

机器人辅助胸外科纵隔手术的学习曲线研究

杨 雨, 王光锁*

暨南大学第二临床医学院(深圳市人民医院)胸外科, 广东 深圳

收稿日期: 2025年4月6日; 录用日期: 2025年4月28日; 发布日期: 2025年5月7日

摘 要

目的: 基于CUSUM分析法, 探讨机器人辅助胸外科纵隔手术的学习曲线。方法: 按照纳入标准与排除标准, 采集自2020年1月至2022年12月以来由我院胸外科同一主刀医师完成的最初95例RATS纵隔手术的临床资料, 运用CUSUM Analysis绘制分析学习曲线。结果: 本研究中共计纳入95例手术病例, 包含男性46例, 女性49例, 平均年龄为 (48.2 ± 14.7) 岁。平均手术时间 101.97 ± 41.19 (分钟)。得到CUSUM曲线的最佳拟合模型三次方曲线为 $CUSUM \text{ (分钟)} = 0.005X^3 - 1.020X^2 + 51.586X - 115.028$ (X为手术例数)。35例为跨越学习曲线所需要累积的最低手术例数。在熟练掌握阶段, 手术时间、术中出血量、术后24小时胸管引流量、术后并发症方面较学习提升阶段有显著的缩短或减少, 而在术后带管时间、住院时间方面则没有明显差异。结论: 基于CUSUM分析方法, 发现RATS纵隔手术的学习曲线可以清晰地分为学习提升及熟练掌握两个阶段。在经过至少35例手术经验的积累后, 可以跨过学习曲线顶点, 达到熟练掌握阶段。

关键词

机器人, 纵隔手术, 学习曲线, 累计和分析法

A Study of the Learning Curve in Robot-Assisted Mediastinal Surgery in Thoracic Surgery

Yu Yang, Guangsuo Wang*

Department of Thoracic Surgery, The Second Clinical Medical College of Jinan University, Shenzhen People's Hospital, Shenzhen Guangdong

Received: Apr. 6th, 2025; accepted: Apr. 28th, 2025; published: May 7th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 杨雨, 王光锁. 机器人辅助胸外科纵隔手术的学习曲线研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 43-51.
DOI: 10.12677/acm.2025.1551340

Abstract

Objective: Exploring the learning curve of robot-assisted thoracic mediastinal surgery based on CUSUM analysis. **Methods:** In accordance with the inclusion and exclusion criteria, clinical data on the initial 95 RATS mediastinal surgeries performed by the same attending surgeon in our thoracic surgery department since January 2020 to December 2022 were collected, and an analytic learning curve was plotted using CUSUM Analysis. **Results:** A total of 95 surgical cases were included in this study containing 46 males and 49 females with a mean age of (48.2 ± 14.7) years. The mean operative time was 101.97 ± 41.19 (minutes). The best fitting model cubic curve for the CUSUM curve was obtained as $\text{CUSUM (minutes)} = 0.005X^3 - 1.020X^2 + 51.586X - 115.028$ (X is the number of surgical cases). 35 cases is the minimum number of surgical cases that need to be accrued to cross the learning curve. In the proficiency stage, there was a significant shortening or reduction in operative time, intraoperative bleeding, 24-hour postoperative chest tube drainage, and postoperative complications compared to the learning improvement stage, while there was no significant difference in postoperative tube carrying time and hospitalization time. **Conclusion:** Based on the CUSUM analysis method, it was found that the learning curve of RATS mediastinal surgery can be clearly divided into two stages: learning improvement and proficiency. The learning curve apex can be crossed to reach the proficiency stage after the accumulation of experience in at least 35 surgical cases.

