

乙状结肠癌根治术血管处理策略及机器人技术的临床应用进展

王辰傲, 陈 钊, 刘亚庆, 张 峰, 侯君霖, 金世博, 罗 川, 宁势力

大连医科大学附属第二医院胃肠外一科, 辽宁 大连 116023

【摘要】 乙状结肠癌根治术的血管处理策略对手术效果及术后并发症具有重要影响, 主要涉及对肠系膜下动脉及其分支(左结肠动脉、乙状结肠动脉及直肠上动脉)的处理。现有研究显示, 保留左结肠动脉及直肠上动脉可改善吻合口供血, 降低吻合口瘘的风险, 但此操作显著增加手术复杂性, 并可能影响完整结肠系膜切除的肿瘤学根治性, 因此需权衡肿瘤学安全性与血流动力学收益。机器人辅助手术以其高清 3D 成像、精准操作及机械臂稳定性, 在乙状结肠癌根治术中保留血管和 D3 (253 组) 淋巴结清扫等方面发挥出显著优势, 深入探究机器人辅助技术在乙状结肠癌根治术中的应用价值, 具有深刻的临床意义。

【关键词】 机器人辅助技术; 乙状结肠癌根治术; 左结肠动脉; 直肠上动脉

【中图分类号】 R735.3; R730.56 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-6170(2025)04-0054-04

Advances in vascular management strategies and clinical application of robotics for radical sigmoid colon cancer treatment WANG Chen-ao, CHEN Zhao, LIU Ya-qing, ZHANG Feng, HOU Jun-lin, JIN Shi-bo, LUO Chuan, NING Shi-li *Department of Gastrointestinal Surgery, The Second Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116023, China*

【Corresponding author】 NING Shi-li

【Abstract】 The vascular management strategy of radical sigmoid colon cancer has an important impact on the surgical outcome and postoperative complications. The strategy mainly involves the management of the inferior mesenteric artery (IMA) and its branches such as left colonic artery (LCA), sigmoid artery (SA) and superior rectal artery (SRA). Available studies have shown that preservation of the LCA and SRA improves anastomotic blood supply and reduces the risk of anastomotic fistula. However, some authors have suggested that this procedure significantly increases surgical complexity and may compromise the oncological cure of complete mesenteric excision. Therefore, the oncological safety of the procedure needs to be weighed against the haemodynamic benefits. Robot-assisted surgery, with its high-definition 3D imaging, precise operation, and robotic arm stability, plays a significant advantage in preserving blood vessels and D3 (group 253) lymph node dissection in radical sigmoid colon cancer. It is of profound clinical significance to explore the value of robotic-assisted technology in radical sigmoid colon cancer surgery.

【Key words】 Robot-assisted technique; Radical sigmoid colon cancer; Left colonic artery; Superior rectal artery

【基金项目】 国家重点研发计划重点专项(编号: YS2023YFC2400879); 辽宁省自然科学基金面上项目(编号: 2024-MS-152); 辽宁省卫生健康适宜技术推广项目(编号: SYJS2024-2025-019)

【通讯作者简介】 宁势力, 男, 主任医师, 教授, 博士, 博士生导师。中国抗癌协会肿瘤营养专业委员会肿瘤外科营养专家协作组委员, 中国抗癌协会结直肠肿瘤整合康复委员会委员, 中西医结合委胃肠外科学组常委, 中国医疗保健国际交流促进会加速康复外科学分会委员, 中国医疗保健国际交流促进会腔镜内镜外科学委员, 中国医学救援协会急性疼痛医学分会理事, 北京市围手术期医学研究会急诊普通外科学分会副主任委员, 北京肿瘤协会结直肠癌专委会委员, 北京市急诊医学学会急诊外科分会青委会委员, 北京整合医学学会胃肠分会常委, 辽宁省抗癌协会胃癌专业委员会常委, 辽宁省医学会加速康复外科分会青年委员, 辽宁省医学会加速康复外科分会普通外科学组组长, 辽宁省医学会肠内外营养分会肿瘤营养学组委员, 辽宁省医师协会创伤医师分会委员, 辽宁省免疫学会委员, 辽宁省生物细胞学会肿瘤精准医疗与大数据管理专业委员会胆胰学组委员, 辽宁省生物细胞学会肿瘤精准医疗与大数据管理专业委员会淋巴瘤学组委员, 大连市抗癌协会理事。主要研究方向: 胃肠道良恶性疾病的微创手术治疗。

