

虚拟现实联合国产手术机器人辅助腹腔镜下中低位 直肠癌根治术一例报道（附手术视频）



扫码观看视频

吴建霖^{1, 2}, 饶尚锐^{1, 2}, 林季³, 董千铜³, 左志贵¹, 孙维建¹

（1. 温州医科大学附属第一医院结直肠外科 浙江 温州 325015; 2. 温州医科大学附属第二医院胃肠外科
浙江 温州 325027; 3. 温州医科大学附属第一医院胃肠外科 浙江 温州 325015）

摘要 本研究报道了 2024 年 9 月温州医科大学附属第一医院开展的 1 例虚拟现实头戴式显示设备联合国产手术机器人辅助腹腔镜下中低位直肠癌根治术，并总结分析了 PubMed、X-mol、中国知网（CNKI）和万方数据库的相关文献，检索时间范围从建库开始至 2024 年 9 月。手术顺利完成，患者术后无相关并发症发生，切口愈合良好、恢复快。检索的 27 篇相关文献均显示此术式可获得令人满意的效果，表明 VR 技术联合机器人辅助腹腔镜手术治疗中低位直肠癌是安全、有效的，值得临床推广。

关键词 虚拟现实技术；机器人辅助手术；直肠癌；国产手术机器人

中图分类号 R735.3⁺7 R615 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721（2025）05-0746-05

VR technology combined with domestic surgical robot-assisted laparoscopic radical resection for mid-to-low rectal cancer: a case report (with surgical video)

WU Jianlin^{1, 2}, RAO Shangrui^{1, 2}, LIN Ji³, DONG Qiantong³, ZUO Zhigui¹, SUN Weijian¹

（1. Department of Colorectal Surgery, The First Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325015, China;

2. Department of Gastrointestinal Surgery, The Second Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China;

3. Department of Gastrointestinal Surgery, The First Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325015, China)

Abstract A case of virtual reality (VR) head-mounted display combined with domestic surgical robot-assisted laparoscopic radical resection for mid-to-low rectal cancer is reported in this paper, which was performed at the First Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University in September 2024. A systematic literature review was conducted across PubMed, X-mol, CNKI, and Wanfang databases, encompassing all available studies from database inception to September 2024. The surgery went successfully and the patient recovered well with excellent wound healing and rapid convalescence, no surgical complications was observed. Analysis of 27 retrieved studies consistently showed favorable outcomes with this technique. These findings collectively support the conclusion that VR technology combined with robot-assisted laparoscopic surgery is a safe and clinically effective approach for mid-to-low rectal cancer resection, which is worthy of clinical promotion.

Key words Virtual Reality Technology; Robot-assisted Surgery; Rectal Cancer; Domestic Surgical Robot

结直肠癌是目前全球第三大常见癌症和第二大癌症死亡原因，其中直肠癌占三分之一^[1]。尽管直肠癌的发病率和死亡率总体呈下降趋势，但在 50 岁以下的中青年人群中却呈指数级增加^[2-3]。手术联合放化疗是直肠癌的标准治疗方式^[4]，微创手术能够在充分评估肿瘤的大小、位置、与括约肌的距离及盆底状况、TNM 分期等多方面情况下优化功能和生存率，同时将复发风险降至最低^[5]，是当前的主流治

疗方案。虚拟现实（Virtual Reality, VR）技术能为使用者带来沉浸式体验的优势已成功促进了众多领域的发展，尤其是医学领域，其通过术前规划、术中实时目标识别和跟踪、术后反馈三大方面的支持，为外科医生提供了更精确的手术预设，同时加强了术中对患者重要血管、淋巴及脏器的保护，有利于提高操作精细度、降低患者术后并发症发生率^[6]。本团队于 2024 年 9 月为 1 例中低位直肠癌患者成功

引用格式：吴建霖，饶尚锐，林季，等. 虚拟现实联合国产手术机器人辅助腹腔镜下中低位直肠癌根治术一例报道（附手术视频）[J]. 机器人外科学杂志（中英文），2025，6（5）：746-750.

Citation: WU J L, RAO S R, LIN J, et al. VR technology combined with domestic surgical robot-assisted laparoscopic radical resection for mid-to-low rectal cancer: a case report (with surgical video) [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(5): 746-750.