Keywords

Robot, Mediastinal Surgery, Learning Curve, Cumulative Sum Analysis Method

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. 前言

随着现代外科微创理念的深入和手术技术的进步,胸腔镜胸外科手术(Videoassisted thoracic surgery, VATS)逐渐成为纵隔疾病治疗的重要选择,显著降低了手术创伤,加快了患者康复进程[1]。然而,常规胸腔镜手术存在一定局限性,在手术操作过程中,一些狭窄位置难以触及,进而形成了无法实施精细操作的死区。随着机器人手术系统的出现,为传统 VATS 纵隔手术带来了新的变革。它凭借三维高清视野,能够为术者提供清晰、立体的手术视野,极大地提升了对解剖结构的辨识度;器械操作的高灵活性,使得手术操作更加精准、细腻,可完成许多传统手术难以实现的复杂动作[2]。同时,机器人手术系统还能有效滤除人手的生理震颤,进一步保障了手术操作的稳定性。这些优势使得机器人辅助下处理纵隔病变在临床应用中逐渐受到青睐,有望为患者提供更优质的治疗效果。然而,机器人手术系统的操作相对复杂,手术医生需要经历一个学习过程来掌握这一技术。了解 RATS 纵隔肿瘤切除手术的学习曲线,对于初级手术医师的培训、手术质量的提升以及患者安全具有重要意义。学习曲线可以反映手术医师在开展机器人手术过程中,手术操作技能、手术效果以及手术安全性等方面的变化情况。本研究通过 CUSUM 分析绘制 RATS 纵隔手术学习曲线,旨在为该类手术在国内的规范化、标准化推广提供理论支持和实践经验参考。

2. 一般资料与方法

2.1. 一般资料

本研究回顾性收集我院胸外科同一主刀自 2020 年 1 月至 2022 年 12 月期间,所有接受机器人辅助纵

隔肿瘤切除术的患者临床资料。

纳入标准严格设定为：(1) 手术前经胸部影像学检查提示有明确的纵隔内占位性病变，无明显侵犯周围组织和脏器，经主刀医师评估后可完整切除；(2) 患者及家属知情同意，签署手术前相关文书；(3) 患者围手术期病例资料相对完整；(4) 手术均由同一主刀医师完成。

排除标准如下：(1) 合并严重心肺功能不全、肝肾功能衰竭等基础疾病，无法耐受长时间手术者；(2) 既往有胸部手术史，导致胸腔内粘连严重，影响手术操作视野和器械活动空间者；(3) 肿瘤侵犯重要大血管、气管、食管等关键结构，预计无法通过机器人手术完整切除者；(4) 临床资料不完整，无法进行有效数据分析者。

经过严格筛选，最终纳入符合标准的患者共 95 例。

2.2. 手术

2.2.1. 手术团队及设备

本研究所纳入手术病例均由深圳市人民医院同一主刀完成，主刀医师拥有机器人手术资质，具备丰富的 VATS 手术经验，手术团队配合默契，人员相对固定。全部手术均采用达芬奇 Xi 机器人手术系统。

2.2.2. 术前准备

胸外科主管医师对患者进行全面的术前评估，包括血常规、肝肾功能、电解质、血型、凝血功能等化验，心电图、心肺功能、胸部 CT 平扫/增强等常规检查[3]。术前需充分予患者及家属阐释病情，讲解手术方案及相关手术风险，取得知情同意并签署手术同意书。

2.2.3. 手术过程

常规静脉诱导全身麻醉，行双腔气管插管，确保健侧单肺通气，患者取平卧位，一侧胸部垫高 45°，根据肿瘤主体部分决定左、右侧入路，通常多采用右侧胸腔入路，常规切口方案采用助手辅助三臂四孔法[4]。常规消毒铺无菌单，置入镜孔戳卡，充入 CO₂ 建立人工气胸，探查胸膜腔情况，确定无广泛粘连，布置其余 8 mm 操作孔及辅助孔，连接机器人操作臂与各个操作孔，分别置入抓钳、胸腔镜、能量器械(超声刀/“马里兰”钳)，探查肿瘤位置及大小，识别确认重要解剖结构，沿肿物边缘游离，小心保护周围正常组织、血管、神经等，避免出现副损伤。结扎并离断肿瘤全部滋养血管，完整把肿瘤从周围组织游离，装入标本袋，经由操作孔取出。仔细检查手术创面，确认无活动性出血带点，置入胸管(22~24 F)，依次缝合各个操作孔，逐层关胸，鼓肺，术毕。

2.3. 观察指标及评价标准

(1) 一般资料：患者性别、年龄、体重指数(BMI)、美国麻醉医师协会(ASA)评分、病灶最大径(cm)、病灶位置。

(2) 手术时间(Operation Time, OT)：精确记录从手术切皮开始，至皮肤缝合结束的总时长，单位为分钟。

(3) 围术期资料：术中出血量、术后 24 小时胸管引流量、术后胸腔引流管放置时间、术后住院时间、术后并发症。其中，术后引流管拔除指征为：24 小时内胸腔引流液不超过 100 ml，听诊双肺呼吸音清晰，术后胸部 X 线提示术侧肺复张良好，且患者咳嗽时无气体逸出[5]。

