

• 机器人手术专题 •

达芬奇机器人手术在胸外科的应用

杨洋 李志刚

【摘要】 发展新技术和不断扩大手术创新一直是胸外科的标志之一，胸腔镜手术的开展正是视角转变的范例，使微创技术成为胸外科的常规术式。基于此，以达芬奇机器人为代表的机器人辅助胸外科手术正接近主流实践并且已经得到广泛应用。多项前瞻性临床研究结果证实机器人手术在手术效能、淋巴结清扫以及复杂胸部手术方面较胸腔镜更具优势。本文分析了机器人手术系统在胸外科手术的发展现状并展望其在胸外科的未来发展前景。

【关键词】 机器人； 胸外科手术； 肺癌； 食管癌； 纵隔肿瘤

Application of Davinci surgical robot in thoracic surgery Yang Yang, Li Zhigang. Department of Thoracic Surgery, Shanghai Chest Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200030, China

Corresponding author: Li Zhigang, Email: dr_lizhigang@163.com

【Abstract】 The embracing of new technology and expanding surgical innovation has been one of the hallmarks of thoracic surgery. The adoption of video-assisted thoracoscopic surgery was the paradigm of perspective changing, which enabled minimally invasive technique as routine approach in thoracic surgery. From this foundation, robotic surgery, represented by Davinci robot, is approaching mainstream practice and has been widely performed in thoracic surgery. Several prospective clinical trials have demonstrated the advantages of robotic surgery over conventional thoracoscopic surgery in terms of surgical efficiency, lymph node dissection and complex thoracic surgery. This article aims to summarize the application status of robotic surgery, and its future development in thoracic surgery is prospected.

【Key words】 Robot; Thoracic surgery; Lung cancer; Esophageal cancer; Mediastinal carcinoma

胸腔镜辅助微创手术在过去几十年快速发展并且已经成为治疗肺、食管、纵隔等胸部常见疾病的主要手术方式，多项研究证实了微创手术在加速围手术期康复、降低术后并发症等方面的优势。作为胸腔镜微创外科的升级技术，以达芬奇机器人为代表的机器人手术已在胸外科逐渐得到广泛应用，并积累了数据证据。目前国内医疗中心机器人装机数量逐年递增，一些大的临床中心已经证实机器人手术在手术效能、淋巴结清扫以及复杂胸部手术方面比胸腔镜更具优势，能够让外科医生更加舒适地完成手术，并在世界上率先完成了一部分循证医学研究。本文分析了机器人手术系统在胸外科手术的发展现状并展望其在胸

外科的未来发展前景。

一、概述

美国Intuitive Surgical公司研发的达芬奇手术机器人是目前全球最为领先的手术机器人系统，至今已推出标准、S、Si、Xi、SP共5代产品并且已广泛应用于泌尿外科、心胸外科、普外科等多个学科。2001年达芬奇手术机器人首先应用于非侵袭性胸腺瘤切除术^[1]，此后在胸外科领域得到了快速推广。国内首例机器人辅助胸外科手术于2009年在上海市胸科医院完成^[2]，目前达芬奇机器人手术系统在胸外科应用广泛，其在治疗肺癌、食管癌、纵隔肿瘤等胸外科常见疾病中逐渐显示独特的优势^[3]。其主要缺点在于增加患者费用负担，但是随着市场竞争格局的改变，其必定是未来胸外科微创技术的发展方向。

二、肺部手术

2002年，Melfi等^[4]报道了世界上第1例机器

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-8773.2022.04.06

作者单位：200030 上海，上海交通大学医学院附属胸科医院胸外科

通讯作者：李志刚，Email: dr_lizhigang@163.com

人辅助肺部手术，国内罗清泉等于2009年开展了第1例机器人辅助肺叶切除术^[2]。根据《机器人辅助肺癌手术中国临床专家共识》2020版^[5]，其手术适应证与常规胸腔镜手术基本相同，根据肿瘤情况可以开展机器人辅助肺叶切除术、肺段切除术及肺袖式切除术等各种术式^[6]。鉴于机器人手术成本显著高于常规胸腔镜手术，并没有形成I级推荐，尤其不建议常规用于非解剖性肺切除手术，但由于其高精度和灵活的操作性能，在合并支气管血管成形的手术中，可能会带来优势。

