

杂交手术治疗多支冠状动脉疾病的研究进展

陈靖 余强

(重庆医科大学附属第二医院心血管内科, 重庆 400010)

【摘要】 多支冠状动脉疾病显著影响冠心病患者的预后, 但最佳血运重建策略尚不明确。杂交手术治疗多支冠状动脉疾病安全和可行, 具有良好的短中期效果。深入探讨杂交手术的目标人群、疗效和不同手术策略特点, 对冠心病患者的临床治疗很有必要。

【关键词】 杂交手术; 多支冠状动脉疾病; 目标人群; 疗效; 不同策略比较

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2021.01.006

Hybrid Coronary Revascularization in Treating Multivessel Coronary Artery Disease

CHEN Jing, SHE Qiang

(Department of Cardiology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

【Abstract】 Multivessel coronary disease affects the prognosis of patients with coronary atherosclerotic heart disease significantly, but the best strategy of revascularization is still unclear. Hybrid coronary revascularization, which is safe and feasible to treat multivessel coronary artery disease, has good short- and medium-term outcome. It is necessary for clinical treatment of patients with coronary heart disease to investigate the target population, outcome and different surgical strategy of hybrid coronary revascularization.

【Key words】 Hybrid coronary revascularization; Multivessel coronary artery disease; Target population; Outcome; Comparison of different strategy

冠状动脉粥样硬化性心脏病是指冠状动脉粥样硬化使管腔狭窄或闭塞, 导致心肌缺血和缺氧而引起的心脏病, 简称为冠心病。多支冠状动脉疾病 (multivessel coronary artery disease, MVCAD) 是指 3 支主要冠状动脉中至少存在 2 支或其分支直径狭窄 > 50%。MVCAD 是引起冠心病患者心力衰竭的主要原因, 也是影响患者预后的重要因素。目前 MVCAD 的最佳血运重建策略尚不明确, 单用经皮冠脉介入术 (percutaneous coronary intervention, PCI) 或冠状动脉旁路移植术 (coronary artery bypass grafting, CABG) 治疗 MVCAD 各有其局限性, 为实现两者的优势互补, 冠状动脉杂交手术 (hybrid coronary revascularization, HCR) 应运而生。HCR 指的是统筹结合 CABG 与 PCI 的治疗方法^[1], 即通过微创 CABG 建立桥血管以连接主动脉与病变冠状动脉远端, 多为乳内动脉 (IMA) 与左前降支 (LAD) 的旁路移植术, 残余的冠状动脉病变 (至少 1 支为非 LAD 病变) 行经皮腔内冠状动脉成形术和/或支架置入术治疗。现对杂交手术的目标人群、疗效和策略做一小结, 以期冠心病的治疗提供一定的参考。

1 杂交手术的诞生与历史回顾

杂交手术源于将 PCI 与 CABG 优势整合的构想。PCI 能微创、安全和有效地实现冠状动脉血运重建, 且手术相关并发症较少。CABG 通过将 IMA 移植到靶血管, 发挥 IMA 独特的抗动脉粥样硬化作用, 延缓原有冠状动脉受疾病进展的不良影响, 从而实现桥血管可观的远期通畅率。这些优点得益于 IMA 的结构与分泌特性, 内皮细胞窗孔少, 细胞间连接通透性低, 产生较多的抗血栓分子 (如硫酸肝素和组织型纤溶酶原激活物) 与一氧化氮, 从而抑制脂蛋白转移的致动脉粥样硬化作用^[2]。

1996 年, Angelini 等^[3] 率先提出杂交手术的概念, 并证实了杂交手术的可行性和安全性。他们对 6 例 MVCAD 患者进行治疗, 其中 4 例先经左前胸小切口行左侧乳内动脉 (LIMA)-LAD 移植, 4~6 d 后再行非 LAD 病变的经皮冠状动脉成形术, 余 2 例患者则于导管室一站式完成上述两种术式的治疗, 术后均未发生严重并发症, 患者恢复良好。随后, Cohen 等^[4] 和 Zenati 等^[5] 也证实了杂交手术的早期效果良好, 但均观察到少数病例

