

机器人辅助食管癌根治术的应用现状与研究进展

袁立功, 吴杲, 柯立, 解明然, 梅新宇, 吴显宁

(中国科学技术大学附属第一医院胸外科 安徽 合肥 230001)

摘要 我国是食管癌高发地区, 目前外科手术仍是治疗食管癌的关键措施。微创食管癌手术已成为食管癌外科治疗的主流术式, 其中机器人手术系统因其独特的优势已逐步应用于食管癌的手术治疗。现就机器人辅助食管癌根治术的应用现状与研究进展进行综述, 全面分析机器人辅助食管癌根治术在食管癌治疗中的应用现状及优劣势, 提出相关挑战的应对策略并展望其在未来的发展前景。

关键词 机器人辅助食管癌根治术; 机器人辅助胸腔镜手术; 早期食管癌

中图分类号 R735.1 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 02-0332-04

Application status and research progress of robot-assisted radical esophagectomy

YUAN Ligong, WU Gao, KE Li, XIE Mingran, MEI Xinyu, WU Xianning

(Department of Thoracic Surgery, the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230001, China)

Abstract China has a high incidence of esophageal cancer, and surgery is still the key measure for the treatment of esophageal cancer currently. Minimally invasive esophageal cancer surgery has become the mainstream surgical treatment of esophageal cancer, in which robot-assisted surgical systems have been gradually applied to the surgical treatment of esophageal cancer due to their unique advantages. The application status and research progress of robot-assisted radical esophagectomy were reviewed to comprehensively analyze the current status, advantages, disadvantages of robot-assisted radical esophagectomy in esophageal cancer treatment, hoping to put forward the strategies to cope with the related challenges, and look forward to the prospects of its development in the future.

Key words Robot-assisted Radical Esophagectomy; Robot-assisted Thoracoscopic Surgery; Early Esophageal Cancer

食管癌在我国常见恶性肿瘤中位列第六, 病死率高居第五^[1]。对于早期以及局部晚期食管癌, 手术仍然是治疗的重要手段。随着技术的发展, 微创手术因其创伤小、恢复快、视野清晰、肿瘤学效果与开胸手术相当或更好等优势已经成为治疗食管癌的主流术式。机器人手术系统作为微创外科最先进的技术, 已在胸外科得到了广泛应用。2001年 Ichiro Y 等人^[2]率先应用达芬奇手术机器人实施了非侵袭性胸腺瘤切除术, 开启了达芬奇手术机器人在胸外科应用的先河。国内首例机器人辅助胸外科手术于 2009 年在上海胸科医院完成^[3]。截至 2023 年

7 月, 中国大陆机器人手术系统装机量突破 350 台, 2023 年 1 月—2023 年 7 月, 机器人辅助胸外科手术累计开展 9688 例, 占所有机器人手术的 13.61%。目前, 机器人手术系统在胸外科应用广泛, 在肺、食管、纵隔及膈肌手术中均可开展, 在食管癌根治术中亦得到逐步应用。现就机器人辅助食管癌根治术的应用现状及研究进展进行综述。

1 机器人手术系统治疗食管癌的技术优势

因食管解剖结构的特殊性, 导致食管癌手术具有手术复杂、操作多、手术时间长、术后并发症多

基金项目: 安徽省自然科学基金 (2208085MH262); 中国博士后科学基金 (2021M693083)

Foundation Item: Natural Science Foundaion of Anhui Province (2208085MH262); Postdoctoral Science Foundation of China (2021M693083)

引用格式: 袁立功, 吴杲, 柯立, 等. 机器人辅助食管癌根治术的应用现状与研究进展 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (2): 332-335.

Citation: YUAN L G, WU G, KE L, et al. Application status and research progress of robot-assisted radical esophagectomy [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(2): 332-335.