通讯作者（Corresponding Author）：孙维建（SUN Weijian），Email: fame198288@126.com

实施了 VR 技术联合国产手术机器人辅助腹腔镜下直肠癌根治术，现报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料 患者，女，69 岁，因“腹泻 3 月余，便血半月余”入院。患者 3 个月前无明显诱因出现反复腹泻，每日解水样便 5~6 次，量不多，偶有腹痛、腹胀，其余未诉明显不适，当地卫生院予以“消炎药”及对症支持治疗后好转。近 1 个月以来患者病情反复，1 周前出现大便带血，呈鲜红色，量较少，伴排便不尽感，遂至本院消化内科住院治疗。腹部 CT 示直肠上端结节，肠镜检查提示“直肠癌可能”，病理结果示“直肠腺癌（倾向中分化）”。患者既往无相关手术史，无相关家族史。专科查体：腹平坦，腹壁静脉无曲张，腹式呼吸，未见胃肠型和蠕动波。腹壁柔软，无压痛、反跳痛，未触及肿块。直肠距肛门缘 8 cm 处可及溃疡型肿块，不可推动，指套带暗红血迹。

1.2 辅助检查 实验室检查结果示：Hb 100 g/L、白蛋白 32.2 g/L、AFP 1.76 ng/mL、CA199 35.6 U/mL、CEA 2.9 ng/mL，尿常规、凝血、心电图等检查未见明显异常。腹部平扫+增强 CT 提示：直肠上段偏心性明显增厚，增强后明显强化，周围脂肪间隙模糊（如图 1A）。直肠增强 MRI 提示：直肠上中段见肠壁增厚呈肿瘤状，环壁 1/3 周，最厚处约 11 mm，呈 T1WI 低信号、T2WI 高信号，DWI 高信号，增强后呈明显强化（如图 1B）。肠镜提示：直肠距肛门缘 8 cm 处见黏膜环壁不规则隆起，肠腔狭窄，无法进镜，考虑直肠癌可能（如图 1C）。

直肠癌 DISTANCE 评估：① DIS（肿瘤下极距肛管皮肤移行处的距离）：肿瘤位于上中段直肠，

腹膜返折之上，肿瘤长度约 23 mm，肿瘤下极距肛门缘约 83 mm；② T（肿瘤浸润深度）：T2，累及肠壁固有肌层；③ A（肛管侵犯）：肛管无侵犯；④ N（淋巴结转移）：未见淋巴结侵犯；⑤ C [环周切缘（Circumferential Resection Margin, CRM）侵犯]：直肠系膜筋膜无侵犯；⑥ E [肠壁外血管侵犯（Extramural Venous Invasion, EMVI）]：直肠肿瘤段无粗大 DWI 高信号血管。考虑直肠癌，临床分期：cT₂N₀M_x，CRM（-），EMVI（-）。

1.3 手术方法 患者全身麻醉后取低截石位，常规消毒铺巾。于脐上 0.5 cm 穿刺进入腹腔建立气腹（14 mmHg），置入 12 mm Trocar 及镜头行腹腔探查。于脐上 5 cm，向左旁开 5 cm 作 10 mm 切口置入 Trocar，安装 1 号臂。于脐上 5 cm，向右旁开 3 cm 作 12 mm 切口置入 Trocar，安装 2 号臂。于右髂前上棘内上 3 cm 作 10 mm 切口置入 Trocar，安装 3 号臂。于 2 号臂孔与 3 号臂孔连线中点偏外 5 cm 作 12 mm 切口置入 Trocar，建立辅助孔。固定患者，体位调整至骨盆高位、右倾卧位（如图 2）。安装国产威高®手术机器人并置入相关手术器械。腹腔探查见腹腔内无渗液，肝胆胰脾胃无特殊，小肠粘连于盆腔，陶氏窝无特殊。肿块距肛门缘约 8 cm，肿块大小约 3.0 cm×3.0 cm，绕肠 1/2 周。肠系膜根部未见肿大淋巴结。①游离乙状结肠及直肠：分离粘连，从盆腔中牵出小肠，将乙状结肠提起，切开右侧乙状结肠系膜显露肠系膜下动静脉，清扫淋巴结，保留左结肠动脉，使用 Hem-o-lock 夹分别结扎、切断肠系膜下动静脉，沿 Toldt 筋膜向左向上继续分离并游离乙状结肠系膜。上提乙状结肠，沿盆筋膜壁、脏层之间锐性分离。②切除直肠：裸化直肠，距肿瘤下缘 3 cm 处使用腹腔镜直线切割闭合器闭合切断

