

机器人乙状结肠癌及直肠上段癌根治术的学习曲线分析*

李兆田^{1,2} 罗雅军² 邓自建² 宋博² 燕锦²

(1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054;

2. 四川省肿瘤医院研究所·四川省癌症防治中心·电子科技大学附属肿瘤医院大肠外科, 四川 成都 610041)

【摘要】 目的 探讨和分析达芬奇机器人辅助乙状结肠癌及直肠上段癌根治术的学习曲线。方法 回顾性分析四川省肿瘤医院大肠外科同一主刀医师 2021 年 11 月—2023 年 12 月连续开展的 104 例达芬奇机器人辅助乙状结肠癌及直肠上段癌根治术的临床资料。采用移动平均法、CUSUM 分析法以及多因素 CUSUM 分析法多维度分析机器人手术的学习曲线。通过对比不同学习阶段患者的一般资料、围手术期资料以及病理结果,探究不同学习阶段对于患者短期临床疗效的影响。通过多因素 logistic 回归分析术后拔尿管时间大于 2 天的危险因素。结果 104 例患者均顺利完成达芬奇机器人辅助乙状结肠或直肠上段癌根治术。最终根据多因素 CUSUM 分析法确立学习曲线在 39 例、71 例达到拐点,将手术学习过程分为 3 个阶段:学习期(A 组)、稳定期(B 组)、掌握期(C 组)。经对比,稳定期和掌握期患者的手术时间显著低于学习期($P < 0.05$),掌握期患者的术后拔尿管时间显著低于学习期和平台期($P < 0.05$)。进一步通过多因素 logistic 回归分析术后拔尿管时间大于 2 天的危险因素包括:年龄、学习曲线分组、手术类型、术中出血量、术后并发症。结论 达芬奇机器人辅助乙状结肠癌及直肠上段癌根治术的学习曲线大致分为学习期、稳定期、掌握期 3 个阶段,具有丰富腹腔镜手术经验的外科医师完成学习期的手术例数约为 39 例,进入掌握期的手术例数约为 71 例。进入稳定期跨越学习期后手术时间显著缩短,进入掌握期术后拔尿管时间显著缩短,手术熟练度的提升有助于患者术后排尿功能的恢复。

【关键词】 结直肠癌;达芬奇机器人手术;累积和分析法;学习曲线

【中图分类号】 R735.35 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2025.05.018

Learning curve analysis of robotic assisted radical resection for sigmoid colon cancer and upper rectal cancer

LI Zhaotian^{1,2}, LUO Yajun², DENG Zijian², SONG Bo², YAN Jin²

(1. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;

2. Department of Colorectal Surgery, Affiliated Cancer Hospital of University of Electronic Science and Technology of China, Sichuan Cancer Prevention and Treatment Center, Sichuan Cancer Hospital & Institute, Chengdu 610041, China)

【Abstract】 **Objective** To explore and analyze the learning curve of Da Vinci robotic-assisted radical resection for sigmoid colon cancer and upper rectal cancer. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 104 consecutive patients who underwent Da Vinci robotic-assisted radical resection for sigmoid colon cancer and upper rectal cancer from November 2021 to November 2023, performed by the same lead surgeon in the Department of Colorectal Surgery at Sichuan Cancer Hospital. The learning curve was analyzed using moving average, CUSUM, and multifactor CUSUM methods. Patient demographics, perioperative data, and pathological results were compared across different learning stages to evaluate the impact of learning progression on short-term clinical outcomes. Analyze the potential risk factors for postoperative catheter removal time exceeding 2 days by using multivariable logistic regression. **Results** All 104 patients successfully underwent Da Vinci robotic-assisted surgery. The learning curve, derived from multi-factor CUSUM analysis, identified turning points at 39 and 71 cases, dividing the learning process into three stages: learning phase (Group A), stable phase (Group B), and mastery phase (Group C). Compared to the learning phase, patients in the sta-

基金项目:国家自然科学基金项目(82302993)