通讯作者 (Corresponding Author): 吴显宁 (Wu Xianning), Email: xianning.wu@fsyy.ustc.edu.cn

等特点。传统的开胸食管癌根治术创伤大、手术视野欠佳、上纵隔淋巴结清扫困难且术后并发症多，而随着技术、器械以及治疗理念的进步，微创手术逐渐成为治疗食管癌的主流术式。研究显示，相较于传统的开胸手术，电视辅助胸腔镜手术（Video-assisted Thoracic Surgery, VATS）具有创伤小、视野清晰等优点，围手术期指标等方面优于传统开胸手术^[4-7]。但 VATS 多为 2D 视野，操作时器械的活动依赖于“杠杆活动”而缺乏灵活的关节活动，因此在狭小空间内操作存在一定困难。食管癌手术过程复杂、操作多，术中需完整游离胸段食管和腹腔胃，进行管状胃-食管吻合，清扫包括上纵隔淋巴结在内的各站淋巴结，尤其是左右喉返神经旁淋巴结已成为食管癌根治术的常规清扫部位。但由于上纵隔空间较为狭窄，清扫喉返神经旁淋巴结时存在手术空间小、视野难以充分暴露及操作困难等问题，一旦操作不当容易引起喉返神经损伤。受限角度、空间、视野等因素，管状胃-食管的胸内吻合是传统胸腔镜食管癌手术的一大难点。而机器人手术系统具有清晰的 3D 视野、灵活的关节活动，同时可通过机械臂过滤掉振动，具有较高的稳定性，因此其在诸如喉返神经旁淋巴结清扫、食管和管状胃的胸内吻合等复杂和精细操作方面具有显著优势^[8]。机器人手术系统的出现，让外科医生在保证根治性切除病灶的同时实现对正常组织器官功能最大的保护；同时因其允许术者借助操作平台进行手术操作，也可改善术者的手术体验。

2 机器人辅助食管癌手术的围手术期疗效优势

机器人辅助食管切除术开展已有 20 余年，2002 年，Melvin W S 等人^[9]率先使用机器人手术系统完成了首例食管切除术，陈秀等人^[10]于 2010 年在国内首次报道了机器人辅助食管切除术。目前，机器人辅助食管癌根治术已在国内一些大型胸外科中心广泛开展，完成了从探索到建立成熟技术体系的过程。机器人辅助食管癌手术在围手术期的疗效优势亦有一些报道。Betzler J 等人^[11]对机器人辅助食管癌根治术与胸腔镜食管癌根治术的围手术期疗效进行了比较，结果显示机器人手术患者术后并发症和吻合口瘘发生率更低、术后平均住院时间和

ICU 停留时间更短。贾卓奇等人^[12]比较了机器人辅助食管癌根治术与胸腔镜食管癌根治术的近期疗效，结果显示机器人辅助食管癌根治术组的喉返神经损伤发生率和术中出血量显著低于胸腔镜组，术后心肺并发症发生率、住院时间和术后 90 d 死亡率无显著差异。证明机器人辅助食管癌根治术不仅是安全可行的，且在围手术期疗效方面具有显著优势。刘宏伟等人^[13]也对这两种术式的近期疗效进行了比较，结果显示机器人辅助食管癌根治术具有良好的手术安全性，术中出血量低于胸腔镜手术、术中淋巴结清扫数多于胸腔镜手术，二者总并发症发生率无显著差异，但手术时间更长。最经典的 ROBOT 试验^[14]对比了机器人辅助食管癌根治术与开胸食管癌根治术，结果显示机器人辅助食管癌根治术组的术后并发症发生率、术中出血量、肺部并发症发生率、心律失常发生率及疼痛评分均显著低于开胸食管癌根治术组，而出院时及出院后 6 周的生活质量评分均显著高于开胸食管癌根治术组。

综上所述，相较于传统的开胸或胸腔镜食管癌根治术，机器人辅助食管癌根治术在术中出血量、术后并发症发生率、淋巴结清扫数等围手术期疗效方面具有一定优势，患者术后短期生活质量更高。

3 机器人辅助手术在食管癌手术中清扫喉返神经旁淋巴结的优势

由于上纵隔空间狭窄、视野难以充分暴露及操作困难等问题，喉返神经旁淋巴结清扫，尤其是左侧喉返神经旁淋巴结清扫是食管癌根治术的一大难点^[15]。同时，喉返神经旁淋巴结是食管癌各组淋巴结中转移率最高的，清扫效能亦是最高，目前国内外对食管癌根治术中须常规清扫喉返神经旁淋巴结已达成共识^[16]。但清扫喉返神经旁淋巴结时若操作不当极易造成喉返神经损伤，导致患者术后咳嗽咳痰困难，肺部并发症发生率增加，严重者因双侧喉返神经损伤而行气管切开甚至死亡^[17-18]。因此，如何在彻底清扫喉返神经旁淋巴结的同时做好喉返神经功能保护极为重要。

