

## 机器人辅助胃癌根治术的优势及局限性

徐鹏演<sup>1, 2</sup>, 王刚<sup>2</sup>, 江志伟<sup>2</sup>

(1. 南京中医药大学第一临床医学院 江苏 南京 210029; 2. 南京中医药大学附属医院普外科 江苏 南京 210029)

**摘要** 胃癌是全球最常见的消化道恶性肿瘤之一, 其发病率和死亡率均位居前列。机器人手术作为前沿技术, 凭借技术优势、操作优势、卫生经济学优势及学习曲线优势在胃癌的微创手术治疗中显示出其独特的价值。机器人手术系统存在的触觉反馈缺失、购置和维护费用高昂、远期疗效及并发症发生率缺乏高质量的临床证据等缺陷是其在临床上进一步推广的阻碍, 但随着持续的技术创新与深入的临床研究, 上述局限性均有望得到解决。未来机器人手术将朝着远程化、自动化、集成化的方向发展, 在医疗过程中造福更多患者。

**关键词** 机器人辅助手术; 胃癌根治术; 微创手术

**中图分类号** R656.6<sup>+</sup>1 R735.2 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 02-0340-05

## Advantages and limitations of robot-assisted radical gastrectomy

XU Pengyan<sup>1, 2</sup>, WANG Gang<sup>2</sup>, JIANG Zhiwei<sup>2</sup>

(1. The first Clinical Medical College of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China; 2. Department of General Surgery, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China)

**Abstract** Gastric cancer, with high morbidity and mortality, is one of the most common malignant tumors of the gastrointestinal tract worldwide. As a cutting-edge technology, robotic surgery shows its unique value in minimally invasive surgical treatment of gastric cancer by virtue of its technological advantages, operational advantages, health economics advantages, and learning curve advantages. However, the lack of haptic feedback, high acquisition and maintenance costs, insufficient high-quality clinical evidence of complication rates and long-term efficacy have hampered the further clinical dissemination of robotic surgical systems, but those current limitations could be expected to resolve with continued technological innovation and in-depth clinical remote control. In the future, robotic surgery will develop in the direction of remote control, automation, and integration to benefit patients in the medical industry.

**Key words** Robot-assisted Surgery; Radical Gastrectomy; Minimally Invasive Surgery

胃癌是全球最常见的消化道恶性肿瘤之一, 其发病率和死亡率均位居前列。国际癌症研究机构显示, 2020 年胃癌确诊患者高达 108 万, 死亡人数近 77 万<sup>[1]</sup>。目前, 手术切除仍是胃癌治疗的首要措施。历经开腹手术、腹腔镜手术、机器人手术, 胃癌手术切除技术愈发精准和微创化, 为患者提供了更好的临床疗效<sup>[2-3]</sup>。虽然国内有多个中心开展了机器人辅助胃癌根治术, 但由于术中淋巴结清扫和消化道重建操作复杂, 且机器人手术费用昂贵, 仅有少数医疗机构配备机器人手术系统, 因此机器人辅助胃

癌根治术在国内尚未普及<sup>[4]</sup>。本文将结合国内外已有文献及笔者团队的研究成果, 简述机器人辅助技术在胃癌手术中的应用现状、优势、面临的挑战及应对策略。

## 1 机器人辅助胃癌手术的现状

机器人手术系统类型多样, 如达芬奇机器人系统、Flex<sup>®</sup> 机器人系统、Senhance 机器人系统、Freehand 机器人系统、康多机器人、妙手机器人等。目前开展机器人胃癌手术的医疗中心使用的多为达

**基金项目:** 江苏省中医药科技发展重点项目 (ZD201903); 江苏省重点学科项目 (ZDXK202251)

**Foundation Item:** Jiangsu Provincial Key Program for Scientific and Technological Development of Chinese Medicine (ZD201903); Key Discipline Program of Jiangsu Provincial (ZDXK202251)

**引用格式:** 徐鹏演, 王刚, 江志伟. 机器人辅助胃癌根治术的优势及局限性 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文). 2025, 6 (2): 340-344.

**Citation:** XU P Y, WANG G, JIANG Z W. Advantages and limitations of robot-assisted radical gastrectomy[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(2): 340-344.

