



莫绪明,南京医科大学附属儿童医院名誉院长,心脏中心主任,二级教授,二级主任医师,南京医科大学及南京大学博士研究生导师,享受国务院特殊津贴。兼任亚洲儿童先心外科学会(AAPCHS)第一副主席、国家心血管病专家委员会先心病专业委员会副主委、中国医师协会小儿外科医师分会心胸外科专委会主委、中华医学会小儿外科学会心脏外科学组名誉组长等。“国之名医”称号获得者,南京市科技功臣,中国医师奖获得者,江苏省333领军人才,江苏省“135工程”医学重点人才等。担任 *Congenital Heart Disease* 杂志主编、《中华小儿外科杂志》副主编、*World Journal of Pediatrics* 编委、国家高等学校统编教材《小儿外科学》副主编、《小儿胸外科学》主编。先后主持国家国家级科研项目十余项、省级重点项目5项。获国家科技进步二等奖、教育部科学技术二等奖、江苏省科学技术二等奖等10余项国家及省部级奖励。擅长各种先天性心脏病的外科治疗、微创封堵和各种小儿普胸外科手术和胸腔镜下微创手术,及婴幼儿复杂危重先心病围术期处理。

冠状动脉旁路移植术在儿童心血管疾病中的应用

莫绪明,王庆峰

(南京医科大学附属儿童医院心胸外科,江苏 南京 210019)

摘要:20世纪70年代以前,由于缺乏令人信服的手术指征,儿童冠状动脉搭桥手术很少进行。随着川崎病引起的冠状动脉后遗症的出现以及像大动脉调转手术和先天性冠状动脉畸形修复等新手术的出现导致冠状动脉并发症的发生,使得儿童冠状动脉搭桥手术的发展成为必然。儿童生长迅速,预期寿命很长,对运动能力的要求越来越高,儿童冠状动脉搭桥手术的策略应不同于成人的搭桥手术。因为胸廓内动脉能够根据儿童体格增长而生长,且长期通畅率高,利用单侧和双侧胸廓内动脉的儿童冠状动脉搭桥手术已成为最可靠的手术方法,值得注意的是,儿童应避免使用静脉移植术。目前,儿童冠状动脉搭桥手术已成为心脏外科一个新的领域。

关键词:冠状动脉旁路移植术;先天性心脏病;川崎病;心血管疾病;儿童

中图分类号:R654 文献标志码:A

Application of coronary artery bypass grafting in pediatric cardiovascular disease

MO Xuming, WANG Qingfeng

(Department of Cardiothoracic Surgery, Children's Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210019, Jiangsu, China)

Abstract: Before the 1970s, coronary artery bypass surgery for children was rarely performed due to the lack of convincing surgical indications. The development of coronary artery bypass surgery for children has become inevitable due

to the emergence of coronary artery sequelae caused by Kawasaki disease and the emergence of new procedures such as aortic valve replacement surgery and congenital coronary artery malformation repair, which lead to the occurrence of coronary artery complications. Due to the rapid growth of children, their long life expectancy, and their increasing demand for athletic ability, the strategy for coronary artery bypass surgery in children should be different from that in adults. Because the internal thoracic artery can grow according to the physical growth of children and has a high long-term patency rate, coronary artery bypass surgery using unilateral and bilateral internal thoracic arteries in children has become the most reliable surgical method. It is worth noting that venous grafts should be avoided in children. At present, coronary artery bypass surgery for children has become a new field of cardiac surgery.

Key words: Coronary artery bypass grafting; Congenital heart disease; Kawasaki disease; Cardiovascular disease; Children

冠状动脉旁路移植 (coronary artery bypass grafting, CABG) 手术在儿童患者中的应用并不常见,其原因在于儿童身体结构相对较小、解剖结构复杂、手术暴露困难以及可供移植的血管有限,这些因素使得儿童 CABG 手术面临巨大的手术挑战,虽然近年来 CABG 手术技术得到了极大的提升,围手术期管理也在不断优化,但儿童 CABG 手术仍然是一项极具挑战性的外科操作,需要经验丰富的外科医生和多个学科专业团队密切配合,共同为患者提供精细的手术操作和全面的围手术期支持。

