

机器人辅助手术在消化外科的应用现状及发展前景

郑天祥, 王东旺, 张永年, 任双义, 张新生

(大连医科大学附属第二医院胃肠外科 辽宁 大连 116023)

摘要 手术机器人的出现使微创外科的发展迈上了一个崭新的台阶。目前, 机器人技术在消化道手术领域的使用越来越普遍。相较于传统腹腔镜手术和开放手术, 机器人手术更擅长在狭窄空间内进行解剖操作, 对组织的牵拉损伤更小, 有利于患者术后胃肠道功能的快速恢复, 预后更好。但如何提高手术机器人及其配套设备的自主性是未来手术机器人的发展方向。另外, 可以预见的是, 国产手术机器人与先进通信技术的结合将会使更多患者享受到远程手术医疗带来的益处。

关键词 机器人辅助手术; 胃肠外科; 微创手术

中图分类号 R656 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 04-0601-06

Current status and prospects of robot-assisted gastrointestinal surgery

ZHENG Tianxiang, WANG Dongwang, ZHANG Yongnian, REN Shuangyi, ZHANG Xinsheng

(Department of Gastrointestinal Surgery, the Second Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Liaoning 116023, China)

Abstract The advent of surgical robot has taken minimally invasive surgery to a new level. Nowadays, the use of surgical robot is becoming more and more common in the field of digestive surgery. Compared with the conventional laparoscopic and open surgery, robot-assisted surgery is better at performing anatomical operations in a narrow space with less pulling damage to the tissues and better prognosis, which is beneficial to the rapid recovery of gastrointestinal function after surgery. How to improve the autonomy of surgical robot and its supporting equipment is the future direction. In addition, it is foreseeable that the combination of domestic surgical robots and latest communication technology will allow more patients to enjoy the benefits of telesurgery and telemedicine.

Key words Robot-assisted Surgery; Gastrointestinal Surgery; Minimally Invasive Surgery

机器人辅助手术经过二十多年的发展, 在临床上逐渐成为一些传统腹腔镜手术的替代方法, 表现出巨大的应用潜力。目前, 世界上使用最广泛的是达芬奇机器人手术系统, 在国内已被普遍应用于妇产科、泌尿外科、胸外科等领域。但是, 在推广机器人辅助手术的过程中出现了诸多问题, 比如机器人手术系统体型大、维护费用昂贵、开机准备时间过长等, 限制了其进一步发展。另外, 当前缺乏多中心、大样本的随机对照试验来证明机器人辅助手术的有效性。不过, 现阶段的研究显示, 机器人辅助手术总体表现出创伤更小、出血量更少、术后并

发症更少、住院时间更短等优势, 可以实现较快的病房周转。与此同时, 机器人手术系统为术者提供了舒适的手术环境、高清的三维手术影像和在有限的空间内实现精细稳定操作的可能。总的来说, 机器人辅助手术的发展将会进一步促进微创消化外科手术的进步。

1 机器人辅助手术在食管外科的应用

2002年, Melvin W S 等人^[1]首次报道了接受机器人辅助微创食管切除术 (Robot-assisted Minimally Invasive Esophagectomy, RAMIE) 和胸内吻合术的

基金项目: 中华医学会医学教育分会医学教育研究课题 (20B0258); 吴阶平医学基金会临床科研专项资助基金 (320.6750.2023-23-8)

Foundation Item: Medical Education Research Project of the Medical Education Branch of the Chinese Medical Association (20B0258);

Special Fund for Clinical Research of Wu Jieping Medical Association (320.6750.2023-23-8)

引用格式: 郑天祥, 王东旺, 张永年, 等. 机器人辅助手术在消化外科的应用现状及发展前景 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6(4): 601-606.

Citation: ZHENG T X, WANG D W, ZHANG Y N, et al. Current status and prospects of robot-assisted gastrointestinal surgery [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(4): 601-606.

