

卓越医见:手术机器人和机器人手术

DOI:10.13406/j.cnki.cyx.003936

机器人辅助与胸腔镜经剑突下前纵隔肿瘤切除术疗效对比

柳林,张臻,朱祎曜,朱幸汎

(南京医科大学附属无锡人民医院胸外科,无锡 224000)

【摘要】目的:探讨机器人辅助胸腔镜手术(robot-assisted thoracoscopic surgery, RATS)与电视胸腔镜手术(video-assisted thoracoscopic surgery, VATS)经剑突下入路前纵隔肿瘤切除术的围术期疗效,系统评估2种术式在术中解剖清扫质量及术后恢复指标方面的差异,旨在为临床术式选择提供具有实践参考价值的循证依据。**方法:**回顾性分析本中心自2022年4月至2025年4月接受RATS或VATS经剑突下前纵隔肿瘤切除术的70例患者,系统收集并比较术前一般资料、术中操作指标(手术时间、出血量、胸腺清扫完整性、术野干扰评分)及术后恢复指标(住院时间、术后疼痛评分、CT脂肪残留评分、术后并发症、住院总费用)。术中与术后关键操作质量指标采用标准化评分体系进行评估。**结果:**RATS组在胸腺清扫完整性($P=0.047$)、术野干扰评分($P=0.026$)、术后CT脂肪残留评分($P=0.022$)及术后第1天疼痛评分($P=0.003$)方面优于VATS组。RATS组手术时间在校正Docking时间后与VATS组相比无明显差异($P=0.206$),但住院总费用明显高于VATS组($P<0.001$)。**结论:**机器人辅助剑突下前纵隔肿瘤切除术在术中解剖清扫质量、术野暴露清晰度及术后早期疼痛控制等方面更具优势,尤其适用于胸腺癌及合并重症肌无力的胸腺瘤等对胸腺清扫完整性要求较高的患者群体。

【关键词】机器人辅助胸腔镜手术;胸腔镜手术;剑突下入路;前纵隔肿瘤;围术期指标;术中清扫质量

【中图分类号】R655.2

【文献标志码】A

Perioperative outcomes of robot-assisted versus thoracoscopic subxiphoid resection of anterior mediastinal tumors

Liu Lin, Zhang Zhen, Zhu Yiyao, Zhu Xingfeng

(Department of Thoracic Surgery, Wuxi People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University)

【Abstract】Objective: To investigate the perioperative outcomes of robot-assisted thoracoscopic surgery (RATS) versus video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) via the subxiphoid approach for resection of anterior mediastinal tumors, to compare these two surgical procedures from the aspects of the quality of intraoperative anatomical dissection and postoperative recovery indicators, and to provide evidence-based support for the selection of surgical procedures in clinical practice. **Methods:** A retrospective analysis was performed for 70 patients who underwent RATS or VATS via the subxiphoid approach for anterior mediastinal tumor resection in our center from April 2022 to April 2025, and related data were collected and compared, including general information, intraoperative parameters (time of operation, blood loss, completeness of thymectomy, and surgical field interference score), and postoperative recovery indicators (length of hospital stay, postoperative pain score, CT-based fat residue score, postoperative complications, and total hospital costs). Standardized scoring systems were used to assess the key intraoperative and postoperative quality indicators. **Results:** Compared with the VATS group, the RATS group had significantly better outcomes in completeness of thymectomy ($P=0.047$), surgical field interference score ($P=0.026$), postoperative CT-based fat residue score ($P=0.022$), and pain score on day 1 after surgery ($P=0.003$). After adjustment for docking time, there was no significant difference in the time of operation between the RATS group and the VATS group ($P=0.206$), while the RATS group had significantly higher total hospital costs than the RATS group ($P<0.001$). **Conclusion:** Robot-assisted subxiphoid resection of anterior mediastinal tumors have advantages in the quality of intraoperative anatomical dissection, surgical field exposure, and early postoperative pain control, especially in patients with thymic carcinoma or thymoma comorbid with myasthenia gravis who have high requirements for the completeness of thymectomy.

作者介绍:柳林, Email: liulin940531@163.com,

研究方向:胸外科微创手术治疗。

通信作者:朱幸汎, Email: xingfengzhu@126.com。

优先出版: <https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20250915.1421.002>

(2025-09-16)

【Key words】 robot-assisted thoracoscopic surgery; video-assisted thoracoscopic surgery; subxiphoid approach; anterior mediastinal tumor; perioperative indicators; intraoperative dissection quality

纵隔肿瘤是胸外科的常见疾病之一,其中前纵隔病变占据所有纵隔肿瘤的50%~60%,在中青年人群中尤为多见^[1]。前纵隔肿瘤常见的病理类型包括胸腺瘤、胸腺囊肿及畸胎瘤等。由于其特殊的解剖位置,手术切除仍是多数前纵隔病变明确诊断后的首选治疗方式^[2]。传统的前纵隔肿瘤手术方式多采用经正中劈开胸骨入路,虽可实现较好暴露,但创伤较大,恢复时间长,且术后并发症发生率较高,明显影响患者生活质量^[3]。随着微创技术的快速发展,电视胸腔镜手术(video-assisted thoracoscopic surgery, VATS)和机器人辅助胸腔镜手术(robot-assisted thoracoscopic surgery, RATS)在前纵隔肿瘤外科治疗中的应用日益广泛。Pan JM等^[4]的研究表明,VATS和RATS均可在保证切除效果的同时,明显缩短住院时间、减轻术后疼痛、降低围术期并发症发生率。其中,达芬奇机器人手术系统凭借其操作精细、三维高清视野及机械臂高灵活性等特性,在复杂病变的处理、术野精细操作方面展现出独特优势。

