

机器人辅助手术在早期非小细胞肺癌治疗中的应用 现状及前景

严坤¹, 虞桂平¹, 汪潜云²

(1. 江阴市人民医院胸外科 江苏 江阴 214400; 2. 常州市第一人民医院胸外科 江苏 常州 213000)

摘要 随着科技发展和理念更新, 早期肺癌微创化、精准化治疗的认识已深入人心。以电视胸腔镜手术(VATS)和机器人辅助胸外科手术(RATS)为代表的微创技术在早期肺癌的治疗中发挥着越来越重要的地位。RATS具有可以放大10~15倍的高清3D视野、灵活的操作臂和精确稳定的操作系统, 克服了传统VATS的缺点, 在手术准确性和彻底性上与开放式手术不相上下。此外, RATS在精确肺段切除方面也具有很大优势, 其可以最大限度地减少因技术限制或为规避风险而进行的不必要肺组织切除。当然, 除了这些临床公认的优势外, 随着机器人手术系统与快速发展的5G通信相结合, 进一步打破了传统手术的空间限制, 使得“远程手术”不断完善, 这对促进医疗资源的下沉及医学技术的交流具有积极意义。本研究旨在就机器人手术在早期非小细胞肺癌治疗中应用现状及前景进行综述。

关键词 手术机器人; 早期非小细胞肺癌; 肺段切除术; 远程手术

中图分类号 R608 R655.3 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2024)04-0734-05

Application status and prospect of robot-assisted surgery in the treatment of early non-small cell lung cancer

YAN Kun¹, YU Guiping¹, WANG Qianyun²

(1. Department of Thoracic Surgery, Jiangyin People's Hospital, Jiangyin 214400, China; 2. Department of Thoracic Surgery, Changzhou First People's Hospital, Changzhou 213000, China)

Abstract With the advance of science and technology and renewal of concepts, minimally invasive and accurate treatment of early lung cancer has been widely accepted by public. Surgical technologies represented by video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) and robot-assisted thoracic surgery (RATS) play a more and more important role in the treatment of early lung cancer. With its 3D high-definition vision, clear imaging, flexible operating arm and stable operating system, RATS overcomes the shortcomings of traditional VATS, and is comparable to open surgery in accuracy and thoroughness. In addition, RATS also has great advantages in accurate segmental pneumonectomy, which can minimize unnecessary pneumonectomy due to technical limitations or risk avoidance. Furthermore, the combination of robotic surgery and 5G communication technology also enables operators to perform telesurgeries, it breaks the limitations of time and space of surgeries, and promotes the exchange of medical technology, as well as contributes to rational distribution of medical resources. The application status and prospect of robotic surgery in the treatment of early non-small cell lung cancer is reviewed in this study.

Key words Surgical Robot; Early Non-small Cell Lung Cancer; Segmental Pneumonectomy; Telesurgery

收稿日期: 2023-05-10 录用日期: 2023-11-15

Received Date: 2023-05-10 Accepted Date: 2023-11-15

基金项目: 江苏省重大疾病生物资源样本库肺癌子库开放课题(SBK202004006); 2022年江苏省研究生科研与实践创新计划项目(SJCX22_1283)

Foundation Item: Lung Cancer Sub-Bank Opening Project of Biological Resources Sample Bank on Major Diseases in Jiangsu Province(SBK202004006); Postgraduate Research and Practice Innovation Plan Program of Jiangsu Province in 2022(SJCX22_1283)

通讯作者: 虞桂平, Email: xiaoyuer97103@163.com; 汪潜云, Email: wqy1976@163.com

Corresponding Author: YU Guiping, Email: xiaoyuer97103@163.com; WANG Qianyun, Email: wqy1976@163.com

引用格式: 严坤, 虞桂平, 汪潜云. 机器人辅助手术在早期非小细胞肺癌治疗中的应用现状及前景[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(4): 734-738.

