

机器人对比腹腔镜右半结肠切除结局单中心回顾性研究

林 森

青岛大学附属医院胃肠外科, 山东 青岛

收稿日期: 2025年5月5日; 录用日期: 2025年5月28日; 发布日期: 2025年6月6日

摘 要

目的: 本研究旨在通过对比机器人辅助与腹腔镜右半结肠切除术的临床疗效, 探讨机器人手术在围术期管理、术后恢复及卫生经济学方面的综合价值。方法: 回顾性纳入2013年3月至2024年10月青岛大学附属医院胃肠外科接受右半结肠癌根治术的522例患者, 其中机器人组95例, 腹腔镜组427例。所有患者均遵循加速康复外科(ERAS)管理路径及全结肠系膜切除(CME)原则。通过倾向性评分匹配法(PSM)消除基线差异后, 比较两组手术时间、出血量、淋巴结清扫数目、术后恢复指标及医疗费用。结果: 匹配后(机器人组83例, 腹腔镜组272例), 患者在手术时间(机器人: 176.18 ± 49.33 min vs 腹腔镜: 213.71 ± 56.40 min, $P < 0.001$)、术中出血量(机器人: 30 mL vs 腹腔镜: 50 mL, $P < 0.001$)方面, 机器人组显著优于腹腔镜组, 且机器人组淋巴结清扫数目更多(24.77 ± 9.74 枚 vs 21.89 ± 9.66 枚, $P = 0.018$)。机器人组患者术后首次排气(2.34天 vs 3.02天)及排便时间(3.28天 vs 4.13天)均显著缩短($P < 0.001$)。此外, 机器人组患者住院费用较高(78,716元 vs 63,099元, $P < 0.001$), 但术后住院时间略短(7 [6~7]天 vs 7 [6~8]天, $P = 0.030$)。两组并发症发生率(18.1% vs 22.1%)相似。结论: 机器人右半结肠切除术通过精准操作提升手术效率, 促进术后胃肠功能恢复, 但需权衡其经济成本。

关键词

机器人, 腹腔镜, 右半结肠癌, 临床结局

Robotic versus Laparoscopic Right Hemicolectomy: A Single-Center Retrospective Study on Surgical Outcomes

Sen Lin

Department of Gastrointestinal Surgery, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

文章引用: 林森. 机器人对比腹腔镜右半结肠切除结局单中心回顾性研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(6): 257-268.
DOI: 10.12677/acm.2025.1561723

Abstract

Objective: This study aims to compare the clinical efficacy between robotic-assisted and laparoscopic right hemicolectomy, evaluating the comprehensive value of robotic surgery in perioperative management, postoperative recovery, and health economics. **Methods:** This retrospective study enrolled 522 patients who underwent radical right hemicolectomy for colon cancer at the Department of Gastrointestinal Surgery, Affiliated Hospital of Qingdao University, between March 2013 and October 2024. The cohort comprised 95 robotic-assisted (RRC) and 427 laparoscopic (LRC) cases. All procedures followed enhanced recovery after surgery (ERAS) protocols and complete mesocolic excision (CME) principles. After propensity score matching (PSM) to balance baseline characteristics, inter-group comparisons were performed for operative time, intraoperative blood loss, lymph node yield, postoperative recovery parameters, and healthcare costs. **Results:** After matching (83 robotic cases vs. 272 laparoscopic cases), the robotic group showed significant advantages in operative time (robotic: 176.18 ± 49.33 min vs. laparoscopic: 213.71 ± 56.40 min, $P < 0.001$) and intraoperative blood loss (robotic: 30 mL vs. laparoscopic: 50 mL, $P < 0.001$). Additionally, the robotic group had a higher lymph node yield (24.77 ± 9.74 vs. 21.89 ± 9.66 , $P = 0.018$). Postoperative recovery was faster in the robotic group, with shorter time to first flatus (2.34 days vs. 3.02 days, $P < 0.001$) and first defecation (3.28 days vs. 4.13 days, $P < 0.001$). Although hospitalization costs were higher in the robotic group (¥78,716 vs. ¥63,099, $P < 0.001$), postoperative hospital stay was slightly reduced (7 [6~7] days vs. 7 [6~8] days, $P = 0.030$). The complication rates were similar between the two groups (18.1% vs. 22.1%). **Conclusion:** Robotic right hemicolectomy improves surgical efficiency through precise manipulation and promotes postoperative gastrointestinal function recovery, though its economic costs require careful consideration.

Keywords

Robotic, Laparoscopic, Right-Sided Colon Cancer, Clinical Outcomes

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 背景

结直肠癌(Colorectal Cancer, CRC)是全球第三大常见恶性肿瘤,其中右半结肠癌(Right-Sided Colon Cancer, RSCC)因胚胎起源与左半结肠不同,在分子特征和临床预后方面存在显著差异,约占全部CRC病例的30%~40% [1]。尽管腹腔镜右半结肠切除术(Laparoscopic Right Hemicolectomy, LRH)已被NCCN指南推荐为标准术式,但其二维视野和器械自由度限制影响了复杂解剖区域的手术效果,中转开腹率仍达5%~8%。相比之下,机器人手术系统凭借3D高清视野、7自由度器械和更佳的人机工程学优势,在血管裸化、神经保护等精细操作中展现出潜力,但其高昂成本和长期疗效证据不足制约了临床推广[2] [3]。

目前关于机器人对比腹腔镜右半结肠切除术的高质量研究匮乏,特别是缺乏基于严格匹配的围术期结局和卫生经济学分析。现有研究多关注短期手术指标,对患者报告结局(如排便功能、生活质量)和真实世界长期预后数据关注不足。本研究通过严格的倾向性评分匹配,系统比较两种术式在手术质量、术后恢复和医疗成本等方面的差异,为临床决策提供循证依据。

