

· 综述 ·

微创冠状动脉旁路移植术的现状和展望

Akzhol Amanbek 裘佳培 赵强

【摘要】 冠状动脉旁路移植术 (CABG) 是治疗冠状动脉粥样硬化性心脏病左主干及复杂冠状动脉病变的有效方法。经典的 CABG 需要胸骨正中切开、体外循环和心脏冷停搏, 手术创伤会带来一定的并发症。微创 CABG (如非体外循环、小切口、机器人辅助、杂交等) 的临床应用越来越广泛, 并取得显著疗效。该文介绍微创 CABG 的国内外现状及进展。

【关键词】 冠状动脉粥样硬化性心脏病; 冠状动脉旁路移植术; 微创手术

doi: 10.3969/j.issn.1673-6583.2024.03.001

冠状动脉粥样硬化性心脏病 (冠心病) 是全球发病率和病死率最高的心血管疾病^[1]。据中国心血管健康与疾病报告, 2022 年我国心血管病现患人数约 3.3 亿, 其中冠心病患者约 1 139 万^[2]。临床研究表明, 与单纯药物治疗相比, 心肌血运重建对冠心病患者的疗效更为确切^[3]。目前主要的心肌血运重建方式有冠状动脉旁路移植术 (CABG) 和经皮冠状动脉介入治疗 (PCI)^[4]。CABG 远期生存率高, 主要不良心血管事件发生率低, 再次血运重建率低, 因此在治疗冠状动脉左主干、复杂多支病变, 合并糖尿病和心脏收缩功能降低的患者中占主导地位^[5]。

自 20 世纪 80 年代开始, 各类微创技术逐渐出现在 CABG 领域中, 包括非体外循环不停搏、小切口、胸腔镜和机器人辅助、杂交等技术, 目标为保证获得与传统 CABG 相似吻合质量的同时, 减少手术并发症的发生率和死亡率, 实现术后快速康复。

1 微创 CABG 概述

CABG 的手术创伤主要与体外循环有关, 其次为胸骨正中切开^[6]。虽然体外循环和心脏冷停搏可以使心脏静止, 提供无血的手术视野, 但是体外循环手术时人体血液和非生物管道接触可激活补体系统, 导致全身炎症反应, 最终造成重要器官损伤^[7]。肝素化和长时间体外循环消耗凝血因子可以引起出血并发症。心肌缺血再灌注损伤可导致低心排综合征。胸骨切口感染也是心脏术后严重并发症之一, 发生纵膈感染后死亡率极高^[8]。

微创 CABG 主要采用正中切口下的非体外循环心脏不停搏、小切口下的体外循环或者非体外循环。近年来临床上开展的微创 CABG 主要包括非体外循环冠状动脉旁路移植术 (OPCABG)、微创小切口直视下冠状动脉旁路移植术 (MIDCABG)、微创多支冠状动脉旁路移植术 (MICS-CABG)、全腔镜机器人辅助冠状动脉旁路移植术 (TECABG)、杂交技术 (HCR)。

2 OPCABG

Kolesov 于 1964 年首次在搏动的的心脏上进行乳内动脉-冠状动脉吻合术, 但并未得到重视^[9]。直到 1985 年 Buffolo 等^[10]在正中切口、非体外循环心脏不停搏下完成冠状动脉多支血管病变的血运重建, 才推动了这一技术的发展。此手术优点在于避免了体外循环, 尤其适用于体外循环高风险患者, 如高龄、肾功能不全、慢性阻塞性肺疾病、动脉硬化、凝血功能障碍等患者, 但仍不能避免胸骨正中切开^[11]。

OPCAB 可以降低围手术期手术死亡率和严重并发症发生率。Neumann 等^[12]研究发现, 相比于传统 CABG, OPCABG 可显著降低围手术期心肌梗死、低心排综合征、脑卒中发病率, 以及术后早期死亡率。Kowalewski 等^[13]的 1 项纳入 100 个研究、共 19 192 例患者的 meta 分析表明, OPCABG 与传统 CABG 相比, 可显著降低围手术期脑卒中发生率 (OR=0.72, 95%CI:0.56~0.92, P=0.009)。