**通讯作者 (Corresponding Author):** 江志伟 (JIANG Zhiwei), Email: surgery34@163.com

芬奇机器人。自2000年由美国食品药品监督管理局(FDA)批准进入市场以来,达芬奇手术机器人经历了四次更新换代(Da Vinci S、Da Vinci Si、Da Vinci X、Da Vinci Xi),使手术的灵活性、安全性和可靠性得到了实质性的提升<sup>[5-6]</sup>。2002年日本学者 Hashizume M 等人<sup>[7]</sup>首次报道了达芬奇机器人辅助胃癌根治术,为世界提供了一种新型的胃癌微创外科治疗手段;2006年中国首次引入达芬奇机器人手术系统并迅速运用于胃癌治疗上,于2010年由余佩武等人<sup>[8]</sup>首次报道;笔者团队也于2010年开展机器人辅助胃癌根治术,并完成了全机器人下内脏全反位患者的胃癌根治术<sup>[9-10]</sup>;2015年《机器人胃癌手术专家共识(2015版)》的推出为机器人胃癌手术的推广提供了规范化经验,至今国内已有多个中心开展了机器人辅助胃癌根治术。以往进口机器人系统由于费用高昂、配备单位少等因素妨碍机器人辅助胃癌根治术的推广,但随着国产机器人手术系统的研发与上市,有望打破这一垄断局面。国产手术机器人“妙手S”已完成I期临床试验(103例病例,其中16例胃癌),结果显示其具有良好的安全性与可行性,图迈®腔镜手术机器人、精锋医疗的多孔腔镜手术机器人、康多手术机器人已陆续开展临床试验,将为我国医疗行业提供更大的选择空间<sup>[11-12]</sup>。

## 2 机器人手术系统在胃癌根治术中的优势

**2.1 技术优势** 机器人手术系统由机械臂、摄像臂及手术器械组成的移动平台、三维成像系统和医生操作平台构成,克服了腹腔镜手术的二维视野、人体工学不适、生理性震颤、操作空间受限等缺陷。机器人手术系统的三维成像系统能提供放大10~15倍的三维立体图像,为术者提供更大的手术视野、更清晰的解剖结构,还能实现手术器械实时定位,提升手术操作的精确性;医生操作平台系统可以实现主刀医生取坐姿进行手术,从人体工学角度使医生获益,从而减少手术误差、提高手术质量;机械臂拥有7个自由度,能模拟人手在腹腔内的运动,且通过计算机接口过滤生理性震颤,方便术者操作<sup>[13]</sup>。

### 2.2 操作优势

**2.2.1 特殊部位淋巴结清扫** 高质量的淋巴结清扫对改善胃癌患者术后远期临床结局、减少并发症的发

生具有重要意义。在胃癌根治术中清扫胰腺、脾门等特殊部位淋巴结时存在脏器损伤、出血、淋巴漏、胰漏等风险,因而具有一定操作难度。而机器人相较于腹腔镜在上述过程中更具优势:①在胰腺上缘淋巴结清扫中,机器人手术系统可以通过机械臂的牵引充分暴露术野,从而避免在腹腔镜手术中为暴露胰腺上缘而压迫胰腺致其损伤的风险;腕部铰链功能电剪进行锐性分离代替超声刀分离则能避免热灼伤的风险<sup>[14]</sup>。②在保脾脾门淋巴结清扫中,脾脏质脆,脾门位置较深,周围血管解剖结构复杂存在损伤出血的风险,而暴露解剖结构时过度牵拉胃及大网膜会有撕裂脾脏包膜的风险,加之腹腔镜手术中,狭小的操作空间、有限的操作角度使清扫难度加大。机器人手术凭借三维立体成像、生理性震颤过滤和多自由度操作可以在复杂血管解剖结构包围的有限空间内进行精确的淋巴结清扫,最大限度地减少了脾脏和脾血管损伤<sup>[15]</sup>。

