

# 动脉导管未闭外科治疗进展研究

李金权, 李勇刚\*

重庆医科大学附属儿童医院心胸外科, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 儿童发育重大疾病国家国际科技合作基地, 儿科学重庆市重点实验室, 重庆

收稿日期: 2026年3月1日; 录用日期: 2026年3月24日; 发布日期: 2026年4月3日

## 摘要

动脉导管未闭是常见先天性心脏病之一, 其治疗策略正由传统开胸结扎向微创外科、经导管封堵及完全超声引导封堵并行发展的多路径模式演进。本文围绕动脉导管未闭外科治疗的主要进展展开综述, 系统梳理经左胸后外侧切口结扎术、经腋下小切口结扎术、胸腔镜辅助结扎术、机器人辅助结扎术及经皮封堵术的技术特点、适用范围、临床效果与局限, 并重点分析完全超声引导下封堵术的循证依据及应用前景。研究表明, 传统开胸和小切口术式在低体重儿、复杂解剖及介入失败补救中仍具重要价值; 胸腔镜和机器人技术可在合适病例中减少胸壁创伤、促进术后恢复, 但其获益受体重分层、导管形态及团队经验影响明显; 经导管封堵尤其是完全超声引导下封堵术显示出良好的近期成功率和微创优势, 但在低体重及复杂病例中的适用性仍需进一步明确。本研究认为, 当前尚不存在适用于所有患者的单一最优术式, 动脉导管未闭治疗应在解剖特征、体重分层、全身状况及医疗资源等因素基础上进行个体化决策。本文研究结论可为临床根据患者个体情况选择最优治疗策略提供可靠参考。

## 关键词

动脉导管未闭, 外科治疗, 介入封堵术, 超声引导, 综述

# Advances in Surgical Treatment of Patent Ductus

Jinquan Li, Yonggang Li\*

Department of Cardio-Thoracic Surgery, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, National Clinical Research Center for Child Health and Disorders, China International Science and Technology Cooperation Base of Child Development and Critical Disorders, Chongqing Key Laboratory of Pediatrics, Chongqing

Received: March 1, 2026; accepted: March 24, 2026; published: April 3, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 李金权, 李勇刚. 动脉导管未闭外科治疗进展研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 1316-1322.  
DOI: 10.12677/acm.2026.1641364

## Abstract

Patent Ductus Arteriosus (PDA) is one of the most common congenital heart diseases. Its therapeutic strategy is evolving from conventional open ligation toward a multimodal paradigm integrating minimally invasive surgery, transcatheter closure, and completely echocardiography-guided closure. This article reviews the major advances in the surgical management of PDA, with a systematic analysis of the technical characteristics, indications, clinical outcomes, and limitations of left posterolateral thoracotomy ligation, subaxillary mini-incision ligation, video-assisted thoracoscopic ligation, robot-assisted ligation, and percutaneous closure. Particular emphasis is placed on the evidence base and clinical prospects of completely echocardiography-guided closure. Current evidence indicates that conventional thoracotomy and mini-incision approaches remain of substantial value in low-body-weight infants, patients with complex ductal anatomy, and salvage treatment after failed catheter-based intervention. Thoracoscopic and robotic techniques can reduce chest wall trauma and facilitate postoperative recovery in appropriately selected patients, although their benefits are significantly influenced by body-weight stratification, ductal morphology, and institutional experience. Transcatheter closure, especially completely echocardiography-guided closure, has demonstrated favorable short-term success rates and minimally invasive advantages; however, its applicability in low-body-weight infants and anatomically complex cases requires further clarification. This study suggests that no single procedure is currently optimal for all patients, and treatment selection for PDA should be individualized on the basis of anatomical characteristics, body-weight stratification, overall clinical status, and available medical resources. The conclusions of this review may provide a reliable reference for clinicians in selecting the optimal therapeutic strategy according to individual patient characteristics.

