



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250552

<http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250552>

China Journal of General Surgery, 2025, 34(10):2068-2083.

· 专家论坛 ·

机器人复杂直肠癌手术探索与思考

邢兆东, 汤坚强

(国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院 结直肠外科, 北京 100021)

摘要

复杂直肠癌常需实施超越全直肠系膜切除范围的联合脏器切除, 或进行扩大范围的侧方淋巴结清扫(LLND)。受制于病灶位置深在、盆腔空间狭小及局部解剖复杂等因素, 传统开放及腹腔镜手术常存在视野受限、操作困难及手术风险较高等问题。随着机器人辅助手术技术的发展, 其高清三维视野、高自由度机械臂及符合人体工程学的设计, 克服了传统腹腔镜器械之间干扰及狭窄盆腔操作受限等缺点, 使手术操作更加精细、安全。近年来, 机器人技术在LLND及盆腔多脏器联合切除等复杂直肠癌手术中已显示出明显优势。本文结合国内外相关研究及笔者的临床实践经验, 对机器人辅助手术在复杂直肠癌治疗中的可行性及其优劣势进行探讨。

关键词

直肠肿瘤; 机器人手术; 淋巴结切除术; 盆腔廓清术

中图分类号: R735.7

Exploration and reflection on robotic complex rectal cancer surgery

XING Zhaodong, TANG Jianqiang

(National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Department of Colorectal Surgery, Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China)

Abstract

Complex rectal cancer often requires extended multivisceral resection beyond the total mesorectal excision plane or lateral lymph node dissection (LLND) beyond the conventional range. Owing to the deep pelvic location, limited operating space, and complex local anatomy, conventional open or laparoscopic surgery is associated with restricted visualization, technical difficulty, and increased surgical risk. With the advancement of robot-assisted surgical technology, its high-definition three-dimensional vision, articulated robotic arms with multiple degrees of freedom, and ergonomic improvements effectively overcome the limitations of traditional laparoscopy, allowing precise manipulation in narrow pelvic spaces. These advantages have made robotic surgery increasingly valuable in complex rectal cancer procedures such as LLND and multivisceral resection. This review summarizes recent literature and the authors' clinical experience to discuss the feasibility, advantages, and limitations of robotic-assisted rectal cancer surgery.

Key words

Rectal Neoplasms; Robotic Surgical Procedures; Lymph Node Excision; Pelvic Exenteration

CLC number: R735.7

收稿日期: 2025-09-28; 修订日期: 2025-10-21。

作者简介: 汤坚强, 中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院主任医师, 主要从事结直肠外科方面的研究。

通信作者: 汤坚强, Email: doc_tjq@hotmail.com

我国直肠癌患者初诊时即为局部晚期的比例较高,这部分患者的特点是大多需行新辅助治疗后再行手术,其中部分患者还需要接受超出常规清扫范围的扩大淋巴结清扫或联合盆腔脏器切除以达到R₀切除,而且术后也存在较高的复发率,可能需要再次接受手术切除,故外科治疗面临巨大的挑战^[1];同时,发病患者逐渐年轻化,使得患者对术后生活质量提出了更高的要求,如何在肿瘤根治的前提下,更大程度地保留肛门、膀胱、盆腔神经等功能,也同样成为外科手术治疗的热点。

外科微创手术是目前结直肠癌最主要的治疗方式,腹腔镜结肠癌手术的疗效已经得到广泛的认可,但对于腹腔镜直肠癌手术的疗效仍存在一定的争议。由于直肠解剖位置特殊,操作空间小,手术视野差,腹腔镜器械之间的相互干扰,故操作困难,最终可能导致器官损伤等手术并发症,环周切缘阳性率和肿瘤残余可能性增加^[2-3],其在复杂直肠癌手术中的应用更受到了限制。机器人手术是在克服腹腔镜手术缺点的基础上发展起来的,高清的三维(3D)视野、高自由度机械臂及在人体工程学上的改进使其能在盆腔狭小范围内进行更精细的手术操作,使其在直肠癌手术中的应用已得到广泛认可。早在2006年,美国学者^[4]报道了6例直肠癌患者行机器人辅助全直肠系膜切除术(total mesorectal excision, TME)的效果,研究表明此类手术由手术经验丰富的外科医师来施行是安全可行的。此后,机器人辅助的TME在直肠癌患者中得以广泛推广,现已在全球范围内多个国家和地区开展,多项高级别证据的临床研究证实了其安全性和可行性^[5-7]。目前,机器人手术在复杂直肠癌中应用的安全性、可行性及其远期疗效也在不断探索当中,有望成为复杂直肠癌治疗的新趋势。

1 复杂直肠癌的定义

复杂直肠癌尚无统一的定义。局部进展期直肠癌(locally advanced rectal cancer, LARC)指由术前影像学或术中发现的原发直肠肿瘤侵犯TME层面以外,需要扩大切除才能实现R₀根治的LARC^[8];局部复发直肠癌(locally recurrent rectal cancer, LRRC)一般指既往有明确的直肠癌手术根治史,

出现吻合口位置或肿瘤床的复发癌灶^[9]。LARC和LRRC患者常需要接受超越TME范围(beyond TME)的、更广泛的脏器联合切除(pelvic exenteration, PE)以达到R₀切除,或需接受超越常规清扫范围的扩大淋巴结清扫术^[10]。PE依据切除范围而有多种不同的术式,包括经典的全盆腔脏器切除术(total pelvic exenteration, TPE)、前盆腔脏器切除术(anterior pelvic exenteration, APE)和后盆腔脏器切除术(posterior pelvic exenteration, PPE);还包括其他PE手术方式,如直肠癌联合部分膀胱、输尿管、精囊、部分前列腺、侧方淋巴结清扫(lateral lymph node dissection, LLND)、侧盆壁、髂血管、骶骨、尾骨等切除^[11]。由于治疗策略复杂、手术操作困难,故将需行超直肠全系膜切除范围的盆腔联合脏器切除术或联合LLND的LARC和LRRC统称为复杂直肠癌。

复杂直肠癌手术超越了TME的直肠固有筋膜层面,因而结直肠外科医生需要对超TME的解剖结构如盆腔前间隙(anterior pelvic space, APS)及盆腔侧向间隙(lateral pelvic space, LPS)等有足够的认识,才能更加从容面对盆腔PE手术中的各种复杂情况,以达到肿瘤的R₀切除^[12]。APS又名耻骨后间隙(Retzius)或膀胱前间隙,为膀胱前列腺前耻骨后的疏松结缔组织间隙。LPS是指腹下神经前筋膜与壁层盆腔筋膜之间的区域,内含输尿管、髂血管、躯体神经(闭孔神经和腰骶干)、盆腔自主神经(腹下丛、盆神经丛和神经血管束)和淋巴脂肪组织。LPS横向存在三个无血管筋膜平面,由内及外依次为输尿管腹下神经筋膜(uretero-hypogastric nerve fascia, UNF)、膀胱腹下筋膜(vesico-hypogastric fascia, VF)和壁层筋膜(parietal pelvic fascia, PPF)(图1)。

笔者亦将LPS的背侧分成四个深度等级的血管层面,由浅至深依次为髂内动脉层面、髂内静脉层面、梨状肌筋膜层面和腰骶干后间隙层面(图2)。根据肿瘤背侧对骨性盆腔结构侵犯的深度不同,手术大出血的风险也不同,一般肿瘤侵犯层面越深,手术难度越大,出血风险也相应增加,处理不慎,常导致严重的大出血发生。当肿瘤侵犯至髂内动脉层面,髂内动脉及静脉主干均未受侵,此类型最为常见,仅需离断髂内动脉分支,处理相对简单;当肿瘤侵犯至髂内静脉层面,髂内动脉主干甚至根部会受侵犯,此时根据动脉不

同侵犯程度,需将髂内动脉主干远端或者根部离断;当肿瘤侵犯至梨状肌筋膜层面,髂内静脉会受侵(也常伴髂内动脉主干受侵),需先离断髂内动脉,后离断髂内静脉主干;当肿瘤侵犯至腰骶干后间隙层面,梨状肌或腰骶干会受侵,需联合骨科等多学科会诊,行髂内血管、梨状肌、腰骶干、骶神经等联合切除术,但术后有发生不可逆的下肢功能障碍等风险。

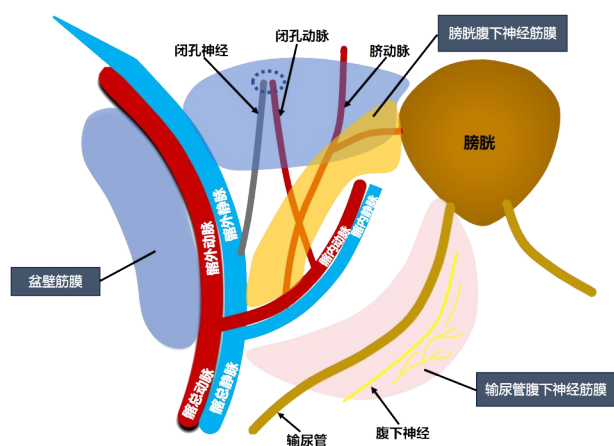


图1 LPS的横向3个层面示意图

Figure 1 Schematic diagram of the three horizontal layers of the LPS

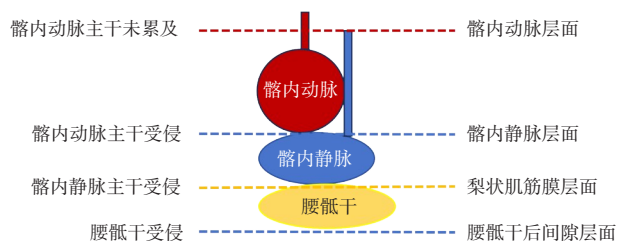


图2 LPS的背侧4个深度层面示意图

Figure 2 Schematic diagram of the four deep layers on the dorsal side of the LPS

2 机器人在复杂直肠癌手术中的优势与面临的问题及对策

2.1 清晰稳定的影像平台使术者操作解剖更加精细简便

骨盆内空间相对狭小、骨盆解剖比较复杂、腹腔镜成像存在“死角”、镜头不稳定以及腹腔中起雾降低了画面清晰度等因素,传统腹腔镜手术时术者常常不能得到理想的视野,导致很容易进入错误的解剖层面,甚至造成血管或组织器官的损伤等严重问题,这些都限制了腹腔镜技术在直