2002年,Hsu CP等^[5]首次报道了经胸腔镜剑突下入路进行前纵隔肿瘤切除术,该入路能够有效暴露包括无名静脉、心膈角、胸腺上极在内的复杂解剖区域。其独特的解剖优势可以减少术中对肺组织和肋间神经的损伤,改善了术后疼痛体验,加快患者的术后恢复,在临床实践中获得胸外科医师的广泛认可^[6]。

目前国内外相关研究多聚焦于手术时间、术中出血量及住院时间等常规围术期指标,而对于术中清扫质量、术野干扰程度及术后CT脂肪残留等反映操作流畅性与解剖精细性的指标,仍缺乏系统性数据分析^[6-7]。本研究回顾性分析了本中心接受RATS或VATS经剑突下前纵隔肿瘤切除术患者的临床资料,在分析常规围术期指标的基础上,创新

性地引入了3项量化评分体系,包括术中胸腺清扫完整性评分、术中视野干扰评分及术后CT脂肪残留评分,从多维度评估2种术式在解剖清扫范围、视野暴露稳定性及术后影像学残留等方面的差异。研究旨在通过标准化指标比较RATS与VATS在解剖清扫质量与术后恢复方面的差异,为前纵隔肿瘤手术方式的个体化选择提供更加系统、客观的循证依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料和分组

回顾性分析自2022年4月至2025年4月,于本中心胸外科同一医疗组经剑突下入路行前纵隔肿瘤切除术患者的临床病理资料。根据手术方式将患者分为RATS组和VATS组。系统收集2组患者的术前一般资料,包括年龄、性别、身高、体质量、基础疾病史、肿瘤病理类型及大小等;术中操作指标包括手术时间、Docking时间(指RATS组机械臂对接所需时间)、术中出血量、术中胸腺清扫完整性评分(表1)、术中视野干扰评分(表2);术后恢复指标包括总引流量、术后住院时间、住院费用、术后第1天疼痛评分、术后白细胞计数、血红蛋白与白蛋白变化、术后CT脂肪残留评分(表3)及术后并发症等,并进行统计分析比较。

本研究所使用的3项量化评分体系(表1~3)的评分标准主要参考《机器人辅助纵隔肿瘤手术中国专家共识(2019版)》中关于前纵隔清扫范围与重要解剖标志的操作标准与GOALS评分体系(Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills)中关于操作效率与术野清晰度的评分原则,并结合既往相关研究及本中心临床实践的经验^[8-10]。评分均由具有高级职称的胸外科医师独立、双盲完成,并测算评分一致性指标,以验证评分体系在不同术式评估中的内部稳定性与可重复性。

纳入标准:①经胸部CT等相关影像学检查明确诊断为前纵隔肿瘤;②采用剑突下单一入路行RATS或VATS手术;③术前评估无手术或麻醉禁忌证。

表1 术中胸腺清扫完整性评分标准

等级	定义	术中表现	判定依据
1分(完全清扫)	胸腺完整切除,无断裂,伴双侧心膈角脂肪清除	清扫达左无名静脉后方、双侧膈神经、双心膈角及气管旁四区	标本结构完整,无碎裂,术野回顾未见明显残留脂肪组织
2分(基本清扫)	胸腺大体完整切除,但部分关键解剖区(如左心膈角、无名静脉后、气管旁)清扫不充分	清扫未达左无名静脉后方或左上极,单侧心膈角或气管旁区域脂肪清扫不足	标本部分缺失或组织不完整,术野回顾有局部可疑脂肪残留区域
3分(不完全清扫)	胸腺需分块切除,标本碎片化,结构不完整,术野脂肪残留明显	仅切除胸腺体部或术野一侧,未触及心膈角、气管旁及无名静脉后等关键区	标本明显碎裂,术野回顾显示多区域未清扫

注:本评分依据手术记录、病理标本及术中视频综合判定; $\kappa=0.75(0.57\sim0.89)$

表2 术中视野干扰评分标准

分数	术中表现	判定依据	示例
0分(无干扰)	全程术野清晰,结构暴露充分,无需体位调整或器械额外牵引	视野清晰持续时间>95%;器械操作无限制	镜面无污染,术野稳定,解剖层次始终清晰,镜头无需清洁
1分(轻度干扰)	间断性遮挡,偶有起雾或少量出血,经微调可恢复视野	累计干扰时间≤3 min;术中需≤1次镜头清洁或牵拉调整	局部渗血短暂遮挡,镜头轻度模糊或起雾,冲洗后恢复
2分(中度干扰)	干扰持续或反复,明显影响操作节奏但不致术中中断	干扰时间>3 min,术中≥2次镜头清洁或需调整镜头角度≥2次	局部出血频繁,反复雾化,需多次调整镜头或牵拉
3分(重度干扰)	持续遮挡致操作无法继续,需暂停手术或更换入路重建视野	操作中中断时间>5 min,或术中需新开辅助孔辅助暴露	镜头严重污染、结构塌陷或术野广泛模糊,需中止操作清除障碍

