

全动脉冠状动脉旁路移植术治疗儿童川崎病后冠状动脉瘤1例并文献复习

王智琪¹, 戚继荣¹, 扈元利¹, 陈绪军², 王庆峰¹, 莫绪明¹

(1.南京医科大学附属儿童医院心胸外科,江苏南京 210019;

2.华中科技大学同济医学院武汉市第一医院心血管外科,湖北武汉 430022)

摘要:目的 报道1例川崎病后并发巨大冠状动脉瘤患儿经全动脉冠状动脉旁路移植术(Coronary artery bypass graft, CABG)治疗经过并进行文献复习,探讨桡动脉桥在儿童CABG中应用的优点。方法 患儿,男,13岁,因川崎病导致巨大冠状动脉瘤形成。实施CABG手术,术中使用双侧桡动脉作为桥血管。结果 术后恢复良好,桥血管通畅,心脏功能显著改善。结论 川崎病引发的冠状动脉瘤是儿童获得性心脏病的主要原因,CABG在治疗巨大冠状动脉瘤中具有重要作用,动脉桥血管的选择对生存至关重要。

关键词:川崎病;冠状动脉瘤;冠状动脉旁路移植术;桡动脉

中图分类号:R654

文献标志码:A

Total arterial coronary artery bypass grafting for treatment of coronary artery aneurysm after Kawasaki disease in a child: case report and literature review

WANG Zhiqi¹, QI Jirong¹, HU Yuanli¹, CHEN Xujun², WANG Qingfeng¹, MO Xuming¹

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

2. Cardiovascular Surgery, Wuhan NO.1 Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, Hubei, China)

Abstract: **Objective** To investigate the advantages of using the radial artery as a conduit in adolescent CABG by reporting the treatment of a child with a giant coronary artery aneurysm complicating Kawasaki disease who underwent total arterial coronary artery bypass grafting (CABG) and to review relevant literature. **Methods** A case of a 13-year-old male with a coronary artery aneurysm secondary to Kawasaki disease was reviewed. The child developed a large coronary artery aneurysm as a complication of Kawasaki disease. CABG was performed using bilateral radial arteries as grafts. **Results** Postoperative recovery was uneventful, with patency of the grafts and significant improvement in cardiac function. **Conclusion** Coronary artery aneurysms caused by Kawasaki disease are a leading cause of acquired heart disease in children. CABG plays a critical role in treating giant coronary aneurysms. The selection of arterial grafts is crucial for ensuring survival and optimal outcomes.

Key words: Kawasaki disease; Coronary artery aneurysm; Coronary artery bypass grafting; Radial artery

川崎病是一种主要影响儿童的疾病,可能会导致冠状动脉瘤(coronary artery aneurysms, CAA)的形成。这是一种严重的并发症,可能会引起冠状动脉狭窄、血栓栓塞,导致心肌缺血甚至死亡。对于川崎病后冠状动脉瘤的治疗,冠状动脉旁路

移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)是一种重要的治疗手段。CABG手术在儿童中的应用需要考虑到患儿的生长和发育,因此手术技术和术后管理需要特别精细。本文报道了1例13岁青少年罹患川崎病并发巨大CAA的诊疗经过并复习相关文

献,探讨桡动脉桥在青少年 CABG 中应用的优势。

1 资料与方法

1.1 临床资料

患儿,男,13岁,因“川崎病后冠状动脉瘤形成8年”入院。患儿8年前出现高热伴皮疹,首诊未诊断川崎病,经抗生素治疗(未使用静脉免疫球蛋白)11d,病情无明显好转。再次复诊时心脏超声提示双侧冠状动脉呈瘤样扩张。经多家医院就诊,予阿司匹林、氯吡格雷抗血小板聚集,华法林抗凝治疗。外院数字减影血管造影提示双侧冠脉巨大动脉瘤伴远端狭窄。2017年于当地经股动脉行冠脉造影检查见:左冠状动脉远端有瘤样形成约 $0.8\text{ cm}\times 2.0\text{ cm}$;右冠状动脉有2处动脉瘤样形成,近端约 $1.2\text{ cm}\times 2.0\text{ cm}$,远端扩张明显约 $2.0\text{ cm}\times 3.1\text{ cm}$ 。2022年逐渐出现运动后胸闷症状。2024年5月24日为求进一步诊治收住南京医科大学附属儿童医