通讯作者 (Corresponding Author): 张新生 (ZHANG Xinsheng), Email: zhangxs85@sina.com

病例, 术后未出现相关并发症, 这为使用机器人辅助手术治疗食管癌提供了可能。目前, RAMIE 逐渐成为一种受欢迎的食管癌治疗方法。达芬奇手术机器人凭借着 7 个自由度的机械臂、三维放大视图、手震颤过滤和动作缩放功能, 更擅长在狭窄空间内进行精细的解剖操作, 克服了传统微创食管切除术 (Minimally Invasive Esophagectomy, MIE) 的器械活动范围受限、操作困难等问题, 对神经牵拉损伤小, 减少了术后并发症, 从而改善了食管癌患者的预后^[2]。近期 ZHANG Y J 等人^[3]对 RAMIE 和 MIE 的临床疗效进行了 Meta 分析, 纳入了 18 项研究, 共计 2932 例患者。其中 1418 例接受了 RAMIE 治疗, 1514 例接受了 MIE 治疗。分析结果显示, RAMIE 组淋巴结清扫数目更多, 特别是对腹部和沿左喉返神经走行的淋巴结清扫效果更好, 术后肺炎发生率更低, 3 年无病生存率更高。2022 年, YANG Y 等人^[4]的一项前瞻性多中心随机对照试验结果显示, RAMIE 可以为接受新辅助治疗的食管鳞状细胞癌患者缩短手术时间, 提高淋巴结清扫成功率, 同时在手术出血量、转化率、总体及主要并发症发生率和实现 R0 切除等方面与 MIE 相比无明显差异。此外, 同年的一项回顾性研究报道了机器人辅助 Ivor Lewis 食管切除术的远期疗效, 其中食管癌患者的 1 年、3 年和 5 年的总生存期与无病生存期分别为 81.3%、75.3%、59.2% 与 42.3%、49.4%、44.0%, 这与其他非机器人辅助手术的疗效类似^[5]。由此可初步得出, 机器人辅助手术治疗食管癌是安全可行的, 并且相对于传统手术方法表现出独特的优势, 但是目前仍缺乏前瞻性的高水平临床证据来支持这一结论。

自 2001 年以来, 关于机器人食管裂孔疝修补术 (Robotic Hiatal Hernia Repair, RHHR) 和抗反流手术的报道越来越多^[6]。2021 年的一项回顾性分析表明, 机器人与腹腔镜食管裂孔疝修补术 (Laparoscopic Hiatal Hernia Repair, LHHR) 后的短期结果没有明显差异^[7]。但是, MA L Y 等人^[8]的一项 Meta 分析纳入了 7 项研究共计 10 078 例患者, 结果显示, 与 LHHR 相比, RHHR 组术后并发症发生率更低, 住院时间更短。这也与之前 Soliman B G 等人^[9]的分析

结果相似, 表明机器人辅助手术可以改善患者预后。2022 年, Bigolin A V 等人^[10]报道了一例通过机器人手术修复食管切除术后食管裂孔疝的患者, 在术后第 6 个月随访时, CT 扫描显示该患者无疝气复发的迹象, 表现出机器人在处理复杂解剖结构时的技术优势。另外, 在处理大型和巨型食管裂孔疝时, 机器人可以提高外科医生工作舒适度, 其铰接式结构使得手术操作更加精细和灵活, 从而使术者在面对紧急和具有挑战性的情况时更加从容^[11-12]。