1 CABG 在儿童中的可行性

儿童行 CABG 最主要障碍可能是相应血管的小口径。但研究表明,在儿童甚至新生儿人群中,大多数冠状动脉直径 ≥ 1 mm,少数例外情况下测量值低至 0.7 mm^[1]。与 Vida 等^[2]在进行动脉转换前后测量大动脉转位新生儿冠状动脉大小的结果一致。当前显微外科领域可以对直径小至 0.3 mm 的血管进行吻合。综合文献报道和临床经验表明,采用现代放大技术和目前可用的微血管缝合技术,CABG 在大多数直径 ≥ 1 mm 的血管中是可行的,甚至在直径小至 0.7 mm 的血管中也是可行的。目前已形成共识,尽管血管直径相对较小,但得益于外科技术发展和专业培训,儿童 CABG 已成为可行且有效的手段。

2 儿童 CABG 的临床应用进展

儿童冠状动脉搭桥手术的发展历史可追溯至 20 世纪 70 年代。1966 年,Cooley 等^[3]首次报道了 1 例左冠状动脉异常起源于肺动脉 (anomalous left coronary artery originating from the pulmonary artery, ALCAPA) 的儿童使用自体大隐静脉儿童 CABG 手术。1976 年,Kitamura 等^[4]报道了采用双侧内乳动脉 CABG 成功治疗 1 例 4 岁川崎病患儿。但由于

缺乏强有力的手术适应证及技术受限,儿童 CABG 难以广泛推广。国内对儿童 CABG 同样开展较晚,2010 年上海瑞金医院赵强等首先报道了采用全动脉的 CABG 治疗儿童川崎病并发冠状动脉病变取得成功^[5]。2023 年上海儿童医学中心报道为 1 例 14 个月患儿进行了 CABG 手术,采用双侧内乳动脉分别行左前降支及右冠状动脉搭桥^[6]。近年来,基于现代微创外科技术的进步,随着医学领域的深入研究和临床实践的不断积累,川崎病等疾病导致的冠状动脉并发症逐渐受到重视,推动了儿童 CABG 的进一步临床应用,儿童 CABG 的可行性和安全性逐步增强。通过采用胸廓内动脉 (internal thoracic artery, ITA) 作为自体移植物,取代传统的大隐静脉移植,获得了更好的远期疗效。研究发现,ITA 在在婴儿和儿童 CABG 中表现出良好的生长潜力和长期通畅率,优于大隐静脉移植^[7]。

研究表明,CABG 已逐渐在儿童心血管疾病的治疗中发挥了重要作用,为儿童心血管疾病合并或并发冠状动脉问题的患儿提供了更为安全有效的治疗选择,已经成为一种在治疗儿童心血管疾病特别是先天性心脏病儿童患者中极为可靠的治疗手段。特别是在大动脉转位进行手术治疗的过程中,或在 ALCAPA 修复手术之后出现的冠状动脉相关并发症时,CABG 手术能有效地对这些并发症进行处理,改善心肌缺血,从而显著提升患者的生存率和生存质量^[8-11]。随着医疗技术的发展,尤其是在手术技巧和围手术期护理管理方面的不断进步与创新,儿童患者接受 CABG 手术的风险已经大幅度减少。

3 儿童 CABG 适应证

与成人患者相比,儿童 CABG 的适应证相对较少。儿童 CABG 最初主要是作为川崎病冠状动脉并发症以及家族性高胆固醇血症导致的早期冠状动脉粥样硬化的主要治疗手段^[8]。然而,目前儿童

CABG 在治疗先天性心脏病手术中的应用开始逐渐增多,并且变得越来越重要。在先天性心脏病手术中,如大动脉调转术(arterial switch operation, ASO)、Ross 手术、主动脉根部置换术和 ALCAPA 修复术等,通常需要进行冠状动脉移植。这些手术操作可能会对患儿的冠状动脉造成潜在的严重损伤,从而导致心肌缺血和功能障碍^[8-11]。通常情况下,冠状动脉移植术是儿童先天性心脏病手术的首选治疗方法,然而在紧急情况或严重心肌灌注不足的情况下,CABG 可以挽救生命。

综上,目前儿童 CABG 的适应证包括^[8-14]:①川崎病相关冠状动脉并发症;②家族性高胆固醇血症;③先天性冠状动脉异常(如冠状动脉起源和走行异常);④医源性冠状动脉损伤以及冠状动脉相关手术(如 ASO 手术和 Ross 手术等)的并发症。