通信作者:燕锦,主任医师,E-mail:yanjin_1111@163.com

引用本文:李兆田,罗雅军,邓自建,等.机器人乙状结肠癌及直肠上段癌根治术的学习曲线分析[J].西部医学,2025,37(5):726-731. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2025.05.018

ble and mastery phases had significantly shorter operative times ($P < 0.05$), and patients in the mastery phase had significantly earlier urinary catheter removal time than those in the learning and stable phases ($P < 0.05$). Multivariable logistic regression analysis identified the following risk factors for postoperative catheter removal time exceeding 2 days: age, learning curve grouping, type of surgery, intraoperative blood loss, and postoperative complications. **Conclusion** The learning curve for Da Vinci robotic-assisted radical resection for sigmoid colon and upper rectal cancer can be divided into three phases: learning phase, stable phase, and mastery phase. Surgeons with extensive laparoscopic experience complete the learning phase after approximately 39 cases and enter the mastery phase after around 71 cases. After reaching the stable phase and crossing the learning phase, operative time significantly decreases, and after reaching the mastery phase, urinary catheter removal time significantly shortenes, the improvement in surgical proficiency contributes to the recovery of postoperative urinary function in patients.

【Key words】 Colorectal cancer; Da vinci robotic surgery; Cumulative sum analysis; Learning curve

结直肠癌是最常见的消化道恶性肿瘤之一,其全球发病率排名第三,死亡率排名第二^[1]。根治性手术仍然是结直肠癌的首选治疗方案,随着微创外科的发展,腹腔镜手术已成为结直肠癌的主要手术方式^[2-5]。在此基础上,机器人手术凭借其更加清晰的三维视野、灵活稳定的操作臂、更适应外科医生的人体工学设计等优势,进一步弥补了腹腔镜手术的不足^[6]。目前研究证明,机器人结直肠癌手术拥有与传统腔镜手术相似的长期肿瘤学效果,且机器人结直肠癌手术在降低术后并发症、缩短住院时间等方面优于传统腔镜手术^[7-10],在降低中转开腹率方面不劣于传统腔镜手术^[11]。目前越来越多的医院开始开展机器人结直肠癌手术,随着一项新技术的广泛开展,分析其学习过程及安全性尤为重要^[12]。本研究将通过移动平均法、累积和(Cumulative Sum, CUSUM)分析法以及多因素累积和分析法多维度分析机器人乙状结肠癌及直肠上段癌根治术的学习曲线,明确学习过程中的相关阶段及其对短期临床结果的影响,为新手提供这项技术的指导和参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料 回顾性分析 2021 年 11 月—2023 年 12 月由四川省肿瘤医院大肠外科同一术者完成的 104 例达芬奇机器人辅助下乙状结肠癌及直肠上段癌根治术的临床资料。纳入标准:①术前肠镜及病理活检确诊为结直肠腺癌。②通过影像学、肠镜以及术中所见提示肿瘤位于乙状结肠、直乙交界及直肠上段(肿瘤下缘距肛 10 cm 以上)。排除标准:①多原发恶性肿瘤。②手术行联合其他器官切除。③术前 CT、MRI 检查提示肿瘤周围脏器侵犯或远处转移,术中查见腹腔种植转移。④有严重器质性疾病,不能耐受手术与麻醉。⑤急诊手术。⑥资料不完整或缺失。

1.2 观察指标 一般资料:性别、年龄、BMI、美国麻醉医师协会评分(ASA)、既往腹部手术史、新辅助治疗史、术前合并症、术前查血结果、肿瘤位置等。病理

资料:TNM 分期、肿瘤最长径、分化程度、切缘状态、脉管浸润、神经侵犯、淋巴结检出数、淋巴结阳性数等。围术期资料:手术类型,术中出血量、输血、造瘘,中转开腹,术后并发症及其类型、并发症 Clavien-Dindo 分级、术后第一天查血结果、拔尿管时间、首次排气时间、拔引流管时间。是否再次手术、术后住院时间等。

1.3 术者情况 本研究术者在大型三甲肿瘤专科医院从事结直肠外科工作 30 年以上,具有丰富的腹腔镜手术经验。实施达芬奇机器人手术前已完成达芬奇机器人手术培训并取得相关操作证书。机器人手术操作均使用达芬奇 XI 手术平台完成。手术方法均按照《机器人结直肠癌手术中国专家共识(2020 版)》^[13]的标准进行。

