(操作 便捷)	4.93mL (无切 口出血)		天(术后次日 可活动)	血、轻微 胸腔积 液)	
经胸微创 封堵术	胸骨右缘第 4 肋间切口 和右腋下切 口	不受外周血管条 件的限制，同样适 用于年龄小和体 重低的婴幼儿	50-70 分	33.97±	3.17±	5.17±1.12	23.33% (	99.47% (
			钟(需开 胸及 TEE 引导)	14.14 mL (胸 壁小切口相 关)	0.83 (需短 期镇痛治 疗)		气胸、切 口愈合不 良、肺炎)	

表 2 微创组修补术和经导管封堵组的对比^[28]

手术方式	治疗有效率	并发症发生率	住院时间	残余分流率	严重并发 症	结论与差异
微创修补术 组	99.8%(95% CI:98.9 - 99.9)	16.2%(95% CI:13.0 - 19.9)	5.6±1.7 天	0.95%(95% CI:0.3 - 2.4)	无显著差 异	治疗有效率更高 (OR=0.1)，残余分流 率更低 (OR=0.1)，并发症发生率更高 (OR=2.0)，住院时间更长。
经导管封堵 组	97.3%(95% CI:95.6 - 98.2)	7.1%(95% CI:5.0 - 9.8)	1.3±1.4 天	3.9%(95% CI:2.7 - 5.5)	无显著差 异	治疗有效率较低，残余分流率较高，并 发症发生率更低，住院时间更短。

2.2.3全胸腔镜手术

全胸腔镜ASD修补术通过三维重建技术实现术野放大，结合经食道超声(TEE)多模态影像导航，构建了“可视化-精准化-微创化”的技术体系。全胸腔镜下ASD修补术适用于体重>15kg患者，借助术野放大效果实现精细操作，联合食道超声实时监测可降低残余漏及传导束损伤风险。Wang等人探讨了全胸腔镜技

术用于治疗ASD治疗的中长期疗效研究，无院内死亡、无中转开胸，术后5天及3个月随访中，超声均未发现残余分流，证明全胸腔镜技术用于ASD修复安全、简单、微创，尤其在不停跳条件下可减少心肌缺血再灌注损伤，缩短手术和恢复时间，具有良好的中长期效果^[17]。与传统开胸相比，胸腔镜下操作对心脏牵拉小，可有效的避免心肌损伤，患者术后炎症因子如TNF-α、IL-6及

ICAM-1和心肌酶水平较低,术后炎症反应轻,恢复快^[18]。Zheng等在比较胸腔镜与右胸小切口组的研究中发现,全胸腔镜组24小时引流量、住院时间及术后7天疼痛评分均显著更优,且并发症发生率无差异^[19]。但视野盲区及操作难度对术者技能和团队配合要求较高,对操作者的三维操作能力、协调性、应急处理能力都有较高要求。单中心研究显示198名患者全胸腔镜下ASD修补,均成功完成手术修补,无重大并发症发生,手术方法安全可行。根据学习曲线分析,需完成34例手术以达到技术熟练,需完成54例手术以应对高难度病例^[20]。

微创外科技术正重塑ASD治疗格局,形成多技术并存的精准治疗体系,临床需结合患者年龄、解剖特征、美容需求及术者经验,个体化选择术式,在追求微创化的同时确保手术精准性与安全性。未来随着器械改进与技术普及,微创手术有望成为ASD外科治疗的主流选择^[21]。

2.3 介入封堵术

随着科技以及手术手段的进步,介入治疗凭借其极低的侵入性、快速康复特性及良好的美容效果,已逐渐成为继发孔型ASD的首选方案。以下将讨论经皮与经胸两类介入技术的适应证与发展现状。

1975年,King与Mills首次报道经导管封堵术治疗继发孔型ASD,开创了ASD微创治疗的新纪元。目前,该技术已成为约80%继发孔型ASD的首选治疗方案,其核心适应证根据《常见先天性心脏病经皮介入治疗指南》(2021版)^[3]:年龄 ≥ 2 岁且体重 ≥ 10 kg;缺损直径5–36mm(继发孔型),合并右心容量超负荷(如右心室扩大、肺循环血流量增加);缺损边缘距上/下腔静脉开口 ≥ 5 mm,距房室瓣 ≥ 7 mm以确保封堵器稳定锚定。

