

冠状动脉旁路移植术中桥血管获取方法的应用与进展

苗哲¹, 范康钧², 赵永亮², 程前进^{2*}

¹济宁医学院临床医学院, 山东 济宁

²济宁医学院附属医院心脏外科, 山东 济宁

收稿日期: 2025年4月29日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年6月4日

摘要

冠状动脉粥样硬化性心脏病(CAD)是由冠状动脉粥样硬化斑块形成导致管腔狭窄或闭塞, 进而引发心肌缺血缺氧的缺血性心脏病。作为CAD的根治性手段, 冠状动脉旁路移植术(CABG)通过重建血运通道, 实现心肌血供的解剖重建, 以改善心肌缺血症状。CABG的远期预后高度依赖移植物的生物学特性、获取技术及术后桥血管调控干预。本文系统性综述CABG中移植物的选择策略、获取技术革新及抗重塑干预措施, 通过整合近期研究数据, 探讨技术演进对移植物通畅率的改善效应, 旨在为优化血运重建策略提供参考。

关键词

冠心病, 冠状动脉旁路移植术, 桥血管, 乳内动脉, 桡动脉, 大隐静脉

Application and Progress of Graft Acquisition Methods in Coronary Artery Bypass Grafting

Zhe Miao¹, Kangjun Fan², Yongliang Zhao², Qianjin Cheng^{2*}

¹Clinical Medical College, Jining Medical University, Jining Shandong

²Department of Cardiac Surgery, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining Shandong

Received: Apr. 29th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: Jun. 4th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 苗哲, 范康钧, 赵永亮, 程前进. 冠状动脉旁路移植术中桥血管获取方法的应用与进展[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(3): 208-216. DOI: 10.12677/jcpm.2025.43335

Abstract

Coronary atherosclerotic heart disease (CAD) is an ischemic heart disease caused by coronary atherosclerotic plaque formation leading to lumen stenosis or occlusion, which in turn causes myocardial ischemia and hypoxia. As a radical means of CAD, coronary artery bypass grafting (CABG) achieves anatomical reconstruction of myocardial blood supply by reconstructing blood supply channels to improve the symptoms of myocardial ischemia. The long-term prognosis of CABG is highly dependent on the biological characteristics of the graft, acquisition technology and postoperative graft vascular regulation intervention. This article systematically reviews the graft selection strategies, technological innovations and anti-remodeling interventions in CABG. By integrating recent research data, this article explores the improvement effect of technological evolution on graft patency, aiming to provide a reference for optimizing revascularization strategies.

Keywords

Coronary Heart Disease, Coronary Artery Bypass Grafting, Bridge Vessel, Internal Mammary Artery, Radial Artery, Great Saphenous Vein

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. 引言

冠状动脉粥样硬化性心脏病(coronary atherosclerotic heart disease, CAD)主要是指因冠状动脉发生粥样硬化病变,致使血管管腔变得狭窄或完全闭塞,进而引发心肌组织缺血、缺氧,严重时可能发生坏死的一类心脏疾病。长久以来,大多数研究者认为低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)的异常是冠状动脉出现粥样硬化的主要原因[1]。随着我国生活质量的提高和人口老龄化的加剧,心血管疾病发病率持续升高。《中国心血管健康与疾病报告 2023》[2]指出,国内冠心病患病人数已达 1139 万,形势严峻。

冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)作为 CAD 的有效治疗手段之一,是一种将自体动脉或静脉用作移植植物以绕过被动脉粥样硬化斑块部分或完全阻塞的冠状动脉的手术,以改善心肌细胞血运和氧气供应。相关研究表明,相较于 CABG 组,PCI 组 5 年的主要终点包括全因死亡率、心肌梗死、再次血流重建和卒中的发生率更高。Laura 等也指出 CABG 有着较低的死亡率和较少的主要心血管不良事件,CABG 在治疗左前降支冠状动脉病变方面优于 PCI [3] [4]。此外 CABG 在克服动脉粥样硬化疾病的总体负担、改善生活质量和实现更高的完全血运重建率方面也更具优势[5] [6]。

移植物的通畅是冠状动脉旁路移植术(CABG)长期获益的机制[7]。患者术后的生活质量和生存状况取决于桥血管的选择与应用,取决于如何维持桥血管长期稳定的通畅率。自上世纪 60 年代至今,使用左乳内动脉移植植物到冠状动脉左前降支已成为冠状动脉移植术的最优选择,并且与静脉移植植物相比,左乳内动脉移植植物有着更高的长期通畅率[8]。此后,桡动脉又被确立为第二动脉导管。其他动脉(如右胸内动脉和胃上皮动脉)的移植植物同样已被证明比隐静脉移植植物具有更好的通畅性,但由于技术难度大及缺乏相关循证医学证据,并未普及开来。现阶段,CABG 最常用的桥血管是左胸内动脉和大隐静脉。相关指南表明,大隐静脉(great saphenous vein, SVG)是临床中除左乳内动脉外应用范围最为广泛的桥血管材料[9]。获