## Keywords

Patent Ductus Arteriosus, Surgical Treatment, Interventional Closure Procedure, Echocardiography-Guided, Review

Copyright © 2026 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

动脉导管未闭(Patent Ductus Arteriosus, PDA)是最常见的先天性心脏病之一, 约占所有先天性心脏病的5%~10% [1], 在早产儿群体中发病率显著升高——出生体重 < 1000 g 者 PDA 发生率高达 80% [2]。动脉导管位于左肺动脉根部与降主动脉起始部之间, 其持续开放会导致主动脉与肺动脉之间的异常分流, 是引起充血性心力衰竭、肺动脉高压及艾森曼格综合征等严重并发症的重要原因。因此, 对中大型 PDA 伴血流动力学异常、有感染风险的小型 PDA、复杂解剖类型 PDA、早产儿药物治疗无效 PDA, 以及介入治疗禁忌或失败的 PDA 进行及时有效的干预, 是先天性心脏病治疗领域的核心目标之一[3]。近年来, PDA 治疗已由传统经左胸后外侧切口结扎逐步发展为以腋下小切口、胸腔镜及机器人辅助微创结扎、X 线引导下经导管封堵及完全超声引导下封堵并行的多路径格局, 但不同术式在不同体重、年龄和解剖类型人群中的风险获益并不一致, 这也是临床决策中最核心、同时争议最多的问题之一[4] [5]。

在过去近一个世纪中, PDA 的治疗模式经历了由开放手术向微创化、精准化和个性化持续演进的过程。从经左胸后外侧切口结扎术, 到腋下小切口、胸腔镜辅助及机器人辅助手术, 再到完全超声引导下

介入封堵术, 每一次技术迭代的目标都不仅是“创伤更小”, 更是要在闭合成功率、围术期安全性、远期胸廓功能及资源可及性之间取得更优平衡。因此, 对各类术式不能仅作描述性罗列, 而应结合体重分层、导管形态和并发症谱进行比较分析[6]-[8], 并展望未来发展方向, 以为临床决策提供参考。

## 2. 经左胸后外侧切口动脉导管结扎术

1938年, Robert E. Gross 完成了世界上首例动脉导管结扎术[9], 标志着先天性心脏病外科治疗时代的开启。

在随后的半个世纪里, 传统的经左胸后外侧肋间切口结扎术(Posterolateral Thoracotomy, PLT)因其显露充分、操作路径成熟等优势, 在复杂解剖、巨大导管、导管周围粘连明显或需紧急止血的情形下仍具有不可替代的价值。然而, 所谓“金标准”并不意味着风险可以被笼统概括为“较低”。在一项纳入 145 例低体重早产儿的手术队列中, 手术相关死亡率为 0, 但术后并发症共发生 10 例, 约为 6.9%, 其中术中出血 6 例(4.1%)、气胸 1 例(0.7%)、左侧声带麻痹 1 例(0.7%)、淋巴漏 1 例(0.7%)及膈神经损伤 1 例(0.7%) [10]。另一项纳入 449 例极低或超低出生体重儿的回顾性队列显示, 术中死亡 2 例(0.4%), 30 d 病死率为 3%, 1 年病死率为 4%, 喉返神经损伤和乳糜胸均约 1%, 气胸 0.4%, 再次手术 0.6% [11]。这提示 PLT 的优势在于高可控性和宽适应证, 而其代价则主要体现在胸壁损伤、神经损伤及部分患儿术后呼吸和循环波动上。

更值得注意的是, PLT 相关结局受患儿基础状态影响极大。对于体重极低、伴呼吸窘迫、感染或肾功能异常的患儿, 围术期风险往往更多取决于早产相关并发症, 而不单纯由切口大小决定[11]。例如, 在出生体重 < 750 g 的患儿中, Stankowski 等纳入 31 例手术治疗病例, 院内病死率达 25.8%, 且 Cox 回归提示术前肾功能异常是早期死亡的独立危险因素; 该研究同时指出, VATS 与开胸两种手术方式之间并未显示出结局差异[7]。换言之, 在极低体重和重症合并症主导预后的场景下, 单纯以“开胸创伤更大”推断其一定劣于其他术式, 并不符合现有证据。