4 儿童行 CABG 的相关病种

4.1 川崎病

川崎病是导致儿童后天性冠状动脉病变的主要原因,其病理特征是血管炎,可造成冠状动脉壁节段性破坏和动脉瘤形成。目前 CABG 已经在儿童患者中开展,但是川崎病是否行 CABG 需综合考虑患者的症状、年龄、心室功能和血管造影结果^[15]。川崎病冠状动脉病变主要影响左前降支和右冠状动脉,单纯左回旋支的严重病变少^[16-17]。冠状动脉瘤是川崎病患者严重的并发症之一,可导致血管狭窄或闭塞,增加心肌梗塞和猝死的风险^[18]。针对川崎病引发的冠状动脉瘤,传统的外科治疗方法包括切除或折叠冠状动脉动脉瘤,然而这些方法的效果并不理想,甚至可能导致死亡^[19]。

目前川崎病合并冠状动脉病变多选择 CABG 或经皮冠状动脉介入治疗。经皮冠状动脉介入治疗虽然具有手术创伤小、术后恢复快等优势,但适应证较窄,仅适用于近端局限性狭窄,由于儿童期生长发育的特殊性,病变处远期仍存在较高的再狭窄风险^[19-20]。近年来,CABG 在冠状动脉瘤中治疗作用越来越引起临床医师的重视。已有证据表明,CABG 是治疗川崎病合并冠状动脉瘤安全有效手段^[8,21]。良好的冠状动脉血管重建可改善严重川崎病并发症患者的远期预后。但尽管如此,有研究表明,只有当冠状动脉狭窄超过 75% 且存在心肌缺血才适用 CABG^[22],而对没有明显狭窄的巨大冠状动脉瘤进行 CABG 手术效果并不理想^[23]。主要原因因为原有病变的冠状动脉血流通畅时会导致桥血管内

血流灌注不足,出现桥血管与原有冠状动脉的血流竞争,导致移植的桥血管出现堵塞或血栓而失效。因此,对于川崎病患者冠状动脉严重扩张而没有形成局部明显的狭窄时,应避免行 CABG。

鉴于儿童发生心肌缺血时通常无症状或症状被忽略,因此对于有冠状动脉病变的患儿需注意评估是否存在心肌缺血。心肌缺血的评估手段多样,包括但不限于血液标记物检测、常规及运动心电图、静息与负荷超声心动图、心肌灌注成像、冠状动脉 CT、冠状动脉 MRI 及冠状动脉造影等。其中,冠状动脉造影作为一种侵入性检查手段,被公认为评估川崎病冠状动脉病变狭窄程度及确定治疗指征的金标准。

关于川崎病冠状动脉病变行 CABG 手术指征,国际指南如日本循环学会联合日本心脏外科学会 2020 年共同发布的《川崎病心血管后遗症的诊断和管理指南》^[15] 推荐 CABG 的适应证为:①左冠状动脉主干、左前降支近端或多支血管严重狭窄;②危险侧支循环。国内推荐标准^[24] 为冠状动脉狭窄 >75% (特别是 >90%) 同时存在心肌缺血,具体情况包括:①左冠状动脉主干严重阻塞性病变;②左前降支近端严重阻塞性病变;③两条及更多冠状动脉血管出现严重阻塞性病变;④侧支血管供血不足。

4.2 先天性心脏病

冠状动脉相关手术若处理不当,可能导致心肌缺血,危及患儿生命。其中,ASO 手术作为典型代表,其操作过程中需高度重视吻合处的处理,以防扭曲、拉扯等不良情况发生。实际操作中,得益于心包补片的灵活运用,即便面对各种复杂的冠状动脉变异类型,也能够顺利地将它们转移到新的主动脉上^[25-26]。尽管如此,冠状动脉狭窄所致的心肌缺血仍不可忽视。研究显示,ASO 手术后远期出现的冠状动脉梗阻发生率为 2%~7%^[26-27]。对于儿童患者而言,ASO 手术后若出现冠状动脉梗阻,CABG 则可能成为挽救其生命的关键手段,其重要性不言而喻。

冠状动脉异常主动脉起源(anomalous aortic of a coronary artery, AAOCA)被视为高强度运动人员和军人猝死的重要病因之一。特别是左冠状动脉异常起源于右冠窦是 AAOCA 中最为严重的一种类型,而右冠状动脉异常起源于左冠窦则发生率更高,心源性猝死最常见原因是异常的左冠状动脉^[28]。目前认为,对于合并壁内走行的 AAOCA 应采取冠状动脉去顶术,而对于冠状动脉起源于对侧冠窦但无壁内走行的冠状动脉狭窄病例,则推荐行冠状动脉移植术^[29]。对于 AAOCA 患