**2.2.2 人工吻合消化道重建** 腹腔镜胃癌根治术包括小切口辅助胃癌根治术与完全腹腔镜下胃癌根治术。小切口辅助胃癌根治术即在腹腔镜辅助下完成淋巴结清扫后,于上腹部行约10 cm开口切除标本并进行消化道重建。该方法节约了手术时间,提高了手术效率,但切口较大影响美观,不符合患者微创化的需求。完全腹腔镜下胃癌根治术于镜下行消化道重建,较前者更具微创性,但要求术者能够完成复杂的腹腔内精细操作,具有较高的操作难度。虽然切割吻合器的出现降低了手术难度、缩短了手术时间,但高昂的耗材费用是其一大局限。机器人手术系统凭借机械臂的7个自由度,可以精准完成缝合打结等操作。笔者团队自2011年来探索镜下消化道重建技术,总结出通过机器人辅助结合“两线四步法”实现全镜下消化道重建的操作<sup>[9, 16-17]</sup>。相较于腹腔镜小切口辅助消化道重建所需的约10 cm切口,机器人辅助手术仅需在耻骨上方开4 cm切口,更加微创高效;与完全腹腔镜下消化道重建相比,机器人手术用两根倒刺线减少了切割吻合器的使用次数,在减轻患者经济负担的同时降低了镜下消化道重建的操作难度,缩短了学习曲线。

**2.2.3 保留幽门功能、保护迷走神经胃癌根治术** 迷走神经在腹部食管处前后分布,前支分出胃前支与

肝支,后支分出胃后支与腹腔支,其中胃前后支控制胃的运动与分泌功能,肝支对胆囊收缩、胆汁分泌有重要调节作用,腹腔支与胃肠蠕动、胃肠激素及肠液分泌密切相关<sup>[18]</sup>。随着经济水平提高,医学愈发提倡精准医疗、微创医疗。2021发表的《中国机器人胃癌手术指南》向早期中部胃癌患者推荐保护幽门及迷走神经的胃部分切除术。该手术与传统手术相比能降低术后营养不良、胆囊结石、倾倒综合征等并发症的发生率,提高患者术后生活质量的同时保证了手术与肿瘤学安全<sup>[19]</sup>。迷走神经腹腔支解剖结构复杂,分布广泛,与血管走行密切相关,术中分离相对困难,有一定的操作难度。目前保留幽门及迷走神经的胃部分切除术在开腹手术、腹腔镜手术和机器人手术中均有开展,但开腹手术具有术中视野不佳、神经细小、肉眼难以分辨的缺点,腹腔镜手术有3~5倍的二维视野,但其“直线效应”缺陷导致难以施行长时间高质量的精细操作,而机器人手术系统凭借高倍率、高分辨率的术中视野,过滤生理性震颤的高自由度机械臂与人体工学上受益的操作平台,能够在术中更完整地保留迷走神经<sup>[20-21]</sup>。

**2.2.4 残胃癌手术** 残胃癌指的是良性胃病胃切除术后5年以上,胃癌胃切除术后10年以上,残胃新发的癌症<sup>[22]</sup>。目前残胃癌的主要治疗措施为残胃全切除联合淋巴结清扫。由于初次手术的影响,残胃全切除术中将面临腹腔粘连、原有解剖结构改变的情况,使分离操作和淋巴结清扫困难。腹腔镜下残胃癌切除手术安全有效且相较于开腹手术在术中视野、粘连分离及微创性上有明显优势,但也存在电钩不能转向、复杂粘连处精细分离困难、助手协助暴露易疲劳不稳定等局限<sup>[23]</sup>。机器人手术系统凭借其自身优势很好地解决了这一问题,其机械臂下的电钩可多方位转向从而精细分离粘连,机械臂牵拉暴露时能够锁死,高效稳固且不存在疲劳松动的现象,从而提高手术的完成质量<sup>[24]</sup>。

**2.3 卫生经济学优势** Shibasaki S等人<sup>[25]</sup>系统性对比了机器人胃癌根治术与腹腔镜胃癌根治术的死亡率、发病率、手术时间、估计失血量、术后住院时间、远期肿瘤学结局、生活质量、学习曲线和费用等指标。在费用分析中纳入了6项临床研究与1项Meta分析,