2 机器人辅助手术在胃外科的应用

机器人胃切除术 (Robotic Gastrectomy, RG) 由 Hashizume M 等人^[13]于 2002 年首次报道, 自此, 机器人辅助手术在胃癌领域的应用拉开了序幕。2020 年的一项 Meta 分析纳入了 40 项对比机器人与腹腔镜胃切除术 (Laparoscopic Gastrectomy, LG) 的回顾性研究, 共计 17 712 例患者, 结果显示机器人手术术中失血量更少, 并发症发生率更低, 淋巴结清扫数目更多^[14]。这与 2022 年的一项研究结果相似, 除此之外, 后者还发现 RG 在缩短术后首次进食和住院时间方面存在优势^[15]。近期 Loureiro P 等人^[16]对比了 8154 例 RG 和 17 367 例 LG 的短期临床效果, 其中机器人组术中平均失血量较少, 手术并发症发生率低, 术后首次排气、进食以及住院时间均缩短。但与此同时, 机器人辅助手术花费了更多的费用, 设备运行时间也更长, 这可能会在一定程度上限制其进一步推广和应用。在远期疗效方面, 有研究显示, 接受 RG 和 LG 患者的 3 年总生存期和 3 年无复发生存期无显著差异^[17]。遗憾的是, 此类分析所纳入的绝大多数为回顾性、观察性研究, 缺乏大样本随机对照试验提供强有力佐证。

有些学者逐渐意识到这一点, 开始进一步研究并取得了初步成果。比如, 2021 年 Ojima T 等人^[18]发表了一项前瞻性随机对照研究, 结果显示, 与 LG 组相比, RG 组总体及严重并发症的发生率更低, 术后首次排气的中位时间更短, 这可能与术中机器人稳定灵活的操作有关, 避免了对组织的过度牵拉和伤害, 使得术后患者的胃肠道蠕动快速恢复。同年发表的另一项针对机器人与腹腔镜远端胃切除术的随机对照试验结果表明, 机器人组患者胃外区域 (站

7-9、11p 和 12a) 淋巴结清扫数目更多, 术后恢复更快, 炎症反应更轻, 术后发病率更低^[19]。其中值得注意的是, 除了手术费用外, 机器人组的住院、实验室检查、放射检查、药物和注射等费用均低于腹腔镜组。2022 年, CHEN Q Y 等人^[20]的一项前瞻性研究比较了治疗晚期胃癌的机器人和腹腔镜全胃切除术的临床疗效, 结果显示机器人组具有术中平均错误次数更少、失血量更少、术后恢复更快、总体淋巴结清扫不符合率更低等优势。与前一项研究结果类似的是, 机器人手术的总直接成本低于腹腔镜手术, 这可能与患者预后良好使得术后护理治疗与检查费用降低有关。

为了进一步证实 RG 的安全性和有效性, 部分学者着眼于多中心研究, 获得了更具普遍性和代表性的医学证据。LI Z Y 等人^[21]收集并分析了 7 个中心接受过 RG 或 LG 的胃癌患者的数据, 结果表明, RG 组总体并发症的发生率更低, 失血量更少, 淋巴结清扫总数和胰脏上缘区域的淋巴结清扫数目更多。除此之外, 两组患者的长期肿瘤学结果, 以及 3 年和 5 年的无病生存率与总生存率均无显著差异。近期的另一项多中心回顾性队列研究也取得了相似的结果^[22]。这些为 RG 可能是传统 LG 安全有效的替代手术治疗方法提供了有力佐证。

随着胃外科手术量逐渐增多, 人们渐渐将机器人手术系统应用于其他各种复杂术式, 并取得了良好的效果。比较典型的有机器人辅助保留幽门和迷走神经的胃切除术^[23]、机器人辅助袖状胃切除术和 Roux-en-Y 胃旁路手术^[24]、机器人保留胰腺的全十二指肠切除术^[25]等。其中, 针对残胃癌的全胃切除术和根治性淋巴结清扫术对技术要求很高。Alhossaini R M 等人^[26]比较了通过机器人辅助手术和传统腹腔镜完成残胃癌手术的疗效, 结果显示, 虽然机器人组的手术时间较长, 但是对患者的损伤更小, 中转开腹率更低, 并且在估计失血量、淋巴结清扫数目、术后并发症发生率等方面与腹腔镜组相当。此外, 目前机器人手术系统在减重外科领域也很受欢迎, 并且有研究表明, 机器人与腹腔镜减重手术的围术期结果并无显著差异^[27-28]。