## 3. 经腋下小切口动脉导管结扎术

经左胸后外侧切口的动脉导管结扎术存在显著的组织创伤与远期胸廓畸形风险, 因此, 20 世纪 80 年代起, PDA 的外科治疗逐步向微创化切口进行探索。1988 年 Bethencourt 等提出的“肌肉保护型胸切口”(Muscle-Sparing Thoracotomy)理念, 主张通过分离而非切断背阔肌与前锯肌进入胸腔, 为 PDA 的微创干预奠定了基础[12]。

20 世纪 90 年代, Nikaidoh H. 等提出的经腋下垂直小切口动脉导管结扎术(Axillary Mini-Thoracotomy)因其切口隐蔽性佳、术后疼痛轻及康复快等优势, 在全球范围内得到推广[13]。相较于 PLT, 其理论优势在于减少背阔肌、前锯肌损伤, 降低切口疼痛与远期胸廓畸形风险, 同时兼顾直视操作的安全性。从现有数据看, 这一术式在低体重儿中并非仅有“美容优势”。Cho 等报道 22 例手术时体重 < 1 kg 的早产儿经腋下小切口闭合 PDA, 术前呼吸机依赖率为 72%, 高于 > 1 kg 组的 46% ( $P < 0.05$ ); 术后出院前死亡 4 例, 病死率 18.2%, 而 > 1 kg 组为 3.6%, 但两组差异未达统计学意义( $P = 0.11$ ), 且死亡原因均与早产并发症和合并症有关, 而非手术本身[14]。2021 年一项 103 例早产儿前胸小切口 10 年单中心经验显示: 术中出血需转正中开胸 3 例(3%), 残余分流需再次手术 1 例(1%), 术后 30 d 死亡 12 例(12%), 30 d 至 1 年再死亡 6 例(6%); 作者进一步指出, 不同手术体重亚组间死亡率、并发症率和总体不良结局差异均无统计学意义[15]。上述结果提示, 小切口术式在极低体重儿中具有现实可行性, 其围术期死亡更多反映与患儿基础疾病关系密切, 而非切口方式本身。

但该术式的局限同样不能回避。对于年龄较大、胸壁较厚、导管粗大或局部解剖复杂的患儿, 小切

口下操作角度受限, 导管后壁分离和止血处理难度会明显增加。Leon-Wyss 等观察到, 对于体重  $> 20$  kg 患儿, 术后发生气胸(1.4%)及出血(0.9%)的概率明显升高[16]。因此, 腋下小切口并非在所有人群都优于胸腔镜。现有证据更支持这样的判断: 在  $< 1$  kg 或需床旁手术、无法耐受复杂麻醉与单肺通气的患儿中, 小切口或前外侧小切口因暴露直接、设备依赖低, 仍具有较高的可实施性[14]; 而在体重较大、胸腔操作空间更充分的患儿中, 其相对优势会被胸腔镜进一步削弱[17]。

#### 4. 胸腔镜辅助下动脉导管结扎术

20 世纪 90 年代, 电视胸腔镜技术(Video-Assisted Thoracoscopic Surgery, VATS)的应用为 PDA 的外科治疗带来了质的飞跃。1993 年法国学者 Laborde 首次报道了通过胸腔镜治疗 38 例 PDA [18], 为 PDA 的外科治疗提供了一种全新的方法。

与传统开胸相比, VATS 通常被认为可减少胸壁创伤、改善美容效果, 并降低部分肌骨并发症。然而, 若只用“优势显著”概括其价值, 仍显不足。Chen 等对 302 例新生儿和婴儿进行比较后指出, VATS 组与后外侧开胸组均实现 100% 闭合且无心脏死亡, 但 VATS 在手术时间、恢复时间、胸腔引流时间、切口长度、急性围术期并发症、残余分流及远期脊柱侧弯方面更具优势, 同时住院成本也更低( $P < 0.05$ ) [19]。系统综述则进一步指出, 现有研究尚未证实 VATS 在死亡率方面优于传统手术, 但在疼痛、术后并发症、住院时长和美容结局方面, 多数结果倾向于 VATS[6]。