2.4. 学习曲线拟合

从手术开展的最初日期起，将所有病例依次按时间顺序先后排序，采用以下公式进行计算：

$$\text{CUSUM}_n = \sum_{i=1}^n (X_i - u)$$

其中, n 代表患者的序号, X_i 代表每例手术总时间, u 代表手术时间的平均值, 第一例病例 CUSUM 值为第一例手术时间 X_1 与全部病例平均手术时间 u 的差值, 即 $CUSUM_1 = X_1 - u$ 。第二例及以后各例 $CUSUM_n$ 值为该例手术时间 X_i 与平均手术时间 u 的差值, 再加上上一例的 CUSUM 值, 即 $CUSUM_n = (X_n - u) + CUSUM_{(n-1)}$, 以此方法持续累积, 直至最后一例 CUSUM 值为 0 [6]。以手术例数为横坐标、CUSUM 值为纵坐标描绘学习曲线散点图, 采用 SPSS 软件对 CUSUM 学习曲线进行拟合。拟合模型检验以 P 值判断, $P < 0.05$ 时曲线拟合成功。以系数 R^2 判断拟合优度, R^2 越接近于 1, 曲线拟合优度越高, R^2 最高的模型即为最佳拟合模型 [7]。以 CUSUM 拟合曲线的顶点作为分界, 将学习曲线划分为不同阶段。曲线顶点所对应的横坐标值, 为跨越学习曲线所需要累积的最低手术例数。

2.5. 统计学方法

使用 SPSS 27.0 统计软件进行数据分析, 确保结果的准确性与可靠性。如果组间数据满足正态分布和方差齐性, 以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 的形式呈现, 组间比较采用独立样本 t 检验, 方差齐性检验运用 Levene 检验。如果组间数据不符合正态分布, 以中位数(范围)的形式呈现, 组间比较采用则使用秩和检验。计数资料则用例数(n)和率(%)表示, 组间差异通过卡方检验进行判断 [8]。当 $P < 0.05$ 时, 认定差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 患者一般资料

本研究共纳入 95 例患者, 其中男性 46 例, 占比 48%; 女性 49 例, 占比 52%。患者年龄范围为 23~74 岁, 平均年龄为 (48.2 ± 14.7) 岁。全部患者均顺利完成手术, 无围手术期死亡病例。按病变位置, 前纵隔肿瘤 83 例, 中纵隔肿瘤 3 例, 后纵隔肿瘤 9 例。肿瘤类型分布广泛, 其中胸腺瘤 26 例, 支气管源性囊肿 20 例, 纵隔囊肿 19 例, 神经源性肿瘤 10 例, 胸腺增生 10 例, 胸腺癌 4 例, 畸胎瘤 2 例, 胸骨后甲状腺肿 2 例, 巨大反应性增生淋巴结 1 例, 低分化鳞状细胞癌 1 例。病灶平均最大径为 (5.28 ± 4.21) cm。

3.2. 手术例数与手术时间 CUSUM 分析

将手术病例按手术顺序进行编号, 对手术时间进行统计分析。平均手术时间 u 为 101.97 ± 41.19 (分钟), 随着手术例数的逐步增加, 手术时间呈现下降趋势(图 1)。采用 SPSS27.0 软件对手术例数和手术时间 CUSUM 值进行拟合, 以 $P \leq 0.05$ 判定曲线拟合成功, 最佳拟合模型以 R^2 判断, 采用 R^2 高者。二次方曲线和三次方曲线拟合模型检验 P 值均小于 0.05, 拟合优度系数 R^2 分别为 0.775 和 0.944, 判断最佳拟合模型为三次方曲线, 拟合优度系数 $R^2 = 0.944$, 拟合方程为 $CUSUM(\text{分钟}) = 0.005X^3 - 1.020X^2 + 51.586X - 115.028$ (X 为手术例数)。拟合曲线在手术例数累积至第 35 例时跨越顶点, 曲线斜率值转为负数, 以此为分界, 将学习曲线划分为两个阶段, 一阶段为学习提升阶段, 二阶段为熟练掌握阶段, 35 例为跨越学习曲线所需要累积的最低手术例数(图 2)。

3.3. 患者一般资料的分析

依据手术时间 CUSUM 累积和分析曲线将手术病例按照曲线斜率值正负转变分成两个阶段, 分别对应学习提升组(A 组)和熟练掌握组(B 组)。经过对比, 两组病例的一般临床资料, 包含年龄、性别、美国麻醉医师协会(ASA)评分、体重指数(BMI)、病灶最大径以及病理类型, 差异均不具有统计学显著性($P > 0.05$) (表 1)。