出现与经皮腔内冠状动脉成形术相关的不良临床事件(支架内血栓形成、术后短期的急性心肌梗死)。2000 年, Wittwer 等^[6]的研究发现, 有明显合并症的老年冠心病患者可从杂交手术中获益, 可能是通过避免体外循环和胸骨正中切开实现的。该研究入选 35 例合并慢性阻塞性肺病、脑血管事件、慢性肾衰竭、肺结核、室壁瘤、深静脉血栓、外周动脉阻塞性疾病、严重肥胖、高龄和糖尿病等合并症的冠心病患者, 分期联合微创直视下冠状动脉旁路移植术(minimally invasive direct coronary artery bypass, MIDCAB)、经皮腔内冠状动脉成形术和金属裸支架植入术, 手术顺利, 无并发症发生。此后杂交手术的可行性与安全性陆续得到验证, 并证明其术后短期结果与体外循环下 CABG 相似^[7]。当时的临床实践以分期手术为主。2008 年, Bonatti 等^[8]完成首个针对一站式 HCR 的 COMBINATION 研究, 他们选择了 5 例经评估为低外科手术风险的冠心病患者行一站式 HCR 治疗, 结果显示, 1 例中转传统 CABG 治疗, 其余 4 例手术顺利, 所有患者术后无明显并发症, 术后 6 个月均无心绞痛发生。2018 年, Tajstra 等^[9]进行分站式 HCR 与传统 CABG 的随机对照 POLMIDES 研究, 该研究将纳入的 200 例冠心病患者随机分组, 术后长期随访, 最终 191 例患者随访 5 年, 结果显示, HCR 与 CABG 两组患者不良心脑血管事件发生率无显著差异。近年大量研究不仅再次验证杂交手术能在减少围术期并发症的基础上有可观的短中期结果, 而且发现其短中期结果仍不逊于非体外循环下 CABG^[10]和多支血管 PCI(MV-PCI)^[11]。越来越多的临床证据支持和肯定了杂交手术。

2 杂交手术与目标人群

由于现有的杂交手术相关研究以小样本、单中心和观察性研究为主, 缺乏大样本、多中心和随机对照研究, 因此, 已有的循证证据尚未锁定精准的目标人群。目前杂交手术的临床实践以指南推荐为基础, 主要根据心脏团队的评估与决策, 由团队统筹分析患者的临床特征、医师技术水平和医疗机构设备条件等因素后优选治疗方案, 其中经 HCR 治疗后能否改善预后是权衡利弊的关键。2011 年 ACC/AHA 发布指南, 推荐(IIa 级)符合以下情况的冠状动脉多支病变患者行杂交手术^[1]: (1) 难以耐受传统 CABG; (2) 缺乏合适的桥血管; (3) LAD 条件不适合行 PCI, 包括慢性完全阻塞、过度扭曲和严重弥漫性病变等; (4) 左主干病变无保护; (5) 非 LAD 能行 PCI 置入药物洗脱支架。

多个研究^[9-10, 12-16]表明, HCR 的短中期不良心脑血管事件发生率与 CABG 类似。与此不同的是, Leacche 等^[17]发现接受 HCR 治疗者短期不良心脑血管事件可显著高于接受 CABG 治疗者。该研究回顾性

分析了 381 例 CABG 治疗者与 80 例一站式 HCR 治疗者, 并组合 SYNTAX 评分和 EUROSCORE 评分, 分别对两组患者进行分层与统计分析。结果显示, 评估为复杂冠状动脉疾病的高危患者(SYNTAX 评分 ≥ 33 分且 EUROSCORE 评分 ≥ 5 分), 杂交手术后 30 d 内不良心脑血管事件发生率明显高于接受 CABG 治疗者(HCR vs CABG: 33% vs 0%, $P=0.012$)。

