

论著·临床研究

经左胸小切口多支冠状动脉搭桥与杂交冠状动脉血运重建的对比研究:近中期临床疗效分析

林子博, 裴佳培, 孙延军, 姚皓弋, 任 挺, 赵 强

上海交通大学医学院附属瑞金医院心脏外科, 上海 200025

[摘要] **目的**·比较微创多支冠状动脉旁路移植术 (minimally invasive multivessel cardiac surgery-coronary artery bypass grafting, MICS-CABG) 与杂交冠状动脉血运重建术 (hybrid coronary revascularization, HCR) 治疗多支冠状动脉疾病的围术期和近中期临床疗效, 探讨其安全性和应用价值。 **方法**·回顾性分析 2020 年 1 月至 2023 年 6 月在上海交通大学医学院附属瑞金医院心脏外科行微创冠状动脉搭桥术的 123 例患者的临床资料及随访结果。按照手术方式将患者分为 MICS-CABG 组 (58 例) 和 HCR 组 (65 例)。对比 2 组基础资料 [吸烟史、高血压、糖尿病、慢性阻塞性肺病 (chronic obstructive pulmonary diseases, COPD)、脑梗死、心肌梗死史、经皮冠状动脉介入治疗 (percutaneous coronary intervention, PCI) 史、左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、病变冠状动脉支数等]、围术期指标 [外科手术时间、围术期有无输血、手术有无中转正中开胸、术中有无植入主动脉球囊反搏 (intra-aortic balloon pump, IABP)、有无使用体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)、任何原因的二次手术、呼吸机使用时间、重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 停留时间、住院时间、血运重建冠状动脉支数、术后 24 h 引流量、死亡、术后并发症等]。并于术后 1、3、6、12 个月及之后每隔 6 个月进行电话或门诊定期随访, 随访主要终点为主要心脑血管事件 (major adverse cardiac and cerebral events, MACCE), 术后 (12±3) 个月行冠状动脉影像学检查, 对比 2 组患者近中期 MACCE 事件及目标治疗血管的通畅情况。 **结果**·MICS-CABG 组患者外科手术时间显著长于 HCR 组 ($P<0.001$), 术后呼吸机使用时间更长 ($P=0.001$), 且术后早期呼吸衰竭发生率更高 (32.76% vs 12.31%, $P=0.007$), 但 MICS-CABG 组血运重建冠状动脉数更多 ($P=0.002$)。MICS-CABG 组患者术后 24 h 引流量更多 ($P<0.001$), 但 2 组术中术后输血患者比例差异无统计学意义 (6.90% vs 1.54%, $P=0.145$)。除此之外, 2 组均无中转正中开胸、未植入 IABP、未使用 ECMO, 2 组围术期心肌梗死、脑卒中、新发心房颤动、死亡、ICU 停留时间、住院时间差异也无统计学意义。MICS-CABG 组共吻合 170 支血管桥, 其中左前降支 (left anterior descending, LAD) 桥血管 58 支, 其余靶血管血管桥共计 112 支。HCR 组共吻合 65 支血管桥 (均为 LAD), 共行 PCI 完成血运重建冠状动脉 90 支。术后 (12±3) 个月影像学检查评估 LAD 桥血管通畅率, 2 组差异无统计学意义 (93.10% vs 96.92%, $P=0.601$); 而对于非 LAD 靶血管血运重建后通畅情况, 虽然 MICS-CABG 组略低于 HCR 组 (91.96% vs 96.67%), 但两者差异亦无统计学意义 ($P=0.190$)。MICS-CABG 组术后随访 (30±22) 个月, HCR 组术后随访 (31±16) 个月, MACCE 累积发生率均较低 (0 vs 1.54%, $P=0.325$), 再次血运重建率差异无统计学意义。 **结论**·MICS-CABG 和 HCR 这 2 种手术在治疗多支冠状动脉病变的围术期安全性和近中期临床疗效相当, 但 MICS-CABG 手术时间更长、术后呼吸并发症风险更高, 而 HCR 需严格评估 PCI 指征。临床应根据患者病变特点及心肺功能个体化选择术式。

[关键词] 微创小切口; 冠状动脉多支病变; 微创多支冠状动脉旁路移植术; 冠状动脉再血管化杂交技术; 临床疗效

[DOI] 10.3969/j.issn.1674-8115.2025.12.005 **[中图分类号]** R654 **[文献标志码]** A

Comparative study of minimally invasive multivessel coronary artery bypass grafting and hybrid coronary revascularization: analysis of short-to-medium-term clinical outcomes

LIN Zibo, QIU Jiawei, SUN Yanjun, YAO Haoyi, RENG Ting, ZHAO Qiang

Department of Cardiac Surgery, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China

[Abstract] **Objective**·To compare the perioperative and short-to-medium-term clinical outcomes of minimally invasive multivessel cardiac surgery-coronary artery bypass grafting (MICS-CABG) and hybrid coronary revascularization (HCR) in patients with multivessel coronary artery disease (CAD), and to evaluate their safety and clinical applicability. **Methods**·A retrospective analysis

[通信作者] 赵 强, 主任医师, 博士; 电子信箱: zq11607@rjh.com.cn。

[Corresponding Author] ZHAO Qiang, E-mail: zq11607@rjh.com.cn.

