

机器人辅助获取双侧乳内动脉行微创冠状动脉旁路移植术治疗冠心病多支血管病变

成楠, 杨明, 王明岩, 刘冰, 申华, 郭鹏飞, 赵元程, 贺田田, 许克, 王嵘

(解放军总医院第一医学中心心血管外科 北京 100853)

摘要 目的: 评价机器人辅助获取双侧乳内动脉在微创冠状动脉旁路移植手术治疗冠心病多支血管病变的应用效果。方法: 选取2019年1月~2020年1月接受机器人辅助左前外侧小切口微创冠状动脉旁路移植术的45例冠心病多支血管病变患者, 其中29例为机器人辅助获取双侧乳内动脉, 平均年龄(59.2 ± 9.5)岁, 男性占比72.4%, 术前冠脉造影双支病变20例(68.9%), 三支病变9例(31.1%), 14例患者同时获取大隐静脉作为桥血管材料。结果: 全组患者无死亡, 无围术期卒中、心肌梗死、二次开胸止血等严重并发症, 无患者中转正中开胸。1例患者切口愈合不良经换药后痊愈。29例患者成功获取乳内动脉58条, 术中检测血流均满意。桥血管配置方面, 右乳内动脉至左前降支/左乳内动脉至其它靶血管10例, 左乳内动脉至前降支/右乳内动脉-大隐静脉复合桥至其它靶血管19例。平均吻合口数量(2.27 ± 0.3)个/例, 平均桥血管流量(27.3 ± 17.6) ml/min。结论: 机器人辅助获取双侧乳内动脉在国人冠心病患者安全可行, 近期结果满意, 适于在冠心病多支血管病变的微创外科治疗领域推广应用。

关键词 机器人; 双侧乳内动脉; 冠心病; 多支血管病变; 冠状动脉旁路移植术

中图分类号 R654 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2020)01-0043-07

收稿日期: 2020-04-05 录用日期: 2020-04-15

Received Date: 2020-04-05 Accepted Date: 2020-04-15

基金项目: 2017全军保健专项课题《机器人微创“杂交”技术治疗冠心病多支血管病变在医疗与保健工作中的应用研究》(17BJ31)

Foundation Item: the 2017 Specific Healthcare Fund of PLA: the research of robotic minimally invasive hybrid technology in the treatment of multi-vessel coronary heart disease in medical and health care (17BJ31)

通讯作者: 王嵘, Email: wangrongd@126.com

Corresponding Author: WANG Rong, Email: wangrongd@126.com

引用格式: 成楠, 杨明, 王明岩, 等. 机器人辅助获取双侧乳内动脉行微创冠状动脉旁路移植术治疗冠心病多支血管病变[J]. 机器人外科学杂志, 2020, 1(1): 43-49.

Citation: CHENG N, YANG M, WANG M Y, et al. Clinical effect of robot-assisted bilateral internal mammary arteries (IMAs) harvesting in treating coronary heart disease with multi-vessel lesions by minimally invasive coronary artery bypass grafting[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery. 2020, 1(1):43-49.

Clinical effect of robot-assisted bilateral internal mammary arteries (IMAs) harvesting in treating coronary heart disease with multi-vessel lesions by minimally invasive coronary artery bypass grafting

CHENG Nan, YANG Ming, WANG Mingyan, LIU Bing, SHEN Hua, GUO Pengfei, ZHAO Yuancheng,
HE Tiantian, XU Ke, WANG Rong

(Department of Cardiovascular Surgery, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China)

Abstract **Objective:** To evaluate the clinical effect of robot-assisted bilateral internal mammary arteries (IMAs) harvesting in the treatment of coronary heart disease with multi-vessel lesions by minimally invasive coronary artery bypass grafting. **Methods:** 45 patients with multivessel coronary artery disease underwent robot-assisted minimally invasive coronary artery bypass surgery via left anterolateral small incision from January 2019 to January 2020 in our hospital, of which 29 patients received totally robotic bilateral IMAs harvesting with mean age (59.2 ± 9.5) years and 72.4% males. 20 cases (68.9%) diagnosed with double lesions and 9 cases (31.1%) with triple lesions in preoperative coronary angiography. 14 patients were performed saphenous vein harvesting for bypass grafting during the operations. **Results:** There were no death, perioperative stroke, myocardial infarction, reexploration for hemostasis and other serious complications, and no patient was converted to median sternotomy. One patient with poor wound healing recovered after conservative treatment. Fifty-eight IMAs were successfully harvested in 29 patients, and the intraoperative blood flow was satisfactory. In terms of graft configurations, 10 cases had the RIMA to the left anterior descending (LAD) / LIMA to other target vessels, and 19 cases had the LIMA to LAD / RIMA- SVG composite graft to other target vessels. The average number of anastomoses was (2.27 ± 0.3) / case, and the average graft flow was (27.3 ± 17.6) ml/min. **Conclusion:** It is safe and feasible to harvest IMAs with robot for Chinese coronary heart disease patients, which is helpful to the application of minimally invasive robotic CABG in the treatment of coronary multi-vessel disease.