院。入院后超声心动图显示:左室稍增大,左侧冠状动脉起源正常,主干 3.4 mm ,前降支瘤样扩张,较宽处 14 mm ,壁稍增厚、回声增强,回旋支开口 3.0 mm ,远端显示不清。右侧冠状动脉起源正常:开口处显示不清,近端 9.3 mm ,中远段瘤样扩张,较宽处位于右侧房室沟约 25 mm ,其内见附壁血栓,最远端显示不清。心脏大血管CT血管造影(CT angiography, CTA)显示:左、右冠状动脉起源未见明显异常,左冠状动脉前降支及右冠状动脉中远段瘤样扩张,大小分别为 $20\text{ mm}\times 23\text{ mm}$ 及 $30\text{ mm}\times 30\text{ mm}$,管壁见弧形致密影,右冠状动脉瘤样扩张腔内见低密度影,似见液平面。考虑左冠状动脉前降支瘤样扩张伴管壁斑块形成;右冠状动脉主干扩张,中远段巨大瘤样扩张伴管壁斑块形成(血流缓慢?腔内血栓形成)(图1)。经多学科讨论决定为患儿实施全动脉CABG。本研究经患者监护人知情同意,且通过南京医科大学附属儿童医院临床特殊病例伦理审查(批号:202407028-1)。

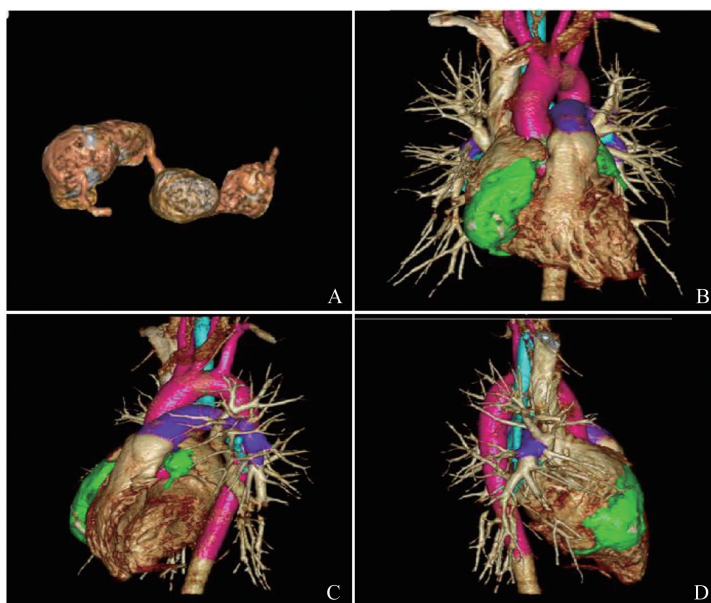


图1 患儿术前CTA。绿色标记为CTA重建巨大CAA。

A: 冠脉重建; B: 心脏大血管正面观; C: 心脏大血管左侧面观; D: 心脏大血管右侧面观。

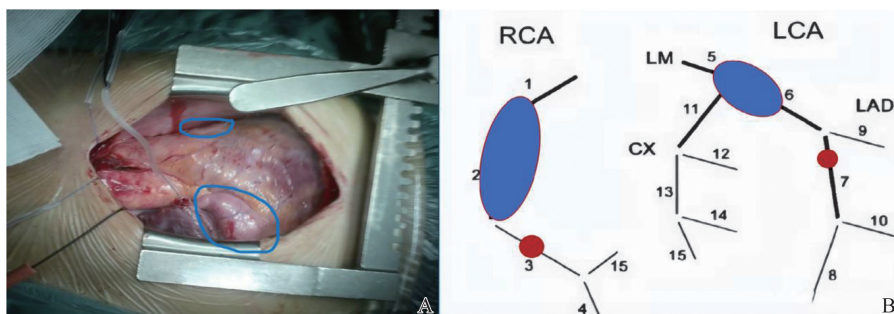
Figure 1 Preoperative CTA of the child. Green markers are CTA reconstruction of giant CAA.

A: Coronary reconstruction; B: Frontal view of the great vessels of the heart; C: Left-sided view of the great vessels of the heart; D: Right-sided view of the great vessels of the heart.