从循证医学来看，上海瑞金医院李鹤成团队2017年牵头开展了国际上首项机器人对比胸腔镜肺叶切除术的前瞻性随机对照研究^[7]，该研究短期结果显示，机器人手术在围手术期并发症发生率、术后住院天数等疗效指标均未见差异；在淋巴结清扫总数、N1淋巴结清扫数目和淋巴结清扫站数方面优于胸腔镜。国内另外一项多中心回顾性研究^[8]显示，机器人与胸腔镜在肺段切除术的手术时间、术中出血量、术后住院时间、总体并发症发生率等方面均无显著差异，但机器人手术获得了更好的N1淋巴结清扫。对于复杂机器人联合肺段切除术，一项回顾性研究^[9]结果显示，机器人手术非常适合较小（<2 cm）的多节段肺癌，其在复杂肺段手术的安全性和有效性已得到证实。

袖式切除术是中央型肺癌常见手术方式，常规胸腔镜由于视野、器械灵活度以及操作难度大的原因使得其应用受限，机器人手术系统由于独特的灵活操作系统及3-D放大视野，因而能够广泛应用于微创肺袖式切除术。国内罗清泉团队首先报道了该术式^[10-12]，随后矫文捷团队发表了目前为止最大的机器人肺袖式切除术单中心回顾性研究结果，显示出非常良好的手术安全性^[13]。

三、食管手术

2003年，Horgan等^[14]报道了首例机器人食管切除术，其后，机器人食管手术在全球各大中心相继开展，由于食管癌手术步骤多、操作复杂，目前机器人食管癌手术仅在国内一些大中心开展。大多数专家在开展机器人食管癌手术进行胸部食管游离与淋巴结清扫时，会选择机器人辅助完成，而根据腹部操作使用机器人/腹腔镜/开放3种不同方式，分为完全机器人/混合机器人手术；根据吻合口位置亦有胸腹二切口（Ivor

Lewis）和颈胸腹三切口（McKeown）之分；同时选择二野或者三野淋巴结清扫，各中心根据自己的经验和患者不同情况也有差别。由于我国食管癌患者以鳞癌为主，病变主要在中上段，因此以三切口McKeown手术为主，上海市胸科医院李志刚团队完成了迄今为止国际最大规模的机器人辅助食管鳞癌切除术^[15]，并且取得了非常满意的围术期结果，总体死亡率低于1%。对于有些因食管穿孔伴纵隔感染、联合主动脉或气管切除等患者，II期食管重建是必要的，可用的替代物包括管状胃、间置结肠、小肠（带或不带蒂）或罕见的游离肌皮移植，其手术结果与I期食管切除吻合术相当^[16-17]，有研究表明机器人手术也可以应用于这类患者的食管重建^[18]。

既往多项研究已经证实机器人食管癌根治术的有效性和安全性。从循证医学来看，ROBOT研究结果表明与开放手术相比，机器人手术显著降低了围手术期并发症的发生率，患者术后疼痛减轻，肺部并发症发生率降低，恢复加快^[19]。李志刚团队牵头开展了国际首项机器人对比常规胸腔镜辅助食管癌根治术的前瞻性随机对照研究（RAMIE）^[20]，该研究短期结果显示，两者在术中出血、中转率、R0切除比例、住院时间、术后并发症上无显著差别，机器人手术时间更短、在新辅助治疗后患者的淋巴结清扫以及喉返神经旁淋巴结清扫方面具有显著优势。在最近国际会议报道的RAMIE研究3年中期随访结果提示，机器人手术患者的局部复发比例更低，3年总体生存率显著高于胸腹腔镜组。由此同时，许多学者认为由于机器人手术的内在系统，其在食管癌手术诸如外侵肿瘤的R0切除、淋巴结清扫、纵隔精细解剖（如喉返神经、胸导管）的暴露上可能存在更大的优势，这与RAMIE研究的结果也非常一致，不过这些优势能否转化为最终的生存获益目前仍有待于RAMIE研究的长期结果。尽管如此，从当前中期结果来看，机器人食管癌根治术在肿瘤局控、淋巴结清扫，尤其是复杂外侵肿瘤的治疗中存在的优势已被证实。