真正的争议集中在“低体重儿是否同样受益”。Burke 等报道 34 例低体重儿 VATS 治疗, 手术时中位体重 930 g (575~2500 g), 其中  $< 1$  kg 者 20 例、 $< 750$  g 者 13 例; 术中死亡率为 0, 4 例中转开胸, 中转率 11.8%, 另有 2 例在出院前死亡(5.9%), 但死因分别为颅内出血和多器官功能衰竭, 均不能简单归因为术式本身[20]。Villa 等 703 例 VATS 系列研究显示, 总体不良事件发生率为 6.8%, 而低出生体重儿升高至 13.6%, 相对危险度(RR)为 4.0, 95% CI 1.5~10.4; 喉返神经损伤总体为 3.0%, 低出生体重儿同样升高至 13.6%, RR 为 5.1, 95% CI 1.6~15.0, 但持久性功能障碍仅 0.4%; 乳糜胸 0.6%, 中转开胸 1.0%, 气胸 1.3%, 即刻残余通畅 1.4% [21]。这些数据说明, VATS 在总体人群中确有较好表现, 但一旦进入低出生体重层级, 其并发症谱并不会自动同步下降。

因此, 腔镜与小切口手术在特定体重人群中的比较, 不应简单理解为“VATS 全面替代小切口”。现有证据更接近于以下分层结论: 其一, 在体重  $\geq 4$  kg、导管解剖较规则且胸腔操作空间充足的患儿中, VATS 优势更容易体现。俄罗斯单中心 140 例体重 4.0~40 kg 患儿接受胸腔镜夹闭, 均成功闭合, 平均手术时间  $24.5 \pm 15.5$  min [17]。其二, 在  $< 1$  kg 尤其  $< 750$  g 的超低出生体重儿中, 影响结局的首要因素常常是呼吸支持状态、感染、肾功能及全身脆弱性, 而非是否使用胸腔镜。Stankowski 等对出生体重  $< 750$  g 患儿的分析已显示, VATS 与开胸并未带来显著结局差异[7]。其三, 小切口术式虽然在大龄患儿中的美容和创伤优势不如 VATS 突出, 但在床旁实施、避免复杂腔镜设备依赖和处理紧急出血方面仍具现实优势[14][15]。也就是说, 目前文献尚不足以支持对所有低体重儿一概优先推荐 VATS, 更合理的表述应是: VATS 在合适病例中具有明确微创优势, 但其获益受体重、导管形态、麻醉条件和团队经验共同制约。

#### 5. 机器人辅助下动脉导管结扎术

机器人辅助下 PDA 结扎术代表了心脏外科微创化进一步精细发展的方向, 其核心优势在于三维放大视野、器械腕式活动和精细解剖能力。

2002 年, Le Bret 首次报道了机器人辅助下动脉导管切断缝合术[22], 2005 年, 波士顿儿童医院学者 Suematsu [23]报道了 9 例达芬奇机器人辅助下动脉导管结扎术, 平均年龄  $8.3 \pm 4.7$  岁、平均体重  $35.5 \pm 19.0$  kg, 总手术时间  $170 \pm 46$  min, 中位术后住院时间 1.5 d, 无喉返神经损伤及术中出血。随着经验积

累, 浙江大学医学院附属儿童医院 2023 年报道 106 例机器人手术, 患儿体重 6.6~51.6 kg, 中位体重 12.5 kg, 无中转开胸, 平均手术时间 39.4 min, 术后住院时间 1-3 d, 仅早期随访发现 1 例残余分流和 1 例喉返神经损伤[24]; 2025 年同中心进一步扩大至 425 例, 平均体重  $14.8 \pm 7.1$  kg, 中位 13.2 kg, 中位手术时间 26 min, 61.9% 实现日间手术管理[25]。