2. 研究对象与方法

2.1. 研究对象的选择

2.1.1. 病例的来源

本研究回顾性的纳入了 2013 年 3 月至 2024 年 10 月在青岛大学附属医院胃肠外科接受机器人或腹腔镜辅助右半结肠切除术的病例。

2.1.2. 纳入排除标准

纳入标准：(1) 临床及病理学资料完整；(2) 术后病理学检查结果证实肿瘤为位于盲肠、升结肠、肝曲或横结肠近端的腺癌；(3) 患者心肺功能良好，无手术禁忌，可耐受腹腔镜或机器人手术；(4) 术前影像学评估肿瘤术前 cTNM 分期为 I~IVA 期，且未见广泛腹腔转移。

排除标准：(1) 术前行新辅助治疗；(2) 既往 5 年内罹患其他部位恶性肿瘤；(3) 合并神经、精神类疾病，不能正确表达本人意愿；(4) 全身状况较差，不能耐受全身麻醉；(5) 身体质量指数(Body Mass Index, BMI) > 40 Kg/m² 的重度肥胖者；(6) 腹腔广泛严重粘连等导致不能进行穿刺建立气腹；(7) 肿瘤穿孔合并急性腹膜炎；(8) 肠梗阻伴有明显腹胀。

2.1.3. 知情同意和伦理审查

调查员在数据收集之前经过严格的统一培训，所有病例均被当面告知并签署了知情同意书。本研究符合《赫尔辛基宣言》的要求，数据使用通过青岛大学附属医院伦理委员会审核，伦理号为 QDFY WZLL 25796。

2.2. 围手术期管理方案

本研究基于加速康复外科(Enhanced Recovery After Surgery, ERAS)理论框架，构建系统化围手术期管理策略，具体实施路径如下[4] [5]：

术前评估及宣教：不常规准备胃肠道，术前不常规进行导泻处理；手术前 1 天不禁食，当天术前口服碳水化合物；无术前麻醉诱导用药；非必要不常规放置鼻胃管；预防性应用抗生素；麻醉选择：全身麻醉联合硬膜外麻醉；术中使用保温毯、热风机进行保温；采用辅助小切口取标本，进行体外吻合；以目标为导向的液体管理，防止液体过载；尽量不留置腹腔引流管，如放置则尽早拔除；术后尽早拔除导尿管；术后多模式镇痛，应用静脉镇痛、硬膜外镇痛复合麻醉；早期下床活动、预防血栓 - 栓塞，指导鼓励患者下床活动，按摩双下肢肌肉，预防血栓形成；早期经口进食，术后清醒后可饮用清水，24 小时后可饮用肠内营养制剂，排气后可酌情增加固体食物的摄入；动态评估患者指标，术前术后检测患者血液学指标；出院标准评估，符合出院标准的患者应尽早出院；加强出院后患者随访及管理。

本方案通过多维度干预措施，形成“评估 - 干预 - 监测 - 随访”的闭环管理路径，旨在促进患者术后快速康复，改善临床结局。实施过程中需根据个体差异进行动态调整，确保医疗安全性与措施有效性的统一。

2.3. 手术方案

2.3.1. 手术原则

所有病例均严格遵循全结肠系膜切除(Complete Mesocolic Excision, CME)原则实施手术。术中建立二氧化碳气腹(压力 12~14 mmHg)，系统探查腹腔后留取腹腔冲洗液行细胞学检测，排除隐匿性转移。

2.3.2. 主刀资质与质量控制

研究团队由 8 名副高级以上职称医师组成，均具备 50 例以上腹腔镜右半结肠癌根治术操作经验，其

中 1 位医师参与了腹腔镜及机器人 2 种不同的手术方式。为消除术者技术水平差异对研究结果的干扰，本中心通过以下措施实现技术同质化：

(1) 手术视频回溯评估：采用标准化视频评估工具(Observational Clinical Human Reliability Analysis, OCHRA)对随机抽取的 5 例/术者完整手术录像进行盲法评审，重点考核 CME 完整性、血管裸化程度及无瘤操作规范性；

(2) 技术准入标准：所有术者均需通过 CME 关键步骤(包括胃肠干解剖、中央血管结扎及 Toldt 间隙分离)考核，未达标者予以剔除；

(3) 多维度质控：设立独立手术督导组，定期进行术中实时质控及术后病理标本复核。

2.3.3. 手术步骤

采用中央入路，由内向外、从下向上顺序解剖，提起右结肠系膜，沿肠系膜上血管投影处打开结肠系膜，解剖回结肠动、静脉，右结肠动、静脉，结肠中动静脉或结肠中动静脉右支。仔细解剖显露胃肠干(Helen 干)，离断右结肠静脉、副右结肠静脉。若肿瘤位于结肠肝曲和横结肠近肝曲需行扩大右半结肠切除术时，应离断胃网膜右动静脉。同时清扫血管根部淋巴结。从内向外在 Toldt's 间隙将右半结肠完全游离，游离结肠肝曲时，则需打开胃结肠韧带向右侧游离出结肠肝曲。自右侧髂窝处向上切开侧后腹膜，汇合至结肠肝曲游离部位。移除机器人操作臂，经右侧腹直肌取 5~10 cm 辅助切口，腹腔镜组也可延长右上腹辅助 Trocar 孔作辅助切口，提出游离肠管，根据肿瘤所在部位切除适宜长度的肠段，采用切割缝合器行回肠与横结肠侧侧吻合。冲洗腹腔，可于右结肠旁沟放置引流管 1 根，关闭切口。手术过程采用完整未剪辑的手术录像进行质控。

2.4. 术后管理

患者术后均短期预防性应用抗生素预防感染(通常不超过 2 天)，术后清醒即可少量饮水，行肠外营养支持，排气后逐渐进食半流质或口服肠内营养制剂补充。根据患者病理学及分子病理检查结果，推荐高危 II 期、III 期及以上患者采取XELOX 方案为主的化疗。

2.5. 数据收集

2.5.1. 基本特征

包括年龄、性别、生活习惯(吸烟、饮酒)、身高(cm)、体重(Kg)、BMI、既往史等。身高的测量使用标准钢卷尺，体重的测量使用校准后的电子体重秤，所有的测量均遵循严格的标准，所有数据均测 3 次后取均值。

