

左冠状动脉异常起源于肺动脉的外科治疗进展

王国臻, 安永*

重庆医科大学附属儿童医院心胸外科, 重庆

收稿日期: 2025年2月28日; 录用日期: 2025年3月21日; 发布日期: 2025年3月31日

摘要

左冠状动脉异常起源于肺动脉是最常见的冠状动脉起源异常性疾病, 婴儿期即出现严重的冠状动脉灌注不足、心功能障碍、二尖瓣反流等, 最后进展到心衰, 极大概率导致患儿早期死亡。早期诊断和外科手术重建双冠状动脉系统是本病最有效的治疗方法。早诊断早手术对于改善心脏结构和功能、挽救患儿生命具有极其重大的意义。本文主要针对左冠状动脉起源异常的诊断、手术策略选择、预后等进行综述, 以提高对该疾病的认识。

关键词

小儿外科, 心脏外科, 左冠状动脉异常起源于肺动脉, 外科治疗

Advances in the Surgical Treatment of Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery

Guozhen Wang, Yong An*

Department of Cardiothoracic Surgery, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Feb. 28th, 2025; accepted: Mar. 21st, 2025; published: Mar. 31st, 2025

Abstract

Left coronary artery originating from pulmonary artery is the most common abnormal coronary artery origin, which occurs in infancy with severe coronary hypoperfusion, cardiac dysfunction, mitral regurgitation, etc., and finally progresses to heart failure, which is very likely to lead to early death in children. Early diagnosis and surgical reconstruction of the bicoronary artery system are the most effective treatments for this disease. Early diagnosis and early surgery are of great

*通讯作者。

文章引用: 王国臻, 安永. 左冠状动脉异常起源于肺动脉的外科治疗进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(4): 275-283.
DOI: 10.12677/acm.2025.154930

significance to improve the structure and function of the heart and save the lives of children. This article reviews the diagnosis, surgical strategy selection, and prognosis of left coronary artery origin abnormalities to improve the understanding of this disease.

Keywords

Pediatric Surgery, Cardiac Surgery, Left Coronary Artery Abnormality Originating in the Pulmonary Artery, Surgical Treatment

Copyright © 2025 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. 背景

冠状动脉异常起源于肺动脉(AOCAPA)是一种罕见的先天性心脏畸形,在一般人群中的发生率为0.01% [1]。ALCAPA 是 AOCAPA 中最常见的一种类型,早期文献报道该病见于 1/30 万的活婴中[2] [3]或有先天性心脏病婴儿中的 0.25%~0.46% [4]。随着近年超声、影像学等技术的进步,越来越多无症状的 ALCAPA 患者也得到了诊断和治疗,该疾病的人群发生率升至 0.021% [1]。多数患者出现明显的心功能不全表现,且可在心尖部和心前区闻及杂音。对于 ALCAPA 的患者来说,一旦确诊即为手术指征,手术治疗唯一有效,治疗旨在建立主动脉源性双冠状动脉系统,恢复正常生理结构和功能。

2. 病理生理

冠状动脉异常起源于肺动脉是一种心脏畸形,可能由于胚胎发育时冠状动脉的形成异常引起。在胚胎发育第 9 周,冠状动脉的远端由血管母细胞芽形成,并穿过心内膜形成大的分支。近端冠状动脉在动脉干附近形成一个环,与原始主动脉窦处的冠状动脉芽连接一起形成大动脉。如果近端部分在形成过程中出现问题,可能导致冠状动脉异常起源。这种异常可能会对心脏功能产生不良影响[5]。该病一般独立存在,极少数情况下可伴有其他心脏畸形。在新生儿期及婴儿初期,由于肺动脉压力较高,即使起源异常的左冠状动脉内流动的是肺动脉的血液,仍能保持一定压力来维持冠脉灌注,致使心肌不至于完全缺血缺氧。当肺动脉压下降时,异常冠状动脉的灌注变得不足,心肌缺血缺氧,逐步进展为心脏功能障碍。该疾病的严重程度取决于两个方面:1. 冠状动脉优势枝;2. 冠状动脉间侧枝。换句话说,在 ALCAPA 的情况下,如果左优势冠状动脉系统的冠状动脉间侧支不足,则会发生严重的左心室功能障碍伴缺血性二尖瓣返流;相反,如果右冠状动脉系统占优势,冠状动脉间侧枝大量形成,则可维持接近正常的左冠状动脉灌注。值得说明的是右冠脉优势,侧枝丰富的患者由于右冠脉长期向左冠脉供血,且左冠脉血液倾向流入压力较低的肺动脉,导致左冠脉对于细小侧枝存在缓慢而长期的灌注不足,称为“窃血综合征”[6]。随着疾病进展仍可造成缓慢的心肌缺血,功能障碍伴二尖瓣反流,甚至恶性心律失常等情况[7]。概括来说:左室的心肌能否耐受则完全依靠冠状动脉之间侧枝循环是否丰富[8]。有丰富侧枝循环的患者在不进行治疗的情况下更容易活到成年。根据侧枝建立的程度可将 ALCAPA 分为婴儿型和成人型:婴儿型和成人型。婴儿由于冠状动脉侧枝循环极少或根本不具有侧枝循环,导致心肌灌注不足(左心尤甚),造成左心增大、功能障碍并伴有二尖瓣反流,最后导致心力衰竭。临床上易误诊为扩张型心肌病和心内膜弹力纤维增生症。有研究表明,ALCAPA 患者不及时治疗,会有 90%在 1 岁以内死亡[9]。成人型 ALCAPA 约占 ALCAPA 患者中的 10%至 15% [10]。患者的存活至成年得益于右冠状动脉(RCA)优势、广泛的冠状