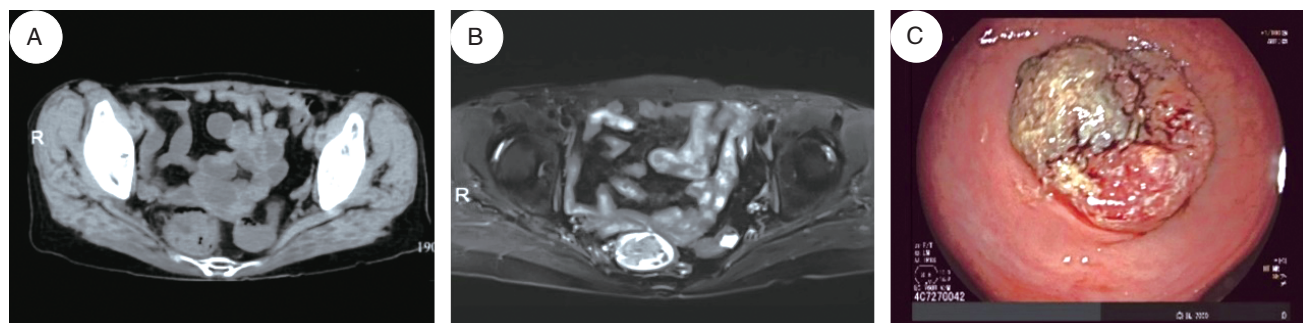


图 1 术前辅助检查

Figure 1 Preoperative Evaluations

注：A. 腹部增强 CT；B. 腹部增强 MRI；C. 肠镜

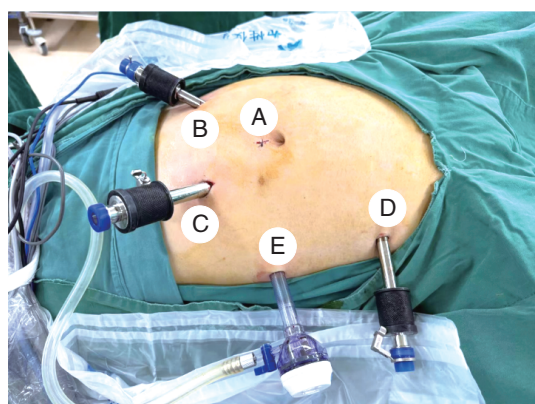


图2 机器人辅助直肠癌根治术 Trocar 摆放位置
Figure 2 Trocar placement for robot-assisted radical resection of rectal cancer

注: A. 气腹针孔; B. 1 号臂孔; C. 目镜孔, 2 号臂孔; D. 3 号臂孔; E. 辅助孔

远端直肠; 取左下腹部经腹直肌切口, 长约 5 cm, 分层切开进入腹腔, 保护切口, 将肿瘤及临近肠段提出腹腔外, 游离乙状结肠系膜及部分直肠系膜, 结扎系膜血管, 于肿块上缘 10 cm 处切断肠管, 移除标本, 肠管残端收紧行荷包缝合, 置入吻合器钉砧, 荷包缝合后送入腹腔, 缝合腹壁切口, 重新建立气腹。
③吻合肠段: 大量生理盐水冲洗腹腔。扩肛及碘伏水冲洗直肠后经肛门插入吻合器, 吻合肠段后退出, 检查上下切缘为完整环形, 用 3-0 缝线加固吻合口。
④检查腹腔内无渗血、肠管无扭转后排列小肠, 于骶前置入引流管 1 根, 从下腹引出, 用创必固® 固定器固定引流管, 清点器械、纱布无误, 撤除腹腔镜及手术器械, 缝合腹膜及肌层, 皮下置入真空负压引流管, 用医用皮肤表面缝合器吻合切口。