取大隐静脉的方式诸多,目前临床常用的获取方法有传统开放式(open vein harvesting, OVH)、腔镜获取大隐静脉(endoscopic vein harvesting, EVH)、间断小切口获取大隐静脉和不接触大隐静脉获取术(no-touch saphenous vein grafting, NT-SVG)技术等。本文旨在总结 CABG 中获取常见血管移植物的应用进展。

2. 常用动脉移植物及常用获取方式

2.1. 乳内动脉(internal mammary artery, IMA)

IMA 又称胸廓内动脉(Internal Thoracic Artery, ITA),分为左乳内动脉(left internal mammary artery, LIMA)和右乳内动脉(Right internal mammary artery, RIMA),乳内动脉是一种弹性动脉,其内部弹力层结构紧凑,呈现“粗褶皱”形态,弹性纤维纵横交错,相对不利于粥样硬化的发生发展[10]。术中,IMA 的内皮结构和内皮扩张功能保存良好,加之有着高浓度的 NO 和高效的跨内皮转运 LDL 能力,使得 IMA 在 CABG 后桥血管通畅率方面存在较大优势[11]。IMA 的 10 年通畅率约为 90%已成业内共识。国内一项研究显示,术后 3 个月乳内动脉-前降支搭桥的总体通畅率为 99.5%,其中 LIMA-前降支搭桥通畅率为 100% [12]。因此,结合 LIMA 长度和流量的限制因素,在 CABG 中常常采用将 LIMA 和 LAD 做吻合。

2.1.1. 带蒂乳内动脉

此法通过将乳内动脉联通周围的结缔组织一同游离下来,降低了损伤乳内动脉的可能性,保留的血管外组织通过旁分泌作用可避免远期闭塞的发生。André 等[13]研究发现 CABG 术后 1 年乳内动脉桥闭塞率方面,带蒂组低于骨骼化组(30/764 [3.9%] vs. 33/344 [9.6%]);平均随访 23 个月后,带蒂组相对有着较低的主要不良心血管事件发生率(15 [2.1%] vs. 20 [7.1%])和再次血运重建发生率(10 [1.4%] vs. 14 [5.0%])。不过,由于其游离了更多的周围组织,带蒂法获取 IMA 相对增加了胸骨不愈合的风险。

2.1.2. 骨骼化乳内动脉

此法通过将血管外的组织及伴行静脉分离,仅保留动脉主干本身,从而得到更高的吻合后流速和更长的导管长度。同时骨骼化获取术在降低患者术后胸骨切口区域并发症与乳糜胸风险方面具有显著的临床价值,减少术后引流量[14][15]。理论上来说,骨骼化的操作损伤血管主干的可能性更大。但 Sá MP [16]等研究表明,两种方法获得的动脉血管通畅率无统计学意义。Dimagli A 等[17]一项 4.8 年的随访表明,两组之间的死亡率没有差异(IRR 1.14; 95% CI 0.59~2.20)。然而该研究还表明,与带蒂组相比,骨骼化组的移植失败发生率较高(IRR 1.87, 95% CI 1.33~2.63),但胸骨伤口并发症风险较低(OR 0.42; 95% CI 0.30~0.60)。上述观点在另一研究中被证实,且骨骼化法获取的乳内动脉术中流量相对更大,术后随访桥血管通畅率接近带蒂乳内动脉桥[18]。

综合考虑,带蒂法获取乳内动脉在降低移植物远期闭塞风险及不良心血管事件发生率方面具有优势;骨骼化获取的乳内动脉在降低胸骨伤口并发症及优化血流动力学方面比较突出,临床选择乳内动脉的获取方法需权衡患者个体风险以达到收益最大化。

2.2. 桡动脉(radial artery, RA)

桡动脉血管壁平滑肌层发达,获取简单、长度充足,方便吻合。桡动脉常与乳内动脉联合,应用于全动脉化冠状动脉旁路移植术,2021 ACC/AHA/SCAI 冠状动脉指南中表示,RA 是除 LIMA 之外 CABG 的最佳血管桥选择。Buxton BF [19]等关于移植物 10 年通畅率的研究表明,在 RA 与 RITA 组中,RA 组为 89%,游离 RITA 组为 80%;在 RA 与 SVG 组中,RA 组为 85%,SVG 组为 71%。Gaudino M 等[20]研究也证明,与 SVG 移植物相比,RA 移植 5 年后的通畅率更高。尽管 RA 在远期通畅率方面似乎更有