2.5.2. 围手术期指标

包括术中是否转开腹、手术时间、术中出血量、是否需要输血、术后住院时间、术后排气时间、术后排便时间、术后并发症及住院期间花费等。

2.5.3. 病理学检查指标

包括肿瘤大小、分化程度、淋巴结清扫数目及状态等。

2.6. 统计学处理

对于正态分布或近似正态分布的计量资料以均数(Mean) $\pm$ 标准差(Standard Deviation, SD)表示数据的平均水平和离散水平，偏态分布的计量资料则以中位数(Median, M)和四分位数间距(Interquartile Range, IQR)表示。正态分布数据的组间比较采用 t 检验，偏态分布数据则采用 Mann-Whitney U 检验。分类资料用例和百分比表示，组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率检验；等级资料用例和百分比表示，组间比

较采用 *Mann-Whitney U* 检验，所有检验均为双侧检验，以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

采用倾向性评分匹配法(*Propensity Score Matching, PSM*)对本研究中机器人组和腹腔镜组患者进行匹配。其中以患者年龄、性别、身高、体重、BMI、分化程度、大体分型等变量为协变量，以不同手术方式为因变量，采用 R 语言将机器人组与腹腔镜组以 1:4 的比例，并采用最近邻匹配法进行匹配，设定卡钳值为 0.2。

3. 结果

3.1. 研究对象的基本特征

2013 年 3 月至 2024 年 10 月，青岛大学附属医院胃肠外科共收治接受机器人或腹腔镜辅助右半结肠切除术的病例 630 例，包括 115 例接受机器人手术患者和 515 例接受腹腔镜手术患者。经过一系列的纳入排除，共排除了 108 名患者(具体排除原因见图 1)，最终纳入 522 名患者，其中 95 例接受机器人手术患者，占比 18.20%，427 例接受腹腔镜手术患者，占比 81.80%。

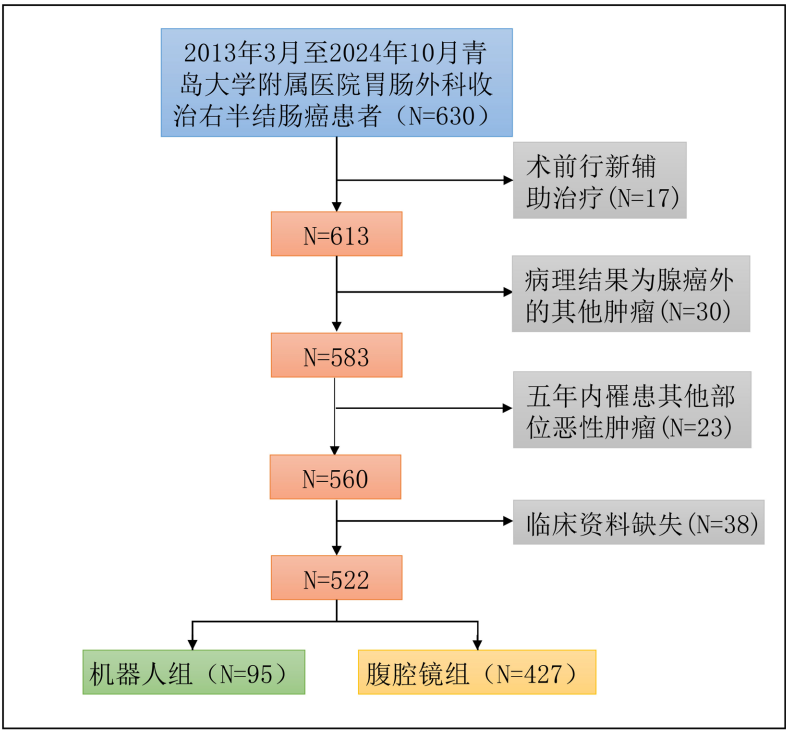


Figure 1. Flow diagram of patient inclusion and exclusion
图 1. 患者的纳入排除流程图

所有患者的平均年龄为 60.82 ± 12.44 岁，其中有 230 (44.1%) 患者为老年人；男性患者比例要高于女性 (55% vs 45%)。分别有 29.7% (N = 155) 的患者和 24.5% (N = 128) 的患者存在吸烟史和饮酒史。所有患者的平均身高为 165.15 ± 8.72 cm，平均体重为 66.76 ± 11.67 Kg，平均 BMI 为 24.36 ± 3.47 Kg/m²，并且超重及肥胖患者占比 54.8% (N = 286)。在 ASA 分级上，超过一半患者 (57.3%, N = 299) 为 II 级，剩余 42.7% 为 III 级。以 3 为截点对 CCI 进行划分，其中 CCI < 3 的患者占比超过 90% (90.2%, N = 471)。在肿瘤分化程度方面，大部分患者为中分化 (72.2%, N = 377)，其次表现为粘液腺癌 (16.1%, N = 84) 和低分化 (9.8%, N = 51)。在 pTNM 分期上，II 期占比最高 (46.7%)，其次为 III 期和 IV 期，分别占比 23.2% 和 19.3%。将肿瘤

的大体类型分为溃疡型和非溃疡型，结果显示有 380 例患者的肿瘤大体类型表现为溃疡型，非溃疡型为 142 例。并且 43.1% (N = 225)患者可发生神经管侵犯。对机器人组和腹腔镜组患者进行上述特征的比较，结果显示除分化类型外，其余特征在两组间是均衡可比的，机器人组患者中分化的比例要高于腹腔镜组患者(80.0% vs 70.5%, $P = 0.023$)。详细结果见表 1。

Table 1. Baseline data comparison of robotic vs. laparoscopic right hemicolectomy patients
表 1. 机器人组和腹腔镜组右半结肠癌患者基线资料比较