2 结果

2.1 手术结果及随访情况 手术顺利, 麻醉满意, 术后患者安返病房。术中失血量约 20 mL, 未输血。病理结果提示: 肿瘤大小 3.5 cm × 3.0 cm, 为溃疡型中分化腺癌, 肿瘤穿透固有肌层达浆膜下组织 (T_3), 上、下切缘及放射状切缘均为阴性, 脉管可见癌栓, 未见神经侵犯, 肠周淋巴结 (5/13) 见癌转移, 另见 3 枚癌结节, 肿瘤为 G1 级, 病理分期为 $pT_3N_0M_0$ (pMMR IIA 期)。

术后予以患者抗感染、止痛、保护胃肠黏膜等对症治疗, 见切口愈合良好, 恢复快, 术后 1 d、4 d、7 d、18 d 血常规及肝肾功能未见明显异常, 术后 10 d 腹部平扫 CT 提示: 直肠癌术后改变。未出现

切口感染及吻合口瘘等并发症。患者出院后 (术后 3 个月内) 定期至门诊复查未见明显异常。

2.2 文献分析结果 对 PubMed、X-mol、中国知网 (CNKI)、万方数据库进行文献检索。检索关键词包括“机器人、机器人手术、虚拟现实技术、直肠癌、直肠切除术、robotic surgery、surgical robotics、laparoscopic computer-assisted surgery、rectal cancer、rectal resection”。本研究纳入使用 Da Vinci 机器人手术系统及国产机器人手术系统进行直肠手术的已发表文献, 用以完善数据丰度及反映手术机器人真实的研究应用现状。

上海复旦大学附属中山医院冯青阳教授团队^[7]的一项多中心试验对 2016 年 7 月 17 日—2020 年 12 月 20 日中国 8 个省份、11 家医院、18~80 岁、患有中度 (肿瘤距肛缘 >5~10 cm) 或低度 (距肛缘 ≤ 5 cm) 直肠腺癌、 $cT_{1-3} N_{0-1}$ 或 $ycT_{1-3} N_x$, 且没有远处转移证据的直肠癌患者进行初筛, 最终纳入 1240 名患者, 以 1:1 的比例随机分配接受机器人辅助手术 ($n=620$) 或腹腔镜手术 ($n=620$), 比较两组患者术后 CRM 阳性率和术后 30 d 并发症 (Clavien-Dindo 分类 II 级或更高) 发生率。结果显示, 就短期结果而言, 机器人辅助手术组较传统腹腔镜手术组有更多中低位直肠癌患者实现了宏观完全切除, 术后胃肠功能恢复更好, 住院时间更短, 腹会阴切除术和开腹手术的转换更少, 术中出血量及并发症也更少。此外, 以上海复旦大学附属中山医院许剑民教授^[8]为首, 整合国内 28 家医院、纳入 5 389 例患者对机器人辅助结直肠癌手术进行多中心评估, 结果显示机器人辅助直肠癌术后吻合口瘘的发生率仅为 4.4%, 明显低于传统腹腔镜的 12.2%。山东省淄博市中心医院刘承奎教授^[9]针对机器人和传统腹腔镜治疗直肠癌的优劣性进行了一项 Meta 分析, 检索 2015 年之后发表的相关文献, 共纳入 22 744 名患者, 研究结果表明两种手术在术后并发症方面并没有显著差异, 但机器人辅助手术组在减少术中出血及中转开腹方面优于传统腹腔镜组。

随着近几年计算机图形学和 AI 的快速发展, VR 结合 AI 在医学领域显示出巨大潜力。其中, 浙江大学联合香港中文大学和美国圣母大学系统分析了 AI 增强 VR 在医疗诊断和治疗中的应用, 根据医疗诊断和治疗程序, 将 AI 增强 VR 应用分为三个类别: ①可视化增强; ②与 VR 相关的医学数据处理;

③ VR 辅助干预。展望了未来 VR 在医学领域的潜在发展前景^[10]。首都医科大学附属北京友谊医院在对烧伤患者进行伤口护理时发现，VR 可作为阿片类药物镇痛的辅助手段有效减轻患者痛觉，且不会因反复应用 VR 而导致效果下降^[11]。山东第一医科大学附属省立医院应用 VR 技术让患儿在术前提前熟悉手术环境，并建立轻松愉悦的个性化交互环境，诱导患儿正向情绪，从而大大缓解患儿术前焦虑，提高患儿麻醉诱导依从性及手术配合度^[12]。

