



肖飞,心血管外科博士,副主任医师,硕士研究生导师、瑞典林雪平大学医学中心访问学者。现就职于广东省人民医院、广东省医学科学院、广东省心血管病研究所、华南结构性心脏病重点实验室。擅长不停跳冠脉搭桥、大血管手术、心脏腔镜微创及杂交手术治疗。兼任中国医师协会心血管外科分会全国青年委员、欧美同学会医师协会心脏大血管外科分会对外联络部副主任、广东省医师协会援疆工作委员会委员。国家第9批援疆医疗队成员,先后荣获“新疆维吾尔自治区优秀援疆干部”、“羊城青年好医生”等荣誉称号。主持及参与国家自然科学基金面上项目、广东省自然科学基金、广东省科技厅科技计划等科研项目5项,先后发表SCI及中文核心期刊论文20余篇。

STS 多支动脉冠脉旁路移植应用解读

肖飞¹,王联群²,季强³

(1.广东省人民医院心外科/广东省医学科学院/广东省心血管病研究所,广东 广州 510080;

2.天津胸科医院心外科,天津 300222; 3.复旦大学附属中山医院心外科,上海 200032)

摘要:美国胸外科医师协会(Society of Thoracic Surgeons, STS)成人心脏数据库(the Adult Cardiac Database, ACSD)的数据显示:多支血管病变的冠状动脉旁路移植(coronary artery bypass grafting, CABG)术中存在多种血运重建方案,多支动脉CABG能够改善患者的长期生存率。美国多支动脉CABG手术的病例数量大约占全部CABG手术量的10%,近5年呈现上升趋势,但是远不如欧洲和澳大利亚的比例高。ACSD数据显示多支动脉桥患者围术期死亡率、主要心血管不良事件发生率均低于单支动脉桥的患者。美国不同地域、不同医院间多支动脉桥患者的数量和比例差别很大。影响外科医生应用多支动脉桥的主要因素包括:缺乏高质量的前瞻性随机研究数据、花费更长的手术时间、占用更多的医疗资源以及外科技术更加复杂。目前还需要大量有明确结论的前瞻性、随机对照研究来支持多支动脉桥得到更加广泛的应用。

关键词:冠状动脉旁路移植;多支动脉桥;单支动脉桥;桡动脉;胸廓内动脉

中图分类号:R615

文献标志码:A

Application interpretation of STS multi-vessel coronary artery bypass grafting

XIAO Fei¹, WANG Lianqun², JI Qiang³

(1. Cardiac Surgery Department, Guangdong Provincial People's Hospital / Guangdong Academy of Medical Sciences / Guangdong Institute of Cardiovascular Diseases, Guangzhou 510080, Guangdong, China;

2. Cardiac Surgery Department, Tianjin Chest Hospital, Tianjin 300222, China;

3. Cardiac Surgery Department, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Abstract: The data from the Adult Cardiac Database (ACSD) of the American Society of Thoracic Surgeons (STS) shows that there are multiple revascularization options in coronary artery bypass grafting (CABG) with multiple vessel lesions, and studies have found that multivessel CABG improves long-term survival. The number of cases of multiple artery CABG in the United States accounts for about 10% of the total number of CABG operations, which is on the rise

in the past five years, but is lower than that in Europe and Australia. The data of the ACS D showed that perioperative mortality and major cardiovascular adverse events were lower in patients with multiple artery grafting than those with single artery grafting. The number and proportion of patients with multiple arterial grafting vary greatly between different regions and different hospitals in the United States. The main factors influencing the surgeons' use of multiple artery grafting include the lack of high-quality prospective randomized study data, the need for longer surgical time, the need to occupy more medical resources, and the more complex surgical techniques needed. A large number of prospective, randomized controlled studies with clear conclusions are needed to support the wider application of multiple artery grafting.