注:本评分依据手术记录、术中视频综合判定;κ=0.72(0.58~0.86)

表3 术后CT脂肪残留评分标准

分数	定义	CT表现	判定依据
1分(完全清扫)	前纵隔脂肪组织较术前明显减少,未见脂肪密度异常影	前纵隔结构对称,气管旁、心膈角、无名静脉后方无明显脂肪残留	CT提示残留脂肪厚度<1 cm,解剖间隙边界清晰
2分(轻度残留)	局灶性条带状残留脂肪影像,分布受限	可见单侧心膈角或左无名静脉后方少量脂肪残留	CT提示脂肪残留厚度1~2 cm,分布于1~2个区域,未形成团块结构
3分(明显残留)	多区域或片状团块状残留脂肪组织,分布广泛	气管旁、双侧心膈角及无名静脉后方存在密集团块状脂肪低密度影,分布广泛	CT提示脂肪残留厚度>2 cm,结构杂乱,清扫区域被脂肪影部分或全部占据

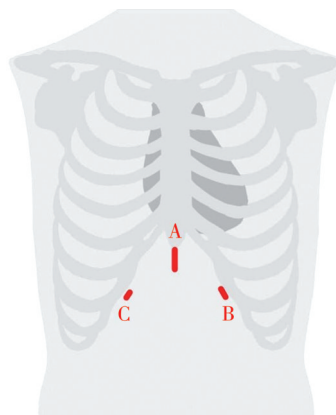
注:本评分依据术后复查的胸部CT图像完成判定;κ=0.81(0.68~0.93)

排除标准:①同期合并其他重大手术或多人路联合手术;②术中转为开胸手术的患者;③术中发现肿瘤侵犯重要脏器无法完整切除;④随访资料不全者。

1.2 手术方法

1.2.1 RATS组 常规采用全身麻醉单腔气管插管,患者取平卧位,双上肢外展,两腿分开,常规消毒铺巾。于剑突下作2 cm纵切口(A),分离部分胸骨后间隙后置入切口保护器,于两侧锁骨中线肋弓下、距剑突下切口5~8 cm处分别取约8 mm的切口(B、C),置入Trocar作为操作孔,于剑突下孔切口保护器外套上手套密闭并置入Trocar作为观察孔,接入CO₂(压力6~8 mmHg)建立人工气胸。观察孔内接入镜头后,左侧臂操作孔安装有孔双极镊,右侧臂可根据术者需要选择安装电凝钩、马里兰钳、电剪刀或超声刀等器械。从剑突下打开双侧纵隔胸膜以扩大手术视野及操作空间,向上打开胸骨后间隙直至甲状腺下极,自下向上于心包表面游离,清扫两侧心膈角脂肪组织,沿两侧膈神经内侧向上游离至无名静脉下缘,离断胸腺静脉并向上游离胸腺上极至甲状腺下极,完整切除包括肿瘤在内的全部胸腺组织及周围脂肪组织。术毕经剑突下孔取出标本后留置纵隔引流管接负压引流,确定双肺充分复张后关闭切口。见图1、图2。