3 机器人辅助手术在结直肠外科的应用

经过二十多年的发展, 机器人辅助结直肠手术越来越普遍。2002 年, Weber P A 等人^[29]首次报道了机器人辅助乙状结肠切除术和右半结肠切除术各 1 例。2 例均为良性疾病, 经过不断研究, 人们逐步将机器人手术系统应用在结直肠癌的治疗当中。2022 年的一项 Meta 分析比较了机器人辅助和腹腔镜在结肠癌切除术的短期结局, 机器人组在吻合口瘘发生率、手术转化率、总体并发症发生率和常规进食时间方面均表现出优势, 但是手术时间长于腹腔镜组, 这可能与设备启动连接的时间较长和学习曲线有关^[30]。遗憾的是, 这项分析纳入的研究中仅有一项是随机对照试验, 证据水平非常低。然而, HUANG Z L 等人^[31]分析了 11 项对比机器人与腹腔镜辅助结直肠手术的随机对照研究, 共 3415 例患者, 其中机器人组 1656 例, 腹腔镜组 1759 例, 结果显示机器人辅助手术具有中转率低、出血量少、远端切除边缘长、再手术率低、并发症发生率低以及术后住院时间短的优势。这进一步表明, 机器人辅助手术可以获得更好的短期结局。另外, FENG Q Y 等人^[32]针对中低位直肠癌手术的多中心随机对照研究 (REAL) 结果表明, 与传统腹腔镜手术相比, 机器人辅助手术在提高肿瘤切除质量方面更具优势, 术中并发症和估计失血量较少, 手术创伤更小, 术后患者胃肠道功能恢复更好, 住院时间更短。但是, 2023 年 Park J S 等人^[33]的一项的多中心随机对照研究 (COLRAR) 结果显示, 对于治疗中低位直肠癌的全直肠系膜切除术, 机器人辅助手术在环周切缘阳性率、淋巴结清扫数目和术后并发症发生率方面, 与传统腹腔镜手术相比没有明显差异。尽管目前已有分析显示, 机器人辅助手术可以达到与传统腹腔镜手术相当的短期和长期结局^[34], 但我们仍需要继续寻找高水平的医学证据来证明机器人辅助手术的效益, 特别是其在远期疗效方面的优势。

对于联合性的复杂手术而言, 机器人辅助手术的优势更为明显。2021 年, Machairas N 等人^[35]发表了一篇系统评价, 证明了机器人辅助手术治疗结直肠癌和同步性肝转移的安全性和可行性。2023 年, CHANG W J 等人^[36]的单中心随机对照试验结果显

示,相较于直肠癌和肝转移瘤的开放同步切除术,机器人辅助手术的失血量更少,总体及主要并发症发生率更低,术后肠道功能恢复更快,住院时间更短。与此同时,两组之间的肿瘤学结果、3年无病生存率及总体生存率差异均无统计学意义。这让我们看到了机器人在联合手术中的应用潜力。

随着研究的深入,人们发现并不是所有患者都能从机器人辅助手术中获益。2021年发表的一篇Meta分析比较了直肠癌患者经机器人和腹腔镜手术后的泌尿和生殖功能状况,结果发现,男性患者在接受机器人辅助手术后泌尿和生殖功能更好,而这在女性患者中却没有体现,这可能与机器人更擅长在男性狭窄的骨盆中实现组织的精确解剖有关^[37]。此外,针对结直肠癌患者进行的另一项回顾性倾向评分匹配分析结果表明,机器人辅助手术与腹腔镜手术相比,其在右结肠切除术和左结肠切除术中可以提高教科书式结局的发生率,但在低位前切除术(Low Anterior Resection, LAR)中却没有发现这一现象,甚至机器人辅助LAR增加了术后并发症的发生风险^[38]。与此同时,手术时间的延长和费用的增加也是机器人手术的减分项。这提醒术者在术前应该做好充分的讨论和评估工作,与患者积极解释和交流,争取找到更适合当前病例的手术方式,提倡个性化治疗,才能真正地使患者享受到科技进步所带来的健康效益。

