

机器人胃癌手术的现状与前景

吕陈彬¹, 汪慧访², 陆俊^{3*}

1. 福建医科大学附属漳州市医院 胃外科, 福建 漳州 363000

2. 宁波大学附属第一医院 胃肠外科, 浙江 宁波 315000

3. 复旦大学附属肿瘤医院 胃外二科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032

【摘要】 胃癌作为全球范围内最常见的恶性肿瘤之一, 其致死率位居癌症相关死亡的第5位。尽管综合治疗手段已取得一定进展, 但手术切除仍是胃癌治疗的核心手段, 其术式已历经从传统开腹向腹腔镜及机器人微创技术的深刻变革。腹腔镜胃癌手术已被证实在远期生存率方面与传统开腹手术相当, 并且有更好的近期疗效。然而, 腹腔镜手术存在一些固有的技术限制, 机器人手术系统的出现很好地弥补了腹腔镜技术的缺点, 例如消除生理性震颤、模拟机械手的高度灵活性、高清3D手术视觉和舒适的远程控制台。但是, 目前国内的机器人手术系统依然面临触觉反馈缺失、费用较高、手术时长增加等挑战。本文旨在阐述机器人胃癌手术的应用现状, 分析其核心优势与现存局限, 并展望其未来发展前景。

【关键词】 机器人; 腹腔镜; 胃癌; 手术

Current status and future prospects of robotic gastric cancer surgery

Lyu Chenbin¹, Wang Huifang², Lu Jun^{3*}

1. Department of Gastric Surgery, Zhangzhou Hospital Affiliated to Fujian Medical University, Zhangzhou 363000, Fujian, China

2. Department of Gastrointestinal Surgery, the First Affiliated Hospital of Ningbo University, Ningbo 315000, Zhejiang, China

3. Second Department of Gastric Surgery, Fudan University Shanghai Cancer Center; Department of Medical Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China

*Corresponding author: Lu Jun, E-mail: lujun@fudan.edu.cn

【Abstract】 Gastric cancer remains one of the most prevalent malignancies worldwide, ranking as the fifth leading cause of cancer-related mortality. Despite advancements in multimodal therapies, surgical resection remains the cornerstone of treatment, with techniques evolving from traditional open surgery to minimally invasive approaches such as laparoscopic and robotic-assisted procedures. Laparoscopic gastrectomy has demonstrated comparable long-term survival outcomes to open surgery while offering superior short-term benefits. However, inherent technical limitations of laparoscopy persist, which robotic systems effectively address—eliminating physiological tremor, providing enhanced dexterity through articulated instruments, delivering high-definition 3D visualization, and enabling ergonomic remote console operation. Nevertheless, current robotic surgical systems in China face challenges, including the absence of haptic feedback, elevated costs, and prolonged operative times. This article delineates the current applications of robotic gastrectomy, analyzes its advantages and limitations, and explores future directions for innovation.

【Key words】 Robotic surgery; Laparoscopy; Gastric cancer; Surgery

基金项目: 福建省自然科学基金面上项目(2022J01755, 2024J011567)

*通信作者: 陆俊, E-mail: lujun@fudan.edu.cn

1 机器人胃癌手术发展历程

自2002年Hashizume等^[1]率先运用达芬奇机器人手术系统完成全球首例胃癌根治术以来, 这

项革命性的微创技术便开启了胃癌治疗领域的新纪元。凭借其卓越的精准操作性能,机器人手术系统为突破传统腹腔镜技术的局限性提供了创新性解决方案。历经20余载的发展迭代,该系统已从最初的DaVinci S逐步升级至Si、Xi等四臂手术平台,并创新性地推出了SP单孔手术系统^[2-3]。截至目前,达芬奇手术机器人全球装机量已突破8000台,年手术量呈现持续增长态势^[4]。