儿,CABG作为一种替代性治疗方案,通过绕过受影响的冠状动脉,有效地恢复血液供应并改善临床结果。

先天性左冠状动脉主干闭锁是一种罕见畸形,该畸形影响心肌供血,常合并有二尖瓣返流,易导致猝死^[30]。文献报道,先天性左冠状动脉主干闭锁多需要手术治疗,包括冠状动脉搭桥、自体心包补片成形术、奇静脉补片等^[31-32]。因缺乏临床经验和相关数据,最佳治疗方法尚不明确,但CABG被认为是治疗各种冠状动脉主干闭锁的最有效方法。

ALCAPA最佳手术方案是将异常的左冠状动脉从肺动脉重新移植至主动脉,此手术方式被视为最符合生理需求的^[33]。然而,鉴于冠状动脉移植术需要一定的条件,在儿童患者中,由于冠状动脉较为柔软,因此进行移植术相对简便。但当在进行冠状动脉移植手术时遇到挑战,可考虑采用CABG手术作为替代方案,该方案已被证实为处理此类情况的一种有效手段^[34-35]。

先天性主动脉瓣狭窄的Ross手术需要进行冠状动脉转移,当冠状动脉开口受到破坏时,该手术的操作难度将显著提升。面对这种情况,可以选择CABG术作为替代方案,该技术在类似情况已展现出良好的应用效果。Yalcinbas等^[36]在2006年报告了相关的病例;Arnaz等^[37]在2018年报告了2例类似病例。

4.3 冠状动脉的医源性损伤

法洛四联症患者中,冠状动脉畸形的发生率约为5%~15%,其中最常见的是左前降支从右冠状动脉异常起源,并穿过右心室流出道^[38-39]。在手术过程中可能会发生冠状动脉损伤,术中可能需要紧急CABG。因此,对法洛四联症患者术前准确了解冠状动脉的走行至关重要,以避免冠状动脉损伤,减少手术风险。

在心脏手术过程中,有时可能会发生一些预料之外的状况,例如在对右心室流出道切开与扩大操作时,存在误伤冠状动脉主干的风险,尤其在处理异常前降支交叉区域的时候更为常见。针对此类紧急情况,CABG已被证实为一种有效的治疗手段。Gupta等^[38]及Mavroudis等^[40]研究指出,对于因意外损伤的异常冠状动脉(如法洛四联症等),CABG展现出令人满意的疗效和预后。综上所述,针对医疗操作不慎所致的冠状动脉损伤,CABG手术不仅是一种治疗手段,更是一种能够在紧急情况下挽救患者生命的有效方法。

5 儿童 CABG 移植血管的选择

儿童CABG手术中存在诸多技术挑战,其中主要包括移植血管小、手术显露困难以及能否获得合适的移植血管。在儿童CABG中,移植血管的选择至关重要,常见的移植血管包括ITA、桡动脉、胃网膜动脉(gastroepiploic artery, GEA)以及大隐静脉等。尤其是在新生儿和婴幼儿中,由于他们的解剖结构特点,ITA和冠状动脉的直径相对较大,这使得ITA通常作为儿童进行CABG的首选移植血管^[10,41]。在为儿童选择移植血管时,除了要考虑当前的手术效果外,移植血管的长期通畅率及生长潜力亦成为优先考虑的关键因素。

Tadokoro等^[42]研究指出,GEA的5年通畅率为67%,而ITA、桡动脉和大隐静脉的10年通畅率分别达到90%、91%和46%。另有研究显示,即使在3岁以下的儿童中,采用动脉作为移植材料亦能获得明显高于静脉移植的长期通畅率^[43-44]。在儿童CABG手术中,由于儿童的生长发育特点,带蒂ITA具有与儿童生长同步的纵向和横向生长潜力;此外,ITA内皮可释放一氧化氮和前列腺素,具有解痉移植动脉的功能;且带蒂ITA的口径与原生冠状动脉直径相似,这些特性共同确立了ITA作为儿童CABG手术中的最佳移植血管的地位。相比之下,大隐静脉缺乏这种生长潜力,其不仅可能导致移植血管长度不足,还可能导致原生血管变形,甚至有可能因内膜增生而导致粥样硬化^[7,13]。尽管大隐静脉具有在低程度狭窄中保持通畅的优点,但其静脉中的纤维增殖变化可能会显著降低长期通畅率^[45]。因此只有当患儿年龄较大接近成人、内乳动脉较细、与左侧冠状动脉远端内径不匹配时才考虑使用大隐静脉做为移植材料^[4]。