1.2.2 VATS组 除机械臂安装操作以外,VATS组的麻醉方式、体位、手术方式及切口选择等均与RATS组一致。见图1、图3。



注:A为剑突下切口,B、C为两侧肋弓下切口

图1 切口选择

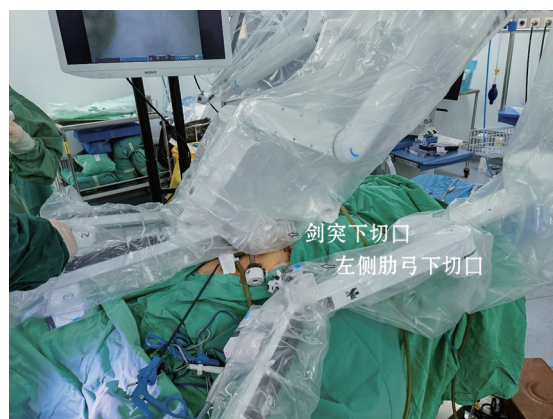


图2 RATS组

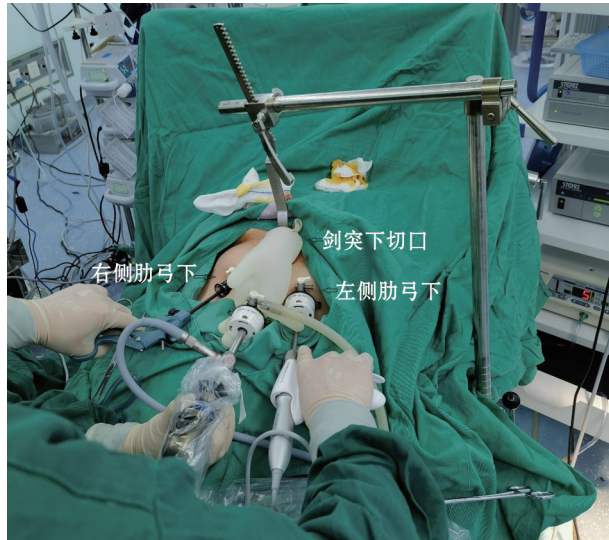


图3 VATS组

1.3 术后管理

2组患者术后常规予以止痛、化痰、雾化等对症治疗措施,鼓励患者早期下床活动并进行呼吸功能锻炼。疼痛评估采用视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS),记录术后第1天的疼痛评分峰值:0分为无痛,1~3分为轻度可耐性疼痛,4~6分为中度影响睡眠但可忍受的疼痛,7~10分为剧烈难以忍受的疼痛^[11]。所有患者术后均于1个月内门诊随访并行胸部CT检查。

1.4 统计学方法

采用SPSS 23.0进行统计分析。正态分布的计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验

或 *t'* 检验;非正态分布的计量资料用中位数(四分位间距)即 $[M_d(P_{25}, P_{75})]$ 表示,采用Mann-Whitney *U* 检验。计数资料以例数(百分比)(*n*,%)表示,组间比较使用卡方检验或Fisher精确概率法。采用Spearman等级相关分析评估术中与术后各连续变量之间的相互关系,计算相关系数 *r* 及双侧检验 *P* 值,当|*r*|在0.3~0.8时认为有相关性,当|*r*|>0.8时认为有强相关性。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

多等级评分数据(包括胸腺清扫完整性评分、术野干扰评分、CT脂肪残留评分)由2位具高级职称的胸外科医师在盲法条件下独立完成,采用R软件(4.3.0)irr包计算Cohen's Kappa系数,评估评分者间一致性。Kappa系数≥0.7视为一致性良好。

1.5 伦理审查

本研究已经通过江苏省无锡市人民医院伦理委员会批准,伦理批件号:KY25126。所有患者术前均签署手术知情同意书。

2 结果

2.1 术前一般资料

共纳入70例患者,其中RATS组23例,VATS组47例。2组在年龄、性别、体质指数(boby mass index, BMI)、基础疾病(如高血压、糖尿病、冠心病)及肿瘤类型和大小等术前一般资料方面差异均无统计学意义($P>0.05$),具有良好的可比性。见表4。

2.2 术中操作指标

RATS组的手术时间明显高于VATS组($P=0.001$),但在校正Docking时间后,2组手术时间差异无统计学意义($P=$

表4 2组患者一般资料比较 $[\bar{x} \pm s; n, \% ; M_d(P_{25}, P_{75})]$

临床资料	RATS组(<i>n</i> =23)	VATS组(<i>n</i> =47)	$t/\chi^2/Z$ 值	<i>P</i> 值
年龄(岁)	52.78 ± 12.14	57.51 ± 11.34	-1.564	0.126
BMI(kg/m ²)	24.37 ± 3.09	24.82 ± 3.23	-0.561	0.577
性别			0.000	1.000
男	12(52.17)	24(51.06)		
女	11(47.83)	23(48.94)		
吸烟	4(17.39)	10(21.28)	-	1.000
饮酒	2(8.70)	6(12.77)	-	1.000
高血压	5(21.74)	10(21.28)	-	1.000
糖尿病	2(8.70)	3(6.38)	-	1.000
冠心病	0(0.00)	2(4.26)	-	1.000
重症肌无力	1(4.35)	2(4.26)	-	1.000
肿瘤直径(mm)	30.00(25.00, 35.50)	32.00(21.00, 37.50)	0.340	0.735
肿瘤类型			0.390	0.823
胸腺囊肿	9(39.13)	22(46.81)		
胸腺瘤	12(52.17)	21(44.68)		
胸腺癌	2(8.70)	4(8.51)		

注:-,采用Fisher确切概率法

0.206)。2 组间术中出血量差异无统计学意义($P=0.055$)。在胸腺清扫完整性评分方面,RATS 组明显优于 VATS 组($P=0.047$),效应量为中等效应,其完全清扫率(评分为 1)达 78.26%,而 VATS 组为 48.94%。术中视野干扰评分同样显示 RATS 组优势更为明显($P=0.026$),效应量为中等效应,其无干扰率(评分为 0)为 47.83%,明显高于 VATS 组的 17.02%。见表 5。

2.3 术后恢复指标

2 组患者术后总引流量、住院时间、术后第 1 天白细胞数、血红蛋白及白蛋白变化等指标比较均未发现明显差异($P>0.05$)。住院总费用方面,RATS 组明显高于 VATS 组($P<0.001$)。RATS 组术后第 1 天 VAS 疼痛评分明显低于 VATS 组(2.43 ± 0.84 vs. 3.19 ± 1.06 , $P=0.003$),效应量为中等效应,提示其在早期疼痛控制方面具有优势。术后 CT 脂肪残留评分方面,RATS 组同样优于 VATS 组($P=0.022$),效应量为中