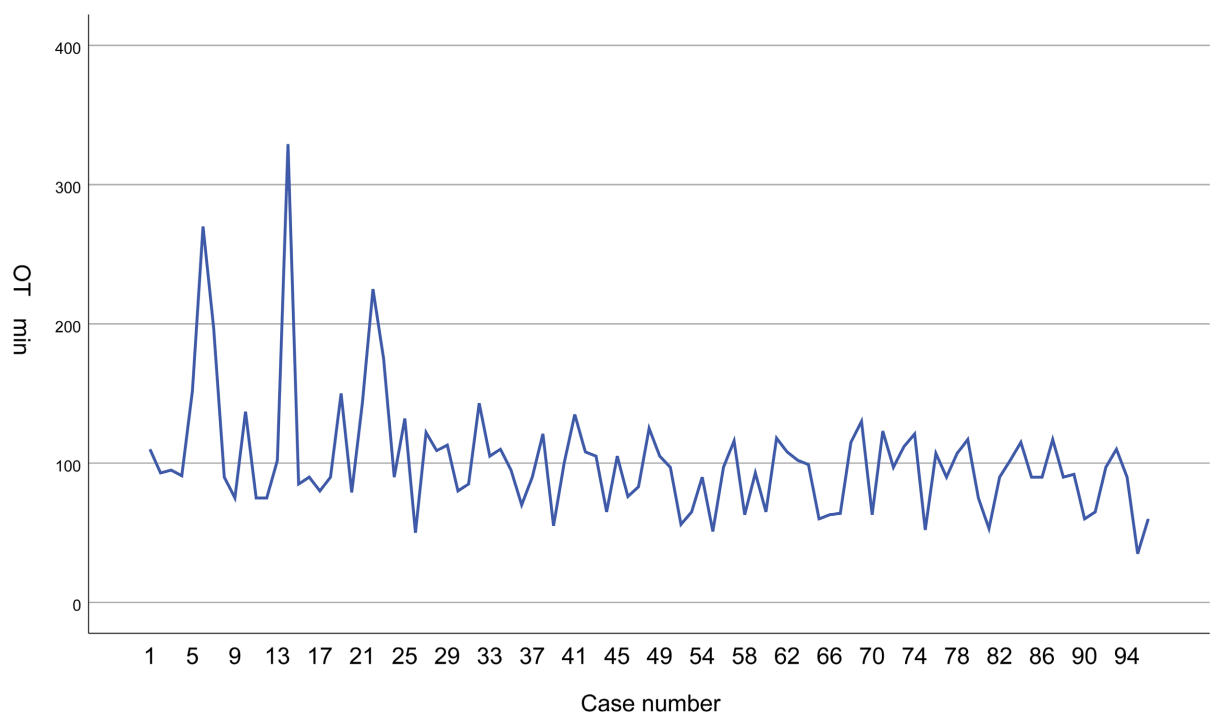


Figure 1. Trends in operative time (OT) for RATS mediastinal tumor resection
图 1. RATS 纵隔肿瘤切除术的手术时间(OT)变化趋势图