结直肠癌是我国最常见的消化道恶性肿瘤之一, 严重威胁着中国人民的生命健康, 2024 年发布的中国癌症统计报告(2022 年度)显示, 我国结直肠癌新发病例 51.7 万例, 死亡病例 24 万例, 发病率和死亡率在全部恶性肿瘤中分别位居第 2 和第 4 位。年龄、生活习惯、饮食结构, 性别及家族史对结直肠癌的发病发挥着重要影响。结直肠癌早期可无明显症状, 随着病情进展可出现排便习惯改变(腹泻、便秘或梗阻)、粪便性状改变(大便变细、血便、黏液样便)、腹部表现(不适、疼痛或肿块)、全身症状(贫血、消瘦、乏力)晚期可以出现腰骶部疼痛、黄疸、腹水等。

1 乙状结肠癌的外科治疗

乙状结肠癌的手术治疗史是一部外科技术革新的缩影。在早期, 开腹手术凭借直观的视野和丰富的操作经验, 占据了乙状结肠癌手术治疗的主导地位。直至 20 世纪 90 年代, 腹腔镜技术的出现, 彻底改写了乙状结肠癌的手术治疗格局。多项高

质量随机对照试验结果显示,腹腔镜手术在肿瘤根治性、长期生存率方面与传统开腹手术相比,不仅未显劣势,还在术后恢复指标上展现出明显优势^[1],标志着乙状结肠癌手术进入微创时代。21 世纪初,随着人工智能与机械工程的深度融合,机器人辅助技术开始在胃肠外科领域崭露头角。机器人手术以高清 3D 成像、超高自由度的机械臂操作灵活性及强大的震颤过滤功能为依托,突破了传统腹腔镜手术的操作局限,实现了更为精准的血管解剖、淋巴结清扫及消化道重建。为乙状结肠癌患者带来了创伤更小、恢复更快的治疗新方案。

2 乙状结肠解剖学基础

乙状结肠为腹膜内位器官,位于降结肠与直肠之间,其解剖学标志上端起自降结肠在左侧髂嵴水平的延续,下端终止于第三骶椎平面与直肠相接,因呈现典型的“S”形或“乙”字形弯曲而得名。其系膜长度、形状、位置在不同个体中差异较大。

乙状结肠的血供主要依赖于肠系膜下动脉(IMA)及其分支,主要包括左结肠动脉(LCA)、乙状结肠动脉和直肠上动脉(SRA)。Munoro 等^[2]根据 LCA、乙状结肠动脉及 SRA 之间的关系,将 IMA 分为 4 型: I 型(直乙共干型) LCA 首先分出,乙状结肠动脉与 SRA 共干分出; II 型(左乙共干型) IMA 先分出 1 支,为 LCA 与乙状结肠动脉的共干支; III 型(全共干型) LCA、乙状结肠动脉和 SRA 于同一点分出; IV 型(无左型): 缺少 LCA。周家铭等^[3]对 104 例患者进行统计,发现各型所占比例分别为 I 型 55.8% (58/104)、II 型 11.5% (12/104)、III 型 30.8% (32/104) 和 IV 型 1.9% (2/104)。IMA 长度为 1.9~6.4 cm(中位 3.5 cm)。根据血管不同的变异分型选择性地结扎或保留并完成淋巴结清扫是手术操作中的关键环节,决定了患者手术治疗的整体效果。

3 乙状结肠癌根治术血管处理策略

3.1 建议保留 LCA 及 SRA

3.1.1 血流动力学的获益 血管处理策略是乙状结肠癌根治术的核心环节。研究证实,肠管血供状态是决定吻合口愈合质量的首要因素^[4]。多项临床研究通过对比 LCA 及 SRA 保留及吻合口情况,认为保留 LCA 及 SRA 可改善局部血运,有效降低吻合口瘘的发生^[5,6]。一项针对血流动力学的研究对结肠重建后边缘动脉的残端压力进行测量,研究结果显示保留 LCA 的患者其肠管吻合口边缘动脉压力较未保留组显著提高,较高的边缘动脉压力可

有效增加吻合口区域的微循环灌注,这种血流动力学的改善不仅体现在压力指标上,还反映在组织氧合水平和微循环灌注量等多个维度^[7]。Borchert 等^[8]对保留 SRA 的患者进行了系统分析,发现保留 SRA 同样可以改善肠管血运,对降低术后吻合口瘘的发生有重要意义。

