

双孔机器人手术与单孔胸腔镜手术治疗非小细胞肺癌的成本效益分析

王树民¹, 李飞², 褚恒², 张哲²

(1. 山东第二医科大学临床医学院 山东 潍坊 261053; 2. 青岛市市立医院胸外科 山东 青岛 266071)

摘要 **目的:** 探究接受双孔机器人手术 (DRATS) 和单孔胸腔镜手术 (UVATS) 对非小细胞肺癌患者的成本效益。**方法:** 选取 2021 年 1 月—2022 年 10 月于青岛市市立医院接受手术的非小细胞肺癌 (NSCLC) 患者作为研究对象。根据手术方式的不同将其分为 DRATS 组和 UVATS 组, 利用马尔科夫决策模型, 对 NSCLC 患者术后 1 年和第 2 年的疾病进展进行模拟分析, 以评估患者的医疗成本和收益, 探讨 DRATS 与 UVATS 的成本效益。**结果:** 在术后 1 年内, DRATS 组相较于 UVATS 组增加了 0.01 质量调整生命年 (QALY), 增量成本效益比 (ICER) 为 57 307.00 USD /QALY。在术后 2 年内, DRATS 组额外支付了 1720.26 USD, 增加了 0.04 QALY, DRATS 组的 ICER 为 43 006.50 USD /QALY。学习曲线也对 DRATS 组的成本效益有影响。根据山东省的支付意愿, DRATS 组不具有明显的成本效益。**结论:** DRATS 能使患者获得更好的生活质量, 从术后 2 年随访结果来看, 接受 DRATS 的患者获益逐渐增加。此外, 主刀医生丰富的手术经验和手术团队的融洽合作有助于提高 DRATS 的成本效益。然而, DRATS 最明显的劣势是昂贵的手术费用, 这导致 DRATS 在社会经济水平较发达的城市更具有成本效益。

关键词 非小细胞肺癌; 单孔胸腔镜手术; 达芬奇机器人手术; 成本效益

中图分类号 R655 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 03-0383-05

Cost-effectiveness analysis of dual-portal robot-assisted thoracic surgery and uniportal video-assisted thoracoscopic surgery in the treatment of non-small cell lung cancer

WANG Shumin¹, LI Fei², CHU Heng², ZHANG Zhe²

(1.School of Clinical Medicine, Shandong Second Medical University, Weifang 261053, China; 2.Department of Thoracic Surgery, Qingdao Municipal Hospital, Qingdao 266071, China)

Abstract **Objective:** To explore the cost-effectiveness of dual-portal robot-assisted thoracic surgery (DRATS) versus uniportal video-assisted thoracic surgery (UVATS) in patients undergoing these procedures. **Methods:** Patients with non-small cell lung cancer (NSCLC) who underwent surgery at Qingdao Municipal Hospital from January to and October 2022 were enrolled. They were divided into the DRATS group and the UVATS group based on different surgical approaches. A Markov decision process model was developed to simulate disease progression during the first and second year after surgery, assessing medical costs and outcomes to evaluate the cost-effectiveness of DRATS versus UVATS. **Results:** Within the first year after surgery, the DRATS group gained 0.01 additional quality-adjusted life years (QALYs) compared to the UVATS group, with an incremental cost-effectiveness ratio (ICER) of 57 307.00 USD/QALY. Over a two-year postoperative period, the DRATS group incurred an incremental cost of 1720.26 USD and gained 0.04 additional QALYs, resulting in an ICER of 43 006.50 USD/QALY. The cost-effectiveness of DRATS is also influenced by the learning curve. Based on the willingness-to-pay threshold in Shandong Province, DRATS did not demonstrate significant cost-effectiveness. **Conclusion:** DRATS could improve patients' quality of life, with incremental benefits over a two-year follow-up. Surgeons' extensive experience and cohesive teamwork can enhance the cost-effectiveness of DRATS. However, the high costs of DRATS remain a critical limitation, rendering it more cost-effective in socioeconomically developed regions.