其余多数文献也表明，机器人辅助手术在切除的肿瘤学质量、手术创伤和术后恢复方面均优于传统腹腔镜手术，且 VR 在医学领域也展现出强大的应用潜力^[13-19]。

3 讨论

直肠癌是当今全球最常见的恶性肿瘤之一，其发病率在我国呈递增趋势。以腹腔镜手术为代表的微创手术已经成为当前直肠癌的主流治疗方法，但其二维视图、助手控制相机不稳定、人体工程学差、直尖器械、支点效应和震颤效应增强等弊端也随着腹腔镜技术的大规模推广而暴露。尤其面对中低位直肠癌手术，狭窄、有限的盆腔空间及内部错综复杂的血管、神经系统^[20-23]都成了腹腔镜手术操作的阻碍。为了弥补这些缺陷，机器人辅助直肠癌手术应运而生。在显像方面，相较于传统腹腔镜手术清晰度有限的二维平面图像，机器人手术系统通过 10 倍放大的高清三维立体画面，为术者提供更加清晰的视野；在操作方面，机器人手术系统不仅能过滤震颤，其高自由度的机械臂更是实现了传统腹腔镜器械难以完成的复杂操作，如在狭小空间内进行精细的分离、缝合等，并且克服了传统腹腔镜手术中

的“筷子效应”，降低了术中操作难度，缩短了学习曲线；在手术安全性方面，该术式凭借更小的手术创口和更高的操作精度，减少了传统手术中可能发生的人为误差，大大提高了手术安全性，减少了术后并发症^[24-26]。

本项研究中患者的肿瘤距肛门口仅 8 cm，位置较低，且有慢性阻塞性肺疾病史，基本条件较差。通过 VR 技术的深度学习能力，利用患者特异性分析和战略性程序映射，完善其术前评估，模拟相应手术结果并制定手术流程，以确保手术效果达到最佳并规避风险，实现损伤最小化^[6, 27-28]。术中通过 VR 头戴式显示设备所提供的清晰、同步的术中影像辅助手术进程（如图 3A），同时利用其“实时唤出患者一般信息、术前影像、血管三维重构”界面，结合术中画面，清晰实时展现术中解剖层面、血管走行和淋巴分布，方便术者在术中更安全、高效地做出临床判断和决策^[29]（如图 3B）。术后反馈对评价手术成功与否、预估患者恢复时间及指导术后康复有重要作用，其中应用 VR 行运动分析和结果评估是两个关键方面^[6]。运动分析是指精确检测手术医师的精密动作，通过 Rendezvous（RDV）新型神经网络模型识别内窥镜视频中的外科手术动作三元组（工具-动作-目标），并引入 CholecT 50 数据集评估此次术式的性能，这对提高手术自动化和安全性具有重要意义^[29]；结果评估包括对治疗或干预的结果和影响进行系统评估，通过新型 EGT（Evidential Graph Transformer）网络测量该术式的可行性及安全性^[30]。然而在目前的临床应用中仍存在诸多问题与挑战，如手术操作与实时画面反馈间存在一定程度延迟、手术操作缺乏力触觉反馈、术中操作方向相对固定等^[22]，因此该术式在未来普及