Key words: Coronary artery bypass grafting; Multi-artery grafting; Single artery grafting; Radial artery; Internal thoracic artery

在冠状动脉旁路移植 (coronary artery bypass grafting, CABG) 术中应用 2 支及以上的动脉桥称为多支动脉移植 (multiple artery grafting, MAG)^[1], 是目前冠脉外科的重要进展和研究热点之一。美国胸外科医生协会 (Society of Thoracic Surgeons, STS) 成人心脏手术数据库 (the Adult Cardiac Surgery Database, ACS D) 收录了美国 97% 的 CABG 手术住院和 30 d 临床结果的数据, 现对其分析研究有利于掌握目前冠脉外科的发展趋势。

1 多支血管病变 CABG 主要血运重建方案

多支血管病变的 CABG 中存在多种血运重建方案, 全球范围内大约 95% 的冠脉搭桥病例采用了左侧胸廓内动脉 (left internal thoracic artery, LITA) 加大隐静脉 (great saphenous vein, SVG) 的方案。在目前 CABG 的临床实践中, 倾向于减少静脉桥的数量, 使用 2 支及以上的动脉桥, 即 MAG。然而, MAG 是否比单支动脉移植 (single artery grafting, SAG) 加 SVG 移植具有更好的生存优势存在争议。研究认为与传统 SAG CABG 术相比, MAG CABG 术能够改善长期生存率, 采用桡动脉 (radial artery, RA) 与 LITA 一起或者采用双侧胸廓内动脉 (bilateral thoracic internal arteries, BITA) 能够有效缓解冠心病患者的症状, 并且具有明显的长期生存优势^[1-3]。Momin 等^[4] 分析了圣乔治大学医学院 1999 年 4 月至 2020 年 3 月 2 979 例单纯冠脉搭桥手术的患者, 发现动脉桥的数量与长期预后存在相关性, 尤其是接受全动脉搭桥的患者长期生存率最高。目前 STS 等多个指南均推荐使用任何形式的多支动脉 CABG^[5-7]。

2 MAG 应用现状

在美洲尤其是北美地区, 多支动脉 CABG 手术

的应用比例远不如欧洲和澳大利亚普遍。虽然美国近年来有部分医院和医生开始尝试使用这种技术, 但是 MAG CABG 的病例数量也仅占全部 CABG 手术量的 10% 左右^[8-11]。与之相应, 在美国和欧洲采用 BITA 方案的 MAG 手术量约占全部 CABG 病例的比例分别为 5% 和 15%^[3,12]。影响外科医生更加广泛地应用 MAG 的主要因素包括: 缺乏高质量的前瞻性随机研究数据、花费更长的手术时间、占用更多的医疗资源以及完成搭桥所需要的手术技术更加复杂^[13]。由此可见, MAG CABG 所需要的学习曲线非常重要^[14]。与此同时也应该看到, 通过克服心理层面的因素和技术层面上的学习曲线能够提升 MAG 的使用率^[15-16]。

3 STS 多支动脉 CABG 不同亚组患者生存获益

最近的研究^[17-18] 将 STS ACS D 的数据与美国疾病控制和预防中心国家死亡指数 (national death index, NDI) 进行关联, 通过逆概率加权和多变量模型进行风险调整, 分析 MAG CABG 与 SAG CABG 加 SVG 治疗冠状动脉多支血管病变时的生存差异, 主要研究终点是长期生存。研究同时还进行了亚组分析, 通过分析手术量的阈值以定最佳获益。研究选择从 2008 年 1 月 1 日至 2019 年 3 月 31 日期间共计 1 772 324 例接受单纯 CABG 的病例, 随访了其中 1 293 477 例 (73%), 最终有来自 1 108 所医院的 1 021 632 例单纯 CABG 患者被纳入该研究。其中包括 100 419 例接受 MAG CABG 的患者 (9.83%) 和 920 943 例接受 SAG CABG 的患者 (90.17%)。全部病例中位随访时间为 5.30 年 (0~12 年), 其中 MAG 为 5.62 年, SAG 为 5.27 年。MAG 的术式包括 BITA (47.0%)、1 个 ITA+RA (45.5%) 或 2 个 ITA+RA (7.5%)。在接受 MAG CABG 的患者中, 男性患者居多, 占比约 84.5%。按照心功能分级, 在