优势, 但 RA 血管壁平滑肌动作电位低, 相比其他动脉导管更易发生平滑肌痉挛, 影响患者术后生活质量。

获取技术方面, RA 的获取大多采取开放切口, 多数学者主张使用带蒂法获取桡动脉。也有文献表明, 理论上 RA 骨骼化获取可以减弱交感神经反应以及血管收缩, 以减少相关并发症的发生[21]。尽管近年来的临床及询证证据愈发支持 RA 的优先级, 但目前世界范围内 RA 的使用率仍然偏低。

针对 RA 特性, 建议选择惯用手及排除相关手术禁忌症, 尽可能减少对患者术后感觉及功能的影响。获取 RA 并放置于特制抗痉挛溶液中, 术后服用钙离子拮抗剂以预防痉挛, 提高患者生活质量。

2.3. 胃网膜右动脉(right gastroepiploic artery, RGEA)

胃网膜右动脉起源于胃十二指肠动脉, 参与胃大弯侧的部分血供。RGEA 一般尝试和 IMA 及 RA 联合以用于冠状动脉的全动脉化血运重建。Kim MS [22], 等发布了一项分析, 该分析涉及 548 名行全动脉化血运重建的患者, RGEA 与 RIMA 作为第二支桥血管, 基于原位 LIMA 行 Y 字吻合后 10 年通畅率的对比, 结果提示两组总体移植物闭塞率、第二导管移植物闭塞率及术后 15 年生存期均无明显差异。有研究在通畅率方面也给出了相似的结论, 但也表明 GEA 相较于隐静脉存在竞争血流量及腹部再手术风险[23]。上述研究证明了 RGEA 的可行性, 然而大多临床医生认为获取 RGEA 需要开腹导致对患者损伤较大而不会考虑该动脉。加之 GEA 和其他动脉移植物在生活质量、围术期风险的相关研究较少, 因此, RGEA 作为全动脉化血运重建的第三导管以及二次 CABG 无其他合适移植物可用时才可能被考虑。

3. 静脉移植物及常用获取方式

3.1. 大隐静脉(saphenous vein, SVG)

大隐静脉血管壁由内膜、中膜和外膜构成, 内膜结构单薄, 其组织构成仅包含单层内皮细胞, 而中膜层则由双排平滑肌细胞有序排列形成, 外膜由弹性纤维、结缔组织、纵向平滑肌细胞纤维等成分构成[24]。静脉移植物的通畅率依赖于其解剖完整性和移植物的生物学特征, 静脉移植物的衰败也许归因于术后急性血栓形成和 1 年以后的动脉粥样硬化[25]。静脉本身的特性, 导致在采集及吻合过程中内皮易损伤, 使内皮下胶原暴露, 导致移植血管急性血栓形成, 从而导致移植物狭窄与闭塞。以及大隐静脉的硫酸肝素、游离胆固醇含量减少, 内皮功能受损后 NO 减少导致抗炎功能减弱, 静脉内源性抗氧化保护机制缺失, 脂蛋白加速沉积、胆固醇结晶致动脉粥样硬化等也是影响静脉桥远期通畅率重要原因[25]-[29]。不过 SVG 具有获取相对容易、管壁长度较长、管壁坚韧且吻合省时等诸多优点, 因此目前虽然有全动脉化血运重建的趋势, 但自体大隐静脉目前仍然是左乳内动脉外临床应用最多的桥血管[30]。在大隐静脉的获取方式上, 除传统开放式骨骼化技术外, 近年来桥接技术、腔镜技术、N-TSVG 技术等方法的出现, 在一定程度上弥补了作为静脉桥本身的缺陷, 保护了静脉壁的基本结构和生理功能, 使静脉移植物的通畅率有所提高。

3.1.1. 传统开放式大隐静脉获取法

OVH 简单易上手, 术中桥血管暴露清楚, 能够直观的处理大隐静脉分支, 但是此法创面大, 术后恢复时间长, 感染几率大, 不够美观, 增加损伤胫前皮神经等等, 这些缺点在肥胖患者身上体现的更加明显。一项平均随访时间 2.6 年的研究表示, OVH 伤口并发症发生几率更高(OVH 3.3% vs. EVH 1.1%; OR: 0.02 (95%CI, 0.01~0.06), $P < 0.001$), 包括腿部感染、伤口引流、感觉改变等[31]。并发症的高发生率严重影响患者感受和生活质量, 甚至需要二期清创, 同时也相应增加麻醉的风险。