Citation: YAN K, YU G P, WANG Q Y. Application status and prospect of robot-assisted surgery in the treatment of early non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(4): 734-738.

近年来,肺癌的发病率不断升高。已经成为发病率排名第2位、死亡排名第1位的恶性肿瘤^[1]。我国肺癌发病率为60.40/10万,死亡率为48.42/10万;而世界人口肺癌发病率的标化率为36.02/10万,死亡率为27.87/10万^[2]。由此可见,我国的肺癌负担远超国际平均水平,不容乐观。

随着科技的进步,低剂量螺旋CT开始大规模应用在日常体检筛查,能够明显提高肺癌“早检出”的概率^[3]。

对于早期肺癌,手术切除是首选的治疗方式^[4]。随着时代的进步和科技的发展,肺癌的外科治疗理念也在不断改进。首先是切除范围的缩小。从全肺切除到肺叶切除,再到对年龄较大或肺功能较差的患者行肺段切除术或楔形切除术^[5]。其次是手术切口的缩小,目前,微创胸腔镜技术已取代开胸手术,成为主流^[6]。通过缩小切除范围及手术切口,微创手术具有减少切口疼痛、降低并发症发生率、缩短愈合时间等优势。美国国立综合癌症网络(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)指南指出,在排除手术禁忌的前提下,如果不违背肿瘤手术治疗原则,建议采用微创方式进行手术治疗^[7]。

以电视胸腔镜手术(Video-assisted Thoracoscopic Surgery, VATS)和机器人辅助胸外科手术(Robot-assisted Thoracic Surgery, RATS)为代表的微创技术在胸外科手术治疗中占据越来越重要的地位。传统VATS的发展受到其固有缺点的限制,如学习曲线陡峭、手眼协调困难、器械操作灵活度不足等^[8]。RATS则是一种相对先进的新型微创手术方式,它已被提议作为VATS的替代方案。相较于VATS, RATS具有一些显而易见的优势^[9-11]。

1 电视胸腔镜手术

在胸外科中,VATS是第一个介入胸膜腔且无肋骨扩张的手术,最早的VATS肺叶切除术报道于1993年^[12]。无论VATS的切口数量多少(单孔或多孔),VATS肺叶切除术联合系统性淋巴结清扫术在围手术期并发症方面都优于开放式肺叶切除术^[13]。VATS肺叶切除术相较于开放式肺叶切除术的优势如下:恢复更早、对肺功能和免疫系统的影响更小、疼痛更轻以及住院时

间更短^[14],且在延长患者生存时间的同时也改善了其生活质量^[15]。2006年,NCCN将VATS作为治疗早期肺癌的标准术式^[16]。

与传统的肺叶切除术相比,解剖性肺段切除术具有相同的疗效且可保留更多的肺功能^[17]。但是,使用VATS进行肺段切除术比进行肺叶切除术更加困难,非常具有挑战性,一般只有体量较大的医疗中心的外科医生才能熟练掌握该技能。

2 机器人辅助胸外科手术

RATS的引入有助于克服传统VATS的技术局限性。RATS相较于VATS的优势包括:高清3D视野、灵活的腕式器械、手部震颤自动滤除以及更加符合人体工程学设计的坐式控制台。在RATS中,可更换器械和摄像机连接在机器人系统的机械臂上,然后通过Trocarr插入胸膜腔。与VATS类似,RATS允许通过小切口进行肺组织切除术,无需肋骨扩张。与开放式或VATS手术相比,外科医生在RATS手术期间并不需要站在手术台前,而是坐在控制台来操控机械臂。

RATS目前主要应用于肺部肿瘤的手术治疗^[18-20],其中主要为I~II期非小细胞肺癌(NSCLC)^[21],也有研究报道了RATS在III期NSCLC的应用效果。一项多中心回顾性研究在分析了210例RATS治疗III期NSCLC后,认为RATS的围手术期并发症率较低,其长期生存率与开胸手术相似^[22]。RATS的一个明显缺点是缺乏触觉反馈,但有研究表明这种缺陷可以通过适当的训练及立体可视化视野来得到补偿^[23]。除了缺乏触觉反馈,手术时间延长及手术费用高昂也是限制RATS发展的重要因素,但是随着手术熟练度的上升、国产手术机器人的研发应用、国家医疗层面的政策支持,相信这些问题都可以得到妥善解决。