由此可见, 由于存在冠状动脉病变解剖的复杂多变和混杂合并疾病, 即使被认为杂交手术“经典”适应证范围的人群也可能难以增加获益。因此, 需对 MVCAD 患者进一步细化评估, 以明确真正的有效获益人群。

Panoulas 等^[18]在《美国心脏病学院杂志》中发表评论, 心脏团队在指导恰当的患者选择方面扮演着至关重要的角色, 而评估是否适合杂交手术的一个重要解剖特征, 应基于 SYNTAX 评分详细地描述 LAD 近端的斑块负荷。最近, Hage 等^[15]指出, 杂交手术可能更适合下列情况: 多支冠状动脉病变, 其中 LAD 近端病变复杂(SYNTAX 评分 >34 分), 非 LAD 病变不过于复杂(SYNTAX 评分 <22 分)且具备行 PCI 的基本条件。

3 HCR 疗效的研究进展

3.1 HCR 与 CABG 和 MV-PCI 的疗效比较

HREVS 研究^[19]是首个同时比较传统 CABG、HCR 和 MV-PCI 的随机临床试验。共入选连续的 MVCAD 患者 155 例, 随机分入常规 CABG 组(LIMA-LAD+静脉移植物)、HCR 组(先通过 MIDCAB 行 LIMA-LAD, 再行 PCI 处理残余病变)和 MV-PCI 组(维罗莫司洗脱支架), 分别按计划行血运重建, 评价 12 个月后的残余心肌缺血和临床结果。结果表明, MV-PCI 组住院时间明显较其他两组缩短(MV-PCI 为 4.5 d, HCR 为 13.5 d, CABG 为 13.8 d; $P<0.001$); 术后 12 个月 3 组的残余心肌缺血和不良心脑血管事件发生率无明显差异。尽管此次研究结果尚未显示出 HCR 的附加价值, 但既往的一项倾向性匹配研究随访 3 年的结果显示, 选定的 MVCAD 患者行 HCR 治疗后可有明显获益^[10]。研究者纳入在中国医学科学院阜外医院连续接受一站式 HCR 的 141 例患者, 使用倾向性评分将这些患者与同期接受单独传统 CABG 或 PCI 治疗的患者相匹配, 再根据 EUROSCORE 评分(低: 评分 ≤ 2 分; 中: 2 分 $<$ 评分 <6 分; 高: 评分 ≥ 6 分)和 SYNTAX 评分(低: 评分 ≤ 24 分; 中: 24 分 $<$ 评分 <30 分; 高: 评分 ≥ 30 分)进行分层, 比较不同分层的 MVCAD 患者其 3 年的累积不良心脑血管事件发生率。分析发现, 一站式 HCR 组的累积不良心脑血管事件明显低于 PCI 组, 但与 CABG 组相似。分层分析显示, 累积不良心脑血管

事件发生在低、中分层的 3 组患者中无显著差异,然而在高 EUROSCORE 分层的患者中,一站式 HCR 组明显低于 CABG 组和 PCI 组,高 SYNTAX 分层的患者中,一站式 HCR 组显著低于 PCI 组,但与 CABG 组相似。由此可见,HCR 治疗 MVCAD 效果良好,尤其是在高危患者中可优于 CABG 和 PCI,但仍需更长随访时间的随机对照研究数据来验证其远期疗效。

3.2 不同微创外科血运重建策略的 HCR 疗效

目前应用于 HCR 中的微创外科心肌血运重建策略主要包括 MIDCAB、机器人 CABG 两大类,后者进一步分为机器人辅助 CABG 和机器人全内镜 CABG (totally endoscopic coronary artery bypass grafting, TECAB)。