Key words Robot; Bilateral internal mammary artery; Coronary artery disease; Multi-vessel disease; Coronary artery bypass grafting

冠状动脉旁路移植术 (Coronary artery bypass grafting, CABG) 是治疗冠心病多支血管病变的有效手段, 其效果已得到历史经验并成为指南推荐的首选血运重建方式^[1]。然而, 常规 CABG 手术必须采用的正中开胸入路以及体外循环心脏停跳技术, 尽管方法成熟, 但其伴随的相关风险和生理心理创伤, 一直以来是冠心病患者拒绝手术治疗的重要原因。因此, 避免正中开胸、体外循环和心脏停跳成为微创冠脉外

科发展的方向和追求的目标^[2]。随着外科医生手术技术的提高以及相关手术装备和器械的不断改进, 保留胸廓完整避免体外循环的全机器人冠状动脉旁路移植术 (Totally endoscopic coronary artery bypass grafting, TECAB) 已成功应用于冠心病多支血管病变的治疗, 其中机器人获取双侧乳内动脉 (Bilateral internal mammary arteries, BIMAs) 是克服 TECAB 手术陡峭学习曲线的关键技术^[3]。目前全球范围内开展机器人辅助获取

双侧乳内动脉的心脏中心极为有限，笔者总结本中心近1年来在该领域所做的工作，为推动该技术在国内的普及提供借鉴。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2019年1月~2020年1月解放军总医院心血管外科完成的机器人辅助微创冠脉搭桥手术110例，其中45例为冠心病多支血管病变，29例采用机器人辅助获取双侧乳内动脉，根据靶血管位置和数目同期获取/不获取大隐静脉。术前常规行64排增强CT检查双侧乳内动脉（Internal mammary artery, IMA）的解剖情况。

全组患者男21例，女8例，年龄平均（ 59.2 ± 9.5 ）岁。所有患者术前均有心绞痛症状，冠状动脉造影显示前降支重度狭窄（ $>75\%$ ），同时合并有回旋支和/或右冠状动脉病变。既往有心梗病史者5例。术前植入支架共8例。心功能（NYHA分级）均为I~II级，平均射血分数（ 62.4 ± 7.7 ）%。所有患者肺功能良好，无胸膜炎和左侧胸腔手术病史。全部患者术前基线资料见表1。

1.2 纳入排除标准

机器人辅助微创冠状动脉旁路移植术纳入标准主要为稳定型心绞痛患者，冠状动脉造影显示累及前降支（Left anterior descending artery, LAD）的多支病变（合并右冠和/或回旋支，狭窄 $>75\%$ ）。左室收缩功能良好（射血分数 $>50\%$ ）。排除标准包括：不稳定心绞痛，心功能不全失代偿期，冠状动脉靶血管为弥漫病变或严重钙化，既往肺部手术史或严重肺部疾病、无法耐受单肺通气，乳内动脉及冠脉CTA提示乳内动脉细小或锁骨下动脉起始部

表1 机器人获取双侧乳内动脉行CABG患者术前基线资料

Table 1 Preoperative baseline data of patients undergoing CABG with robotic BIMA harvesting

病例（29例）	
性别比（例，男/女）	21/8（2.62）
年龄（岁， $\bar{x} \pm s$, range）	59.2 ± 9.5 （33~78）
体重（kg， $\bar{x} \pm s$, range）	71 ± 10.9 （44~99）
身高（cm， $\bar{x} \pm s$, range）	165.7 ± 8.3 （148~184）
吸烟（例）	18（62.1%）
糖尿病（例）	10（34.4%）
高脂血症（例）	8（27.5%）
高血压（例）	19（65.5%）
脑血管病史（例）	2（6.8%）
COPD（例）	0（0）
外周血管病（例）	1（3.4%）
心梗病史（例）	5（17.2%）
PCI史（例）	8（27.5%）
LVEDD（mm， $\bar{x} \pm s$, range）	46.7 ± 4.9 （36~53）
EF（%， $\bar{x} \pm s$, range）	62.4 ± 7.7 （41~72）
双支病变	20（68.9%）
三支病变	9（31.1%）