2.3.1 经皮介入封堵术的临床应用

经皮介入治疗采用改良Seldinger技术,经股静脉(首选)或颈内静脉(备选)入路建立轨道,皮肤穿刺点仅2–3mm,术后瘢痕隐蔽于腹股沟自然褶皱,术中通过双平面X线造影或经胸超声(TTE)实时引导完成封堵器释放^[22,23]。X线引导凭借实时清晰的解剖显影,便于初学者掌握,学习曲线较短;超声引导则避免射线暴露,尤其适用于孕妇、儿童等辐射敏感人群^[24]。但经皮介入治疗ASD依赖外周血管条件,低龄、低体重患儿因血管纤细,可能增加血管损伤、出血或血栓形成风险;术中使用的造影剂可能引发过敏反应或肾功能损伤,需对肾功能不全患者进行严格评估^[24]。

2.3.2 经胸微创封堵术的技术特点

经胸微创封堵术通过右胸壁2–3cm小切口,在食管超声心动图(TEE)直视引导下完成,弥补了经皮介入的部分局限,不受外周血管内径限制,适用于体重 < 10 kg的婴幼儿及复杂边缘ASD(如短边缘、多孔型、筛孔样缺损),通过TEE精确评估缺损形态,可针对性选择封堵器尺寸^[24]。推送杆经右胸骨旁第四肋间垂直进入右心房,使封堵器与房间隔平面平行贴合,尤其适合边缘发育不良或合并部分肺静脉异位引流的病例,提升复杂解剖结构的修复成功率(98%以上)^[25]。结合TEE实时监测封堵器位置

及心脏瓣膜功能,确保无残余分流及房室瓣、肺静脉梗阻,术中可同期处理合并的三尖瓣反流等病变。

2.3.3 两种术式的对比研究

王迪等纳入12项临床研究的系统评价显示介入封堵术的核心优势为:①经皮介入封堵术在切口隐蔽性(无可见疤痕)、创伤程度(组织损伤最小)及早期恢复(疼痛轻、活动早)方面显著优于经胸术式,更适合解剖简单、对美观要求高的患者(如成年女性、特殊职业人群)。②对于复杂病例而言,经胸微创封堵术在处理短边缘(< 5 mm)、多孔型缺损时成功率更高。③安全性相当:两种术式均有较高的成功率,经胸微创封堵术略微占有优势。术后房颤发生率、围术期并发症发生率导管组高于微创组但术后残余分流发生率和术后心律失常发生率两组均无明显差异^[25,26]。

经皮介入与经胸微创封堵术共同构成ASD介入治疗的两大核心技术:前者以全微创、低疼痛成为多数继发孔型ASD的首选,后者凭借直视引导和解剖适应性在复杂病例中展现独特价值。临床实践中,需根据患者年龄、体重、缺损形态及合并症,结合超声心动图精准评估,选择“个体化”封堵策略,在追求微创化的同时确保长期疗效与安全性。随着封堵器材料(如可吸收支架)及影像技术的进步,介入封堵术正朝着更精准、更安全的方向持续发展。然而,其也具有某些限制性,例如:①解剖结构限制:对于复杂或特殊类型的ASD,介入治疗可能不是最佳选择。②并发症风险:尽管介入治疗创伤小,但仍有可能发生并发症,如血管损伤、出血、血栓形成等。封堵器移位或脱落是介入治疗中较为严重的并发症,需要密切监测和及时处理。③长期效果与安全性:介入治疗使用的封堵器在体内长期留存,其长期效果和安全性尚需进一步观察和研究。生物可吸收封堵器虽然减少了异物留存的问题,但其降解过程中的稳定性和安全性仍需验证。

3 术式对比与临床决策

基于上述治疗方式的应用现状,已有多项回顾性与前瞻性研究对其疗效进行了系统比较,以下列举部分代表性研究结果。在针对成人继发孔型ASD治疗的单中心回顾性研究中,发现微创方法相较于经导管装置封堵术能实现更完全的封堵,同时房颤发生率和抗凝药物使用率更低^[27]。Mylonas KS等进行一项系统评价和荟萃分析,比较了微创修补和经导管方法修复继发孔型ASD的效果,该分析纳入了6项观察性研究,共1577名患者。发现微创外科组(Minimally Invasive Cardiac Surgery, MICS)治疗有效率(99.8%)显著高于器械封堵组(97.3%);MICS组并发症总发生率(16.2%)高于器械封堵组(7.1%),且住院时间更长;器械封堵组术后头痛更常见,而MICS组残余分流发生率更低;两组在肺部并发症、伤口感染等严重并发症及死亡率方面无显著差异^[28]。Goh等人进行了一项系统评价和荟萃分析,比较了微创修补和经导管方法修复继发孔型ASD的效果,他们强调经导管封堵术住院时间更短,气胸和心包积液发生率更低,但残余分流率更高。他们得出同样结论,微创修复与装置封堵的疗效相似^[29]。