3 RATS在肺段切除术上的应用现状

Jensik R J等人^[24]于1973年首次介绍了肺段切除术,但由于该技术较为复杂且存在长期漏气的高风险,它在一开始并未被外科医生广泛接受。随着技术水平和手术理念的发展,大

量研究表明,接受肺段切除术的 T₁N₀ (肿瘤 ≤ 2 cm) 患者的 5 年总生存率与标准肺叶切除术相当^[25]。最近的两项随机对照试验 JCOG0802^[26] 和 CALGB140503^[27] 探讨了肺段切除术和肺叶切除术的结果,这两项试验都证明了肺段切除术和肺叶切除术具有相似的围手术期结果。相较于使用 VATS 完成肺段切除术的高挑战性,具有高清 3D 视野和灵活腕式操作的 RATS 可以大大降低肺段切除术的难度^[28]。另外,有研究表明将手术机器人摄像系统调整到红外线模式,然后静脉注射吲哚菁绿 (IV-ICG),这样可以使分割平面的识别更加容易和精确^[29-30]。一项 II 期队列试验评估了 IV-ICG 应用于 RATS 中对节段间平面识别的可行性、可重复性和安全性的影响。该研究指出,胸外科医生凭借自身触感及经验预测的节段平面与注射 ICG 后绘制的真实平面相比,预测的节段平面的安全边缘要比实际的安全边缘平均要少 2.4 cm^[31]。所以使用 ICG 可以准确、安全地识别节段间平面,即使不使用手动触诊也能确保肿瘤周围有足够的安全边缘^[32]。

Zhou N 等人^[33]的研究结果显示,在非典型肺段切除术中,RATS 比 VATS 的手术时间更短、术中出血量更少,其原因可能是:① RATS 对于段门结构的精确解剖,避免了副损伤,同时也减少了补救这些副损伤所需的时间;② RATS 具有高清 3D 视野和精细灵活的操作,可以缩短识别靶段结构和裸化组织的时间;③相较于 VATS, RATS 可以多出一个机械臂进行操作,从而更好地辅助肺组织旋转,有助于从多个角度处理段间平面,减少了常规 VATS 中反复调整切割平面的操作;除了术中使用 ICG 识别节段间平面,术前使用 3D-CTBA 结合 3D 打印技术,可以进一步准确识别正常解剖结构,明确肺段的划分,确定病灶的位置及其与靶段的位置关系^[34-35],有利于靶段的完整切除和确保手术切缘,从而进一步提高手术的精准性。重建的 3D 图像可自由旋转,借助软件可以在任意角度进行交互,从而直接测量血管、支气管与病灶之间的距离和位置关系。RATS 的术者可以在术中自由观看并操控 3D 图像^[36],明确解剖结构,避免损伤不必要的肺组织,减少术中出血,节省术中辨别

和寻找肺段血管的时间^[37],从而缩短手术时间,降低手术风险,提高手术成功率。

4 围手术期结果

有研究^[38-39]对比了 RATS 及 VATS 行肺叶切除术时的疗效,结果显示 RATS 组与 VATS 组的围术期并发症发生率及中转开胸的概率并无统计学差异,这说明 RATS 具有和 VATS 相当的安全性。

Cerfolio R J 等人^[40]总结了 100 例 RATS 肺段切除术的初步研究,认为 RATS 肺段切除是安全可行的,围手术期结果是可接受的。Zhou N 等人^[33]的研究对比了三种肺段切除的术式,认为 RATS 的中位手术时间长于 VATS 和开放手术。即使是简单的肺段切除,RATS 也需要更长的时间。在该研究中,RATS 进行了更复杂的节段切除术,然而在失血量、保留胸管天数和住院时间上与 VATS 和开放手术相比并无劣势。