均显示机器人胃癌手术费用高于腹腔镜胃癌手术,这是机器人辅助技术推广的一大障碍。但笔者团队分析对比了近年来机器人手术(46例)与腹腔镜手术(41例)患者费用情况,结果显示在开机费与耗材费全自费情况下,机器人手术患者自付费用略高于腹腔镜手术组,但不存在统计学差异,且机器人组药品费用明显低于腹腔镜手术组<sup>[26]</sup>。现我国部分地区已将机器人手术纳入医保报销范围以减轻患者的经济负担,且国内技术飞速发展使机器人手术所需的开机费与耗材费又能较以前有一定的缩减,相信机器人手术的费用问题在未来能得到妥善解决。相较于腹腔镜胃癌手术,机器人胃癌手术更好的短期疗效及相当的远期疗效已在既往研究中得到证实<sup>[25,27]</sup>,而随着机器人系统国产化,机器人手术将进一步发挥其潜在的卫生经济学优势。

**2.4 学习曲线优势** 学习曲线指手术医师操作技术到达相对稳定期所需的手术例数,通常以手术时间、术中出血量、淋巴结清扫数目、术后住院时间及术后并发症发生率等为主要参考指标。Chan K S等人<sup>[28]</sup>综合分析了45篇关于机器人和腹腔镜远端胃切除术学习曲线的研究,结果显示机器人远端胃切除术所需病例数显著小于腹腔镜远端胃切除术所需病例数(22.4例 Vs 46.7例)。一项Meta分析显示腹腔镜全胃切除术到达相对稳定的平台期需要44例,而机器人全胃切除术仅需21例<sup>[29]</sup>。综上所述,机器人胃癌根治术学习曲线较腹腔镜手术具备一定优越性,笔者认为这与机器人手术系统的技术优势密切相关。

### 3 机器人辅助胃癌手术的局限性

**3.1 触觉反馈缺失** 触觉反馈缺失是机器人手术系统的一大缺陷,会导致术者在手术过程中行组织牵拉、钝化切割时难以把控力度,容易撕裂周边器官、损伤邻近组织;在胃壁肠管缝合时难以把控缝线力度,容易造成缝合处二次损伤导致组织缺血坏死。虽然随着手术医生经验的积累,这一缺陷能通过视觉反馈得到一定的改善,但这仍是限制机器人手术精确性的关键因素<sup>[30]</sup>。2018年上市的Senhance外科手术机器人引入了触觉反馈系统,在一定程度上实现了触觉反馈,但碍于配套技术不够完善使其存在着一定局限性<sup>[31]</sup>。目前还没有具备成熟触觉反馈功能的机器人手术系统。近年来触觉反馈设备零部

件的发展为解决这一难题带来了希望,如 Omega 系列触觉反馈设备能提供不同自由度的触觉反馈,现多运用于医疗和航空航天等领域<sup>[32]</sup>。但成熟的触觉反馈系统仍需要零部件与配套技术的集成创新,打破技术困局实现技术突破,从而提高机器人手术的效率与精确性。笔者认为现阶段手术机器人触觉反馈系统尚未成熟,但随着电子科学与材料科学的快速发展,多领域研究交叉融合,手术机器人触觉反馈功能有望得到进一步完善。

**3.2 购置维护费用问题** 手术机器人的购置与维护费用高是导致我国机器人手术量少、难以较好开展的重要因素。随着达芬奇机器人专利保护截止与国产手术机器人的研发与上市,依托成本优势及持续研发能力,机器人手术将在我国更好地开展。

**3.3 远期疗效问题** 机器人胃癌根治术与传统手术的远期疗效是否有差异目前仍缺乏高质量的临床证据,目前报道较多的研究类型是回顾性研究与前瞻性观察研究,缺乏大型前瞻性多中心 RCT 研究。一项 Meta 分析纳入 8 项研究共计 3410 例(机器人组 1009 例,腹腔镜组 2401 例)胃癌患者的术后远期疗效情况,结果显示两组总生存率 [ $HR=0.98$ , 95%  $CI$  (0.80, 1.20),  $P=0.81$ ] 与复发率 [ $HR=0.92$ , 95%  $CI$  (0.71, 1.19),  $P=0.53$ ] 无明显差异<sup>[33]</sup>。一项多中心 RCT 研究发现在宫颈癌微创手术治疗后 3 年无病生存率低于开腹手术 (91.2% Vs 97.1%,  $P<0.05$ )<sup>[34]</sup>。目前还没有研究显示机器人胃癌手术相较于传统手术可能对患者远期临床结局产生不良影响,鉴于其他肿瘤微创手术治疗出现此类情况,应完善针对机器人胃癌手术患者远期疗效的研究,为手术的安全性提供高质量的临床证据。