动脉间侧支循环及 ALCAPA 和 PA 之间的限制性开口[11] [12]。成人型患者可伴随进行性的亚临床心肌缺血, 这类患者往往从婴儿期开始即未表现出明显症状, 但其 35 岁以内猝死发生率高达 80%~90% [13]。

3. 诊断

3.1. 临床表现

对存在严重左心室功能障碍和二尖瓣返流的情况下表现为难治性心力衰竭的婴儿(在临床中表现为: 烦躁、哭吵、拒奶、发育不良等不特异表现)始终需要高度怀疑 ALCAPA。在年龄较大的儿童和青少年中, 主要表现为晕厥、胸痛或剧烈运动后心脏骤停复发, 也需要进一步的调查研究, 争取早发现、早诊断、早治疗。

3.2. 辅助检查

① ECG: 心电图 I、aVL、V4、V5、V6 导联常出现异常 Q 波及 ST 段下移和 T 波倒置、左室增大, 高度提示左冠状动脉起源于肺动脉的可能[14]。心内膜弹力纤维增生症, 扩张型心肌病并无病理性 Q 波, 可以此为鉴别点。

② X 片为 ALCAPA 筛查方法之一, 可显示心影增大, 无特异性, 不能明确诊断[15]。

③ 超声心动图表现: 二维超声可显示左冠状动脉在主动脉根部缺如、右冠状动脉扩张、左心室乳头肌回声增强、肺动脉增宽、左心室扩大等征象。彩色多普勒显示左冠状动脉与肺动脉连接的异常血流信号, 部分患儿有丰富的侧支血管形成。超声心动图检查具有无创、实时显像、动态观察等优点[16] [17]。可早期诊断 ALCAPA, 是一种诊断 ALCAPA 简单而高效的诊断方式。

④ CTA: 该技术能清晰显示心脏冠状动脉的起源和行走分布。通过结合横轴面、VR、MIP 和 CPR 图像, 我们能很好地观察到冠状动脉开口和路径, 而且比传统的心血管造影更准确。其中, VR 图像显示最为清晰, 可以为手术方案的确定提供很大的帮助[18]。

⑤ 心血管造影: 目前诊断本病的金标准为心血管造影[19]。左、右侧冠状动脉间侧支循环形成情况和异常冠状动脉开口位于主肺动脉起源部位的血流动力学变化情况都可清晰表现出来。但其作为有创检查, 存在一定风险, 尤其对婴幼儿行冠状动脉造影风险较大, 难以广泛用于该病的诊断。

⑥ 其他诊断方法, 如: 1. 核素心肌显像: 可用于评估心肌存活, 为术前和术后治疗提供一些思路, 但由于各种限制运用并不广泛[20]。2. 冠状动脉血管成像(MR coronary angiography, MRCA): 血管成像技术应用 MR 可获得冠状动脉图像以观察血管解剖形态, 可发现管腔狭窄、扩张及管壁异常等病变。相较于需要使用含碘对比剂的介入冠状动脉造影及冠状动脉 CTA, MRCA 具有无创、无辐射、可不依赖对比剂、软组织对比度高等优势, 在儿童、肾功能不全、孕妇、对比剂过敏等特殊患者中的临床应用价值更为突出, 为冠状动脉疾病筛查提供了新的影像学手段。MRCA 成像技术的相对复杂性是限制其临床推广的主要因素。