4 机器人在消化外科手术领域的新动向

目前流行的达芬奇手术机器人没有自主性,只是起到辅助手术的作用,外科医生掌握绝对的控制权。在手术过程中,机器人的每一个动作都是由主刀医生通过控制台进行远程操作。所以,如何提高自主性,是现在乃至未来很长时间内手术机器人的一个研究方向。2022年,Saeidi H团队^[39]报道了自主机器人系统STAR独立在模型猪体内进行了腹腔镜肠吻合手术。其中利用肠道假体组织进行的端端吻合术实验结果显示,与手动腹腔镜和机器人辅助手术相比,STAR的平均每针缝合犹豫次数更少,缝合间距和咬合深度的一致性更好,并且三维流场图像表明,STAR能够更好地重建组织。给予机器人手术系统更多的自主权,在一定程度上能够消除

外科医生的经验不足和疲劳对手术结果带来的影响,使手术操作更加规范。

近年来,对于机器人手术系统成像技术的改进研究从未停止。2020年,Eslamian S等人^[40]提出了达芬奇机器人手术系统的一种控制相机的自动化算法,实现了相机简单的自主移动,它能将手术工具安全地保持在视图内,并且在效率、视点生成质量和用户所感知到的工作量方面优于传统控制方法,这为今后更先进的相机控制技术的研发提供了可能。同年,另一种达芬奇机器人手术系统摄像的手眼校准方法被提出,通过这种方法,能够精确引导机器人进行视觉定位,同时支持术中视图的校准更新^[41]。除此之外,2022年,LI N等人^[42]提出了一种非接触式经腹部驱动的无线插入式手术摄像机器人s-CAM,这种机器人的侵入性更小,使用起来更加灵活,适用于单孔腹腔镜成像。

此外,软体机器人也是目前机器人研究的一个热门方向。软体机器人具有一定的灵巧性,可以实现自身体积、形状和刚度的自由调节,操作时可减少患者的疼痛和创伤,可接受性强^[43]。2019年,ZHANG B Y等人^[44]介绍了一种能够在复杂管状环境中操作的蠕虫状软体机器人,据推测,未来可应用于自然腔道的内镜手术。2023年,Kim H等人^[45]提出了一种可以在大肠中进行内窥镜手术的机器人结肠镜检查系统K-COLON,它可以轻松插入结肠,找到目标病灶,为外科医生提供稳定的手术环境。软体机器人既可用于胃肠道病理诊断,又可进行干预手术。

自机器人手术系统在国内各大医院广泛应用以来,国产手术机器人也开始突飞猛进地发展。近两年,康多机器人、精锋多孔腹腔镜手术机器人、威高妙手S三臂手术机器人系统和图迈腹腔镜手术机器人相继获得了国家药品监督管理局的批准。最近的一项前瞻性队列研究结果显示,康多手术机器人与达芬奇Si手术系统进行根治性结肠癌手术的成功率均为100%,并且均未转为常规腹腔镜或开腹手术,两组之间的不良事件和并发症发生率以及肿瘤学结果均无显著差异^[46]。在单孔手术机器人领域,术锐和精锋的腹腔内窥镜单孔手术系统的先后获批填补了