1.4 分析方法

1.4.1 移动平均法^[14] 一种通过计算时间序列中一系列数据的平均值来平滑数据波动的统计方法,旨在消除短期波动,帮助识别长期趋势或模式。本研究使用移动平均法对手术病例的操作时间进行分析,移动步长设置为 5 例。计算公式如下:

$$M_n = \frac{X_{n-2} + X_{n-1} + X_n + X_{n+1} + X_{n+2}}{5}$$

M_n 为第 n 例手术时间的移动平均值, X 为原手术时间, n 表示手术例数。以手术例数为横坐标,移动平均值 M_n 为纵坐标,使用 SPSS 26.0 软件绘制学习曲线。

1.4.2 CUSUM 分析法 一种常用于质量控制的统计方法,能够灵敏地检测出数据中存在的细小波动,放大每个点的微小偏倚,因此非常适合医学领域学习曲线的相关研究^[15-17]。该方法通过计算出每个样本观测值与目标值的偏差程度,并按排列顺序将得到的差值累计求和,进而得出 CUSUM 值。其计算公式如下:

$$CUSUM = \sum_{i=1}^n (X_i - m)$$

X_i 为每例机器人手术的手术时间, m 为手术时间的平

均值, n 表示病例序号。以手术例数为横坐标, CUSUM 值为纵坐标, 使用 SPSS 26.0 软件绘制学习曲线。

1.4.3 多因素 CUSUM 分析法 多因素 CUSUM 分析法在 CUSUM 分析法的基础上, 纳入了影响学习过程的其他因素, 能够更加全面准确地反映学习曲线变化^[18]。本研究选择了手术时间、术中出血量、中转开腹、术后拔尿管时间、术后拔引流管时间、排气时间、术后住院时间、术后并发症、淋巴结检出数等 9 项指标对达芬奇机器人辅助乙状结肠癌及直肠上段癌根治术的学习曲线进行评价。连续资料以指标的均数或中位数作为目标值, 分类资料以阴性结果作为目标值, 计算未达到目标值的比例, 即该项指标的失败率 x_0 , 本研究中 9 项指标的失败率分别为 0.46、0.09、0.01、0.46、0.5、0.56、0.25、0.13、0.25, 当变量未达到目标值时 $x_i=1$, 达到目标值时 $x_i=0$, 再根据公式 $\delta_i = x_i - x_0$ 得出每例手术各个评价指标的量化值。计算每例手术的 9 个量化值, 相加得出总量化值 S_i , 并按如下公式进行累积和计算:

$$CUSUM = \sum_{i=1}^n S_i$$

以手术例数为横坐标, CUSUM 值为纵坐标描绘学习曲线。根据曲线确定机器人学习过程的各个阶段, 将不同阶段的临床结果进行对比分析。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示, 组间比较使用单因素方差分析; 不符合正态分布的计量资

料以 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示, 组间比较使用 Kruskal-Wallis H 检验; 计数资料用例 (%) 表示, 组间比较使用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率检验。危险因素分析采用多因素 logistic 回归分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 学习曲线及分组 纳入资料中男性 64 例 (61.5%), 女性 40 例 (38.5%)。乙状结肠癌 72 例 (69.2%), 直肠上段癌 32 (30.8%)。3 例患者术中输血, 其中 2 例因术前贫血进行术中输血, 1 例因术中出血导致。1 例中转开腹, 1 例因吻合口瘘再次手术, 术后并发症共 14 例, 无围术期死亡病例。手术时间 (188.1 ± 48.9) min, 术中出血 $50.0 (30.0, 50.0)$ mL, 淋巴结切除数目 (15.0 ± 5.7) 枚, 术后拔尿管时间 $2.0 (2.0, 3.0)$ d, 首次排气时间 (2.7 ± 1.0) d, 拔引流管时间 $5.5 (5.0, 6.0)$ d, 术后住院时间 $6.0 (6.0, 6.8)$ d。移动平均法学习曲线在 36 例出现拐点 (图 1A), CUSUM 学习曲线在 38 例达到拐点 (图 1B), 多因素 CUSUM 学习曲线分别在 39 例、71 例出现拐点 (图 1C)。综合分析三种方法得到的学习曲线, 最终根据多因素 CUSUM 分析法确立本研究的机器人手术学习曲线, 曲线在 39 例、71 例达到拐点, 将手术学习过程分为三个阶段, 第 1~39 例手术定义为学习期, 第 40~71 例定义为稳定期, 第 72~104 例定义为掌握期, 分别对应 A、B、C 3 组进一步对比分析。