1.2 方法

术前双侧改良Allen试验阴性。术前1周停止口服抗凝药,改用低分子肝素皮下注射。术前3d应用白蛋白、速尿对患儿进行脱水,降低心脏容量负荷。术中取双侧带蒂桡动脉为桥血管备用。正中开胸探查见右冠状动脉近段大部分及右冠状动脉中段呈瘤样扩张,瘤体大小为 $32\text{ mm}\times 32\text{ mm}$,瘤体表面钙化明显,质地坚硬,难以游离。左冠主干

部分及前降支近段呈瘤样改变,瘤体大小为 $20\text{ mm}\times 25\text{ mm}$,瘤体硬化。常规建立体外循环,探查回旋支近段血供正常。心脏停跳后分别在前降支中段和右冠状动脉远段剖开冠状动脉。将修剪好的带蒂桡动脉与冠状动脉进行端侧吻合。去除升主动脉前壁脂肪及外膜,用 3.5 mm 打孔器打孔,将桥血管的另一端与主动脉前壁开孔吻合。见图2。



注: RCA-右冠状动脉; LCA-左冠状动脉; LM-左冠状动脉主干; LAD-前降支; CX-回旋支; 1-右冠状动脉近段; 2-右冠状动脉中段; 3-右冠状动脉远段; 4-分支以后, 后降支、后侧支、房室结支; 5-左冠状动脉主干; 6-前降支近段, 前降支开口到第一对角支/第一间隔支; 7-前降支中段, 第一间隔支到第二对角支; 8-前降支远段, 第二对角支分出以后; 9-第一对角支; 10-第二对角支; 11-回旋支近段; 12-钝缘支; 13-回旋支远段; 14-后降支; 15-后侧支/左室后支

图 2 术中探查 CAA 及桥血管吻合示意图。蓝色标记为 CAA, 红色标记为桥血管吻合处。

A: 术中所见 CAA; B: CAA 所在位置及桥血管吻合位置示意图。

Figure 2 Intraoperative exploration of CAA and the schematic diagram of bridge vessel anastomosis. The CAA is shown in blue and the bridging vessel anastomosis is shown in red.

A: CAA seen intraoperatively; B: Schematic representation of the location of the CAA and the location of the bridging vessel anastomosis.

抗桡动脉痉挛策略: ①术中操作严格采用 no-touch, 均为带蒂获取; ②积极使用扩血管药物。术中复跳后积极静脉泵入钙离子通道阻滞剂 $0.3 \sim 0.5 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 与硝酸甘油 $0.3 \sim 0.5 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$, 多巴胺 $3 \sim 5 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 持续泵入, 术后 72 h 内保持平均动脉压 $70 \sim 75 \text{ mmHg}$ ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$); 严格避免使用去甲肾上腺素等缩血管药物; ③积极超滤, 减少心脏前后负荷, 减少血管活性药物使用剂量; ④吻合口宽大, 确保“脚尖”通过 1.5 mm 探条, 前向阻力小, 是避免桡收缩/痉挛的重要原因; ⑤术后持续早期口服钙阻滞剂。目前统一的认识为, 动脉桥的钙离子通道阻滞剂应使用持续 1 年。

2 结果

主动脉开放后心脏自动复跳, 桥血管充盈良好。术中心电监测未见心肌缺血表现。术后 45 min 顺利撤离呼吸机, 术后第 4 天出监护室。术后第一夜肝素抗凝, 第 2 天起口服阿司匹林 ($10 \text{ mg}/\text{d}$)、氯吡格雷 ($25 \text{ mg}/\text{d}$) 抗血小板聚集。地尔硫卓预防血管痉挛。术后 1 周复查心脏超声见桥血管通畅, 左室射血分数 60%。术后 4 d 下床行走, 术后 10 d 快速行走 10 min 无胸闷, 纽约心功能分级 1 级。术后 6 个月复查心脏大血管 CTA 见血管桥通畅(图 3)。