肺癌根治术的关键是系统性淋巴结清扫。就操作难度而言,受限于视野角度及“筷子效应”,VATS 在暴露淋巴结上难度更大。在既往报道中,在淋巴结清扫的彻底度及淋巴结升期方面,VATS 均劣于传统开胸手术^[41]。Zirafa C 等人^[42]的研究显示,在淋巴结清扫数量及淋巴结升期比例上,RATS 组明显高于 VATS 组,而 RATS 组与开胸手术组的表现无显著差异。对于早期 NSCLC 的肺段切除,在对比 RATS 与 VATS 肺段切除术之后,ZHANG Y J 等人^[43]发现 RATS 在 N1 淋巴结清扫方面具有明显优势。RATS 手术在淋巴结清扫和淋巴结升期方面的优异表现有助于降低局部复发率,从而使患者获得较好的肿瘤学收益。

5 学习曲线

为了更好地反映外科医师学习 RATS 的成长过程,研究者提出用“学习曲线”来评估学习效果并进行针对性指导,它主要以手术时间、术中出血量、拔管时间、引流时间、术中开胸率、术后并发症发生率来作为学习曲线的评估指标^[44]。

Meyer M 等人^[45]从手术时间、死亡率和外科医生舒适度等方面分析了 185 例 RATS 肺叶切除术的学习曲线,学习者分别在 15 例、20 例

和 19 例时跨越峰点，实现了由初期学习阶段到熟练掌握阶段的转换。Toker A 等人^[46]分析了 102 例 RATS 的结果，包括肺叶切除和肺段切除，并确定了熟练掌握的最少手术例数是 14 例。Gómez Hernández M T 等人^[47]的研究发现，RATS 的学习曲线可分为 3 个阶段：前 14 例是初始学习期，接下来的 16 例是巩固阶段，从第 31 例手术开始步入熟练期。

6 远程医疗与 5G 通讯

自 21 世纪初，国外首例远程 RATS，即著名的“林白”手术^[48]开展以来，机器人手术开始与远程通信相结合，人类外科手术历程进入了新时代。我国第一台远程 RATS 完成于 2003 年，海军总医院为 600 km 以外的脑出血患者进行了远程机器人辅助下定向穿刺血肿抽吸手术^[49]。随着我国医疗技术的进步，北京积水潭医院在 2006 年成功完成了一例远程机器人辅助下胫骨骨折髓内钉内固定手术，标志着我国远程机器人手术走向初步成熟^[50]。随着 5G 通讯和机器人手术系统的不断完善，手术机器人在远程医疗领域的应用会越来越广泛，机器人辅助下的远程手术必将成为一个新趋势。5G 网络技术的快速发展使数据的传递更加稳定、迅速，使得跨地区、跨国界远程手术充满了可能。人工智能的不断完善，也可以使机器人系统更加顺畅地执行命令，从而辅助术者更好地完成手术^[51]。以 5G 传输及远程机器人手术技术为基石的“手术 4.0 时代”正在到来。

综上所述，随着微创手术技术的不断发展，VATS 的安全性和可行性已在实践中被证明。与开放式手术相比，VATS 具有多项优势，但在实际应用中同样具有一些局限性。而 RATS 克服了 VATS 的局限性，使微创肺段切除术变得更易操作、更安全，并且 RATS 在淋巴结清扫及肿瘤学获益上具有明显优势。随着 5G 通信技术的成熟，与其相结合的远程机器人手术可以促进远程手术从“遥规划”跨越到“遥操作”，打破医疗机构、医疗资源地域限制。在“云医疗”的支持下，基层群众也可以享受到高水平、高质量的医疗服务，节约看病时间，降低就医负担。RATS 作为一项新兴技术，发展时间尚短，其手术时间