等效应,其完全清扫率(评分为 1)达 78.26%,高于 VATS 组的 46.81%。术后并发症方面,RATS 组 1 例发生肺部感染,VATS 组 3 例肺部感染、2 例肺不张,但 2 组总并发症发生率差异无统计学意义(4.35% vs. 10.64%, $P=0.656$)。所有并发症经对症治疗后均顺利出院。见表 6。

2.4 Spearman 相关性分析

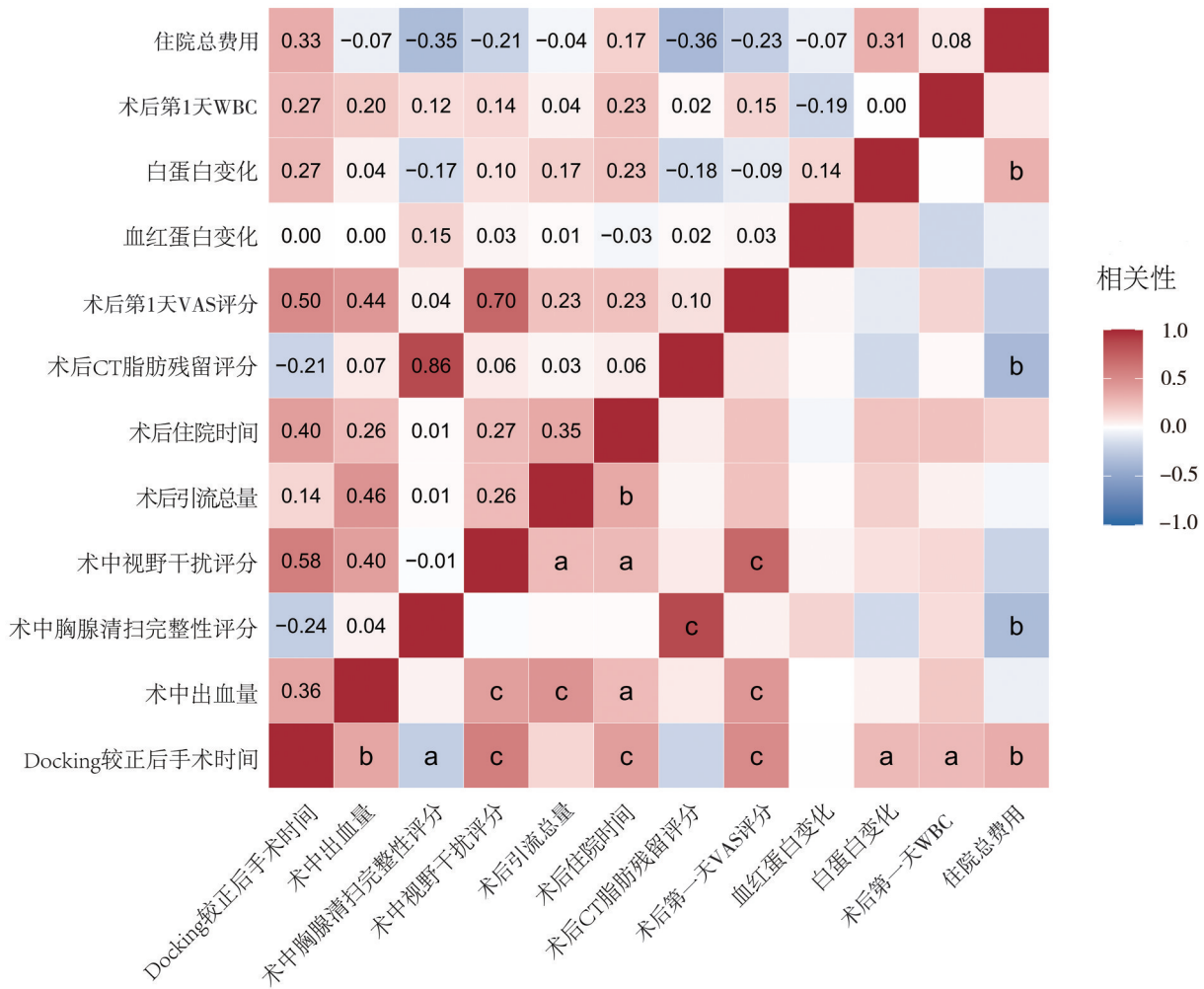
胸腺切除完整性评分与术后 CT 脂肪残留评分呈正相关($r=0.860$, $P<0.001$),提示两者在评估手术解剖清扫程度方面具有高度一致性。术野干扰评分与术后第 1 天 VAS 疼痛评分呈正相关($r=0.700$, $P<0.001$),表明手术视野受限越严重,患者术后疼痛感越明显。手术时间与术后第 1 天 VAS 也呈正相关($r=0.580$, $P<0.001$),进一步支持手术时间延长可能加重患者术后疼痛的观点。此外,术野干扰评分与胸腺切除完整性评分之间无相关性($r=-0.010$, $P>0.05$),表明二者侧重的解剖学评估维度不同。见图 4。