3.1.2. 间断桥接技术

OVH 的缺点促使了桥接技术的诞生。该技术采集静脉与上述 OVH 大致相同, 通过隧道从近端或远

端切口仔细分离,来获取完整的桥血管,此法缩小了伤口,减少出血、感染或其他伤口并发症的风险。

3.1.3. 内窥镜下大隐静脉获取法

EVH 需要使用内窥镜血管采集系统,患者摆好体位后,术者轻压大隐静脉,明确血管位置,利用便携式床旁超声仪来帮助定位。于膝关节内侧做一小切口,沿 GSV 走行向腹股沟方向钝性游离,持续注入尽可能少的 CO₂,在 GSV 周围形成隧道同时减少 CO₂ 对血管内皮的损伤。如需较为完整的大隐静脉,则可以于这一切口沿反方向游离至所需长度。于腹股沟附近切一小口,将大隐静脉近端离断、结扎,最后从膝关节切口处牵拉至体外。取出后,从 GSV 近端适当注水以降低内皮损伤,分支残端可用钛夹夹闭,最后挤压出隧道积血并加压包扎 48 h。

大隐静脉的获取方式中, EVH 的创面面积小,有利于患者早期下床活动恢复肢体功能。在创面切口并发症方面, EVH 优势明显,腿部创伤显著降低,抗生素使用率下降,术后上门护理率低[32] [33]。此外, Carpino 等[34]一项研究证明,罹患肥胖及糖尿病的患者在冠脉搭桥后出现切口感染的几率更大,而 EVH 的优点恰恰更适用于患有此两种疾病的患者。

在近中期通畅率、全因死亡率、围术期心梗发生率、MACE 风险方面, EVH 组与 OVH 组并无显著差别[33] [35]。一项关于 OPCABG 中 EVH 组和 OVH 组的研究, EVH 组相较于 OVH 组在围术期死亡率方面差异无统计学意义(3.03% vs. 3.60% $P = 1.00$),且 OVH 组虽在内皮完整性方面表现更好,但在内皮拉伸方面无显著性差异[36]。另一项研究也表明,在 MACE 事件发生率方面, EVH 和 OVH 并无显著差异[37]。

在中远期方面,因随访研究较少,难度增加,结果也并不一致。研究表明在 2 年静脉桥血管通畅率方面, EVH 组和 OVH 组差异无统计学意义(82.22% vs. 83.59% $P = 0.73$),然而在另一项对 22 项研究的汇总分析中,较于 OVH 组, EVH 组 5~7 年移植物通畅率降低(OR 0.15, 95% CI 0.04~0.61; $P = 0.008$) [35]。此外, EVH 技术在临床实践阶段,个体操作者与医疗团队均呈现出明显的学习曲线,具体表现为操作者的技术掌握周期与医疗机构的系统适应期双重维度特征[38]。Desai 等[39]在血管获取技术比较研究中建立三维评估体系,通过冠状动脉 CTA 对三种术式(开放静脉采集术、高年资术者腔镜采集术、低年资术者腔镜采集术)术后 5 日桥血管通畅性进行定量分析。研究数据揭示:手术量 < 100 例的初阶术者实施 EVH 时,其深部血管结构损伤发生率较累计手术量 > 900 例的资深组显著升高($P < 0.01$)。值得注意的是,该研究证实冠状动脉 CTA 检测出的内膜完整性参数与组织学内皮损伤评分、血管腔组织因子活性水平均呈强正相关,从而证明局部性内皮损伤可能导致静脉桥栓塞这一假设。目前临床上关于 EVH 学习曲线并没有明确的标准,但经过安全可靠的培训是极其必要的。

3.1.4. 不接触获取大隐静脉技术

NT-SVG 是通过超声下观察皮下大隐静脉走行,并标记分支。皮刀切开皮肤,充分暴露结缔组织以及脂肪,使用电凝刀沿静脉两侧充分游离。采集静脉蒂,同时保留周围组织,包括血管外膜和血管周围脂肪组织。NT-SVG 周围脂肪组织纤维化程度和乳内动脉周围脂肪组织相当,炎症反应少[40]。NT-SVG 无需使用高压注液的方式来检验 SVG 的完整性,这使得内皮细胞层得到有力保护,内皮细胞分泌的调节凝血与纤溶功能的生物活性物质及细胞黏附相关分子,可能通过抑制血小板活化关键环节,对早期血小板黏附聚集产生调控作用[41]。

在手术时长、静脉桥血管平均数量及流量、机械通气时长、ICU 监护时长等方面, NT-SVG 组和 OVH 组差异均无统计学意义,但 NT-SVG 组术后通畅率高于 OVH 组[42] [43]。不仅如此,一项长达 97 月的研究表明, NT-SVG 组移植物通畅率稍高于 RA 组,甚至与 LIMA 组相当[44] [45]。这意味着 NT-SVG 或许成为全动脉冠状动脉旁路移植术中 RA 的有效替代。