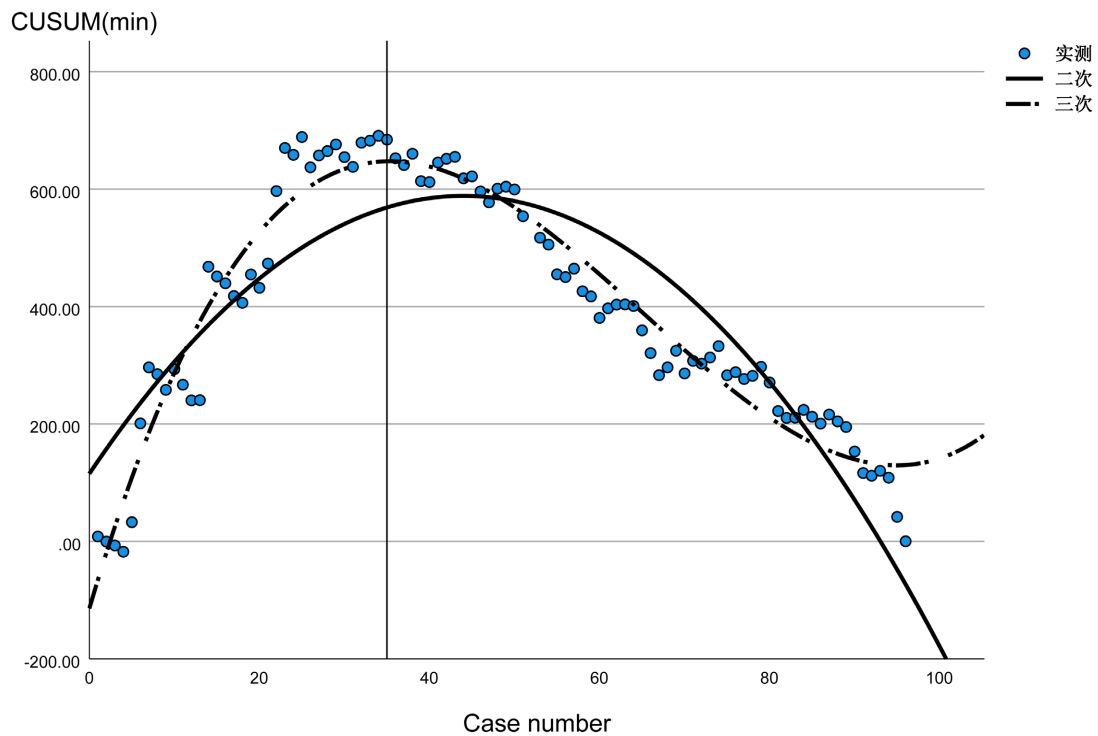


Figure 2. Scatter plot and fitted curve of CUSUM surgical time learning curve for RATS mediastinal tumor resection (the black dotted horizontal line is the best-fit model cubic curve, and the vertical line passes through the apex of the curve, which corresponds to the horizontal coordinates of 35 cases)
图 2. RATS 纵隔肿瘤切除术的 CUSUM 手术时间学习曲线散点图及拟合曲线(黑色点横线为最佳拟合模型三次方曲线, 垂直线经过曲线顶点, 对应横坐标为 35 例)

Table 1. Comparison of general clinical data between the two groups of patients (mean ± standard deviation; cases)
表 1. 两组患者一般临床资料对比(均值 ± 标准差; 例)

临床资料		A 组(n = 35)	B 组(n = 60)	P
年龄(岁)		48.5 ± 16.2	45.8 ± 15.0	>0.05
性别	男	22	24	>0.05
	女	27	22	
BMI (kg/m ²)		23.4 ± 4.7	24.6 ± 3.8	>0.05
ASA 评分		1.9 ± 0.4	1.7 ± 0.5	>0.05
病灶长径(cm)		5.5 ± 4.8	5.1 ± 3.6	>0.05
病理类型	前纵隔	39	44	>0.05
	中纵隔	3	0	
	后纵隔	6	3	
	胸腺瘤	8	18	
	支气管源性囊肿	7	13	
	纵隔囊肿	11	8	
	神经源性肿瘤	3	7	
	胸腺增生	4	6	
	胸腺癌	2	2	
	畸胎瘤	1	1	
	甲状腺肿	0	2	
	反应性增生淋巴结	1	0	
	低分化鳞状细胞癌	1	0	

3.4. 患者围术期资料的分析

对比围手术期的资料, A 组的手术时间显著长于 B 组, 达到 102 (50~299) min, 而 B 组则为 92.5 (35~135) min, 这一差异具有显著性($P < 0.05$)。在术中出血量方面, A 组 10 (5~100) ml 与 B 组 5 (1~20) ml 亦具有显著差异($P < 0.01$)。在术后 24 h 胸管引流量方面, A 组 70 (10~315) ml 与 B 组 40 (0~310) ml 相比, 差异具有显著性($P < 0.05$)。在术后带管时间和术后住院时间方面, A 组 2 (1~5)天与 B 组 2 (1~5)天相比, 并无显著差异($P > 0.05$) (表 2)。

Table 2. Comparison of perioperative data between the two groups of patients [median (range); cases (%)]
表 2. 两组患者围手术期资料对比[中位数(范围); 例(%)]

围术期资料	A 组(n = 35)	B 组(n = 60)	P
手术时间(min)	102 (50~299)	92.5 (35~135)	0.014
术中出血量(ml)	10 (5~100)	5 (1~20)	<0.01
术后 24 h 引流量(ml)	70 (10~315)	40 (0~310)	0.002
术后带管时间(d)	2 (1~5)	2 (1~5)	0.601
术后住院时间(d)	3 (2~8)	3 (2~6)	0.596
术后并发症(%)	2 (5.7)	0 (0)	<0.05