国产单孔手术机器人这一空白，相信未来其将会在临床多个学科得到广泛应用。

2019年，我国研究人员采用国产 MicroHand 手术机器人，通过 5G 无线网络连接，在贵州省安顺市和山东省青岛市之间开展了 5G 超远程机器人辅助腹腔镜手术，成功在模型猪上完成了左肾切除、肝部分切除、胆囊切除、膀胱切除等 4 例远程手术^[47]。2021年3月—10月，青岛一家三级医院使用 MicroHand S 机器人系统对 8 家基层医院的 29 例患者进行了远程机器人辅助腹腔镜肾癌根治术，术后所有患者随访 6 个月以上，预后良好^[48]。这表明机器人手术系统与 5G 结合使得远程手术治疗成为可能，相信这项技术也会应用于远距离消化道手术。远程医疗可以让患者在基层医院就能得到重大疾病的及时救治，为患者获得高水平的医疗服务提供了便利，节省了时间成本，在一定程度上可以改善目前医疗资源分布不均衡的情况，使更多患者享受到机器人手术带来的效益。

5 展望

机器人辅助手术在一定程度上突破了一些传统腹腔镜手术和开放手术的技术限制，使手术操作更加稳定、精细和灵活，进一步降低并发症发生和感染的风险，有利于改善预后。但是由于缺乏大量高水平的循证医学证据，以及机器人手术系统本身的缺陷，比如触觉反馈的缺失、开机设定时间较长、设备体型庞大、购置维护成本高昂等，使得机器人辅助手术饱受争议。未来临床研究应聚焦大样本多中心随机对照研究，关注机器人辅助手术的远期疗效，另外对多孔和单孔机器人辅助手术的治疗效果进行分析比较。近年来 DRG 医保支付方式的推行，使医生在一定程度上更倾向于采用传统保守的手术方式为患者治疗，这可能不利于新兴手术机器人的应用和推广。不过令人鼓舞的是，国产手术机器人的出现和发展将会打破达芬奇手术机器人的垄断局面，机器人手术相关成本也会随着技术革新和产业竞争而下调。此外，国产手术机器人与信息技术相结合，表现出机器人手术在远程医疗应用的巨大潜力。不久的将来，机器人技术的使用一定会使微创消化外科手术的发展迈上新台阶。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：郑天祥负责设计论文框架，文献资料收集与整理；王东旺、张永年负责起草并修改论文；张新生、任双义负责拟定写作思路，指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Hosoda K, Niihara M, Harada H, et al. Robot-assisted minimally invasive esophagectomy for esophageal cancer: Meticulous surgery minimizing postoperative complications[J]. Ann Gastroenterol Surg, 2020, 4(6): 608-617.
- [3] ZHANG Y J, DONG D, CAO Y Q, et al. Robotic versus conventional minimally invasive esophagectomy for esophageal cancer: a Meta-analysis[J]. Ann Surg, 2023, 278(1): 39-50.
- [4] 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.
- [5] Kandagatla P, Ghandour A H, Amro A, et al. Long-term outcomes after robotic-assisted Ivor Lewis esophagectomy[J]. J Robot Surg, 2022, 16(1): 119-125.
- [6] Tolboom R C, Broeders I A, Draaisma W A. Robot-assisted laparoscopic hiatal hernia and antireflux surgery[J]. J Surg Oncol, 2015, 112(3): 266-270.
- [7] Benedix F, Adolf D, Peglow S, et al. Short-term outcome after robot-assisted hiatal hernia and anti-reflux surgery-is there a benefit for the patient?[J]. Langenbecks Arch Surg, 2021, 406(5): 1387-1395.
- [8] MA L Y, LUO H, KOU S E, et al. Robotic versus laparoscopic surgery for hiatal hernia repair: a systematic literature review and meta-analysis[J]. J Robot Surg, 2023, 17(5): 1879-1890.
- [9] Soliman B G, Nguyen D T, Chan E Y, et al. Robot-assisted hiatal hernia repair demonstrates favorable short-term outcomes compared to laparoscopic hiatal hernia repair[J]. Surg Endosc, 2020, 34(6): 2495-2502.
- [10] Bigolin A V, Fonseca M K, Grossi J, et al. Robotic repair of post-oesophagectomy hiatal hernia[J]. Ann R Coll Surg Engl, 2022, 104(6): e171-e173.
- [11] Arcerito M, Perez M G, Kaur H, et al. Robotic fundoplication for large paraesophageal hiatal hernias[J]. JSLS, 2020, 24(1): e2019.00054.
- [12] Ceccarelli G, Pasculli A, Bugiantella W, et al. Minimally invasive laparoscopic and robot-assisted emergency treatment of strangulated giant hiatal hernias: report of five cases and literature review[J]. World J Emerg Surg, 2020, 15(1): 37.
- [13] Hashizume M, Shimada M, Tomikawa M, et al. Early experiences of endoscopic procedures in general surgery assisted by a computer-enhanced surgical system[J]. Surg Endosc, 2002, 16(8): 1187-1191.
- [14] Guerrini G P, Esposito G, Magistri P, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: The largest Meta-analysis[J]. Int J Surg, 2020. DOI: 10.1016/j.ijssu.2020.07.053.
- [15] Baral S, Arawker M H, Sun Q, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a mega Meta-analysis[J]. Front Surg, 2022. DOI: 10.3389/fsurg.2022.895976.