肠癌手术中进一步发展^[13]。复杂直肠癌手术操作过程对视野要求很高,关键解剖结构既要看得见,又要看得清,而机器人手术系统大大弥补了腹腔镜的不足,成为复杂直肠癌手术的理想选择。机器人影像平台为主刀医师提供放大10~15倍的高清3D图像,使手术视野更加有真实和纵深感,使主刀医生能够更为清晰地辨识血管、神经等精细解剖结构,从而更加准确地找到正确的解剖层面,避免了血管、神经的误损伤;镜头固定在机械臂上,可长时间稳定在一个角度无晃动,在术中关键步骤如止血、缝合、困难分离等操作时,为术者提供了更加稳定的视野;其镜头可灵活转动,如其一键翻转功能,为低位直肠游离时提供了无死角的视野。直肠癌手术中,机器人较腹腔镜在保护神经和血管方面具有明显优势^[14]。笔者也存在同样的感受,即借助机器人高清的视野,游离过程中可以更加准确地找到腹下神经前筋膜和直肠固有筋膜之间的间隙,沿此间隙分离,可以保留自主神经系统主干和分支,更好地保护腹下神经丛的微小分支。

2.2 稳定的医师控制台,使手术操作更加舒适,减轻了主刀医师的疲劳程度

主刀医师的疲劳程度对手术的整体效果有很大的影响,尤其对于复杂手术,手术时间较长,长时间的站立,双手的直接操作,对主刀医生的体力和稳定性是一个巨大考验^[15]。机器人手术系统提供了更符合人体工程学的操作环境,很好地解决了这个问题。机器人的医师控制台为主刀医师提供手术区视野乃至部分触觉反馈;其操作手柄支持多自由度关节的真实运动模拟,以及计算机过滤手部自然颤动,有效抑制了手部震颤,并扩大了手术器械的旋转范围,从而显著提升了手术操作的安全性与稳定性;主刀医师采取坐位施行手术,可以更好地完成精细的手术操作,大大减轻术者疲劳感,从而有助于减少术中、术后并发症的发生^[16]。

2.3 灵活的机械臂平台,提高了手术的流畅性,减少了主刀对助手和扶镜手的依赖

腹腔镜手术需要一助精准地暴露和牵拉手术区域的组织,同时需要扶镜手提供合适角度的视野,以便主刀医生能够准确无误地操作,因此传统腹腔镜对助手的经验要求比较高。机器人的机械臂平台可视为术者的双手,其配置的机械臂均

具备多关节自由度或冗余自由度设计,能实现复杂空间运动,尤其在直肠癌手术时,使术者可以在狭小的盆腹腔间隙里进行操作,显著提升了手术的精度和灵活性。其搭载各类专门器械,包括热剪(单极电剪)、电钩、超声刀、无损伤抓钳、带双极电凝的无损伤抓钳、带双极电凝的马里兰抓钳、抓持牵开器等,依据主刀医师的操作习惯给予合理搭配,在复杂直肠癌手术时,可明显提高手术的效率;笔者的经验,在低位直肠括约肌间游离、LLND、肿瘤局部侵犯行PE时,习惯使用带双极电凝的马里兰抓钳,其分离精细、止血可靠,较超声刀效率要高。机器人手术时,术者可根据自己的要求自行调整镜头角度,减少了对扶镜手的经验的依赖,而且镜头视野非常稳定;机械臂的稳定牵拉,同样降低了对助手牵拉的角度、力度及稳定性的要求,也减轻了一助的疲劳感,保证了手术的流畅性^[17-18]。当然,机器人手术也离不开密切的团队配合,助手需要在出现渗血或出血时迅速反应,使用吸引器压迫止血,或遇到血管破裂等紧急大出血情况时,能够立即采取有效措施控制出血,以确保手术顺利进行。

2.4 近红外吲哚菁绿(near infrared-indocyanine green, NIR-ICG)荧光成像助力提高手术安全性与精准性

ICG注入血管或肿瘤组织后,能够快速弥漫到整个血管或组织,并沿着淋巴回流途径进入腹腔内的诸多淋巴结;通过NIR-ICG荧光成像系统,ICG会在黑色背景上发出白色或绿色荧光,血管或转移淋巴结会因充斥或吸入ICG而显像。应用这一荧光显影技术,术中可对重要血管进行标记,对消化道重建时吻合口血供进行判断,也可更精确地定位淋巴结位置,帮助术者更好地进行清扫淋巴结。既往诸多研究^[19-23]表明,NIR-ICG荧光成像系统可增强术野可视化水平、降低吻合口漏发生率和提高淋巴结获取数量。目前,NIR-ICG荧光成像系统在结直肠外科领域应用日益广泛。第四代达芬奇机器人配备有NIR-ICG荧光成像系统,通过调整至其Firefly模式,可实现术中实时观察血管走行、肠管血供和淋巴结引流情况,更快速有效地帮助术者制定手术策略,从而提高了手术的安全性和质量^[24]。

笔者的经验,对复杂直肠癌患者,一般术前1 d在肿瘤下缘黏膜下注射ICG,定位肿瘤及淋巴

引流方向。术中将25 mg ICG溶于10 mL灭菌注射用水,经外周或中心静脉注射0.2 mg/kg ICG,荧光观察肠系膜下动脉分支类型及各分支血管走形(图3A),便于左结肠血管的保留;如为复发直肠癌行二次手术患者,可荧光显像判断边缘弓走形(图3B),在术中行代直肠游离时注意加以保护,避免因边缘弓损伤导致过多肠管因缺血而切除,造成再吻合时吻合口张力过高,而一旦发现远端缺血肠管过多时,可有助于术者快速决策,果断进行结肠脾曲游离;在肠管离断前,明确肿瘤近端肠管血运显像情况,评估待吻合区域的血供,便于术者快速决策,确定近端肠管的离断线(图3C-D);吻合完成后再次经外周或中心静脉注射相同剂量的ICG,检查吻合口荧光显像情况,评估吻合口血供(图3E-F)。荧光显像也有助于术者术中对淋巴结清扫范围快速作出决策,对于低位直肠癌患者,当盆腔侧壁出现荧光信号时,可以适当扩大淋巴结清扫范围,同时荧光信号阴性患者也可避免非必要的盆腔淋巴结廓清术。

2.5 机器人在复杂直肠癌手术中面临的问题与对策

当然,现阶段开展机器人直肠癌手术也同样所面临诸多问题和挑战,由于机器人手术缺少助手的主动配合,如在术中大出血等特殊情况下,更依赖助手的临场应变能力,且紧急情况下更换机械臂也需要耗费额外时间,都给机器人复杂直肠癌手术带来不小的挑战;如层面不清晰时,由于缺乏力反馈系统,故较难识别正确的分离层面;机器人手术费用高昂等^[25-26]。既往有研究显示,掌握机器人结直肠癌手术的主要技术,达到学习曲线的第1个平台期,至少需要约25~44例^[27-28]。目前国内在机器人直肠癌手术体量较少的单位,初学者很快达到此例数仍存在不少困难。但笔者的经验,对有腹腔镜经验的医生,机器人手术可明显缩短术者的学习曲线,快速建立起视觉力反馈,弥补机器人缺乏触觉反馈的缺点。机器人在遇到手术的关键限速步骤如淋巴结清扫、低位直肠的游离、内外括约肌间游离、缝合止血时,较传统腹腔镜优势明显,操作更加高效灵活。虽然机器人手术耗材费用成本较高,但如果能减少并发症发生率、降低手术出血、提高保肛率及降低环周切缘阳性率,最终患者是获益的。

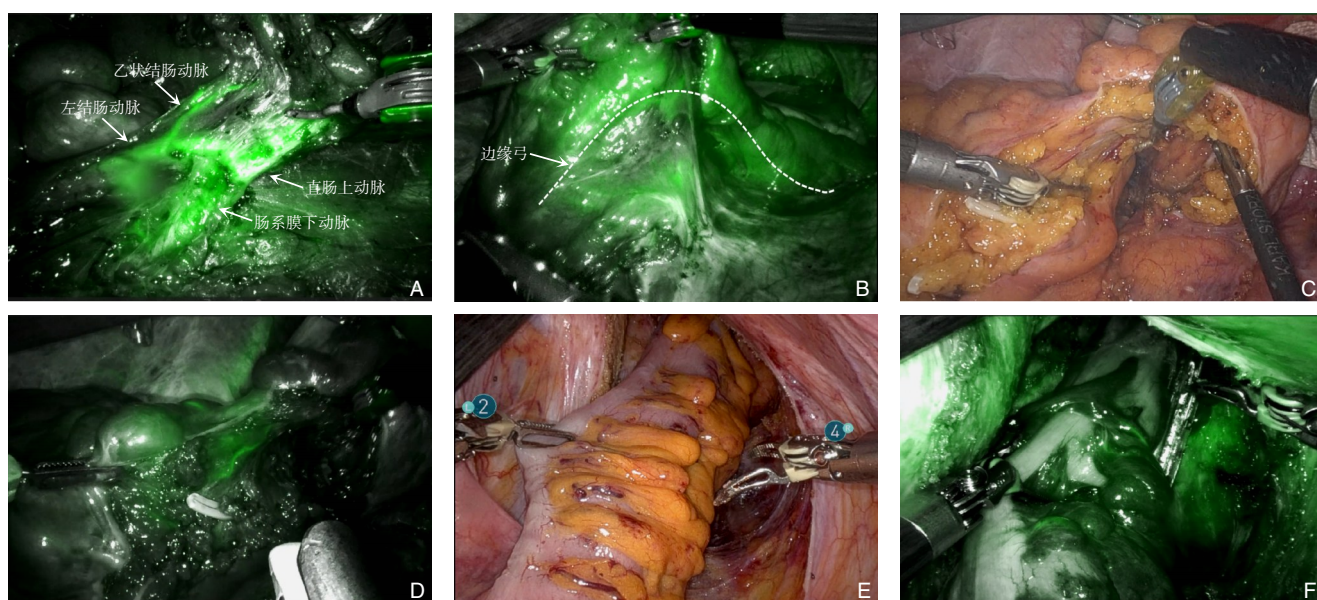


图3 机器人NIR-ICG荧光成像系统的运用 A: 肠系膜下动脉及其分支显像; B: 复发直肠癌手术中代直肠血运显像; C: 近端肠管裸化后预离断线; D: 荧光显像再次判定预离断线近端血运; E: 直肠吻合完毕后吻合口; F: 荧光显像再次确认吻合口血运

