

本文引用: 吕智康, 程兆云, 孙俊杰, 等. 冠状动脉旁路移植术的发展现状和未来前景[J]. 中国动脉硬化杂志, 2022, 30(11): 1001-1005. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2022.11.013.

[文章编号] 1007-3949(2022)30-11-1001-05

· 文献综述 ·

## 冠状动脉旁路移植术的发展现状和未来前景

吕智康, 程兆云, 孙俊杰, 胡俊龙, 轩继中, 刘前进, 蒋轩, 刘华伟, 张桥, 胡有森  
(郑州大学人民医院 河南省人民医院 阜外华中心血管病医院成人心外科, 河南省郑州市 450003)

[摘要] 冠状动脉旁路移植术(CABG)在我国不断发展, 演变出了诸多临床术式。参考近几年的文献报道和诸多专家经验, 现全面总结国内 CABG 的最新临床术式。从体外循环的应用、手术入路和桥血管材料 3 个方面对 CABG 进行分类归纳, 论述临床术式的发展现状, 比较不同术式之间的差异, 讨论临床医师对不同术式的选择倾向, 并预测未来 CABG 在临床术式上的发展和突破方向。

[关键词] 冠状动脉旁路移植术; 临床术式; 发展现状; 未来前景

[中图分类号] R54

[文献标识码] A

### Development status and future prospect of coronary artery bypass grafting

LYU Zhikang, CHENG Zhaoyun, SUN Junjie, HU Junlong, XUAN Jizhong, LIU Qianjin, JIANG Xuan, LIU Huawei, ZHANG Qiao, HU Yousen

(Department of Adult Cardiac Surgery, Zhengzhou University People's Hospital & Henan Provincial People's Hospital & Fuwai Central China Cardiovascular Hospital, Zhengzhou, Henan 450003, China)

[ABSTRACT] Coronary artery bypass grafting (CABG) has developed continuously in China, and many clinical procedures have evolved. Referring to the literature reports and many experts' experiences in recent years, this paper comprehensively summarizes the latest clinical procedures of CABG in China. This paper classifies and summarizes CABG from three aspects: application of cardiopulmonary bypass, surgical approach and bridging vessel materials, discusses the development status of clinical procedures, compares the differences among different procedures, discusses the choice tendency of clinicians for different procedures, and predicts the development and breakthrough direction of CABG in clinical procedures in the future.

[KEY WORDS] coronary artery bypass grafting; clinical operation; development status; future prospect

我国大约有 1 100 万冠心病患者<sup>[1]</sup>。冠状动脉旁路移植术(冠状动脉搭桥术)(coronary artery bypass grafting, CABG)是治疗冠心病的有效手段之一。近几年, CABG 在国内发展迅速, 国内不同心脏中心的临床手术术式各具特色, 各种临床新技术不断开展, 在某些方面取得了较大进展。本文参考诸多专家和学者的报道, 再加上本院心脏中心的临床经验, 将诸多复杂、新颖的临床术式分门别类, 相互比较, 论述了国内不同手术术式的特色和临床效果, 全面展现 CABG 的发展现状。

### 1 体外循环的应用

在体外循环方面, CABG 可以分为体外循环心脏停跳冠状动脉旁路移植术(conventional coronary artery bypass grafting, CCABG)、非体外循环冠状动脉旁路移植术(off-pump coronary artery bypass grafting, OPCABG)和并行体外循环不停跳冠状动脉旁路移植术(on-pump beating heart coronary artery bypass grafting, On-Pump BHCABG)。

[收稿日期] 2020-12-22

[修回日期] 2021-05-30

[基金项目] 河南省医学科技攻关计划项目(2018020456); 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(2018020438); 河南省医学教育研究联合共建项目(Wjlx2020167)

[作者简介] 吕智康, 硕士, 研究方向为冠心病的外科治疗, E-mail: 2691108317@qq.com。通信作者程兆云, 博士, 主任医师, 研究方向为冠心病的外科治疗, E-mail: 13903712068@163.com。