然而, 机器人技术的证据边界也很清楚: 现有大样本主要来自单中心回顾性研究, 适用人群多为年龄 > 6 个月、体重  $\geq 6$  kg 的患儿[25], 对早产儿和低出生体重儿缺乏充分数据支持。因此, 机器人手术目前更适合作为大龄、解剖相对单纯且对微创和美容要求较高患儿的可选方案, 而非替代低体重儿常规术式的主流路径。高设备成本、学习曲线和婴幼儿狭小胸腔空间限制, 仍是其进一步推广的主要障碍。

## 6. 经皮动脉导管未闭封堵术

### 6.1. X 线透视下介入技术的发展与局限

1967 年, Porstmann 等报道了首例经导管动脉导管未闭封堵术[26], 开启了介入心脏病学的新时代。随着镍钛合金封堵器(如 Amplatzer 系列)和输送系统的迭代, X 线透视下动脉导管未闭封堵术因其无切口、恢复极快的优势, 逐渐成为中大年龄儿童及成人 PDA 的首选方案[26] [27], 但其在低体重儿中的应用正在被重新认识。2025 年一项覆盖 31 家中心、1231 例体重 2~6 kg 婴儿的多中心研究显示, 经导管封堵总体成功率为 95.0%, 但手术失败或重大不良事件复合终点发生率仍达 14.0%, 其中器械脱落 3.7%, 左肺动脉狭窄 2.7%, 程序相关死亡 0.2%; 进一步倾向评分匹配分析表明, 2.0~3.9 kg 患儿复合终点风险为 4.0~5.9 kg 患儿的 2.19 倍(95% CI 1.25~3.83) [5]。这意味着, 经导管治疗并非在所有低体重层级都天然优于外科手术, 尤其在 2~3.9 kg 这一体重区间, 外科结扎仍然保有重要地位。

### 6.2. 完全超声引导下封堵术的循证依据

完全超声引导下经皮封堵术的最大价值, 在于避免电离辐射和造影剂暴露, 但其有效性仍需用具体数据而非“绿色、零辐射”等定性语言来表述。Wang 等开展的随机对照非劣效试验纳入 100 例体重  $\geq 8$  kg 患者, TTE 引导组与 X 线透视组成功率分别为 98% 和 100%, 绝对差值为 -2%, 95% CI -5.9%~1.9%, 达到预设非劣效标准; 且经胸超声心动图(Transthoracic Echocardiography, TTE)组手术时间和住院成本更低, 中位 12 个月随访未见器械移位、溶血、外周血管并发症及残余分流[28]。另一项 102 例儿童的经静脉、无动脉入路超声引导研究显示, 技术成功率为 97.1%, 即刻完全闭合率 87.9%, 24 h 达 100%, 1~24 个月随访未见严重不良事件[29]。到 2025 年, Mendel 等纳入 85 项研究的系统评价和 Meta 分析进一步显示: 零射线组成功率 99.4% (95% CI 98.1%~100%), 高于透视组的 94.6% (95% CI 92.3%~97.0%), 亚组差异检验  $P < 0.01$ ; 总体并发症发生率分别为 4.0% (95% CI 0~10%) 和 8.9% (95% CI 6.5%~11.3%), 亚组差异  $P = 0.14$  [8]。需要强调的是, 该 Meta 分析中零射线组仅纳入 7 项研究, 残余分流是其报告最多的并发症, 合并发生率为 15.6%, 95% CI 0~37.5%, 置信区间很宽, 提示样本量仍偏小, 结果稳定性有限。

因此, 完全超声引导下封堵术的证据解读应保持克制。现阶段更稳妥的结论不是“已全面优于 X 线引导”, 而是: 在声窗条件良好、体重和解剖符合要求、且团队具有成熟超声介入经验的中心, 该术式已显示出与传统透视引导相当甚至更优的近期成功率, 同时显著减少辐射暴露; 但其高等级证据仍主要来自单中心或观察性研究, 随机对照研究样本量有限, 且在体重  $< 8$  kg、复杂窗型或长管型 PDA、胸廓条件差及成人患者中的外部可推广性仍需进一步验证[8] [28]。