我国机器人胃癌手术起步虽较国际稍晚,但发展势头强劲。2010年,余佩武教授团队^[5]成功实施国内首例达芬奇机器人胃癌根治术。据统计,当前全国已有超过200家医疗机构常规开展机器人胃癌根治术,累计手术量突破16000例,其临床疗效已获得学界广泛认可^[6]。与此同时,国产机器人手术系统研发取得长足进步,多款产品已投入临床应用。

2 机器人胃癌手术的适应证

对于机器人胃癌手术,国内外指南共识中所推荐的适应证不尽相同。美国国立综合癌症网络(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)2024版的胃癌诊治指南将早期和局部进展期胃癌作为机器人胃癌手术的适应证,但对于 T_{4b} 期或有融合成团淋巴结转移的患者不推荐^[7];而第7版《日本胃癌治疗指南》仅将临床分期Ⅰ期胃癌患者作为推荐适应证^[8-9]。国内《机器人胃癌手术专家共识(2015版)》指出机器人手术系统应用于胃癌手术的适应证为:①胃癌肿瘤浸润深度 $\leq T_{4a}$ 期;②胃癌术前和术中分期为Ⅰ、Ⅱ期者;③针对Ⅲ期胃癌患者,应限于有丰富胃癌手术经验且可熟练操作手术机器人的医师实施机器人手术^[10]。随后在此共识基础上形成的《机器人胃癌手术中国专家共识(2021版)》,增加了以下内容:对于具备丰富胃癌手术经验且熟练掌握机器人手术系统操作的胃外科医师,可应用机器人手术系统为需行联合器官切除的胃癌患者开展手术^[11]。2021年发布的《中国机器人胃癌手术指南》是我国第一部严格按照世界卫生组织指南制订规范和国际标准制订的有关机器人胃癌手术的指南,其推荐的适应证包括:①原发性胃癌Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期(除外原位癌);②胃镜和病理检查确诊为胃癌,并且经临床和影像学检查无肝脏或肺部等远处转移的患者;③患者身体状况良好可耐受手术,无严重心、肺、脑、肝、

肾等脏器功能不全;④胃癌合并穿孔、出血、梗阻等情况,可行探索性手术^[12]。此外,中国临床肿瘤学会(Chinese Society of Clinical Oncology, CSCO)2025版的胃癌诊疗指南提出,机器人胃癌手术优势仍需更多临床研究证据^[13]。

3 机器人手术系统在胃癌根治术中的优势

机器人手术系统由机械臂平台、三维高清影像系统和主控台构成,其创新性设计成功突破了传统腹腔镜手术的诸多局限:三维成像系统提供10~15倍放大的立体术野,7个自由度的机械臂可精准模拟人手动作,智能震颤过滤系统确保操作稳定,人体工学设计的主控台显著提升手术舒适度。研究表明机器人手术系统显著缩短了胃癌根治术的学习曲线^[14]。同时,在关键解剖区域的淋巴结清扫方面,机器人手术系统展现出显著优势:如在胰腺上区淋巴结清扫中,机械臂的精准牵引可充分暴露术野,避免传统腹腔镜术中因压迫导致的胰腺损伤。Matsunaga等^[15]研究显示,机器人组术后引流液淀粉酶水平显著低于腹腔镜组($P<0.05$)。一项纳入1864例患者的Meta分析证实,机器人胃癌手术对比腹腔镜手术可明显降低胰漏发生率(0.17%比1.01%, $P=0.04$)^[16]。与此同时,机器人手术能在胰腺上缘区域清扫更多的淋巴结^[17-18]。此外,在保脾脾门淋巴结清扫这一高难度操作中,机器人手术系统展现出独特的技术优势。脾门区解剖结构复杂,不仅位置深在,周围血管密布,且脾实质脆弱易损。传统腹腔镜手术常因操作空间受限、器械自由度不足等问题,在暴露术野时易导致脾包膜撕裂或血管损伤^[19]。而机器人手术系统凭借其三维高清成像、智能震颤消除及多自由度机械臂等核心技术,能够在狭小空间内实现精准解剖,显著降低脾血管损伤风险,为保脾手术提供了可靠的技术保障^[20]。