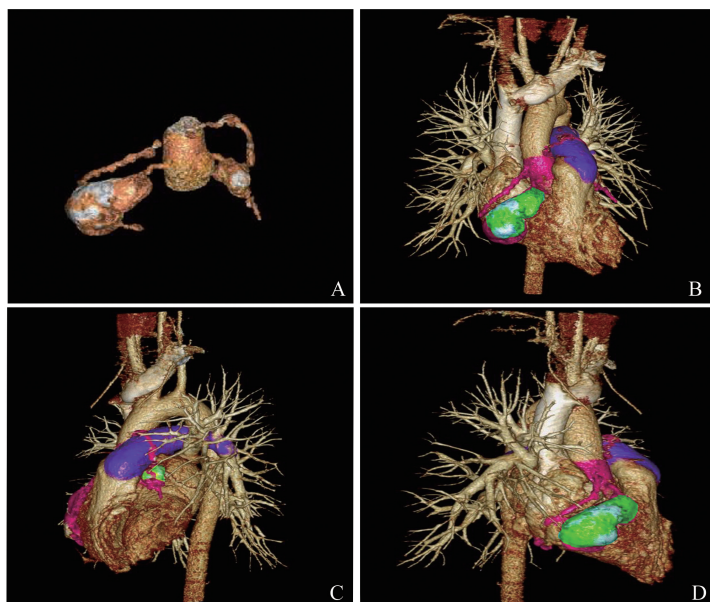


图 3 术后 6 个月复查 CTA。绿色标记为 CTA 重建巨大 CAA。

A: 冠脉重建; B: 心脏大血管正面观; C: 心脏大血管左侧面观; D: 心脏大血管右侧面观。

Figure 3 CTA of the child 6 months after surgery. Green markers are CTA reconstruction of giant CAA.

A: Coronary reconstruction; B: Frontal view of the great vessels of the heart; C: Left-sided view of the great vessels of the heart; D: Right-sided view of the great vessels of the heart.

3 讨论

3.1 川崎病概述、动脉病变过程与冠状动脉病变治疗

川崎病是日本川崎富作医生在1967年首先报道的一种以全身非特异性血管炎为主要病理改变的疾病,依据其病理特征也被称为皮肤黏膜淋巴结综合征^[1]。这是一种急性、自限性的发热性疾病,主要影响5岁以下的儿童。在最初报道该疾病时,由此造成的冠状动脉病变(coronary artery lesion, CAL)并未被发现并引重视^[2]。但随着时间推移,学者们发现由川崎病所引发的CAL已成为许多国家或地区儿童获得性心脏病最常见的病因^[3-4],其发生率为25%,在及时开始静脉注射免疫球蛋白的情况下发病率可下降至4%^[5]。最新提出的川崎病动脉病理改变包括3个相互关联的血管病变过程^[6]:第一个过程出现在发热症状后两周内,表现为以内皮为中心的同步中性粒细胞性炎症,可渐进性破坏血管壁至外膜而形成CAA。这个过程被称为急性自限性坏死性动脉炎(necrotizing arteritis, NA),是三个过程中惟一的自限性的过程。第二过程为发热两周内开始持续数月至数年,以淋巴细胞、嗜酸性粒细胞及巨噬细胞浸润为主要表现的亚急性/慢性(subacute/chronic, SA/C)血管炎,此过程与第三个过程发展密切相关。第三个过程是在发病的两周内开始持续数月至数年,这个过程的特征性改变为一种特殊的内膜平滑肌细胞病理性的转化为肌成纤维细胞并增生,称之为腔内肌成纤维细胞增生(luminal myofibroblastic proliferation, LMP),可能导致后期动脉进行性的狭窄。正是因为川崎病病程中的炎症因子风暴,CAA是否发生的最重要的决定因素是静脉注射免疫球蛋白的给药时间^[7]。本病例并未在第一时间诊断为川崎病,错过了静脉注射免疫球蛋白的最佳时机(发病后5~10 d)导致后续CAL。

3.2 巨大CAA的临床管理与CABG治疗

川崎病引发的CAL主要包括冠脉扩张、CAA以及在此基础上形成的冠脉闭塞、狭窄、CAA破裂等,其中CAA被认为是最严重的并发症。有研究表明,巨型CAA的存在和双侧冠状动脉分支的累及与发生重大心脏不良事件(major adverse cardiac events, MACE)的风险增加有关^[8]。2020年中华