一项针对儿童CABG治疗川崎病冠状动脉并发症的长期随访研究发现,在超过20年的随访期间内,使用大隐静脉的长期通畅率仅为44%,而在幼儿中更低,仅为25%^[22]。此结果明确表明大隐静脉的长期通畅率并不理想。相比之下,ITA移植展现出了显著优势,其长期通畅率高达87%,即使在幼儿患者中也能达到86%。这一数据强烈支持了ITA是儿童CABG手术中更为理想的移植材料。至于其他类型的移植动脉,如GEA因长度和内径较小,桡动脉需要有充分的侧枝循环,因此在儿童CABG冠状动脉搭桥手术中的应用受到限制。

与川崎病相比,家族性高胆固醇血症的血管选择时需考虑不同因素。由于这些儿童胆固醇水平很高,静脉移植物无疑具有很高的闭塞率;因此 ITA 和 GEA 在家族性高胆固醇血症患者是最常用的移植血管。需要注意的是,在严重的家族性高胆固醇血症病例中,即使 ITA 也可能受到影响。纯合子家族性高胆固醇血症还会累及心脏,如升主动脉有狭窄或严重动脉粥样硬化,会导致大隐静脉的顶端吻合非常困难,从而导致冠脉移植失败。对于杂合子家族性高胆固醇血症患儿而言,ITA 移植的应用有助于降低远期二次手术率^[46]。

相较于成人 CABG 手术中对于各种移植材料的优劣存在争议,如 ITA 获取就有骨骼化与带蒂之分^[47],儿童冠状动脉搭桥手术的情况相对明确:建议避免使用静脉移植,因为与动脉相比,静脉移植的通畅性较差且不具备生长潜力,骨骼化的动脉也不能生长,只有带蒂动脉可以生长,目前儿童 CABG 优先选择带蒂 ITA。但是,在桥血管的选择方面,各中心应依据自身的专业特色和实际情况进行科学合理的决策。此外,鉴于儿童冠状动脉管径相较于成人更为细小,为确保手术的安全性和精确度,建议采用体外循环心脏停跳状态下的手术方式,以便达到更高的吻合口精度。当然,在儿童和青少年人群中,应优先考虑采用替代 CABG 的方法,以保存这些动脉血管供以后使用。

6 预后

CABG 病死率相对较低,有研究表明其长期死亡率在 4%~6% 之间,其术后 10、25 年的生存率高达 98%、92%^[48-49]。术前有心肌梗死病史的患儿术后 25 年生存率为 73%、无心肌梗死患儿可达 100%。另一项研究也证明了 CABG 在儿科人群中的优势,其在动脉瘤 >8 mm 的情况下,CABG 将患儿的 30 年生存率提高到 62%,而未进行 CABG 的患儿 30 年生存率为 36%^[50]。

7 我国儿童 CABG 现状

在我国,儿童 CABG 手术开展较少,技术尚不成熟。随着医疗技术的发展,特别是微创外科技术的应用,儿童 CABG 的可行性和安全性得到了显著提升。目前,儿童 CABG 已成为治疗某些儿童心脏病的可靠手段,尤其是在处理川崎病引起的冠状动脉并发症、先天性冠状动脉异常以及大

动脉转位等手术中可能出现的冠状动脉问题时。由于儿童生长快、预期寿命长、活动量逐渐增加,因此儿童的 CABG 策略与成人不同,必须考虑患儿身体生长的问题,尽可能全动脉再血管化已成为儿童 CABG 的共识。然而,儿童 CABG 手术仍面临一些挑战,包括血管直径较小、解剖结构复杂等,这要求外科医生具备高超的专业技能和精湛的手术技巧。随着专业培训的加强和手术经验的积累,预计我国儿童 CABG 手术的成功率和远期效果将进一步提高。我国儿童进行 CABG 手术的路还比较漫长,如何正确掌握儿童手术适应证并在现有技术条件下进行手术,需要多学科医师的共同参与和进一步探讨。