[网络首发] <https://link.cnki.net/urlid/31.2045.R.20251223.1436.002> (2025-12-24 15:13:51)。

was conducted on 123 patients who underwent minimally invasive coronary artery bypass surgery at the Department of Cardiac Surgery, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, between January 2020 and June 2023. Patients were divided into the MICS-CABG group ($n=58$) and the HCR group ($n=65$) based on the surgical approach. Baseline characteristics [smoking history, hypertension, diabetes, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), history of cerebral infarction, myocardial infarction, prior percutaneous coronary intervention (PCI), left ventricular ejection fraction (LVEF), number of diseased coronary vessels] and perioperative outcomes [operation time, perioperative transfusion, conversion to median sternotomy, intra-aortic balloon pump (IABP) or extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) use, reoperation for any cause, mechanical ventilation duration, intensive care unit (ICU) stay, hospital stay, number of revascularized vessels, 24-hour postoperative drainage volume, mortality, and complications] were compared. Follow-up was conducted at 1, 3, 6, and 12 months postoperatively and every 6 months thereafter, with the primary endpoint being major adverse cardiac and cerebrovascular events (MACCE). Coronary imaging was performed at (12 $\pm$ 3) months to assess graft/stent patency. **Results** The MICS-CABG group had a significantly longer operative time ($P<0.001$), a longer duration of mechanical ventilation ($P=0.001$), and a higher incidence of early postoperative respiratory failure (32.76% vs 12.31%, $P=0.007$) compared to the HCR group. However, the MICS-CABG group achieved more complete revascularization ($P=0.002$). Postoperative 24-hour drainage volume was greater in the MICS-CABG group ($P<0.001$), but transfusion rates did not differ significantly (6.90% vs 1.54%, $P=0.145$). Conversion to sternotomy, IABP implantation, and ECMO use were not required in either group. No significant differences were observed in perioperative myocardial infarction, stroke, new-onset atrial fibrillation, mortality, ICU stay, or hospital stay. In the MICS-CABG group, 170 grafts were anastomosed [58 left anterior descending (LAD) grafts and 112 non-LAD grafts], while the HCR group had 65 grafts (all LAD) and 90 PCI-treated vessels. At 1 year, LAD graft patency (93.10% vs 96.92%, $P=0.601$) and non-LAD target vessel patency (91.96% vs 96.67%, $P=0.190$) showed no significant differences. The MICS-CABG group patients were followed up for (30 $\pm$ 22) months postoperatively, and the HCR group patients were followed up for (31 $\pm$ 16) months postoperatively. MACCE rates were low in both groups (MICS-CABG 0 vs HCR 1.54%, $P=0.325$), with no significant difference in repeat revascularization. **Conclusion** MICS-CABG and HCR demonstrate comparable perioperative safety and short-to-medium-term efficacy in patients with multivessel CAD. While MICS-CABG requires a longer operative time and carries a higher risk of respiratory complications, HCR necessitates stringent PCI eligibility assessment. The choice of procedure should be individualized based on anatomical complexity and cardiopulmonary function.

[Key words] minimally invasive cardiac surgery; multiple coronary artery lesions; minimally invasive multivessel cardiac surgery-coronary artery bypass grafting; hybrid coronary revascularization; clinical outcomes

冠状动脉旁路移植术 (coronary artery bypass grafting, CABG) 目前仍然是治疗冠状动脉疾病的金标准^[1-2]。然而,传统 CABG 手术需要正中切开胸骨,手术创伤大,术后恢复慢,患者接受度较低^[3]。因此,微创冠状动脉外科的发展一直受到重视,对左前降支 (left anterior descending artery, LAD) 单支病变开展的微创直视下冠状动脉旁路移植术 (minimally invasive direct coronary artery bypass, MIDCAB) 获得广泛成功。有研究表明, CABG 的生存获益主要优势在于左乳内动脉 (left internal mammary artery, LIMA) 至前降支桥血管通路的建立,其 10 年通畅率可达 95%^[4],而经皮冠状动脉介入治疗 (percutaneous coronary intervention, PCI) 的远期预后与大隐静脉桥血管差异不大^[5-6]。因此衍生出冠状动脉再血管化杂交技术 (hybrid coronary revascularization, HCR)。同时,微创多支冠状动脉旁路移植术 (minimally invasive multivessel cardiac surgery-coronary artery bypass grafting, MICS-CABG) 在国内外热度有增无减,对于其能否保留切口小、恢复快的优势,而有更优于 HCR 的疗效,相关临床研究