Figure 3 Application of the robot-assisted NIR-ICG imaging system A: Imaging of the inferior mesenteric artery and its branches; B: Intraoperative imaging of the rectosigmoid blood supply during recurrent rectal cancer surgery; C: Proximal bowel skeletonization and planned transection line; D: Fluorescence imaging for re-evaluation of the proximal blood supply at the planned transection line; E: Completed rectal anastomosis; F: Fluorescence imaging for re-confirmation of the anastomotic blood supply

3 机器人手术在复杂直肠癌手术中应用的循证医学证据

3.1 机器人辅助LLND

低位直肠癌LLND是一项在争议中不断发展的手术技术,欧美的临床医生主张通过术前同步放化疗治疗侧方淋巴结转移,不推荐预防性LLND;但众多研究却表明,术前同步放化疗并不能完全清除侧方淋巴结转移,放化疗后仍然存在较高比例的阳性淋巴结残留,而导致肿瘤复发^[29-30];而目前,越来越多的循证医学证据表明通过掌握手术指征的LLND,可以降低直肠癌盆腔局部复发率,给患者带来生存获益^[31-32]。LLND初期以开放手术为主,由于其难度高、创伤大,且还会因术中神经损伤导致术后排尿困难及性功能障碍等并发症发生率较高,使其临床推广受到极大限制^[33-34]。

随着腹腔镜和机器人等微创技术的不断发展,以及微创技术在淋巴结清扫和盆腔自主神经功能保护有着很大的优势^[35],目前LLND也进入了微创时代。2001年,日本学者Uyama等^[36]首次对腹腔镜

LLND进行了报道,该研究中5例未行新辅助治疗的进展期低位直肠癌成功实施了腹腔镜下直肠癌根治术联合LLND,初步证实了腹腔镜LLND的安全性和可行性。此后,腹腔镜LLND逐步得到广泛开展,对于该术式疗效及肿瘤学结局的研究不断涌现,但普遍存在病例数偏少且缺乏对照的现象。2017年,日本学者Yamaguchi等^[37]报道了一项关于腹腔镜对比开放LLND疗效的研究,回顾性纳入了69家中心676例进展期直肠癌,均接受了直肠癌根治术联合LLND,其中腹腔镜组137例,开放组539例。研究发现,腹腔镜组和开放组术后并发症发生率分别为35.8%和43.6% ($P=0.10$);3年无复发生存 (relapse free survival, RFS) 率分别为80.3%和72.6% ($P=0.07$)。该研究表明,腹腔镜LLND在II~III期低位直肠癌中是安全可行的,且与开放LLND的肿瘤学结果相似,该研究也奠定了腹腔镜手术成为LLND标准术式的地位。当然,腹腔镜对比开放LLND疗效的研究中,也不乏来自中国的声音。2022年,笔者团队^[38]报道了一项腹腔镜对比开放性LLND短期和长期生存结果的研究,该研究数据来自中国侧方淋巴结协作组 (Chinese Lateral

Node Collaborative Group), 纳入2012年1月—2019年12月我国3家机构中有临床证据证明存在侧方淋巴结转移的中低位LARC患者共384例, 所有患者均接受了直肠癌根治术+LLND, 其中腹腔镜组和开放组分别为277例和107例, 通过倾向性评分匹配后, 腹腔镜组和开放组各100例。该研究结果显示, 腹腔镜组较开放组的手术时间较短 (255 min *vs.* 300 min, $P=0.001$), 术中出血量较少 (50 mL *vs.* 300 mL, $P<0.001$), 术后并发症发生率较低 (32.0% *vs.* 15.0%, $P=0.005$), 术后住院时间较短 (8 d *vs.* 14 d, $P<0.001$), 且切除的侧盆腔淋巴结数量更多 (9枚 *vs.* 7枚, $P=0.025$); 两组的3年总体生存 (overall survival, OS) 率 ($P=0.581$) 和3年无病生存 (disease free survival, DFS) 率 ($P=0.745$) 相当。该研究同样表明, 腹腔镜LLND在技术上是安全可行的, 具有良好的短期结果和与开放手术相似的肿瘤结果。

2012年, 韩国学者Park等^[39]首次对机器人LLND进行了报道, 该研究为小样本的前瞻性单臂研究, 8例进展期及晚期低位直肠癌患者接受了机器人LLND, LLND的平均手术时间为38 min (20~51 min), 未发生与LLND相关的并发症, 平均检出的侧方淋巴结数量为4.1 (1~13) 枚, 有3例患者 (38%) 发现有侧方淋巴结转移。该研究是对机器人LLND术式的初步探索, 初步证实了机器人LLND在晚期低位直肠癌患者中是安全可行的, 但由于病例数太少, 循证级别不高。2015年, 日本学者Kagawa等^[40]对机器人LLND进行了更大病例数的报道, 该研究纳入了同一中心连续50例接受机器人直肠癌根治联合LLND的患者, 其中44例患者进行了双侧LLND。LLND的中位时间为165 (85~257) min; 术中中位出血量为27 (5~690) mL; 术后住院的中位时间为8 (6~13) d; 侧方淋巴结检出的中位数量为19 (5~47) 枚。该研究进一步表明机器人辅助LLND对局部进展期低位直肠癌患者是一种安全、可行且有效的方法。

随着机器人手术的普遍开展, 针对机器人LLND的安全性、有效性及肿瘤学结局, 通过将机器人手术同开放手术及腹腔镜手术的对比, 出现了许多循证级别较高的研究。2016年, 日本学者Yamaguchi等^[41]对机器人与开放LLND的短期疗效对比进行了较大宗病例的报道, 该研究为单中心前瞻性研究, 共纳入了173例进展期直肠癌, 所有病

例均实施了直肠癌根治术联合LLND, 其中机器人组85例、开放组88例; 机器人组和开放组中, 接受双侧LLND的比例分别为87.1%和79.5%; 中位手术时间方面, 机器人组略长于开放组 (455 min *vs.* 410 min, $P=0.007$); 术中中位出血量方面, 机器人组明显少于开放组 (25 min *vs.* 637 min, $P<0.001$); 术后尿潴留并发症方面, 机器人组少于开放组 (2例 *vs.* 7例, $P=0.011$); 术后中位住院时间方面, 机器人组明显少于开放组 (8 d *vs.* 11 d, $P<0.001$); 中位侧方淋巴结检出数量方面, 机器人组与开放组相当 (19枚 *vs.* 18枚, $P=0.562$); 中位侧方淋巴结转移数量方面, 机器人组与开放组也相当 (14枚 *vs.* 18枚, $P=0.500$)。该研究表明, 对于LARC, 机器人LLND的短期结果略优于开放组。2018年, 日本学者Yamaguchi等^[42]设计了单中心回顾性病例匹配对照研究对机器人LLND与开放LLND的远期疗效进行对比, 该研究中所有病例均实施了直肠癌根治术联合LLND, 两组匹配后, 机器人组和开放组均为78例。机器人组和开放组中, 接受双侧LLND的比例分别为84.6%和89.7%; 侧方淋巴结转移率方面, 机器人组与开放组相当 (11.5% *vs.* 14.1%, $P=0.811$); 中位随访时间为54.0个月, 机器人组和开腹组5年OS率分别为95.4%和87.8% ($P=0.106$), 5年RFS率分别为79.1%和69.9% ($P=0.157$), 5年局部RFS率分别为98.6%和90.9% ($P=0.029$)。本研究显示机器人和开放LLND的远期预后相当。2018年, 韩国学者Kim等^[43]首次对机器人与腹腔镜LLND的疗效对比进行了报道, 该研究为单中心的前瞻性研究, 共纳入了85例进展期直肠癌病例, 所有病例均实施了直肠癌根治术联合LLND, 其中机器人组50例、腹腔镜组35例; 机器人组和腹腔镜组中, 接受双侧LLND的比例分别为20%和17.1%; 手术时间方面, 对于单侧LLND, 平均手术时间, 机器人组和腹腔镜组差异不显著 [(41.0 ± 15.8) min *vs.* (35.3 ± 13.4) min, $P=0.146$]; 术中出血方面, 机器人组明显少于腹腔镜组 [(34.6 ± 21.9) mL *vs.* (50.6 ± 23.8) mL, $P=0.002$]; 术后尿潴留并发症方面, 机器人组少于腹腔镜组 (2例 *vs.* 7例, $P=0.002$); 中位侧方淋巴结检出数量方面, 机器人组与腹腔镜组相当 (6.6枚 *vs.* 6.4枚); 中位侧方淋巴结转移率方面, 机器人组与开放组也相当 (28.0% *vs.* 41.2%, $P=0.243$); 中位随访26.3个月, 总体复发率和局部复

发率方面，机器人组和腔镜组相当。该研究表明，机器人直肠癌根治术与 LLND 是安全可行的，具有良好的短期手术结果。2021 年，韩国学者 Song 等^[44]对机器人对比腹腔镜 LLND 的长期疗效进行报道，该研究为单中心回顾性研究，共纳入了 99 例进展期直肠癌病例，所有病例均实施了直肠癌根治术联合 LLND，其中机器人组 70 例、腔镜组 29 例；术后尿潴留并发症发生率方面，机器人组低于开放组（7.1% vs. 24.1%， $P=0.043$ ）。中位随访 44.3 个月，总体复发率方面，机器人组和腔镜组相当；OS 率方面，机器人组优于开放组（92.2% vs. 65.0%， $P=0.017$ ）。该研究表明，机器人辅助直肠癌根治术联合 LLND 是安全可行的，且术后尿潴留发生率更低；在肿瘤结局方面，机器人组在复发率方面与腹腔镜组相当，在 OS 率方面表现更好。2023 年，笔者团队和西安交大第一附属医院团队联合发表了一项评估机器人对比腹腔镜 LLND 在进展期低位直肠癌患者中的围手术期、泌尿生殖功能及中期肿瘤学结果的更大样本量的研究^[45]，该研究纳入了 2015 年 1 月—2021 年 4 月该两家中心接受机器人和腹腔镜 LLND 的连续病例共 205 例，其中机器人组 95 例，腹腔镜组 110 例。研究发现，机器人组较腹