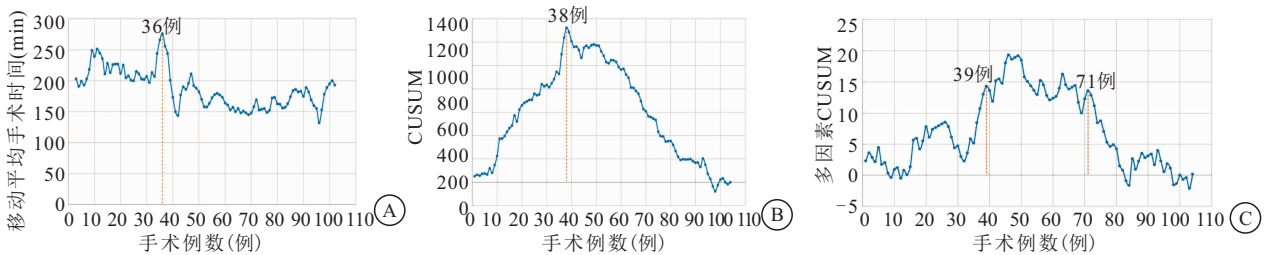


图 1 机器人乙状结肠及直肠上段癌根治术的学习曲线

Figure 1 Learning curves of robotic assisted radical resection for sigmoid colon cancer and upper rectal cancer

注: A. 移动平均法学习曲线; B. CUSUM 学习曲线; C. 多因素 CUSUM 学习曲线。

2.2 一般资料比较 3 组患者在性别、BMI、高血压、糖尿病、既往腹部手术史、新辅助治疗史、肿瘤位置、术前查血结果等方面的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), C 组年龄显著低于 A、B 组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。C 组患者 ASA 分级与 A、B 组有显著差异 ($P < 0.05$)。见表 1。

2.3 围术期资料比较 B、C 组手术时间显著低于 A 组 ($P < 0.05$), C 组术后拔尿管时间显著低于 A、B 组 ($P < 0.05$), 3 组术中出血量、术中输血、术中造瘘、中转开腹、术后检验、术后并发症及 Clavien-Dindo 分级、

术后拔尿管时间、术后首次排气时间、术后拔引流管时间、是否再次手术、术后住院时间等差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 2。

2.4 病理资料比较 3 组在肿瘤最长径、病理 TNM 分期、肿瘤分化程度、切缘状态、脉管浸润、神经侵犯、淋巴结检出数及淋巴结阳性数等方面的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 3。

2.5 术后拔尿管时间 > 2 d 的危险因素分析 由于 C 组术后拔尿管时间显著低于 A、B 组, 同时基线年龄在 C 组也显著较低, 为明确术后拔尿管时间差异的潜在

表 1 一般资料比较 $[\bar{x} \pm s, M(P_{25}, P_{75}), n(\times 10^{-2})]$

Table 1 Comparison of baseline characteristics

指标	A 组(n=39)	B 组(n=32)	C 组(n=33)	检验值	P
年龄(岁)	63.2±11.1	64.8±12.5	57.4±11.4 ^{①②}	3.761	0.027
性别				0.340	0.844
男	25(64.1)	20(62.5)	19(57.6)		
女	14(35.9)	12(37.5)	14(42.4)		
BMI(kg/m ²)	23.9±3.2	22.2±2.8	23.3±2.9	2.661	0.075
ASA					0.033 ^{①②}
I	6(15.4)	3(9.4)	1(3.0)		
II	28(71.8)	24(75.0)	32(97.0)		
III	5(12.8)	5(15.6)	0(0.0)		
高血压	8(20.5)	11(34.4)	6(18.2)	2.758	0.252
糖尿病	3(7.7)	5(15.6)	4(12.1)		0.593
既往腹部手术史	12(30.8)	9(28.1)	5(15.2)	2.566	0.277
新辅助治疗史	2(5.1)	0(0.0)	2(6.1)		0.548
肿瘤位置				7.105	0.130
直肠上段	13(33.3)	7(21.9)	5(15.2)		
直乙交界	9(23.1)	4(12.5)	4(12.1)		
乙状结肠	17(43.6)	21(65.6)	24(72.7)		
术前 WBC(10 ⁹ /L)	5.5±1.3	5.8±1.5	5.5±1.2	0.445	0.642
术前 Hb(g/L)	127.0(108.0,142.0)	128.5(119.0,136.5)	130.0(118.5,143.5)	1.016	0.602
术前 ALB(g/L)	38.5(36.9,41.6)	37.7(36.1,41.3)	39.6(37.7,40.9)	2.156	0.340
术前 CRP(mg/L)	2.0(1.0,4.2)	1.3(0.5,6.8)	2.0(1.2,3.1)	0.194	0.908
术前 CEA(ng/L)	2.8(1.8,6.4)	3.6(1.9,5.1)	2.5(1.2,6.1)	0.720	0.698