MIDCAB 是迄今为止应用最多和证据最为充分的微创外科策略。标准手术方法为通过左前小切口获取 IMA,在直视下对 IMA 和前降支进行吻合。POLMIDES 研究^[9] 早已证实 MIDCAB 联合 PCI 和药物洗脱支架植入治疗 MVCAD,具有良好的安全性和中期疗效。该研究纳入 200 例 MVCAD 患者(所有患者的血管病变均经冠状动脉造影证实),按 1:1 随机分至 HCR 组和传统 CABG 组,5 年后两组的全因死亡率、心肌梗死、重复血运重建、卒中和主要不良心脑血管事件发生率无明显差异。然而,最近的 MERGING 研究^[20] 有不同的发现,研究者将 60 例 3 支冠状动脉病变患者按 2:1 随机分入 HCR 组和传统 CABG 组,随访 2 年后,HCR 组与传统 CABG 组的全因死亡、心肌梗死和卒中发生率均无显著差异,但在两组均观察到非计划的重复血运重建随时间推移而增加,且 HCR 组明显高于 CABG 组 (14.5% vs 5.9%, $P=0.04$),值得注意的是,HCR 组未出现因支架内再狭窄而进行的再干预。在该项研究中,HCR 未显示出预期的优势,可能与其相对短的随访时间有关,较短的时期内 IMA 移植物相较于大隐静脉移植物的优越性尚未显现。临床实践中,MIDCAB 联合 PCI 治疗是否能替代传统 CABG 治疗 MVCAD,仍需更大规模的研究证实。

机器人辅助 CABG 的手术程序为术者通过机器人系统获取 LIMA,再经左前小切口直视下手动吻合 IMA 和 LAD。迄今,尚无随机临床试验直接比较机器人辅助 CABG 联合 PCI 与其他血运重建策略的疗效差异。Giambruno 等^[21] 对实施 HCR(机器人辅助 CABG 联合 PCI)147 例和传统 CABG 682 例患者进行倾向匹配评分,并使用反向概率加权进行调整后的分析。结果显示,HCR 组与 CABG 组在出血再探查、围手术期心肌梗死、卒中、需血液透析、输血率、机械通气时间和 ICU 住院时间无明显差异,但 HCR 组在降低住院死亡率,缩短平均住院时间方面更有优势。HCR 组和 CABG

组平均随访 96 个月和 70 个月,两组在生存率和重复血运重建方面无差别,但 HCR 组心绞痛的缓解更明显。

TECAB,即在无开放切口的情况下,术者通过窗口径路获取移植血管,移植血管的吻合完全在封闭的胸内机器人系统中进行。随着 TECAB 的开展,多支血管 TECAB 联合 PCI 的高级杂交手术(AHCR)逐渐兴起。实现早期功能恢复和对多支血管行旁路移植是 AHCR 的重要亮点。2018 年发表的一项研究^[22] 分析了 57 例接受 AHCR 治疗的患者,研究显示 TECAB 完全成功,无中转开胸手术,其中 50 例(87.7%)采用双侧 IMA 移植,围手术期未见手术部位感染、心肌梗死、卒中和出血再探查。有 54 例患者在 TECAB 后接受了冠状动脉造影(作为 AHCR 的一部分或是术后 3 个月的随访),LIMA 移植物的通畅率为 95.2% (60/63),右侧 IMA 移植物的通畅率为 95.7% (45/47)。AHCR 术后 1 年 90% 患者无不良心脑血管事件发生,生存率为 96.2%;术后 3 年 80.2% 患者无不良心脑血管事件发生,生存率为 92.8%。此外,新近一项研究还评价了 AHCR 术后的残余心肌缺血,证实 AHCR 具有完全血运重建的高成功率^[23]。此研究中共 57 例患者接受 AHCR 治疗,其中 51 例进行了术后冠状动脉造影计算残余 SYNTAX 评分,完全或接近完全血运重建者(残余 SYNTAX 评分 ≤ 8 分)有 44 例患者(86%),其中 16 例患者(31%)实现了完全血运重建(残余 SYNTAX 评分为 0 分)。机器人 CABG,尤其是 TECAB,手术难度大,学习时间曲线长,中转开胸手术比例高。尽管如此,当前的临床结果依旧令人振奋,可以预料,未来 AHCR 将为 MVCAD 治疗带来新的机遇与发展。