腔镜组手术时间更长（225 min vs. 220 min， $P=0.001$ ），术中出血更少（80 mL vs. 110 mL， $P=0.027$ ），收获的总侧方淋巴结中位数量相当（24 枚 vs. 23 枚， $P=0.314$ ），但收获的第 263 组淋巴结中位数量更多（3 枚 vs. 2 枚， $P=0.037$ ），尿潴留发生率更低（7.4% vs. 17.3%， $P=0.034$ ），泌尿生殖功能恢复更好（67.4% vs. 86.7%， $P=0.019$ ）；两组之间的中期肿瘤学结果没有显著差异。该研究表明，机器人 LLND 相对于腹腔镜 LLND 是安全且可行的，并能收获更多的侧方淋巴结和更好地保护泌尿生殖功能。2024 年，一项来自台湾的针对进展期直肠癌机器人对比腹腔镜 LLND 围术期结果的 Meta 研究^[46]见诸报道，共纳入 5 项研究的 567 例患者，其中接受机器人和腹腔镜 LLND 分别为 266 和 301 例。分析结果显示，机器人组较腹腔镜组的总手术时间更长（ $P<0.001$ ），LLND 时间相当（ $P=0.819$ ），整体发生并发症更少（ $P=0.046$ ），特别是在尿潴留方面更少（ $P=0.005$ ），获取侧方淋巴结数量更多（ $P<0.001$ ）。该研究显示，与腹腔镜 LLND 相比，机器人 LLND 能获取更多侧方淋巴结，且整体并发症（特别是尿潴留）发生率更低。机器人 LLND 手术代表性循证医学证据数据对比，详见表 1。

表 1 机器人辅助 LLND 手术研究列表
Table 1 List of studies on robot-assisted LLND surgery

文献	研究类型	纳入标准	例数(n)	神经功能保护 比较 ¹⁾	中位侧方淋巴 结检出比较 (枚) ¹⁾	中位随访 时间(月)	肿瘤学结局比较 ¹⁾
Kim, 等 ^[43]	单中心前瞻性对照	进展期直肠癌； TME+LLND	总 85 例 机器人组(n=50) 腹腔镜组(n=35)	尿潴留发生率 更低	6.6 vs. 6.4	26.3	总体复发率、局部复发率相当
Song, 等 ^[44]	单中心回顾性对照	进展期直肠癌； TME+LLND	总 99 例 机器人组(n=70) 腹腔镜组(n=29)	尿潴留发生率 更低	6 vs. 6	44.3	(5 年) 复发率相当(67.0% vs. 50.4%);OS 率占优(92.2% vs. 65.0%)
Zhang, 等 ^[45]	多中心回顾性对照	进展期直肠癌； TME+LLND	总 205 例 机器人组(n=95) 腹腔镜组(n=110)	尿潴留发生率更 低;泌尿生殖功 能恢复更好	3 vs. 2 (第 263 组)	38.0	(3 年) RFS 率相当(77.7% vs. 74.9%); OS 率相当(84.1% vs. 80.9%)
Chen, 等 ^[46]	Meta 分析	进展期直肠癌； TME+LLND	总 567 例 机器人组(n=266) 腹腔镜组(n=301)	尿潴留发生率 更低	相当	—	—

注:1)机器人组同腹腔镜组相比较
Note: 1) Comparison between the laparoscopic group and the robot-assisted group

3.2 机器人辅助复杂直肠癌PE手术

PE手术的复杂性和高并发症发生率,限制该术式在学界的认可和推广。随着手术技术、能量平台的升级、生物材料的应用和重症监护等不断进步,PE术后并发症发生率有所降低,无瘤生存率也得到提高,PE逐渐在国内各大中心常规开展^[47]。传统PE手术一直以开放手术为主,手术创伤较大、术后并发症发生率较高。随着腔镜技术的不断发展,与开放手术相比,由于其术中出血、更小的创伤、相当或者更低的术中并发症以及相近的手术根治性和生存率,目前腹腔镜手术已成为PE手术的重要术式^[48-49]。

较多学者开始不断探索腹腔镜技术在PE手术中的应用,并取得了同开放PE相当的近期与远期效果。最早于2015年,中国学者^[50]发表了一项腹腔镜对比开腹TPE手术安全性和可行性的研究,该研究共纳入单中心48例盆腔恶性肿瘤患者,其中腹腔镜组11例,开放组37例。研究结果显示,与传统开腹手术相比,腹腔镜组平均手术时间更长(565.2 min vs. 468.2 min, $P=0.004$),但平均术中出血量较少(547.3 min vs. 1 033.0 min, $P<0.001$),术后住院时间更短(15.3 d vs. 22.4 d, $P=0.004$)。中位随访时间为11.1个月,1例患者因肺栓塞死亡,1例患者因复发死亡,其余9例患者至随访截止时间仍生存且无复发或转移。该研究结果表明,腹腔镜TPE在经过仔细选择的盆腔肿瘤患者中似乎是可行且安全的,还能减少术中出血量、缩短恢复时间和住院时间,但安全性及长期疗效仍需进一步研究。2016年,日本学者^[51]报道了一项关于腹腔镜PE手术在盆腔恶性肿瘤中可行性的研究,该研究回顾性纳入2006年6月—2014年8月行PE手术的67例盆腔恶性肿瘤患者,腹腔镜PE组9例,常规开放性组58例。研究结果显示与开放组相比,腹腔镜组手术时间相似(935 min vs. 883 min, $P=0.398$),术中出血量更少(830 mL vs. 2 769 mL, $P=0.003$),并发症发生率和重大并发症发生率更低(66.7%和0%; 89.7%和32.8%),术后住院时间更短(27 d vs. 43 d, $P=0.003$);两组的病理R₀切除率相似(77.8% vs. 75.9%)。该研究显示由经验丰富的盆腔外科医生进行的腹腔镜PE手术是安全且有效的。2018年一项来自PelvEx协作项目的Meta研究^[52],旨在比较微创与开放TPE手术的结局。该研究纳入了4项直接比较开放性与微创性盆腔全切术

的研究,共170例患者,其中开放组占比78.1% ($n=133$),微创组占比21.8% ($n=37$)。研究结果显示,与开放组相比,微创组手术时间长了83 min ($P<0.001$),但术中中位出血量减少了1 750 mL;微创组并发症发生率为56.7% ($n=21/37$),而开放组为88.5% ($n=85/96$);合并分析显示开放组30 d发生并发症的相对风险增加1.17 ($P=0.172$);微创组的住院时间平均缩短了6 d ($P=0.04$)。该研究表明,在高度选择的病例中,微创TPE是可行的,而且可以减少术中出血量、缩短住院时间以及降低并发症发生率。2021年,印度学者^[53]报道了一项对比开放与微创PE手术外科及肿瘤学结果的回顾性研究。该研究纳入2013年8月—2020年9月因LARC(侵犯泌尿生殖器官)而接受PE手术的患者共158例,其中微创组61例(腹腔镜44例+机器人17例),开放组97例;96例接受了TPE手术,62例接受了PPE手术。微创组手术时间显著更长(640 min vs. 450 min, $P<0.001$),术中出血量更少(900 mL vs. 1 600 mL, $P<0.001$),腹部伤口感染率更低(8.2% vs. 17.5%, $P=0.020$),住院时间没有差异(11 d vs. 12 d, $P=0.620$);R₀切除率和环形切除边缘的浸润情况相似(88.5% vs. 91.8%, $P=0.490$ 和13.1% vs. 8.2%, $P=0.342$);肿瘤学结果方面两组相当,3年OS率无差异(79.4% vs. 60.2%, $P=0.251$),3年RFS率或局部RFS率无差异(51.9% vs. 47.8%, $P=0.922$; 89.7% vs. 75.2%, $P=0.491$)。在多变量分析中,手术方式对RFS没有影响,只有已知的远处转移、侵袭性组织学和对新辅助放疗的反应不足预示着RFS更差。2023年笔者团队^[54]也发表了一项旨在探讨腹腔镜PE手术治疗LARC的可行性、安全性及近远期疗效的研究。该研究纳入了2010年1月—2021年12月国内2家大型中心,经术前影像学或术中发现的原发直肠肿瘤侵犯TME层面以外,以及侵犯邻近组织脏器的LARC(cT4b)并接受盆腔PE术治疗的共计173例LARC患者,其中腹腔镜组82例,开放组91例。研究结果显示,与开放组相比,腹腔镜组手术时间更短[(319.3 ± 129.3) min vs. (417.3 ± 155.0) min, $P<0.001$],术中中位出血量更少(175 mL vs. 500 mL, $P<0.001$);肿瘤R₀切除率相当(98.8% vs. 94.5%, $P=0.214$);腹腔镜组围手术期并发症发生率为更低(18.3% vs. 7.4%, $P=0.005$),住院中位时间更短(12 d vs. 15 d, $P<0.001$)。肿瘤学结局方面,腹腔镜组1、3、5年

OS率分别为91.3%、76.0%和62.5%，开放组则分别为91.2%、68.9%和57.6%；腹腔镜组1、3、5年RFS率分别为82.8%、64.9%和59.7%，开放组则分别为76.9%、57.8%和52.7%；腹腔镜组1、3年累计局部复发率分别为5.1%和14.1%，开放组则分别为8.0%及15.1%；以上两组比较，差异无统计学意义（均 $P>0.05$ ）。该研究表明，与开腹手术相比，腹腔镜PE并未降低手术根治性和远期肿瘤学疗效，且有助于缩短手术时间、减少术中出血量、降低围手术期并发症发生率及缩短住院时间，安全可行。

2014年日本学者Nanayakkara等^[55]首次报道机器人辅助PE切除术。此后，相关回顾性研究以及病例报道相继涌现，机器人PE手术安全性和可行性被不断得到证实。2016年美国MD安德森癌症中心报道了一项关于机器人辅助手术在超TME的进展期中低位直肠癌切除中的肿瘤学可行性和安全性研究^[56]；该研究纳入了2009年4月—2015年2月36例患者，22例进行了多脏器整块切除，其中阴道、前列腺或前列腺周围结构是最常切除的器官（13/22），18例进行了系膜外淋巴结清扫；研究结果显示，所有切除均为R₀切除，未出现不完整TME；中位住院时间为4（3.0~5.5）d，6例患者出现Clavien-Dindo并发症分级Ⅲ级并发症，最常见的是深部脓肿（13.8%）；5年局部复发率为3.6%；该研究表明，机器人辅助直肠癌根治术联合扩展淋巴结清扫或PE是可行的，并且并发症发生率在可接受范围内。2017年日本学者^[57]发布了一项机器人辅助PE在LARC中的安全性和可行性的研究。该研究回顾性分析了2011年12月—2016年12月接受机器人辅助PE治疗直肠癌的患者共31例。切除最多的器官为阴道壁（12例，38.7%），其次为前列腺（10例，32.3%）；20例（64.5%）行LLND。手术中位时间为394（189~549）min，术中中位出血量为41（0~502）mL。共11例患者（35.5%）出现术后并发症，最常见并发症为尿潴留（5例，16.1%），且无患者发生Clavien-Dindo并发症分级Ⅲ~Ⅴ级的严重并发症。该研究结果显示，机器人辅助PE治疗直肠癌是安全且技术上可行的。2022年，澳大利亚学者^[58]发表了一项探讨机器人超TME手术用于原发性及复发性盆腔恶性肿瘤的可行性和安全性的研究。该研究纳入2015年7月—2021年7月，多家医院接受机器人超TME切除的原发性或复发