注:与 A 组比较,①P<0.05;与 B 组比较,②P<0.05。

表 2 围术期资料比较 $[\bar{x} \pm s, M(P_{25}, P_{75}), n(\times 10^{-2})]$

Table 2 Comparison of perioperative data

指标	A 组(n=39)	B 组(n=32)	C 组(n=33)	检验值	P
手术时间(min)	221.0±50.8	165.6±35.3 ^①	170.9±35.9 ^①	19.393	<0.001
手术类型				4.858	0.088
乙状结肠根治术	22(56.4)	25(78.1)	25(75.8)		
直肠前切除	17(43.6)	7(21.9)	8(24.2)		
术中出血量(mL)	50(20,50)	50(20,50)	50(50,50)	0.288	0.866
术中输血	2(5.1)	1(3.1)	0(0.0)		0.640
术中造瘘	4(10.3)	4(12.5)	2(6.1)		0.711
中转开腹	1(2.6)	0(0.0)	0(0.0)		1.000
术后 WBC(10 ⁹ /L)	8.8±2.5	9.1±1.9	9.4±2.0	0.668	0.515
术后 Hb(g/L)	116.0(106.0,141.0)	122.5(110.5,134.0)	129.0(116.5,134.5)	2.304	0.316
术后 ALB(g/L)	33.1(31.8,35.3)	33.8(31.5,35.1)	34.1(32.7,35.2)	2.549	0.280
术后 CRP(mg/L)	49.1(23.5,63.1)	40.8(26.9,59.4)	53.6(23.7,70.1)	0.587	0.746
术后总并发症	5(12.8)	6(18.8)	3(9.1)		0.479
术后肺部感染	2(5.1)	4(12.5)	1(3.0)		0.332
术后腹腔感染	2(5.1)	0(0.0)	0(0.0)		0.330
术后肠梗阻	3(7.7)	3(9.4)	2(6.1)		0.904
术后吻合口瘘	2(5.1)	0(0.0)	0(0.0)		0.330
术后吻合口出血	0(0.0)	1(3.1)	0(0.0)		0.308
肾衰	0(0.0)	1(3.1)	0(0.0)		0.308
心衰	1(2.6)	1(3.1)	0(0.0)		0.760
Clavien-Dindo 分级					0.674
II	2(5.1)	3(9.4)	3(9.1)		
III	2(5.1)	1(3.1)	0(0.0)		
IV	1(2.6)	2(6.3)	0(0.0)		
再次手术	1(2.6)	0(0.0)	0(0.0)		1.000
术后拔尿管时间(d)	3.0(2.0,3.0)	2.0(2.0,3.8)	2.0(1.0,3.0) ^{①②}	13.370	0.001
术后排气时间(d)	2.4±0.9	2.8±1.1	2.9±0.9	2.371	0.099
术后拔引流管时间(d)	5.0(5.0,6.0)	6.0(5.0,6.0)	5.0(5.0,6.0)	2.923	0.232
术后住院时间(d)	6.0(6.0,7.0)	6.0(6.0,7.0)	6.0(6.0,6.0)	3.705	0.157

注:与 A 组比较,①P<0.05;与 B 组比较,②P<0.05。

原因,将拔尿管时间根据中位数分为二分类变量(>2d 与≤2d),采用多因素 logistic 回归分析术后拔尿管时间>2d 可能的危险因素,包括:性别、年龄、BMI、ASA