较长、费用较高的缺点不容忽视，但相信随着科学技术不断发展、手术技能的不断完善、应用环境的不断成熟，RATS 会在不断进步中为人类医疗做出更大贡献。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献说明：严坤负责设计论文框架，起草论文；汪潜云负责论文修改；虞桂平负责拟定写作思路，指导撰写文章并最后定稿。

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 Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209–249.
- [2] Achudan S, Kwek E B K. A novel technique for supplementing transosseous suture repair of inferior pole patella fractures with a tension band[J]. Indian J Orthop, 2020, 54(Suppl 2): 322–327.
- [3] Chatzidionysiou K, di Giuseppe D, Soderling J, et al. Risk of lung cancer in rheumatoid arthritis and in relation to autoantibody positivity and smoking[J]. RMD Open, 2022, 8(2): e002465.
- [4] Ettinger D S, Wood D E, Aisner D L, et al. Non-Small Cell Lung Cancer, Version 3.2022, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology[J]. J Natl Compr Canc Netw, 2022, 20(5): 497–530.
- [5] Nguyen D, Gharagozloo F, Tempesta B, et al. Long-term results of robotic anatomical segmentectomy for early-stage non-small-cell lung cancer[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2019, 55(3): 427–433.
- [6] Kneuert P J, D' Souza D M, Richardson M, et al. Long-term oncologic outcomes after robotic lobectomy for early-stage non-small-cell lung cancer versus video-assisted thoracoscopic and open thoracotomy approach[J]. Clin Lung Cancer, 2020, 21(3): 214–224. e212.
- [7] Chansky K, Detterbeck F C, Nicholson A G, et al. The IASLC lung cancer staging project: external validation of the revision of the TNM Stage groupings in the eighth edition of the TNM classification of lung cancer[J]. J Thorac Oncol, 2017, 12(7): 1109–1121.
- [8] MA J L, LI X Y, ZHAO S F, et al. Robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery for lung lobectomy or segmentectomy in patients with non-small cell lung cancer: a meta-analysis[J]. BMC Cancer, 2021, 21(1): 498.
- [9] Terra R M, Araujo P, Lauricella L L, et al. A Brazilian randomized study: robotic-assisted vs. video-assisted lung lobectomy outcomes (BRAVO trial)[J]. J Bras Pneumol, 2022, 48(4): e20210464.
- [10] Taj R, Gallina F T, Forcella D, et al. Multimodal evaluation of locoregional anaesthesia efficacy on postoperative pain after robotic pulmonary lobectomy for NSCLC: a pilot study[J]. J Robot Surg, 2023. DOI: 10.1007/s11701-023-01578-y.
- [11] XU J M, NI H, WU Y H, et al. Perioperative comparison of video-assisted thoracic surgery and open lobectomy for pT1-stage non-small cell lung cancer patients in China: a multi-center propensity score-matched analysis[J]. Transl Lung Cancer Res, 2021, 10(1): 402–414.
- [12] Kirby T J, Mack M J, Landreneau R J, et al. Initial experience with video-assisted thoracoscopic lobectomy[J]. Ann Thorac Surg, 1993; 56(6): 1248–1252.
- [13] LUO J Z, Ji C Y, Campisi A, et al. Surgical outcomes of video-assisted versus open pneumonectomy for lung cancer: a real-world study[J]. Cancers (Basel), 2022, 14(22): 5683.
- [14] Nwogu C E, D' Cunha J, Pang H, et al. VATS lobectomy has better perioperative outcomes than open lobectomy: CALGB 31001, an ancillary analysis of CALGB 140202 (Alliance) [J]. Ann Thorac Surg, 2015, 99(2): 399–405.