NT-SVG 在伤口感染、下肢水肿、不愈合率方面要劣于 EVH,基于微创性与组织保护的双重考虑,

研究团队尝试开发保留血管周围组织的内窥镜术式，该改良术式可能实现微创入路与解剖完整性的协同效应[46] [47]。

3.2. 小隐静脉(small saphenous vein, SSV)

小隐静脉走行通常是从跟腱和外踝之间沿下肢后外侧走向腘窝中点。其自踝部至腘窝走行全程中，小隐静脉与腓总神经浅表支丛形成紧密的神经血管束，分离获取时需注意保护，可用超声查明并标注方向。小隐静脉生理特性与大隐静脉相似，由于其生理位置特殊，获取相对困难，仅在大隐静脉曲张或者直径异常等情况选用。

3.3. 血管外支架

CABG 中血管外支架是一种包裹在移植血管外表面的网状生物装置，通过机械支撑优化血流动力学，以预防静脉桥内膜增生及塌陷变形，从而提升 CABG 后的桥血管通畅率。一项荟萃分析表明，在 6~12 个月的随访中，使用外支架 SVG 与未使用外支架 SVG 的桥血管通畅率分别为 98%和 87.5%，结果证实 SVG 外支架置入术在 CABG 中安全可行[48]。值得注意的是，该技术的生物学效应通过多维度研究得以阐明，如 David [49]团队实验表明体外支架置入术显著降低移植植物内膜增生的面积和厚度；另一项动物实验表明，血管外支架可减少兔模型中移植物的炎症反应[50]。这些发现共同揭示了血管外支架在抑制血管病理性重构方面产生有益影响。后续研究需进一步明确该技术的适应症范围，并系统评估其在主要心血管不良事件(MACE)发生率及静脉桥血管通畅率等指标中的远期临床收益。

4. 总结与展望

CABG 是一项非常有重要意义的冠心病治疗手段，通过重建血运，改善心肌细胞缺血，缓解心绞痛和提高生活质量。

静脉移植植物方面，目前 NT-SVG 技术蓬勃发展，相关研究愈来愈多，但在手术时间、切口并发症等方面仍处劣势。EVH 学习曲线相对较长，手术费用相对较高。因此仍需探索更加完善的 SVG 获取方法，以达到保证移植植物通畅率的前提下，同时减少创面及术后并发症的发生，保留血管周围组织的内窥镜技术提供了新的方向。其他措施的革新，如静脉桥血管外支架、储存药液更迭、原位 IMA 复合移植等，在改善静脉桥远期通畅率方面也表现出积极信号。相信随着技术迭代革新，静脉桥远期通畅率这一缺陷最终得以解决。

参考文献

- [1] Correction to: 2023 AHA/ACC/ACCP/ASPC/NLA/PCNA Guideline for the Management of Patients with Chronic Coronary Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, **148**, e186.
- [2] 国家心血管病中心，中国心血管健康与疾病报告编写组，胡盛寿. 中国心血管健康与疾病报告 2023 概要[J]. 中国循环杂志, 2024, 39(7): 625-660.
- [3] Persson, J., Yan, J., Angerås, O., Venetsanos, D., Jeppsson, A., Sjögren, I., *et al.* (2023) PCI or CABG for Left Main Coronary Artery Disease: The SWEDEHEART Registry. *European Heart Journal*, **44**, 2833-2842. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad369>
- [4] Besola, L., Colli, A. and De Caterina, R. (2024) Coronary Bypass Surgery for Multivessel Disease after Percutaneous Coronary Intervention in Acute Coronary Syndromes: Why, for Whom, How Early? *European Heart Journal*, **45**, 3124-3131. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae413>
- [5] Meynet, P., Improta, R., Carbone, M.L., Pecoraro, M., Pagliassotto, I., Di Pietro, G., *et al.* (2024) Percutaneous Coronary Intervention versus Coronary Artery Bypass Grafting in Left Main Disease According to Patients' Sex: A Meta-Analysis. *European Journal of Clinical Investigation*, **55**, e14348. <https://doi.org/10.1111/eci.14348>