4. 手术

4.1. 手术策略

无论婴儿或是成人, 大多数 ALCAPA 患者是在出现各种临床表现后诊断的。婴儿如不治疗, 90%难以存活超过一岁, 而存活下来的人群中亦有极大风险在 35 岁以内发生猝死。所以美国心脏协会成人先天性心脏病治疗指南建议成人 ALCAPA 患者进行手术修复[21]。外科治疗目标是建立长期通畅的双冠状动脉系统, 通过手术对异常组织直接纠正或运用正常组织对异常部位进行功能性重建。在心胸外科不断发展下, 重建主动脉和冠状动脉系统的方法不断发展和完善[22]。

4.2. 手术方法

4.2.1. 冠状动脉再植术

1974 年, Neches 等人报告了第一例冠状动脉再植入主动脉, 这是近几十年来 ALCAPA 外科治疗的基石[23]。该手术目前适用于大多数 ALCAPA 患者。由于 ALCAPA 位置不同, 由此延伸了许多更为详细的手术方式和一些小细节: ① 在大多数情况下异常左冠状动脉起源于右后窦, 在此种情况下, 可直接取下纽扣状带蒂左冠脉重新移植于大动脉主干上。另外某些特殊情况下, 由于升主动脉遮挡, 视野难以企及升主动脉后部(带蒂冠脉需移植于此处), 此时需从对侧切开升主动脉, 以暴露该区视野, 并从升主动内部进行冠脉移植的缝合, 之后再缝闭升主动脉。② 对于起源于肺动脉左侧窦的冠状动脉, 大多数情况下也可直接移植, 为实现无张力吻合, 有时还会对肺动脉和主动脉进行补片加固[24]。③ 对于起源于肺动脉后部(非对向窦 non-facing sinus)的冠脉, 若位置难以分离出纽扣状带蒂冠脉, 可截取一整段带有该冠脉的肺动脉。截取的肺动脉环用以作冠状动脉的管状延长, 并缝合于主动脉目标位置[25]-[27]。④ 对于极少数起源于肺动脉分支的冠状动脉, 我们可以视情况对其进行直接带蒂冠脉直接移植或截取一段肺动脉管状延长后再移植[28] [29]。冠脉移植的关键为: 选择合适的移植部位以避免移植后的冠脉和吻合口发生扭转造成血流运行不畅。为了患者的预后, 我们不得不选择最合适的移植部位, 然而某些部位难以轻易达到。因此我们在术前要全面考虑, 平衡手术策略和手术难度的关系。

4.2.2. 竹内式手术

肺动脉内通道手术, 由于该手术在 1979 年由 Takeuchi 等人提出, 又称 Takeuchi 手术[30]。该手术适用于左冠脉距离太远而无法直接植入主动脉的情况, 该手术方式多在左冠脉起源于肺动脉后部(non-facing sinus)周围时选择[31]。该术式基本步骤大致为: ① 在体外循环、心脏停搏状态下切开肺动脉干(取临近一叶肺动脉瓣留作后用), 并确认左冠脉异常起源部位。② 在同水平位置作主动脉干切口。通过主、肺动脉切口, 分别于血管相邻壁侧开孔, 并缝合两孔, 称之为“主-肺动脉窗”。由此将主、肺动脉通过“主-肺动脉窗”连接在一起, 建立通道。③ 主-肺动脉窗建立后, 用保留的肺动脉瓣建立一个横跨肺动脉干的隧道, 连接“主-肺动脉窗”和异常起源的冠状动脉在肺动脉血管内壁的开口。这样就可以通过该隧道, 将主动脉的血流输送到异常起源的冠状动脉内。④ 通过自体心包或人工组织缝合各处开口[32]。由手术过程可知, Takeuchi 手术的关键即为建立肺内隧道, 因此手术可受限于肺动脉主干发育不佳等情况, 术前应充分评估肺动脉、异常冠脉、肺动脉瓣等发育情况。多篇文献报道竹内手术较移植术有较多晚期并发症, 我们将在讨论中详细阐述。