注：COPD=慢性阻塞性肺病；LVEDD=左室舒张末期直径；PCI=经皮冠状动脉介入治疗；EF=射血分数

狭窄（ $>50\%$ ），合并其它疾病需同期手术，以及严重外周血管和其他脏器疾病等。

1.3 手术方法

1.3.1 麻醉及体位

患者仰卧位，监测心电及经皮血氧饱和度，左桡动脉穿刺置管接有创动脉测压。全身麻醉双腔气管插管并监测麻醉深度。右颈内静脉置双腔静脉导管及漂浮导管，监测中心静脉压、肺动脉压和肺毛细血管楔压。左侧胸部抬高、左上肢置于半垂位固定，手术床右倾 30° ，暴露左胸侧壁。右前及左后胸壁贴自动除颤电极片并连于体外自动除颤仪。

1.3.2 机械臂置入

胸部皮肤常规碘酒酒精消毒，铺无菌巾。右肺单肺通气，定位后于左侧胸壁打孔，直径约 1cm。内窥镜孔位于第 5 肋间腋前线 5cm 处，左右机械臂孔分别位于第 3 及第 7 肋间，三孔呈一条直线，间距 8~10cm，经 Troca 分别置入镜头及左右手臂。将 Da Vinci S/Si 的床旁机械臂车推至患者右侧合适位置，固定机械臂和患者的连接。内窥镜进入胸腔后，利用 CO₂ 给予 8~10mmHg (1mmHg=0.133kPa) 的持续正压，以利于视野的暴露。左右机械臂上分别插入镊子和电刀，术者在控制台上通过三维成像系统观察胸腔内结构，利用手柄控制机械臂游离 IMA。

1.3.3 BIMAs 游离术

BIMAs 以骨骼化方式游离。进入胸腔后在游离之前，先充分分离前纵隔组织，使悬吊的心脏垂下，并剔除部分心包脂肪和胸腺组织，增加胸腔操作空间。对左侧乳内动脉 (LIMA) 全程进行仔细探查。先采用低功率单极电刀和钝性分离方式游离 LIMA。向上游离至第 1 肋间，向下游离至第 6 肋间。较大的侧枝用钛夹夹闭，防止出血，保持 LIMA 悬吊于胸壁防止游离右侧乳内动脉时误伤。在游离右侧乳内动脉 (RIMA) 前，尽可能游离右侧胸膜并避免损伤，减少双侧气胸对呼吸循环的影响。显露 RIMA 全程，RIMA 游离方法及长度同 LIMA，在乳内静脉入无名静脉处离断，充分游离乳内动脉近端获得足够长度使其走行自然防止成角，远端至 RIMA 分叉处。

1.4 统计学分析

所有数据采用 SPSS 20.0 进行统计学分析。连续性参数用平均 ± 标准差表示 ($\bar{x} \pm s$)。计数资料用频数和百分比表示。

2 结果

本组患者共 29 例，全部顺利接受机器人微创双乳内 CABG 手术治疗。所有患者均取得良好手术结果，无围术期死亡、卒中、心肌梗死、二次开胸止血等严重并发症，无患者中转正中开胸。1 例患者切口愈合不良经换药后痊愈。29 例患者成功获取乳内动脉 58 条，术中检测血流均满意。桥血管配置方面，右乳内动脉至左前降支 / 左乳内动脉至其它血管 10 例，左乳内动脉至前降支 / 右乳内动脉 - 大隐静脉复合桥至其它血管 19 例。平均吻合口数量 (2.27 ± 0.3) 个 / 例，平均桥血管流量 (27.3 ± 17.6) ml/min。