4. 讨论

1999年,由直觉外科(Intuitive Surgical)研制的第一代达芬奇手术机器人诞生,并于2000年通过美国FDA认证应用于外科手术治疗,成为全球首台可在腹腔手术中使用的手术机器人。2001年,国外Yoshino I等报道了第一例成功的RATS纵隔肿瘤切除术[9]。此后,机器人手术系统逐渐开始运用于胸外科疾病的治疗中,并在纵隔肿瘤方面取得了不错的临床疗效。Marulli G等人的研究显示,在治疗胸腺瘤方面,RATS取得了良好的预后,79例接受RATS胸腺瘤切除术的患者均平稳度过了围手术期,5年生存率达到90%[10]。在纵隔手术中,传统胸腔镜手术器械相对僵硬,达芬奇机器人凭借着高清3D视野和灵活机械臂,更精准地分离肿物与周围血管、神经等组织,尤其是涉及到不好控制的角度。Bondner等的研究发现,RATS比VATS能更好地处理胸腺上极[11]。国内也有不少相关研究,王述民团队报道,对比RATS和VATS,RATS有着明显的优势[12],特别是一些较高位置的病灶,由于空间狭小,传统VATS的发挥受到一定限制,而机器人的高分辨放大视野、7个自由度的可动关节则能在受限空间内达到手术区域,机械手臂可以过滤人手颤动,完成精细解剖,降低了术中出血等风险,使患者得到获益。RATS对于后纵隔肿瘤同样有常规VATS无法达到的优势,可以清晰观察到椎间孔结构,避免损伤,减少神经系统并发症的发生率。左后纵隔肿瘤,特别是隐藏于降主动脉后方的肿瘤,机械臂可以通过手腕悬空动作,避免损伤大血管[13]。

在机器人手术系统于外科领域应用愈发广泛的大环境下,怎样在较短时间内从传统开胸手术以及胸腔镜手术顺利转变为开展机器人手术,已然成为外科医生亟待解决的关键问题。达芬奇机器人手术要求术者持续学习、多次实操,并积累一定的手术量,才能够熟练驾驭,让手术技术达到相对稳定的水准。而学习曲线能够最为恰当地将这一外科实践进程予以量化呈现。

本研究采用累计和分析法来描绘学习曲线,累计和分析法(CUSUM)是一种在质量控制、信号检测、时间序列分析等领域广泛应用的统计方法,主要用于监测数据的变化趋势,及时发现数据中的异常波动或系统变化,后被用于分析手术过程的数据变化情况,可以灵敏而精准地发现数据变化趋势[14]。本研究未出现围术期死亡病例,无需运用风险纠正的CUSUM分析[15]。

在本研究中,我们通过CUSUM分析,可以清晰地将学习曲线区分为两个阶段,35例为跨越学习曲线所需要累积的最低手术例数。在术后24h胸腔引流量、术后并发症方面,熟练阶段较学习阶段都有明显的降低或减少,我们考虑这主要归因于随着术者积累的手术例数的增加,术者的手术经验不断积累,RATS操作技巧得到提升并逐步稳定,术者能够精准控制机械臂,在进行组织分离、血管结扎等关键操作时,动作更加流畅、准确,有效减少了不必要的组织损伤,从而使术中出血量明显减少。同时,对纵隔解剖结构在机器人视野下的理解不断加深,术者能够快速、准确地识别解剖标志,清晰判断组织之间的关系,更加自信地进行手术操作,手术时间显著缩短。团队协作也在不断的手术过程中得到优化,各成员之间配合愈发默契,手术流程更加顺畅,大大提高了手术的安全性。

明确学习曲线对于显著提高手术效果具有举足轻重的意义。在RATS纵隔手术学习曲线前期,由于手术风险相对较高,谨慎选择病例至关重要。选择相对简单的肿瘤,如肿瘤体积较小、位置较为表浅且与周围组织粘连不严重的纵隔肿瘤进行手术,术者可以在相对低风险的环境下逐步积累经验。这样既能让术者熟悉机器人手术系统的操作,又能降低手术风险,保障患者安全。同时,加强术前规划是降低手术风险的关键环节。通过详细的影像学检查,全面评估肿瘤的位置、大小、与周围组织的关系等,制定个性化的手术方案。度过学习曲线后,术者的操作技能和经验得到了显著提升,可以有信心地开展更复杂的手术。对于侵犯周围组织、与重要血管关系密切的肿瘤,术者凭借熟练的操作技巧和丰富的经验,能够更加精细地进行组织分离和血管处理,从而扩大机器人手术的适应范围。这意味着更多患者可以受