较少。本文旨在比较这 2 种手术方式的围术期和早中期临床效果,探讨其安全性及临床应用前景和价值^[7]。

1 对象与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2020 年 1 月至 2023 年 6 月期间于上海交通大学医学院附属瑞金医院心脏外科行微创冠状动脉搭桥术患者的临床资料及随访结果。纳入标准:①初次行冠状动脉搭桥手术。②经左前外侧切口手术,保留胸骨完整性。排除标准:①同期接受其他心脏手术 (如经导管主动脉瓣生物瓣置换术、心房颤动消融术等)。②计划中采取体外循环的搭桥手术。③急诊冠状动脉搭桥手术。④单支冠状动脉病变,仅一支血管进行血运重建的患者。共纳入 123 例,其中行 MICS-CABG 手术患者 58 例,行 HCR 手术患者 65 例。

1.2 治疗方法

1.2.1 MICS-CABG 组 患者取仰卧位,全身麻醉后双腔气管插管接呼吸机辅助呼吸,左胸垫高 30°,右

肺单肺通气 (one-lung ventilation, OLV), 左前胸乳缘下切口第4或5肋间进胸, 做一长6~10 cm的切口, 使用微创乳内牵开器向上牵开胸壁以暴露手术视野, 获取LIMA; 如病情需要可以使用德国Fehling牵开器从该切口获取右乳内动脉 (right internal mammary artery, RIMA), 同时获取大隐静脉 (saphenous vein graft, SVG) 或桡动脉 (radial artery, RA) 等其他桥血管。制备好桥血管后, 肝素化抗凝, 用微创牵开器以及软组织保护圈扩大肋间隙, 切开并悬吊心包, 充分暴露手术视野, 游离主肺动脉间隔后, 采用微创侧壁钳钳夹升主动脉前壁, 6-0聚丙烯缝合线完成SVG或RA到升主动脉的端侧吻合, 再应用心表固定器牵拉固定心脏, 依次完成LIMA-LAD及SVG/RA

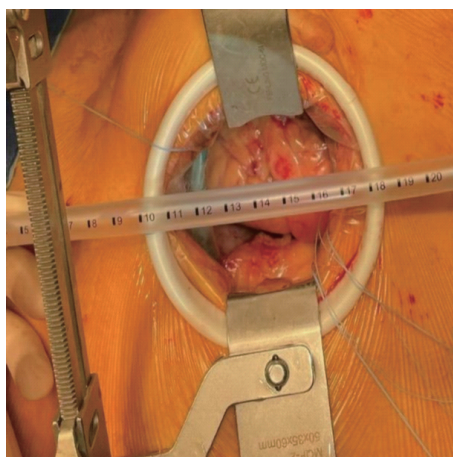


图1 MICS-CABG手术切口(长度约8 cm)

Fig 1 Incision of MICS-CABG (about 8 cm in length)

1.2.2 HCR组 患者依前法获取左侧LIMA, 其切口可较前缩短为5~8 cm; 全身肝素化抗凝后, 切开并悬吊心包, 应用心表固定器暴露靶血管, 完成LIMA-LAD的端侧吻合, 术中检测桥血管流量满意后止血关胸。术后第一日开始予以拜阿司匹林 (每日1次, 每次100 mg) 及替格瑞洛 (每日2次, 每次90 mg) 抗血小板治疗, 一般于术后第4~5日行非前降支病变血管的PCI治疗。

1.3 观察指标

1.3.1 基线资料 收集患者术前基本资料, 包括: ①人口学资料, 如性别、年龄、体质量指数 (body mass index, BMI)、吸烟史。②合并症, 如高血压、糖尿病、慢性阻塞性肺病 (chronic obstructive pulmonary diseases, COPD)。③既往史, 如脑梗死史、心肌梗死史、

至对角支 (diagonal, DIA)、左旋支 (left circumflex, LCX)、左室后支 (posterior left ventricular, PL)、后降支 (posterior descending artery, PDA) 或右冠状动脉 (right coronary artery, RCA) 靶血管的吻合。检测桥血管流量, 满意后采用鱼精蛋白中和肝素, 严密止血, 左胸放置单根胸腔引流管, 逐层关闭手术切口。排除活动性出血后, 在术后第一日开始予以拜阿司匹林 (每日1次, 每次100 mg) 及替格瑞洛 (每日2次, 每次90 mg) 抗血小板治疗。围术期若有呼吸衰竭, 可使用鼻导管高流量 (high-flow nasal cannula, HFNC) 氧疗支持及激素治疗, 若效果不佳必要时再次气管插管。手术切口及术中固定器见图1、2。