- [6] Libby, P., Buring, J.E., Badimon, L., Hansson, G.K., Deanfield, J., Bittencourt, M.S., *et al.* (2019) Atherosclerosis. *Nature Reviews Disease Primers*, **5**, Article No. 56. <https://doi.org/10.1038/s41572-019-0106-z>
- [7] Gaudino, M., Sandner, S., An, K.R., Dimagli, A., Di Franco, A., Audisio, K., *et al.* (2023) Graft Failure after Coronary Artery Bypass Grafting and Its Association with Patient Characteristics and Clinical Events: A Pooled Individual Patient Data Analysis of Clinical Trials with Imaging Follow-Up. *Circulation*, **148**, 1305-1315. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.123.064090>
- [8] Gaudino, M., Bakaeen, F.G., Benedetto, U., Di Franco, A., Fremes, S., Glineur, D., *et al.* (2019) Arterial Grafts for Coronary Bypass. *Circulation*, **140**, 1273-1284. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.119.041096>
- [9] 中华医学会心血管病学分会介入学组, 中华医学会心血管病学分会微循环学组, 中国老年医学学会心血管病学分会, 北京心血管疾病预防研究会心内外交叉分会. 冠状动脉旁路移植术后再次血运重建策略中国专家共识 (2022 版)[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(36): 2844-2853.
- [10] van Son, J.A.M., Smedts, F., Vincent, J.G., van Lier, H.J.J. and Kubat, K. (1990) Comparative Anatomic Studies of Various Arterial Conduits for Myocardial Revascularization. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **99**, 703-707. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(19\)36947-8](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(19)36947-8)
- [11] Kraler, S., Libby, P., Evans, P.C., Akhmedov, A., Schmiady, M.O., Reinehr, M., *et al.* (2021) Resilience of the Internal Mammary Artery to Atherogenesis: Shifting from Risk to Resistance to Address Unmet Needs. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **41**, 2237-2251. <https://doi.org/10.1161/atvbaha.121.316256>
- [12] 仲肇基, 郑哲, 王小啟, 等. 双侧乳内动脉行冠状动脉旁路移植术早期桥血管通畅性分析[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2018, 10(7): 816-819.
- [13] Lamy, A., Browne, A., Sheth, T., Zheng, Z., Dagenais, F., Noiseux, N., *et al.* (2021) Skeletonized vs Pedicled Internal Mammary Artery Graft Harvesting in Coronary Artery Bypass Surgery. *JAMA Cardiology*, **6**, 1042-1049. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2021.1686>
- [14] Kusu-Orkar, T., Kermali, M., Masharani, K., Noshirwani, A., MacCarthy-Ofosu, B., Oguamanam, N., *et al.* (2021) Skeletonized or Pedicled Harvesting of Left Internal Mammary Artery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **33**, 10-18. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2020.09.010>
- [15] 仲肇基, 侯剑峰, 樊红光, 等. 骨骼化与带蒂获取双侧乳内动脉行冠状动脉旁路移植术早期临床结果的病例对照研究[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2018, 25(2): 128-132.
- [16] Aldea, G.S., Bakaeen, F.G., Pal, J., Fremes, S., Head, S.J., Sabik, J., *et al.* (2016) The Society of Thoracic Surgeons Clinical Practice Guidelines on Arterial Conduits for Coronary Artery Bypass Grafting. *The Annals of Thoracic Surgery*, **101**, 801-809. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.09.100>
- [17] Dimagli, A., Gemelli, M., Kumar, N., Mitra, M., Sinha, S., Fudulu, D., *et al.* (2024) A Systematic Review and Meta-Analysis of Internal Thoracic Artery Harvesting Techniques: Skeletonized vs Pedicled. *International Journal of Cardiology*, **395**, Article 131577. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2023.131577>
- [18] 姜兆磊, 梅举, 汤敏, 等. 骨骼化或带蒂游离乳内动脉应用于冠状动脉旁路移植术的对比研究[J]. 中国心血管病研究, 2020, 18(4): 337-340.
- [19] Buxton, B.F., Hayward, P.A., Raman, J., Moten, S.C., Rosalion, A., Gordon, I., *et al.* (2020) Long-Term Results of the RAPCO Trials. *Circulation*, **142**, 1330-1338. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.119.045427>
- [20] Gaudino, M., Benedetto, U., Fremes, S., Biondi-Zoccai, G., Sedrakyan, A., Puskas, J.D., *et al.* (2018) Radial-Artery or Saphenous-Vein Grafts in Coronary-Artery Bypass Surgery. *New England Journal of Medicine*, **378**, 2069-2077. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1716026>
- [21] Gaudino, M., Fremes, S., Schwann, T.A., Tatoulis, J., Wingo, M. and Tranbaugh, R.F. (2019) Technical Aspects of the Use of the Radial Artery in Coronary Artery Bypass Surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **108**, 613-622. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2018.10.066>
- [22] Kim, M., Hwang, H.Y., Cho, K.R. and Kim, K. (2022) Right Gastroepiploic Artery versus Right Internal Thoracic Artery Composite Grafts: 10-Year Patency and Long-Term Outcomes. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **163**, 1333-1343. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2020.05.096>
- [23] Yamamoto, T., Mutsuga, M., Matsuura, A., Miyahara, K., Takemura, H., Saito, S., *et al.* (2021) Long-Term Outcome 10 Years after Free Gastroepiploic Artery Graft for Coronary Artery Bypass Surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **112**, 1447-1452. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.09.080>
- [24] Thiene, G., Miazzi, P., Valsecchi, M., Valente, M., Bortolotti, U., Casarotto, D., *et al.* (1980) Histological Survey of the Saphenous Vein before Its Use as Autologous Aortocoronary Bypass Graft. *Thorax*, **35**, 519-522. <https://doi.org/10.1136/thx.35.7.519>
- [25] Gaudino, M., Antoniadis, C., Benedetto, U., Deb, S., Di Franco, A., Di Giammarco, G., *et al.* (2017) Mechanisms,