Key words Non-small Cell Lung Cancer; Uniportal Video-assisted Thoracoscopic Surgery; Da Vinci Robot-assisted Thoracic Surgery; Cost-effectiveness

基金项目: 国家自然科学基金 (2204152)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China(2204152)

引用格式: 王树民, 李飞, 褚恒, 等. 双孔机器人手术与单孔胸腔镜手术治疗非小细胞肺癌的成本效益分析 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (3): 383-387.

Citation: WANG S M, LI F, CHU H, et al. Cost-effectiveness analysis of dual-portal robot-assisted thoracic surgery and uniportal video-assisted thoracoscopic surgery in the treatment of non-small cell lung cancer [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(3): 383-387.

通讯作者 (Corresponding Author): 张哲 (ZHANG Zhe), Email: zhang-elu@163.com

随着机器人辅助手术的快速发展,关于机器人辅助胸腔镜手术(Robot-assisted Thoracoscopic Surgery, RATS)和电视胸腔镜手术(Video-assisted Thoracoscopic Surgery, VATS)的讨论越来越多。目前,本院开展的机器人辅助手术为双孔机器人辅助胸腔镜手术(Dual-portal Robot-assisted Thoracoscopic Surgery, DRATS),虽然有文献报道了单孔机器人辅助胸腔镜手术(Uniportal Robot-assisted Thoracoscopic Surgery, URATS)的优势^[1-2],但手术医师从传统的多孔机器人辅助胸腔镜手术(Multiport robot-assisted Thoracoscopic Surgery, MRATS)过渡到URATS难度较高,且更易发生手术失误,可能会对患者造成更大的损伤^[3];相反,手术医师过渡到RATS的难度较低,不仅可以降低手术风险,还能减少器械之间的相互干扰,通过手术经验的积累,也可以逐步过渡到URATS。目前大多数文献报道的RATS相关研究,主要讨论了RATS在围手术期方面的效果^[4],证实RATS能够取得与VATS相当的无进展生存期和总体生存率^[5],并未深入探讨患者接受RATS的获益^[6-9],对DRATS的研究相对较少。基于此,本研究通过对比DRATS和单孔胸腔镜手术(Uniportal Video-assisted Thoracoscopic Surgery, UVATS)治疗非小细胞肺癌(Non-small Cell Lung Cancer, NSCLC)患者的临床疗效和成本效益,对DRATS的成本效益进行评价,为以后机器人手术的推广和向URATS过渡提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2021年1月—2022年10月于青岛市市立医院接受手术的NSCLC患者作为研究对象,根据手术方式的不同将其分为DRATS组和UVATS组。本院RATS组的开展时间为2021年1月,所以将其设为筛选开始时间,为记录患者的疾病转归,随访时间截至2022年12月。纳入标准:①术后病理诊断为I~III期的NSCLC患者;②手术方法为RATS和VATS,主要术式为肺叶切除术、肺段切除术、肺楔形切除术等。排除标准:①未成年患者;②首选术式为开胸手术者;③术后病理诊断为非NSCLC患者;④合并其他恶性肿瘤者或病理结果提示为转移瘤患者。本研究经过青岛市市立医院伦理委员会批准(审批号:KTL202306131)。

1.2 方法 UVATS组采取单孔操作,患者呈侧卧位,切口选择在腋前线和腋中线之间(直径3~5 cm),位置更靠近腋前线,可以最大限度地打开肋间隙,以防止术中器械干扰和减轻患者术后疼痛。此外,

根据病灶的位置选择切口位置(第4或第5肋间隙),为更好地暴露和处理病变组织,第4肋间隙用于肺上叶切除术,第5肋间隙用于肺中下叶切除术。在左肺叶切除术中,尤其是在肥胖患者中,切口略微靠近腋中线,以尽量减少心脏跳动的干扰。所有手术器械和胸腔镜均通过垂直切口进入,无肋骨展开,切口由伤口保护套覆盖。手术通常需要由1位主刀医生和1位助手进行,根据病变位置选择合适的站位。上肺叶切除术期间助手通常站在后侧,更容易暴露视野,使主刀医师有更多的操作空间。同理,在下肺叶和中肺叶切除术时,助手通常选择站在头侧。术中,主刀医师全程使用胸腔镜专用器械进行肺叶的解剖和切除,术中送冰冻病理,若病理结果提示为恶性肿瘤,则进一步行淋巴结清扫。