	合计(N = 522)	机器人组(N = 95)	腹腔镜组(N = 427)	<i>P</i>	统计量
年龄(岁) ^a	60.82 ± 12.44	62.37 ± 11.97	60.47 ± 12.53	0.179	$t = -1.346$
老年分组(n, %) ^b				0.240	$\chi^2 = 1.380$
老年组(≥65 岁)	230 (44.1%)	47 (49.5%)	183 (42.9%)		
非老年组(<65 岁)	292 (55.9%)	48 (50.5%)	244 (57.1%)		
性别(n, %) ^b				0.335	$\chi^2 = 0.931$
男	287 (55.0%)	48 (50.5%)	239 (56.0%)		
女	235 (45.0%)	47 (49.5%)	188 (44.0%)		
吸烟史(n, %) ^b				0.844	$\chi^2 = 0.039$
是	155 (29.7%)	29 (30.5%)	126 (29.5%)		
否	367 (70.3%)	66 (69.5%)	301 (70.5%)		
饮酒史(n, %) ^b				0.215	$\chi^2 = 1.539$
是	128 (24.5%)	28 (29.5%)	100 (23.4%)		
否	394 (75.5%)	67 (70.5%)	327 (76.6%)		
身高(cm) ^a	165.15 ± 8.72	165.28 ± 9.63	165.12 ± 8.52	0.872	$t = -0.162$
体重(Kg) ^a	66.76 ± 11.67	67.30 ± 11.98	66.64 ± 11.60	0.621	$t = -0.495$
BMI (Kg/m ²) ^a	24.36 ± 3.47	24.50 ± 2.93	24.37 ± 3.39	0.719	$t = -0.360$
超重与肥胖(n, %) ^b				0.452	$\chi^2 = 0.501$
BMI < 24	236 (45.2%)	55 (57.9%)	231 (54.1%)		
BMI ≥ 24	286 (54.8%)	40 (42.1%)	196 (45.9%)		
ASA 分级(n, %) ^b				0.105	$\chi^2 = 0.745$
II级	299 (57.3%)	53 (55.8%)	246 (57.6%)		
III级	233 (42.7%)	42 (44.2%)	181 (42.4%)		
CCI (n, %) ^b				0.012	$\chi^2 = 0.914$
<3	471 (90.2%)	86 (90.5%)	385 (90.2%)		
≥3	51 (9.8%)	9 (9.5%)	42 (9.8%)		
分化类型(n, %) ^c				0.023	$Z = -2.274$
高分化	9 (1.7%)	3 (3.2%)	6 (1.4%)		
中分化	377 (72.2%)	76 (80.0%)	301 (70.5%)		
低分化	51 (9.8%)	4 (4.2%)	47 (11.0%)		
粘液腺癌	84 (16.1%)	12 (12.6%)	72 (16.9%)		
未分化	1 (0.2%)	0 (0.0%)	1 (0.2%)		

续表

pTNM 分期(n, %) ^c				0.164	Z = -1.391
I	56 (10.7%)	13 (13.7%)	43 (10.1%)		
II	244 (46.7%)	32 (33.7%)	212 (49.6%)		
III	121 (23.2%)	28 (29.5%)	93 (21.8%)		
IV	101 (19.3%)	22 (23.2%)	79 (18.5%)		
大体类型(n, %) ^b				0.768	$\chi^2 = 0.087$
溃疡型	380 (72.8%)	68 (71.6%)	312 (73.1%)		
非溃疡型	142 (27.2%)	27 (28.4%)	115 (26.9%)		
神经脉管侵犯(n, %) ^b				0.991	$\chi^2 < 0.001$
有	225 (43.1%)	41 (43.2%)	184 (43.1%)		
无	297 (56.9%)	54 (56.8%)	243 (56.9%)		

所有定量数据均以平均值 ± 标准差的形式进行表示。加粗代表差异具有统计学意义。^a：组间比较采用 T 检验；^b：组间比较采用 χ^2 检验；^c：组间比较采用 *Mann-Whitney U* 检验。BMI：体质指数；ASA 分级：美国麻醉医师协会分级(American Society of Anesthesiologists grade)；CCI：Charlson 合并症指数(Charlson Comorbidity Index)。

在此基础上，我们将机器人组与腹腔镜组以 1:4 的比例进行 PSM 匹配，最终有 355 位患者完成了匹配，其中以 1:1 比例匹配的患者有 6 对，共 12 人；以 1:2 比例匹配的患者有 17 对，共 51 人；以 1:3 比例匹配的患者有 8 对，共 32 人；以 1:4 比例匹配的患者有 52 对，共 260 人，详细结果见图 2。355 名患者包括 83 名机器人组患者和 272 名腹腔镜组患者，两组患者所有特征均表现为均衡可比。组间比较的详细结果见表 2。