分级、学习曲线分组、手术类型、术中出血量、造瘘、术后并发症。考虑到学习曲线分组中 A 组、B 组之间的拔尿管时间差异不显著,故将 A、B 两组合并为

表 3 病理资料比较 $[\bar{x} \pm s, M(P_{25}, P_{75}), n(\times 10^{-2})]$

Table 3 Comparison of pathological data

指标	A 组 (n=39)	B 组 (n=32)	C 组 (n=33)	检验值	P 值
肿瘤最长径(cm)	3.8±1.5	3.7±1.4	3.6±1.3	0.216	0.806
TNM 分期				5.925	0.205
I	8(20.5)	5(15.6)	3(9.1)		
II	16(41.0)	17(53.1)	11(33.3)		
III	15(38.5)	10(31.3)	19(57.6)		
T 分期					0.798
T1	3(7.7)	1(3.1)	0(0.0)		
T2	6(15.4)	6(18.8)	7(21.2)		
T3	29(74.4)	24(75.0)	24(72.7)		
T4	1(2.6)	1(3.1)	2(6.1)		
N 分期				5.781	0.216
N0	24(61.5)	22(68.8)	14(42.4)		
N1	9(23.1)	6(18.8)	9(27.3)		
N2	6(15.4)	4(12.5)	10(30.3)		
分化程度					0.787
低	1(2.6)	1(3.1)	2(6.1)		
中	34(87.2)	29(90.6)	30(90.9)		
高	4(10.3)	2(6.3)	1(3.0)		
切缘阳性	0(0.0)	1(3.1)	0(0.0)		0.308
脉管浸润	11(28.2)	8(25.0)	7(21.2)	0.466	0.792
神经侵犯	14(35.9)	12(37.5)	16(48.5)	1.336	0.513
淋巴结检出数目(枚)	15.9±6.5	15.2±5.7	13.9±4.6	1.115	0.332
淋巴结阳性数目(枚)	0(0.2.0)	0(0.1.8)	1.0(0.4.0)	5.230	0.073

(未达到掌握期),作为 C 组(掌握期)的参照类别,进行模型优化。结果显示,术后拔尿管时间>2 d 的潜在危险因素包括:年龄、学习曲线分组、手术类型、术中出血量、术后并发症($P<0.05$)。见表 4。

表 4 术后拔尿管时间大于 2 d 的多因素 Logistic 分析

Table 4 Multivariable logistic regression analysis of factors associated with postoperative catheter removal time exceeding 2 days

因素	参照类别	回归系数	P	OR	95%CI
性别	女	0.409	0.463	1.505	0.506~4.480
年龄		0.064	0.025	1.066	1.008~1.127
BMI		0.106	0.224	1.112	0.937~1.319
ASA II 级	ASA I 级	0.072	0.940	1.074	0.168~6.892
ASA III 级	ASA I 级	-0.740	0.621	0.477	0.025~8.986
学习曲线分组 (掌握期)	未达到掌握期	-1.263	0.041	0.283	0.084~0.948
手术类型	直肠前切术	-1.544	0.011	0.214	0.065~0.706
术中出血量		0.052	0.004	1.053	1.017~1.091
造瘘	未造瘘	1.512	0.249	4.535	0.346~59.430
术后并发症	无并发症	2.905	0.003	18.273	2.723~122.606
常量		-8.135	0.007	0.000	

3 讨论

随着机器人结直肠癌手术的广泛开展,分析其学习过程及安全性具有重要意义。本中心在技术开展初期优先选择乙状结肠及直肠上段癌根治术作为切入点,这与其解剖结构相对固定、技术风险可控的特

点相关^[19]。与既往研究依赖单一 CUSUM 分析不同^[15,20-21],本研究通过整合移动平均法、CUSUM 分析及多因素 CUSUM 分析,全面系统的揭示了机器人学习曲线的 3 个阶段:学习期(1~39 例)、稳定期(40~71 例)和掌握期(72~104 例)。