表 5 2 组患者术中操作指标比较 [$M_d(P_{25}, P_{75}); \bar{x} \pm s; n, \%$]

临床资料	RATS 组 (n=23)	VATS 组 (n=47)	Z/t/ χ^2 值	P 值
手术时间(min)	133.00(94.50, 152.50)	90.00(76.50, 117.50)	3.410	0.001
Docking 校正后手术时间(min)	113.00(77.00, 125.00)	90.00(76.50, 117.50)	1.270	0.206
术中出血量(mL)	25.22 ± 12.29	32.34 ± 15.67	-1.800	0.055
术中胸腺清扫完整性评分(分)			6.100	0.047
1	18(78.26)	23(48.94)		
2	5(21.74)	20(42.55)		
3	0(0.00)	4(8.51)		
术中视野干扰评分(分)			9.240	0.026
0	11(47.83)	8(17.02)		
1	10(43.48)	24(51.06)		
2	2(8.70)	12(25.53)		
3	0(0.00)	3(6.38)		

表 6 2 组患者术后恢复指标比较 [$\bar{x} \pm s; M_d(P_{25}, P_{75}); n, \%$]

临床资料	RATS 组 (n=23)	VATS 组 (n=47)	t/Z/ χ^2 值	P 值
术后引流总量(mL)	302.39 ± 144.69	342.98 ± 162.34	-0.790	0.431
术后住院时间(d)	4.00(4.00, 6.00)	5.00(4.00, 6.00)	-0.450	0.650
术后第 1 天 VAS 评分(分)	2.43 ± 0.84	3.19 ± 1.06	-2.860	0.003
血红蛋白变化(g/L)	4.00(3.00, 5.00)	5.00(3.00, 8.00)	-1.490	0.134
白蛋白变化(g/L)	2.10(0.90, 3.85)	1.70(0.60, 3.00)	1.480	0.140
术后第 1 天 WBC($10^9/L$)	10.97 ± 2.55	10.86 ± 2.72	0.170	0.868
术后 CT 脂肪残留评分(分)			7.610	0.022
1	18(78.26)	22(46.81)		
2	5(21.74)	17(36.17)		
3	0(0.00)	8(17.02)		
术后并发症	1(4.35)	5(10.64)		0.656
住院总费用(万元)	6.12(5.66, 6.36)	2.89(2.61, 3.23)	6.760	<0.001



注:横纵坐标为各指标名称,色块深浅表示相关强度,红色代表正相关,蓝色代表负相关。格内数字为相关系数。字母表示统计显著性:a,与对照组比较, $P<0.05$;b,与对照组比较, $P<0.01$;c,与对照组比较, $P<0.001$

图4 Spearman相关性热图

3 讨论

随着达芬奇机器人手术系统的不断迭代升级,其在前纵隔肿瘤切除术中的临床应用越来越广泛,特别是在经剑突下入路这类狭小空间的复杂手术操作时,显示出独特的操作优势和应用价值^[6,12]。与VATS相比,RATS具备以下特点^[13]:首先,3D成像系统可以帮助术者更清晰地识别无名静脉后等复杂区域结构,特别是在处理粘连明显或组织界限不清的病例中,视野优势更为明显。其次,EndoWrist器械模拟人类手腕结构,支持7个维度的360°旋转,使得术者能够多角度精准解剖血管、神经与肿瘤组织,而传统胸腔镜手术通常受限于单一方向入路,操作灵活性不足。此外,机器人系统的震颤抑制机

制可有效降低因术者生理性震颤带来的误操作,从而提升术中操作的精准度与安全性。

机器人辅助前纵隔肿瘤切除术目前多采用右侧胸腔入路,剑突下入路的报道相对较少,这主要受限于以下因素^[14-15]。一方面,剑突下入路需由下向上建立较长的胸骨后操作通道,传统三孔法通常需借助胸腔镜辅助初步游离,方可完成机器人系统的Docking,不但延长了术前准备时间,还削弱了机器人系统本应具备的操作优势。且剑突下空间狭窄易致镜头污染、频繁清理镜头,进一步延长手术时间。另一方面,对于部分肥胖或腹部膨隆的患者,机器人机械臂安装后若不能有效辅助扩张胸骨后间隙,镜头视角及操作受限明显,影响术中精准解剖与关键区域暴露。

针对上述因素,本中心逐步探索并优化了机器

人剑突下入路的操作流程。首先,术者在剑突下作 2 cm 纵行切口,充分游离剑突下空间后置入单孔多通道切口保护器(或使用切口保护器+手套+穿刺鞘组合),然后于两侧肋弓下分别建立 8 mm 操作孔。此方案优化了传统流程中需先由胸腔镜完成部分游离的步骤,使机器人系统自剑突下游离阶段即能介入,充分发挥其在狭小空间内精细操作的优势。与此同时,由于剑突下空间在直视条件下建立,减少了盲视野钝性分离所致的组织损伤,减少了创面出血,镜头污染干预频率降低,术野可视性明显提升,从而优化了术中操作体验并缩短整体手术时间。通过将剑突下切口长度延长至约 2 cm,术者可获得更大的自由度去调节机器人镜头位置,术野暴露质量明显改善。另外,针对肥胖、腹部膨隆的患者,术者在装机前将手术床调整为头高脚低位,以减少术中患者膨隆的腹部对机械臂造成的干扰,进一步扩大手术操作空间。通过上述改良措施,本中心在临床应用中初步解决了机器人剑突下入路手术中视野不佳、操作受限等问题,相关经验可为后续技术优化与推广应用提供借鉴。