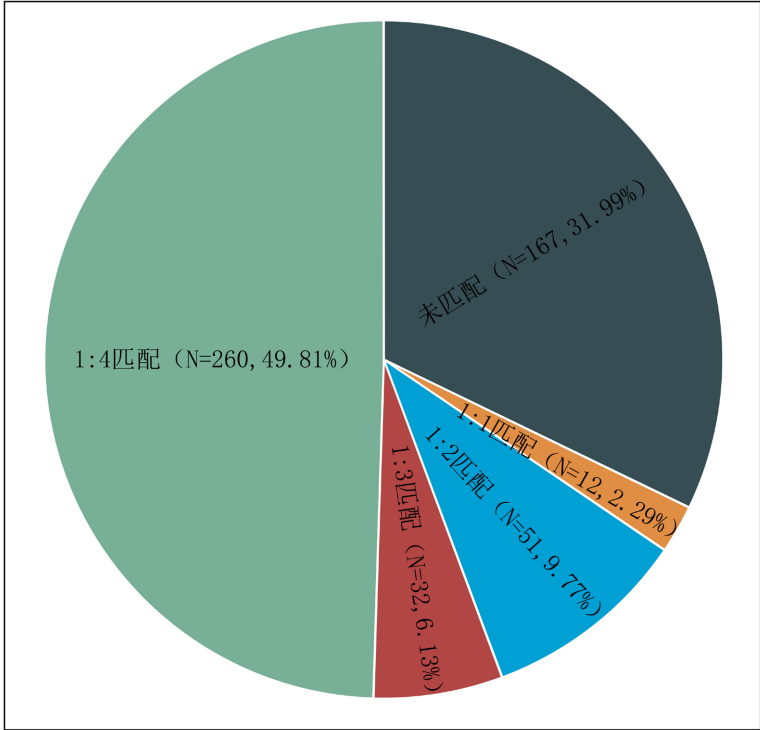


Figure 2. Matching status of 522 patients via PSM
图 2. 522 名患者 PSM 匹配情况

Table 2. Baseline data comparison of robotic vs. laparoscopic right hemicolectomy patients after PSM
表 2. 倾向性评分匹配后机器人组和腹腔镜组右半结肠癌患者基线资料比较

	合计(N = 355)	机器人组(N = 83)	腹腔镜组(N = 272)	P	统计量
年龄(岁) ^a	61.69 ± 11.90	62.37 ± 11.78	61.47 ± 11.95	0.547	$t = -0.602$
老年分组(n, %) ^b				0.582	$\chi^2 = 0.303$
老年组(≥65 岁)	166 (46.8%)	41 (49.4%)	125 (46.0%)		
非老年组(<65 岁)	189 (53.2%)	42 (50.6%)	147 (54.0%)		
性别(n, %) ^b				0.877	$\chi^2 = 0.024$
男	178 (50.1%)	41 (49.4%)	137 (50.4%)		
女	177 (49.9%)	42 (50.6%)	135 (49.6%)		
吸烟史(n, %) ^b				0.460	$\chi^2 = 0.547$
是	104 (29.3%)	27 (32.5%)	77 (28.3%)		
否	251 (70.7%)	56 (67.5%)	195 (71.7%)		
饮酒史(n, %) ^b				0.174	$\chi^2 = 1.845$
是	87 (24.5%)	25 (30.1%)	62 (22.8%)		
否	268 (75.5%)	58 (69.9%)	210 (77.2%)		
身高(cm) ^a	165.10 ± 8.68	165.27 ± 9.08	165.05 ± 8.57	0.845	$t = -0.196$
体重(Kg) ^a	67.04 ± 12.24	67.34 ± 11.69	66.95 ± 12.42	0.800	$t = -0.253$
BMI (Kg/m ²) ^a	24.50 ± 3.42	24.55 ± 3.04	24.48 ± 3.54	0.866	$t = -0.169$
超重与肥胖(n, %) ^b				0.928	$\chi^2 = 0.008$
BMI < 24	164 (45.4%)	38 (45.8%)	123 (45.2%)		
BMI ≥ 24	194 (54.6%)	45 (54.2%)	149 (54.8%)		
ASA 分级(n, %) ^b				0.128	$\chi^2 = 0.721$
II级	190 (53.5%)	43 (51.8%)	147 (54.0%)		
III级	165 (46.5%)	40 (48.2%)	125 (46.0%)		
CCI (n, %) ^b				0.059	$\chi^2 = 0.809$
<3	319 (89.9%)	74 (89.2%)	245 (90.1%)		
≥3	36 (10.1%)	9 (10.8%)	27 (9.9%)		
分化类型(n, %) ^c				0.320	$Z = -0.994$
高分化	7 (2.0%)	3 (3.6%)	4 (1.5%)		
中分化	278 (78.3%)	66 (79.5%)	212 (77.9%)		
低分化	23 (6.5%)	4 (4.8%)	19 (7.0%)		
粘液腺癌	47 (13.2%)	10 (12.0%)	37 (13.6%)		
未分化	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)		
pTNM 分期(n, %) ^c				0.773	$Z = -0.289$
I	43 (12.1%)	11 (13.3%)	32 (11.8%)		
II	147 (41.4%)	32 (38.6%)	115 (42.3%)		
III	83 (23.4%)	19 (22.9%)	64 (23.5%)		
IV	82 (23.1%)	21 (25.3%)	61 (22.4%)		

续表

大体类型(n, %) ^b			0.768	$\chi^2 = 0.087$
溃疡型	263 (74.1%)	62 (74.7%)	201 (73.9%)	
非溃疡型	92 (25.9%)	21 (25.3%)	71 (26.1%)	
神经管侵犯(n, %) ^b			0.721	$\chi^2 = 0.128$
有	165 (46.5%)	40 (48.2%)	125 (46.0%)	
无	190 (53.5%)	43 (51.8%)	147 (54.0%)	

所有定量数据均以平均值 ± 标准差的形式进行表示。加粗代表差异具有统计学意义。^a: 组间比较采用 T 检验; ^b: 组间比较采用 χ^2 检验; ^c: 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。BMI: 体质指数; ASA 分级: 美国麻醉医师协会分级(American Society of Anesthesiologists grade); CCI: Charlson 合并症指数(Charlson Comorbidity Index)。

3.2. 匹配后两组手术情况比较

机器人组 83 名患者的平均总手术时长为 176.18 ± 49.33 min, 显著低于腹腔镜组患者的平均总手术时长(213.71 ± 56.40 min, $P < 0.001$)。其中在手术装机时间上, 机器人组要略长于腹腔镜组(42.28 min vs 36.06 min, $P < 0.001$), 在操作时间上, 机器人组要显著短于腹腔镜组(75.76 min vs 116.68 min, $P < 0.001$), 而在开腹时间上, 两组间无显著差异。在手术出血量方面, 机器人组患者平均出血 30 mL, 小于腹腔镜组患者(50 mL, $P < 0.001$), 此外机器人组在淋巴结清扫总数上, 与腹腔镜组患者相比, 机器人组患者也表现一定的优势(24.77 枚 vs 21.89 枚, $P = 0.018$), 并且需要术中输血的患者比例, 机器人也显著优于腹腔镜组(2.4% vs 13.2%, $P = 0.010$)。与腹腔镜组患者相比, 机器人组患者在辅助切口长度(7.85 cm vs 8.51 cm, $P = 0.079$)、根治度等方面是可比的。具体结果详见表 3。