接受 MAG CABG 的患者中,心功能正常者居多,LVEF $\geq 55\%$ 的患者占 60.7%,LVEF 40%~54% 的患者占 21.9%,LVEF 30%~39% 的患者占 16.5%,LVEF 20%~29% 的患者占 3.1%,LVEF $< 19\%$ 的患者仅占 0.6%。研究发现:①最近 5 年 MAG 呈现出逐渐上升的趋势,研究期间 MAG 的比例波动在 8.8%~12.0% 之间,但是仍有半数以上(53.6%) 医院的 MAG 比例低于 5%。②MAG 组在稳定性冠心病、急性冠状动脉综合征和急性心肌梗死等亚组中均显示出优于 SAG 组的总体生存优势。③MAG 组患者 30 d 手术死亡率显著低于 SAG 组。④MAG 组患者长期生存率显著改善。在术后早期(0~1 年)、中期(1~5 年)和晚期(5~12 年),MAG 组患者生存率均高于 SAG 组。经过队列匹配,术后不同时间点 MAG 组和 SAG 组患者的生存率分别为:1 年(97.8% vs. 97.5%)、3 年(95.2% vs. 94.7%)、5 年(91.8% vs. 90.8%)、7 年(86.9% vs. 85.2%)、9 年(81.2% vs. 78.8%) 和 11 年(75.1% vs. 72.1%)。⑤年轻、男性患者从 MAG 术中获益更大。⑥ > 80 岁、合并严重肺部疾病以及慢性肾脏疾病(肾小球滤过率 $< 45\%$) 的患者,MAG 组和 SAG 组生存率相似。⑦在体质量指数 $> 40 \text{ kg/m}^2$ 的严重肥胖亚组患者中,SAG 组患者生存率更高;但是对于体质量指数 $< 40 \text{ kg/m}^2$ 的患者,MAG CABG 与更好的长期生存相关,应该成为多支血管血运重建的首选手术策略。⑧在每年进行 ≥ 10 例 MAG 手术的中心,MAG 与生存获益相关。该研究结果证实了 MAG CABG 的安全性,同时也证实了其他文献中的类似经验^[8,19-21]。

4 STS 多支动脉 CABG 预后改善

另一项来自 STS ACSP 数据库的研究资料显示,2018 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日期间共有 320 647 例冠心病患者接受了 CABG 治疗,其中来自 1 013 所医院的 281 515 例患者接受了单纯的、原发性、非急诊的 CABG 手术;这 281 515 例患者中,有 14.1% 的患者接受了多支动脉旁路移植,其中 BITA 桥 15 663 例(5.6%),RA 桥 23 950 例(8.5%);其他患者为 SAG^[22]。该研究发现:①不同医院间 MAG 的病例数量差别较大,MAG 的患者集中在少部分医院,并且 MAG 患者数量和 CABG 患者总量并不成正比。研究期间共有 788 所医院(78%) 实施了 BITA 手术(中位数 7 例),其中 140 所医院(14%) 实施了 30 例以上的 BITA 手术;有 870 所医