对于需要较多缝合的消化道重建,机器人手术系统凭借灵活自由的机械臂,可以精准、快速完成缝合打结等操作;且其相较于腹腔镜消化道重建所需的辅助切口更小。此外,机器人手术可创新性地采用双倒刺线吻合技术,更易通过简化吻合步骤显著提升手术效率,同时使镜下消化道重建的操作难度大大降低^[21]。还有研究表明机器人手术可减少吻合口漏的发生^[22]。

综上,机器人手术系统通过三维高清成像、多

自由度机械臂及智能稳定操作等核心技术,在胃癌根治术中实现精准解剖与微创操作的统一。其不仅显著提升胰腺上区及脾门等复杂区域的淋巴结清扫质量,降低胰漏等并发症风险,更通过灵活的器械运动提高消化道重建效率,促使胃癌手术向更精准、安全、高效的方向发展。

4 机器人手术系统在胃癌根治术中的局限性

触觉反馈功能的缺失是当前机器人手术系统的主要技术瓶颈。这一缺陷导致术者在实施组织牵拉、钝性分离等精细操作时难以精确控制施力强度,易引发周围器官撕裂或组织损伤;在消化道缝合过程中,力度掌控的缺失可能导致吻合口局部缺血甚至坏死等并发症。尽管资深外科医师可通过视觉补偿机制部分弥补这一不足,但触觉反馈的缺失仍从根本上制约着机器人手术的精准度上限。值得期待的是,随着电子传感技术与智能材料研究的突破性进展,具备触觉反馈系统的达芬奇机器人手术系统已成为现实,并已应用于骨科、心脏手术等领域^[23]。

现有研究普遍显示机器人胃癌手术耗时较传统术式显著延长^[16,24],其主要原因在于系统安装调试需额外耗时约30 min。然而,部分研究发现,机器人手术与腹腔镜手术在总手术时长上差异无统计学意义^[25]。随着术者操作熟练度提升和团队配合优化,机器人手术耗时甚至可短于腹腔镜手术^[26]。在费用方面,机器人手术总体费用常显著高于腹腔镜手术^[16,22,27]。值得注意的是,Lu等^[28]的成本分析表明,费用增加主要源于间接成本(设备折旧、耗材及维护费用),而机器人手术的直接医疗成本(药品及护理费用)反而低于腹腔镜手术。随着国产手术机器人研发进程的加速,凭借显著的性价比优势和持续创新的技术积累,机器人手术技术在我国的推广应用将迎来更广阔的发展空间。

此外,当前机器人手术系统尚未达到智能化、自动化程度,其手术质量完全依赖于术者的临床经验与操作水平。未来发展的核心方向是开发具备自主决策能力的智能化手术系统,通过人工智能算法实现手术方案自动规划、操作路径智能优化,在确保手术质量标准化的同时,显著提升手术安全性和疗效稳定性,这将是推动外科手术技术革新的关键突破点。

5 机器人胃癌手术的近期疗效

国内一项纳入283例胃癌患者的单中心随机对照研究显示,机器人组较腹腔镜组术中失血量更少,术后首次下床活动时间、排气时间及首次进食时间均缩短^[28]。近期多项Meta分析亦证实机器人胃癌根治术具有术中出血少、术后恢复快等优势^[16-17,22,24,29]。这主要源于机器人系统特有的三维高清成像及操作稳定性。然而,Aoyama等^[30]的研究却发现机器人胃癌手术与腹腔镜手术及传统开腹手术的短期疗效相近,这可能与各纳入研究在手术方案标准化、术者操作经验等方面存在显著异质性有关,这些因素均可能影响研究结论的可靠性。