目前，国内外多项研究显示，相较于胸腔镜与传统开胸手术，机器人辅助食管癌手术凭借更大更清晰的手术视野、更好的操作灵活性及稳定性，在清扫上纵隔淋巴结，尤其是喉返神经旁淋巴结时更

具优势。Nakanoko T 等人^[19]对机器人辅助食管癌根治术中左侧喉返神经旁淋巴结清扫进行了专门探讨,结果显示纳入的 102 例患者平均清扫数目为 4 枚(1~14 枚),左侧喉返神经麻痹发生率为 7%,因此机器人辅助食管癌根治术清扫左侧喉返神经旁淋巴结是安全的,且可以清扫到足够数量。DUAN X F 等人^[20]对 110 例行左侧喉返神经旁淋巴结清扫的患者(其中 70 例行机器人辅助食管癌根治术,40 例行胸腔镜食管癌根治术)研究发现,机器人手术组清扫的淋巴结数目、站数更多,检出率更高,喉返神经损伤发生率更低。张晓彬等人^[21]回顾了国内最大的一组单中心机器人辅助食管癌治疗效果,结果显示借助机器人手术系统行食管癌根治术是安全可行的,且对于喉返神经旁淋巴结清扫具有一定优势。综上所述,机器人辅助食管癌根治术在清扫喉返神经旁淋巴结方面具有胸腔镜和开胸手术无可比拟的优势,这体现在较满意的喉返神经旁淋巴结获取和较低的喉返神经损伤发生率上。

4 机器人辅助食管癌手术的远期疗效优势

不论是手术、化疗、免疫治疗抑或是放疗等治疗手段,在考虑治疗安全性的前提下,首先要关注的就是远期疗效。目前,国内外诸多研究显示,机器人辅助食管癌根治术相较于开胸或胸腔镜食管癌根治术,患者具有相似或者更好的远期生存率。YANG Y 等人^[22]对 653 例接受机器人或传统胸腔镜 McKeown 手术的食管鳞状细胞癌患者资料进行倾向性评分匹配发现,两组患者总生存率和无病生存率无显著差异,但机器人组上纵隔淋巴结复发率更低。刘宏伟等人^[23]比较了机器人辅助食管癌根治术与胸腔镜食管癌根治术的生存情况,发现两组患者肿瘤复发率、无病生存率、肿瘤转移率均无显著差异。而重庆医科大学第一附属医院的隆江等人^[24]的研究则发现接受机器人辅助食管癌根治术的患者术后 1 年、3 年无瘤生存率优于接受胸腔镜食管癌根治术患者,但两组患者 1 年、3 年的总生存率无显著差异。何占峰等人^[25]按照前瞻性随机对照研究方法将 192 例患者随机分为机器人手术组和胸腔镜手术组,中位随访 21 个月,结果显示机器人手术组术后 1 年、3 年累计无复发生存率均高于胸腔镜组。张晓彬等人^[26]对 116 例行机器人辅助食管癌 McKeown 术或

胸腹腔镜联合 McKeown 术的患者进行比较发现,两组患者术后无瘤生存、肿瘤复发、肿瘤转移率等方面均无显著差异。综上所述,接受机器人辅助食管癌根治术的患者其远期生存率不低于或优于接受传统胸腹腔镜食管癌根治术患者。