- Consequences, and Prevention of Coronary Graft Failure. *Circulation*, **136**, 1749-1764. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.027597>
- [26] Sisto, T., Ylä-Herttuala, S., Luoma, J., Riekkinen, H. and Nikkari, T. (1990) Biochemical Composition of Human Internal Mammary Artery and Saphenous Vein. *Journal of Vascular Surgery*, **11**, 418-422. [https://doi.org/10.1016/0741-5214\(90\)90241-2](https://doi.org/10.1016/0741-5214(90)90241-2)
- [27] Antonopoulos, A.S., Odutayo, A., Oikonomou, E.K., Trivella, M., Petrou, M., Collins, G.S., *et al.* (2020) Development of a Risk Score for Early Saphenous Vein Graft Failure: An Individual Patient Data Meta-Analysis. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **160**, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.07.086>
- [28] Kobayashi, T., Higuchi, Y., Komatsu, S., Yutani, C., Hirayama, A. and Kodama, K. (2020) Visualization of Cholesterol Crystals Liberated from a Diseased Saphenous Vein Coronary Bypass Graft. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **13**, e105-e106. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2020.01.239>
- [29] Sandner, S., Antoniadis, C., Caliskan, E., Czerny, M., Dayan, V., Fremes, S.E., *et al.* (2024) Intra-Operative and Post-Operative Management of Conduits for Coronary Artery Bypass Grafting: A Clinical Consensus Statement of the European Society of Cardiology Working Group on Cardiovascular Surgery and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery Coronary Task Force. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **66**, ezae400. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezae400>
- [30] 中华医学会心血管病学分会介入学组, 中华医学会心血管病学分会微循环学组, 中国老年医学学会心血管病学会, 北京心血管疾病预防研究会心内外交叉分会. 冠状动脉旁路移植术后再次血运重建策略中国专家共识 (2022 版)[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2022, 38(12): 705-715.
- [31] Kodias, K., Patel, S., Weber, M.P., Luc, J.G.Y., Choi, J.H., Maynes, E.J., *et al.* (2018) Graft Patency after Open versus Endoscopic Saphenous Vein Harvest in Coronary Artery Bypass Grafting Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Annals of Cardiothoracic Surgery*, **7**, 586-597. <https://doi.org/10.21037/acs.2018.07.05>
- [32] Luzzatto, L. and Makani, J. (2019) Hydroxyurea—An Essential Medicine for Sickle Cell Disease in Africa. *New England Journal of Medicine*, **380**, 187-189. <https://doi.org/10.1056/nejme1814706>
- [33] Gaudino, M., Bakaen, F.G., Sandner, S., Aldea, G.S., Arai, H., Chikwe, J., *et al.* (2023) Expert Systematic Review on the Choice of Conduits for Coronary Artery Bypass Grafting: Endorsed by the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and the Society of Thoracic Surgeons (STS). *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **166**, 1099-1114. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2023.06.017>
- [34] Burris, N., Schwartz, K., Brown, J., Kwon, M., Pierson, R., Griffith, B., *et al.* (2006) Incidence of Residual Clot Strands in Saphenous Vein Grafts after Endoscopic Harvest. *Innovations: Technology and Techniques in Cardiothoracic and Vascular Surgery*, **1**, 323-327. <https://doi.org/10.1097/imv.0b013e31802f4399>
- [35] Li, G., Zhang, Y., Wu, Z., Liu, Z. and Zheng, J. (2019) Mid-Term and Long-Term Outcomes of Endoscopic versus Open Vein Harvesting for Coronary Artery Bypass: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Surgery*, **72**, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2019.11.003>
- [36] Krishnamoorthy, B., Critchley, W.R., Thompson, A.J., Payne, K., Morris, J., Venkateswaran, R.V., *et al.* (2017) Study Comparing Vein Integrity and Clinical Outcomes in Open Vein Harvesting and 2 Types of Endoscopic Vein Harvesting for Coronary Artery Bypass Grafting. *Circulation*, **136**, 1688-1702. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.028261>
- [37] Zenati, M.A., Bhatt, D.L., Stock, E.M., Hattler, B., Wagner, T.H., Bakaen, F.G., *et al.* (2021) Intermediate-Term Outcomes of Endoscopic or Open Vein Harvesting for Coronary Artery Bypass Grafting. *JAMA Network Open*, **4**, e211439. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.1439>
- [38] Kay, M., Abouelela, Y., Raaj, S. and Krishnamoorthy, B. (2024) Does the Experience of the Endoscopic Vein Harvester Matter to the Quality of the Vein Conduit: A Critical Thematic Literature Review. *Journal of Perioperative Practice*, **35**, 171-182. <https://doi.org/10.1177/17504589241288512>
- [39] Torregrossa, G., Amabile, A., Williams, E.E., Fonceva, A., Hosseinian, L. and Balkhy, H.H. (2020) Multi-Arterial and Total-Arterial Coronary Revascularization: Past, Present, and Future Perspective. *Journal of Cardiac Surgery*, **35**, 1072-1081. <https://doi.org/10.1111/jocs.14537>
- [40] Mikami, T., Furuhashi, M., Sakai, A., Numaguchi, R., Harada, R., Naraoka, S., *et al.* (2021) Antiatherosclerotic Phenotype of Perivascular Adipose Tissue Surrounding the Saphenous Vein in Coronary Artery Bypass Grafting. *Journal of the American Heart Association*, **10**, e018905. <https://doi.org/10.1161/jaha.120.018905>
- [41] 何小刚, 袁霄, 罗素新. 冠状动脉微血管功能障碍诊治的研究进展[J]. 心血管病学进展, 2019, 40(7): 988-991.
- [42] 韩立翔, 段书朋, 李芝, 等. 不接触获取大隐静脉技术应用于非体外循环冠状动脉旁路移植术的早期临床效果[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2024, 44(5): 649-654.
- [43] Tian, M., Wang, X., Sun, H., Feng, W., Song, Y., Lu, F., *et al.* (2021) No-Touch versus Conventional Vein Harvesting Techniques at 12 Months after Coronary Artery Bypass Grafting Surgery: Multicenter Randomized, Controlled Trial.