此外，根据《机器人辅助食管切除术国际专家共识》^[21]推荐，相比于常规胸腹腔镜，机器人手术具有更短的学习曲线，一般通过25~40例左右的学习过程即会达到相对稳定的水平^[22-23]。对于

既往没有微创食管癌根治术经验的初学者,开展机器人手术也能很快完成学习曲线,达到一个较为熟练的水平;而对于熟练开展微创食管癌根治术的外科医生来说,使用机器人手术能明显缩短学习曲线。此外,在其他食管疾病方面机器人手术也有广泛应用,借助于机器人手术独特的内腕缝合技术以及操作灵活性,其在许多食管良性疾病手术中能够降低操作难度,例如贲门失弛缓食管下段肌层切开、食管裂孔疝膈肌修补、胃底折叠抗返流、食管平滑肌瘤摘除、食管憩室等^[24]。

四、纵隔肿瘤手术

根据《机器人辅助纵隔肿瘤手术中国专家共识(2019版)》^[25]推荐,机器人纵隔肿瘤切除术适应证类似于常规胸腔镜手术(I类);如果条件允许,应将机器人辅助手术作为纵隔肿瘤切除的首选方式(II B类);机器人手术系统能够有效还原或接近传统手术方式,拓宽了其手术适应证,肿瘤大小和胸膜粘连已不再是绝对禁忌证,尤其在侵犯心包、大血管等纵隔肿瘤的手术治疗上更有优势(II B类)^[26-27]。一项针对美国NCDB数据库接受胸腺切除患者的研究表明,机器人、胸腔镜以及开放手术在非R0切除比例、淋巴结清扫、30/90天死亡率方面无显著差异,但是机器人手术中转开胸比例低于胸腔镜,并且术后住院时间缩短^[28-29]。在重症肌无力全胸腺切除上,机器人手术也具有非常广泛的应用前景,既往研究报告机器人手术在Masaoka I期及II期肿瘤的应用上具有良好的围手术期结果和长期随访数据^[30]。此外,很多其他研究结果也都证实机器人辅助全胸腺切除手术安全性高、术后长期缓解率优于开放手术^[31]。

对于前上纵隔肿瘤,机器人手术可分为左侧入路、右侧入路、剑突下入路。根据指南推荐,经右侧入路目前仍为首选,可以避免主动脉弓和心脏的遮挡,肿瘤及胸腺区域空间加大,主动脉静脉沟及上腔静脉容易辨识,胸腺血管和右上极更加容易显露,并且右侧入路更加符合右手操作者习惯^[32]。经左侧入路在各中心报道较少,一般应用于肿瘤偏左或者既往右胸手术史患者。剑突下入路能够清晰显露双侧膈神经、心包前脂肪、无名静脉、主动脉及分支、双侧胸腺上极,机器人辅助下能够最大程度清扫前纵隔脂肪,减少副损伤,安全有效。但是

该入路受限于胸骨下角大小及心脏功能耐受情况,通常装机时间较长^[33-35]。在中后纵隔手术方面,金标准仍然是目前广泛应用的胸腔镜,机器人手术入路与胸腔镜类似,难点在于患者的体位选择与操作孔设定^[36]。有研究表明,对于靠近膈肌、位于胸膜顶的后纵隔肿瘤,由于常规胸腔镜手术器械精准性差、解剖困难,手术难度通常比较大,特别是邻近重要神经或有重要神经起源的肿瘤,椎间孔狭小,机器人手术能够实现肿瘤的充分暴露、完整切除以及神经保护功能^[37]。