本研究结果显示,移动平均法学习曲线的手术时间在前 36 例呈现出一定波动,并大致维持在 200~250 min 之间,在第 36 例手术达到峰值,随后出现相对明显的下降,此后趋于平稳并维持在 150~200 min 之间。CUSUM 学习曲线中,前 38 例手术 CUSUM 值呈上升趋势,提示此阶段手术效率整体低于期望值,第 38 例后逐渐下降,提示此阶段手术效率逐渐提高。两种学习曲线均反映了随着手术例数的增加,术者的手术效率逐渐提升的学习过程。然而移动平均法与 CUSUM 分析法仅以手术时间作为主要的评价指标,不能全面揭示技术熟练度的变化。本研究纳入了 9 项手术相关指标进行多因素 CUSUM 分析,这些指标涵盖了术中操作的效率与安全性(手术时间、术中出血量和中转开腹)、术后恢复情况(如拔管时间、排气时间和住院时间)、术后并发症的发生率,以及手术质量(如淋巴结检出数)。分析结果显示,曲线主要经历以下阶段:学习期(1~39 例):曲线呈上升趋势,反映了术者学习初期的适应过程,此阶段手术评估低于期望值。稳定期(40~71 例):与前两者曲线不同的是,在跨越拐点后,曲线并未直接下降,表明术者技术在这一时期逐步稳定,手术相关指标维持在期望值附近。掌握期(72~104 例):曲线明显下降,标志着术者进入学习曲线的成熟阶段,手术指标并逐步优于期望值。尽管本研究跨越学习期例数(39 例)略高于文献报道的 20-40 例^[18,21-24],但差异可能与多指标评价体系的敏感性更高、病例纳入更多有关。

值得注意的是,学习曲线不同阶段的围术期安全性指标(术中出血量、中转开腹率、术后并发症发生率)无显著差异,仅手术时间随熟练度提升显著下降。这一发现表明,在腹腔镜经验丰富的外科医生开展下,机器人技术的学习过程不会增加手术风险。进入掌握期后,术后拔尿管时间显著缩短,进一步通过多因素 logistic 回归分析证实,学习曲线分组是其独立保护因素($OR = 0.283, 95\% CI: 0.084 \sim 0.948, P < 0.05$),即进入掌握期显著降低术后拔尿管时间延长(>2 天)的风险。这一结果与 Kim^[25]等报道相符,其机制可能与机器人手术的精准操作减少盆腔神经丛损伤有关。此外,3 组病例的淋巴结切除数、切缘性质等病理结果无显著差异,表明不同学习阶段的手术操作对短期肿瘤根治效果没有影响。

本研究存在以下局限性:①未涵盖解剖复杂的右半结肠及低位直肠病例,有待进一步开展和分析。②缺乏与传统腹腔镜的对照数据,难以量化机器人技术的相对优势。③回顾性研究存在其固有偏倚。未来需要通过多中心前瞻性研究,进一步验证结论的普适性。

4 结论

本研究表明机器人结直肠癌手术在经验丰富的外科医师开展下是安全可行的,在经验积累和技术熟练后,手术效率和术后恢复方面的优势会更加明显,这为机器人结直肠癌手术的推广及培训提供了有力的临床支持。