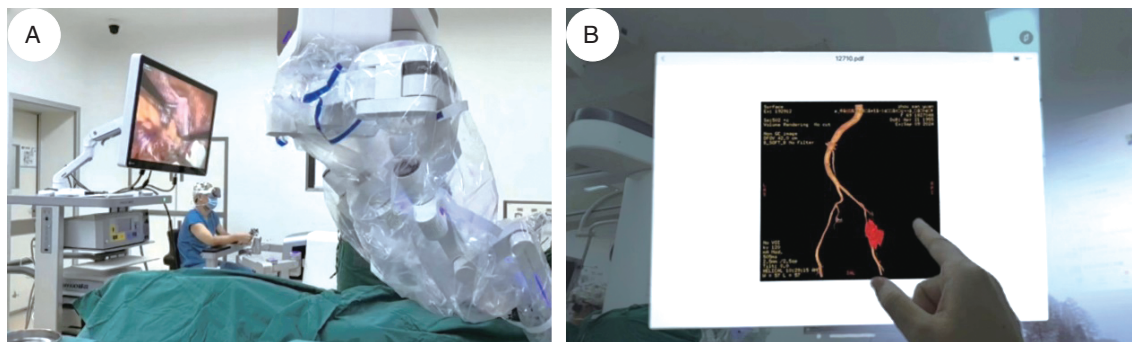


图3 术中应用 VR 头戴式显示设备

Figure 3 Intraoperative application of VR head-mounted display device

注：A. 术者佩戴 VR 头戴式显示设备操作机器人手术；B. 术中查阅患者术前血管三维造影成像

时仍需进一步优化。

综上所述,机器人手术系统的高自由度、稳定性和灵活性较好地弥补了腹腔镜的不足,在一定程度上降低了中低位直肠手术中腹会阴切除术和开腹手术的转换概率,减少了术中出血量和术后并发症。联合应用VR技术不仅能在术中实时显示患者基本信息、检验报告和影像学资料从而创造良好的沉浸式医疗环境,还能通过搭配AI算法,实时分析手术进程及解剖层面,及时调整并制定后续治疗策略,提高操作的精确性和安全性。本例患者的治疗充分证明了机器人手术系统结合VR技术是一种更高效、安全的治疗选择。我们将继续跟进对本例患者的术后长期随访以进一步完善研究数据,并在未来研究中纳入更多样本进一步验证。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 吴建霖负责设计论文框架,起草论文;饶尚锐、林季负责数据收集;孙维建、左志贵、董千铜负责论文修改,指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] Siegel R L, Miller K D, Jemal A. Cancer statistics, 2018[J]. CA: a cancer journal for clinicians, 2018, 68(1): 7–30.
- [2] Henley S J, Singh S D, King J, et al. Invasive cancer incidence and survival—United States, 2011[J]. MMWR Morb Mortal Wkly Rep, 2015, 64(9): 237–242.
- [3] Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, et al. Estimating the global cancer incidence and mortality in 2018: GLOBOCAN sources and methods[J]. International journal of cancer, 2019, 144(8): 1941–1953.
- [4] Leung K L, Kwok S P Y, Lam S C W, et al. Laparoscopic resection of rectosigmoid carcinoma: prospective randomised trial[J]. The Lancet, 2004, 363(9416): 1187–1192.
- [5] Keller D S, Berho M, Perez R O, et al. The multidisciplinary management of rectal cancer[J]. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 2020, 17(7): 414–429.
- [6] Friedrich P, Wolleb J, Bieder F, et al. Point cloud diffusion models for automatic implant generation[C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023: 112–122.
- [7] 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]. The lancet Gastroenterology & hepatology, 2022, 7(11): 991–1004.
- [8] XU J M, TANG B, LI T Y, et al. Robotic colorectal cancer surgery in China: a nationwide retrospective observational study[J]. Surgical endoscopy, 2021, 35(12): 6591–6603.
- [9] LIU C K, LI X Q, WANG Q F. Postoperative complications observed with robotic versus laparoscopic surgery for the treatment of rectal cancer: an updated meta-analysis of recently published studies[J]. Medicine, 2021, 100(36): e27158.
- [10] WU Y X, HU K Y, CHEN D Z, et al. AI-Enhanced Virtual Reality in Medicine: A Comprehensive Survey[J]. arXiv, 2024. DOI: arXiv-2402.03093.
- [11] 吴辰, 张丽, 马超, 等. 虚拟现实技术在疼痛治疗领域的研究进展[J]. 协和医学杂志, 2024, 15(2): 272–278.
- [12] 杨晓梅, 孙巧梅, 李莎莎, 等. 虚拟现实技术对全麻手术患儿术前焦虑干预效果的Meta分析[J]. 分子影像学杂志, 2024, 47(9): 977–983.
- [13] LIU C K, LI X Q, WANG Q F. Postoperative complications observed with robotic versus laparoscopic surgery for the treatment of rectal cancer: an updated meta-analysis of recently published studies[J]. Medicine, 2021, 100(36): e27158.
- [14] Nagtegaal I D, Quirke P. What is the role for the circumferential margin in the modern treatment of rectal cancer?[J]. Journal of Clinical Oncology, 2008, 26(2): 303–312.
- [15] Moran B J, Holm T, Brannagan G, et al. The English national low rectal cancer development programme: key messages and future perspectives[J]. Colorectal disease, 2014, 16(3): 173–178.
- [16] Fleshman J, Branda M E, Sargent D J, et al. Disease-free survival and local recurrence for laparoscopic resection compared with open resection of stage II to III rectal cancer: follow-up results of the ACOSOG Z6051 randomized controlled trial[J]. Annals of surgery, 2019, 269(4): 589–595.