大多数研究提示,机器人胃癌手术在淋巴结清扫方面具有显著优势^[16-17,22]。美国一项纳入11 173例胃癌患者的研究通过倾向评分匹配对比发现,机器人组的淋巴结清扫达标率显著高于腹腔镜组(63.5%比60.4%, $P=0.01$)^[31]。国内一项前瞻性研究亦证实,相较于腹腔镜手术,机器人全胃切除术中淋巴结清扫数量更多(41.36枚比35.10枚, $P=0.019$)^[25]。同时,研究发现机器人手术不仅在总淋巴结清扫数量上显著增加,且其在胰腺上区等复杂解剖区域(13.3枚比11.6枚, $P<0.001$)的清扫优势尤为明显^[18]。然而,Wang等^[32]纳入533例行机器人胃癌根治术与698例行3D腹腔镜手术患者的研究发现,与3D腹腔镜手术相比,机器人手术的淋巴结清扫数量反而较少。Liu等^[33]的研究亦显示,机器人组的淋巴结清扫数量低于3D腹腔镜组(24.82枚比29.33枚, $P=0.002$)。这一差异有可能源于3D腹腔镜系统优越的立体视觉深度感知能力,使外科医生在复杂解剖区域的操作更为精准。同时,机器人手术系统缺乏触觉反馈的特性,也可能促使术者采取相对保守的清扫策略以确保手术安全。此外,还有一些研究认为机器人胃癌手术并不能明显增加淋巴结的清扫数量^[34-35]。但随着未来技术改进(如触觉反馈、3D视觉融合)和精准操作培训,机器人手术淋巴结清扫效果可进一步提升,尤其在复杂病例中将发挥更明显的优势。

手术并发症是外科领域的重要关注点,其不仅延长住院时间、增加医疗成本,更可能影响患者长期预后。对于机器人胃癌根治术,虽然多项研究表明其在并发症控制方面展现出显著优势^[16,22,24],

但其术后并发症始终是争议焦点。Ojima 等^[36]对 241 例胃癌患者开展的随机对照研究发现,机器人组的术后 Clavien-Dindo II 级及以上并发症发生率降低(8.8%比 29.7%, $P<0.05$)。黄昌明教授团队的随机对照试验同样证实,机器人远端胃切除术的总体术后并发症发生率更低(9.2%比 17.6%, $P=0.039$)^[28]。Wang 等^[37]的一项回顾性研究结果亦显示,机器人手术的术后总体(18.8%比 24.5%, $P<0.001$)和严重并发症发生率(8.9%比 17.5%, $P=0.002$)均低于腹腔镜手术。对于某些特殊患者(如肥胖患者),机器人手术同样可减少手术相关并发症的发生^[38]。一些研究发现虽然两组的术后并发症发生率相当,但机器人组的 Clavien-Dindo 分级 $\geq$ III 级并发症的发生率低于腹腔镜组(4.13%比 6.44%, $P=0.005$)^[39]。此外,大量研究结果显示机器人手术和腹腔镜手术的围手术期死亡率均 $<1\%$,两者差异无统计学意义^[40-41]。

综上,大多数研究表明,机器人手术具有良好的安全性和显著的近期疗效优势,如术中出血少、术后恢复快等。同时可提升手术质量,增加淋巴结清扫数量,尤其在胰脏上缘等复杂解剖区域的淋巴结清扫优势明显。

6 机器人胃癌手术的远期疗效

术后生存率是评估胃癌手术疗效的终极指标。目前关于机器人胃癌根治术对比腹腔镜手术是否存在预后的优势仍有争议。多项纳入大样本病例的 Meta 分析提示机器人胃癌手术无法明显改善患者的预后^[16,29,42-43]。韩国 Shin 等^[44]对 2084 例 I~III 期胃癌患者的回顾性分析显示,机器人组与腹腔镜组的 5 年总生存率和无病生存率差异均无统计学意义。Lu 等^[45]对我国 8 家三甲医院 3599 例胃癌患者的回顾性分析显示,机器人组与腹腔镜组 3 年无病生存率(83.7%比 83.1%, $P=0.745$)和总生存率(85.2%比 84.4%, $P=0.647$)差异均无统计学意义。Li 等^[46]的研究结果亦提示机器人组与腹腔镜组的 3 年总生存率和无病生存率相当。然而,Suda 等^[47]针对 I/II 期胃癌的研究提示机器人组 3 年总生存率优于腹腔镜组(96.3%比 89.6%, $P=0.009$),尤其在 IA 期的患者中,机器人组的 3 年总生存率(99.7%比 94.4%, $P=0.004$)和无复发生存率(99.7%比 93.7%, $P=0.003$)均优于腹腔镜组。Nakauchi 等^[48]针对 II 期或 III 期进展期胃癌患