在DRATS组中,达芬奇机器人手术系统主要采用3条机械臂,通过1个操作口和1个辅助口进行手术。单操作口位置的选择遵循了与UVATS组类似的方法,在腋前线和腋中线之间的第5肋间隙(用于上肺叶切除术的第4肋间隙)处放置一个4 cm的单操作端口。辅助口的位置通常在腋中线第8肋间隙(用于上肺叶切除术的第7肋间隙),直径约8 mm。伤口保护套保护了非肋骨扩张的操作切口。与UVATS组类似,一个30°机器人摄像头和一个操作臂通过单操作口进入,另一个机械臂通过辅助口进入(如图1)。与UVATS组不同的是,主刀医师于台下操作达芬奇机器人完成肺叶或肺段、血管和气管的解剖后,继续完成肺门、纵隔淋巴结清扫等,其余均由站在患者面前的助手通过操作口

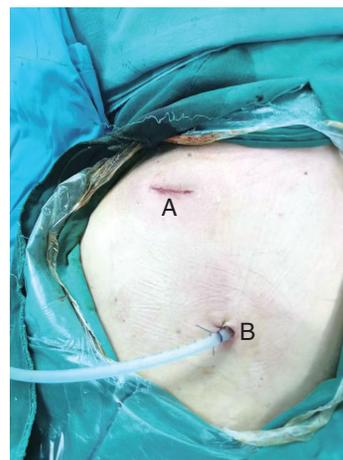


图1 DRATS胸部切口设计

Figure 1 Thoracic incision design in DRATS

注: A. 辅助孔: 第7肋间或第8肋间; B. 操作孔: 第4肋间或第5肋间

完成，包括暴露手术区域、切除病变组织和促进肺回缩等。

1.3 评价指标 世界卫生组织根据人均 GDP 与增量成本效益比 (Incremental Cost-effectiveness Ratio, ICER) 的关系，当 ICER>3 倍人均 GDP 时，则不具有成本效益性。为研究 DRATS 和 UVATS 的成本效益，本研究将支付意愿阈值 (Willingness-to-Pay, WTP) 设定为 2023 年山东省人均 GDP 的 3 倍。从我国医疗支付的视角出发，本研究采用卫生经济学决策评价中的 Markov 模型对 DRATS 和 UVATS 治疗可手术的 NSCLC 进行成本效益分析。为更好地评估 DRATS 的成本效益，选择 2021—2022 年患者计算术后第 1 年的成本效益，选择 2022 年的患者计算术后 2 年的成本效益，判断随访时间对 DRATS 和 UVATS 的影响。此外，将 2021 年与 2022 年患者术后 1 年的成本效益进行对比，评估学习曲线对 DRATS 成本效益的影响。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 25.0 软件进行倾向性评分匹配，匹配条件为最邻近法、1:1 匹配和卡钳值为 0.02，纳入评分值的有：年龄、性别、新辅助治疗、BMI、ASA 评分、吸烟史、FEV1%、肿瘤直径、肿瘤位置和手术术式。数值变量使用 *t* 检验和 Wilcoxon 秩和检验进行比较。分类变量使用 χ^2 检验或 Fisher 确切检验进行比较。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

本研究采用 TreeAge Pro 软件构建 Markov 模型进行成本效益分析，因随访时间的不足，本模型的时间跨度从根治性手术的时间开始，最长随访时间截至术后 2 年。本研究模型每周期代表 1 个月，经过 TreeAge Pro 软件多周期的模拟，计算出患者在治疗 NSCLC 过程中产生的总医疗费用和术后生活质量 (Quality of Life, QOL) 的时间变化，进一步获得 ICER。调整质量生命年 (Quality Adjusted Life Year, QALY) 的计算公式为生存年数和 QOL 的效用值的乘积。QOL 的效用值取值范围为 0~1，死亡状态时为 0，完全健康状态时为 1。通过回归文献^[8]，收集 VATS 和 RATS 治疗 NSCLC 患者术后 QOL 相关数据。