本研究结果显示 RATS 组在胸腺清扫完整性评分及术后 CT 脂肪残留评分方面可以达到更高的完全清扫比例。通过 Spearman 相关性分析发现,胸腺清扫完整性评分与术后 CT 脂肪残留评分高度正相关($r=0.860, P<0.001$),表明术中解剖清扫越彻底,术后影像学残留越少,这与 Hess NR 等^[16]报道 RATS 具有精细解剖优势的结论相一致。从手术过程的主观体验来看,机器人系统在无名静脉后、心膈角等部位的操作确实更加灵活,术野暴露更稳定,尤其在处理伴重症肌无力或胸腺癌的病例时,这种优势更为突出,这可能为该类患者带来更长远的疾病控制获益,但目前尚缺乏长期随访数据支持验证。

自 2002 年 Hsu CP 等^[5]首次提出剑突下入路胸腺切除术以来,该路径凭借其优越的术野暴露逐渐被接受。类似的视野优势也体现在 RATS 与 VATS 之间,RATS 系统凭借三维高清成像与高自由度机械臂,明显减少了术中视野遮挡或器械干扰^[17]。为客观量化上述优势,本研究创新性引入了术中视野干扰评分。结果显示 RATS 组中无干扰比例明显高于 VATS 组,提示其在剑突下入路内视野更为清晰,操作更加流畅。相比之下,VATS 术中常需借助体位调整、应用胸骨拉钩扩大术野,甚至增加辅助孔

牵拉暴露,这不仅影响手术操作,也容易造成额外的血管神经损伤。Spearman 相关性分析也发现术野干扰评分与术后第 1 天 VAS 疼痛评分呈中度正相关($r=0.700, P<0.001$),提示视野稳定性差可能增加术后疼痛感。因此,VATS 组患者术后 VAS 评分较高可能与术中较差的视野稳定性和更多的牵拉暴露有关。

尽管 RATS 手术在早期阶段因 Docking 准备导致总手术时间较长,但随着术者经验积累,该时间逐渐缩短。本研究结果显示,在校正 Docking 时间后,RATS 组与 VATS 组的手术时长差异已无统计学意义。这一趋势与 Kamel MK 等^[18]对 RATS 学习曲线的研究结论基本一致,在术者在完成 15~20 例 RATS 手术后,RATS 手术时间明显缩短,操作流程趋于规范化,整体效率提升。然而,由于本研究样本量有限,未对 RATS 组进行按时间顺序的病例分层分析,可能低估 RATS 在学习曲线成熟阶段的潜在优势。

RATS 组在住院总费用方面明显高于 VATS 组,结合 Harrison OJ 等^[19]的成本分析,RATS 的推广需在提高手术效率的同时,优化成本控制策略,避免因高昂费用限制其临床应用。本研究结果表明,RATS 可能更适用于肿瘤粘连重要血管及胸腺癌或者胸腺瘤合并重症肌无力等需进行广泛脂肪组织清扫的病例。而对于肿瘤体积较小、边界清晰、未累及重要结构的常规病例,VATS 因其成本较低、术式成熟,仍具有较高的性价比。术者应综合考虑解剖条件、肿瘤特征及患者意愿等因素,制定个性化的手术方案。

本研究亦存在一定局限性。首先,作为单中心回顾性研究,存在选择偏倚风险,样本量相对有限且不均衡,例如 RATS 组仅 23 例,部分指标如术中出血量虽呈现趋势性差异,但未达到统计学意义,可能受到统计功效不足的影响。其次,本研究中的评分指标如胸腺清扫完整性等仍具有一定主观性,评分者间一致性虽经 Cohen's Kappa 系数验证为良好水平,但观察者偏倚的影响无法完全排除。此外,本研究仅纳入术后短期随访数据,缺乏复发率、生存质量等长期随访数据,难以全面评估 2 种术式在疾病控制和生活质量改善方面的差异。未来需通过多中心、大样本、长期随访结合学习曲线及成本效益分析,验证 RATS 与 VATS 在不同适用人群中

的优势和局限,从而指导个体化手术方案制定。

综上所述,RATS经剑突下前纵隔肿瘤切除术在术中视野清晰度、解剖清扫完整性及术后疼痛控制等方面更具优势,尤其适用于胸腺癌及合并重症肌无力的胸腺瘤等对胸腺清扫完整性要求较高的患者群体。VATS作为技术成熟、成本较低的微创手术方式,在常规病例中仍具较高性价比与推广价值。随着RATS技术的不断成熟及剑突下入路操作流程的改进,该术式有望成为复杂前纵隔病变患者的重要治疗方案之一。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 柳林:研究方案设计、实施研究、分析数据、论文撰写;张臻:数据收集;朱祎曜:实验技术指导;朱幸枫:研究方案设计、论文修改