OPCABG 远期疗效和血管通畅率与常规体外循环 CABG 相当。CORONARY 临床对照试验纳入约 4 700 例患者, OPCABG 组和体外循环 CABG 组术后 30 d 主要不良心脑血管事件

(MACCE) 发生率 (9.8% 对 10.3%, $P=0.59$)、术后 5 年 MACCE 事件发生率 (1.7% 对 1.6%, $P=0.81$) 差异均无统计学意义。但在术后 30 d 内, OPCABG 组再次血运重建率大于 CABG 组 (0.7% 对 0.2%, $P=0.01$), 随访 5 年, 2 组患者再次血运重建率差异无统计学意义^[14]。Benedetto 等^[15] 研究发现, 术后随访 5 年, OPCABG 组与传统 CABG 组的生存率 (8.9% 对 8.3%, $P=0.35$) 和 MACCE 事件发生率 (14.3% 对 13.8%, $P=0.65$) 差异无统计学意义。2022 年发布的 ROOBY 试验^[16] 的 10 年随访结果表明, OPCABG 组的 10 年死亡率为 34.2% ($n=378$), CABG 组为 31.1% ($n=342$) ($RR=1.05$, 95%CI: 0.99~1.11, $P=0.12$), 2 组主要及次要终点事件发生率差异无统计学意义。另 1 项研究结果显示, 平均随访 (6.7±1.7) 年, OPCABG 与传统 CABG 的移植血管通畅率差异无统计学意义 (87.4% 对 88.9%, $P=0.527$)^[17]。

3 MIDCABG

MIDCABG 是通过左胸第四肋间小切口完成左侧乳内动脉和左前降支直接吻合的微创技术, 1994 年由 Benetti 等^[18] 率先完成。由于采用乳内动脉, MIDCABG 的远期疗效优于 PCI。Patel 等^[19] 在长达 9 年的随访中发现, 接受 MIDCABG 的患者与接受 PCI 二代药物洗脱支架植入的患者相比, 生存率差异无统计学意义, 但 MIDCABG 组较 PCI 组有更低的再次血运重建率。Davierwala 等^[20] 对 2 667 例接受 MIDCAB 手术的患者进行远期随访, 发现患者术后 10 年、15 年、20 年的生存率为 (77.7±0.9) %、(66.1±1.2) %、(55.6±1.6) %。

与 OPCAB 相比, MIDCABG 的创伤更小。韩增强等^[21] 发现, 接受 MIDCABG 的患者与接受 OPCABG 的患者相比, 术后输血量少, 肌钙蛋白 I 峰值更低, 呼吸机使用时间和重症监护病房 (ICU) 停留时间更短, 创伤小, 出血少, 术后恢复快。然而, 由于 MIDCABG 的手术视野小, 手术空间狭小且手术要求严格, 吻合口质量及能否达到常规正中胸骨切开术的疗效一直是临床关注的焦点。Florisson 等^[22] 研究发现, MIDCABG 与 OPCABG 的早期和中期死亡率相似。与 OPCABG 相比, MIDCABG 的不完全血运重建、靶血管闭塞率及重复血运重建的风险更大。2021 年发布的 1 项随访时间长达 20 年的研究表明, 与全胸骨切开组相比, MIDCAB 组住院时间明显较短, 输血率、心脏相关事件和全因事件

发生率较低, 1 年、5 年、10 年、15 年、20 年生存率分别为 100%、95%、90%、83%、70%^[23]。

4 MICS-CABG

MICS-CABG 是通过左胸小切口完成多支冠状动脉血运重建的手术方式。McGinn 等^[24] 纳入 450 例 MICS-CABG 患者, 部分患者重建旁路血管达 4 支, 证明了 MICS-CABG 的安全性和可行性。MICS-CABG 手术指证与 OPCABG 类似, 绝对禁忌证包括血流动力学不稳定、急诊手术、严重漏斗胸及肺部疾病, 相对禁忌证包括左锁骨下动脉明显狭窄、血液透析患者伴有左侧手臂动静脉瘘、二次手术、过度肥胖、严重左室功能不全等。