性盆腔恶性肿瘤共24例，肿瘤包含直肠腺癌19例，平滑肌肉瘤2例，肛门鳞状细胞癌1例，以及直肠与前列腺腺癌联合病变2例；所有患者均需要切除至少1个邻近盆腔器官，包括泌尿生殖系统（ $n=23$ ）、髂内动脉血管（ $n=3$ ）和/或骨骼（ $n=2$ ）。研究结果显示，平均手术时间为370（285~424）min，术中中位出血量为400（200~2 000）mL，中位住院时间为16（9.3~23.8）d；术后并发症患者14例（58.3%），其中8例（33.3%）为Clavien-Dindo并发症分级Ⅲ级及以上并发症；23例（95.8%）患者获得R₀切除；在中位10（7~23.5）个月随访期间，5例患者（20.8%）发生系统性复发，但未发现局部复发。该研究表明，机器人超TME手术用于原发性及复发性盆腔恶性肿瘤是可行的。2023年，西班牙学者^[59]发表一项关于机器人手术治疗LARC（T4b）及局部复发的直肠癌术后结局及中期肿瘤学效果的回顾性研究，该研究纳入了单中心11年期间接受机器人直肠切除且病理报告确认T4的中低位直肠癌患者共41例，其中24例（60%）需进行PE。研究结果显示，住院中位时间为13（7~27）d，30 d死亡率为7%（3例）；85.4%的病例（35例）获得R₀切除，6例出现切缘阳性；2年DFS率和OS率分别为72%和85%，局部复发8例（22.2%）。该研究表明，机器人手术用于局部晚期T4直肠癌及多器官联合切除是安全可行的，肿瘤学结果与已发表的腹腔镜手术相当。2024年发表的一项由美国斯隆凯特林癌症中心牵头的国际多中心研究^[60]，旨在探讨LARC患者接受机器人超TME手术的围手术期及肿瘤学结局。该研究纳入了2015年7月—2020年11月全球8个中心共168例T4b直肠癌患者，研究结果显示中位手术时间为314（260~450）min，术中中位出血量为150（27~500）mL，4.8%的病例需转开腹手术；77例（45.8%）发生术后并发症，其中27.3%为Clavien-Dindo并发症分级Ⅲ级，3.9%为Clavien-Dindo并发症分级Ⅳ级；30 d死亡率为1.2%（ $n=2$ ）；R₀切除率为92.9%。中位随访时间为34个月，远处复发35例（20.8%），局部复发15例（8.9%）；1、3、5年OS率分别为91.7%、82.1%和76.8%；1、3、5年DFS率分别为84.0%、74.5%和69.2%。该研究显示机器人超TME在技术上是安全的，可实现较高的R₀切除率；OS率良好，DFS率可接受。机器人PE手术代表性循证医学证据数据对比详见表2。

表 2 复杂直肠癌机器人辅助超 TME 手术研究列表

Table 2 List of studies on robot-assisted beyond-TME surgery for complex rectal cancer

文献	研究类型	纳入标准	例数 (n)	术式	并发症发生率 (%) ¹⁾	术后 30 d 内 死亡率(%)	R ₀ 切除率 (%)	肿瘤学结局(%)
Shin, 等 ^[56]	单中心回顾性	超TME的进展期中低位直肠癌	36	联合脏器切除(n=22); 系膜外淋巴结清扫(n=18)	III级:16.7	0	100.0	5年局部复发率:3.6
Larach, 等 ^[58]	多中心回顾性	超TME的原发性及复发性盆腔恶性肿瘤	24	联合脏器切除(n=24)	III级:33.3; IV级:0	0	95.8	10个月局部复发率:0; 系统性复发率:20.8
Gomez, 等 ^[59]	单中心回顾性	T4b及局部复发直肠癌	41	扩大切除(n=17); 联合脏器切除(n=24)	III~V级:37	7	85.4	2年DFS:72;OS:85
Khan, 等 ^[60]	多中心回顾性	T4b直肠癌	168	超TME手术(n=168)	III级:27.3; IV级:3.9	1.2	92.9	1、3、5年DFS:84.0、74.5、 69.2; 1、3、5年OS: 91.7、82.1、76.8
Garfinkle, 等 ^[61]	多中心回顾性	超TME的原发及复发直肠癌	72	扩大切除(n=35); 联合脏器切除(n=22); 侧方淋巴结清扫(n=20)	I~V级:48.6	1.4	93.1	22个月局部复发率:13.8

注:1)按照Claven-Dindo并发症分级

Note: 1) According to the Claven-Dindo complication classification

4 机器人手术在复杂直肠癌手术中应用的技巧

4.1 机器人辅助LLND

在机器人复杂直肠癌治疗中,当侧盆壁广泛受侵或可疑侧方淋巴结转移时,需联合LLND。体位方面,笔者一般使用可调节腿架,患者取改良截石位,将双腿放至最低位,防止操作过程中与机械臂碰撞;如需经肛放置吻合器时,可再将双腿位置抬高。患者固定后,调整为头低脚高,左右摇平。Trocars布局方面,以达芬奇Xi系统为例,笔者常用5~6枚Trocars,机械臂操作孔R1、R2、R3、R4,辅助孔A、B(图4)。(1)机械臂操作孔R1:8mm口径,置于左腋前线,平脐水平。(2)机械臂操作孔R2:8mm口径,置于左锁骨中线,平脐水平。(3)机械臂操作孔R3(镜头孔):8mm口径,安装镜头,置于脐右上方2~3cm处。(4)机械臂操作孔R4:8mm口径,置于脐与右髂前上棘连线中点处。(5)辅助孔A:12mm口径,置于镜头孔水平上方2cm,注意与操作孔R3、R4均保持足够距离。(6)辅助孔B:5mm口径,置于脐与左侧髂前上棘连线中外1/3处,此孔为备选操作孔,根据术中情况可选择是否增加该操作孔。器械选择方面,以达芬奇Xi系统为例,1号臂安装无损伤抓钳(不连接能量平台),2号臂安装带双极电凝的无损

伤抓钳,3号臂为镜头,4号臂安装电钩或马里兰钳。

笔者一般采用PPF间隙优先分离的策略,可沿髂外血管外侧沿髂腰肌、耻骨梳分离,或沿髂外静脉下缘分离,沿闭孔内肌筋膜间隙游离肿瘤及盆侧方组织,游离闭孔神经,离断闭孔动静脉闭孔端,直至肛提肌腱弓,然后沿髂内动脉依次离断各脏支,直至肛提肌平面,将侧方淋巴结连同直肠标本整块切除,附笔者机器人LLND手术1例(图5)。机器人手术清扫过程中,应坚持以筋膜为导向的原则,以筋膜为导向的LLND在保护盆腔自主神经方面更具有优势,可以显著降低术后排尿功能障碍及生殖功能障碍发生率^[62]。