益于机器人手术的微创优势, 减少手术创伤, 缩短术后恢复时间, 提高患者的生活质量和治疗效果。

目前国内外对于机器人手术学习曲线的报道涉及各个外科领域, 在肝胆外科, Shi Y 等报道过大样本量的机器人辅助下胰腺手术的学习曲线, 得到了 100 例和 250 例两个阶段节点[16]。妇科领域, 张素伟等的研究发现, 实施机器人辅助腹腔镜下子宫内膜癌分期手术的医生, 累积手术例数为 20 例可熟练掌握这项技术[17]。秦倩等指出, 达芬奇机器人手术系统辅助直肠癌根治术学习曲线可分为学习提高、熟练掌握 2 个阶段; 23 例可能为跨越学习曲线所需要累积的最少手术例数[18]。关于本研究同类手术的报道较少, 刘博等指出[19], 对于经验丰富的手术者, 开展 RATS 纵隔肿瘤切除手术, 经过约 20 例手术可以跨过学习曲线。本研究确定的 RATS 纵隔手术的学习曲线例数约为 35 例, 我们考虑有多重原因。可能是手术团队的经验差异, 经验丰富的手术团队, 成员之间配合默契, 术者对各种手术情况的应对能力较强, 可能会缩短学习曲线。例如, 在处理术中突发出血等紧急情况时, 经验丰富的主刀医师能够迅速做出反应, 采取有效的止血措施, 避免因慌乱导致手术时间延长或手术风险增加。病例选择标准的不同也会对学习曲线产生影响。若研究中纳入的病例以复杂肿瘤为主, 手术难度大, 术者需要更多的手术例数来积累经验, 学习曲线可能会相应延长; 反之, 若纳入的多为简单病例, 学习曲线则可能缩短。国内研究由于样本量相对较小, 学习曲线例数的确定存在一定的不确定性和偏差。小样本研究可能无法全面涵盖各种类型的纵隔肿瘤和不同手术难度的病例, 导致学习曲线的评估不够准确。未来迫切需要多中心、大样本的研究, 综合考虑不同地区、不同医院的手术情况, 进一步精准明确 RATS 纵隔手术学习曲线的共性和差异, 为该技术的推广和应用提供更可靠的依据。

基于本研究结果, 对于开展 RATS 纵隔手术的术者培训, 初期的全面、系统理论学习和模拟训练至关重要。在理论学习阶段, 术者应深入了解机器人手术系统的基本原理, 掌握手术相关的解剖学知识, 尤其是纵隔解剖结构在机器人视野下的特点。模拟训练可以让术者在虚拟环境中进行手术操作, 熟悉操作控制台, 练习各种手术动作, 如组织分离、缝合、打结等, 提高手眼协调能力和操作熟练度。通过模拟训练, 术者还可以在无风险的环境下应对各种虚拟的手术突发情况, 积累应对经验。

在临床实践中, 严格按照学习曲线规律, 逐步、有序地增加手术难度是保障患者安全和术者学习效果的关键。在经验丰富的医师指导下, 术者从简单病例开始手术, 每完成一例手术, 都要进行总结和反思, 分析手术过程中的优点和不足之处, 不断改进自己的操作技巧。同时, 定期组织手术回顾和总结会议, 术者之间可以分享手术经验, 共同探讨手术中遇到的问题和解决方案。这不仅有助于术者个人的成长, 还能促进整个手术团队的技术提升。通过不断优化手术技巧和流程, 持续提高手术质量, 使 RATS 纵隔手术能够更加安全、有效地开展, 为更多患者带来福音。

5. 结论

本研究基于 CUSUM 分析, 发现 RATS 纵隔手术的学习曲线可分为学习提升和熟练掌握两个阶段, 过学习曲线顶点所需的病例数至少为 35 例, 手术时间、术中出血量可作为学习曲线的重要衡量指标。对计划开展 RATS 纵隔手术的手术医师, 手术开展前应做好前期准备工作, 把握手术指征, 以期更快地跨过学习曲线, 达到熟练掌握阶段。

参考文献

- [1] Mao, Y., Liang, H., Deng, S., Qiu, Y., Zhou, Y., Chen, H., *et al.* (2021) Non-Intubated Video-Assisted Thoracic Surgery for Subxiphoid Anterior Mediastinal Tumor Resection. *Annals of Translational Medicine*, 9, 403-403. <https://doi.org/10.21037/atm-20-6125>
- [2] 贾昱欣, 张亚杰, 李鹤成. 机器人手术在胸外科的应用现状与进展[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2022, 3(5): 367-375.