有研究报道, MICS-CABG 手术创伤小, 可避免胸骨切开等后续可能出现的并发症, 住院费用较低, 住院时间较短^[25]。Teman 等^[26] 将 MICS-CABG 与传统 CABG 患者进行 1 : 2 的倾向性评分匹配, 发现 CABG 组较 MICS-CABG 组围手术期输血率更高, 术后 ICU 滞留时间、总住院时间更长, 住院费用更高。Guida 等^[27] 纳入 2 528 例患者进行双向队列研究, 发现 MICS-CABG 平均重建旁路血管数 (2.8±0.9) 支, 术后 30 d 内死亡率为 1.0%, 1 年、5 年、10 年生存率分别 98.8%、93.6%、69.1%。Zhang 等^[28] 对 186 例患者行 MICS-CABG 并完善冠状动脉 CT 血管成像 (CTA), CTA 示血管总通畅率可达 96.3%。宫一宸等^[29] 评估了 244 例行 MICS-CABG 患者的桥血管通畅率, 术后早期复查造影示血管旁路总体通畅率为 96.1%, 前降支旁路通畅率为 98.6%。以上研究表明, MICS-CABG 安全、有效, 是可代替传统 CABG 的手术方法。MICS-CABG 与 CABG 的回顾性队列研究较少, 仅有的研究中病例较少, 且缺乏中远期结果。由于冠心病患者绝大多数为左主干和多支血管病变, 因此 MICS-CABG 应用前景广泛, 其中远期结果尚需更多的前瞻性随机对照队列研究来证实。

5 机器人辅助 CABG

机器人辅助 CABG 包括机器人辅助直视 CABG (RA-MIDCABG) 及全腔镜机器人辅助 CABG (TECABG)。RA-MIDCABG 是通过达芬奇机器人来获取乳内动脉, 再由人工经左胸小切口、于心脏不停搏直视下完成靶血管的吻合。TECABG 通过机器人全程完成单支或者多支冠状动脉旁路移植手术, 包括进行乳内动脉的获取、心包切开术和血管吻合口缝合, 实现最大程度的微创化。

早期 TECABG 在心脏停搏下完成,用于治疗左前降支单支病变,目前多在不停搏下完成,用于治疗多支血管病变,而且可结合血管自动吻合装置,大大缩短手术时间,适用于低风险患者^[30]。1998 年 Mohr 等^[31]完成首例机器人辅助 CABG,尝试对 5 例患者进行左侧乳内动脉-左前降支吻合,其中 2 例于术中转为 MIDCABG,另外 3 例患者的乳内动脉获取及靶血管的吻合均由机器人完成。Balkhy 等^[32]、Jegaden 等^[33]报道 TECABG 的 3 年生存率分别为 96.0% 和 95.5%。Balkhy 等^[34]报道 544 例接受 TECABG 的患者围手术期死亡率为 0.9%,早期桥血管通畅率为 97.0%,术后 38 个月死亡率为 2.7%,避免 MACCE 发生率为 92.5%,显示出较好的中期随访结果。机器人辅助 CABG 在减少手术创伤及促进术后恢复方面占有优势,尤其在高危患者中,机器人辅助 CABG 可减少围手术期的疼痛,与传统的胸骨切开术相比,机器人辅助 CABG 可显著减少患者的康复时间。机器人辅助 CABG 缺点为缺乏触觉反馈体系,手术设备昂贵,手术成本高,学习曲线较长,需要对手术外科医生和整个手术团队进行规范化的长期培训,不利于广泛开展。