【参考文献】

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, *et al.* Global Cancer Statistics 2020; GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries[J]. CA: a cancer journal for clinicians, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] GREEN B L, MARSHALL H C, COLLINSON F, *et al.* Long-term follow-up of the Medical Research Council CLASICC trial of conventional versus laparoscopically assisted resection in colorectal cancer[J]. The British journal of surgery, 2013, 100(1): 75-82.
- [3] ABRAHAM N S, YOUNG J M, SOLOMON M J. Meta-analysis of short-term outcomes after laparoscopic resection for colorectal cancer[J/OL]. The British journal of surgery, 2004, 91(9): 1111-1124.
- [4] JAYNE D G, GUILLOU P J, THORPE H, *et al.* Randomized trial of laparoscopic-assisted resection of colorectal carcinoma: 3-year results of the UK MRC CLASICC Trial Group[J/OL]. Journal of clinical oncology: official journal of the American Society of Clinical Oncology, 2007, 25(21): 3061-3068.
- [5] JAYNE D G, THORPE H C, COPELAND J, *et al.* Five-year follow-up of the Medical Research Council CLASICC trial of laparoscopically assisted versus open surgery for colorectal cancer[J/OL]. The British journal of surgery, 2010, 97(11): 1638-1645.
- [6] 张忠涛,杨盈赤. 结直肠癌外科临床研究进展及展望[J]. 中国实用外科杂志, 2020, 40(1): 65-69.
- [7] CRIPPA J, GRASS F, DOZOIS E J, *et al.* Robotic Surgery for Rectal Cancer Provides Advantageous Outcomes Over Laparoscopic Approach; Results From a Large Retrospective Cohort[J/OL]. Annals of surgery, 2021, 274(6): e1218-e1222.
- [8] BHAMA A R, OBIAS V, WELCH K B, *et al.* A comparison of laparoscopic and robotic colorectal surgery outcomes using the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program (ACS NSQIP) database[J/OL]. Surgical endoscopy, 2016, 30(4): 1576-1584.
- [9] JONES K, QASSEM M G, SAINS P, *et al.* Robotic total mesorectal excision for rectal cancer: A systematic review following the publication of the ROLARR trial[J/OL]. World journal of gastrointestinal oncology, 2018, 10(11): 449-464.
- [10] POLAT F, WILLEMS L H, DOGAN K, *et al.* The oncological and surgical safety of robot-assisted surgery in colorectal cancer: outcomes of a longitudinal prospective cohort study[J/OL]. Surgical endoscopy, 2019, 33(11): 3644-3655.
- [11] JAYNE D, PIGAZZI A, MARSHALL H, *et al.* Effect of Robotic-Assisted vs Conventional Laparoscopic Surgery on Risk of Conversion to Open Laparotomy Among Patients Undergoing Resection for Rectal Cancer: The ROLARR Randomized Clinical Trial[J]. JAMA, 2017, 318(16): 1569-1580.
- [12] 冯青阳,韦焯,许剑民. 结直肠癌机器人手术的现在与未来[J]. 中华胃肠外科杂志, 2015, (6): 544-546.
- [13] 冯青阳,何国栋,许剑民. 机器人结直肠癌手术中国专家共识(2020版)[J]. 中华结直肠疾病电子杂志, 2021, 10(1): 16-27.
- [14] JEONG O, JUNG M R, PARK Y K, *et al.* Safety and feasibility during the initial learning process of intracorporeal Billroth I (delta-shaped) anastomosis for laparoscopic distal gastrectomy[J/OL]. Surgical endoscopy, 2015, 29(6): 1522-1529.
- [15] HUANG P, LI S, LI P, *et al.* The Learning Curve of Da Vinci Robot-Assisted Hemicolectomy for Colon Cancer: A Retrospective Study of 76 Cases at a Single Center[J]. Frontiers in surgery, 2022, 9: 897103.
- [16] YAP C H, COLSON M E, WATTERS D A. Cumulative sum techniques for surgeons: a brief review[J/OL]. ANZ journal of surgery, 2007, 77(7): 583-586.
- [17] STEINER S H, COOK R J, FAREWELL V T, *et al.* Monitoring surgical performance using risk-adjusted cumulative sum charts[J/OL]. Biostatistics (Oxford, England), 2000, 1(4): 441-452.
- [18] 秦倩,张磊,时飞宇,等. 达芬奇机器人手术系统辅助直肠癌根治术学习曲线研究[J]. 中国实用外科杂志, 2022, 42(8): 920-924.
- [19] TSAI K Y, KIU K T, HUANG M T, *et al.* The learning curve for laparoscopic colectomy in colorectal cancer at a new regional hospital[J]. Asian journal of surgery, 2016, 39(1): 34-40.
- [20] NASSERI Y, STETTLER I, SHEN W, *et al.* Learning curve in robotic colorectal surgery[J/OL]. Journal of robotic surgery, 2021, 15(3): 489-495.
- [21] 陈海鹏,张金珠,关旭,等. 达芬奇机器人辅助直肠及乙状结肠癌根治术的学习曲线分析[J]. 中华结直肠疾病电子杂志, 2024, 13(3): 205-208.
- [22] OLTJOF P B, GIESEN L J X, VIJFVINKEL T S, *et al.* Transition from laparoscopic to robotic rectal resection: outcomes and learning curve of the initial 100 cases[J]. Surgical endoscopy, 2021, 35(6): 2921-2927.
- [23] PARK E J, KIM C W, CHO M S, *et al.* Multidimensional analyses of the learning curve of robotic low anterior resection for rectal cancer: 3-phase learning process comparison[J]. Surgical endoscopy, 2014, 28(10): 2821-2831.
- [24] TANG B, LI T, GAO G, *et al.* Learning Curve of Robotic-Assisted Total Mesorectal Excision for Rectal Cancer[J]. Frontiers in oncology, 2022, 12: 931426.
- [25] KIM J Y, KIM N K, LEE K Y, *et al.* A comparative study of voiding and sexual function after total mesorectal excision with autonomic nerve preservation for rectal cancer: laparoscopic versus robotic surgery[J/OL]. Annals of surgical oncology, 2012, 19(8): 2485-2493.

(收稿日期:2025-01-21; 修回日期:2025-02-14; 编辑:张翰林)