4 讨论:挑战、创新与发展方向

房间隔缺损的治疗策略已从单一的外科开胸手术发展为涵盖传统外科、微创技术及介入治疗的多元化体系。传统正中开胸术凭借成熟的操作流程和对复杂病例的适应性,是复杂ASD(如静脉窦型、合并肺静脉异位引流)最佳的选择,死亡率<1%,长期生存率接近正常人群^[9]。但其创伤大、恢复慢及瘢痕相关问题促使微创理念不断深化。右胸骨旁切口、腋下小切口及全胸腔镜技术通过切口改良与器械创新,在减少组织损伤、优化美容效果的同时,实现了与传统术式相当的疗效,尤其为儿童和年轻患者提供了更优选择。介入治疗(包括经皮及经胸小切口途径)则以其微创和快速康复的优势,在继发孔型缺损中展现出极高的应用价值,目前现有的经导管封堵器械仅适用于继发孔型房间隔缺损。原发孔型、静脉窦型和冠状静脉窦型缺损通常需要外科手术治疗,但也有一些例外情况。近年来,使用覆膜支架封堵特定的静脉窦型缺损的方法应用越来越广泛^[30,31]。

然而,现有治疗手段仍面临挑战:外科微创技术对术者操作精度要求较高,复杂解剖结构下的暴露难度尚未完全突破;介入治疗尽管取得广泛应用,但现有金属封堵器仍存在生物相容性与远期安全性问题。金属封堵器的不可降解特性会导致其在人体内永久留存,这可能引发潜在的并发症,包括摩擦导致的损伤、心脏侵蚀、炎症、心律失常、金属过敏、心包积液以及血栓形成^[32]。因此,研究者开始探索更为安全的可降解封堵材料,如Carag封堵器和生物聚合物装置。目前生物可降解Carag封堵器,已成功应用于临床。Sievert K的研究表明Carag封堵器用于房间隔缺损是安全的,手术技术成功率为88.2%,未观察到晚期并发症。Carag封堵器对于中小尺寸房间隔缺损的封堵似乎非常有效(除卵圆孔未闭)^[33]。然而,Callegari的研究显示在4名患有中等大小房间隔缺损的儿科患者中,围手术期和随访(12个月)时的缺损封堵成功率均为100%,这也有可能和病例数量过少有关^[34]。龚雪阳等应用完全生物可降解封堵器成功完成15例房间隔缺损封堵,随访超过3年,完全生物可降解封堵器均已完全降解,封堵效果好^[35]。赵迎澳等团队^[36]在单纯超声引导下经皮植入完全可降解封堵器治疗房间隔缺损患者,患者在半年随访时封堵效果良好,但由于封堵器完全降解时间在1~2年左右,长期随访仍然非常重要,特别需要关注缺损再通的潜在并发症,我们还需要更多机构的大量样本及后续的随访结果对其治疗效果进行系统评价。对于不同治疗方式在远期心功能维护、心律失常发生率等方面的差异,仍需大样本、多中心研究进一步明确。

5 总结:实现精准、安全的个体化治疗路径

ASD治疗已从单一开胸手术发展为传统外科、微创技术及介入治疗协同的多元化体系。临床实践中需结合患者年龄、缺损类型、合并症及解剖特点,综合评估正中开胸、微创小切口及介入治疗的获益与风险,以实现疗效与生活质量的双重优化。推动治疗向“精准、微创、安全”演进。未来可降解材料与影像技术的进步,将进一步优化ASD的治疗策略。

[基金项目]

青海省“昆仑英才-高端创新创业人才”项目,编号:青人

才字[2025]5号。

[参考文献]