### 1.1 CCABG

CCABG 是传统 CABG,借助机械泵和氧合器构成的人工心肺机进行血液循环和气体交换,使心脏停搏,创造静止、无血的心脏手术野,完成血管移植<sup>[2]</sup>。CCABG 的优势是手术视野暴露更充分,操作更加安全可靠,完全再血管化程度高,并且不会因为翻动心脏造成血流动力学改变。不足之处是需主动脉插管、体外循环,存在心肌再灌注损伤等,增加了手术时间和手术风险。

### 1.2 OPCABG

OPCABG 是借助心尖吸引固定器、心表固定器和冠状动脉内分流栓等新一代微创手术器械,维持血流动力学稳定,在跳动的心脏上创造了一个相对局部静止、出血少的手术野,从而完成血管移植。OPCABG 的优势是无体外循环和心肌再灌注损伤,术中用药少,住院天数少,且能缩短呼吸机辅助时间和 ICU 留观时间,降低了患者的经济负担。缺点是要求更高的手术操作技术,术中存在循环崩溃和中转为 CCABG 的风险。文献显示,OPCABG 因循环崩溃中转 CCABG 的危险因素有二次搭桥手术、术前充血性心力衰竭、陈旧性心肌梗死、搭桥数量多、左主干疾病和急诊手术<sup>[3]</sup>。

### 1.3 On-Pump BHCABG

On-Pump BHCABG 是在建立体外循环时不阻断升主动脉,使心脏无负荷或低负荷跳动,从而完成血管移植。On-Pump BHCABG 省去了降温、复温、停跳、复跳等步骤,缩短了体外循环时间和总的手术时间,减少心肌损伤。On-Pump BHCABG 相当于 CCABG 和 OPCABG 的折中,将二者的某些优点结合到了一起,既能防止循环崩溃还能在一定程度上维持心肌的有效血供,防止心肌缺血<sup>[4]</sup>。

### 1.4 体外循环术式比较

在手术适应证方面,高龄和有肾功能障碍<sup>[5]</sup>或脑血管意外史等<sup>[6]</sup>体外循环高风险的患者更适用于 OPCABG,靶血管或吻合部位较为特殊的患者更适用于 CCABG,搭桥同期处理瓣膜则必须采用 CCABG。而 On-Pump BHCABG 适用于一些心功能较差、无法耐受 OPCABG 的中高危冠心病患者及 OPCABG 术中转为体外循环下手术的患者。至于手术并发症和患者预后,一篇纳入 104 项随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)研究的 Meta 分析显示,OPCABG 近期预后和 CCABG 相似,但是 OPCABG 围术期脑卒中率更低<sup>[7]</sup>;OPCABG 更难以达到完全再血管化的目标,可能影响远期结果<sup>[8]</sup>。

On-Pump BHCABG 常用于高危病人的治疗,在合理选择病人的情况下,它的临床疗效优于 CCABG 和 OPCABG,近些年的两项 Meta 分析也证实了 On-Pump BHCABG 用于高危病人的治疗具有较高的有效性和安全性<sup>[9-10]</sup>。

## 2 手术入路

目前常用的手术入路有正中开胸、微创直视下冠状动脉旁路移植术(minimally invasive direct coronary artery bypass, MIDCAB)、胸腔镜辅助下的冠状动脉旁路移植术(video-assisted coronary artery bypass, VACAB)、全机器人冠状动脉旁路移植术(total endoscopic/robotic coronary artery bypass, TECAB)及其他手术切口入路<sup>[6,11]</sup>。

### 2.1 正中开胸

正中开胸是指沿胸骨正中线劈胸骨进胸,直接暴露心脏进行手术,这是传统 CABG 术式的金标准。正中开胸的优点是手术视野暴露充分,几乎可以完成任何部位的血管吻合<sup>[6]</sup>及任何类型心脏手术。缺点是手术创伤大,患者术后恢复较慢,有胸骨愈合不良及裂开风险。