参 考 文 献

- [1] Garrana SH, Rosado-de-Christenson ML. Imaging of the anterior/prevascular mediastinum[J]. Radiol Clin North Am, 2021, 59(2): 155-168.
- [2] Wightman SC, Shrager JB. Non-myasthenia gravis immune syndromes and the *Thymus*: is there a role for thymectomy?[J]. Thorac Surg Clin, 2019, 29(2): 215-225.
- [3] Fiorelli A, Mazzella A, Cascone R, et al. Bilateral thoracoscopic extended thymectomy versus sternotomy[J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2016, 24(6): 555-561.
- [4] Pan JM, Watkins AA, Stock CT, et al. The surgical renaissance: advancements in video-assisted thoracoscopic surgery and robotic-assisted thoracic surgery and their impact on patient outcomes[J]. Cancers(Basel), 2024, 16(17): 3086.
- [5] Hsu CP, Chuang CY, Hsu NY, et al. Subxiphoid approach for video-assisted thoracoscopic extended thymectomy in treating myasthenia gravis[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2002, 1(1): 4-8.
- [6] Hong ZQ, Sheng YN, Bai XD, et al. Clinical efficacy of robot-assisted subxiphoid versus lateral thoracic approach in the treatment of anterior mediastinal tumors[J]. World J Surg Oncol, 2023, 21(1): 94.
- [7] Ochi T, Suzuki H, Hirai Y, et al. Robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery for mediastinal lesions[J]. J Thorac Dis, 2023, 15(7): 3840-3848.
- [8] 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.
- Preparatory Committee of Chinese College of Robot-assisted Thoracic Surgeons, Tan QY, Tao SL, et al. Chinese expert consensus of robot-assisted surgery for mediastinal tumor (2019)[J]. Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2020, 27(2): 117-125.
- [9] Vassiliou MC, Feldman LS, Andrew CG, et al. A global assessment tool for evaluation of intraoperative laparoscopic skills[J]. Am J Surg, 2005, 190(1): 107-113.
- [10] Taje R, Peer M, Gallina FT, et al. Ergonomic assessment of robotic versus thoracoscopic thymectomy[J]. J Clin Med, 2024, 13(7): 1841.
- [11] Jensen MP, Chen C, Brugger AM. Interpretation of visual analog scale ratings and change scores: a reanalysis of two clinical trials of post-operative pain[J]. J Pain, 2003, 4(7): 407-414.
- [12] Lee JH, Hwang J, Park TH, et al. Subxiphoid single-port robotic thymectomy using the single-port robotic system versus VATS: a multi-institutional, retrospective, and propensity score-matched study[J]. Cancers(Basel), 2024, 16(16): 2856.
- [13] Li RY, Ma Z, Qu CH, et al. Comparison of perioperative outcomes between robotic-assisted and video-assisted thoracoscopic surgery for mediastinal masses in patients with different body mass index ranges: a population-based study[J]. Front Surg, 2022, 9: 963335.
- [14] Okazaki M, Shien K, Suzawa K, et al. Robotic mediastinal tumor resections: position and port placement[J]. J Pers Med, 2022, 12(8): 1195.
- [15] 刘星池, 许世广, 刘 博, 等. 达芬奇机器人与剑突下胸腔镜前纵隔肿瘤切除术疗效比较的回顾性队列研究[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2023, 30(11): 1551-1555.
- Liu XC, Xu SG, Liu B, et al. Da Vinci robotic versus thoracoscopic surgery via subxiphoid approach for treatment of anterior mediastinal tumor: a retrospective cohort study[J]. Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2023, 30(11): 1551-1555.
- [16] Hess NR, Baker N, Levy RM, et al. Robotic assisted minimally invasive thymectomy with simultaneous bilateral thoracoscopy and contralateral phrenic nerve visualization[J]. J Thorac Dis, 2020, 12(2): 114-122.
- [17] Zhu LF, Zhang LM, Zuo CJ, et al. Robot versus video-assisted thoracoscopic thymectomy for large thymic epithelial tumors: a propensity-matched analysis[J]. BMC Surg, 2023, 23(1): 330.
- [18] Kamel MK, Rahouma M, Stiles BM, et al. Robotic thymectomy: learning curve and associated perioperative outcomes[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2017, 27(7): 685-690.
- [19] Harrison OJ, Maraschi A, Routledge T, et al. A cost analysis of robotic vs. video-assisted thoracic surgery: the impact of the learning curve and the COVID-19 pandemic[J]. Front Surg, 2023, 10: 1123329.

(收稿: 2025-07-02; 修回: 2025-08-19; 录用: 2025-08-23)

(责任编辑: 李青颖)

本文引用格式:

柳 林, 张 臻, 朱祎曜, 等. 机器人辅助与胸腔镜经剑突下前纵隔肿瘤切除术疗效对比[J]. 重庆医科大学学报, 2026, 51(3): 331-338.