4.2.3. 旁路移植术

该手术多应用于成人 ALCAPA 患者。由 ALCAPA 病理生理学可以分析出: 存活到成人的 ALCAPA 患者有大量的侧枝循环, 分离异常冠状动脉存在较大困难; 另外, 由于成人冠状动脉脆性增加、弹性降低, 直接移植存在缝合部撕裂或存在张力性狭窄的可能性[33]。因此有人提出, 在成人 ALCAPA 患者中首选使用胸廓内动脉行旁路移植的方法, 同时结扎 ALCAPA 开口处的近端。不过这一说法也随着医学技术和手术方式的发展而逐渐被取代。另外 El-Said GM [34], Backer CL [35]在文献中也有提及: 隐静脉、锁骨下动脉和左乳内动脉也被用作建立主动脉和异常冠状动脉之间的通道, 但存在血管尺寸不匹配、锁骨下动脉扭结和晚期吻合口狭窄等限制[36]。CABG 并非 ALCAPA 的首选术式, 但在特定情况下可能被考虑: 1. 儿童期未确诊的成年患者, 因侧支循环形成可能存活至成年, 但出现心肌缺血或心功能不全症状。直接解剖矫治(如冠状动脉移植至主动脉)可能因血管钙化或解剖困难而不可行, 此时 CABG 可作为替代方案。2. 术后残余缺血或桥血管失败: 既往接受过直接矫治术(如 Takeuchi 手术或冠状动脉移植), 但术后出现吻合口狭窄或心肌缺血复发。3. 解剖限制: 左冠状动脉开口位置异常(如深埋于肺动脉壁),

导致直接移植风险极高。4. 合并其他心脏畸形(如复杂先天性心脏病), 需联合其他手术干预。CABG 在 ALCAPA 患者中的技术挑战显著, 对于手术桥血管一般首选乳内动脉(IMA), 因其长期通畅率高, 尤其适用于年轻患者。但需注意 IMA 直径是否匹配左冠状动脉。其次为大隐静脉(SVG)、桡动脉。桥血管与靶血管的吻合通常吻合至左前降支(LAD), 因 LAD 为左冠状动脉主干的主要分支, 需确保远端血管床通畅。若存在多支病变, 可考虑多靶点吻合(如对角支联合 LAD)。术中同时需结扎左冠状动脉起源处, 防止“窃血”现象(肺动脉血流逆灌至左冠系统)。术中需注意体外循环中心肌保护、全神贯注保护等。术后均需术中经食管超声(TEE)评估心室功能及桥血管血流。对于 CABG 治疗 ALCAPA 患者生存率早期生存率: 成人患者围术期死亡率约 2%~5%, 主要死于心力衰竭或心律失常。远期生存率: 10 年生存率约 80%~90%, 但显著低于直接解剖矫治术(后者可达 95%以上)。CABG 在 ALCAPA 患者中主要用于无法行直接解剖矫治的特定情况, 其长期预后显著劣于早期直接冠脉再移植手术。手术成功依赖于精细的桥血管选择、吻合技术及术后综合管理。对于确诊的 ALCAPA 患者, 优先考虑解剖矫治, CABG 仅作为补救性策略。

4.2.4. 单冠状动脉系统重建

该手术适用于侧枝循环比较丰富且存在较大左向右分流的患者。手术方式主要是结扎起源异常的左冠脉。可通过此方法减少左冠脉窃血, 改善心肌灌注。但是单纯的右冠状动脉灌注不符合正常的生理循环, 左心仍存在慢性缺血且单根冠状动脉循环易出现冠状动脉粥样硬化, 猝死风险高达 33% [37]。有报道称该手术仅适应于症状严重的小儿急诊姑息手术以尽可能减少心肌缺血时间[38]。