医学会儿科学分会制定了CAA大小的分型和定义^[4]:①冠状动脉扩张或小型CAA,内径 ≤ 4 mm, $2 < Z$ 值 < 5 ,内径/临近段 < 1.5 ;②中型CAA, 4 mm $<$ 内径 < 8 mm, $5 \leq Z$ 值 < 10 , $1.5 \leq$ 内径/临近段 ≤ 4 ;③巨大CAA,内径绝对值 ≥ 8 mm, Z 值 ≥ 10 ,内径/临近段 > 4 。熊祎等^[9]对101例合并巨大CAA的川崎病患者中长期随访观察发现,经过积极抗血小板聚集和抗凝治疗,10.9%的病例会出现扩张冠脉的回缩。Samada等^[10]研究发现,在长期随访过程中70.8%的病例会产生冠状动脉狭窄或闭锁。由此可见,当确诊川崎病并在随访中发现合并有巨大CAA的患者在积极进行抗聚、抗凝治疗的基础上还需密切关注已扩张冠脉的径线变化,力求及时干预以避免MACE的发生。据文献报道CABG能够将巨大CAA患者30年生存率由36%提高至62%^[11]。国内学者总结CABG适应证包括:①左冠状动脉主干或多支血管或左前降支近端高度阻塞,冠状动脉侧支循环形成;②有心肌梗死病史,复发风险高,即使单支右冠状动脉病变也应考虑手术;③梗阻血管疏通或已形成侧支后,再次发生心肌缺血;④节段性左心室收缩功能不良;⑤药物治疗无效,心肌缺血表现;⑥巨大CAA^[12]。本例患者经药物治疗后仍产生巨大CAA,并逐渐出现运动后胸闷等心肌缺血表现,因此在进行了充分的术前准备(抗凝、脱水、吸氧增加心脏储备)后为其实施了全动脉CABG。

3.3 CABG桥血管选择与远期生存影响

儿童CABG桥血管的选择对于川崎病患儿远期生存具有非常重要的意义。因为大隐静脉(saphenous vein graft, SVG)易于获取,长度长,血管直径较粗,早期作为CABG首选的桥血管。但随着研究进展,人们发现静脉桥在术后5~10年会发生严重退行性变,10年通畅率仅为45%^[13],而动脉桥的远期通畅率为85%左右,远高于SVG^[14]。基础研究发现血管内皮细胞可以通过分泌内皮细胞因子来调节血管的生理功能。其中一氧化氮(nitric oxide, NO)具有抗血小板聚集,防止平滑肌增生,促进内皮细胞迁移等重要生理作用。胸廓内动脉(internal thoracic artery, ITA)、桡动脉等动脉桥的NO释放量远大于SVG。这个结果为CABG桥血管优选动脉桥提供了理论依据^[15]。更重要的是,研究发现不同于静脉桥远期发生狭窄、闭塞,动脉桥随着时间的推移会出现明显的管径增加。Al-Bustami

等^[16]对20例接受桡动脉动脉桥CABG患者进行造影检查发现,术后6个月桡动脉桥血管内径较植入时增加0.4 mm。Ikeda等^[17]研究发现,在术后27个月的随访中桡动脉、ITA桥血管的管径显著增加,分别从2.15 mm增加到2.52 mm,从1.75 mm增加到1.97 mm;而SVG桥的管径从3.78 mm到3.33 mm,变化不显著;在3种血管桥的G/N比(移植物的管腔直径与血运重建的冠状动脉的管腔直径的比率)中仅桡动脉具有统计学意义。尽管此类研究较少涉及儿童病例,但作为移植物,桥血管内径的显著增加为儿童期CABG术后中远期桥血管的发育提供了证据。

3.4 双侧桡动脉作为桥血管的临床经验与抗痉挛技术策略

目前常用的动脉系桥血管主要包括:ITA、桡动脉、胃网膜动脉、旋股外侧动脉降支^[18]。ITA目前仍为CABG首选桥血管,桡动脉则被认为是第二血管桥^[18]。在澳大利亚双桡桥使用率达40%^[19]。国内也有使用双桡桥大宗病例报道的多中心研究^[20]。