### 2.2 MIDCAB

常用的 MIDCAB 可分为两类:胸骨下段小切口(lower-end sternal splitting, LESS)和左前外侧切口(left anterior small thoracotomy, LAST)。LESS 是指纵劈胸骨从剑突至第 3 肋间或第 2 肋间,向左或向右横断胸骨开胸<sup>[12]</sup>,也有不横断胸骨开胸的报道<sup>[13]</sup>。LESS 的切口小于常规正中开胸,患者痛苦轻,切口可灵活向上延长,并且不改变术者手术习惯,适合 MIDCAB 初学者,但是相对狭窄的手术视野限制了吻合口位置的选择<sup>[12]</sup>,获取乳内动脉困难<sup>[11]</sup>,并且正中劈胸骨的术后切口并发症仍然存在。LAST 是视病变靶血管部位位于第 4 肋间或第 5 肋间切口进胸,切口长度 5~10 cm,采用器械撑开胸壁,直视下获取左乳内动脉吻合至前降支等方式进行手术。LAST 避免了胸骨的损伤,减少了手术创伤,美容效果更突出,但是手术视野较窄,并且在获取乳内动脉时部分患者肋骨被过分牵开易造成患者术后疼痛加剧或肋骨骨折。

### 2.3 VACAB

VACAB 是在左侧胸壁打 2 或 3 个孔,在电视胸腔镜辅助下获取左乳内动脉,冠状动脉吻合时再行左前外侧切口。与直视下左前外侧切口相比,VACAB 具有局部视野放大作用,可以在清晰的手术

视野下获取更长的乳内动脉,用于序贯吻合<sup>[14]</sup>,也可以避免延长手术切口和过分牵开肋骨<sup>[11]</sup>,但是对术者的要求更高。目前,VACAB 多为个别专家病例报道,尚缺乏大样本的回顾性研究和强有力的 RCT 研究。

#### 2.4 TECAB

自 1999 年 Loulmet 等<sup>[15]</sup>首次使用机器人行 CABG,该术式经历了从机器人辅助下 CABG 向 TECAB 过渡,TECAB 是在电脑系统辅助下全程内镜行 CABG,分为心脏停跳和不停跳两种术式。它的突出代表是达芬奇(da Vinci)机器人手术。高长青等<sup>[16]</sup>报道了一定数量的 TECAB。TECAB 手术视野清晰,操作灵活,可以减少手术创伤,缩短术后恢复时间,提高患者生活质量,但是高昂的设备和耗材限制其广泛开展。

#### 2.5 手术入路比较

在手术适应证方面,正中开胸适用于所有搭桥手术。MIDCAB 主要适用于左前降支或右冠状动脉单支病变<sup>[6]</sup>的正中开胸高危患者行 OPCABG, MIDCAB 很少能在体外循环下进行。对于多支冠状动脉病变的正中开胸高危患者,则常考虑采用 MIDCAB 与经皮冠状动脉腔内成形术(percutaneous transluminal coronary angioplasty, PTCA)相结合的杂交手术。不过,也有 MIDCAB 治疗多支病变的报道<sup>[17]</sup>。目前,多支血管桥 TECAB 和杂交手术的成熟使得任何需要搭桥的患者均可考虑 TECAB。至于手术并发症和患者预后,荟萃分析显示, MIDCAB 像正中开胸术式一样可靠,术后并发症和短期预后都是可以接受的<sup>[18]</sup>。近期一项报道显示, MIDCAB 左乳内动脉吻合至前降支的 10 年通畅率为 96.8%<sup>[19]</sup>。国外指南显示,与传统正中开胸相比, TECAB 能缩短住院时间,更快地让患者恢复日常生活活动<sup>[20]</sup>。

### 3 桥血管材料

目前,常用的桥血管材料有乳内动脉、桡动脉以及大隐静脉等。亦有学者采用胃网膜右动脉、小隐静脉、腹壁下动脉和脾动脉等其他血管作为桥血管材料,但这些血管材料在国内并未常规广泛使用。

#### 3.1 乳内动脉

乳内动脉又称胸廓内动脉,是 CABG 术中桥血管材料的第一选择。左乳内动脉吻合至前降支是 CABG 的金标准,有学者使用双侧原位乳内动脉全

动脉化搭桥或者游离右乳内动脉与左乳内动脉构成 Y 形桥。目前,乳内动脉常用的获取方式是带蒂和骨骼化法,获取时要避免直接接触和损伤动脉。相比较而言,骨骼化法获取的乳内动脉,对胸骨血运影响更小,降低了手术切口的相关并发症,其长度更长,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<sup>[21]</sup>。