## 7. 小结与展望

PDA 外科与介入治疗已进入按体重、解剖、资源条件进行分层选择的新阶段。经左胸后外侧切口或

腋下小切口的动脉导管结扎术因其可靠性与普适性, 在处理复杂、巨大、钙化的 PDA 以及作为介入治疗补救手段时, 依然保有不可动摇的地位。对于体重较大、解剖相对简单的患儿, 胸腔镜辅助手术、机器人辅助手术等微创技术, 在术后疗效满意的前提下, 显著减少了手术创伤, 加速了术后康复, 已成为许多中心治疗 PDA 的首选外科方式。经导管封堵, 尤其是完全超声引导下动脉导管未闭封堵术, 正在快速扩大适用范围, 但在低体重和复杂解剖人群中尚不能完全取代外科。当前, “没有一种术式适用于所有情况” 已成为共识, 成功的治疗依赖于胸心团队对患者解剖特点、全身状况、体重分层、技术条件及经济因素的综合评估, 从而选择最优化、最安全的个性化策略。

尽管如此, PDA 外科治疗领域仍存在值得深入探索的空间。未来需开发更适用于微创操作的专用器械, 以及能用于更小解剖结构的生物可降解封堵器, 人工智能在术前自动测量 PDA 参数、预测手术难度及并发症风险方面潜力巨大, 对技术融合与器械革新提出了更高的要求。亟需建立多中心、大样本数据, 构建整合解剖学参数、血流动力学指标、患者年龄、体重与合并症的临床决策支持系统, 以量化评估不同术式的风险获益比, 为“个体化治疗”提供更坚实的循证依据, 建立个体化决策模型。现有研究多关注于手术成功率与近期并发症, 对于各类微创术式的远期心血管影响、神经发育结局以及患者成年后的生活质量, 仍需更长期的随访数据予以明确。

总之, 随着技术的不断进步与理念的持续更新, 动脉导管未闭的外科治疗必将更加安全、精准和个性化, 最终实现“以患者为中心”的治疗目标, 推动先天性心脏病外科治疗领域的持续创新与发展。

## 参考文献

- [1] van der Linde, D., Konings, E.E.M., Slager, M.A., Witsenburg, M., Helbing, W.A., Takkenberg, J.J.M., *et al.* (2011) Birth Prevalence of Congenital Heart Disease Worldwide. *Journal of the American College of Cardiology*, **58**, 2241-2247. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.08.025>
- [2] 陈笑征, 杜忠东. 早产儿动脉导管未闭的诊断及治疗[J]. 中国医刊, 2018, 53(4): 365-369.
- [3] Francescato, G., Doni, D., Annoni, G., Capolupo, I., Ciarmoli, E., Corsini, I., *et al.* (2023) Transcatheter Closure in Preterm Infants with Patent Ductus Arteriosus: Feasibility, Results, Hemodynamic Monitoring and Future Prospectives. *Italian Journal of Pediatrics*, **49**, Article No. 147. <https://doi.org/10.1186/s13052-023-01552-2>
- [4] Baruteau, A., Fraisse, A., Butera, G. and Bautista-Rodriguez, C. (2023) The Transcatheter Closure of Patent Ductus Arteriosus in Extremely Low-Birth-Weight Infants: Technique and Results. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, **10**, Article No. 476. <https://doi.org/10.3390/jcdd10120476>
- [5] Malekzadeh-Milani, S., Padovani, P., Sivakumar, K., *et al.* (2025) Outcomes of Transcatheter Patent Ductus Arteriosus Closure in Infants Weighing 2 to 6 kg. *Revista Espanola De Cardiologia*, **79**, 316-328. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2025.09.005>
- [6] Stankowski, T., Aboul-Hassan, S.S., Marczak, J. and Cichon, R. (2015) Is Thoracoscopic Patent Ductus Arteriosus Closure Superior to Conventional Surgery? Table 1. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, **21**, 532-538. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivv185>
- [7] Stankowski, T., Aboul-Hassan, S.S., Fritzsche, D., Misterski, M., Marczak, J., Szymańska, A., *et al.* (2018) Surgical Closure of Patent Ductus Arteriosus in Extremely Low Birth Weight Infants Weighing Less than 750 Grams. *Kardiologia Polska*, **76**, 750-754. <https://doi.org/10.5603/kp.2018.0009>
- [8] Mendel, B., Kohar, K., Djiu, R.J., Yumnanisha, D.A., Vidya, A.P., Winarta, J., *et al.* (2025) Safety and Efficacy of Zero Fluoroscopy Patent Ductus Arteriosus Closure in Comparison to the Standardized Fluoroscopy-Guided Procedure: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Current Cardiology Reviews*, **21**, e1573403X338573. <https://doi.org/10.2174/011573403x338573241101092849>
- [9] Gross, R.E. and Hubbard, J.P. (1984) Surgical Ligation of a Patent Ductus Arteriosus. *JAMA*, **251**, 1201-1202. <https://doi.org/10.1001/jama.1984.03340330059026>
- [10] Mandhan, P., Brown, S., Kukkady, A. and Samarakkody, U. (2009) Surgical Closure of Patent Ductus Arteriosus in Preterm Low Birth Weight Infants. *Congenital Heart Disease*, **4**, 34-37. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0803.2008.00241.x>
- [11] Ashfaq, A., Rettig, R.L., Chong, A. and Sydorak, R. (2022) Outcomes of Patent Ductus Arteriosus Ligation in Very Low Birth Weight Premature Infants: A Retrospective Cohort Analysis. *Journal of Pediatric Surgery*, **57**, 1201-1204.