2 结果

2.1 2021—2022 年患者术后第 1 年的成本效益 根据纳入排除标准，排除非肿瘤死亡因素后，本研究选取 2021 年的患者 214 例 (DRATS 组 55 例，UVATS 组 159 例)，2022 年的患者 298 例 (DRATS 组 86 例，UVATS 组 212 例)，有 13 例患者进入疾病进展 (Progressive Disease, PD) 阶段，占比为 2.5%，其

中 DRATS 组有 2 例，VATS 组有 11 例。共有 2 例患者死亡，均在 UVATS 组。为比较 DRATS 组和 UVATS 组术后第 1 年的成本效益，对 2021—2022 年的患者进行倾向性匹配后，筛选了 135 对病例。在术后 1 年内，UVATS 组患者花费的医疗成本为 9732.60 USD，获得了 0.83 QALY，DRATS 组患者的医疗成本为 10 305.67 USD，获得了 0.84 QALY。此时，DRATS 组较 UVATS 组增加了 0.01 QALY，ICER 为 57 307.00 USD/QALY (见表 1)。

2.2 2021 年患者术后 2 年的成本效益 为进一步分析 2021 年患者术后 2 年的成本效益，在去除了一些混杂因素后选取了 53 对病例。在术后 2 年内，UVATS 组的医疗支出为 9048.90 USD，QALY 获益为 1.64。相较于 UVATS 组，DRATS 组额外支付了 1720.26 USD，增加了 0.04 QALY，DRATS 组的 ICER 为 43 006.50 USD/QALY (见表 2)。

2.3 2021 年和 2022 年患者术后第 1 年的成本效益 分析 2021 年患者术后第 1 年的成本效益，DRATS 组的花费为 10 304.16 USD，获得了 0.84 QALY，而 UVATS 组的 ICER 为 196 324.00 USD/QALY。对 2022 年患者术后第 1 年的成本效益进行统计分析，通过倾向性匹配，筛选出 80 对患者，DRATS 组患者在术后第 1 年获得了 0.84 QALY，医疗支出为 10 298.50 USD；与 UVATS 组相比，DRATS 组的 ICER 为 56 046.50 USD/QALY (见表 3)。

根据 WHO 关于成本效益的判定标准和 2023 年山东省各城市的人均 GDP 及 WTP 阈值，DRATS 组仅在东营市、青岛市、烟台市和济南市等社会经济

表 1 2021—2022 年患者术后第 1 年成本效益比较

Table 1 Comparison of cost-effectiveness for patients in the first year after surgery in 2021—2022

变量	DRATS 组 (n=135)	UVATS 组 (n=135)	P 值
QALY	0.84	0.83	0.058
Cost (USD)	10305.67	9732.60	<0.001
DRATS (ICER)	57 307.00		

表 2 2021 年患者术后 2 年成本效益比较

Table 2 Comparison of cost-effectiveness for patients 2 years after surgery in 2021

变量	DRATS 组 (n=53)	UVATS 组 (n=53)	P 值
QALY	1.68	1.64	0.058
Cost (USD)	10769.16	9048.90	<0.001
DRATS (ICER)	43 006.50		

发展水平较高的城市具有成本效益性，而在其他城市则不具有成本效益性。与山东省的 WTP 阈值比较，DRATS 组还不具有成本效益性（见表 4）。

3 讨论

近年来，对 RATS 的经济评价越来越重视，关于机器人手术成本效益的研究也越来越多，推动了 RATS 的临床应用。关于微创肺切除术的成本效益研究^[10-11]表明，RATS 在较低的 WTP 阈值下对肺癌肺叶切除术不具有成本效益。但在疾病转归方面，RATS 较 VATS 具有明显的优势，随着生存年数的增加，RATS 患者的 QALY 更高，RATS 获得的成本效益概率逐渐增加^[12]。本研究中的微创手术选