- [16] Loureiro P, Barbosa J P, Vale J F, et al. Laparoscopic versus robotic gastric cancer surgery: short-term outcomes-systematic review and Meta-analysis of 25521 patients[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2023, 33(8): 782–800.
- [17] LI J T, LIN J X, WANG F H, et al. Comparison of long-term outcomes after robotic versus laparoscopic radical gastrectomy: a propensity score-matching study[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(11): 8047–8059.
- [18] 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.
- [19] LU J, ZHENG C H, XU B B, et al. Assessment of robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer: a randomized controlled trial[J]. *Ann Surg*, 2021, 273(5): 858–867.
- [20] CHEN Q Y, ZHONG Q, LIU Z Y, et al. Surgical outcomes, technical performance, and surgery burden of robotic total gastrectomy for locally advanced gastric cancer: a prospective study[J]. *Ann Surg*, 2022, 276(5): e434–e443.
- [21] LI Z Y, ZHOU Y B, LI T Y, 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.
- [22] LU J, LI T Y, 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.
- [23] ZHANG C, WEI M H, CAO L, et al. Performing robot-assisted pylorus and vagus nerve-preserving gastrectomy for early gastric cancer: a case series of initial experience[J]. *World J Gastrointest Surg*, 2022, 14(10): 1107–1119.
- [24] Papasavas P, Seip R L, Stone A, et al. Robot-assisted sleeve gastrectomy and Roux-en-y gastric bypass: results from the metabolic and bariatric surgery accreditation and quality improvement program data registry[J]. *Surg Obes Relat Dis*, 2019, 15(8): 1281–1290.
- [25] Napoli N, Kauffmann E F, Ginesini M, et al. Robotic pancreas-preserving total duodenectomy: first-world experience[J]. *Updates Surg*, 2023, 75(6): 1735–1740.
- [26] Alhossaini R M, Altamran A A, Cho M, et al. Lower rate of conversion using robotic-assisted surgery compared to laparoscopy in completion total gastrectomy for remnant gastric cancer[J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(2): 847–852.
- [27] ZHANG Z, MIAO L, REN Z, et al. Robotic bariatric surgery for the obesity: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(6): 2440–2456.
- [28] Bertoni M V, Marengo M, Garofalo F, et al. Robotic-assisted versus laparoscopic revisional bariatric surgery: a systematic review and Meta-analysis on perioperative outcomes[J]. *Obes Surg*, 2021, 31(11): 5022–5033.
- [29] Weber P A, Merola S, Wasielewski A, et al. Telerobotic-assisted laparoscopic right and sigmoid colectomies for benign disease[J]. *Dis Colon Rectum*, 2002, 45(12): 1689–1696.
- [30] Cuk P, Kjær M D, Mogensen C B, et al. Short-term outcomes in robot-assisted compared to laparoscopic colon cancer resections: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(1): 32–46.
- [31] HUANG Z L, HUANG S B, HUANG Y P, et al. Comparison of robotic-assisted versus conventional laparoscopic surgery in colorectal cancer resection: a systemic review and Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1273378.