8 谁更适合主刀儿童 CABG

对于需要 CABG 手术的儿童,由谁来做手术,这是一个有争议的问题。一般来说,儿童心脏外科医生多不擅长此类手术,而成人心脏外科医生在为儿童进行手术时可能会感到不适应。但研究发现,对于先天性心脏病的外科治疗,小儿心脏外科医生的手术效果优于成人心脏外科医生^[51]。因而对于儿童 CABG 手术,建议:①针对当代小儿心脏外科医生进行专业培训,以确保他们掌握 CABG 的相关知识和技能;②在初学者阶段,由成人心脏外科医生协助小儿心脏外科医生进行联合手术可能是一种最佳的解决方案。通过这些措施的执行,可以确保儿童患者得到最佳的手术治疗。

总之,儿童 CABG 是一项极具挑战性的任务,但也是解决复杂冠状动脉手术问题较好的方案。儿童冠状动脉疾病是一种独特的病症,需要引起高度关注,因其诊断难度较大,若漏诊可能会带来严重的后果。由于存在先天性、获得性和医源性病因,冠状动脉疾病的表现形式各异,因此选择合适的干预时机并制定详细的手术方案至关重要。

参考文献:

- [1] Lowry AW, Olabiyi OO, Adachi I, et al. Coronary artery anatomy in congenital heart disease [J]. *Congenit Heart Dis*, 2013, 8(3): 187-202.
- [2] Vida VL, Zanotto L, Zanotto L, et al. Arterial switch operation for transposition of the great arteries: a single-centre 32-year experience [J]. *J Card Surg*, 2019, 34(11): 1154-1161.