者的回顾性倾向匹配分析结果显示,与腹腔镜手术比较,机器人手术能显著提高 5 年总生存率(70.4%比 50.2%, $P=0.039$)和无复发生存率(74.1%比 44.5%, $P=0.005$)。Lu 等^[49]的另一项前瞻性 II 期临床研究亦发现机器人远端胃切除术组的 3 年无病生存率达 85.8%,高于腹腔镜手术组的 73.2%($P=0.011$)。此外,部分研究提示机器人组患者总生存期显著优于腹腔镜组,而无病生存期差异无统计学意义^[50]。不同研究间结果的差异可能与纳入的人群、实施的具体术式、研究的设计及随访的时间不尽相同有关。同时,我们推测机器人手术的生存优势可能源于更彻底的淋巴结清扫、显著降低的严重并发症发生率及更快的术后恢复进程,这些均为患者带来确切的生存获益。当然,未来仍需要开展更多多中心、大样本、前瞻性的临床研究来明确机器人胃癌根治术在改善患者预后方面的优势。

7 机器人胃癌手术的应用前景展望

随着机器人手术技术的革新与多学科交叉融合,机器人胃癌手术正在经历从“外科助手”到“手术核心”的角色转变。其未来发展将深度整合远程化、自动化与集成化三大方向,重塑胃癌外科的治疗范式。

(1) 远程化:打破地域壁垒,推动医疗资源均质化。当前,5G/6G 通信技术与机器人手术系统的结合已初步实现跨专科远程手术。胃癌手术涉及复杂的淋巴结清扫和消化道重建,对操作精度和实时反馈要求极高。未来需优化低延时通信(如 6G 网络)、力反馈同步及安全冗余设计,以应对胃周血管解剖变异等风险。此外,远程手术将顶级医疗资源下沉至基层,可显著缓解区域医疗资源失衡问题,尤其适用于偏远地区的胃癌急诊手术或专家协作场景。

(2) 自动化:从辅助操作迈向智能决策,实现手术同质化和自动化是解决医生操作差异、提升手术标准化的关键路径。基于计算机断层扫描(computed tomography, CT)/磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)数据的人工智能模型可自动生成三维解剖图谱,标记胃周血管变异及高危淋巴结分区,优化手术路径^[51]。吲哚菁绿荧光成像与机器人视觉系统融合,可实现淋巴引流区实时显影,指导精准清扫^[52]。针对标准化步骤(如血管

结扎、吻合口缝合),预设自动化程序可减少人为误差,缩短手术时间。自动化将推动胃癌手术从“经验依赖”转向“算法驱动”,确保不同层级医院的手术质量趋近同质化。

(3)集成化:多模态技术融合,构建智能手术生态系统。未来机器人手术系统将不再是独立设备,而是整合多维度技术的协同平台,如多感知系统融合包括视觉增强和力反馈与触觉重建。同时集成超声刀与双极电凝等多模态能量设备,将根据组织类型自动调节输出参数,实现多能量平台的协同工作。此外,基于云平台的术中大数据分析系统,可实时比对全球胃癌手术案例库,从而为术者提供决策支持(如突发出血处理方案)。

总之,随着5G通信、人工智能算法及多模态技术的深度整合,未来的机器人手术系统有望成为集“术前规划-术中导航-术后管理”于一体的智能平台,从而在提升患者近、远期疗效的同时,从根本上解决医疗资源分布不均的全球性难题。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