- [1]GRIESHABER P,JASCHINSKI C,FARAG M,et al.Surgical Treatment of Atrial Septal Defects[J].Rev Cardiovasc Med,2024,25(10):350.
- [2]BRIDA M,CHESSA M,CELERMAJER D,et al.Atrial septal defect in adulthood: a new paradigm for congenital heart disease [J].Eur Heart J,2022,43(28):2660-71.
- [3]国家卫生健康委员会国家结构性心脏病介入质量控制中心,国家心血管病中心结构性心脏病介入质量控制中心,中华医学会心血管病学分会先心病经皮介入治疗指南工作组,et al.常见先天性心脏病经皮介入治疗指南(2021版)[J].中华医学杂志,2021,101(38):3054-76.
- [4]董卓亚,洪海筏.房间隔缺损治疗后远期疗效和预后的研究进展[J].现代实用医学,2023,35(01):132-6.
- [5]BAUMGARTNER H,DE BACKER J,BABU-NARAYAN S V,et al.2020 ESC Guidelines for the management of adult congenital heart disease[J].Eur Heart J,2021,42(6):563-645.
- [6]ZHU J,ZHANG Y,BAO C,et al.Individualized strategy of minimally invasive cardiac surgery in congenital cardiac septal defects[J].J Cardiothorac Surg,2022,17(1):5.
- [7]RIGATELLI G,ZUIN M,RONCON L,et al.Secundum atrial septal defects transcatheter closure versus surgery in adulthood: a 2000-2020 systematic review and meta-analysis of intrahospital outcomes[J].Cardiol Young,2021,31(4):541-6.
- [8]JULLAH A,ZAHER A,SAHA H,et al.Comparison of Short-Term Outcomes: Minimally Invasive Thoracotomy Versus Median Sternotomy for Atrial Septal Defect Closure[J].Cureus,2025,17(1):e77898.
- [9]LO RITO M,BRINDICCI Y C M,MOSCATELLO M,et al.Minimally Invasive Surgery for Simple Congenital Heart Defects:Preserving Aesthetics without Jeopardizing Patient Safety[J].J Cardiovasc Dev Dis,2023,10(11).
- [10]LEI Y Q,LIU J F,XIE W P,et al. Anterolateral minithoracotomy versus median sternotomy for the surgical treatment of atrial septal defects:a meta-analysis and systematic review[J].J Cardiothorac Surg,2021,16(1):266.
- [11]BARBERO C,MARCHELTO G,PACE NAPOLEONE C,et al. Right mini-thoracotomy approach for grown-up congenital heart disease[J].J Card Surg,2021,36(6):1917-21.
- [12]李旭,向道康,兰萍,等.胸骨旁入路小切口手术治疗房间隔缺损的临床疗效分析[J].中国现代药物应用,2021,15(11):66-8.
- [13]DODGE-KHATAMI J,DODGE-KHATAMI A,NGUYEN T D,et al.Minimal invasive approaches for pediatric & congenital heart surgery:safe,reproducible, more cosmetic than through sternotomy, and here to stay [J].Transl Pediatr,2023,12(9):1744-52.