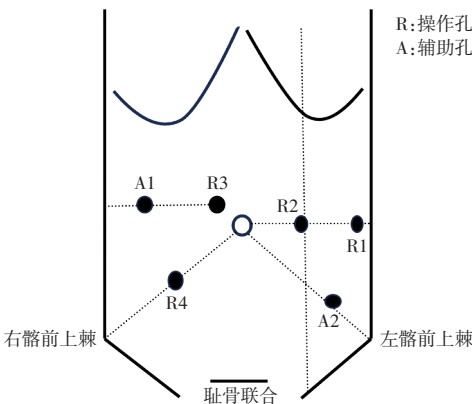


图4 机器人LLND Trocar布置方法

Figure 4 Trocar deployment method for robot-assisted LLND

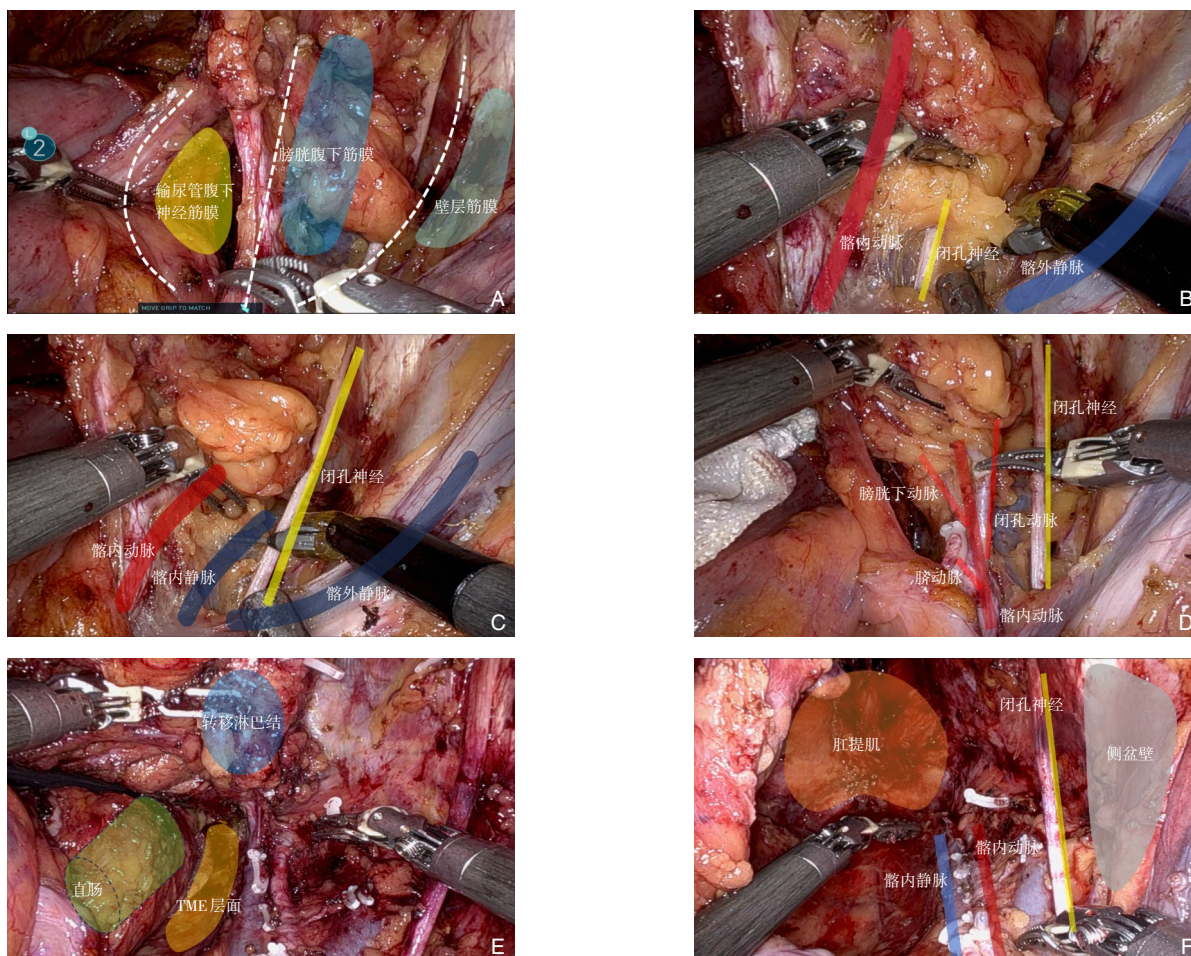


图5 机器人辅助LLND A: 显露盆腔侧向3个间隙; B: 清扫第283组淋巴结; C: 第283组淋巴结清扫后解剖结构; D: 显露髂内动脉分支; E: 显露转移的第263组淋巴结; F: LLND后解剖结构

Figure 5 Robot-assisted LLND A: Exposure of the three lateral compartments of the pelvic cavity; B: Dissection of the No. 283 group lymph nodes; C: Anatomical structure after dissection of the No. 283 group lymph nodes; D: Exposure of the branches of the internal iliac artery; E: Exposure of metastatic No. 263 group lymph nodes; F: Anatomical structure after LLND

4.2 机器人辅助复杂直肠癌PE手术

机器人盆腔联合脏器切除的原则方法同腹腔镜操作类似。当侧盆壁局部或输尿管局部受侵或精囊腺受侵时,需联合行部分盆壁、输尿管段或精囊腺切除,笔者一般采用UNF间隙优先分离的策略,离断膀胱上血管或精囊腺动脉,先将肿瘤联合侧盆壁、输尿管整体游离,于髂总动脉水平显露输尿管并分离,吊带牵拉输尿管予以保护;多数情况下输尿管与肿瘤为炎性粘连,两者可分开,可仅行受侵盆壁切除,少数情况输尿管被肿瘤侵犯,需将受侵输尿管的近端及远端游离,行输尿管部分切除,输尿管对端吻合或者将输尿管膀胱再植术;当精囊腺受侵时,在输尿管全程显露后,先离断输精管,提起其断端走行至精囊腺输精管的腹侧面,并在前列腺上缘离断输精管,

行联合输精管精囊腺切除。当膀胱侧壁或三角受侵时,需行膀胱大部切除或全(前)盆腔脏器切除,附笔者机器人TPE手术1例(图6)。笔者一般采用VF间隙优先分离的策略,离断髂内血管的脏支,包括脐动脉、膀胱上血管及膀胱下血管,游离Retzius间隙,切除受侵膀胱壁或全膀胱切除。当肿瘤侵犯阴道或子宫附件切除时,如受侵范围较小,可选择部分阴道壁、部分子宫或一侧附件切除;如侵犯范围较广泛,需行PPE,先行结扎离断子宫两侧的子宫动脉,于子宫角切断双侧输卵管,切断子宫阔韧带、子宫圆韧带、子宫主韧带和骶子宫韧带,注意保护输尿管,游离宫颈,完全游离子宫,于阴道后穹窿处离断,将阴道残端用3-0倒刺线全层缝合。

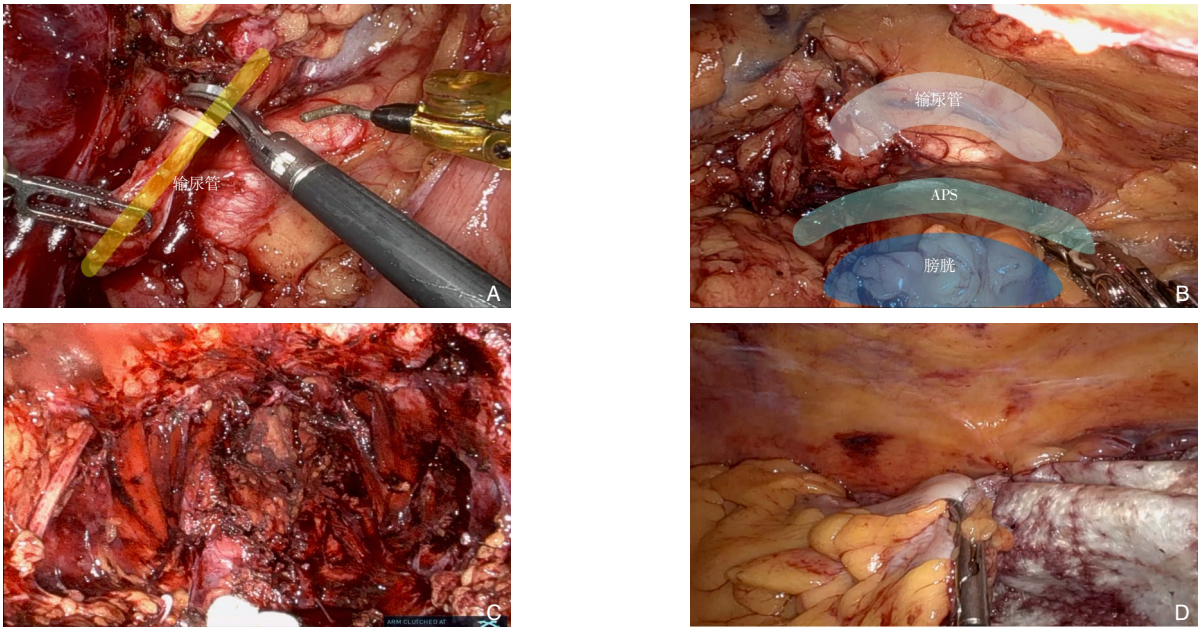


图6 机器人TPE A: 离断输尿管; B: 显露APS; C: TPE后“空盆腔”; D: 生物补片修补盆底

Figure 6 Robot-assisted TPE A: Transection of the ureter; B: Exposure of the APS; C: "Empty pelvic cavity" after TPE; D: Repair of the pelvic floor with biological mesh

术中大出血是机器人复杂直肠癌手术中最严重的并发症，也是导致机器人中转开腹的最常见原因。复杂直肠癌手术术中出血原因包括肠系膜下血管及其分支损伤，骶前静脉损伤，盆壁血管损伤等，其中以包括髂内动、静脉及其分支在内的LPS出血最常见；由于盆腔操作空间小，且出血太快容易形成血池，更增加了止血操作的难度。髂内动脉压力大，出血为喷射性，纱布压迫效果常不佳；可通过结扎或者夹闭的办法快速控制髂内动脉近心端及破口远端，如出血部位不易结扎，可选择机器人下4-0 Prolene线缝合。髂内静脉分支出血，由于其静脉压力较高，虽非喷射性，同样较为凶险；出血时可先用纱布压迫出血部位，游离髂内动脉主干，可用无损伤血管夹暂时控制动

脉，紧急情况也可以夹闭髂内动脉主干，髂内静脉主干出血多数情况无法用Hem-o-lok或生物夹夹闭，可用机器人机械臂暂夹住出血点，快速控制出血，另一机械臂更换持针器以血管线缝合血管破口，此时机器人在狭小空间内的灵活缝合的优势就体现得很明显，附笔者术中出血1例（图7）；特殊情况下，也可用血管切割吻合器完成髂内动静脉主干的一并离断，在切除肿瘤的同时，快速控制出血。当然，对来势凶猛的不可控大出血，应紧急纱布填塞创面，及时果断开腹，避免酿成不可挽回的严重后果；但从笔者的经验来看，由于机器人放大的3D视野及机械臂小空间内操作的高度稳定性和灵活性，其止血可达到同开腹相当的效果。

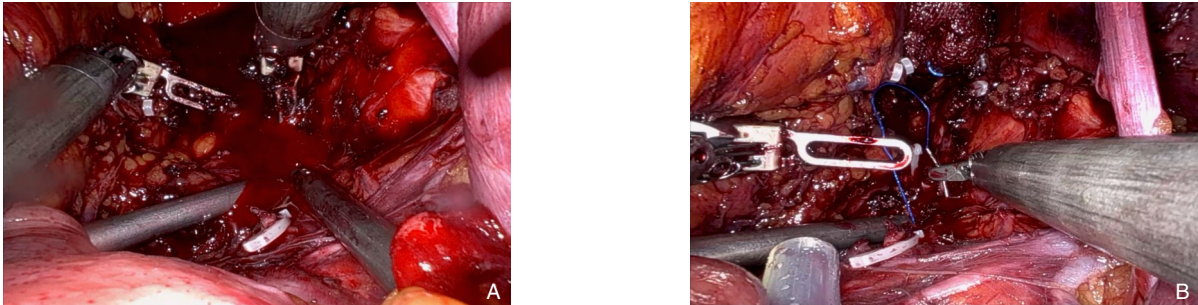


图7 机器人手术中髂内静脉出血处理 A: 髂内静脉出血形成血池; B: 机器人下缝合止血

Figure 7 Management of internal iliac vein bleeding during robotic surgery A: Intracalicular vein hemorrhage forming a blood pool; B: Robot-assisted suturing for hemostasis