#### 3.2 桡动脉

桡动脉的缺点是易痉挛,曾限制其临床应用。但桡动脉获取、保存及药物应用技术的突破让桡动脉有了更广泛的应用。部分学者认为桡动脉是桥血管材料的第二选择。桡动脉常与乳内动脉联合应用行全动脉化搭桥。根据桡动脉近端吻合口位置的不同,全动脉化搭桥方式主要可以分为吻合于乳内动脉的 Y 形桥和吻合于主动脉的桥。桡动脉主要采取带蒂的方式获取,桡动脉获取时要避免直接接触和损伤<sup>[22]</sup>。

#### 3.3 大隐静脉

大隐静脉曾是应用最广泛的血管材料,特点是易于获取,血管足够长,术中流量大,常用的获取方式有直视下获取和内镜下获取两种。与直视下获取相比,使用内镜获取大隐静脉,术后下肢出现不适感和切口并发症的发生率较低,减少了围手术期并发症的发生。

#### 3.4 桥血管材料比较

在手术预后方面,文献报道,乳内动脉 1、5、10、15 年的通畅率分别是 93%、89%、90%、92%<sup>[23]</sup>。本院心脏中心曾报道,中位随访时间为 1 年时,54 支桡动脉桥全部通畅<sup>[24]</sup>;中位随访时间为 5 年时,93 例患者的桡动脉通畅率为 93.1%<sup>[22]</sup>。文献报道直视下获取大隐静脉的 1 年通畅率为 85.2%<sup>[25]</sup>, 8.5 年通畅率为 76%<sup>[26]</sup>,内镜下获取大隐静脉的 1 年通畅率为 74.5%<sup>[25]</sup>。大隐静脉通畅率相对较低,被认为是其最大的缺点。但是,非接触技术的出现显著提高了其通畅率,有心脏中心报道非接触技术获取的大隐静脉 8.5 年通畅率为 90%<sup>[26]</sup>,与乳内动脉的远期通畅率相当。在手术适应证方面,动脉桥血管材料的质量往往受到患者年龄、高血压、高血脂和糖尿病等合并症的影响。动脉桥血管的通畅率也更容易受竞争血流的影响,术前冠状动脉近端狭窄程度越轻,动脉桥更难以达到预期的效果,术后通畅率会受到影响<sup>[22-24]</sup>。

### 4 展望

从临床工作看,CABG 的术式将进一步发展,不

不停跳搭桥、桥血管全动脉化和手术切口微创化将是未来发展的方向和主流。不停跳搭桥的围手术期临床效果远优于不停跳搭桥,近期和中期预后优于不停跳搭桥,唯有远期预后稍劣于不停跳搭桥。如何改进手术方式或手术器械来提高不停跳搭桥远期预后将是未来研究的方向之一。动脉桥的远期预后远优于静脉桥,动脉桥围手术期易痉挛这一问题也通过技术革新得到解决。国内全动脉化搭桥技术在不少心脏中心已常规开展。但是,如何尽可能的完全再血管化,如何扩大全动脉化搭桥的适用人群,如何成熟地使用更多的动脉桥血管材料(如胃网膜右动脉等)都有待进一步的临床研究。手术切口微创化是外科手术的发展方向。胸腔镜辅助下搭桥只在某些心脏中心开展,尚未普及。机器人搭桥具有诸多优点,但是机器人的使用经费昂贵,在国内只有少数心脏中心开展这一术式。如何尽可能的完全再血管化是机器人搭桥的研究热点之一。