6 HCR

1996 年 Angelini 等^[35]提出 HCR 的概念,该技术结合了 MIDCABG 和 PCI 的优势。目前,MIDCABG 可作为高风险多支血管病变患者冠状动脉血运重建 HCR 的第一阶段。2022 年发布中国冠状动脉杂交血运重建专家共识^[36]推荐,进行 HCR 前应采用多种危险分层和评分系统,如美国胸外科医师协会(STS)评分、欧洲心脏手术风险评估系统(EuroScore II)评分、SYNTAX 评分、SYNTAX II 评分、全球急性冠状动脉事件注册研究(GRACE)评分、中国 CABG 评分系统(Sinoscore)、CRUSADE 评分等,对 HCR 患者进行全面评估,且手术方案的制定必须由心内科及心外科医生组成的团队对患者影像学资料(冠状动脉造影、CTA 等)进行充分评估后决定。

POL-MIDES 研究^[37]表明,HCR 组($n=98$)与 CABG 组($n=102$)患者术后随访 1、5 年的 MACCE 发生率和死亡率差异无统计学意义。国内 1 项研究对 OPCABG 患者和 HCR 患者进行 151 : 151 的倾向性评分匹配,发现 HCR 组围手术期输血率(23.8%对 53.0%)、新发心房颤动率(5.3%对

15.2%)较低,机械通气时间(15 h 对 17 h)、总住院时间(19 d 对 22 d)较短,在 20 个月的中位随访期间,2 组的累积 MACCE 发生率相似(15.9%对 14.0%)^[38]。Yu 等^[39]的荟萃分析纳入 18 项研究,其中包括 3 项随机对照试验和 15 项观察性研究,发现 HCR 组 MACCE 发生率在围手术期、短期(30 d~1 年)、中期(1~5 年)和长期(5 年及以上)随访中与 CABG 组差异无统计学意义。HCR 组患者在围手术期、短期和中期随访中死亡率与 CABG 组相似,但在长期随访中死亡率低于 CABG 组。HCR 组在围手术期、短期及中期随访中再次血运重建率较 CABG 组高。阜外医院沈刘忠等^[40]对 141 例一站式 HCR 患者与 141 例 PCI 和 141 例 CABG 患者进行对比研究,随访 5 年发现,HCR 组 MACCE 发生率低于 PCI 组,但与 CABG 组相比差异无统计学意义。3 组患者根据 SYNTAX 和 EuroSCORE II 评分进行低危、中危及高危亚组分析,发现在 EuroSCORE II 评分为高危的患者中,HCR 组 MACCE 发生率均低于 CABG 组和 PCI 组,在 SYNTAX 评分为高危的患者中,HCR 组 MACCE 发生率低于 PCI 组,但与 CABG 组的差异无统计学意义。目前多数医院尚未配备复合手术室,缺少统一的 HCR 策略标准,围手术期的抗栓策略尚不确定,治疗策略及适应证尚需临床前瞻性和大规模多中心随机研究验证。

7 小结

近 20 年来,微创 CABG 在国内外以不同的形式开展,从起初的 OPCABG 到 MIDCABG、再到 TECABG、HCR 和目前的 MICS-CABG,心脏外科医生在保证血运重建效果和手术安全性的前提下,通过微创治疗减少手术创伤及手术并发症,提高患者远期生存和生活质量,并通过临床研究为微创 CABG 的推广提供循证依据。

参 考 文 献

- [1] Dai H, Much AA, Maor E, et al. Global, regional, and national burden of ischaemic heart disease and its attributable risk factors, 1990-2017: results from the Global Burden of Disease Study 2017[J]. Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes, 2022, 8(1):50-60.
- [2] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告2022概要[J]. 中国循环杂志, 2023, 38(6):583-612.
- [3] Parisi AF, Folland ED, Hartigan P. A comparison of angioplasty with medical therapy in the treatment of single-vessel coronary artery disease. Veterans Affairs ACME Investigators[J]. N Engl J Med, 1992, 326(1):10-16.
- [4] Kikuchi K, Mori M. Less-invasive coronary artery bypass