1973年Carpentier等^[21]提出将桡动脉作为桥血管应用于CABG。但与ITA不同的是,桡动脉具有更厚的肌性动脉壁,在多种刺激因素(机械扩张、寒冷、药物等)下会发生强烈的收缩,在随后的20年中桡动脉都被弃用,直到抗痉挛药物的进步以及人们对桡动脉预处理的认识加深,桡动脉才重新被应用于CABG中^[19-22]。在探索过程中人们发现桡动脉作为桥血管具有很多优点:①位置表浅、易于采集,取材创口愈合快,不破坏胸骨血供,减少胸骨不愈合等并发症;②长度长,直径较ITA粗[长度(18.50±2.85)cm,直径(2.45±0.32)mm],可与任意靶血管进行吻合,包括直接与主动脉吻合或与ITA吻合;③术后早期即可下床活动,大大减少坠积性肺炎、下肢深静脉血栓等长期卧床并发症;④带蒂血管具有生长潜能,满足儿童生长需要^[23-24]。在预防桡动脉痉挛上医生们也积累了一些经验^[25]:①评估靶血管,减少竞争血流;②应用解痉药;③术中包括罂粟碱、硝酸甘油、地尔硫卓的局部用药、腔内用药及储液用药;④桥血管采集过程中应用“无接触”技术,减少电刀切割、机械扩张等刺激;⑤应用超声刀采集血管时超声波效应可能促进桡动脉释放NO,有助于血管保持松弛状

态^[26];⑥采集血管时远端离断后钳夹,利用近段搏动性血流扩张桡动脉,避免桥血管痉挛;⑦精细吻合,避免血管内膜损伤;⑧术后全身应用药物预防动脉痉挛。此外在术前还应确认:①桡动脉不是优势动脉,即Allen试验阴性;②桡动脉未经历有创动脉监测,不会因为透析需要而进行造瘘手术;③患者不患有雷诺氏病。本例患儿ITA较细,术中探查直径仅1.1 mm,CAA范围大,涉及多支病变,需要游离出更粗、更长的桥血管来完成吻合,因此选择双侧桡动脉作为桥血管。

桡动脉作为桥血管在临床应用中还存在一定争议。这可能与桡动脉管壁厚,平滑肌细胞多,血管易痉挛以及管壁易受动脉粥样硬化影响有关。这些因素会导致桥血管的通畅率下降^[27-28]。有研究者通过术后不同时间患者CTA检查发现,随着时间的推移,桡动脉血管桥的通畅性会出现“复苏”现象^[29];Buxton等^[30]在对桡动脉桥血管长期的随访研究中发现,在10年的随访中桡动脉桥血管的通畅性明显高于右内乳动脉和SVG;Gaudino等^[31]通过血管内超声检查发现,桡动脉在植入冠脉循环后会发生血管壁从肌肉型向弹力型的形态功能转变,形成像ITA等弹性血管的形态功能特征。综上,桡动脉在儿童CABG中的应用效果值得期待。

3.5 巨大CAA治疗策略

根据2020版川崎病冠状动脉病变的临床处理建议^[4],对于巨大CAA患者术中应对CAA成形,缩小冠脉直径,改善局部血流。但部分患儿在接受CABG时CAA血管壁已经钙化,无法切除冗余瘤体缩小冠脉直径。外科医生为了避免靶血管对桥血管的血流竞争,会在瘤体近段结扎血管。本病例中巨大CAA血管壁与瘤内血栓钙化融合,血流量少、压力低,故术后未结扎近段冠脉,术后超声未见明显血流竞争。在随访过程中,需密切关注CAA的演变。

3.6 桡动脉采集注意事项

本病例中患儿双侧前臂采用弧形切口,术中需保护桡神经浅支和前臂外侧皮神经,确保术后双上肢没有出现运动和感觉的异常。为避免骨筋膜室综合征,仅缝合切口的皮下组织和皮肤层,缝合后创面覆盖棉垫后用弹力绷带适度加压包扎。将手指外露,便于观察末梢血运及手腕手指的运动(图4)。



图4 获取桡动脉的手术切口及桡动脉桥血管

A: 术中标记右前臂弧形切口; B: 术后双前臂手术疤痕; C: 术中获取桡动脉桥血管。

Figure 4 Surgical incision for radial artery access and the radial artery bridge defect tube

A: Intraoperative marking of the curved incision in the right forearm; B: Postoperative double forearm surgical scars; C: Intraoperative acquisition of radial artery bridge vessels.