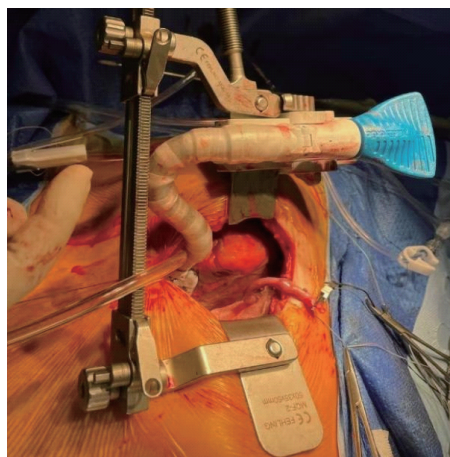


图2 MICS-CABG术中使用的特制牵开器

Fig 2 Special retractors in MICS-CABG

PCI史。④临床检查结果, 如肌酐清除率、心超中左室舒张末期内径 (left ventricular end diastolic dimension, LVDD)、左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、冠状动脉造影中病变冠状动脉支数。

1.3.2 围术期指标 收集患者术中和术后资料。术中资料包括: 外科手术时间、手术有无中转正中开胸、术中有无植入主动脉球囊反搏 (intra-aortic balloon pump, IABP)、有无使用体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)、血运重建冠状动脉支数、围术期有无输血。术后资料包括: 任何原因的二次手术 (包括出血、桥血管问题)、呼吸机使用时间、重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 停留时间、住院时间、术后24 h引流量、死亡、术后并发症 (围术期心肌梗死、脑卒中、新发心房颤动、呼吸衰竭、切口愈合不良等) 情况。

1.3.3 随访资料 术后1、3、6、12个月及之后每隔6个月进行电话或门诊定期随访,截至2024年8月。随访主要终点为主要心脑血管事件(major adverse cardiac and cerebral events, MACCE),包括死亡、心肌梗死、血运重建、脑血管意外。随访结果采用Kaplan-Meier生存分析曲线进行分析,应用Log-rank法对MACCE免除率分布差异性进行检验。术后(12±3)个月患者行冠状动脉CT血管成像(CTA)或冠状动脉造影检查。根据影像学结果,采用FITZGIBBON标准^[8]评价靶血管远端通畅情况(包括冠状动脉搭桥的旁路血管以及PCI术后的冠状动脉支架通畅情况):A级,血管通畅,无狭窄或狭窄<50%;B级,血管狭窄>50%;O级,血管完全闭塞。本研究将A级及B级均计为桥血管通畅。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0软件处理数据。符合正态分布的

定量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间行 t 检验。非正态分布的定量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用Mann-Whiney U 检验。定量资料以 $n(\%)$ 描述,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher确切概率法。采用Kaplan-Meier生存分析曲线进行生存分析,应用Log rank法对累积发生率分布差异进行检验。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线对比

2组患者术前资料对比可以发现,性别、高血压、糖尿病等冠心病高危因素2组间差异无统计学意义(均 $P>0.05$),但是MICS-CABG组有心肌梗死史(47.28% vs 27.69%, $P=0.019$)的患者更多。此外,MICS-CABG组患者较HCR组患者冠状动脉病变更复杂,3支病变比例更高($P<0.001$)。结果见表1。

表1 MICS-CABG组与HCR组患者一般基线特征比较

Tab 1 Baseline characteristics of the patients between the MICS-CABG group and HCR group

Item	MICS-CABG group (n=58)	HCR group (n=65)	t/χ^2 value	P value
Gender (male)/n(%)	48 (82.76)	56 (86.15)	0.249	0.603
Age/year	67.2±7.1	67.0±12.9	0.105	0.917
BMI/(kg·m ⁻²)	25.2±3.1	25.1±2.3	0.205	0.838
Hypertension/n(%)	44 (75.86)	49 (75.38)	0.003	0.189
Diabetes/n(%)	18 (31.03)	17 (26.15)	0.359	0.549
History of smoking/n(%)	42 (72.41)	49 (75.38)	0.141	0.708
History of cerebrovascular disease/n(%)	21 (36.21)	22 (33.85)	0.075	0.784
COPD/n(%)	8 (13.79)	11 (16.92)	0.232	0.632
History of myocardial infarction/n(%)	28 (47.28)	18 (27.69)	5.537	0.019
History of PCI/n(%)	25 (43.10)	18 (27.69)	3.208	0.074
Creatinine/(μmol·L ⁻¹)	79.6±18.3	81.8±14.2	-0.760	0.449
LVDD/mm	49.8±4.6	51.6±5.8	-1.913	0.059
LVEF/%	63.2±5.8	61.7±7.1	1.287	0.201
Number of coronary artery lesions/n	2.7±0.5	2.6±0.4	1.249	0.215
2/n(%)	16 (27.58)	40 (61.54)	14.286	<0.001
3/n(%)	42 (72.42)	25 (38.46)	14.286	<0.001