- grafting international landscape and progress[J]. *Curr Opin Cardiol*, 2017, 32(6):715-721.
- [5] Thuijs DJFM, Kappetein AP, Serruys PW, et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary artery bypass grafting in patients with three-vessel or left main coronary artery disease: 10-year follow-up of the multicentre randomised controlled SYNTAX trial[J]. *Lancet*, 2019, 394(10206):1325-1334.
- [6] Levy JH, Tanaka KA. Inflammatory response to cardiopulmonary bypass[J]. *Ann Thorac Surg*, 2003, 75(2):S715-720.
- [7] Furui M, Kong PK, Moorthy PSK, et al. Risk factors for sternal wound infection after coronary artery bypass grafting in patients with and without diabetes[J]. *Int Heart J*, 2022, 63(3):426-432.
- [8] Perezgrovas-Olaria R, Audisio K, Cancelli G, et al. Deep sternal wound infection and mortality in cardiac surgery: a meta-analysis[J]. *Ann Thorac Surg*, 2023, 115(1):272-280.
- [9] Sedov VM, Nemkov AS, Vasilii Ivanovich Kolesov: pioneer of coronary surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014, 45(2):220-224.
- [10] Buffolo E, Andrade JC, Succi J, et al. Direct myocardial revascularization without cardiopulmonary bypass[J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 1985, 33(1):26-29.
- [11] Shaefi S, Mittel A, Loberman D, et al. Off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting—a systematic review and analysis of clinical outcomes[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(1):232-244.
- [12] Neumann A, Vöhringer L, Fischer J, et al. Off-pump coronary artery bypass grafting in acute coronary syndrome: focus on safety and completeness of revascularization[J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 68(8):679-686.
- [13] Kowalewski M, Pawliszak W, Malvindi PG, et al. Off-pump coronary artery bypass grafting improves short-term outcomes in high-risk patients compared with on-pump coronary artery bypass grafting: meta-analysis[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(1):60-77. e1-e58.
- [14] Lamy A, Devereaux PJ, Prabhakaran D, et al. Five-year outcomes after off-pump or on-pump coronary-artery bypass grafting[J]. *N Engl J Med*, 2016, 375(24):2359-2368.
- [15] Benedetto U, Altman DG, Gerry S, et al. Off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting: insights from the Arterial Revascularization Trial[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 155(4):1545-1553. e7.
- [16] Quin JA, Wagner TH, Hattler B, et al. Ten-year outcomes of off-pump vs on-pump coronary artery bypass grafting in the department of veterans affairs: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Surg*, 2022, 157(4):303-310.
- [17] Yang L, Lin S, Zhang H, et al. Long-term graft patency after off-pump and on-pump coronary artery bypass: a CORONARY trial cohort[J]. *Ann Thorac Surg*, 2020, 110(6):2055-2061.
- [18] Benetti F, Mariani MA, Sani G, et al. Video-assisted minimally invasive coronary operations without cardiopulmonary bypass: a multicenter study[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1996, 112(6):1478-1484.
- [19] Patel NC, Hemli JM, Seetharam K, et al. Minimally invasive coronary bypass versus percutaneous coronary intervention for isolated complex stenosis of the left anterior descending coronary artery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 163(5):1839-1846. e1.
- [20] Davierwala PM, Verevkin A, Bergien L, et al. Twenty-year outcomes of minimally invasive direct coronary artery bypass surgery: the Leipzig experience[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 165(1):115-127. e4.
- [21] 韩增强, 陈或, 凌云鹏, 等. 左胸小切口与胸骨正中切口非体外冠状动脉旁路移植术中左乳内动脉桥血流对比分析[J]. *中国循环杂志*, 2016, 31(10):981-983.
- [22] Florisson DS, DeBono JA, Davies RA, et al. Does minimally invasive coronary artery bypass improve outcomes compared to off-pump coronary bypass via sternotomy in patients undergoing coronary artery bypass grafting?[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2018, 27(3):357-364.
- [23] Mastroiacovo G, Manganiello S, Pirola S, et al. Very long-term outcome of minimally invasive direct coronary artery bypass[J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 111(3):845-852.
- [24] McGinn JT, Usman S, Lapierre H, et al. Minimally invasive coronary artery bypass grafting: dual-center experience in 450 consecutive patients[J]. *Circulation*, 2009, 120(11 Suppl):S78-S84.
- [25] 张磊磊, 谢周良, 权晓强, 等. 微创冠状动脉旁路移植术对冠心病多支病变的临床疗效评价[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(34):2696-2701.
- [26] Teman NR, Hawkins RB, Charles EJ, et al. Minimally invasive vs open coronary surgery: a multi-institutional analysis of cost and outcomes[J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 111(5):1478-1484.
- [27] Guida GA, Guida GA, Bruno VD, et al. Left thoracotomy approach for off-pump coronary artery bypass grafting surgery: 15 years of experience in 2500 consecutive patients[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(2):271-276.
- [28] Zhang L, Fu Y, Gong Y, et al. Graft patency and completeness of revascularization in minimally invasive multivessel coronary artery bypass surgery[J]. *J Card Surg*, 2021, 36(3):992-997.
- [29] 宫一宸, 凌云鹏, 张鲁锋, 等. 左胸小切口多支冠状动脉旁路移植术244例临床分析[J]. *中华外科杂志*, 2020, 58(5):363-368.
- [30] Ejiofor JI, Leacche M, Byrne JG. Robotic CABG and hybrid approaches: the current landscape[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2015, 58(3):356-364.
- [31] Mohr FW, Falk V, Diegeler A, et al. Computer-enhanced coronary artery bypass surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1999, 117(6):1212-1214.
- [32] Balkhy HH, Nisivaco S, Kitahara H, et al. Robotic multivessel endoscopic coronary bypass: impact of a beating-heart approach with connectors[J]. *Ann Thorac Surg*, 2019, 108(1):67-73.
- [33] Jegaden O, Wautot F, Sassard T, et al. Is there an optimal minimally invasive technique for left anterior descending coronary artery bypass?[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2011, 6:37.