- <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2022.02.037>
- [12] Bethencourt, D.M. and Holmes, E.C. (1988) Muscle-Sparing Posterolateral Thoracotomy. *The Annals of Thoracic Surgery*, **45**, 337-339. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(10\)62479-4](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)62479-4)
- [13] Hoffman, C.J., Burns, P., Lawson, W.E., Katz, J.P., Miller, R.H. and Hultin, M.B. (1993) Plasma Fibrinogen Level Is Not Elevated in Young Adults from Families with Premature Ischemic Heart Disease. *Arteriosclerosis and Thrombosis: A Journal of Vascular Biology*, **13**, 800-803. <https://doi.org/10.1161/01.atv.13.6.800>
- [14] Cho, J., Yoon, Y.H., Kim, J.T., Kim, K.H., Lim, H.K., Jun, Y.H., et al. (2010) Patent Ductus Arteriosus Closure in Prematurities Weighing Less than 1 kg by Subaxillary Mini-Thoracotomy. *Journal of Korean Medical Science*, **25**, 24-27. <https://doi.org/10.3346/jkms.2010.25.1.24>
- [15] Selcuk, A., Cicek, M., Yurdakok, O., Kilic, Y., İzgi Coskun, F., Erdem, H., et al. (2021) Ligation of Patent Ductus Arteriosus through Anterior Thoracotomy in Preterm Infants: A 10-Year Experience. *Cardiology in the Young*, **31**, 985-991. <https://doi.org/10.1017/s1047951121000032>
- [16] Leon-Wyss, J., Vida, V.L., Veras, O., Vides, I., Gaitan, G., O'Connell, M., et al. (2005) Modified Extrapleural Ligation of Patent Ductus Arteriosus: A Convenient Surgical Approach in a Developing Country. *The Annals of Thoracic Surgery*, **79**, 632-635. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2004.07.035>
- [17] Arkhipov, A.N., Omelchenko, A.Y., Zubritskiy, A.V., Khapaev, T.S., Soynov, I.A., Ivantsov, S.M., et al. (2019) Thoracoscopic Clipping of Patent Ductus Arteriosus: Position of Surgery in the Era of Transcatheter Procedures. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*, No. 2, 5-12. <https://doi.org/10.17116/hirurgia20190215>
- [18] Laborde, F., Noirhomme, P., Karam, J., Batisse, A., Bourel, P., Saint Maurice, O., et al. (1993) A New Video-Assisted Thoracoscopic Surgical Technique for Interruption of Patent Ductus Arteriosus in Infants and Children. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **105**, 278-280. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(19\)33812-7](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(19)33812-7)
- [19] Chen, H., Weng, G., Chen, Z., Wang, H., Xie, Q., Bao, J., et al. (2010) Comparison of Posterolateral Thoracotomy and Video-Assisted Thoracoscopic Clipping for the Treatment of Patent Ductus Arteriosus in Neonates and Infants. *Pediatric Cardiology*, **32**, 386-390. <https://doi.org/10.1007/s00246-010-9863-x>