择了 DRATS，主要原因是从传统的 MRATS 过渡到 DRATS 的难度较小^[13]，在保证手术安全的前提下减少了手术器械的使用，更易操作，是机器人手术进一步微创化的重要进程。

早期开展的 RATS，因为主刀医师、助手医师和巡回护士的经验不足，手术团队的配合默契较低，导致手术的时间较长，术中失误风险较高，术中耗材增加，手术成本显著增加^[14-15]。Le Gac C 等人^[16]分析了同一主刀医师早期 30 例和后期 30 例 RATS 的成本，发现与前 30 次手术相比，后 30 次手术在排除 1 个异常值（住院相关成本 >1 万欧元）后，显著降低了 1271 欧元（95% CI: -2688~ +108, P=

表 3 2021 年和 2022 年患者术后第 1 年成本效益比较

Table 3 Comparison of cost-effectiveness in the first postoperative year for patients in 2021 and 2022

变量	2021 年		P 值	2022 年		P 值
	DRATS 组 (n=53)	UVATS 组 (n=53)		DRATS 组 (n=80)	UVATS 组 (n=80)	
QALY	0.84	0.83	0.536	0.84	0.82	0.271
Cost (USD)	10 304.16	8340.92	< 0.001	10 298.50	9177.57	< 0.001
DRATS (ICER)	196 324.00			56 046.50		

表 4 2023 年山东省及城市 GDP 数据

Table 4 GDP data of different cities in Shandong Province in 2023

城市	人均 GDP (CNY)	人均 GDP (USD)	WTP 阈值 (USD)
东营市	176 425	26 464	79 391
青岛市	152 418	22 863	68 588
烟台市	143 938	21 591	64 772
济南市	135 425	20 314	60 941
威海市	120 308	18 046	54 139
淄博市	96 858	14 529	43 586
潍坊市	80 743	12 111	36 334
日照市	80 505	12 076	36 227
滨州市	79 566	11 935	35 805
德州市	68 312	10 247	30 740
济宁市	66 538	9981	29 942
泰安市	61 556	9233	27 700
枣庄市	56 319	8448	25 344
临沂市	55 551	8333	24 998
菏泽市	51 429	7714	23 143
聊城市	49 763	7464	22 393
山东省	92 228	13 834	41 503

0.020），与手术器械相关的成本显著降低了 -135 欧元（95% CI: -220~ -35, P=0.004）。有研究报道 RATS 与 VATS 之间的住院费用相差不大^[17]，主要在于手术者是否熟练，熟练的操作能够降低手术时间，减少一次性耗材的使用，从而弥补 RATS 的手术费用。本团队因为有早期开展机器人手术的经验，可以减少 RATS 学习曲线，在保证肺癌根治性切除的前提下减少了手术器械的使用^[18-19]，降低了手术成本。

此外，CHEN D L 等人^[20]通过单因素敏感性分析探讨了影响成本效益的主要因素，其结果表明住院费用和术后生活质量是主要影响因素，也有研究认为术后并发症的发生对 RATS 患者的住院费用会有很大影响^[21-22]。有回顾性研究发现，RATS 和 VATS 的住院总费用并无显著差异^[17, 23]，这是因为 RATS 可以通过减少术后并发症^[24-25]、加速患者术后康复等方式来缩短术后住院日^[26]，降低住院成本，从而弥补 RATS 的手术成本。DRATS 作为 MRATS 向 URAST 的过渡，可以降低术后并发症的发生，减少住院费用。

不同地区不同城市的人均 GDP 各不相同。根据山东省各城市的人均 GDP 和 WTP 阈值，DRATS 仅在东营市、青岛市、烟台市和济南市具有成本效益性，

这使得 DRATS 在这些经济发达的城市更容易推广和应用。达芬奇机器人手术系统在很多方面具有明显优势，但其高昂的手术费用阻碍了其在临床中的应用。大多数关于 RATS 成本分析的研究都认为其较 VATS 的医疗成本更高。RATS 的成本效益虽然没有 VATS 组明显，但其手术方式为提高机器人的成本效益提供了前进方向^[27]。在未来，机器人手术必然越来越成熟^[28]，还将与最新的科技成果结合^[29-31]，如 5G 远程技术、AI 等，从而为患者提供更优质、更精准、更个体化的医疗服务。