2.2 围术期情况比较

2组患者的围术期资料显示,MICS-CABG组患者外科手术时间明显长于HCR组($P<0.001$),但MICS-CABG组血运重建冠状动脉数更多($P=0.002$)。MICS-CABG组患者术后呼吸机使用时间更长($P=0.001$),且术后早期出现术后呼吸衰竭发生率

高(32.76% vs 12.31%, $P=0.007$),但多数使用HFNC氧疗支持及激素治疗即可改善;2组各有1例因呼吸衰竭再次气管插管,最终均因继发肺部感染院内死亡。此外,MICS-CABG组患者术后24 h引流量更多($P<0.001$),但2组术中和术后输血患者比例差异无统计学意义(6.90% vs 1.54%, $P=0.145$)。2组

患者手术过程均未出现中转正中开胸、中转体外循环或植入IABP、使用ECMO等其他机械辅助治疗，且在ICU天数及住院天数差异均无统计学意义（均 $P>0.05$ ）。值得关注的是，2组患者术后脑卒中发生率均为0。结果见表2。

表2 MICS-CABG组与HCR组患者围术期情况比较

Tab 2 Perioperative conditions in the MICS-CABG group and HCR group

Item	MICS-CABG group (n=58)	HCR group (n=65)	t/z/ χ^2 value	P value
Operation time/min	270.4±72.5	156.8±31.6	11.72	<0.001
Blood transfusion/n(%)	4 (6.90)	1(1.54)	2.12	0.145
Number of coronary arteries in revascularization/n	2.9±0.6	2.6±0.4	3.21	0.002
Drainage volume within 24 h after operation/mL	320 (220, 450)	200 (100, 160)	4.89	<0.001
Ventilator supporting time after operation/h	8.0 (6.0, 16.5)	6.0 (3.0, 8.0)	3.25	0.001
Hospitalizaion in ICU/d	2.0 (1.0, 2.5)	2.0 (1.0, 2.0)	1.70	0.089
Total hospitalization/d	7 (6, 9)	6 (6, 9)	3.14	0.331
Conversion to sternotomy during operation/n(%)	0 (0)	0 (0)	—	—
Cardiopulmonary bypass during operation/n(%)	0 (0)	0 (0)	—	—
IABP during operation/n(%)	0 (0)	0 (0)	—	—
ECMO during operation/n(%)	0 (0)	0 (0)	—	—
Reoperation/n(%)	0 (0)	1 (1.54)	1.12	0.462
Postoperative complication/n(%)				
Myocardial infarction	0 (0)	0 (0)	—	—
Cerebrovascular complications	0 (0)	0 (0)	—	—
New-onset atrial fibrillation after operation	6 (1.34)	2 (3.08)	2.74	0.147
Respiratory failure after operation	19 (32.76)	8 (12.31)	7.34	0.007
Reintubation	1 (1.72)	1 (1.54)	1.12	1.000
HFNC	18 (31.03)	7 (10.77)	7.56	0.006
Pulmonary infection	2 (3.45)	1 (1.54)	2.29	0.601
Impaired wound healing	2 (3.45)	1 (1.54)	2.29	0.601
Death	1 (1.72)	1 (1.54)	1.12	1.000

2.3 桥血管通畅情况

MICS-CABG组共吻合170支血管桥，其中LIMA-LAD 57支，RIMA-LAD 1支，其余靶血管(DIA、LCX、PL、PDA、RCA)血管桥共计为112支。HCR组共吻合65支血管桥，其中1例为SVG-LAD，其余64例均为LIMA-LAD，术后共行PCI完成血运重建冠状动脉支数为90支。术后(12±3)个月评估患者桥血管及冠状动脉支架通畅情况，发现2组患者LAD桥血管通畅(A级+B级)情况差异无统计学意义(93.10% vs 96.92%， $P=0.601$)；而关于非LAD靶血管的通畅情况，虽然冠状动脉搭桥的旁路血管通畅情况略低于PCI术后的冠状动脉支架(91.96% vs 96.67%)，但两者差异亦无统计学意义($P=0.190$)。结果见表3。

2.4 MACCE事件随访

MICS-CABG组随访患者58例(1例院内死亡)，失访率为3.45%(2/58)，随访时长(30±22)个月，期间无死亡、心肌梗死、再次血运重建及脑血管意外发生。术后1例患者随访期间主诉有再发心绞痛症状，复查冠状动脉CTA提示桥血管通畅，余冠状动脉血管未见明显狭窄。MACCE累积发生率为0(0/58)。HCR组纳入随访患者65例(1例院内死亡)，失访率为1.54%(1/65)，随访时长(31±16)个月，期间主诉再发心绞痛患者3例。其中，1例复查冠状动脉造影后提示冠状动脉支架内再狭窄，予以经皮冠状动脉腔内成形术治疗；另2例复查冠状动脉造影提示LIMA桥血管通畅。余冠状动脉亦未见明显狭窄，余无死亡、心肌梗死及脑血管意外发生。MACCE累