- [20] Burke, R.P., Jacobs, J.P., Cheng, W., Trento, A. and Fontana, G.P. (1999) Video-Assisted Thoracoscopic Surgery for Patent Ductus Arteriosus in Low Birth Weight Neonates and Infants. *Pediatrics*, **104**, 227-230. <https://doi.org/10.1542/peds.104.2.227>
- [21] Villa, E. (2004) Paediatric Video-Assisted Thoracoscopic Clipping of Patent Ductus Arteriosus: Experience in More than 700 Cases. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **25**, 387-393. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2003.12.023>
- [22] Le Bret, E., Papadatos, S., Folliguet, T., Carbognani, D., Pétrie, J., Aggoun, Y., et al. (2002) Interruption of Patent Ductus Arteriosus in Children: Robotically Assisted versus Videothoracoscopic Surgery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **123**, 973-976. <https://doi.org/10.1067/mtc.2002.121049>
- [23] Suematsu, Y., Mora, B.N., Mihaljevic, T. and del Nido, P.J. (2005) Totally Endoscopic Robotic-Assisted Repair of Patent Ductus Arteriosus and Vascular Ring in Children. *The Annals of Thoracic Surgery*, **80**, 2309-2313. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2005.05.078>
- [24] Ying, L., Wang, X., Liu, X., Tan, Z., Yu, J., Yang, L., et al. (2023) Application of Robot-Assisted Endoscopic Technique in the Treatment of Patent Ductus Arteriosus in 106 Children. *Journal of Robotic Surgery*, **17**, 1371-1379. <https://doi.org/10.1007/s11701-023-01537-7>
- [25] Liu, X., Jin, J., Zhang, X., Fan, X., Yu, J., Gao, Z., et al. (2025) Robotic-Assisted Patent Ductus Arteriosus Ligation in Children. *Journal of Pediatric Surgery*, **60**, Article ID: 162567. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2025.162567>
- [26] Portsman, W., Wierny, L. and Warnke, H. (1967) The Closure of the Patent Ductus Arteriosus without Thoracotomy. (Preliminary Report). *Thoraxchirurgie, Vaskulare Chirurgie*, **15**, 199-203
- [27] Baumgartner, H., De Backer, J., Babu-Narayan, S.V., Budts, W., Chessa, M., Diller, G., et al. (2021) 2020 ESC Guidelines for the Management of Adult Congenital Heart Disease. *Russian Journal of Cardiology*, **26**, Article No. 4702. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4702>
- [28] Wang, C., Zhang, F., Ouyang, W., Zhao, G., Lu, W., Zou, M., et al. (2020) Transcatheter Closure of Patent Ductus Arteriosus under Echocardiography Guidance: A Randomized Controlled Noninferiority Trial. *Journal of Interventional Cardiology*, **2020**, Article ID: 4357017. <https://doi.org/10.1155/2020/4357017>
- [29] Zhang, W., Gao, L., Jin, W., Wu, Q., Hu, S., Yang, Y., et al. (2018) Echocardiography-Guided Percutaneous Closure of Patent Ductus Arteriosus without Arterial Access: Feasibility and Safety for a New Strategy. *Journal of Central South University. Medical Sciences*, **43**, 1000-1006.