4.3. 二尖瓣修复

二尖瓣由于乳头肌功能障碍、左室运动障碍、左室扩张和二尖瓣环扩张等多重作用下, 随着疾病进展出现。目前对于是否在术中行二尖瓣修复术, 目前仍具有较大争议。一些医生建议只要二尖瓣存在反流, 无论轻重程度如何均应在 ALCAPA 修复时进行二尖瓣修复。Caspi 等人[39]在未行二尖瓣修复的 ALCAPA 患者中, 随着手术的成功术后仍可观察到二尖瓣反流消退。Alsoufi 等人[40]在二尖瓣成形术和未行二尖瓣手术的患者中均观察到二尖瓣改善。支持不在术中行二尖瓣修复的专家[41]担心在心肌已经受损的情况下再去修复二尖瓣会延长阻断时间增加主动脉阻断时间, 增加术后并发症和死亡率, 这一点是毋庸置疑的; 另外, ALCAPA 术后可逆转的左心室扩张和乳头肌收缩障碍伴冠状动脉血运重建可以改善瓣膜功能, 减轻反流。但对严重二尖瓣返流的婴儿而言, 病人已经存在不可逆的心肌损伤或乳头肌坏死, 所以一些学者, 如 Alexi-Meskishvili 等人[42][43]对重度二尖瓣返流患者施行二尖瓣修复术, 术后效果好。因此建议重度二尖瓣返流患者或术前超声心动图评估瓣膜功能障碍显示可能存在器质性而非功能性病变的患者同时行二尖瓣修复术。目前国际上较多获得认同的观点是在 ALCAPA 修复术期间对二尖瓣返流严重的婴儿同时进行二尖瓣修复术[44]。研究表明: 二尖瓣重度反流术中同时行二尖瓣修复术的患者后期二尖瓣功能优于仅行 ALCAPA 修复术的患者; 两者比较, 二尖瓣修复术的患者生存率较高, 且由于二尖瓣问题再次介入手术的概率较低[45]。现有文献在 ALCAPA 合并二尖瓣反流的手术决策上呈现“证据等级参差、结论矛盾”的特点。高质量研究(如 Meta 分析、RCT)支持对重度反流患者行同期修复, 而反对观点多基于理论风险或低等级证据。未来需通过设计严谨的多中心研究进一步明确适应症, 并制定个体化手术策略。

5. 讨论

对于 ALCAPA, 胚胎学上可能是因为血管母细胞芽发育和行走异常导致。一般单独存在, 少数可合并其他心脏畸形, 如不及时治疗, 新生儿一岁以内死亡率达 90%, 成人 35 岁以下猝死率达 80%到 90%。

临床上对于烦躁、哭吵、拒奶、发育不良的患儿和表现为晕厥、胸痛或剧烈运动后心脏骤停的患儿尤其需要谨慎处理。心血管造影是诊断 ALCAPA 的金标准,但临床上运用较多的辅助检查如心电图、心脏彩超、CTA 等对于诊断 ALCAPA 也有较高的诊断价值。随着医疗技术进步,越来越多 ALCAPA 被诊断出来。手术是唯一有效且能根治的方法,一旦确诊无论年龄都应进行手术治疗。手术原则为重新构建双冠脉系统,目前还在运用的手术方式包括:带蒂冠状动脉移植术,Takeuchi 术(竹内式手术),冠状动脉搭桥术,单只冠脉结扎术。目前带蒂冠脉移植术是最为常用的手术术式,对于起源于肺动脉左侧、右侧和部分非对侧窦的左冠状动脉,冠脉移植大多能满足手术要求,且术后并发症较少,因此常常作为 ALCAPA 的首选术式,但移植术仍不能排除存在肺动脉狭窄和再次手术的风险。除冠状动脉移植术外,Takeuchi 术仍在被运用。Takeuchi 术能通过在肺动脉内建立隧道,重新打通主动脉和冠状动脉的联系,但由于该术式并非正常生理解剖结构,术后远期并发症较多。有文献[46]指出心内手术晚期常发生血管隧道渗漏和肺动脉狭窄等问题。一旦发生需要根据情况行再次手术建立隧道或介入处理肺动脉狭窄。报道称 Takeuchi 手术后的 20 年生存率为 78%~100%,与再植术后的生存率相当。而另一些中心报告再植后 20 年的生存率为 86%~100%,两者之间有一定差异[47]。但相比于再植手术,tekeuchi 手术远期并发症概率更高,所以 takeuchi 术后需要长期随访和终身护理。因此 tekeuchi 手术仅在 ALCAPA 的手术中作为备选术式。对于部分成人难以进行冠脉再植的患者,可考虑对其进行旁路移植术(必要时可同时结扎左冠脉),选择胸廓内动脉、锁骨下动脉、隐静脉等进行搭桥以保持冠脉血流灌注。保持单冠脉系统的术式(即单纯结扎异常左冠脉)常用于 ALCAPA 的姑息治疗,保持单纯右冠脉供血远期存活率极低且易并发生冠心病等。对于是否应该在术中同时进行二尖瓣整形,目前仍存在一定争议。但越来越多的人认为对于重度二尖瓣反流患者应该在术中进行二尖瓣修复,对于轻中度反流患者可不刻意修复二尖瓣。术后心功能大部分可恢复,心室内径和射血分数等都可随着手术的成功而好转。