- angiography in patients prior to acute coronary syndrome: results from the ICONIC study[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(1):24-33.
- [16] Mautner SL, Lin F, Mautner GC, et al. Comparison in women versus men of composition of atherosclerotic plaques in native coronary arteries and in saphenous veins used as aortocoronary conduits [J]. *J Am Coll Cardiol*, 1993, 21(6):1312-1318.
- [17] Machara A, Matsumura M, Ali ZA, et al. IVUS-guided versus OCT-guided coronary stent implantation: a critical appraisal[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(12):1487-1503.
- [18] Hong YJ, Jeong MH, Choi YH, et al. Gender differences in coronary plaque components in patients with acute coronary syndrome: virtual histology-intravascular ultrasound analysis[J]. *J Cardiol*, 2010, 56(2):211-219.
- [19] Lansky AJ, Ng VG, Machara A, et al. Gender and the extent of coronary atherosclerosis, plaque composition, and clinical outcomes in acute coronary syndromes[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012, 5(3Suppl):S62-S72.
- [20] 杜卓, 于波. 急性冠状动脉综合征腔内影像学性别差异研究进展[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2021, 29(4):223-226.
- [21] Nishimiya K, Poduval RK, Tearney GJ. OCT emerging technologies: coronary micro-optical coherence tomography[J]. *Interv Cardiol Clin*, 2023, 12(2):237-244.
- [22] Sun R, Sun L, Fu Y, et al. Culprit plaque characteristics in women vs men with a first ST-segment elevation myocardial infarction: in vivo optical coherence tomography insights[J]. *Clin Cardiol*, 2017, 40(12):1285-1290.
- [23] Giordana F, Errigo D, D'Ascenzo F, et al. Female sex impact on culprit plaque at optical coherence tomography analysis in the setting of acute coronary syndrome in OCT-FORMIDABLE registry[J]. *Future Cardiol*, 2020, 16(2):123-131.
- [24] Guagliumi G, Capodanno D, Saia F, et al. Mechanisms of atherothrombosis and vascular response to primary percutaneous coronary intervention in women versus men with acute myocardial infarction: results of the OCTAVIA study[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2014, 7(9):958-968.
- [25] Kataoka Y, Puri R, Hammadah M, et al. Sex differences in nonculprit coronary plaque microstructures on frequency-domain optical coherence tomography in acute coronary syndromes and stable coronary artery disease[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 9(8):e004506.
- [26] Kim HO, Kim CJ, Kim W, et al. Relative risk of plaque erosion among different age and sex groups in patients with acute coronary syndrome[J]. *J Thromb Thrombolysis*, 2020, 49(3):352-359.
- [27] Dai J, Xing L, Jia H, et al. In vivo predictors of plaque erosion in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: a clinical, angiographical, and intravascular optical coherence tomography study[J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(22):2077-2085.
- [28] Seegers LM, Araki M, Nakajima A, et al. Sex differences in culprit plaque characteristics among different age groups in patients with acute coronary syndromes[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2022, 15(6):e011612.
- [29] Yen CH, Hsieh CC, Chou SY, et al. 17Beta-estradiol inhibits oxidized low density lipoprotein-induced generation of reactive oxygen species in endothelial cells[J]. *Life Sci*, 2011, 59(7):1104-1108.
- [30] Mathur P, Ostadal B, Romeo F, et al. Gender-related differences in atherosclerosis[J]. *Cardiovasc Drugs Ther*, 2015, 29(4):319-327.
- [31] Tian J, Wang X, Tian J, et al. Gender differences in plaque characteristics of nonculprit lesions in patients with coronary artery disease[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2019, 19(1):45.
- (收稿:2023-06-29 修回:2024-02-20)
- (本文编辑:王雨婷)