利益冲突声明： 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明： 王树民负责撰写和修改文章；李飞、褚恒、张哲负责对文章内容进行指导、审阅和修正。

参考文献

- NING Y, CHEN Z G, ZHANG W T, et al. Short-term outcomes of uniportal robotic-assisted thoracic surgery anatomic pulmonary resections: experience of Shanghai Pulmonary Hospital[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2023, 12(2): 117-125.
- Manolache V, Motas N, Bosinceanu M L, et al. Comparison of uniportal robotic-assisted thoracic surgery pulmonary anatomic resections with multiport robotic-assisted thoracic surgery: a multicenter study of the European experience[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2023, 12(2): 102-109.
- Palleschi A, Mattioni G, Mendogni P, et al. A real-world experience of transition to robotic-assisted thoracic surgery (RATS) for lung resections[J]. *Front Surg*, 2023. DOI: 10.3389/fsurg.2023.1127627.
- Shahin G M M, Vos P W K, Hutteman M, et al. Robot-assisted thoracic surgery for stages IIB-IVA non-small cell lung cancer: retrospective study of feasibility and outcome[J]. *J Robot Surg*, 2023, 17(4): 1587-1598.
- WU H, JIN R S, YANG S, et al. Long-term and short-term outcomes of robot-versus video-assisted anatomic lung resection in lung cancer: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2021, 59(4): 732-740.
- Kent M S, Hartwig M G, Vallières E, et al. Pulmonary open, robotic, and thoracoscopic lobectomy (PORTaL) study: an analysis of 5721 cases[J]. *Ann Surg*, 2023, 277(3): 528-533.
- PAN H B, ZHANG J Q, TIAN Y, et al. Short- and long-term outcomes of robotic-assisted versus video-assisted thoracoscopic lobectomy in non-small cell lung cancer patients aged 35 years or younger: a real-world study with propensity score-matched analysis[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2023, 149(12): 9947-9958.
- ZHOU J C, WANG W P, WU S Q, et al. Clinical efficacy of thoracoscopic surgery with the Da Vinci surgical system versus video-assisted thoracoscopic surgery for lung cancer[J]. *J Oncol*, 2022. DOI: 10.1155/2022/5496872.
- HUANG J, TIAN Y, ZHOU Q J, et al. Comparison of perioperative outcomes of robotic-assisted versus video-assisted thoracoscopic right upper lobectomy in non-small cell lung cancer[J]. *Transl Lung Cancer Res*, 2021, 10(12): 4549-4557.
- Heiden B T, Mitchell J D, Rome E, et al. Cost-effectiveness analysis of robotic-assisted lobectomy for non-small cell lung cancer[J]. *Ann Thorac Surg*, 2022, 114(1): 265-272.
- Lim E, Harris R A, Mckeon H E, et al. Impact of video-assisted thoracoscopic lobectomy versus open lobectomy for lung cancer on recovery assessed using self-reported physical function: VIOLET RCT[J]. *Health Technol Assess*, 2022, 26(48): 1-162.
- Yang H X, Woo K M, Sima C S, et al. Long-term survival based on the surgical approach to lobectomy for clinical stage I nonsmall cell lung cancer: comparison of robotic, video-assisted thoracic surgery, and thoracotomy lobectomy[J]. *Ann Surg*, 2017, 265(2): 431-437.
- Watanabe H, Ebana H, Kanauchi N, et al. Dual-portal robotic-assisted thoracic surgery (DRATS) as a reduced port RATS: early experiences in three institutions in Japan[J]. *J Thorac Dis*, 2023, 15(12): 6475-6482.
- Gómez-Hernández M T, Fuentes M G, Novoa N M, et al. The robotic surgery learning curve of a surgeon experienced in video-assisted thoracoscopic surgery compared with his own video-assisted thoracoscopic surgery learning curve for anatomical lung resections[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 61(2): 289-296.