五、小结及展望

以达芬奇手术系统为代表的机器人在胸外科各类手术中广泛开展,手术体量及相关临床研究不断提升。目前的循证医学证据表明,机器人手术在胸外科各类疾病的治疗中保证安全性、微创性及肿瘤学根治的同时,也很大程度地提升了如肺袖式切除、胸上段食管癌切除等复杂手术的开展。机器人手术的未来发展包括更小的移动平台、自然腔道手术机器人、人工智能手术机器人等创新技术,应用前景十分广阔,必将成为胸外科手术的未来方向,期待有更多高水平临床研究为机器人胸外科手术的应用提供循证依据。

参 考 文 献

- 1 Yoshino I, Hashizume M, Shimada M, et al. Video-assisted thoracoscopic extirpation of a posterior mediastinal mass using the da Vinci computer enhanced surgical system[J]. *Ann Thorac Surg*, 2002, 74 (4): 1235-1237.
- 2 Zhao X, Qian L, Lin H, et al. Robot-assisted lobectomy for non-small cell lung cancer in china: initial experience and techniques[J]. *J Thorac Dis*, 2010, 2 (1): 26-28.
- 3 Cerfolio RJ, Bryant AS, Minnich DJ. Starting a robotic program in general thoracic surgery: why, how, and lessons learned[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 91 (6): 1729-1736.
- 4 Melfi FM, Menconi GF, Mariani AM, et al. Early experience with robotic technology for thoracoscopic surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2002, 21 (5): 864-868.
- 5 罗清泉,王述民,李鹤成,等. 机器人辅助肺癌手术中国临床专家共识 [J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2020, 27 (10): 1119-1126.
- 6 袁野,金润森,李鹤成. 机器人手术在肺癌外科的现状和展望 [J]. *临床外科杂志*, 2020, 28 (7): 601-604.