3 讨论

本研究结果显示，机器人辅助双侧乳内动脉获取安全可行，在机器人微创 CABG 手术治疗国人冠心病多支血管病变领域具有良好的发展潜力和应用前景。

从 20 世纪 60 年代 CABG 手术问世以来，其治疗冠心病尤其是复杂多支血管病变的优势不断得到各类大型前瞻性随机临床试验以及 Meta 分析的验证^[4]。然而，常规 CABG 手术所伴随的手术创伤和风险在微创时代越来越受到患者的抗拒和内科经皮介入冠脉成形 (Percutaneous coronary intervention, PCI) 治疗的挑战。尽管指南始终推荐 CABG 是冠心病多支病变的首选血运重建方式^[5]，但由于患者的抵触并对 PCI 技术低危低创伤的认可，真实世界中更多冠心病多支病变患者首选 PCI 治疗，并直接推动了 PCI 技术及相关设备耗材的不断进步。因此，冠脉外科微创化发展成为 21 世纪心血管外科医生必须面对的现实问题，而机器人手术系统的出现为实现这一目标提供了现实可行的解决方案和路径。

1999年 Loumet 等采用 Intuitive 公司开发的“达芬奇”手术系统完成了全球首例机器人辅助微创 CABG 手术^[6]。此后，随着“达芬奇”手术系统在全球配置的不断增多，机器人辅助微创 CABG 手术也逐步在欧美等国家的心脏中心开展，其中机器人辅助下小切口微创搭桥（Robotically assisted coronary artery bypass, RACAB）和 TECAB 治疗单支病变更为多见，仅极少数中心开展了多支病变的治疗^[7-8]。该系统对于 RACAB 和 TECAB 手术的贡献主要包括两个方面：①单侧和/或双侧乳内动脉获取；②桥血管与靶血管的吻合。其中高质量获取乳内动脉是完成 RACAB 或 TECAB 手术的关键步骤，也是决定手术效果的关键因素之一^[9]。

对于冠心病多支病变接受常规 CABG 手术患者，多项研究已经证明以左侧乳内动脉为基础辅以右侧乳内动脉或桡动脉等动脉桥进行外科血运重建，其远期结果优于左侧乳内动脉联合大隐静脉的血运重建策略^[10]。然而，由于双侧乳内动脉获取难度大、时间长、吻合技术要求高、术后更容易发生胸骨愈合不良，因此几十年来在临床并未得到很好的推广应用，欧美报道临床使用率 10% 左右^[11]。机器人手术系统由于提供了清晰放大的视野和良好的显露，保证了操作的精细和准确，因此在获取乳内动脉方面较微创小切口或正中开胸直视下操作均具有无可比拟的优势。具体来说，机器人手术系统可安全实现双侧乳内动脉骨骼化获取，长度可从第一肋到达第六肋水平乳内动脉分叉处，如此既可保证乳内动脉足够的长度，而且保证所有的分支得到有效处理，避免分支窃血引起乳内动脉血流量不足的问题。本组 29 例患者均在机器人手术系统辅助下成功实现双侧乳内动脉获取，无血管损伤或痉挛等问题，获取后流量检测及吻合后流量检测均获得满意效果。

机器人获取双侧乳内动脉的优势不仅局限于获取乳内动脉本身的技术优势，同时对于提升微创 CABG 手术的整体效果也具有极大的帮助，具体包括：①由于胸骨完整性得以保留，因此可应用于高龄、糖尿病等正中开胸条件下获取双侧乳内动脉容易导致胸骨愈合不良的高风险患者^[12]；②对于年轻患者，可通过不同的桥血管配置方式实现完全动脉化血运重建，保证远期手术效果，而且无需从下肢或上肢获取桥血管材料，利于美观及肢体功能保护^[9]；③对于高龄患者，可通过右乳内动脉与大隐静脉的“T”型桥实现双侧乳内动脉对心脏供血，避免升主动脉操作，实现真正意义上的“no touch”技术^[13]。

尽管机器人手术系统在双侧乳内动脉获取方面较正中开胸和小切口直视等入路具有显著的优势，但从实际操作的角度尤其是在国人冠心病患者的应用来看，真正掌握该技术并能够熟练运用仍需要一定的学习曲线^[14]，在患者选择、乳内动脉评估、麻醉管理、机器人手术系统操作、手术医生与床旁助手配合等诸多方面都需要反复训练和探索，才能形成较为成熟稳定的技术路线和团队合作^[15]。与欧美患者相比，国人体型相对矮小，胸部空间有限，同时乳内动脉相对偏细，动静脉壁偏薄，以上解剖条件导致在手术过程中面临以下困难：①胸部范围窄，肩胛骨和髂前上棘对机械手臂的更换及伸缩易造成阻碍，影响器械运动的自由度，增加床旁助手操作难度，延长手术时间，同时机械手臂之间的碰撞几率增加；②胸腔空间小，需要较大的 CO₂ 气胸压迫心脏制造操作空间，过高的 CO₂ 气压不仅影响血流动力学稳定，而且在更换器械时由于胸内压力的突然变化使得心脏的位置发生改变，有可能导致进入的器械损伤心脏导致严重后果。这一问题在获取右侧乳内动脉时更为明显，由于要跨越纵膈进行操作，