- [3] Cooley DA, Hallman GL, Bloodwell RD. Definitive surgical treatment of anomalous origin of left coronary artery from pulmonary artery: indications and results[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1966, 52(6): 798-808.
- [4] Kitamura S, Kawashima Y, Fujita T, et al. Aortocoronary bypass grafting in a child with coronary artery obstruction due to mucocutaneous lymphnode syndrome: report of a case[J]. *Circulation*, 1976, 53(6): 1035-1040.
- [5] 赵强, 朱丹, 王哲, 等. 冠状动脉旁路移植术治疗 6 例儿童川崎病并发冠状动脉病变[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2010, 26(5): 322-324.
ZHAO Qiang, ZHU Dan, WANG Zhe, et al. Coronary artery bypass grafting for coronary disease due to Kawasaki disease[J]. *Chinese Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2010, 26(5): 322-324.
- [6] 罗凯, 郑景浩, 祝忠群, 等. 冠状动脉旁路移植术治疗幼儿川崎病 1 例[J]. *中华心血管病杂志*, 2023, 51(7): 772-775.
LUO Kai, ZHENG Jinghao, ZHU Zhongqun, et al. Coronary artery bypass grafting surgery for treatment of an infant with Kawasaki disease: a case report[J]. *Chinese Journal of Cardiology*, 2023, 51(7): 772-775.
- [7] Berger A, MacCarthy PA, Siebert U, et al. Long-term patency of internal mammary artery bypass grafts: relationship with preoperative severity of the native coronary artery stenosis[J]. *Circulation*, 2004, 110(11 Suppl 1): II36-II40.
- [8] Vida VL, Torregrossa G, De Franceschi M, et al. Pediatric coronary artery revascularization: a European multicenter study[J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 96(3): 898-903.
- [9] Brancaccio G, Polito A, Hoxha S, et al. The Ross procedure in patients aged less than 18 years: the midterm results[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 147(1): 383-388.
- [10] Komarov R, Ismailbaev A, Chragyan V, et al. State-of-the-art pediatric coronary artery bypass surgery: a literature review[J]. *Braz J Cardiovasc Surg*, 2020, 35(4): 539-548.
- [11] Pacharapakornpong T, Soongswang J, Vijarnsorn C, et al. Coronary artery anomalies in D-transposition of the great artery following arterial switch operation[J]. *Congenit Heart Dis*, 2022, 17(3): 297-311.
- [12] Linglart L, Malekzadeh-Milani S, Gaudin R, et al. Outcomes of coronary artery obstructions after the arterial switch operation for transposition of the great arteries[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2024, 168(2): 331-341.
- [13] Kitamura S. A new arena in cardiac surgery: Pediatric coronary artery bypass surgery[J]. *Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci*, 2018, 94(1): 1-19.
- [14] Won Kwon H, Kyoung Song M, Lee SY, et al. Coronary artery complications after right ventricular outflow tract reconstruction surgery[J]. *Congenit Heart Dis*, 2022, 17(3): 281-295.
- [15] Fukazawa R, Kobayashi J, Ayusawa M, et al. JCS/JSCS 2020 guideline on diagnosis and management of cardiovascular sequelae in Kawasaki disease[J]. *Circ J*, 2020, 84(8): 1348-1407.
- [16] Kitamura S, Kameda Y, Seki T, et al. Long-term outcome of myocardial revascularization in patients with Kawasaki coronary artery disease. A multicenter cooperative study[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1994, 107(3): 663-673.
- [17] 熊祜, 张永兰, 杜忠东. 川崎病合并巨大冠状动脉瘤 101 例中长期随访[J]. *中华儿科杂志*, 2021, 59(2): 101-106.
XIONG Yi, ZHANG Yonglan, DU Zhongdong. Middle and long-term follow-up of 101 children with giant coronary artery aneurysm of Kawasaki disease[J]. *Chinese Journal of Pediatrics*, 2021, 59(2): 101-106.
- [18] Senzaki H. Long-term outcome of Kawasaki disease[J]. *Circulation*, 2008, 118(25): 2763-2772.
- [19] Suda, Iemura M, Nishiono H, et al. Long-term prognosis of patients with Kawasaki disease complicated by giant coronary aneurysms: a single-institution experience[J]. *Circulation*, 2011, 123(17): 1836-1842.
- [20] Kitamura S, Tsuda E. Significance of coronary revascularization for coronary-artery obstructive lesions due to Kawasaki disease[J]. *Children*, 2019, 6(2): 16. doi: 10.3390/children6020016
- [21] Watanabe M, Fukazawa R, Kamisago M, et al. Prognosis of coronary artery bypass grafting in preschool-aged patients with myocardial ischemia due to giant aneurysm of Kawasaki disease[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(5): 1421. doi:10.3390/jcm11051421
- [22] Kitamura S, Tsuda E, Kobayashi J, et al. Twenty-five-year outcome of pediatric coronary artery bypass surgery for Kawasaki disease[J]. *Circulation*, 2009, 120(1): 60-68.
- [23] Tsuda E, Fujita H, Yagihara T, et al. Competition between native flow and graft flow after coronary artery bypass grafting. Impact on indications for coronary artery bypass grafting for localized stenosis with giant aneurysms due to Kawasaki disease[J]. *Pediatr Cardiol*, 2008, 29(2): 266-270.
- [24] 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. 川崎病冠状动脉病变的临床处理建议(2020 年修订版)[J]. *中华儿科杂志*, 2020, 58(9): 718-724.
The Subspecialty Group of Cardiology, the Society of Pediatrics, Chinese Medical Association; the Editorial Board, Chinese Journal of Pediatrics. Recommendations for clinical management of Kawasaki disease with coronary artery lesions (2020 revision)[J]. *Chinese Journal of Pediatrics*, 2020, 58(9): 718-724.
- [25] Bergoënd E, Raisky O, Degandt A, et al. Myocardial revascularization in infants and children by means of coronary artery proximal patch arterioplasty or bypass grafting: a single-institution experience[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2008, 136(2): 298-305.