表3 MICS-CABG组与HCR组患者术后1年靶血管通畅情况

Tab 3 One-year postoperative target vessel patency in the MICS-CABG group and HCR group

Grade	LAD				non-LAD			
	MICS-CABG group (n=58)	HCR group (n=65)	χ^2 value	P value	MICS-CABG group (n=112)	HCR group (n=90)	χ^2 value	P value
Grade A/n	50	61			94	83		
Grade B/n	4	2			9	4		
Grade O/n	4	2			9	3		
Grade A+Grade B/n(%)	54 (93.10)	63 (96.92)	0.38	0.601	103 (91.96)	87 (96.67)	1.31	0.190

积发生率为1.54% (1/65)。2组MACCE免除率分布的差异无统计学意义 ($P=0.325$, 图3)。

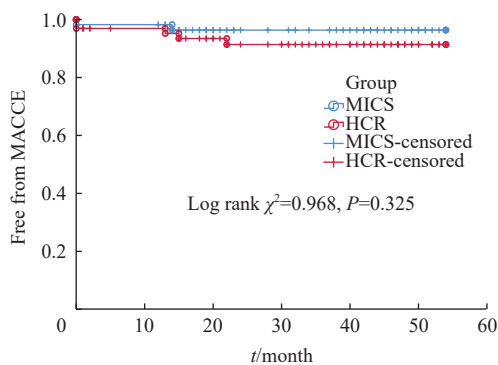


图3 2组患者MACCE免除率的Kaplan-Meier曲线
Fig 3 Kaplan-Meier curves for MACCE-free survival in the two groups

3 讨论

对于多支冠状动脉病变的冠心病的治疗, HCR 凭借其微创优势, 更易被患者接受。目前有些单位在胸腔镜和机器人辅助下可实现以更小的胸部手术切口 (仅5 cm, 甚至更低) 完成冠状动脉的血运重建。但是仍然有部分患者因其严重的糖尿病、弥漫的血管病变、多处的分叉病变等因素, 无法适应以PCI的方法完成非前降支病变血管的再血管化治疗。ESTEVEZ等^[9]的一项3支病变的队列研究中显示, 术后2年死亡率和MACCE发生率在HCR和CABG组中差异没有统计学意义, 但SYNTAX (SYnergy between PCI with TAXUS and Cardiac Surgery) 评分较高 (>32分) 的患者中, HCR组再次血运重建发生率高于CABG组。对于这些患者, 即便进行了HCR, 也有文献^[10-12]报道, 相比CABG完全再血管化治疗, HCR组远期靶血管再次血运重建的发生率更高, HCR技术仍需严格把握PCI指征。因此, 近年来, MICS-CABG术式在国内外的热度有增无减。该术式既具有

微创手术的特点, 又在理论上实现完全血运重建, 也增加了多支动脉搭桥的可行性。从本研究的结果看, MICS-CABG组的桥血管通畅情况与HCR组相比差异无统计学意义。虽然MICS-CABG组非前降支冠状动脉搭桥的旁路血管通畅率绝对值略低于HCR组非前降支PCI术后的冠状动脉支架通畅率, 但是再发心绞痛及再次血运重建情况仍少于HCR组。考虑该情况与冠状动脉搭桥术、PCI术的本质特征相关, 这也正是冠状动脉搭桥的优势所在。

HCR与传统CABG相比, 其最大的特点是实现升主动脉无接触 (aortic no-touch), 这样, 围术期脑卒中的发生率大大降低^[13-14]。本研究发现MICS-CABG组和HCR组的脑卒中发生率均为0, 可能原因如下: 本研究MICS-CABG患者SVG桥血管的近端吻合口虽然吻合于升主动脉, 但视术前CT评估结果而定, 如CT提示升主动脉钙化一律选择为正中开胸行CABG术, 这样, 有效控制了围术期脑卒中的发生率。但有其他中心选择将近端吻合于腋动脉或颈动脉的报道^[15], 该做法在保证安全的同时可以增加MICS-CABG应用范围。

虽然MICS-CABG手术有很多优势, 但是其切口小、操作空间狭窄、视野差, 对术者技术有一定要求。在本研究中, MICS-CABG组术后呼吸机使用时间显著长于HCR组, 且术后早期呼吸衰竭发生率更高; 虽然2组再次气管插管发生率均低且差异无统计学意义, 但是MICS-CABG组高流量吸氧及激素应用比例更高。分析其原因, 有以下3点: ①HCR组总体手术时间相对较短, 而MICS-CABG组手术时间长, 尤其单肺通气 (one-lung ventilation, OLV) 时间长。有文献提示, OLV 2 h可严重影响肺功能^[16]; OLV结束、双肺通气开始后, 萎陷的肺脏再次膨胀, 进而诱发缺血再灌注肺损伤, 炎症因子大量释放, 再次加重肺损伤^[17-18]。因此, 作者团队在开展MICS-CABG