5 小结与展望

外科微创手术是直肠癌最主要的治疗方式。传统腹腔镜手术面临着手术视野差、操作空间小、手术操作困难等挑战；机器人手术系统凭借其操作灵活稳定、高清3D成像、机械臂的多活动自由度等优点，能够实现在狭小的盆腔内进行精细的手术操作，使其在直肠癌手术中得到广泛应用。但机器人在对于需行超TME的盆腔联合脏器切除术或联合LLND的复杂直肠癌治疗中的应用仍处于探索当中，目前现有的循证医学证据表明，机器人复杂直肠癌手术是安全可行的，其在短期和长期结局方面似乎具有一定优势，但都存在时间跨度大、样本量偏少、多数为回顾性研究等问题，高级别的循证医学证据不多。未来期待有进一步证据级别较高的前瞻性随机对照研究，加以证实机器人复杂直肠癌手术在肿瘤学上的获益。由于复杂直肠癌手术难度较大、时间长，机器人手术系统可能降低该技术的推广难度，并有望成为复杂直肠癌手术治疗的新趋势。

作者贡献声明：汤坚强负责论文选题、整体框架设计及稿件修订；邢兆东负责论文资料收集、初稿撰写及修改。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 中国结直肠癌诊疗规范(2023版)[J]. 中华消化外科杂志, 2023, 22(6): 667-698. doi: 10.3760/cma.j.cn115610-20230526-00236.
- [2] Fleshman J, Branda M, Sargent DJ, et al. Effect of laparoscopic-assisted resection vs open resection of stage II or III rectal cancer on pathologic outcomes: the ACOSOG Z6051 randomized clinical trial[J]. JAMA, 2015, 314(13): 1346-1355. doi: 10.1001/jama.2015.10529.
- [3] Feng QY, Yuan WT, Li TY, 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. doi: 10.1016/S2468-1253(22)00248-5.
- [4] Pigazzi A, Ellenhorn JI, Ballantyne GH, et al. Robotic-assisted laparoscopic low anterior resection with total mesorectal excision for rectal cancer[J]. Surg Endosc, 2006, 20(10): 1521-1525. doi: 10.1007/s00464-005-0855-5.
- [5] Holmer C, Kreis ME. Systematic review of robotic low anterior resection for rectal cancer[J]. Surg Endosc, 2018, 32(2): 569-581. doi: 10.1007/s00464-017-5978-y.
- [6] Qiu H, Yu DJ, Ye SP, et al. Long-term oncological outcomes in robotic versus laparoscopic approach for rectal cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. Int J Surg, 2020, 80: 225-230. doi: 10.1016/j.ijsu.2020.03.009.
- [7] Feng QY, Yuan WT, Li TY, et al. Robotic vs laparoscopic surgery for middle and low rectal cancer: the REAL randomized clinical trial[J]. JAMA, 2025, 334(2): 136-148. doi: 10.1001/jama.2025.8123.
- [8] 中国盆腔脏器联合切除协作组, 中国医师协会结直肠肿瘤专业委员会, 中国医疗保健国际交流促进会胃肠外科学分会. 超全直肠系膜切除层面的原发性直肠癌和局部复发直肠癌盆腔脏器联合切除中国专家共识(2023版)[J]. 中华胃肠外科杂志, 2023, 26(1): 16-26. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-20221114-00467.
- [9] China PelvEx Collaborative, Colorectal Cancer Committee of the Chinese Medical Doctor Association, Gastrointestinal Surgery Committee of China International Exchange and Promotive Association for Medical and Health Care. Chinese expert consensus on the pelvic exenteration for primary rectal cancer beyond total mesorectal excision planes and locally recurrent rectal cancer (2023 edition)[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2023, 26(1): 16-26. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-20221114-00467.
- [10] Pilipshen SJ, Heilweil M, Quan SH, et al. Patterns of pelvic recurrence following definitive resections of rectal cancer[J]. Cancer, 1984, 53(6): 1354-1362. doi: 10.1002/1097-0142(19840315)53:6<1354::aid-cnrc2820530623>3.0.co;2-j.
- [11] CollaborativeBeyond TME. Consensus statement on the multidisciplinary management of patients with recurrent and primary rectal cancer beyond total mesorectal excision planes[J]. Br J Surg, 2013, 100(8): 1009-1014. doi: 10.1002/bjs.9192.
- [12] Yang TX, Morris DL, Chua TC. Pelvic exenteration for rectal cancer: a systematic review[J]. Dis Colon Rectum, 2013, 56(4): 519-531. doi: 10.1097/DCR.0b013e31827a7868.
- [13] 汤坚强, 庄孟. 腹腔镜盆腔脏器联合切除术中意外及对策[J]. 中国实用外科杂志, 2022, 42(11): 1246-1250. doi: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2022.11.11.
- [14] Tang JQ, Zhuang M. Intraoperative accidents and countermeasures in laparoscopic pelvic exenteration[J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2022, 42(11): 1246-1250. doi: 10.19538/j.cjps.issn1005-

- 2208.2022.11.11.
- [13] Yao Q, Sun QN, Ren J, et al. Comparison of robotic-assisted versus conventional laparoscopic surgery for mid-low rectal cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2023, 149(16):15207–15217. doi:10.1007/s00432-023-05228-6.
- [14] 韩方海, 谢烨权. 腹腔镜和达芬奇机器人辅助下结直肠癌手术的功能保存[J]. *结直肠肛门外科*, 2024, 30(5): 520–526. doi:10.19668/j.cnki.issn1674-0491.2024.05.002.
- Han FH, Xie YQ. Function-preserving in colorectal cancer surgery assisted by laparoscopy and da Vinci robotic surgical system[J]. *Journal of Colorectal & Anal Surgery*, 2024, 30(5): 520–526. doi:10.19668/j.cnki.issn1674-0491.2024.05.002.
- [15] Schlachta CM, Mamazza J, Seshadri PA, et al. Defining a learning curve for laparoscopic colorectal resections[J]. *Dis Colon Rectum*, 2001, 44(2):217–222. doi:10.1007/BF02234296.
- [16] Kim HJ, Choi GS, Park JS, et al. Multidimensional analysis of the learning curve for robotic total mesorectal excision for rectal cancer: lessons from a single surgeon's experience[J]. *Dis Colon Rectum*, 2014, 57(9): 1066–1074. doi: 10.1097/DCR.000000000000174.
- [17] Sng KK, Hara M, Shin JW, et al. The Multiphasic learning curve for robot-assisted rectal surgery[J]. *Surg Endosc*, 2013, 27(9):3297–3307. doi:10.1007/s00464-013-2909-4.
- [18] Nasser Y, Stettler I, Shen W, et al. Learning curve in robotic colorectal surgery[J]. *J Robot Surg*, 2021, 15(3): 489–495. doi: 10.1007/s11701-020-01131-1.
- [19] Belloni E, Muttillio EM, Di Saverio S, et al. The role of indocyanine green fluorescence in rectal cancer robotic surgery: a narrative review[J]. *Cancers (Basel)*, 2022, 14(10): 2411. doi: 10.3390/cancers14102411.
- [20] Song M, Liu J, Xia D, et al. Assessment of intraoperative use of indocyanine green fluorescence imaging on the incidence of anastomotic leakage after rectal cancer surgery: a PRISMA-compliant systematic review and meta-analysis[J]. *Tech Coloproctol*, 2021, 25(1): 49–58. doi: 10.1007/s10151-020-02335-1.
- [21] Litchinko A, Meyer J, Buhler L, et al. Fluorescence indocyanine green (ICG) for sentinel-lymph-node mapping in colorectal cancer: a systematic review[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2025, 410(1):202. doi:10.1007/s00423-025-03786-6.
- [22] Pacilli M, Pavone G, Lamanna E, et al. Impact of preoperative indocyanine green injection on intraoperative decision-making and lymph node harvest in rectal cancer surgery[J]. *Front Surg*, 2025, 12:1683663. doi:10.3389/fsurg.2025.1683663.
- [23] Qiu W, Niu H, Hu G, et al. Fluorescence lymph node mapping using ICG improves lateral lymph node dissection for mid-low rectal cancer: a propensity score-matched cohort[J]. *Tech Coloproctol*, 2025, 29(1):139. doi:10.1007/s10151-025-03167-7.
- [24] 中国医师协会结直肠肿瘤专委会机器人外科学组. 机器人结直肠癌手术中国专家共识(2025版)[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(7):1307–1330. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250373.
- Robotic Surgery Group, Colorectal Cancer Committee, Chinese Medical Doctor Association. Chinese expert consensus on robotic surgery for colorectal cancer(2025 edition) [J]. *China Journal of General Surgery*, 2025, 34(7):1307–1330. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250373.
- [25] Higgins RM, Frelich MJ, Bosler ME, et al. Cost analysis of robotic versus laparoscopic general surgery procedures[J]. *Surg Endosc*, 2017, 31(1):185–192. doi:10.1007/s00464-016-4954-2.
- [26] Ielpo B, Duran H, Diaz E, et al. Robotic versus laparoscopic surgery for rectal cancer: a comparative study of clinical outcomes and costs[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2017, 32(10): 1423–1429. doi: 10.1007/s00384-017-2876-7.
- [27] Jiménez-Rodríguez RM, Rubio-Dorado-Manzanares M, Díaz-Pavón JM, et al. Learning curve in robotic rectal cancer surgery: current state of affairs[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2016, 31(12):1807–1815. doi:10.1007/s00384-016-2660-0.
- [28] Yamaguchi T, Kinugasa Y, Shiomi A, et al. Learning curve for robotic-assisted surgery for rectal cancer: use of the cumulative sum method[J]. *Surg Endosc*, 2015, 29(7):1679–1685. doi:10.1007/s00464-014-3855-5.
- [29] Ogura A, Konishi T, Cunningham C, et al. Neoadjuvant (chemo) radiotherapy with total mesorectal excision only is not sufficient to prevent lateral local recurrence in enlarged nodes: results of the multicenter lateral node study of patients with low cT3/4 rectal cancer[J]. *J Clin Oncol*, 2019, 37(1): 33–43. doi: 10.1200/JCO.18.00032.
- [30] Kim TG, Park W, Choi DH, et al. Factors associated with lateral pelvic recurrence after curative resection following neoadjuvant chemoradiotherapy in rectal cancer patients[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2014, 29(2):193–200. doi:10.1007/s00384-013-1797-3.
- [31] Ueno H, Mochizuki H, Hashiguchi Y, et al. Potential prognostic benefit of lateral pelvic node dissection for rectal cancer located below the peritoneal reflection[J]. *Ann Surg*, 2007, 245(1):80–87. doi:10.1097/01.sla.0000225359.72553.8c.
- [32] Fujita S, Mizusawa J, Kanemitsu Y, et al. Mesorectal excision with or without lateral lymph node dissection for clinical stage II/III lower rectal cancer (JCOG0212): a multicenter, randomized controlled, noninferiority trial[J]. *Ann Surg*, 2017, 266(2):201–207. doi:10.1097/SLA.0000000000002212.
- [33] Ito M, Kobayashi A, Fujita S, et al. Urinary dysfunction after rectal cancer surgery: Results from a randomized trial comparing