- [14] SAID S-M, GREATHOUSE K-C, MCCARTHY C, et al. Right Axillary Thoracotomy <i>vs.</i> Median Sternotomy for Repair of Congenital Heart Defects in Infants and Children[J]. Congenital Heart Disease, 2024, 19(6): 563–75.
- [15] LUO Z R, CHEN Q, YU L L, et al. Comparative Study between Surgical Repair of Atrial Septal Defect via Median Sternotomy, Right Submammary Thoracotomy, and Right Vertical Infra-Axillary Thoracotomy[J]. Braz J Cardiovasc Surg, 2020, 35(3): 285–90.
- [16] YANG X, HU Y, DONG J, et al. Right vertical axillary incision for atrial septal defect: a propensity score matched study[J]. J Cardiothorac Surg, 2022, 17(1): 256.
- [17] WANG X, SUN H, MA B, et al. Thoracoscopic closure of atrial septal defect in perfused beating hearts[J]. Surg Endosc, 2025, 39(1): 341–8.
- [18] LIU X, WU Y, ZHU J, et al. Totally thoracoscopic repair of atrial septal defect reduces systemic inflammatory reaction and myocardial damage in initial patients[J]. Eur J Med Res, 2014, 19(1): 13.
- [19] ZHENG X X, WANG Z Y, MA L Y, et al. Triport periareolar thoracoscopic surgery versus right minithoracotomy for repairing atrial septal defect in adults[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2021, 32(2): 313–8.
- [20] DANG H Q, NGUYEN H C, LE T N. Totally Endoscopic Atrial Septal Defect Repair on Beating Heart: Clinical Outcome and Single-Surgeon Learning Curve Experience[J]. Innovations (Philadelphia), 2023, 18(6): 574–82.
- [21] JIANG Q, HUANG K, ZHAO D, et al. Innovations and Developments in Totally Thoracoscopic Cardiac Procedures[J]. Heart Surgery Forum, 2024, 27(4): E424–E30.
- [22] YE Z, LI Z, YI H, et al. Optimization of Echo Views for Percutaneous Device Closure of Pediatric Atrial Septal Defect through the Femoral Vein Guided by Transthoracic Echocardiography without Radiation[J]. J Interv Cardiol, 2020, 2020: 8242790.
- [23] BARWAD P, NAGANUR S, SHARMA Y P, et al. Transcatheter closure of atrial septal defect (ASD) in adult and paediatric population without transoesophageal echocardiography/general anaesthesia[J]. European Heart Journal, 2024, 45.
- [24] 周奇, 韩宇, 宋书波, 等. 微创封堵治疗房间隔缺损的临床进展[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2021, 28(12): 1508–12.
- [25] 王迪, 赵鹏程, 龚青云, 等. 经导管介入封堵与经胸微创封堵治疗房间隔缺损手术效果的Meta分析[J]. 临床心血管病杂志, 2020, 36(11): 1019–24.
- [26] 罗列. 经胸与经皮房间隔缺损封堵术的临床疗效比较[J]. 赣南医学院学报, 2022, 42(02): 164–6+86.
- [27] SCHNEEBERGER Y, SCHAEFER A, CONRADI L, et al. Minimally invasive endoscopic surgery versus catheter-based device occlusion for atrial septal defects in adults: reconsideration of the standard of care[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2017, 24(4): 603–8.
- [28] MYLONAS K S, ZIOGAS I A, EVANGELIOU A, et al. Minimally Invasive Surgery vs Device Closure for Atrial Septal Defects: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. Pediatr Cardiol, 2020, 41(5): 853–61.
- [29] GOH E, MOHAMMED H, SALMASI M Y, et al. Minimally invasive versus transcatheter closure of secundum atrial septal defects: a systematic review and meta-analysis[J]. Perfusion, 2022, 37(7): 700–10.
- [30] HANSEN J H, DUONG P, JIVANJI S G M, et al. Transcatheter Correction of Superior Sinus Venosus Atrial Septal Defects as an Alternative to Surgical Treatment[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 75(11): 1266–78.
- [31] ROSENTHAL E, QURESHI S A, JONES M, et al. Correction of sinus venosus atrial septal defects with the 10 zig covered Cheatham-platinum stent—An international registry[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2021, 98(1): 128–36.
- [32] SHI D, KANG Y, WANG W, et al. Biodegradable polymeric occluder with controllable locking structure for closure of atrial septal defect via interventional treatment[J]. Regen Biomater, 2025, 12: rba016.
- [33] SIEVERT K, BERTOG S, SÖDERBERG B, et al. Transcatheter closure of atrial septal defect and patent foramen ovale with Carag bioresorbable septal occluder: first-in-man experience with 24-month follow-up[J]. EuroIntervention, 2022, 17(18): 1536–7.
- [34] CALLEGARI A, QUANDT D, NORDMEYER J, et al. Transcatheter Closure of Atrial Septal Defect with Carag Bioresorbable Septal Occluder™: First-in-Child Experience with 12-Month Follow-Up[J]. J Interv Cardiol, 2022, 2022: 3476398.
- [35] GONG X, YANG Y, ZHAO T, et al. Midterm follow-up results of implantation of a fully biodegradable ventricular septal defect occluder[J]. Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban, 2024, 49(5): 795–801.
- [36] 赵迎澳, 闫一鸣, 李子平, 等. 单纯超声引导完全可降解封堵器经皮介入治疗房间隔缺损一例[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2024(04): 1–4.

作者简介:

冶志鹏(1990—), 男, 回族, 青海省西宁市人, 青海大学2024级专业型硕士研究生, 研究方向: 心脏及血管外科。

*通讯作者:

马伟(1986—), 男, 回族, 甘肃临夏人, 博士研究生, 副主任医师, 副教授, 青海大学附属医院心脏血管外科。