**3.4 并发症发生率问题** 并发症发生率是评价手术安全性的重要指标。我国一项大规模多中心回顾性队列研究结果显示机器人胃切除术后并发症发生率低于腹腔镜胃切除术 (12.6% Vs 15.2%,  $P=0.023$ )<sup>[35]</sup>。张珂诚等人<sup>[36]</sup>发现机器人胃切除术与腹腔镜胃切除术后总并发症发生率相似,但可能有助于降低根治性 D2 淋巴结清扫后并发症的严重程度。以上结论均来自回顾性研究,且结论尚不统一,基于机器人胃癌根治术是否能降低术后并发症发生率与严重程度这一问题尚需更深入的研究以及更高级别的证据。

## 4 展望与小结

未来机器人手术将朝着远程化、自动化、集成化的方向发展。①远程化:随着通信技术与医疗领域研究不断交叉,手术机器人与 5G 技术联合运用下远程手术应运而生。这项技术已在妇科<sup>[37]</sup>、泌尿外科<sup>[38]</sup>、骨科<sup>[39]</sup>等专科中初步应用,目前尚未有胃癌远程手术的相关报道。随着通信技术与机器人手术系统的不断创新,远程手术能更好地应用于医疗、教学领域,在一定程度上缩小区域医疗发展水平差异。②自动化:机器人在部分控制或无控制的情况下执行手术任务是当前手术机器人的重要发展方向之一。其目的是不依赖外科医生,通过手术机器人确保患者手术质量的同质化<sup>[40]</sup>。既往研究<sup>[41-42]</sup>显示自动化手术系统在模型动物手术过程中保持高精度和高效率的同时,具备替代外科医生若干手术任务的可行性。因此如何确保自动化机器人手术在人体上运用的安全性及有效性,相关的法律和伦理原则亟待完善。③集成化:功能集成化是手术机器人发展的重要方向。机器人手术系统是视觉成像系统、力感知传导系统、位置感知系统、触觉反馈显示系统、热传感系统及电外科系统等多个复杂系统的集合<sup>[43]</sup>。将先进技术协调兼容应用,发挥设备的优势,如将触觉反馈设备集成反馈触觉<sup>[44]</sup>、将荧光显影成像功能集成发现微小病灶<sup>[45]</sup>、将人工智能技术集成辅助决策<sup>[46]</sup>等。通过技术集成将机器人手术系统从一个操作系统向智能化平台转变。

综上所述,手术机器人因其技术优势、操作优势、卫生经济学优势等,使其与传统手术相比具有一定的优越性。尽管还存在触觉反馈缺失、购置及维护费用高、手术远期疗效、并发症发生率缺乏高质量的循证医学证据等缺陷,但随着科技的持续发展、国产化打破垄断及临床研究的不断深入,相信这些问题都将迎刃而解;同时,手术机器人的出现满足微创外科、精准医疗的发展需求,依托手术机器人系统的技术集成与持续的科技创新,手术机器人会成为一个远程智能化集成操作平台,机器人手术的开展也将更深入,从而造福更多患者。