5 机器人辅助食管癌手术的劣势及解决途径

目前,机器人辅助食管癌手术的主要缺点是费用高、手术时间相对长及中转开胸时间长、缺乏力反馈等。诸多研究显示,在度过学习曲线前,机器人辅助食管癌手术用时较长,但在度过学习曲线后,术者及团队熟悉了机器人操作流程、团队配合得当后,手术时间则显著缩短^[27-30]。HAN Y 等人^[27]对上海交通大学医学院附属瑞金医院在 2015 年 5 月—2020 年 8 月连续开展的 124 例行机器人辅助食管癌 Ivor-Lewis 手术患者的临床资料进行分析发现,机器人辅助食管癌手术学习曲线为 51 例,在度过学习曲线后总手术时间显著缩短,主要并发症发生率显著降低。de Groot E M 等人^[28]回顾性分析了其中心在 2018—2021 年开展的 70 例机器人辅助食管癌根治术患者的临床资料,结果显示机器人辅助食管癌根治术腹部手术阶段学习曲线为 22 例。ZHANG H L 等人^[29]对在四川大学华西医院行机器人辅助食管癌 McKeown 手术的 72 例患者的临床资料进行分析发现,对于有开胸和胸腹腔镜联合食管癌根治术经验的术者,机器人学习曲线为 26 例,在度过学习曲线后总手术时间显著缩短,淋巴结清扫数目更多。Pieter van 等人^[30]对两个术者的学习曲线进行比较发现,术者 1 在无任何机器人手术经验的前提下,其机器人辅助食管癌根治术学习曲线为 70 例,而术者 2 在作为助手进行 20 例机器人辅助食管癌手术后,其学习曲线为 24 例。由此可见,有手术经验尤其是参与过机器人手术的医生,其学习曲线与无相关经验者相比明显缩短。此外,大部分副损伤和手术相关并发症均发生在学习曲线的初段。因此,在未来的临床工作中,思考如何缩短机器人手术学习曲线,对于胸外科在进一步优化食管癌治疗上具有重要意义。

6 小结与展望

相较于开胸或胸腹腔镜食管癌根治术,机器人

辅助食管癌手术具有出血量少、淋巴结清扫彻底、创伤小、术后恢复快等优势，肿瘤学疗效与传统手术相似或更优，同时也存在手术时间长、费用高昂等缺点，但度过学习曲线后手术时间与传统胸腔镜手术相似。大部分的副损伤和手术相关并发症是由于在学习曲线的初段对机器人手术系统不熟悉、团队配合欠佳等。因此，总结既往机器人手术经验，认真探究机器人辅助食管癌手术学习曲线，结合实际情况建立阶梯式、模块化机器人手术培训体系对于缩短机器人食管癌手术学习曲线具有重要意义。此外，国产手术机器人的上市和普及有助于解决机器人手术费用高昂的问题。

未来机器人手术的发展趋势可能由现阶段模仿胸腔镜手术阶段向具有自身特色的方向转变。机器人手术系统具有强大的学习和更新能力，未来有望与人工智能结合，在实践中通过不断地深度学习，形成完善的体系，实现人机结合，进而为外科医生提供术中辅助和指导，从而更好更快地完成手术。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：袁立功参与选题与设计，负责文章撰写、修改，搜集文献数据；吴昊协助搜集文献数据；吴昱宁负责本文总体设计与构想，对本文终版内容审核、定稿；柯立、解明然、梅新宇参与文章设计与构想。