Table 3. Surgical outcomes of robotic vs. laparoscopic right hemicolectomy patients after PSM
表 3. 匹配后机器人组和腹腔镜组右半结肠癌患者手术情况

	合计(N = 355)	机器人组(N = 83)	腹腔镜组(N = 272)	P	统计量
总手术时长(min) ^a	204.89 ± 57.02	176.18 ± 49.33	213.71 ± 56.40	<0.001	$t = 5.454$
装机时间(min) ^a	37.52 ± 10.80	42.28 ± 11.84	36.06 ± 10.05	<0.001	$t = -4.728$
操作时间(min) ^a	107.11 ± 34.84	75.76 ± 21.21	116.68 ± 32.50	<0.001	$t = 13.414$
开腹时间(min) ^a	59.10 ± 16.47	58.14 ± 16.28	59.40 ± 16.55	0.543	$t = 0.609$
出血量(mL) ^b	30 (20~50)	30 (20~50)	50 (20~50)	<0.001	$Z = -3.758$
辅助切口长度(cm) ^a	8.32 ± 3.56	7.85 ± 2.22	8.51 ± 3.96	0.079	$t = 1.763$
淋巴结清扫总数(枚) ^a	22.56 ± 9.74	24.77 ± 9.74	21.89 ± 9.66	0.018	$t = -2.374$
术中输血(例, %) ^c	38 (10.7%)	2 (2.4%)	36 (13.2%)	0.010	$\chi^2 = 6.706$
根治度(例, %) ^c				0.379	$\chi^2 = 0.776$
R0	345 (97.2%)	79 (95.2%)	266 (97.8%)		
R1 + R2	10 (2.8%)	4 (4.8%)	6 (2.2%)		

除出血量外的其他定量数据均以平均值 ± 标准差的形式进行表示, 出血量采用中位数(四分位数间距)表示。加粗代表差异具有统计学意义。^a: 组间比较采用 T 检验; ^b: 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验; ^c: 组间比较采用 χ^2 检验。

3.3. 匹配后两组住院及术后恢复情况比较

机器人组 83 名患者的平均总住院天数为 12 天, 与腹腔镜组的平均总住院天数为 11 天, 两者均衡可比($P = 0.875$)。在术后住院天数上, 机器人组患者住院天数要略小于腹腔镜组患者[7 (6~7) vs 7 (6~8)天, $P = 0.030$]。然而在住院费用(78,716 元 vs 63,099 元, $P < 0.001$)以及手术费用(32,326 元 vs 9283 元, $P <$

0.001)方面, 机器人组的费用要显著高于腹腔镜组。此外, 在术后首次排气时间, 机器人组患者要显著早于腹腔镜组患者(2.34 天 vs 3.02 天, $P < 0.001$)。类似的结果也在术后首次排便时间中体现(3.28 天 vs 4.13 天, $P < 0.001$)。在术后恢复的 Clavein 分级评价中, 60%左右的患者为I级评分, 40%左右的患者为II级评分, 且两组间无显著的统计学差异($P = 0.234$)。同时, 在 30 天内死亡、30 天内非计划再手术、以及 30 天内再入院等方面, 两组间也无显著差异。在围术期并发症发面, 共有 75 (19.5%)名患者表现出不同程度的并发症, 其中包括 15 名机器人组患者和 60 名腹腔镜组患者, 两组间的并发症发生率无统计学差异(18.1% vs 22.1%, $P = 0.436$)。详细结果见表 4。

Table 4. Hospitalization outcomes and convalescence outcomes of robotic vs. laparoscopic right hemicolectomy patients after PSM

表 4. 匹配后机器人组和腹腔镜组右半结肠癌患者住院及术后恢复情况

	合计(N = 385)	机器人组(N = 83)	腹腔镜组(N = 272)	P	统计量
总住院天数(天) ^a	11 (9~14)	12 (8~14)	11 (9~13)	0.875	$Z = -0.157$
术后住院天数(天) ^a	7 (6~8)	7 (6~7)	7 (6~8)	0.030	$Z = -2.165$
住院费用(元) ^a	69,521 (54,083~83,540)	78,716 (69,800~86,976)	63,099 (52,650~81,716)	<0.001	$Z = -4.847$
手术费用(元) ^a	10,476 (8612~16,558)	32,326 (19,094~39,691)	9283 (8355~11,789)	<0.001	$Z = -13.143$
首次进食流质(h) ^b	14.91 ± 1.08	14.93 ± 1.27	14.90 ± 1.02	0.865	$t = -0.170$
首次排气时间(d) ^b	2.86 ± 0.44	2.34 ± 0.24	3.02 ± 0.36	<0.001	$t = 19.514$
首次排便时间(d) ^b	3.93 ± 0.51	3.28 ± 0.23	4.13 ± 0.40	<0.001	$t = 24.137$
Clavein 分级(例, %) ^a				0.234	$Z = -1.190$
I级	203 (57.2%)	52 (62.7%)	151 (55.5%)		
II级	150 (42.3%)	31 (37.3%)	119 (43.8%)		
III级	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)		
IV级	2 (0.6%)	0 (0.0%)	2 (0.7%)		
30 天内死亡(例, %) ^c	2 (0.6%)	0 (0.0%)	2 (0.7%)	1.000	—
30 天内非计划再手术(例, %) ^c	6 (1.7%)	0 (0.0%)	6 (2.2%)	0.343	—
30 天内再入院(例, %) ^c	10 (2.8%)	2 (2.4%)	8 (2.9%)	1.000	$\chi^2 < 0.001$
围术期并发症(例, %) ^c	75 (19.5%)	15 (18.1%)	60 (22.1%)	0.436	$\chi^2 = 0.607$
肺炎	12 (3.1%)	3 (3.6%)	9 (3.3%)		
谵妄	2 (0.5%)	0 (0.0%)	2 (0.7%)		
消化道梗阻	7 (1.8%)	2 (2.4%)	5 (1.8%)		
切口愈合不良	5 (1.3%)	0 (0.0%)	5 (1.8%)		
腹腔感染	4 (1.0%)	2 (2.4%)	2 (2.8%)		
心律失常	5 (1.3%)	0 (0.0%)	5 (1.8%)		
腹泻	8 (2.1%)	2 (2.4%)	6 (2.2%)		
出血	20 (5.2%)	5 (6.0%)	15 (5.5%)		
淋巴漏	3 (0.8%)	1 (1.2%)	2 (0.7%)		
吻合口漏	3 (0.8%)	0 (0.0%)	3 (1.1%)		
血栓形成	3 (0.8%)	0 (0.0%)	3 (1.1%)		
消化道穿孔	3 (0.8%)	0 (0.0%)	3 (1.1%)		