3.3 一站式与分站式 HCR 的比较

HCR 包括两种手术策略。其一是一站式 HCR,即在同一间杂交手术室内实施一次麻醉,完成两种术式,通常先完成 CABG,数分钟内再进行 PCI 治疗。其二是分站式 HCR,PCI 与 CABG 分别于介入导管室和外科手术室进行,其间可间隔数小时、数天和数周,根据内外科手术顺序的不同,进一步分为先 CABG 后 PCI 和先 PCI 后 CABG 两种方案。

一站式 HCR 最大的优势在于术中可即刻造影判断桥血管的通畅性,以便及时处理桥血管的异常。Zhao 等^[24] 对 112 例行一站式 HCR 治疗的患者进行了完整的冠状动脉造影,发现有 12% 的移植物血管造影缺陷,立即通过对移植物进行调整,术中开胸行 PCI 转为传统 CABG 等方式修复病变。于医生而言,一站式 HCR 无需考虑内外科手术的逻辑顺序,并可在左主干保护的基础上行高风险 PCI 治疗;于患者而言,一次麻

醉的时间内即完成两种手术,心理体验良好。然而,手术应激与造影剂对肾功能的双重打击不容忽视,尽管有研究显示,一站式 HCR 不会显著地增加急性肾损伤风险^[25],但该结果是否同样适用于合并慢性肾功能不全的患者仍有待进一步研究证实。此外,CABG 手术相关的炎症反应将增加支架内血栓的形成风险,而应用鱼精蛋白逆转肝素对支架内血栓是否存在影响尚无明确的文献报道。与此同时,杂交手术室建设尚未普及,掌握并能开展一站式治疗的医务人员有限,手术费用昂贵等因素限制了一站式 HCR 的应用。

分站式 HCR 无需杂交手术室即可开展,对于不同层次的医疗机构而言,可操作性更胜一筹。其中更为广泛采用的是先 CABG 后 PCI,其优势类似于一站式 HCR,可造影证实桥血管通畅,并可在左主干血运重建的前提下行 PCI 治疗。一旦该种方案介入治疗失败再转为 CABG,将进一步增加手术难度与风险,而先 PCI 后 CABG 的方案,在行 PCI 时无左主干保护,因此主要用于紧急处理罪犯血管,改善急性心肌缺血的情况。但该方案不仅无法造影评价移植血管,而且在双联抗血小板治疗下行 CABG,将增加手术出血风险。此外,无论分站式 HCR 的顺序如何,都难以预判两种手术的间隔期内残余冠状动脉病变是否会进展为罪犯病灶。

当前尚无直接比较一站式与分站式 HCR 的随机临床试验,也无随机对照研究直接评价分站式 HCR 先行 PCI 与先行 CABG 临床结果的差异。一项单中心小样本的回顾性研究发现^[26],先行 PCI 与先行 CABG 的分站式 HCR 治疗者相比,两者的围手术期结果和中期结果均无明显差异。

4 目前的问题与展望

HCR 治疗冠心病的初衷在于减少创伤和手术并发症,最大程度地增加远期获益。虽然大量临床研究证实了杂交手术的安全性和可行性,但还存在一些尚待解决的问题。首先,作为目标人群的 MVCAD 患者仍需进一步精准评估,在整体风险评估的基础上,运用 SYNTAX 评分阐明斑块负荷,组合 EUROSCORE 评分筛选高危人群,应当被优先考虑,以实现真正有效获益人群的个体化治疗。其次,最佳的杂交手术策略及其在不同人群中的外推性有待进一步评价,杂交手术的安全性仍需更多和更深入的研究,尤其是需大规模、多中心和前瞻性的随机对照研究来印证,包括在同一人群中不同手术策略的直接比较,分站式 HCR 先行 PCI 与先行 CABG 的直接疗效对比等。目前正在进行的多中心随机对照研究 HCR 试验^[27],旨在比较 MVCAD 患者行 HCR 治疗与 PCI 治疗后随访 5 年的疗效差异,预计招募约 2 300 例稳定性冠心病患者进入研究,其