- [3] Durrand, J.W., Moore, J. and Danjoux, G. (2021) Prehabilitation and Preparation for Surgery: Has the Digital Revolution Arrived? *Anaesthesia*, **77**, 635-639. <https://doi.org/10.1111/anae.15622>
- [4] 中国医师协会医学机器人医师分会胸外科专业委员会筹备组, 谭群友, 陶绍霖, 等. 机器人辅助纵隔肿瘤手术中国专家共识(2019版) [J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2020, 27(2): 117-125.
- [5] 陈伟钢, 张昊, 武文斌, 等. 单向式与常规单孔胸腔镜肺叶切除术后早期拔除胸腔引流管的回顾性队列研究[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2023, 30(1): 71-77.
- [6] Wittenberg, P. (2022) Modeling the Patient Mix for Risk-Adjusted CUSUM Charts. *Statistical Methods in Medical Research*, **31**, 779-800. <https://doi.org/10.1177/09622802211053205>
- [7] Camirand Lemyre, F., Chalifoux, K., Desharnais, B. and Mireault, P. (2021) Squaring Things up with R2: What It Is and What It Can (and Cannot) Tell You. *Journal of Analytical Toxicology*, **46**, 443-448. <https://doi.org/10.1093/jat/bkab036>
- [8] Liu, Q. and Wang, L. (2020) T-Test and ANOVA for Data with Ceiling and/or Floor Effects. *Behavior Research Methods*, **53**, 264-277. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01407-2>
- [9] Yoshino, I., Hashizume, M., Shimada, M., Tomikawa, M., Tomiyasu, M., Suemitsu, R., et al. (2001) Thoracoscopic Thymectomy with the Da Vinci Computer-Enhanced Surgical System. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **122**, 783-785. <https://doi.org/10.1067/mtc.2001.115231>
- [10] Marulli, G., Rea, F., Melfi, F., et al. (2012) Robot-Aided Thoracoscopic Thymectomy for Early-Stage Thymoma: A Multicenter European Study. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **144**, 1125-1132.
- [11] Bodner, J., Wykypiel, H., Greiner, A., Kirchmayr, W., Freund, M.C., Margreiter, R., et al. (2004) Early Experience with Robot-Assisted Surgery for Mediastinal Masses. *The Annals of Thoracic Surgery*, **78**, 259-265. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2004.02.006>
- [12] 丁仁泉, 童向东, 许世广, 等. 达芬奇机器人手术系统与电视胸腔镜在胸内纵隔疾病手术中的对比研究[J]. 中国肺癌杂志, 2014, 17(7): 557-562.
- [13] 杨煜, 章雪飞, 茅腾, 等. 达芬奇机器人辅助纵隔肿瘤切除术 339 例近期疗效分析: 一项单中心回顾性病例对照研究[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2020, 36(11): 660-663.
- [14] Bolsin, S. (2000) The Use of the CUSUM Technique in the Assessment of Trainee Competence in New Procedures. *International Journal for Quality in Health Care*, **12**, 433-438. <https://doi.org/10.1093/intqhc/12.5.433>
- [15] Biswas, P. and Kalbfleisch, J.D. (2008) A Risk-Adjusted CUSUM in Continuous Time Based on the Cox Model. *Statistics in Medicine*, **27**, 3382-3406. <https://doi.org/10.1002/sim.3216>
- [16] Shi, Y., Wang, W., Qiu, W., Zhao, S., Wang, J., Weng, Y., et al. (2019) Learning Curve from 450 Cases of Robot-Assisted Pancreaticoduodenectomy in a High-Volume Pancreatic Center: Optimization of Operative Procedure and a Retrospective Study. *Annals of Surgery*, **274**, e1277-e1283. <https://doi.org/10.1097/sla.0000000000003664>
- [17] 张素伟, 宫迎迎, 王云飞, 等. 单中心单人机器人辅助腹腔镜子宫内膜癌分期手术学习曲线及临床分析[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2022, 3(6): 471-476.
- [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] 刘博, 汪明敏, 许世广, 等. 达芬奇机器人纵隔肿瘤切除术的学习曲线[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2017, 24(2): 127-131.