儿童全动脉 CABG 治疗川崎病后巨大 CAA 极具挑战。本例患儿病程长, CAL 病变严重。术前经仔细评估、充分准备, 应用双侧带蒂桡动脉作为桥血管进行了全动脉 CABG。术后患儿心功能恢复良好, 桥血管通畅, 为临床开展以桡动脉作为桥血管的儿童全动脉 CABG 提供了临床经验。但带蒂桡动脉的远期通畅性、远期生长能力仍需长期随访观察。

参考文献:

- [1] Kawasaki T. Acute febrile mucocutaneous syndrome with lymphoid involvement with specific desquamation of the fingers and toes in children[J]. *Arerugi*, 1967, 16(3): 178-222.
- [2] McCrindle BW, Rowley AH, Newburger JW, et al. Diagnosis, treatment, and long-term management of Kawasaki disease: a scientific statement for health professionals from the American heart association[J]. *Circulation*, 2017, 135(17): e927-e999.
- [3] Makino N, Nakamura Y, Yashiro M, et al. Nationwide epidemiologic survey of Kawasaki disease in Japan, 2015-2016[J]. *Pediatr Int*, 2019, 61(4): 397-403.
- [4] 中华医学会儿科学分会心血管学组, 中华医学会儿科学分会免疫学组. 川崎病冠状动脉病变的临床处理建议[J]. *中华儿科杂志*, 2012, 50(10): 746-749. The Subspecialty Group of Cardiology, The Society of Pediatrics, Chinese Medical Association; The Subspecialty Group of Immunology, The Society of Pediatrics, Chinese Medical Association. Recommendations for clinical management of Kawasaki disease with coronary arterial lesions [J]. *Chinese Journal of Pediatrics*, 2012, 50(10): 746-749.
- [5] Newburger JW, Takahashi M, Beiser AS, et al. A single intravenous infusion of gamma globulin as compared with

four infusions in the treatment of acute Kawasaki syndrome[J]. *N Engl J Med*, 1991, 324(23): 1633. doi: 10.1056/NEJM199106063242305

- [6] Orenstein JM, Shulman ST, Fox LM, et al. Three linked vasculopathic processes characterize Kawasaki disease: a light and transmission electron microscopic study [J]. *PLoS One*, 2012, 7(6): e38998. doi: 10.1371/journal.pone.0038998
- [7] Varol F, Dedeoğlu R, Kiliç A, et al. Retrospective analysis of children diagnosed with Kawasaki disease[J]. *Turk J Med Sci*, 2023, 53(4): 979-989.
- [8] Santimahakullert K, Vijarnsorn C, Wongswadiwat Y, et al. A retrospective cohort study of major adverse cardiac events in children affected by Kawasaki disease with coronary artery aneurysms in Thailand[J]. *PLoS One*, 2022, 17(1): e0263060. doi: 10.1371/journal.pone.0263060.
- [9] 熊祎, 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.
- [10] Samada K, Shiraishi H, Sato A, et al. Grown-up Kawasaki disease patients who have giant coronary aneurysms [J]. *World J Pediatr*, 2010, 6(1): 38-42.
- [11] 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.
- [12] 罗凯, 郑景浩, 何晓敏, 等. 儿童期川崎病并发冠状动脉瘤外科治疗初步探究[J]. *中华小儿外科杂志*, 2021, 42(12): 1066-1071. LUO Kai, ZHENG Jinghao, HE Xiaomin, et al. Preliminary study on surgical treatment for children complicated with Kawasaki disease and coronary artery aneu-