研究结果将进一步丰富复杂冠心病血运重建的证据和指导手术策略的选择。相信未来随着大规模研究的开展,现有问题的逐步解决,杂交手术将在 MVCAD 治疗中取得新的突破。

参考文献

- [1] Hillis L, 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]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, 143(1): 4-34.
- [2] Otsuka F, Yahagi K, Sakakura K, et al. Why is the mammary artery so special and what protects it from atherosclerosis? [J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2013, 2(4): 519-526.
- [3] 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.
- [4] Cohen HA, Zenati M, Smith AJ, et al. Feasibility of combined percutaneous transluminal angioplasty and minimally invasive direct coronary artery bypass in patients with multivessel coronary artery disease [J]. *Circulation*, 1998, 98(11): 1048-1050.
- [5] Zenati M, Cohen HA, Griffith BP. Alternative approach to multivessel coronary disease with integrated coronary revascularization [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1999, 117: 439-444; discussion 444-446.
- [6] Wittwer T, Cremer J, Boonstra P, et al. Myocardial "hybrid" revascularisation with minimally invasive direct coronary artery bypass grafting combined with coronary angioplasty: preliminary results of a multicentre study [J]. *Heart*, 2000, 83(1): 58-63.
- [7] de Cannière D, Jansens JL, Goldschmidt-Clermont P, et al. Combination of minimally invasive coronary bypass and percutaneous transluminal coronary angioplasty in the treatment of double-vessel coronary disease: two-year follow-up of a new hybrid procedure compared with "on-pump" double bypass grafting [J]. *Am Heart J*, 2001, 142(4): 563-570.
- [8] Bonatti J, Schachner T, Bonaros N, et al. Simultaneous hybrid coronary revascularization using totally endoscopic left internal mammary artery bypass grafting and placement of rapamycin eluting stents in the same interventional session. The COMBINATION pilot study [J]. *Cardiology*, 2008, 110(2): 92-95.
- [9] Tajstra M, Hrapkiewicz 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.
- [10] Shen LZ, Hu SS, Wang HR, et al. One-stop hybrid coronary revascularization versus coronary artery bypass grafting and percutaneous coronary intervention for the treatment of multivessel coronary artery disease: 3-year follow-up results from a single institution [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 61(25): 2525-2533.
- [11] Puskas JD, Halkos ME, DeRose JJ, et al. Hybrid coronary revascularization for the treatment of multivessel coronary artery disease: a multicenter observational study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(4): 356-365.
- [12] Gašior M, Zembala MO, Tajstra M, et al. Hybrid revascularization for multivessel coronary artery disease [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2014, 7(11): 1277-1283.
- [13] Song ZZ, Shen LZ, Zheng Z, et al. One-stop hybrid coronary revascularization versus off-pump coronary artery bypass in patients with diabetes mellitus [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(6): 1695-1701. e1.
- [14] Harskamp RE, Bagai A, Halkos ME, et al. Clinical outcomes after hybrid coronary revascularization versus coronary artery bypass surgery: a meta-analysis of 1,190 patients [J]. *Am Heart J*, 2014, 167(4): 585-592.
- [15] Hage A, Giambruno V, Jones P, et al. Hybrid coronary revascularization versus