(收稿:2023-06-29 修回:2024-02-20)

(本文编辑:王雨婷)

(上接第 132 页)

- [34] Balkhy HH, Nisivaco S, Kitahara H, et al. Robotic off-pump totally endoscopic coronary artery bypass in the current era: report of 544 patients[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2022, 61(2):439-446.
 - [35] Angelini GD, Wilde P, Salerno TA, et al. Integrated left small thoracotomy and angioplasty for multivessel coronary artery revascularisation[J]. Lancet, 1996, 347(9003):757-758.
 - [36] 中国冠状动脉杂交血运重建专家共识（2022）编写组. 中国冠状动脉杂交血运重建专家共识（2022）[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2022, 38(7):385-395.
 - [37] Tajstra M, Hrapkowicz T, Hawranek M, et al. Hybrid coronary revascularization in selected patients with multivessel disease: 5-year clinical outcomes of the prospective randomized pilot study[J]. JACC Cardiovasc Interv. 2018, 11(9):847-852.
 - [38] Li D, Guo Y, Gao Y, et al. One-stop hybrid coronary revascularization versus off-pump coronary artery bypass grafting in patients with multivessel coronary artery disease[J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8:755797.
 - [39] Yu L, Zhu K, Du N, et al. Comparison of hybrid coronary revascularization versus coronary artery bypass grafting in patients with multivessel coronary artery disease: a meta-analysis[J]. J Cardiothorac Surg, 2022, 17(1):147.
 - [40] 沈刘忠, 胡盛寿, 徐波, 等. 一站式复合技术与冠状动脉旁路移植术及经皮冠状动脉介入治疗在冠状动脉多支病变治疗中的对比研究[J]. 中国循环杂志, 2018, 33(1):24-29.
- （收稿:2023-05-12 修回:2024-04-03）
（本文编辑:王群）

(收稿:2023-05-12 修回:2024-04-03)

(本文编辑:王群)