院(85%) 进行了 RA MAG 手术(中位数 11 例),有 214 所医院(21%) 进行了 30 例以上的 RA MAG 手术;仅有 7 所(0.7%) 和 15 所(1.5%) 医院进行了 185 例以上的 BITA 或 RA 搭桥手术。按照研究期间所完成 MAG 的数量将这些医院分成:较低数量(1~10 例)、中等数量(11~30 例)和较高数量(> 30 例)三个层次。68% 的 BITA 桥病例集中在 14% 的医院中;21% 的医院完成了 75% 的 RA MAG 病例。②不同地理区域的医院 MAG 患者占全部搭桥患者的比例差别较大。按照医院所在的地理区域可以分为:东北部、中西部、西部和南部。南部地区的医院完成 CABG 的病例数最多,但是这些医院中 BITA 桥和 RA 桥所占的比例反而最低,仅为 4% 和 6%;东北部地区的医院中 BITA 桥和 RA 桥的比例最高,分别为 9% 和 11%;导致不同地理区域动脉桥比例差异的原因尚不明确。③MAG 患者围术期死亡率、主要心血管不良事件发生率、死亡率均低于 SAG 患者。SAG 患者的 30 d 死亡率、主要心血管不良事件发生率最高,BITA 桥患者最低,RA 桥患者介于二者之间。④同一所医院的 BITA 桥和 RA 桥的数量不成比例,说明医院更倾向于选择其中某一种 MAG 方案。⑤将 BITA 桥和 RA 桥患者比较,术后主要心血管不良事件发生率、死亡率相似。⑥BITA 桥患者胸骨感染发生率高于 SAG 和 RA 桥的患者,并且这一趋势不会随着 BITA 桥病例数量的增长而消失。⑦CABG 数量多的医院 SAG、BITA 桥或者 RA 桥患者主要不良事件发生率、死亡率等均明显低于 CABG 数量少的医院。这些都与以往的研究^[23] 结论一致,即提高 MAG 的应用比例能够明显改善患者的预后。

5 影响多支动 CABG 患者预后的主要因素

由于外科医生的专业知识、判断力和医院的资源等因素都不容易被量化,因此目前尚不清楚哪种因素对患者的预后更加重要。通常认为外科医生和医院使用 BITA 桥经验的提升与患者预后改善存在相关性。Birkmeyer 等^[24] 发现 CABG 患者死亡率与医院病例数量之间存在一定的相关性,病例数少的医院 CABG 患者死亡率会升高大约 2%。外科医生手术熟练程度有助于手术顺利进行和桥血管的持久通畅;外科团队的其他关键因素,诸如外科助理的专业技术、应对突发事件的能力等,都有助于提升手术成功率^[25]。随着 MAG 病例数量的增加,患者的预

后也会不断改善。与之相反,Zacharias等^[26]却认为医院的病例数量是一个不太可靠的质量衡量指标。Burt等^[27]也认为外科医生的经验与改善CABG患者远期生存率无关。但是,Han等^[28]却发现在高危CABG患者中,外科医生的经验与改善患者长期生存率相关。由此可见,外科医生的经验和/或医疗机构病例数量和患者预后之间的关系较为复杂,目前还存在相当的争议^[29-31]。

6 不同动脉桥材料与生存获益

现有的研究表明,在CABG中,动脉桥比SVG具有更好的远期通畅率;IMA和RA的通畅程度相似,二者均优于SVG。BIMA与胸骨感染的风险增加相关,与传统的带蒂获取技术相比,骨骼化获取BIMA有助于减少术后胸骨感染的几率。RA具有口径合适、长度良好、能够减少手术时间、操作相对简单等技术优势。尽管目前的证据支持在CABG中更广泛地使用全动脉或者多支动脉血运重建术,现有的指南和专业学会也都鼓励使用MAG^[25,32-33],但是支持使用MAG的证据基础仍然不够充分。一方面,大量观察性证据表明接受MAG的CABG患者具有更好的术后结果和更高的预期寿命^[34-35],一些随机研究报告也指出RA的中期通畅率高于SVG;但是另一方面,比较不同手术干预的观察性研究可能存在治疗分配偏差^[36-37],这会隐藏混杂因素而非真实的生物学效应,即预期长期生存的患者可能更多的接受MAG治疗。ART研究是一项多中心RCT研究,比较了BIMA和单一胸廓内动脉之间的生存获益,在10年的随访中未能证明BIMA的优越性^[38]。然而ART研究中的非随机比较同时也发现:与SAG相比,MAG具有更为显著的临床获益^[39]。Ren等^[40]对澳大利亚和新西兰心胸外科协会数据库中2001年6月至2020年1月单纯冠脉搭桥的69624例患者进行回顾性分析,其中合并糖尿病的患者25751例(37.0%),术后中位随访时间5.9年;结果发现,糖尿病患者尤其是在口服降糖药患者中,MAG组患者比SAG组生存率更高。另一项SAG与MAG临床结果的随机对照研究(ROMA研究)正在进行中,试图比较MAG(使用第二根胸廓内动脉或RA)与SAG(一根胸廓内动脉加SVG)的临床效果^[20],ROMA研究结果预计将会在2025年公布。