- off-pump coronary artery bypass grafting; comparative effectiveness analysis with long-term follow-up[J]. *J Am Heart Assoc*, 2019, 8(24): e014204.
- [16] Harskamp RE, Vassiliades TA, Mehta RH, et al. Comparative effectiveness of hybrid coronary revascularization vs coronary artery bypass grafting[J]. *J Am Coll Surg*, 2015, 221(2): 326-334. e1.
- [17] Leacche M, Byrne JG, Solenikova NS, et al. Comparison of 30-day outcomes of coronary artery bypass grafting surgery versus hybrid coronary revascularization stratified by SYNTAX and euroSCORE[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 145(4): 1004-1012.
- [18] Panoulas VF, Colombo A, Margonato A, et al. Hybrid coronary revascularization: promising, but yet to take off[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 65(1): 85-97.
- [19] Ganyukov V, Kochergin N, Shilov A, et al. Randomized clinical trial of surgical vs. percutaneous vs. hybrid revascularization in multivessel coronary artery disease: residual myocardial ischemia and clinical outcomes at one year—Hybrid coronary REvascularization Versus Stenting or Surgery (HREVS) [J]. *J Interv Cardiol*, 2020, 2020: 5458064.
- [20] Esteves V, Oliveira MAP, Feitosa FS, et al. Late clinical outcomes of myocardial hybrid revascularization versus coronary artery bypass grafting for complex triple-vessel disease: long-term follow-up of the randomized MERGING clinical trial [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2020, Jan 10. DOI: 10.1002/ccd.28710. Online ahead of print.
- [21] Giambruno V, Jones P, Khalil F, et al. Hybrid coronary revascularization versus on-pump coronary artery bypass grafting[J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 105(5): 1330-1335.
- [22] Kitahara H, Hirai T, McCrorey M, et al. Hybrid coronary revascularization: midterm outcomes of robotic multivessel bypass and percutaneous interventions [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(5): 1829-1836. e1.
- [23] Balkhy HH, Kitahara H, Hirai T, et al. Residual SYNTAX score after advanced hybrid robotic totally endoscopic coronary revascularization [J]. *Ann Thorac Surg*, 2020, 109(6): 1826-1832.
- [24] Zhao DX, Leacche M, Balaguer JM, et al. Routine intraoperative completion angiography after coronary artery bypass grafting and 1-stop hybrid revascularization results from a fully integrated hybrid catheterization laboratory/operating room[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 53(3): 232-241.
- [25] Zhou S, Fang ZR, Xiong H, et al. Effect of one-stop hybrid coronary revascularization on postoperative renal function and bleeding: a comparison study with off-pump coronary artery bypass grafting surgery [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 147(5): 1511-1516. e1.
- [26] Choi HJ, Kang J, Song H, et al. Comparison of coronary artery bypass graft-first and percutaneous coronary intervention-first approaches for 2-stage hybrid coronary revascularization[J]. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 50(4): 247-254.
- [27] Bagiella E. Hybrid Coronary Revascularization Trial [EB/OL]. ClinicalTrials.gov Identifier: NCT03089398. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03089398>, assessed September 23, 2019.

收稿日期: 2020-07-04

(上接第 20 页)

- [34] Stellos K, Sauter R, Fahrleitner M, et al. Binding of oxidized low-density lipoprotein on circulating platelets is increased in patients with acute coronary syndromes and induces platelet adhesion to vascular wall in vivo—brief report [J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2012, 32(8): 2017-2020.
- [35] Ding Z, Liu S, Wang X, et al. Cross-talk between LOX-1 and PCSK9 in vascular tissues[J]. *Cardiovasc Res*, 2015, 107(4): 556-567.
- [36] Biswas S, Xin L, Panigrahi S, et al. Novel phosphatidylethanolamine derivatives accumulate in circulation in hyperlipidemic ApoE^{-/-} mice and activate platelets via TLR2[J]. *Blood*, 2016, 127(21): 2618-2629.
- [37] Calkin AC, Drew BG, Ono A, et al. Reconstituted high-density lipoprotein attenuates platelet function in individuals with type 2 diabetes mellitus by promoting cholesterol efflux[J]. *Circulation*, 2009, 120(21): 2095-2104.
- [38] Riddell DR, Graham A, Owen JS. Apolipoprotein E inhibits platelet aggregation through the L-arginine; nitric oxide pathway. Implications for vascular disease [J]. *J Biol Chem*, 1997, 272(1): 89-95.
- [39] Valiyaveetil M, Kar N, Ashraf MZ, et al. Oxidized high-density lipoprotein inhibits platelet activation and aggregation via scavenger receptor BI[J]. *Blood*, 2008, 111(4): 1962-1971.

收稿日期: 2020-06-06