- [15] 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.
- [16] Ettinger D S, Bepler G, Bueno R, et al. Non-small cell lung cancer clinical practice guidelines in oncology[J]. *J Natl Compr Canc Netw*, 2006, 4(6): 548–582.
- [17] Kagimoto A, Tsutani Y, Izaki Y, et al. Initial experience of robotic anatomical segmentectomy for non-small cell lung cancer[J]. *Jpn J Clin Oncol*, 2020, 50(4): 440–445.
- [18] Nelson D B, Mehran R J, Mitchell K G, et al. Robotic-assisted lobectomy for non-small cell lung cancer: a comprehensive institutional experience[J]. *Ann Thorac Surg*, 2019, 108(2): 370–376.
- [19] Reddy R M, Gorrepati M L, Oh D S, et al. Robotic-assisted versus thoracoscopic lobectomy outcomes from high-volume thoracic surgeons[J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 106(3): 902–908.
- [20] Louie B E, Wilson J L, Kim S, et al. Comparison of video-assisted thoracoscopic surgery and robotic approaches for clinical stage I and stage II non-small cell lung cancer using The Society of Thoracic Surgeons Database[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102(3): 917–924.
- [21] Novellis P, Bottoni E, Voulaz E, et al. Robotic surgery, video-assisted thoracic surgery, and open surgery for early stage lung cancer: comparison of costs and outcomes at a single institute[J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(2): 790–798.
- [22] Veronesi G, Park B, Cerfolio R, et al. Robotic resection of stage III lung cancer: an international retrospective study[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 54(5): 912–919.
- [23] Meccariello G, Faedi F, AlGhamdi S, et al. An experimental study about haptic feedback in robotic surgery: may visual feedback substitute tactile feedback? [J]. *J Robot Surg*, 2016, 10(1): 57–61.
- [24] Jensik R J, Faber L P, Milloy F J, et al. Segmental resection for lung cancer. A fifteen-year experience[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1973, 66(4): 563–572.
- [25] Onaitis M W, Furnary A P, Kosinski A S, et al. Equivalent survival between lobectomy and segmentectomy for clinical stage IA lung cancer[J]. *Ann Thorac Surg*, 2020, 110(6): 1882–1891.
- [26] Suzuki K, Saji H, Aokage K, et al. Comparison of pulmonary segmentectomy and lobectomy: safety results of a randomized trial[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 158(3): 895–907.
- [27] Altorki N K, Wang X, Wigle D, et al. Perioperative mortality and morbidity after sublobar versus lobar resection for early-stage non-small-cell lung cancer: post-hoc analysis of an international, randomised, phase 3 trial (CALGB/Alliance 140503) [J]. *Lancet Respir Med*, 2018, 6(12): 915–924.
- [28] Veronesi G. Robotic lobectomy and segmentectomy for lung cancer: results and operating technique[J]. *J Thorac Dis*, 2015, 7(Suppl 2): S122–130.
- [29] Ferrari-Light D, Geraci T C, Sasankan P, et al. The utility of near-infrared fluorescence and Indocyanine green during robotic pulmonary resection[J]. *Front Surg*, 2019. DOI: 10.3389/fsurg.2019.00047.
- [30] Pardolesi A, Veronesi G, Solli P, et al. Use of indocyanine green to facilitate intersegmental plane identification during robotic anatomic segmentectomy[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(2): 737–738.
- [31] Mehta M, Patel Y S, Yasufuku K, et al. Near-infrared mapping with indocyanine green is associated with an increase in oncological margin length in minimally invasive segmentectomy[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(5): 2029–2035.