6. 结论

左冠状动脉异常起源于肺动脉是一种罕见的疾病,但是对于心脏外科,尤其是儿童心脏外科来说,这是一种不可忽略的疾病。对于疾病的临床表现、诊断、治疗方法我们都应该充分的了解,争取早发现早诊断早治疗,通过早期手术的方式使患儿冠状动脉恢复正常解剖结构和生理功能。对于手术的术式我们应该灵活选择,术前充分评估患者心脏和整体条件,选择合适的时机和方案进行手术。随着近年来技术的不断进步,外科手术治疗 ALCAPA 的未来发展将围绕技术创新、精准化治疗和综合管理等展开。近年来的 3D 打印与影像重建技术可以准确找到异常行走的冠脉并准确定位,同时主刀医生可以在 AI 辅助下进行决策并在术前提前演练手术步骤及手术路径,结合机器人辅助下的微创手术可以将手术时间及患者创伤缩到最小。

参考文献

- [1] Yamanaka, O. and Hobbs, R.E. (1990) Coronary Artery Anomalies in 126,595 Patients Undergoing Coronary Arteriography. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, **21**, 28-40. <https://doi.org/10.1002/ccd.1810210110>
- [2] Askenazi, J. and Nadas, A.S. (1975) Anomalous Left Coronary Artery Originating from the Pulmonary Artery. Report on 15 Cases. *Circulation*, **51**, 976-987. <https://doi.org/10.1161/01.cir.51.6.976>
- [3] Werner, B., Wroblewska-Kaluzewska, M., Pleskot, M., et al. (2001) Anomalies of the Coronary Arteries in Children. *Medical Science Monitor*, **7**, 1285-1291.
- [4] Leong, S.W., Borges, A.J., Henry, J. and Butany, J. (2009) Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery: Case Report and Review of the Literature. *International Journal of Cardiology*, **133**, 132-134. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2007.08.142>
- [5] Xiao, Y., Jin, M., Han, L., Ding, W., Zheng, J., Sun, C., et al. (2014) Two Congenital Coronary Abnormalities Affecting Heart Function: Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery and Congenital Left Main