**利益冲突声明:** 本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明:** 徐鹏演负责设计论文框架,起草论文;王刚负责论文修改;江志伟负责拟定写作思路,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] LOU S H, YIN X, WANG Y F, et al. Laparoscopic versus open gastrectomy for gastric cancer: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Surg*, 2022, 102: 106678.
- [3] 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, 82: 210–228.
- [4] 余佩武, 李政焰. 中国胃癌机器人手术开展的现状与思考 [J]. *中华胃肠外科杂志*, 2020, 23(04): 332–335.
- [5] Farinha R, Puliatti S, Mazzone E, et al. Potential contenders for the leadership in robotic surgery[J]. *Journal of Endourology*, 2022, 36(3): 317–326.
- [6] 曹鹏, 王国慧, 易波, 等. 国产手术机器人的发展现状与未来方向 [J]. *结直肠肛门外科*, 2024, 30(3): 249–252, 258.
- [7] Hashizume M, Shimada M, Tomikawa M, et al. Early experiences of endoscopic procedures in general surgery assisted by a computer-enhanced surgical system[J]. *Surgical Endoscopy*, 2002, 16(8): 1187–1191.
- [8] 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.
- [9] 江志伟, 黎介寿, 李宁. 腹腔镜与机器人手术上消化道重建合理吻合方式 [J]. *中国实用外科杂志*, 2012, 32(8): 637–639.
- [10] DAI H B, WANG Z C, FENG X B, et al. Case report about a successful full robotic radical gastric cancer surgery with intracorporeal robot-sewn anastomosis in a patient with situs inversus totalis and a two-and-a-half-year follow-up study[J]. *Surg Endosc*, 2018, 16(1): 1187–1191.
- [11] 王国慧, 易波, 刘勇, 等. 国产手术机器人临床 I 期研究 (附 103 例报告) [J]. *中国实用外科杂志*, 2019, 39(8): 840–843.
- [12] 舒之群, 屈佳璐, 张淑贤, 等. 医疗机构在国产手术机器人“产学研医”协同创新转化模式中角色的探讨 [J]. *中国医疗器械杂志*, 2023, 47(5): 582–586.
- [13] Wong S W, Crowe P. Visualisation ergonomics and robotic surgery[J]. *J Robot Surg*, 2023, 17(5): 1873–1878.
- [14] 张小磊, 江志伟, 王刚, 等. 机器人及腹腔镜胃癌根治术后胰瘘发生的影响因素分析 [J]. *腹部外科*, 2022, 35(6): 408–412.
- [15] Yang K, Cho M, Roh C K, et al. Robotic spleen-preserving splenic hilar lymph node dissection during total gastrectomy for gastric cancer[J]. *Surgical Endoscopy*, 2019, 33(7): 2357–2363.
- [16] WANG G, JIANG Z W, ZHAO J, et al. Assessing the safety and efficacy of full robotic gastrectomy with intracorporeal robot-sewn anastomosis for gastric cancer: A randomized clinical trial[J]. *Journal of Surgical Oncology*, 2016, 113(4): 397–404.
- [17] 刘江, 王刚, 冯啸波, 等. 完全机器人手工缝合消化道重建技术在全胃切除术中的应用 [J]. *机器人外科学杂志 (中英文)*, 2021, 2(3): 151–161.
- [18] Browning K N, Travagli R A. Central nervous system control of gastrointestinal motility and secretion and modulation of gastrointestinal functions[J]. *Comprehensive Physiology*, 2014, 4(4): 1339–1368.
- [19] 蔡林弟, 樊林. 早期胃癌手术保留迷走神经的争议 [J]. *中国实用外科杂志*, 2022, 42(10): 1197–1200.
- [20] 刘春阳, 郝迎学, 余佩武, 等. 达芬奇机器人手术系统保留迷走神经胃癌根治术的临床疗效 [J]. *中华消化外科杂志*, 2017, 16(3): 251–256.
- [21] 范义川, 张驰, 魏茂华, 等. 第 4 代达芬奇机器人手术系统辅助保留幽门及迷走神经胃部分切除术治疗早期胃癌的临床疗效 [J]. *中华消化外科杂志*, 2023, 22(08): 1014–1020.
- [22] 中国残胃癌诊治协作组. 中国残胃癌定义的外科专家共识意见 (2018 年版) [J]. *中华胃肠外科杂志*, 2018, 21(5): 483–485.
- [23] 蔡丽君, 田素芳. 残胃癌的诊疗研究进展 [J]. *武汉大学学报 (医学版)*, 2023, 44(1): 121–126.
- [24] 钱锋, 刘佳佳, 刘军言, 等. 机器人在残胃上的癌手术治疗中的临床应用 [J]. *中华胃肠外科杂志*, 2018, 21(5): 546–550.
- [25] 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.