- Circulation*, **144**, 1120-1129. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.121.055525>
- [44] Dreifaldt, M., Mannion, J.D., Geijer, H., Lidén, M., Bodin, L. and Souza, D. (2021) The No-Touch Saphenous Vein Is an Excellent Alternative Conduit to the Radial Artery 8 Years after Coronary Artery Bypass Grafting: A Randomized Trial. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **161**, 624-630. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.09.177>
- [45] Samano, N., Geijer, H., Liden, M., Fremes, S., Bodin, L. and Souza, D. (2015) The No-Touch Saphenous Vein for Coronary Artery Bypass Grafting Maintains a Patency, after 16 Years, Comparable to the Left Internal Thoracic Artery: A Randomized Trial. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **150**, 880-888. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.07.027>
- [46] Yoshino, K., Abe, K., Suzuki, K., Tamaki, R., Mitsuishi, A., Yamasaki, M., *et al.* (2020) A Novel Technique of Endoscopic Vein Harvesting with Preserved Perivascular Tissue. *Innovations: Technology and Techniques in Cardiothoracic and Vascular Surgery*, **15**, 475-477. <https://doi.org/10.1177/1556984520948139>
- [47] Dahle, G. and Kempfert, J. (2021) Fifty Years after the Introduction of Vein Grafts for CABG: New Evidence for a No-Touch Harvesting Approach. *Circulation*, **144**, 1130-1132. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.121.056610>
- [48] Weltert, L.P., Audisio, K., Bellisaro, A., Bardi, G., Flocco, R., De Paulis, R., *et al.* (2021) External Stenting of Vein Grafts in Coronary Artery Bypass Grafting: Interim Results from a Two Centers Prospective Study. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **16**, Article No. 74. <https://doi.org/10.1186/s13019-021-01406-0>
- [49] Taggart, D.P., Gavrilov, Y., Krasopoulos, G., Rajakaruna, C., Zacharias, J., De Silva, R., *et al.* (2022) External Stenting and Disease Progression in Saphenous Vein Grafts Two Years after Coronary Artery Bypass Grafting: A Multicenter Randomized Trial. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **164**, 1532-1541. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2021.03.120>
- [50] Dai, L., Yu, W. and Yu, Y. (2022) New Strategy of Using Double-Network Hydrogel Extravascular Stent for Preventing Venous Graft Restenosis after Coronary Artery Bypass Grafting. *Perfusion*, **38**, 1240-1249. <https://doi.org/10.1177/02676591221099813>