手术数例即发现术后早期呼吸衰竭表现,改进术中 OLV 策略,从 OLV 开始即刻给予非通气侧肺持续的氧气通气,即无呼吸性气流通气 (apneic oxygen insufflation, AOI),在获取乳内动脉结束、悬吊心包后尽早开始恢复双肺通气缩短 OLV 时间,并在术后早期适量应用激素。②MICS-CABG 术中心脏压迫时间长,对肺血流影响较大。因此对于初学者可以适当扩大切口,合理运用心包牵引线和稳定器,在满足外科暴露的前提下最低程度压迫心脏。③MICS-CABG 手术创面大。术后应充分引流,减少心包积液、胸腔积血及肺不张问题,并在术后积极镇痛治疗,让患者尽早开始呼吸锻炼。因此,对于部分高龄、体弱患者,根据冠状动脉造影情况若能选择 HCR,可以大大降低手术难度,提高患者的手术安全性。

本研究初步证明了 MICS-CABG 和 HCR 这 2 种手术在围术期手术安全和近中期疗效方面无明显差异,但同时要考虑到患者是否适合行 HCR 及 PCI 治疗的时机,需要心内科与心外科团队共同制定方案。MICS-CABG 虽然技术门槛更高,但能在微创下完成多支动脉搭桥操作,保证良好的远期通畅率和更低的再次血运重建发生率。2 种技术各有利弊,相互补充。MICS-CABG 术中较细靶血管可选择二期 PCI,多支病变拟行 HCR 患者在 MIDCAB 术中 LIMA 获取困难可改为 MICS-CABG。同时掌握 2 种技术的医师可以针对患者病情做出更优化的选择和处理。

本研究的不足之处在于:这是一项单中心的回顾性研究,病例数较少,随访时间较短。本研究患者均为同一主刀医师操作,技术偏差较小。主刀医师在开展 MICS-CABG 术式前有丰富的非体外循环冠状动脉旁路移植术 (off-pump coronary artery bypass, OPCAB) 及 HCR 经验,因此 MICS-CABG 学习曲线更短。MICS-CABG 开展初期,所选患者心肺功能较好,患者选择有所偏倚,这可能也是 2 组患者随访期

间均无死亡、心肌梗死、脑血管意外等其他 MACCE 事件发生的原因。MICS-CABG 及 HCR 的临床疗效尚待更大规模、多中心以及长期的随访研究来进一步评估。

MICS-CABG 和 HCR 这 2 种微创冠状动脉血运重建方式,均可治疗多支冠状动脉病变,在近中期的临床观察中无明显优劣差异。应根据患者本身特点及疾病的特点择优选择。

利益冲突声明/Conflict of Interests

所有作者声明不存在利益冲突。

All authors disclose no relevant conflict of interests.

伦理批准和知情同意/Ethics Approval and Patient Consent

本研究涉及的所有实验均已通过上海交通大学医学院附属瑞金医院伦理委员会的审核批准[文件号 (2025) 临伦审第 (202) 号]。受试对象或其亲属已经签署知情同意书。

All experimental protocols in this study were reviewed and approved by the Medical Ethics Committee of Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine (Approval letter No. 2025-202). Consent letters have been signed by the research participants or their relatives.

作者贡献/Authors' Contributions

林子博、裴佳培、孙延军、姚皓弋、赵强参与研究设计;林子博、姚皓弋、任挺参与数据整理和统计分析;林子博、裴佳培、赵强参与论文撰写与论文修改。所有作者均阅读并同意最终稿件的提交。

The study was designed by LIN Zibo, QIU Jiawei, SUN Yanjun, YAO Haoyi, and ZHAO Qiang. Data collection and statistic analysis was performed by LIN Zibo, YAO Haoyi, and RENG Ting. The manuscript was drafted and revised by LIN Zibo, QIU Jiawei, and ZHAO Qiang. All authors have read the final version of paper and consented to its submission.

• Received: 2025-05-16

• Accepted: 2025-07-28

• Published online: 2025-12-24

参 · 考 · 文 · 献

- [1] DUGGAN J P, PETERS A S, TRACHIOTIS G D, et al. Epidemiology of coronary artery disease[J]. Surg Clin North Am, 2022, 102(3): 499-516.
- [2] LAWTON J S, TAMIS-HOLLAND J E, BANGALORE S, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI guideline for coronary artery revascularization: executive summary: a report of the American college of cardiology/American heart association joint committee on clinical practice guidelines[J]. Circulation, 2022, 145(3): e4-e17.
- [3] MONTRIEF T, KOYFMAN A, LONG B. Coronary artery bypass graft surgery complications: a review for emergency clinicians[J]. Am J Emerg Med, 2018, 36(12): 2289-2297.
- [4] SABIK J F, LYTLE B W, BLACKSTONE E H, et al. Comparison of saphenous vein and internal thoracic artery graft patency by coronary system[J]. Ann Thorac Surg, 2005, 79(2): 544-551.
- [5] LINDHOLT J S, SOGAARD R, RASMUSSEN L M, et al. Five-year outcomes of the Danish cardiovascular screening (DANCAVAS) trial[J].