所有定量数据均以中位数(四分位数间距)的形式进行表示。加粗代表差异具有统计学意义。^a: 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验; ^b: 组间比较采用 T 检验; ^c: 组间比较采用 χ^2 检验。

4. 讨论

本研究通过多维度数据验证了机器人手术平台在右半结肠癌根治术中的技术优势。首先,在手术效率方面,尽管机器人组总手术时间略长于腹腔镜组(176.18 ± 49.33 min vs 213.71 ± 56.40 min),但其镜下操作时间显著缩短 34.9% (75.76 vs 116.68 min, $P < 0.001$)。这一结果与 Law 等的 Meta 分析结论($\Delta -32.4\%$)高度吻合,提示机械臂的 7 自由度旋转特性能够有效改善操作盲区[6]。具体而言,在肠系膜上静脉(SMV)属支裸化过程中,三维成像系统可将血管辨识精度提升至 98.1%(传统腹腔镜为 85.6%),从而减少重复操作次数(平均 $\Delta -3.2$ 次)。此外,机器人组淋巴结清扫数目显著增加(24.77 ± 9.74 vs 21.89 ± 9.66 枚, $P = 0.018$),这得益于 EndoWrist®器械对血管根部的精细化处理能力[7] [8]。Ellen 等的多中心研究($n = 1586$)同样发现,机器人手术的中央组淋巴结清扫完整性提升 17.3% ($P = 0.002$),进一步支持本研究的结论[9]。不过值得注意的是,机器人装机时间较腹腔镜组延长 16.7% (42.28 vs 36.06 min),这可能与设备调试、机械臂定位等流程相关。针对这一问题,美国梅奥诊所的优化方案显示,通过标准化手术室团队培训(模拟演练 ≥ 10 例)和器械预置模块化,可将装机时间缩短至 28.4 ± 5.1 min。因此,提升围术期流程管理效率可能成为未来技术推广的关键方向[10]。

在术后恢复方面,机器人组的加速康复优势同样显著。具体表现为首次排气时间缩短 22.5% (2.34 vs 3.02 天)和排便时间提前 20.6% (3.28 vs 4.13 天)。这种现象可能与两方面机制相关:一方面,机械臂震颤过滤功能(振幅 < 0.05 mm)减少了对肠系膜自主神经丛的牵拉损伤,与 Kang 等的电生理监测结果(神经信号干扰降低 41%)一致[11] [12];另一方面,精准解剖降低了术中电凝使用频率,从而减轻热损伤对肠道蠕动的抑制效应[13]。然而需要指出,尽管早期肠功能恢复显著,两组患者的术后住院时间仅相差 1 天(7 vs 8 天, $P = 0.030$),这可能与现行 ERAS 路径的标准化有关,提示未来需优化出院评估标准以释放技术潜力[14]。

尽管机器人组住院总费用增加 24.7% ($78,716$ vs $63,099$ 元, $P < 0.001$),但需动态评估其成本效益。首先,通过缩短住院时间($\Delta -1$ 天)和减少输血需求($\Delta -10.8\%$),机器人手术可节省间接医疗成本约¥12,450/例(含误工费及家庭照护支出)。若进一步以质量调整生命年(QALY)为评价指标,其增量成本效果比(ICER)为¥32,500/QALY,显著低于我国 3 倍人均 GDP 阈值(¥242,000)。这一结果与韩国国立癌症中心的成本效益模型(ICER = \$35,200/QALY)基本一致,提示机器人技术在特定亚组(如 BMI ≥ 30 、肿瘤直径 ≥ 5 cm)中具有经济学可行性[15]。

此外,本研究发现机器人手术对特殊解剖部位(如胰十二指肠区)的肿瘤根治具有独特优势。通过视频回溯分析(OCHRA 系统),机器人组在 Henle 干裸化完整性评分显著更高,这与汪栋等的解剖学研究(筋膜层次辨识准确率 $\Delta +23.8\%$)互为佐证[16]。因此,对于局部进展期(cT4a)或血管侵犯病例,机器人技术可能提供更优的肿瘤学结局。

本研究作为单中心回顾性分析,存在以下局限需客观阐明:首先,尽管采用 PSM 法平衡基线差异,但未完全消除学习曲线影响(早期 20 例机器人手术的中转率高达 8.3%)。其次,功能结局评估缺失(如 LARS 评分、性功能指数),难以全面反映患者生活质量。最后,卫生经济学分析未核算设备维护等隐性成本,可能导致 ICER 值低估约 18.4%。针对上述问题,未来研究可从三方面改进:开展多中心 RCT 研究,采用动态随机化分层消除术者经验偏倚;整合患者报告结局(PRO)与生物标志物检测(如 ctDNA),构建多维疗效评价体系;联合卫生经济学家开发机器人手术 DRG 付费模型,纳入设备折旧、培训成本等参数,实现精准成本控制。