- [17] Stevenson A R L, Solomon M J, Brown C S B, et al. Disease-free survival and local recurrence after laparoscopic-assisted resection or open resection for rectal cancer: the Australasian laparoscopic cancer of the rectum randomized clinical trial[J]. Annals of surgery, 2019, 269(4): 596–602.
- [18] Doughty M, Singh K, Ghugre N R. SurgeonAssist-Net: towards context-aware head-mounted display-based augmented reality for surgical guidance[C]//Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention-MICCAI 2021: 24th International Conference, Strasbourg, France, September 27–October 1, 2021, Proceedings, Part IV 24. Springer International Publishing, 2021: 667–677.
- [19] Seenivasan L, Islam M, Kannan G, et al. SurgicalGPT: end-to-end language-vision GPT for visual question answering in surgery[C]//International conference on medical image computing and computer-assisted intervention. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023: 281–290.
- [20] Keller D S, Berho M, Perez R O, et al. The multidisciplinary management of rectal cancer[J]. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 2020, 17(7): 414–429.
- [21] Park I J, Choi G S, Lim K H, et al. Multidimensional analysis of the learning curve for laparoscopic colorectal surgery: lessons from 1, 000 cases of laparoscopic colorectal surgery[J]. Surgical endoscopy, 2009, 23(4): 839–846.
- [22] 毛翌皓, 冯青阳, 许剑民. 人工智能时代机器人结直肠癌手术的现状 & 进展[J]. 中华消化外科杂志, 2024, 23(4): 573–578.
- [23] Mak T W C, Lee J F Y, Futaba K, et al. Robotic surgery for rectal cancer: a systematic review of current practice[J]. World Journal of Gastrointestinal Oncology, 2014, 6(6): 184.
- [24] LIU G, ZHANG S J, ZHANG Y, et al. Robotic surgery in rectal cancer: potential, challenges, and opportunities[J]. Current Treatment Options in Oncology, 2022, 23(7): 961–979.
- [25] Bukas C, Jian B, Rodríguez Venegas L F, et al. Patient-specific virtual spine straightening and vertebra inpainting: an automatic framework for osteoplasty planning[C]//Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention-MICCAI 2021: 24th International Conference, Strasbourg, France, September 27–October 1, 2021, Proceedings, Part IV 24. Springer International Publishing, 2021: 529–539.
- [26] Chatterjee S, Das S, Ganguly K, et al. Advancements in robotic surgery: innovations, challenges and future prospects[J]. Journal of Robotic Surgery, 2024, 18(1): 28.
- [27] Szeskin A, Rochman S, Weiss S, et al. Liver lesion changes analysis in longitudinal CECT scans by simultaneous deep learning voxel classification with SimU-Net[J]. Medical Image Analysis, 2023. DOI: 10.1016/j.media.2022.102675.
- [28] Gsaxner C, Li J N, Pepe A, et al. Inside-out instrument tracking for surgical navigation in augmented reality[C]//Proceedings of the 27th ACM symposium on virtual reality software and technology. 2021: 1–11.
- [29] Nwoye C I, Yu T, Gonzalez C, et al. Rendezvous: Attention mechanisms for the recognition of surgical action triplets in endoscopic videos[J]. Medical Image Analysis, 2022. DOI: 10.1016/j.media.2022.102433.
- [30] Jamzad A, Fooladgar F, Connolly L, et al. Bridging Ex-Vivo Training and Intra-operative Deployment for Surgical Margin Assessment with Evidential Graph Transformer[C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023: 562–571.

收稿日期: 2024-12-04

编辑: 魏新珂