人工智能使用声明 本文未使用任何人工智能相关工具对文字进行处理

参考文献

- [1] HASHIZUME M, SUGIMACHI K. Robot-assisted gastric surgery[J]. Surg Clin North Am, 2003, 83(6):1429-1444.
- [2] FARINHA R, PULIATTI S, MAZZONE E, et al. Potential contenders for the leadership in robotic surgery[J]. J Endourol, 2022, 36(3):317-326.
- [3] NEGITA M, MISAWA K, ITO Y, et al. A Novel Liver Retraction Method Using a Polypropylene Suture in Robotic Gastrectomy for Gastric Cancer: The Subphrenic Pulley Method [J]. Asian J Endosc Surg, 2025, 18(1): e70047.
- [4] 余佩武, 李政焰. 机器人未来应是胃肠外科的主流术式[J]. 中华胃肠外科杂志, 2024, 27(1):35-40.
- [5] 余佩武, 钱锋, 曾冬竹, 等. 达芬奇机器人手术系统胃癌根治术五例报告[J]. 中华外科杂志, 2010, 48(20): 1592-1594.
- [6] 余佩武, 李政焰. 机器人胃癌手术治疗进展[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2023, 30(10):1159-1162.
- [7] NATIONAL COMPREHENSIVE CANCER NETWORK. NCCN clinical practice guidelines in oncology: gastric cancer.(2024 version 5)[EB/OL]. (2024-12-20)[2025-05-06]. https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/gastric.pdf.
- [8] 日本胃癌学会. 胃癌治療ガイドライン (第7版)[M]. 东京: 金原出版, 2025.
- [9] 戴伟钢, 许诗语, 宋新明. 第7版《日本胃癌治疗指南》手术治疗部分内容解读[J/CD]. 消化肿瘤杂志(电子版), 2025, 17(2):115-123.
- [10] 中国研究型医院学会机器人与腹腔镜外科专业委员会. 机器人胃癌手术专家共识 (2015版)[J]. 中华消化外科杂志, 2016, 15(1):7-11.
- [11] 中国研究型医院学会机器人与腹腔镜外科专业委员会, 中国抗癌协会胃癌专业委员会. 机器人胃癌手术中国专家共识 (2021版)[J]. 中华消化外科杂志, 2022, 21(1):1-9.
- [12] 蔡辉, 马云涛, 卢婷婷, 等. 中国机器人胃癌手术指南[J]. 中华普通外科杂志, 2021, 36(8):635-640.
- [13] 中国临床肿瘤学会指南工作委员会. 中国临床肿瘤学会(CSCO)胃癌诊疗指南[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2025.
- [14] CHAN K, OO AM. Establishing the Learning Curve of Laparoscopic and Robotic Distal Gastrectomy: a Systematic Review and Meta-Regression Analysis [J]. J Gastrointest Surg, 2023, 27(12):2946-2982.
- [15] MATSUNAGA T, MIYAUCHI W, KONO Y, et al. The advantages of robotic gastrectomy over laparoscopic surgery for gastric cancer [J]. Yonago Acta Med, 2020, 63(2): 99-106.
- [16] CHEN J, WANG F, WANG Y, et al. A comparison of postoperative outcomes between robotic-assisted and laparoscopic-assisted total gastrectomy: a comprehensive meta-analysis and systematic review [J]. BMC Surg, 2025, 25(1):212.
- [17] TIAN Y, CAO S, KONG Y, et al. Short-and long-term comparison of robotic and laparoscopic gastrectomy for gastric cancer by the same surgical team: a propensity score matching analysis [J]. Surg Endosc, 2022, 36(1): 185-195.
- [18] LI Z, ZHOU Y, LI T, et al. Robotic gastrectomy versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a multicenter cohort study of 5402 patients in China [J]. Ann Surg, 2023, 277(1): e87-e95.
- [19] EBIHARA Y, KURASHIMA Y, SHICHINOHE T, et al. Robotic spleen preserving suprapancreatic and splenic hilar lymph node dissection using the preemptive retropancreatic approach in total gastrectomy for gastric cancer[J]. Updates Surg, 2024, 76(6):2483-2487.
- [20] WANG Z, LIN J, WANG F, et al. Robotic spleen -