- 7 Jin R, Zheng 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.
- 8 Zhang Y, 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.
- 9 Li C, Han Y, Han D, et al. Robotic Approach to Combined Anatomic Pulmonary Subsegmentectomy: Technical Aspects and Early Results[J]. *Ann Thorac Surg*, 2019, 107(5): 1480-1486.
- 10 Pan X, Gu C, Wang R, et al. Initial Experience of Robotic Sleeve Resection for Lung Cancer Patients[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102 (6): 1892-1897.
- 11 Gu C, Pan X, Chen Y, et al. Short-term and mid-term survival in bronchial sleeve resection by robotic system versus thoracotomy for centrally located lung cancer[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 53 (3): 648-655.
- 12 Pan X, Gu C, Yang J, et al. Robotic double-sleeve resection of lung cancer: technical aspects[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 54 (1): 183-184.
- 13 Jiao W, Zhao Y, Qiu T, et al. Robotic Bronchial Sleeve Lobectomy for Central Lung Tumors: Technique and Outcome[J]. *Ann Thorac Surg*, 2019, 108 (1): 211-218.
- 14 Horgan S, Berger RA, Elli EF, et al. Robotic-assisted minimally invasive transhiatal esophagectomy[J]. *Am Surg*, 2003, 69 (7): 624-626.
- 15 Yang Y, Li C, Li Z. Outcomes after robot-assisted minimally invasive esophagectomy: review of 1000 patients in a single center[J]. *Dis Esophagus*; 2022; 35 (Suppl2): do-ac051.
- 16 Kesler KA, Pillai ST, Birdas TJ, et al. "Supercharged" isoperistaltic colon interposition for long-segment esophageal reconstruction[J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 95 (4): 1162-1168.
- 17 Moore JM, Hooker CM, Molena D, et al. Complex Esophageal Reconstruction Procedures Have Acceptable Outcomes Compared With Routine Esophagectomy[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102 (1): 215-222.
- 18 Petrov RV, Bakhos CT, Abbas AE. Robotic substernal esophageal bypass and reconstruction with gastric conduit-frequently overlooked minimally invasive option[J]. *J Vis Surg*, 2019, 5: 47.
- 19 van der Sluis PC, van der Horst S, May AM, et al. Robot-assisted Minimally Invasive Thoracoscopic Esophagectomy Versus Open Transthoracic Esophagectomy for Resectable Esophageal Cancer: A Randomized Controlled Trial[J]. *Ann Surg*, 2019, 269 (4): 621-630.
- 20 Yang Y, Li B, Yi J, et al. Robot-assisted Versus Conventional Minimally Invasive Esophagectomy for Resectable Esophageal Squamous Cell Carcinoma: Early Results of a Multicenter Randomized Controlled Trial: the RAMIE Trial[J]. *Ann Surg*, 2022, 275 (4): 646-653.
- 21 Li B, Yang Y, Toker A, et al. International consensus statement on robot-assisted minimally invasive esophagectomy (RAMIE)[J]. *J Thorac Dis*, 2020, 12 (12): 7387-7401.
- 22 Zhang H, Chen L, Wang Z, et al. The Learning Curve for Robotic McKeown Esophagectomy in Patients with Esophageal Cancer[J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 105 (4): 1024-1030.
- 23 Yang Y, Li B, Hua R, et al. Assessment of Quality Outcomes and Learning Curve for Robot-Assisted Minimally Invasive McKeown Esophagectomy[J]. *Ann Surg Oncol*, 2021, 28 (2): 676-684.
- 24 喻本桐, 唐建. 达芬奇机器人系统在胸外科手术中的应用 [J]. *中国医师杂志*, 2017, 19 (7): 961-965.
- 25 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. 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, 7 (2): 117-125.
- 26 Bodner J, Wykypiel H, Greiner A, et al. Early experience with robot-assisted surgery for mediastinal masses[J]. *Ann Thorac Surg*, 2004, 78 (1): 259-265.
- 27 Savitt MA, Gao G, Furnary AP, et al. Application of robotic-assisted techniques to the surgical evaluation and treatment of the anterior mediastinum[J]. *Ann Thorac Surg*, 2005, 79 (2): 450-455.
- 28 Cakar F, Werner P, Augustin F, et al. A comparison of outcomes after robotic open extended thymectomy for myasthenia gravis[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2007, 31 (3): 501-504.
- 29 Rückert JC, Swierzy M, Ismail M. Comparison of robotic and nonrobotic thoracoscopic thymectomy: a cohort study[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 141 (3): 673-677.
- 30 Rea F, Marulli G, Bortolotti L, et al. Experience with the "da Vinci" robotic system for thymectomy in patients with myasthenia gravis: report of 33 cases[J]. *Ann Thorac Surg*, 2006, 81 (2): 455-459.
- 31 Fok M, Bashir M, Harky A, et al. Video-Assisted Thoracoscopic Versus Robotic-Assisted Thoracoscopic Thymectomy: Systematic Review and Meta-analysis[J]. *Innovations (Phila)*, 2017, 12 (4): 259-264.
- 32 Ismail M, Swierzy M, Rückert RI, et al. Robotic thymectomy

- for myasthenia gravis[J]. Thorac Surg Clin, 2014, 24 (2): 189-95, vi-vii.
- 33 Kawaguchi K, Fukui T, Nakamura S, et al. A bilateral approach to extended thymectomy using the da Vinci Surgical System for patients with myasthenia gravis[J]. Surg Today, 2018, 48 (2): 195-199.
- 34 Rueckert J, Swierzy M, Badakhshi H, et al. Robotic-assisted thymectomy: surgical procedure and results[J]. Thorac Cardiovasc Surg, 2015, 63 (3): 194-200.
- 35 Zhang H, Chen L, Zheng Y, et al. Robot-assisted thymectomy via subxiphoid approach: technical details and early outcomes[J]. J Thorac Dis, 2018, 10 (3): 1677-1682.
- 36 Cerfolio RJ, Bryant AS, Minnich DJ. Operative techniques in robotic thoracic surgery for inferior or posterior mediastinal pathology[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2012, 143 (5): 1138-1143.
- 37 Kajiwaru N, Kakihana M, Usuda J, et al. Extended indications for robotic surgery for posterior mediastinal tumors[J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2012, 20 (3): 308-313.
- (收稿: 2022-11-23; 修回: 2022-11-24; 接受: 2022-11-25)
(本文编辑: 丁玮)

杨洋, 李志刚. 达芬奇机器人手术在胸外科的应用[J/CD]. 中华胸部外科电子杂志, 2022, 9 (4): 230-234.