7 高龄患者 CABG 术式选择

来自美国心脏病协会2022年流行病学统计数据 displays:美国有超过2000万成年冠心病患者,其中80岁以上男性患者超过30%,女性患者超过21.6%,产生了巨大的健康和经济负担^[41]。一项Meta分析显示:在老年患者中非体外循环心脏不停跳冠脉旁路移植(off-pump coronary artery bypass grafting, OPCABG)患者围术期房颤发生率、术后30d死亡率均低于体外循环心脏不停跳冠脉旁路移植(on-pump coronary artery bypass grafting, ONCABG),并且在80岁以上人群中OPCABG获益更加明显^[42-43]。另一项Meta分析却发现:OPCABG和ONCABG患者30d死亡率、中期死亡率接近,并且OPCABG患者不完全血运重建、需要早期再干预的比例较高^[44]。因此尚需要更多证据来证明老年患者CABG时应该选择OPCABG还是ONCABG。Ren等^[45]认为无论是在年轻患者还是在70岁及以上的老年患者中,MAG比SAG具有更好的长期生存率,高龄不是应用多支动脉桥的禁忌证。

综上所述,接纳一项新技术需要大量有明确结论的前瞻性、随机试验结果的支持,还需要接受时间的考验。在目前的临床观察中,采用多支动脉CABG得到了很多有利于患者生存获益的结论,但是证据级别普遍不高,迄今为止还没有一个大型的、前瞻性的随机对照研究。与此同时,越来越多的研究认为:无论采用RA与LITA还是采用BITA,MAG CABG术均能有效缓解冠心病患者的症状,显示出明显的长期生存优势,具有广阔的应用前景。

我国目前CABG中使用SAG的平均比例尚且不足90%,使用MAG的比例更低。因此,提升LITA乃至MAG的应用比例,已经成为我国近年来CABG质量控制的重要指标之一。分析STS的数据不难发现,我们在MAG CABG领域还有广阔的发展空间。

参考文献:

- [1] Goldstone AB, Chiu P, Baiocchi M, et al. Second arterial versus venous conduits for multivessel coronary artery bypass surgery in California [J]. *Circulation*, 2018, 137(16): 1698-1707.
- [2] Gaudino M, Benedetto U, Fremes S, et al. Radial-artery or saphenous-vein grafts in coronary-artery bypass surgery [J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(22): 2069-2077.