- [32] Watkins A A, Quadri S M, Servais E L. Robotic-assisted complex pulmonary resection: sleeve lobectomy for cancer[J]. *Innovations (Phila)*, 2021, 16(2): 132–135.
- [33] Zhou N, Corsini E M, Antonoff M B, et al. Robotic surgery and anatomic segmentectomy: an analysis of trends, patient selection, and outcomes[J]. *Ann Thorac Surg*, 2022, 113(3): 975–983.
- [34] Kato H, Oizumi H, Suzuki J, et al. Thoracoscopic anatomical lung segmentectomy using 3D computed tomography simulation without tumour markings for non-palpable and non-visualized small lung nodules[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2017, 25(3): 434–441.
- [35] Ji Y, ZHANG T, YANG L, et al. The effectiveness of three-dimensional reconstruction in the localization of multiple nodules in lung specimens: a prospective cohort study[J]. *Transl Lung Cancer Res*, 2021, 10(3): 1474–1483.
- [36] HE H, WANG F, WANG P Y, et al. Anatomical analysis of variations in the bronchus pattern of the left upper lobe using three-dimensional computed tomography angiography and bronchography[J]. *Ann Transl Med*, 2022, 10(6): 305.
- [37] WANG B, GUO Y W, TANG J Q, et al. Three-dimensional custom-made carbon-fiber prosthesis for sternal reconstruction after sarcoma resection[J]. *Thorac Cancer*, 2019, 10(6): 1500–1502.
- [38] LI C W, HU Y J, HUANG J, et al. Comparison of robotic-assisted lobectomy with video-assisted thoracic surgery for stage IIB-IIIa non-small cell lung cancer[J]. *Transl Lung Cancer Res*, 2019, 8(6): 820–828.
- [39] JIN R S, ZHENG Y Y, YUAN Y, et al. Robotic-assisted Versus Video-assisted Thoracoscopic Lobectomy: Short-term Results of a Randomized Clinical Trial (RVlob Trial) [J]. *Ann Surg*, 2022, 275(2): 295–302.
- [40] Cerfolio R J, Watson C, Minnich D J, et al. One hundred planned robotic segmentectomies: early results, technical details, and preferred port placement[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101(3): 1089–1095.
- [41] Medbery R L, Gillespie T W, Liu Y, et al. Nodal upstaging is more common with thoracotomy than with VATS during lobectomy for early-stage lung cancer: an analysis from the National Cancer Data Base[J]. *J Thorac Oncol*, 2016, 11(2): 222–233.
- [42] Zirafa C, Aprile V, Ricciardi S, et al. Nodal upstaging evaluation in NSCLC patients treated by robotic lobectomy[J]. *Surg Endosc*, 2019, 33(1): 153–158.
- [43] ZHANG Y J, CHEN C, HU J, et al. Early outcomes of robotic versus thoracoscopic segmentectomy for early-stage lung cancer: a multi-institutional propensity score-matched analysis[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 160(5): 1363–1372.
- [44] Matsumoto J, Hiyama N, Yanagiya M. The Current Status and Future of Robot-assisted Thoracic Surgery[J]. *Kyobu Geka*, 2020, 73(4): 250–255.
- [45] Meyer M, Gharagozloo F, Tempesta B, et al. The learning curve of robotic lobectomy[J]. *Int J Med Robot*, 2012, 8(4): 448–452.
- [46] Toker A, Özyurtkan M O, Kaba E, et al. Robotic anatomic lung resections: the initial experience and description of learning in 102 cases[J]. *Surg Endosc*, 2016, 30(2): 676–683.
- [47] Gómez Hernández M T, Fuentes Gago M, Novoa Valentín N, et al. Robotic anatomical lung resections: Analysis of the learning curve[J]. *Cir Esp (Engl Ed)*, 2021, 99(6): 421–427.
- [48] Marescaux J, Leroy J, Rubino F, et al. Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications[J]. *Ann Surg*, 2002, 235(4): 487–492.
- [49] 唐黎, 王田苗, 丑武胜, 等. 脑外科机器人控制系统的设计和实现 [J]. *机器人*, 2004, 26(6): 543–547+552.
- [50] 王军强, 赵春鹏, 胡磊, 等. 远程外科机器人辅助胫骨髓内钉内固定系统的初步应用 [J]. *中华骨科杂志*, 2006(10): 682–686.
- [51] 安芳芳, 荆朝侠, 彭燕, 等. 达芬奇机器人的“前世、今生、来世” [J]. *中国医疗设备*, 2020, 35(7): 148–151+168.

编辑: 刘静凯