- preserving total gastrectomy shows better short-term advantages: a comparative study with laparoscopic surgery[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(11):8639–8650.
- [21] 中国医师协会外科医师分会上消化道外科学组, 中华医学会外科学分会胃肠外科学组, 中国研究型医院学会消化道肿瘤专业委员会, 等. 机器人胃癌切除术后完全腔内消化道重建中国专家共识 (2021版) [J]. *中华胃肠外科杂志*, 2021, 24(8):647–652.
- [22] LI Z, ZHOU W, YANG W, et al. Efficacy and safety of robotic vs. laparoscopic gastrectomy for patients with gastric cancer: systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Surg*, 2024, 110(12):8045–8056.
- [23] 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.
- [24] DU R, WAN Y, SHANG Y, et al. Robotic Versus Laparoscopic Gastrectomy for Gastric Cancer: The Largest Systematic Reviews of 68,755 Patients and Meta-analysis [J]. *Ann Surg Oncol*, 2025, 32 (1):351–373.
- [25] LI Z, QIAN F, ZHAO Y, et al. A comparative study on perioperative outcomes between robotic versus laparoscopic D2 total gastrectomy [J]. *Int J Surg*, 2022, 102:106636.
- [26] LIU H, KINOSHITA T, TONOUCHI A, et al. What are the reasons for a longer operation time in robotic gastrectomy than in laparoscopic gastrectomy for stomach cancer?[J]. *Surg Endosc*, 2019, 33:192–198.
- [27] YU X, LEI W, ZHU L, et al. Robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer: A systematic review and meta-analysis [J]. *Asian J Surg*, 2025, 48 (1):21–31.
- [28] LU J, ZHENG C, XU B, et al. Assessment of robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer: a randomized controlled trial [J]. *Ann Surg*, 2021, 273: 858–867.
- [29] SHIBASAKI S, SUDA K, HISAMORI S, et al. Robotic gastrectomy for gastric cancer: systematic review and future directions[J]. *Gastric Cancer*, 2023, 26(3):325–338.
- [30] AOYAMA T, MAEZAWA Y, HASHIMOTO I. Open, Laparoscopy-assisted, Robotic-assisted Distal Gastrectomy for Gastric Cancer: Evidence from Randomized Clinical Trials[J]. *Anticancer Res*, 2024, 44(9):3737–3745.
- [31] MAEGAWA FB, PATEL AD, PATEL SG, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for adenocarcinoma in the US: a propensity score-matching analysis of 11,173 patients on oncological adequacy [J]. *Surg Endosc*, 2023, 37(12):9643–9650.
- [32] WANG Q, LENG J, LI W, et al. A comprehensive review and meta-analysis comparing robot-assisted and 3D laparoscopic gastrectomy for gastric cancer [J]. *J Robot Surg*, 2025, 19(1):96.
- [33] LIU G, CUI H, CAO B, et al. Comparison of the short- and long-term outcomes of robotic distal gastrectomy and 3D laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer[J]. *J Laparosc Surg*, 2023, 28(1):22–29.
- [34] DIAS AR, PEREIRA MA, RAMOS MFKP, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: A Western propensity score matched analysis [J]. *J Surg Oncol*, 2024, 130(4):714–723.
- [35] MANARA M, AIOLFI A, SOZZI A, et al. Short-Term Outcomes Analysis Comparing Open, Laparoscopic, Laparoscopic-Assisted, and Robotic Distal Gastrectomy for Locally Advanced Gastric Cancer: A Randomized Trials Network Analysis [J]. *Cancers (Basel)*, 2024, 16 (9):1620.
- [36] OJIMA T, NAKAMURA M, HAYATA K, et al. Short-term outcomes of robotic gastrectomy vs laparoscopic gastrectomy for patients with gastric cancer: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Surg*, 2021, 156(10): 954–963.
- [37] WANG W, LI H, YU J, et al. Severity and incidence of complications assessed by the Clavien-Dindo classification following robotic and laparoscopic gastrectomy for advanced gastric cancer: a retrospective and propensity scorematched study [J]. *Surg Endosc*, 2019, 33(10):3341–3354.
- [38] YU X, ZHU L, ZHANG Y, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer in patients with obesity: systematic review and meta-analysis [J]. *Front Oncol*, 2023, 13:1158804.
- [39] GUERRINI GP, ESPOSITO G, MAGISTRI P, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: the largest meta-analysis [J]. *Int J Surg*, 2020, 82:210–228.
- [40] SHIMOIKE N, NISHIGORI T, YAMASHITA Y, et al. Safety assessment of robotic gastrectomy and analysis of surgical learning process: a multicenter cohort study[J]. *Gastric Cancer*, 2022, 25(4):817–826.
- [41] SUDA K, YAMAMOTO H, NISHIGORI T, et al. Safe implementation of robotic gastrectomy for gastric cancer under the requirements for universal health insurance coverage: a retrospective cohort study using a nationwide registry database in Japan [J]. *Gastric Cancer*, 2022, 25