- Coronary Artery Atresia. *Chinese Medical Journal*, **127**, 3724-3731.
<https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20133224>
- [6] Cashen, K., Kwiatkowski, D.M., Riley, C.M., Buckley, J., Sassalos, P., Gowda, K.N., *et al.* (2021) Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery: A Retrospective Multicenter Study. *Pediatric Critical Care Medicine*, **22**, e626-e635. <https://doi.org/10.1097/pcc.0000000000002820>
- [7] Kazmierczak, P.A., Ostrowska, K., Dryzek, P., Moll, J.A. and Moll, J.J. (2013) Repair of Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery in Infants. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*, **16**, 797-801. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivt061>
- [8] Karimi, M. and Kirshbom, P.M. (2015) Anomalous Origins of Coronary Arteries from the Pulmonary Artery. *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*, **6**, 526-540. <https://doi.org/10.1177/2150135115596584>
- [9] 许耀强, 刘迎龙, 苏俊武, 等. 先天性左冠状动脉异常起源于肺动脉的外科治疗[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2016, 23(5): 449-452.
- [10] Yau, J.M., Singh, R., Halpern, E.J. and Fischman, D. (2011) Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery in Adults: A Comprehensive Review of 151 Adult Cases and a New Diagnosis in a 53-Year-Old Woman. *Clinical Cardiology*, **34**, 204-210. <https://doi.org/10.1002/clc.20848>
- [11] Moodie, D.S., Fyfe, D., Gill, C.C., Cook, S.A., Lytle, B.W., Taylor, P.C., *et al.* (1983) Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery (Bland-White-Garland Syndrome) in Adult Patients: Long-Term Follow-Up after Surgery. *American Heart Journal*, **106**, 381-388. [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(83\)90207-7](https://doi.org/10.1016/0002-8703(83)90207-7)
- [12] Boutsikou, M., Shore, D., Li, W., Rubens, M., Pijuan, A., Gatzoulis, M.A., *et al.* (2018) Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery (ALCAPA) Diagnosed in Adulthood: Varied Clinical Presentation, Therapeutic Approach and Outcome. *International Journal of Cardiology*, **261**, 49-53. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.02.082>
- [13] Nielsen, H.B., Perko, M. and Aldersh, J. (1999) Cardiac Arrest during Exercise: Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Trunk. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, **33**, 369-371. <https://doi.org/10.1080/14017439950141452>
- [14] 邵魏, 袁越, 张永兰, 等. 小儿左冠状动脉起源于肺动脉临床分析[J]. 心肺血管病杂志, 2010, 29(4): 284-286.
- [15] 杨呈伟, 刘廷亮, 李欣, 等. 冠状动脉起源于肺动脉的影像学评价[J]. 心肺血管病杂志, 2019, 38(5): 522-528.
- [16] Zou, J.N., Gao, Y.H., Huang, B., *et al.* (2021) The Diagnostic Value of Dynamic Volume Computed Tomography Angiography in Children with Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery. *American Journal of Translational Research*, **13**, 10348-10355.
- [17] 郁怡, 倪金洪, 高玲玲, 等. 超声诊断小儿左冠状动脉异常起源于肺动脉 11 例[J]. 中国医学影像技术, 2008, 24(12): 1959-1961.
- [18] 林玲, 高樱, 严超贵, 等. 左冠状动脉异常起源于肺动脉综合征 CTCA 表现的分析[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2015, 36(1): 154-160.
- [19] Klessen, C., Post, F., Meyer, J., Thelen, M. and Kreitner, K.-F. (2000) Depiction of Anomalous Coronary Vessels and Their Relation to the Great Arteries by Magnetic Resonance Angiography. *European Radiology*, **10**, 1855-1857. <https://doi.org/10.1007/s003300000506>
- [20] 许光, 杨敏福, 吕小东, 等. 应用~(18)F-脱氧葡萄糖心肌显像对儿童左冠状动脉起源于肺动脉存活心肌的评价[J]. 中国循环杂志, 2010, 25(5): 371-374.
- [21] Dodge-Khatami, A., Mavroudis, C. and Backer, C.L. (2002) Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery: Collective Review of Surgical Therapy. *The Annals of Thoracic Surgery*, **74**, 946-955. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(02\)03633-0](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(02)03633-0)
- [22] Birk, E., Stamler, A., Katz, J., *et al.* (2000) Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery: Diagnosis and Postoperative Follow up. *The Israel Medical Association Journal*, **2**, 111-114.
- [23] Neches, W.H., Mathews, R.A., Park, S.C., Lenox, C.C., Zuberbuhler, J.R., Siewers, R.D., *et al.* (1974) Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery. *Circulation*, **50**, 582-587. <https://doi.org/10.1161/01.cir.50.3.582>
- [24] El-Rassi, I., Soueide, A., Sweid, O. and Chabb, B. (2012) Transfer Technique of an Anomalous Coronary Artery from the Anterior Pulmonary Artery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **93**, 1738-1740. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.12.046>
- [25] Barth, M.J., Allen, B.S., Gulecyuz, M., Chiemmongkoltip, P., Cuneo, B. and Ilbawi, M.N. (2003) Experience with an Alternative Technique for the Management of Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **76**, 1429-1434. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(03\)00897-x](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(03)00897-x)
- [26] Wu, Q. and Xu, Z. (2007) An Alternative Procedure for Correction of Anomalous Origin of Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **84**, 2132-2133. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.04.001>