- [3] Schwann TA, Habib RH, Wallace A, et al. Operative outcomes of multiple-arterial versus single-arterial coronary bypass grafting [J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 105(4): 1109-1119.
- [4] Momin A, Ranjan R, Valencia O, et al. Long term survival benefits of different conduits used in coronary artery bypass graft surgery-a single institutional practice over 20 years[J]. *J Multidiscip Healthc*, 2024, 17: 1505-1512. doi:10.2147/JMDH.S461567
- [5] Hillis LD, Smith PK, Anderson JL, et al. 2011 ACCF/AHA guideline for coronary artery bypass graft surgery: executive summary: a report of the American college of cardiology foundation/American heart association task force on practice guidelines [J]. *Circulation*, 2011, 124(23): 2610-2642.
- [6] Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(2): 87-165.
- [7] Aldea GS, Bakaeen FG, Pal J, et al. The society of thoracic surgeons clinical practice guidelines on arterial conduits for coronary artery bypass grafting [J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101(2): 801-809.
- [8] Gaudino M, Bakaeen F, Benedetto U, et al. Use rate and outcome in bilateral internal thoracic artery grafting: insights from a systematic review and meta-analysis [J]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7(11): e009361. doi:10.1161/JAHA.118.009361
- [9] Schwann TA, Tatoulis J, Puskas J, et al. Worldwide trends in multi-arterial coronary artery bypass grafting surgery 2004-2014: a tale of 2 continents [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 29(3): 273-280.
- [10] LaPar DJ, Crosby IK, Rich JB, et al. Bilateral internal mammary artery use for coronary artery bypass grafting remains underutilized: a propensity-matched multi-institution analysis [J]. *Ann Thorac Surg*, 2015, 100(1): 8-14.
- [11] Chikwe J, Sun E, Hannan EL, et al. Outcomes of second arterial conduits in patients undergoing multivessel coronary artery bypass graft surgery [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(18): 2238-2248.
- [12] Kappetein AP, Dawkins KD, Mohr FW, et al. Current percutaneous coronary intervention and coronary artery bypass grafting practices for three-vessel and left main coronary artery disease. Insights from the SYNTAX Run-in phase [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2006, 29(4): 486-491.
- [13] Catarino PA, Black E, Taggart DP. Why do UK cardiac surgeons not perform their first choice operation for coronary artery bypass graft? [J]. *Heart*, 2002, 88(6): 643-644.
- [14] Jayakumar S, Gasparini M, Treasure T, et al. How do surgeons decide? Conduit choice in coronary artery bypass graft surgery in the UK [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2019, 29(2): 179-186.
- [15] Bond CJ, Milojevic M, He C, et al. Quality improvement: arterial grafting redux, 2010: 2019 [J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 112(1): 22-30.
- [16] Velez AK, Canner JK, Etchill E, et al. Measures to increase use of multiple arterial grafts for isolated coronary artery bypass grafting [J]. *J Am Coll Surg*, 2021, 232(6): 954-961.
- [17] Jacobs JP, Shahian DM, Grau-Sepulveda M, et al. Current penetration, completeness, and representativeness of the society of thoracic surgeons adult cardiac surgery database [J]. *Ann Thorac Surg*, 2022, 113(5): 1461-1468.
- [18] Sabik JF 3rd, Hunter Mehaffey J, Badhwar V, et al. Multiarterial vs single-arterial coronary surgery: 10-year follow-up of 1 million patients [J]. *Ann Thorac Surg*, 2024, 117(4): 780-788.
- [19] Urso S, Sadaba R, González Martín JM, et al. Bilateral internal thoracic artery versus single internal thoracic artery plus radial artery: a double meta-analytic approach [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2024, 167(1): 183-195.
- [20] Yanagawa B, Verma S, Jüni P, et al. A systematic review and meta-analysis of in situ versus composite bilateral internal thoracic artery grafting [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 153(5): 1108-1116.
- [21] Gaudino M, Di Franco A, Rahouma M, et al. Unmeasured confounders in observational studies comparing bilateral versus single internal thoracic artery for coronary artery bypass grafting: a meta-analysis [J]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7(1): e008010. doi:10.1161/JAHA.117.008010
- [22] Saadat S, Habib R, Engoren M, et al. Multiarterial coronary artery bypass grafting practice patterns in the United States: analysis of the society of thoracic surgeons adult cardiac surgery database [J]. *Ann Thorac Surg*, 2023, 115(6): 1411-1419.
- [23] Taggart DP, Benedetto U, Gerry S, et al. Bilateral versus single internal-thoracic-artery grafts at 10 years [J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(5): 437-446.
- [24] Birkmeyer JD, Siewers AE, Finlayson EVA, et al. Hospital volume and surgical mortality in the United States [J]. *N Engl J Med*, 2002, 346(15): 1128-1137.
- [25] Edwards FH, Ferraris VA, Kurlansky PA, et al. Failure to rescue rates after coronary artery bypass grafting: an analysis from the society of thoracic surgeons adult cardiac surgery database [J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102(2): 458-464.
- [26] Zacharias A, Schwann TA, Riordan CJ, et al. Is hospi-