- (2):438-449.
- [42] JIN T, LIU H, YANG K, et al. Effectiveness and safety of robotic gastrectomy versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a meta-analysis of 12,401 gastric cancer patients[J]. *Updates Surg*, 2022, 74:267-281.
- [43] FENG Q, MA H, QIU J, et al. Comparison of long-term and perioperative outcomes of robotic versus conventional laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a systematic review and meta-analysis of PSM and RCT studies[J]. *Front Oncol*, 2021, 11:759509.
- [44] SHIN H, SON S, WANG B, et al. Long-term comparison of robotic and laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a propensity score-weighted analysis of 2084 consecutive patients[J]. *Ann Surg*, 2021, 274:128-137.
- [45] LU J, LI T, ZHANG L, et al. Comparison of short-term and three-year oncological outcomes between robotic and laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a large multicenter cohort study [J]. *Ann Surg*, 2024, 279(5): 808-817.
- [46] LI J, LIN J, WANG F, et al. Comparison of long-term outcomes after robotic versus laparoscopic radical gastrectomy: a propensity score-matching study[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36:8047-8059.
- [47] SUDA K, SAKAI M, OBAMA K, et al. Three-year outcomes of robotic gastrectomy versus laparoscopic gastrectomy for the treatment of clinical stage I/II gastric cancer: a multi-institutional retrospective comparative study[J]. *Surg Endosc*, 2023, 37:2858-2872.
- [48] NAKAUCHI M, SUDA K, SHIBASAKI S, et al. Prognostic factors of minimally invasive surgery for gastric cancer: does robotic gastrectomy bring oncological benefit? [J]. *World J Gastroenterol*, 2021, 27(39):6659-6672.
- [49] LU J, XU B, ZHENG H, et al. Robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for resectable gastric cancer: a randomized phase 2 trial [J]. *Nat Commun*, 2024, 15(1):4668.
- [50] TAKAHASHI C, GLASSER J, SCHUSTER C, et al. Comparative outcomes of laparoscopic and robotic approaches to gastrectomy: a National Cancer Database study[J]. *Surg Endosc*, 2023, 37:7530-7537.
- [51] CHOI S, KIM N, KIM Y, et al. Fluorescence-guided Two-port Robotic Gastrectomy Versus Conventional Laparoscopic Gastrectomy: A Nonrandomized Controlled Trial[J]. *Ann Surg Open*, 2023, 4(3): e318.
- [52] NAKAMURA T, KOBAYASHI N, KUMAZU Y, et al. Precise highlighting of the pancreas by semantic segmentation during robot-assisted gastrectomy: visual assistance with artificial intelligence for surgeons [J]. *Gastric Cancer*, 2024, 27(4):869-875.

收稿日期:2025-08-06