心脏跳动对手臂的干扰影响视野及操作的准确性,需要对手术野更有效的扩大和对机械手臂更精准的控制方能安全实施整个操作;③由于机器人手术系统缺乏力反馈机制,仅依靠视觉补偿有时无法达到精细操作的要求,而在乳内动脉骨骼化游离过程中,除了钛夹和电凝止血外,缺乏对出血的有效控制手段,因此在游离过程中无论是器械夹持引起的静脉出血或是损伤分支引起的动脉出血,均会沿乳内动脉床污染视野,影响后续操作,严重出血还有可能污染镜头,使后续操作更为困难。因此在操作过程中必须时刻防患于未然,充分暴露术野,确定机械手臂到达理想位置再进行操作,避免各种误伤导致的出血发生。针对左侧入路获取双侧乳内动脉技术操作的复杂性,日本学者近期提出了采用双侧入路分别获取左右乳内动脉的策略^[16],该方法的优势在于降低了对患者身高体重方面的要求,不需要长时间的右侧单肺通气,不需要跨越纵隔进行操作,避免了获取右侧乳内动脉过程中心脏跳动对机械手臂的干扰;缺点是需要在右侧胸壁额外打孔,另外在一侧乳内动脉获取结束后需要更换床旁机械臂车的位置,增加了手术时间和机械臂污染的机会。由于病例数有限,其具体应用效果还需更多的实践进行验证。

针对以上问题,我们在实际工作中注意把握几点:①重视患者的选择,优先选择心肺功能以及靶血管条件良好、症状稳定的患者,此类患者对相对较长时间的单肺通气更为耐受,不易发生急性心肌缺血。除此之外,患者的年龄、性别以及体型等因素非常重要,这一点在工作开始阶段尤为关键,身材较高的年轻或中年男性患者、BMI 指数 25 以下较为适宜;②前常规进行冠脉 CTA 以及乳内动脉 CTA 扫描,了解心包外脂肪厚度、胸部空间大小、双侧乳内

动脉直径及走行以及前降支位置等,尽量选择胸部空间大、乳内动脉粗的患者;③克服学习曲线方面,先采用带蒂游离技术熟悉机器人手臂操作,之后过渡到骨骼化游离左侧乳内动脉,之后再开始双侧乳内动脉骨骼化游离,通过这一顺序可循序渐进较为安全的掌握机器人骨骼化获取双侧乳内动脉的技术。

综上所述,机器人辅助双侧乳内动脉获取技术安全可行,近期结果满意,适于在冠心病多支血管病变的微创外科治疗领域推广应用。

参考文献

- [1] Authors/Task Force m, Windecker S, Kolh P, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI)[J]. *European Heart Journal*, 2014, 35(37): 2541-2619.
- [2] Yang M, Wu Y, Wang G, et al. Robotic Total Arterial Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting: Seven-Year Single-Center Experience and Long-Term Follow-Up of Graft Patency[J]. *The Annals of Thoracic Surgery*, 2015, 100(4): 1367-1373.
- [3] Balkhy HH, Nisivaco S, KIMAHARA H, et al. Robotic Multivessel Endoscopic Coronary Bypass: Impact of a Beating-Heart Approach With Connectors[J]. *The Annals of Thoracic Surgery*, 2019, 108(1): 67-73.
- [4] Morice MC, Serruys PW, Kappetein AP, et al. Outcomes in Patients With De Novo Left Main Disease Treated With Either Percutaneous Coronary Intervention Using Paclitaxel-Eluting Stents or Coronary Artery Bypass Graft Treatment in the Synergy Between Percutaneous Coronary Intervention With TAXUS and Cardiac Surgery (SYNTAX) Trial[J]. *Circulation*, 2010, 121: 2645-2653.
- [5] Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization[J]. *European*