#### [参考文献]

- [1] 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 2019 概要[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(9): 833-854.
- THE WRITING COMMITTEE OF THE REPORT ON CARDIOVASCULAR HEALTH AND DISEASES IN CHINA. Report on cardiovascular health and diseases in China 2019: an updated summary[J]. Chin Circ J, 2020, 35(9): 833-854.
- [2] 席悦, 王晰朦, 刘健, 等. 冠心病患者冠状动脉旁路移植术近期预后的影响因素分析[J]. 中国动脉硬化杂志, 2020, 28(10): 852-855.
- XI Y, WANG X M, LIU J, et al. Analysis of factors affecting the perioperative prognosis of patients with coronary artery bypass grafting[J]. Chin J Arterioscler, 2020, 28(10): 852-855.
- [3] CHOWDHURY R, WHITE D, KILGO P, et al. Risk factors for conversion to cardiopulmonary bypass during off-pump coronary artery bypass surgery [J]. Ann Thorac Surg, 2012, 93(6): 1936-1942.
- [4] 权晓强, 程兆云, 孙俊杰, 等. 并行体外循环下不停跳冠状动脉旁路移植术在冠状动脉左主干病变中的应用价值[J]. 中华医学杂志, 2013, 93(32): 2545-2548.
- QUAN X Q, CHENG Z Y, SUN J J, et al. Application value of off-pump coronary artery bypass grafting under cardiopulmonary bypass in left main coronary artery disease [J]. Nati Med J China, 2013, 93(32): 2545-2548.
- [5] 卢志贺, 刘华强, 李俊生, 等. 60 岁及以上冠状动脉旁路移植术患者术后急性肾损伤相关因素探讨[J]. 中华全科医师杂志, 2021, 20(4): 475-481.
- LU Z H, LIU H Q, LI J S, et al. Study on the related factors of acute renal injury after coronary artery bypass grafting in patients aged 60 and above [J]. Chin J Gen Pract, 2021, 20(4): 475-481.
- [6] 胡盛寿. 我国微创冠状动脉旁路移植术的现状与思考[J]. 医学研究通讯, 2004, 33(4): 2-4.
- HU S S. Current situation and thinking of minimally invasive coronary artery bypass grafting in China [J]. J Med Res, 2004, 33(4): 2-4.
- [7] GAUDINO M, BENEDETTO U, BAKAEEN F, et al. Off-versus on-pump coronary surgery and the effect of follow-up length and surgeons' experience: a Meta-analysis [J]. J Am Heart Assoc, 2018, 7(21): e010034.
- [8] 胡展, 袁昕, 陈斯鹏, 等. 有经验术者行非体外循环与体外循环冠状动脉旁路移植术的近期安全性比较: 单中心 31 075 例手术对比研究[J]. 中华心血管病杂志, 2021, 49(2): 158-164.
- HU Z, YUAN X, CHEN S P, et al. Short-term safety comparison between off-pump and on-pump coronary artery bypass grafting in experienced patients: a single-center comparative study of 31 075 cases [J]. Chin J Cardiol, 2021, 49(2): 158-164.
- [9] DOMINICI C, SALSANO A, NENNA A, et al. On-pump beating-heart coronary artery bypass grafting in high-risk patients: a systematic review and Meta-analysis[J]. J Card Surg, 2020, 35(8): 1958-1978.
- [10] UEKI C, SAKAGUCHI G, AKIMOTO T, et al. On-pump beating-heart technique is associated with lower morbidity and mortality following coronary artery bypass grafting: a Meta-analysis [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2016, 50(5): 813-821.
- [11] 万峰, 陈彧, 王怀军, 等. 四种不同类型的微创小切口冠状动脉搭桥术[J]. 北京医学, 2003, 25(1): 42-44.
- WAN F, CHEN Y, WANG H J, et al. Minimally invasive direct coronary artery bypass: comparison of 4 different procedures [J]. Beijing Med J, 2003, 25(1): 42-44.
- [12] 孙寒松, 邵孟平, 吴清玉, 等. 胸骨下段正中较小切口非体外循环下冠状动脉旁路移植术[J]. 中国循环杂志, 2001, 16(4): 296-298.
- SUN H S, SHAO M P, WU Q Y, et al. Off-pump coronary artery bypass grafting through limited lower sternotomy [J]. Chin Circ J, 2001, 16(4): 296-298.
- [13] 刘虎, 张义和, 单飞, 等. 不横断胸骨微创不停跳冠状动脉旁路移植术临床总结[J]. 中国现代医学杂志, 2017, 27(4): 103-105.
- LIU H, ZHANG Y H, SHAN F, et al. Clinical application of minimally invasive direct coronary artery bypass graft