- [32] FENG Q Y, YUAN W T, LI T Y, et al. Robotic versus laparoscopic surgery for middle and low rectal cancer (REAL): short-term outcomes of a multicentre randomised controlled trial[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2022, 7(11): 991–1004.
- [33] Park J S, Lee S M, Choi G S, et al. Comparison of laparoscopic versus robot-assisted surgery for rectal cancers: the COLRAR randomized controlled trial[J]. *Ann Surg*, 2023, 278(1): 31–38.
- [34] WU H M, GUO R K, LI H Y. Short-term and long-term efficacy in robot-assisted treatment for mid and low rectal cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2023, 39(1): 7.
- [35] Machairas N, Dorovinis P, Kykalos S, et al. Simultaneous robotic-assisted resection of colorectal cancer and synchronous liver metastases: a systematic review[J]. *J Robot Surg*, 2021, 15(6): 841–848.
- [36] CHANG W J, YE Q H, XU D H, et al. Robotic versus open surgery for simultaneous resection of rectal cancer and liver metastases: a randomized controlled trial[J]. *Int J Surg*, 2023, 109(11): 3346–3353.
- [37] Fleming C A, Cullinane C, Lynch N, et al. Urogenital function following robotic and laparoscopic rectal cancer surgery: Meta-analysis[J]. *Br J Surg*, 2021, 108(2): 128–137.
- [38] Farah E, Abreu A A, Rail B, et al. Perioperative outcomes of robotic and laparoscopic surgery for colorectal cancer: a propensity score-matched analysis[J]. *World J Surg Oncol*, 2023, 21(1): 272.
- [39] Saeidi H, Opfermann J D, Kam M, et al. Autonomous robotic laparoscopic surgery for intestinal anastomosis[J]. *Sci Robot*, 2022, 7(62): eabj2908.
- [40] Eslamian S, Reisner L A, Pandya A K. Development and evaluation of an autonomous camera control algorithm on the da Vinci Surgical System[J]. *Int J Med Robot*, 2020, 16(2): e2036.
- [41] Özgüner O, Shkurti T, Huang S, et al. Camera-robot calibration for the Da Vinci[®] robotic surgery system[J]. *IEEE Trans Autom Sci Eng*, 2020, 17(4): 2154–2161.
- [42] Li N, Liu H, Abdolmalaki R Y, et al. s-CAM: an untethered insertable laparoscopic surgical camera robot with non-contact actuation[J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(9): 3405.
- [43] Runciman M, Darzi A, Mylonas G P. Soft robotics in minimally invasive surgery[J]. *Soft Robot*, 2019, 6(4): 423–443.
- [44] ZHANG B Y, FAN Y W, YANG P H, et al. Worm-like soft robot for complicated tubular environments[J]. *Soft Robot*, 2019, 6(3): 399–413.
- [45] Kim H, You J M, Kyung K U, et al. Endoscopic surgery robot that facilitates insertion of the curved colon and ensures positional stability against external forces: K-COLON[J]. *Int J Med Robot*, 2023, 19(3): e2493.
- [46] LIU Y X, WANG Y L M, WANG C L, et al. Comparison of short-term outcomes of robotic-assisted radical colon cancer surgery using the Kangduo surgical robotic system and the Da Vinci Si robotic system: a prospective cohort study[J]. *Int J Surg*, 2024, 110(3): 1511–1518.
- [47] ZHENG J L, WANG Y H, ZHANG J, et al. 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China[J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(11): 5172–5180.
- [48] LI J M, YANG X C, CHU G D, et al. Application of improved robot-assisted laparoscopic telesurgery with 5G technology in urology[J]. *Eur Urol*, 2023, 83(1): 41–44.

收稿日期: 2024-03-18

编辑: 崔明璠