- [26] 张小春, 沈丹丽, 龚冠闻, 等. 江苏省某医院行机器人胃癌根治术的卫生经济学研究 [J]. *中国医院统计*, 2023, 30(3): 198–202.
- [27] FENG Q B, MA H X, 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]. *Frontiers in Oncology*, 2021, 11: 759509.
- [28] Chan K S, Oo A M. 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.
- [29] Chan K S, Oo A M. Learning curve of laparoscopic and robotic total gastrectomy: A systematic review and meta-analysis[J]. *Surgery Today*, 2023, 54(6): 509–522.
- [30] 王刚, 潘华峰, 刘江, 等. 达芬奇 Xi 系统在完全机器人根治性远端胃大部切除术中的应用 [J]. *山东大学学报 (医学版)*, 2020, 58(5): 51–55.
- [31] Stephan D, Sälzer H, Willeke F. First experiences with the new Senhance® telerobotic system in visceral surgery[J]. *Visceral Medicine*, 2018, 34(1): 31–36.
- [32] Chauhan M, Deshpande N, Pacchierotti C, et al. A robotic microsurgical forceps for transoral laser microsurgery[J]. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2019, 14(2): 321–333.
- [33] LIAO G X, ZHAO Z H, Khan M, et al. Comparative analysis of robotic gastrectomy and laparoscopic gastrectomy for gastric cancer in terms of their long-term oncological outcomes: a meta-analysis of 3410 gastric cancer patients[J]. *World Journal of Surgical Oncology*, 2019, 17(1): 86–94.
- [34] Ramirez P T, Frumovitz M, Pareja R, et al. Minimally invasive versus abdominal radical hysterectomy for cervical cancer[J]. *N Engl J Med*, 2018, 379(20): 1895–1904.
- [35] 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.
- [36] 张珂诚, 曹博, 卫勃, 等. 机器人与腹腔镜辅助胃癌根治术中复杂部位淋巴结清扫对比研究 [J]. *中国肿瘤临床*, 2019, 46(11): 546–550.
- [37] 顾成磊, 李立安, 王宁, 等. 5G 远程机器人辅助腹腔镜全子宫切除术首例报道 [J]. *中国微创外科杂志*, 2023, 23(8): 610–615.
- [38] YANG X C, WANG Y H, JIAO W, et al. Application of 5G technology to conduct tele-surgical robot-assisted laparoscopic radical cystectomy[J]. *Int J Med Robot*, 2022, 18(4): e2412.
- [39] 赵斌, 李金奇, 赵春鹏, 等. 基于 5G 技术的骨科机器人远程导航辅助植入经皮骨盆通道螺钉固定骨盆及髌骨骨折 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2022, 36(8): 923–928.
- [40] 郭靖, 吴迪, 成卓奇, 等. 机器人辅助手术自主性技术的进展 [J]. *机器人外科学杂志 (中英文)*, 2023, 4(4): 281–298.
- [41] Ray K. Autonomous robotic laparoscopic gastrointestinal surgery[J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2022, 19(3): 148–148.
- [42] Saeidi H, Opfermann J D, Kam M, et al. Autonomous robotic laparoscopic surgery for intestinal anastomosis[J]. *Sci Robot*, 2022, 7(62): eabj2908.
- [43] Thai M T, Phan P T, Hoang T T, et al. Advanced intelligent systems for surgical robotics[J]. *Advanced Intelligent Systems*, 2020, 2(8): 1900138.
- [44] Rehan M, Saleem M M, Tiwana M I, et al. A soft multi-axis high force range magnetic tactile sensor for force feedback in robotic surgical systems[J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(9): 3500.
- [45] Diana P, Buffi N M, Lughezzani G, et al. The role of intraoperative indocyanine green in robot-assisted partial nephrectomy: results from a large, multi-institutional series[J]. *Eur Urol*, 2020, 78(5): 743–749.
- [46] 马伟佳, 朱小龙, 刘青瑶, 等. 人工智能在机器人辅助手术中的应用 [J]. *机械工程学报*, 2024, 60(17): 22–39.

收稿日期: 2023–12–04

编辑: 刘静凯