- N Engl J Med, 2022, 387(15): 1385-1394.
- [6] MILLER R J H, BONOW R O, GRANSAR H, et al. Percutaneous or surgical revascularization is associated with survival benefit in stable coronary artery disease[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2020, 21(9): 961-970.
- [7] NOLAN S, FILION K B, ATALLAH R, et al. Hybrid coronary revascularization vs complete coronary artery bypass grafting for multivessel coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis[J]. J Invasive Cardiol, 2018, 30(12): E131-E149.
- [8] FITZGIBBON G M, LEACH A J, KEON W J, et al. Coronary bypass graft fate. Angiographic study of 1 179 vein grafts early, one year, and five years after operation[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 1986, 91(5): 773-778.
- [9] ESTEVES V, OLIVEIRA M A P, FEITOSA F S, 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, 2021, 97(2): 259-264.
- [10] PERERA D, CLAYTON T, O'KANE P D, et al. Percutaneous revascularization for ischemic left ventricular dysfunction[J]. N Engl J Med, 2022, 387(15): 1351-1360.
- [11] SABATINE M S, BERGMARK B A, MURPHY S A, et al. Percutaneous coronary intervention with drug-eluting stents versus coronary artery bypass grafting in left main coronary artery disease: an individual patient data meta-analysis[J]. Lancet, 2021, 398(10318): 2247-2257.
- [12] SERRUYS P W, ONO M, GARG S, et al. Percutaneous coronary revascularization: JACC historical breakthroughs in perspective[J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 78(4): 384-407.
- [13] ALBERT A, ENNKER J, HEGAZY Y, et al. Implementation of the aortic no-touch technique to reduce stroke after off-pump coronary surgery[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2018, 156(2): 544-554.e4.
- [14] MOSS E, PUSKAS J D, THOURANI V H, et al. Avoiding aortic clamping during coronary artery bypass grafting reduces postoperative stroke[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2015, 149(1): 175-180.
- [15] 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): 363-364.
- GONG Y C, LING Y P, ZHANG L F, et al. Clinical experience of minimal invasive coronary surgery-coronary artery bypass grafting: a series of 244 cases[J]. Chinese Journal of Surgery, 2020 58(5): 363-364.
- [16] ZHANG Y X, YAN W P, FAN Z Y, et al. Preemptive one lung ventilation enhances lung collapse during thoracoscopic surgery: a randomized controlled trial[J]. Thorac Cancer, 2019, 10(6): 1448-1452.
- [17] 周俊辉, 王鹏浩, 奚高原, 等. 非通气侧肺持续中低流量给氧在老年患者胸腔镜肺癌根治术中的应用效果及安全性观察[J]. 山东医药, 2022, 62(11): 33-37.
- ZHOU J H, WANG P H, XI G Y, et al. Application effect and safety observation of continuous medium and low flow oxygen supply to non-ventilated lung in elderly patients with thoracoscopic radical resection of lung cancer[J]. Shandong Medical Journal, 2022, 62(11): 33-37.
- [18] 宋正杰, 林栓同, 程静林, 等. 单肺通气的肺损伤机制及其保护性策略研究[J]. 实用临床医药杂志, 2021, 25(2): 101-105, 111.
- SONG Z J, LIN S T, CHENG J L, et al. Study on lung injury mechanism of one-lung ventilation and its protective strategy[J]. Journal of Clinical Medicine in Practice, 2021, 25(2): 101-105, 111.

[本文编辑] 崔黎明

学术快讯

上海交通大学公共卫生学院栾洋团队线虫研究取得新进展

2025年10月15日,上海交通大学公共卫生学院栾洋研究员团队在环境科学领域权威期刊 *Environmental Pollution* 上发表题为“*High-throughput neurotoxicity study of neonicotinoids in C. elegans: oxidative stress and serotonergic neuronal damage as key mechanisms*”的研究论文。该研究利用团队自主研发的高通量毒性筛选技术,系统揭示了多种常用新烟碱类农药可通过诱导氧化应激与损伤血清素能神经元,对非靶标生物产生显著的神经毒性。

该研究不仅验证了高通量线虫平台在神经毒理学研究中的高效性与可靠性,还明确了多种新烟碱类农药的神经毒性潜力及作用机制差异,为优先管控高毒品种提供了科学依据。该研究揭示了氧化应激与血清素能神经元损伤是此类农药神经毒性的共同通路,为后续毒理机制的深入研究及监管政策的制定提供了理论依据。