- tal procedure volume a reliable marker of quality for coronary artery bypass surgery? A comparison of risk and propensity adjusted operative and midterm outcomes[J]. *Ann Thorac Surg*, 2005, 79(6): 1961-1969.
- [27] Burt BM, ElBardissi AW, Huckman RS, et al. Influence of experience and the surgical learning curve on long-term patient outcomes in cardiac surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 150(5): 1061-1067.
- [28] Han JJ, Bojko MM, Duda MM, et al. Association among surgeon experience, patient risk, and outcomes in coronary artery bypass grafting[J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 111(1): 86-93.
- [29] Birkmeyer JD, Stukel TA, Siewers AE, et al. Surgeon volume and operative mortality in the United States[J]. *N Engl J Med*, 2003, 349(22): 2117-2127.
- [30] Kim LK, Looser P, Swaminathan RV, et al. Outcomes in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery in the United States based on hospital volume, 2007 to 2011[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(6): 1686-1692.
- [31] Shahian DM, Normand ST. The volume-outcome relationship: from luft to leapfrog[J]. *Ann Thorac Surg*, 2003, 75(3): 1048-1058.
- [32] Lytle BW, Blackstone EH, Sabik JF, et al. The effect of bilateral internal thoracic artery grafting on survival during 20 postoperative years[J]. *Ann Thorac Surg*, 2004, 78(6): 2005-2012.
- [33] Taggart DP, D'Amico R, Altman DG. Effect of arterial revascularisation on survival: a systematic review of studies comparing bilateral and single internal mammary arteries[J]. *Lancet*, 2001, 358(9285): 870-875.
- [34] Zacharias A, Schwann TA, Riordan CJ, et al. Late results of conventional versus all-arterial revascularization based on internal thoracic and radial artery grafting[J]. *Ann Thorac Surg*, 2009, 87(1): 19-26.
- [35] Hemo EL, Mohr R, Uretzky G, et al. Long-term outcomes of patients with diabetes receiving bilateral internal thoracic artery grafts[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 146(3): 586-592.
- [36] Deo SV, Shah IK, Dunlay SM, et al. Bilateral internal thoracic artery harvest and deep sternal wound infection in diabetic patients[J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 95(3): 862-869.
- [37] Medalion B, Mohr R, Ben-Gal Y, et al. Arterial coronary artery bypass grafting is safe and effective in elderly patients[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 150(3): 607-612.
- [38] Taggart DP, Benedetto U, Gerry S, et al. Bilateral versus single internal-thoracic-artery grafts at 10 years[J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(5): 437-446.
- [39] Takagi H, Goto SN, Watanabe T, et al. A meta-analysis of adjusted hazard ratios from 20 observational studies of bilateral versus single internal thoracic artery coronary artery bypass grafting[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(4): 1282-1290.
- [40] Ren J, Royse C, Tian DH, et al. Survival of multiple arterial grafting in diabetic populations; a 20-year national experience[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2023, 63(6): ezad091. doi:10.1093/ejcts/ezad091
- [41] Tsao CW, Aday AW, Almarzooq ZI, et al. Heart disease and stroke statistics-2022 update: a report from the American heart association[J]. *Circulation*, 2022, 145(8): e153-e639.
- [42] LaPar DJ, Bhamidipati CM, Brett Reece T, et al. Is off-pump coronary artery bypass grafting superior to conventional bypass in octogenarians? [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 141(1): 81-90.
- [43] Kinoshita T, Asai T, Suzuki T, et al. Off-pump bilateral skeletonized internal thoracic artery grafting in elderly patients[J]. *Ann Thorac Surg*, 2012, 93(2): 531-536.
- [44] Machado RJ, Saraiva FA, Mancio J, et al. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies comparing off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting in the elderly[J]. *J Cardiovasc Surg*, 2022, 63(1): 60-68.
- [45] Ren J, Royse C, Srivastav N, et al. Long-term survival of multiple versus single arterial coronary bypass grafting in elderly patients[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(7): 2594. doi:10.3390/jcm12072594

(编辑:房红娟)