- mesorectal excision with and without lateral lymph node dissection for clinical stage II or III lower rectal cancer (Japan Clinical Oncology Group Study, JCOG0212)[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2018, 44(4):463–468. doi:10.1016/j.ejso.2018.01.015.
- [34] Saito S, Fujita S, Mizusawa J, et al. Male sexual dysfunction after rectal cancer surgery: Results of a randomized trial comparing mesorectal excision with and without lateral lymph node dissection for patients with lower rectal cancer: Japan Clinical Oncology Group Study JCOG0212[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2016, 42(12):1851–1858. doi:10.1016/j.ejso.2016.07.010.
- [35] 中国医师协会内镜医师分会腹腔镜外科专业委员会, 中国医师协会结直肠肿瘤专业委员会腹腔镜专业委员会, 中华医学会外科学分会结直肠外科科学组, 等. 中国直肠癌侧方淋巴结转移诊疗专家共识(2024版)[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2024, 27(1):1–14. doi:10.3760/cma.j.cn441530-20231212-00211.
- Laparoscopic Surgery Committee of the Endoscopist Branch in the Chinese Medical Doctor Association (CMDA), Laparoscopic Surgery Committee of Colorectal Cancer Committee of Chinese Medical Doctor Association (CMDA), Colorectal Surgery Group of the Surgery Branch in the Chinese Medical Association (CMA), et al. Chinese expert consensus on the diagnosis and treatment for lateral lymph node metastasis of rectal cancer (2024 edition)[J]. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery*, 2024, 27(1):1–14. doi:10.3760/cma.j.cn441530-20231212-00211.
- [36] Uyama I, Sugioka A, Matsui H, et al. Laparoscopic lateral node dissection with autonomic nerve preservation for advanced lower rectal cancer[J]. *J Am Coll Surg*, 2001, 193(5): 579–584. doi:10.1016/s1072-7515(01)01042-0.
- [37] Yamaguchi T, Konishi T, Kinugasa Y, et al. Laparoscopic versus open lateral lymph node dissection for locally advanced low rectal cancer: a subgroup analysis of a large multicenter cohort study in Japan[J]. *Dis Colon Rectum*, 2017, 60(9): 954–964. doi:10.1097/DCR.0000000000000843.
- [38] Tang JQ, Zhou SC, Zhao W, et al. Short- and long-term outcomes of laparoscopic versus open selective lateral pelvic lymph node dissection for locally advanced middle-low rectal cancer: Results of a multicentre lateral node study in China[J]. *Colorectal Dis*, 2022, 24(11):1325–1334. doi:10.1111/codi.16223.
- [39] Park JA, Choi GS, Park JS, et al. Initial clinical experience with robotic lateral pelvic lymph node dissection for advanced rectal cancer[J]. *J Korean Soc Coloproctol*, 2012, 28(5): 265–270. doi:10.3393/jksc.2012.28.5.265.
- [40] Kagawa H, Kinugasa Y, Shiomi A, et al. Robotic-assisted lateral lymph node dissection for lower rectal cancer: short-term outcomes in 50 consecutive patients[J]. *Surg Endosc*, 2015, 29(4):995–1000. doi:10.1007/s00464-014-3760-y.
- [41] Yamaguchi T, Kinugasa Y, Shiomi A, et al. Robotic-assisted laparoscopic versus open lateral lymph node dissection for advanced lower rectal cancer[J]. *Surg Endosc*, 2016, 30(2): 721–728. doi:10.1007/s00464-015-4266-y.
- [42] Yamaguchi T, Kinugasa Y, Shiomi A, et al. Oncological outcomes of robotic-assisted laparoscopic versus open lateral lymph node dissection for locally advanced low rectal cancer[J]. *Surg Endosc*, 2018, 32(11):4498–4505. doi:10.1007/s00464-018-6197-x.
- [43] Kim HJ, Choi GS, Park JS, et al. Selective lateral pelvic lymph node dissection: a comparative study of the robotic versus laparoscopic approach[J]. *Surg Endosc*, 2018, 32(5): 2466–2473. doi:10.1007/s00464-017-5948-4.
- [44] Song SH, Choi GS, Kim HJ, et al. Long-term clinical outcomes of total mesorectal excision and selective lateral pelvic lymph node dissection for advanced low rectal cancer: a comparative study of a robotic versus laparoscopic approach[J]. *Tech Coloproctol*, 2021, 25(4):413–423. doi:10.1007/s10151-020-02383-7.
- [45] Zhang L, Shi FY, Hu CH, et al. Comparison of robotic versus laparoscopic lateral lymph node dissection for advanced lower rectal cancer: a retrospective study at two institutions[J]. *Surg Endosc*, 2023, 37(6): 4403–4413. doi:10.1007/s00464-023-09925-8.
- [46] Chen YC, Tsai YY, Ke TW, et al. Robotic versus laparoscopic pelvic lateral lymph node dissection in locally advanced rectal cancer: a systemic review and meta-analysis[J]. *Surg Endosc*, 2024, 38(7):3520–3530. doi:10.1007/s00464-024-10901-z.
- [47] CollaborativePelvEx. Surgical and survival outcomes following pelvic exenteration for locally advanced primary rectal cancer: results from an international collaboration[J]. *Ann Surg*, 2019, 269(2):315–321. doi:10.1097/SLA.0000000000002528.
- [48] Jiang WZ, Xu JM, Xing JD, et al. Short-term Outcomes of Laparoscopy-Assisted vs Open Surgery for Patients With Low Rectal Cancer: The LASRE Randomized Clinical Trial[J]. *JAMA Oncol*, 2022, 8(11):1607–1615. doi:10.1001/jamaoncol.2022.4079.
- [49] Stevenson ARL, Solomon MJ, Brown CSB, 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]. *Ann Surg*, 2019, 269(4):596–602. doi:10.1097/SLA.0000000000003021.
- [50] Yang KL, Cai L, Yao L, et al. Laparoscopic total pelvic exenteration for pelvic malignancies: the technique and short-time outcome of 11 cases[J]. *World J Surg Oncol*, 2015, 13:301. doi:10.1186/s12957-015-0715-2.
- [51] Uehara K, Nakamura H, Yoshino Y, et al. Initial experience of laparoscopic pelvic exenteration and comparison with conventional open surgery[J]. *Surg Endosc*, 2016, 30(1): 132–138. doi:10.1007/

s00464-015-4172-3.

- [52] CollaborativePelvEx. Minimally invasive surgery techniques in pelvic exenteration: a systematic and meta-analysis review[J]. Surg Endosc, 2018, 32(12): 4707-4715. doi: 10.1007/s00464-018-6299-5.
- [53] Kazi M, Kumar NN, Rohila J, et al. Minimally invasive versus open pelvic exenterations for rectal cancer: a comparative analysis of perioperative and 3-year oncological outcomes[J]. BJS Open, 2021, 5(5):zrab074. doi:10.1093/bjsopen/zrab074.
- [54] 汤坚强, 张金珠, 梅世文, 等. 局部进展期直肠癌腹腔镜与开腹盆腔脏器联合切除术后近远期疗效对比分析[J]. 中华胃肠外科杂志, 2023, 26(3):253-259. doi:10.3760/cma.j.cn441530-20230222-00049.
- Tang JQ, Zhang JZ, Mei SW, et al. Laparoscopic versus open pelvic exenteration for locally advanced rectal cancer: analysis of short- and long-term effects[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2023, 26(3): 253-259. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-20230222-00049.
- [55] Nanayakkara PR, Ahmed SA, Oudit D, et al. Robotic assisted minimally invasive pelvic exenteration in advanced rectal cancer: review and case report[J]. J Robot Surg, 2014, 8(2):173-175. doi: 10.1007/s11701-013-0413-4.
- [56] Shin US, Nancy You Y, Nguyen AT, et al. Oncologic outcomes of extended robotic resection for rectal cancer[J]. Ann Surg Oncol, 2016, 23(7):2249-2257. doi:10.1245/s10434-016-5117-3.
- [57] Hino H, Yamaguchi T, Kinugasa Y, et al. Robotic-assisted multivisceral resection for rectal cancer: short-term outcomes at a single center[J]. Tech Coloproctol, 2017, 21(11): 879-886. doi: 10.1007/s10151-017-1710-0.
- [58] Larach JT, Flynn J, Fernando D, et al. Robotic beyond total mesorectal excision surgery for primary and recurrent pelvic malignancy: Feasibility and short-term outcomes[J]. Colorectal Dis, 2022, 24(7):821-827. doi:10.1111/codi.16136.
- [59] Gomez Ruiz M, Balletero Diego R, Tejedor P, et al. Robotic surgery for locally advanced T4 rectal cancer: feasibility and oncological quality[J]. Updates Surg, 2023, 75(3): 589-597. doi: 10.1007/s13304-023-01450-6.
- [60] Khan JS, Piozzi GN, Rouanet P, et al. Robotic beyond total mesorectal excision for locally advanced rectal cancers: Perioperative and oncological outcomes from a multicentre case series[J]. Eur J Surg Oncol, 2024, 50(6): 108308. doi: 10.1016/j.ejso.2024.108308.
- [61] Garfinkle R, Kyriakopoulos G, Murphy BC, et al. Robotic-assisted surgery for locally advanced rectal cancer beyond total mesorectal excision planes: the Mayo Clinic experience[J]. Surg Endosc, 2025, 39(4):2498-2505. doi:10.1007/s00464-025-11634-3.
- [62] Matsumoto A, Arita K. A technique of laparoscopic lateral pelvic lymph node dissection based on vesicohypogastric Fascia and ureterohypogastric nerve Fascia for advanced low rectal cancer[J]. Surg Endosc, 2017, 31(2): 945-948. doi: 10.1007/s00464-016-5014-7.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式:邢兆东, 汤坚强. 机器人复杂直肠癌手术探索与思考[J]. 中国普通外科杂志, 2025, 34(10):2068-2083. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.250552

Cite this article as: Xing ZD, Tang JQ. Exploration and reflection on robotic complex rectal cancer surgery[J]. Chin J Gen Surg, 2025, 34(10):2068-2083. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250552