- rism[J]. Chinese Journal of Pediatric Surgery, 2021, 42(12): 1066-1071.
- [13] 高文卿, 李彤, 胡晓旻, 等. 冠状动脉移植术后患者桥血管通畅情况观察[J]. 天津医药, 2018, 46(7): 696-699. GAO Wenqing, LI Tong, HU Xiaomin, et al. Observation on patency of radial artery bridge in patients after coronary artery transplantation[J]. Tianjin Medical Journal, 2018, 46(7): 696-699.
- [14] Zhang XL, Zhu QQ, Yang JJ, et al. Percutaneous intervention versus coronary artery bypass graft surgery in left main coronary artery stenosis: a systematic review and meta-analysis[J]. BMC Med, 2017, 15(1): 84. doi: 10.1186/s12916-017-0853-1
- [15] 刘志刚, 刘晓程, 何国伟. 不同部位的人体冠状动脉搭桥材料血管释放一氧化氮和内皮超极化因子差异的实验研究[J]. 中国循环杂志, 2011, 26(6): 430-433. LIU Zhigang, LIU Xiaocheng, HE Guowei. The differences of endothelium-derived nitric oxide and hyperpolarizing factor among human internal mammary artery, radial artery and saphenous vein[J]. Chinese Circulation Journal, 2011, 26(6): 430-433.
- [16] Al-Bustami MH, Amrani M, Chester AH, et al. *In vivo* early and mid-term flow-mediated endothelial function of the radial artery used as a coronary bypass graft[J]. J Am Coll Cardiol, 2002, 39(4): 573-577.
- [17] Ikeda M, Ohashi H, Tsutsumi Y, et al. Angiographic evaluation of the luminal changes in the radial artery graft in coronary artery bypass surgery: a concern over the long-term patency [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2002, 21(5): 800-803.
- [18] 陈绪军, 张建, 李伟栋, 等. 2023年欧洲心胸外科协会和美国胸外科医师协会《冠状动脉旁路移植术旁路血管选择专家共识》解读[J]. 中华外科杂志, 2024, 62(1): 44-48. CHEN Xujun, ZHANG Jian, LI Weidong, et al. Interpretation on Expert systematic review on the choice of conduits for coronary artery bypass grafting endorsed by the European Association for Cardio-Thoracic Surgery and the Society of Thoracic Surgeons in 2023 [J]. Chinese Journal of Surgery, 2024, 62(1): 44-48.
- [19] Tatoulis J. The radial artery: an important component of multiarterial coronary surgery and considerations for its optimal harvest[J]. JTCVS Tech, 2021, 5: 46-55. doi: 10.1016/j.xjtc.2020.10.042
- [20] 陈绪军, 郑宝石, 张永, 等. 冠状动脉旁路移植术双桡动脉桥多中心应用的中期结果[J]. 中华医学杂志, 2019, 99(14): 1069-1074. CHEN Xujun, ZHENG Baoshi, ZHANG Yong, et al. Mid-term multi-center outcomes of bilateral radial artery as conduits in coronary artery bypass grafting [J]. National Medical Journal of China, 2019, 99(14): 1069-1074.
- [21] Carpentier A, Guermontprez JL, Deloche A, et al. The aorta-to-coronary radial artery bypass graft. A technique avoiding pathological changes in grafts[J]. Ann Thorac Surg, 1973, 16(2): 111-121.
- [22] Tatoulis J, Royle AG, Buxton BF, et al. The radial artery in coronary surgery: a 5-year experience: clinical and angiographic results [J]. Ann Thorac Surg, 2002, 73(1): 143-147.
- [23] 陈绪军, 郑宝石, 邢万红, 等. 冠状动脉旁路移植术多支动脉桥应用的若干热点问题[J]. 中华医学杂志, 2019, 99(14): 1048-1052. CHEN Xujun, ZHENG Baoshi, XING Wanhong, et al. Hotspot issue of clinical practice of multiple arterial grafting in coronary artery bypass surgery in China [J]. National Medical Journal of China, 2019, 99(14): 1048-1052.
- [24] Kitamura S, Seki T, Kawachi K, et al. Excellent patency and growth potential of internal mammary artery grafts in pediatric coronary artery bypass surgery. New evidence for a "live" conduit [J]. Circulation, 1988, 78(3 Pt 2): I129-I139.
- [25] CHEN Xujun, ZHANG Yong, CHEN Xin, et al. Role of radial artery in total arterial myocardial revascularization in coronary bypass surgery [J]. Chinese Medical Journal, 2008, 121(3): 200-204.
- [26] Hata M, Shiono M, Sezai A, et al. Determining the best procedure for radial artery harvest: prospective randomized trial for early postharvest complications [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2005, 129(4): 885-889.
- [27] Gaudino M, Crea F, Cammertoni F, et al. Morphofunctional features of the radial artery: implications for use as a coronary bypass conduit [J]. Ann Thorac Surg, 2014, 98(5): 1875-1879.
- [28] Dogan A, Sever K, Mansuroglu D, et al. Mönckeberg's arteriosclerosis: a possible reason for non-use of radial conduit [J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2019, 27(8): 685-687.
- [29] Liu Y, Qin KJ, Zhu JX, et al. Radial artery graft in coronary artery bypass surgery 1 week to 1 year postoperation [J]. J Thorac Dis, 2023, 15(12): 6408-6418.
- [30] Buxton BF, Hayward PA, Raman J, et al. Long-term results of the RAPCO trials [J]. Circulation, 2020, 142(14): 1330-1338.
- [31] Gaudino M, Prati F, Caradonna E, et al. Implantation in coronary circulation induces morphofunctional transformation of radial grafts from muscular to elastomuscular [J]. Circulation, 2005, 112(9 Suppl): I208-I211.