- [27] Sfyridis, P.G., Lytrivi, I.D., Kirvassilis, G.V., Papagiannis, J.K., Michalis, L.K. and Sarris, G.E. (2010) Anterior Aortic Reimplantation of Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery (ALCAPA) Originating from the Non-facing Sinus in an Adult. *Journal of Cardiac Surgery*, **25**, 214-217. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8191.2009.00967.x>
- [28] Veshti, A., Padalino, M.A., Vida, V.L. and Stellin, G. (2008) Unusual Case of Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Distal Right Pulmonary Artery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **86**, 1998. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2008.03.018>
- [29] Modi, P., Chen, Q., Murphy, T. and Pawade, A. (2008) Repair of Anomalous Left Coronary Artery from the Right Pulmonary Artery. *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*, **16**, 252-253. <https://doi.org/10.1177/021849230801600317>
- [30] Takeuchi, S., Imamura, H., Katsumoto, K., Hayashi, I., Katohgi, T., Yozu, R., et al. (1979) New Surgical Method for Repair of Anomalous Left Coronary Artery from Pulmonary Artery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **78**, 7-11. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(19\)38154-1](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(19)38154-1)
- [31] Hoashi, T., Kagisaki, K., Okuda, N., Shiraishi, I., Yagihara, T. and Ichikawa, H. (2013) Indication of Takeuchi Technique for Patients with Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery. *Circulation Journal*, **77**, 1202-1207. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-12-1321>
- [32] Naimo, P.S., Fricke, T.A., d'Udekem, Y., Cochrane, A.D., Bullock, A., Robertson, T., et al. (2016) Surgical Intervention for Anomalous Origin of Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery in Children: A Long-Term Follow-Up. *The Annals of Thoracic Surgery*, **101**, 1842-1848. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.11.020>
- [33] Berre, L.L., Baruteau, A., Fraisse, A., Boulmier, D., Jimenez, M., Gallet, B., et al. (2017) Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery Presenting in Adulthood: A French Nationwide Retrospective Study. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **29**, 486-490. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2017.08.018>
- [34] Tkebuchava, T., Carrel, T., von Segesser, L., et al. (1992) Repair of Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery without Early and Late Mortality in 9 Patients. *The Journal of Cardiovascular Surgery*, **33**, 479-485.
- [35] Backer, C.L., Stout, M.J., Zales, V.R., Muster, A.J., Weigel, T.J., Idriss, F.S., et al. (1992) Anomalous Origin of the Left Coronary Artery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **103**, 1049-1058. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(19\)34868-8](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(19)34868-8)
- [36] Guerrero, R.R., Wilkinson, J.L. and Brizard, C.P. (2005) Reconstruction of Left Main Coronary Artery with Subclavian Artery Free Graft in an Infant. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **27**, 927-929. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2005.02.012>
- [37] 齐玉娟, 李培军. 左冠状动脉起源于肺动脉的外科治疗进展[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2017, 24(3): 239-242.
- [38] 沈华, 贾兵, 陈张根, 等. 左冠状动脉异常起源于肺动脉围术期处理[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2015, 22(2): 128-131.
- [39] Caspi, J., Pettitt, T.W., Sperrazza, C., Mulder, T. and Stopa, A. (2007) Reimplantation of Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery without Mitral Valve Repair. *The Annals of Thoracic Surgery*, **84**, 619-623. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.03.036>
- [40] Alsoufi, B., Sallehuddin, A., Bulbul, Z., Joufan, M., Khouqeer, F., Canver, C.C., et al. (2008) Surgical Strategy to Establish a Dual-Coronary System for the Management of Anomalous Left Coronary Artery Origin from the Pulmonary Artery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **86**, 170-176. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2008.03.032>
- [41] Radman, M., Mastropietro, C.W., Costello, J.M., Amula, V., Flores, S., Caudill, E., et al. (2021) Intermediate Outcomes after Repair of Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **112**, 1307-1315. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.06.130>
- [42] Alexi-Meskishvili, V., Nasser, B.A., Nordmeyer, S., Schmitt, B., Weng, Y., Böttcher, W., et al. (2011) Repair of Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery in Infants and Children. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **142**, 868-874. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2011.04.006>
- [43] Feng, T., Zhangke, G., Song, B., Fan, F., Jia, Z. and Xiaofeng, L. (2021) Outcomes of Surgical Repair of Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery in Infants and Children. *Cardiology in the Young*, **32**, 36-41. <https://doi.org/10.1017/s104795112100161x>
- [44] Zhang, W., Hu, R., Zhu, Y., Zhang, W., Yu, X., Sun, Y., et al. (2020) Surgical Outcomes for Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery: Influence of Late Presentation. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **159**, 1945-1952.E1. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.09.179>
- [45] Yu, J., Ren, Q., Liu, X., Chen, T., Rong, L., Wen, S., et al. (2022) Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery: Outcomes and Management of Mitral Valve. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article 953420. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.953420>

-
- [46] Ginde, S., Earing, M.G., Bartz, P.J., Cava, J.R. and Tweddell, J.S. (2012) Late Complications after Takeuchi Repair of Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery: Case Series and Review of Literature. *Pediatric Cardiology*, **33**, 1115-1123. <https://doi.org/10.1007/s00246-012-0260-5>
 - [47] Yokohama, F., Toh, N., Kotani, Y., Watanabe, N., Takaya, Y., Akagi, T., *et al.* (2021) Multiple Late Complications after Takeuchi Repair of Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery. *JACC: Case Reports*, **3**, 731-735. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2021.02.035>