- LI J T, LIU P Y, HUANG J, et al. Perioperative outcomes of radical lobectomies using robotic-assisted thoracoscopic technique vs. video-assisted thoracoscopic technique: retrospective study of 1, 075 consecutive p-stage I non-small cell lung cancer cases[J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11(3): 882-891.
- Le Gac C, Gondé H, Gillibert A, et al. Medico-economic impact of robot-assisted lung segmentectomy: what is the cost of the learning curve?[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2020, 30(2): 255-262.
- Kneuert P J, Singer E, D'souza D M, et al. Hospital cost and clinical effectiveness of robotic-assisted versus video-assisted thoracoscopic and open lobectomy: a propensity score-weighted comparison[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(5): 2018-2026.e2.
- LUO G Y, LIAO D, LIN W J, et al. Cost analysis of supply chain management of Da Vinci surgical instruments: a retrospective study[J]. *Technol Health Care*, 2022, 30(5): 1233-1241.
- Sanchez A, Herrera L, Teixeira A, et al. Robotic surgery: financial impact of surgical trays optimization in bariatric and thoracic surgery[J]. *J Robot Surg*, 2023, 17(1): 163-167.
- CHEN D L, KANG P M, TAO S L, et al. Cost-effectiveness evaluation of robotic-assisted thoracoscopic surgery versus open thoracotomy and video-assisted thoracoscopic surgery for operable non-small cell lung cancer[J]. *Lung Cancer*, 2021. DOI: 10.1016/j.lungcan.2020.12.033.
- Kneuert P J, Singer E, D'souza D M, et al. Postoperative complications decrease the cost-effectiveness of robotic-assisted lobectomy[J]. *Surgery*, 2019, 165(2): 455-460.
- Brunelli A, Chapman K, Pompili C, et al. Ninety-day hospital costs associated with prolonged air leak following lung resection[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2020, 31(4): 507-512.
- Coyan G N, Lu M, Ruppert K M, et al. Activity-based cost analysis of robotic anatomic lung resection during program implementation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2022, 113(1): 244-249.
- Veluswamy R R, Whittaker Brown S A, Mhango G, et al. Comparative effectiveness of robotic-assisted surgery for resectable lung cancer in older patients[J]. *Chest*, 2020, 157(5): 1313-1321.
- Eichhorn M, Bernauer E, Rotärmel A, et al. Clinical effectiveness of robotic-assisted compared to open or video-assisted lobectomy in Germany: a real-world data analysis[J]. *Interdiscip Cardiovasc Thorac Surg*, 2024, 38(1): ivae001.
- 韩志伟, 蔺瑞江, 马敏杰, 等. 加速康复外科理念在达芬奇机器人食管癌 McKeown 手术中应用的回顾性队列研究[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2023, 30(10): 1415-1421.
- 郭超, 张家齐, 李楨, 等. 医疗机器人在肺部小结节诊疗中的应用现状及前景展望[J]. *中华胸部外科电子杂志*, 2022, 9(1): 35-40.
- 张琬, 曾昭宇, 程弓, 等. 达芬奇手术机器人从引进到使用过程中的科学管理[J]. *北京生物医学工程*, 2021, 40(1): 101-104.
- Reddy K, Gharde P, Tayade H, et al. Advancements in robotic surgery: a comprehensive overview of current utilizations and upcoming frontiers[J]. *Cureus*, 2023, 15(12): e50415.
- Fairag M, Almahdi R H, Siddiqi A A, et al. Robotic revolution in surgery: diverse applications across specialties and future prospects review article[J]. *Cureus*, 2024, 16(1): e52148.
- Chatterjee S, Das S, Ganguly K, et al. Advancements in robotic surgery: innovations, challenges and future prospects[J]. *J Robot Surg*, 2024, 18(1): 28.

收稿日期：2024-05-08

编辑：刘静凯