- without sternal division[J]. *China J Modern Med*, 2017, 27(4): 103-105.
- [14] 王东进, 邵峻, 武忠, 等. 经左胸前外侧小切口冠状动脉旁路移植术[J]. *中华外科杂志*, 2009, 47(8): 574-576.
- WANG D J, SHAO J, WU Z, et al. Coronary artery bypass grafting via left anterolateral incision [J]. *Chin J Surg*, 2009, 47(8): 574-576.
- [15] LOULMET D, CARPENTIER A, D'ATELLIS N, et al. Endoscopic coronary artery bypass grafting with the aid of robotic assisted instruments [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1999, 118(1): 4-10.
- [16] 高长青, 吴扬, 杨明, 等. 机器人微创非体外循环冠状动脉旁路移植术[J]. *中华外科杂志*, 2011, 49(10): 923-926.
- GAO C Q, WU Y, YANG M, et al. Robot minimally invasive off-pump coronary artery bypass grafting[J]. *Chin J Surg*, 2011, 49(10): 923-926.
- [17] 许志锋, 凌云鹏, 崔仲奇, 等. 小切口直视应用双侧乳内动脉冠状动脉旁路移植术与不停跳冠状动脉旁路移植术的对比研究[J]. *中国循环杂志*, 2018, 33(2): 143-147.
- XU Z F, LING Y P, CUI Z Q, et al. Comparative study of minimally invasive directly bypass grafting with bilateral internal mammary artery and conventional off-pump bypass grafting for treating multi-vessel lesion coronary artery disease[J]. *Chin Circ J*, 2018, 33(2): 143-147.
- [18] DIEBERG G, SMART N A, KING N. Minimally invasive cardiac surgery: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Int J Cardiol*, 2016, 223: 554-560.
- [19] REPOSSINI A, DI BACCO L, NICOLI F, et al. Minimally invasive coronary artery bypass: twenty-year experience[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 158(1): 127-138.
- [20] HILLIS L D, SMITH P K, ANDERSON J L, et al. 2011 ACCF/AHA guideline for coronary artery bypass graft surgery: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines [J]. *Circulation*, 2011, 124(23): e652-e735.
- [21] 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.
- JIANG Z L, MEI J, TANG M, et al. Comparative study of skeletal or pedicled free internal mammary artery in coronary artery bypass grafting [J]. *Chin J Cardiovas Res*, 2020, 18(4): 337-340.
- [22] 程兆云, 赵子牛, 权晓强, 等. 应用桡动脉行冠状动脉旁路移植术结果[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2014, 30(5): 296-299.
- CHENG Z Y, ZHAO Z N, QUAN X Q, et al. Results of coronary artery bypass grafting with radial artery [J]. *Chin J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 30(5): 296-299.
- [23] SABIK J F 3RD, LYTLE B W, BLACKSTONE E H, et al. Does competitive flow reduce internal thoracic artery graft patency? [J]. *Ann Thorac Surg*, 2003, 76(5): 1490-1496.
- [24] 任培军, 程兆云, 赵子牛, 等. 全动脉化冠状动脉旁路移植术临床应用[J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2017, 31(6): 562-564.
- REN P J, CHENG Z Y, ZHAO Z N, et al. Clinical application of total arterial coronary revascularization [J]. *J Chin Pract Diagn Ther*, 2017, 31(6): 562-564.
- [25] ZENATI M A, SHROYER A L, COLLINS J F, et al. Impact of endoscopic versus open saphenous vein harvest technique on late coronary artery bypass grafting patient outcomes in the ROOBY (randomized on/off bypass) trial [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 141(2): 338-344.
- [26] SOUZA D S, JOHANSSON B, BOJO L, et al. Harvesting the saphenous vein with surrounding tissue for CABG provides long-term graft patency comparable to the left internal thoracic artery: results of a randomized longitudinal trial [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 132(2): 373-378.
- (此文编辑 曾学清)