参考文献

- [1] 郑荣寿, 张思维, 孙可欣, 等. 2016 年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2023, 45(3): 212–220.
- [2] Ichiro Y, Makoto H, Mitsuo S, 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.
- [3] 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.
- [4] 翟立强, 陈振岗. 胸腔镜联合腹腔镜手术治疗食管癌的临床效果[J]. 微创医学, 2021, 16(6): 782–785.
- [5] 郑晓东, 张卫民, 侯建彬. 胸腹腔镜联合微创术与开放手术治疗食管癌的临床效果比较[J]. 中国临床新医学, 2019, 12(10): 1108–1112.
- [6] 冯琼宇, 陶一勤, 胡海峰. 胸腹腔镜微创与传统开放 McKeown 手术治疗食管癌近期疗效比较[J]. 安徽医学, 2022, 21(5): 48–50.
- [7] Coelho F D, Barros D E, Santos F A, et al. Minimally invasive esophagectomy versus open esophagectomy: A systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Surg Oncol, 2021, 47(11): 2742–2748.
- [8] 王兵, 刘露, 杨宁, 等. 机器人与胸腔镜在早期肺癌肺段切除术中短期疗效的对比研究[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2021, 2(6): 451–462.
- [9] Melvin W S, Needleman B J, Krause K R, et al. Computer-enhanced robotic telesurgery. Initial experience in foregut surgery[J]. Surg Endosc, 2002, 16(12): 1790–1792.
- [10] 陈秀, 韩冰, 郭巍, 等. Da Vinci S 手术机器人在胸外科应用的初步经验[J]. 中国医师杂志, 2010, 12(7): 895–898.
- [11] Betzler J, Elfinger L, Büttner S, et al. Robot-assisted esophagectomy may improve perioperative outcome in patients with esophageal cancer—a single-center experience[J]. Front Oncol, 2022, 12: 966321.
- [12] 贾卓奇, 周维茹, 李硕, 等. 达芬奇机器人食管癌根治术与胸腹腔镜食管癌根治术近期疗效的对比分析[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2020, 41(3): 396–399.
- [13] 刘宏伟, 赵辉, 刘枫林, 等. 在食管癌外科治疗中达芬奇机器人效果研究与分析[J]. 世界最新医学信息文摘, 2021, 21(56): 292–294.
- [14] van der Sluis P C, van der Horst S, May A M, 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.
- [15] JIANG K W, ZHU Y, ZHOU G, et al. Safe distance between electrotome and recurrent laryngeal nerve: an experimental canine model[J]. Int J Clin Exp Med, 2015, 8(1): 770–775.
- [16] WANG Z, MAO Y S, GAO S G, et al. Lymph node dissection and recurrent laryngeal nerve protection in minimally invasive esophagectomy[J]. Ann N Y Acad Sci, 2020, 1481(1): 20–29.
- [17] Shimizu H, Shiozaki A, Fujiwara H, et al. Short- and Long-term Progress of Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis After Subtotal Esophagectomy[J]. Anticancer Res, 2017, 37(4): 2019–2023.
- [18] 李剑涛, 罗清泉. 微创外科时代达芬奇机器人在胸外科的应用经验与思考[J]. 中华腔镜外科杂志(电子版), 2020, 13(5): 260–264.
- [19] Nakanoko T, Kimura Y, Natsugoe K, et al. Left recurrent nerve lymph node dissection in robotic esophagectomy for esophageal cancer without esophageal traction[J]. World J Surg Oncol, 2023, 21(1): 223.
- [20] DUAN X F, YUE J, CHEN C G, et al. Lymph node dissection around left recurrent laryngeal nerve: robot-assisted vs. video-assisted McKeown esophagectomy for esophageal squamous cell carcinoma[J]. Surg Endosc, 2021, 35(11): 6108–6116.
- [21] 张晓彬, 杨煜, 叶波, 等. 机器人辅助食管癌根治术的近期手术结果[J]. 中国医师杂志, 2017, 19(7): 970–973.
- [22] YANG Y, ZHANG X, LI B, et al. Short- and mid-term outcomes of robotic versus thoraco-laparoscopic McKeown esophagectomy for squamous cell esophageal cancer: a propensity score-matched study[J]. Dis Esophagus, 2020, 33(6): doz080.
- [23] 刘宏伟, 赵辉, 刘枫林, 等. 分析达芬奇机器人微创食管癌根治术的安全性和有效性[J]. 世界最新医学信息文摘, 2021, 21(47): 3–5.
- [24] 隆江, 杜铭. 机器人辅助食管癌根治术与胸腹腔镜食管癌根治术预后的对比分析[J]. 世界最新医学信息文摘, 2021, 21(32): 23–25, 28.
- [25] 何占锋, 郑天亮, 刘东雷, 等. 机器人辅助与胸腹腔镜辅助食管癌根治术的近远期疗效比较[J]. 中华胃肠外科杂志, 2020, 23(4): 390–395.
- [26] 张晓彬, 杨煜, 叶波, 等. 达芬奇机器人手术系统辅助与胸腹腔镜联合辅助食管癌根治术的疗效分析[J]. 中华消化外科杂志, 2017, 16(8): 844–849.
- [27] HAN Y, ZHANG Y J, ZHANG W T, et al. Learning curve for robot-assisted Ivor Lewis esophagectomy[J]. Dis Esophagus, 2022, 35(2): doab026.
- [28] de Groot E M, Goense L, Kingma B F, et al. Implementation of the robotic abdominal phase during robot-assisted minimally invasive esophagectomy (RAMIE): results from a high-volume center[J]. Surg Endosc, 2023, 37(2): 1357–1365.
- [29] ZHANG H L, CHEN L Q, WANG Z H, et al. The Learning Curve for Robotic McKeown Esophagectomy in Patients With Esophageal Cancer[J]. Ann Thorac Surg, 2018, 105(4): 1024–1030.
- [30] van d S, Ruurda J P, Sylvia V D, et al. Learning Curve for Robot-Assisted Minimally Invasive Thoracoscopic Esophagectomy: Results From 312 Cases[J]. Ann Thorac Surg, 2018, 106(1): 264–271.

收稿日期：2023-11-28

编辑：刘静凯