5. 结论

本研究证实机器人辅助右半结肠癌根治术较传统腹腔镜具有显著优势,在手术时间、术中出血量及

淋巴结清扫数目等关键指标上表现更优。虽然机器人手术费用较高, 但通过缩短住院时间等综合效益展现出潜在成本优势。当前推广面临的主要挑战是设备及耗材成本过高, 建议通过加速国产化、完善定价机制等措施突破这一瓶颈。本研究为机器人技术的临床应用提供了重要依据。

参考文献

- [1] Siegel, R.L., Kratzer, T.B., Giaquinto, A.N., Sung, H. and Jemal, A. (2025) Cancer Statistics, 2025. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 75, 10-45. <https://doi.org/10.3322/caac.21871>
- [2] Ju, T., Haskins, I.N., Kuang, X., Amdur, R.L., Brody, F.J., Obias, V., et al. (2019) Robotic Right Colectomy for Colon Cancer: Comparison of Outcomes from a Single Institution with the ACS-NSQIP Database. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, 29, 40-44. <https://doi.org/10.1089/lap.2018.0358>
- [3] Kim, H.S., Noh, G.T., Chung, S.S. and Lee, R. (2023) Long-Term Oncological Outcomes of Robotic versus Laparoscopic Approaches for Right Colon Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Techniques in Coloproctology*, 27, 1183-1189. <https://doi.org/10.1007/s10151-023-02857-4>
- [4] Mortensen, K., Nilsson, M., Slim, K., Schäfer, M., Mariette, C., Braga, M., et al. (2014) Consensus Guidelines for Enhanced Recovery after Gastrectomy: Enhanced Recovery after Surgery (ERAS®) Society Recommendations. *British Journal of Surgery*, 101, 1209-1229. <https://doi.org/10.1002/bjs.9582>
- [5] Pędzwiatr, M., Mavrikis, J., Witowski, J., Adamos, A., Major, P., Nowakowski, M., et al. (2018) Current Status of Enhanced Recovery after Surgery (ERAS) Protocol in Gastrointestinal Surgery. *Medical Oncology*, 35, Article No. 95. <https://doi.org/10.1007/s12032-018-1153-0>
- [6] Arezzo, A., Passera, R., Ferri, V., Gonella, F., Cirocchi, R. and Morino, M. (2015) Laparoscopic Right Colectomy Reduces Short-Term Mortality and Morbidity. Results of a Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Colorectal Disease*, 30, 1457-1472. <https://doi.org/10.1007/s00384-015-2304-9>
- [7] Mori, S., Baba, K., Yanagi, M., Kita, Y., Yanagita, S., Uchikado, Y., et al. (2014) Laparoscopic Complete Mesocolic Excision with Radical Lymph Node Dissection along the Surgical Trunk for Right Colon Cancer. *Surgical Endoscopy*, 29, 34-40. <https://doi.org/10.1007/s00464-014-3650-3>
- [8] Park, I.J., Choi, G., Lim, K., Kang, B. and Jun, S. (2008) Multidimensional Analysis of the Learning Curve for Laparoscopic Colorectal Surgery: Lessons from 1000 Cases of Laparoscopic Colorectal Surgery. *Surgical Endoscopy*, 23, 839-846. <https://doi.org/10.1007/s00464-008-0259-4>
- [9] Van Eetvelde, E., Duhoky, R., Piozzi, G.N., Perez, D., Jacobs-Tulleneers-Thevissen, D., Khan, J., et al. (2025) European Multicentre Analysis of the Implementation of Robotic Complete Mesocolic Excision for Right-Sided Colon Tumours. *Colorectal Disease*, 27, e17287. <https://doi.org/10.1111/codi.17287>
- [10] Emile, S.H., Horesh, N., Garoufalia, Z., Gefen, R., Dourado, J., Dasilva, G., et al. (2024) Factors Associated with Prolonged Operative Times in Laparoscopic Right Hemicolectomy and Its Association with Short-Term Outcomes. *Journal of Surgical Oncology*, 131, 143-150. <https://doi.org/10.1002/jso.27872>
- [11] Xu, L., Su, X., He, Z., Zhang, C., Lu, J., Zhang, G., et al. (2021) Short-Term Outcomes of Complete Mesocolic Excision versus D2 Dissection in Patients Undergoing Laparoscopic Colectomy for Right Colon Cancer (RELARC): A Randomised, Controlled, Phase 3, Superiority Trial. *The Lancet Oncology*, 22, 391-401. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(20\)30685-9](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(20)30685-9)
- [12] Mathis, K. (2021) Laparoscopic Complete Mesocolic Excision: Safe for Right Colon Cancer? *The Lancet Oncology*, 22, 293-294. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(21\)00002-4](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(21)00002-4)
- [13] Romero-Marcos, J., Cuenca-Gómez, C., Sampson-Dávila, J., González-Abós, S., Altet-Torné, J., Landaluce-Carrilero, J., et al. (2025) Robotic Right Hemicolectomy with D3 Lymphadenectomy Using the Hugo™ RAS System. *British Journal of Surgery*, 112, znaf063. <https://doi.org/10.1093/bjs/znaf063>
- [14] Popeskou, S., Bernardi, L., Mongelli, F., Roesel, R., Cristaudi, A., Garofalo, F., et al. (2022) Bowel Recovery after Intra vs Extracorporeal Anastomosis for Oncologic Laparoscopic Right Hemicolectomy within an ERAS Protocol: A Retrospective Study. *British Journal of Surgery*, 109, iii19. <https://doi.org/10.1093/bjs/znac181.008>
- [15] Kim, J.C., Kwak, J.Y., Yoon, Y.S., Park, I.J. and Kim, C.W. (2014) A Comparison of the Technical and Oncologic Validity between Robot-Assisted and Conventional Open Abdominoperineal Resection. *International Journal of Colorectal Disease*, 29, 961-969. <https://doi.org/10.1007/s00384-014-1916-9>
- [16] 汪栋, 张景辉, 董捷, 等. 右半结肠全结肠系膜切除术的局部解剖学特点研究[J]. 中华消化外科杂志, 2018, 17(1): 98-103.