- [26] Jacobs JP, Jacobs ML, Mavroudis C, et al. Transposition of the great arteries; lessons learned about patterns of practice and outcomes from the congenital heart surgery database of the society of thoracic surgeons [J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2011, 2(1): 19-31.
- [27] Villafañe J, Lantin-Hermoso MR, Bhatt AB, et al. D-transposition of the great arteries; the current era of the arterial switch operation [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 64(5): 498-511.
- [28] Jegatheeswaran A, Brothers JA. Anomalous aortic origin of a coronary artery; learning from the past to make advances in the future [J]. *Curr Opin Pediatr*, 2021, 33(5): 482-488.
- [29] Jegatheeswaran A, Alsoufi B. Anomalous aortic origin of a coronary artery; 2020 year in review [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 162(2): 353-359.
- [30] Jiang XK, Ye WQ, Xiao YY, et al. Clinical characteristics of congenital atresia of the left main coronary artery in 12 children [J]. *Front Pediatr*, 2022, 10: 866010. doi:10.3389/fped.2022.866010
- [31] Tominaga T, Asou T, Takeda Y, et al. Coronary angioplasty for congenital obstruction of the left main coronary artery [J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 64(3): 156-159.
- [32] Hohri Y, Yamagishi M, Maeda Y, et al. Coronary artery bypass grafting for coronary artery anomalies in infants and young children [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2022, 35(2): ivac119. doi: 10.1093/icvts/ivac119
- [33] Triglia LT, Guariento A, Zanotto L, et al. Anomalous left coronary artery from pulmonary artery repair; outcomes from the European Congenital Heart Surgeons Association Database [J]. *J Card Surg*, 2021, 36(6): 1910-1916.
- [34] Berre LL, Baruteau AE, Fraisse A, et al. Anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery presenting in adulthood; a French nationwide retrospective study [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2017; S1043-S0679(17) 30234-4. doi: 10.1053/j.semtcvs.2017.08.018
- [35] Hoang R, Ikeda N, Combs P, et al. Anomalous origin of the left coronary artery from the right pulmonary artery of an infant [J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2022, 13(4): 532-535.
- [36] Yalcinbas YK, Ereğ E, Sarioglu A, et al. Total autologous Ross procedure in a child with aortic root abscess [J]. *J Card Surg*, 2006, 21(5): 475-477.
- [37] Arnaz A, Sarioglu T, Yalcinbas Y, et al. Coronary artery bypass grafting in children [J]. *J Card Surg*, 2018, 33(1): 29-34.
- [38] Gupta D, Saxena A, Kothari SS, et al. Detection of coronary artery anomalies in tetralogy of Fallot using a specific angiographic protocol [J]. *Am J Cardiol*, 2001, 87(2): 241-244.
- [39] 王辉山, 李守军. 先天性心脏病外科治疗中国专家共识(十): 法洛四联症 [J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2020, 27(11): 1247-1254.
- WANG Huishan, LI Shoujun. Chinese expert consensus on surgical treatment of congenital heart disease (10): Tetralogy of Fallot [J]. *Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2020, 27(11): 1247-1254.
- [40] Mavroudis C. Coronary artery bypass grafting in infants, children, and young adults for acquired and congenital lesions [J]. *Congenit Heart Dis*, 2017, 12(5): 644-646.
- [41] Kreutzer C, Bastianelli G, Chiostrì B, et al. CABG with internal thoracic artery in children with congenital heart defects; a good option when it is the only one [J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2020, 11(6): 748-752.
- [42] Tadokoro N, Fujita T, Fukushima S, et al. Multiple coronary artery bypass grafting for Kawasaki disease-associated coronary artery disease [J]. *Ann Thorac Surg*, 2019, 108(3): 799-805.
- [43] Legendre A, Chantepie A, Belli E, et al. Outcome of coronary artery bypass grafting performed in young children [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 139(2): 349-353.
- [44] Kameda Y, Kitamura S, Taniguchi S, et al. Differences in adaptation to growth of children between internal thoracic artery and saphenous vein coronary bypass grafts [J]. *J Cardiovasc Surg*, 2001, 42(1): 9-16.
- [45] Gaudino M, Audisio K, di Franco A, et al. Radial artery versus saphenous vein versus right internal thoracic artery for coronary artery bypass grafting [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62(1): ezac345. doi:10.1093/ejcts/ezac345
- [46] Kawasuji M, Sakakibara N, Takemura H, et al. Coronary artery bypass grafting in familial hypercholesterolemia [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1995, 109(2): 364-369.
- [47] Lamy A, Browne A, Sheth T, et al. Skeletonized vs pedicled internal mammary artery graft harvesting in coronary artery bypass surgery; a post hoc analysis from the COMPASS trial [J]. *JAMA Cardiol*, 2021, 6(9): 1042-1049.
- [48] Tadokoro N, Fujita T, Fukushima S, et al. Multiple coronary artery bypass grafting for Kawasaki disease-associated coronary artery disease [J]. *Ann Thorac Surg*, 2019, 108(3): 799-805.
- [49] Ma RY, Yang ZY, Jian Z, et al. Coronary artery bypass grafting in an adult patient with coronary artery aneurysm due to Kawasaki disease [J]. *Chin Med J*, 2012, 125(23): 4317-4318.
- [50] Tsuda E, Hamaoka K, Suzuki H, et al. A survey of the 3-decade outcome for patients with giant aneurysms caused by Kawasaki disease [J]. *Am Heart J*, 2014, 167(2): 249-258.
- [51] Backer CL, Overman DM, Dearani JA, et al. Recommendations for centers performing pediatric heart surgery in the United States [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 166(6): 1782-1820.