3.1.2 神经功能的保护 此外,保留 LCA 及 SRA 的观点也考虑到对盆腔自主神经的保护。IMA 根部周围存在重要的内脏神经结构,这些神经纤维向下延续参与构成盆腔自主神经网络,对泌尿和生殖功能具有重要调控作用。在进行高位结扎 IMA 根部操作时,由于手术区域与神经丛解剖关系密切,存在较高的神经损伤风险,可能导致术后排尿功能障碍、性功能障碍等并发症^[9,10],严重影响患者术后生活质量。相比之下,采用远离 IMA 根部的低位结扎技术,避免了对 IMA 根部的直接操作,从而有效保护了肠系膜下动脉神经丛及周边自主神经结构,使术后泌尿生殖功能障碍的发生率降低。

3.1.3 手术根治性的保障 除了重点关注吻合口瘘和神经功能损伤等可能引发严重后果的术后并发症外,手术根治性的实现更是衡量治疗成败的核心标准。完整的肿瘤切除及彻底的淋巴结清扫是彰显手术根治性的两大核心要素。淋巴结清扫是基于肿瘤淋巴转移规律,对区域内各级引流淋巴结进行规范的切除能有效阻断肿瘤细胞的淋巴转移路径^[11]。位于肠系膜下动脉根部的 253 组淋巴结(D3),作为乙状结肠肿瘤区域淋巴转移的终末站点,是肿瘤细胞向远处扩散的最后一道屏障^[12]。其转移状态不仅是肿瘤分期的关键依据,更与患者的长期生存预后密切相关。特别是对于进展期乙状结肠癌患者,D3 淋巴结清扫已成为根治性手术的标准操作流程,保留 LCA 及 SRA 的手术需打开并完整剥离血管鞘组织使血管裸化^[13~15],对周围淋巴结精准分离并完整切除,实现淋巴结的规范清扫,可保证手术根治性。

3.1.4 肠道功能的改善 保留 LCA 及 SRA 的乙状结肠癌根治术兼顾了血运与神经的保护,对促进患者术后肠道功能恢复具有显著意义。术后患者肠道排气、排便功能恢复更快,消化吸收功能也能在更短时间内恢复至正常水平,极大地提升了患者术后的生活质量,减少了住院时间和相关并发症的发生风险,为患者的快速康复提供了有力保障^[16,17]。

3.1.5 治疗的前瞻性 从长远临床视角来看,保留 LCA 及 SRA 的术式还展现出独特的治疗前瞻性。

该术式通过精准解剖血管、精细分离肿瘤组织,在确保肿瘤根治性切除的同时,尽可能保留更多的肠管组织。这一技术特点对于患者的远期治疗意义深远:当患者面临左半结肠肿瘤复发或术区肠管梗阻等需要二次手术干预的情况时,初次手术中保留的肠管组织为后续治疗提供了宝贵的手术空间与操作余量,使再次手术的可行性与安全性得到显著提升^[18]。这种兼顾近期康复与远期治疗需求的手术策略,体现了治疗方案的完整性与科学性,实现了更为全面、长远的治疗获益。

3.2 反对保留 LCA 及 SRA

3.2.1 肿瘤根治性的潜在风险 脏层筋膜类似“信封样”包裹结肠及其系膜,将其与周围邻近组织隔绝。完整结肠系膜切除术(complete mesocolic excision, CME)需依照胚胎发育解剖层面锐性分离并完整切除结肠系膜和肿瘤淋巴引流区域,同时高位结扎供应血管,从而达到清扫淋巴结的最大化。从解剖学角度看,完整的系膜切除应当包括血管鞘及其周围的淋巴脂肪组织形成的封闭性结构。对于乙状结肠癌根治术而言,部分学者认为低位结扎 IMA 从而保留 LCA 及 SRA 的操作会破坏“信封样”结构的完整性,可能导致系膜“信封”出现的裂隙,而薄壁小静脉或淋巴管对肿瘤细胞的渗透几乎没有抵抗力,肿瘤细胞很容易入侵进入循环中^[19,20],故即使术者完整清扫了肉眼可见的淋巴结,但被切断的微小淋巴管中的肿瘤细胞可能随着淋巴液外渗,从而增加肿瘤细胞局部播散的风险。因此,对于肿瘤分期较晚、高度怀疑存在淋巴管侵犯的患者,应谨慎选择保留血管的手术方式。

3.2.2 手术操作的复杂性 在乙状结肠癌根治术中,血管分叉处与神经丛周围的操作对精准度的要求近乎苛刻。部分学者认为在高位结扎 IMA 的情况下,只要保证边缘动脉完整,通过 Riolan 弓等侧支循环同样可以维持吻合口足够的血供,不需要再保留 LCA 及 SRA 的操作,在狭小的盆腔空间内对 SRA 进行处理时,术者需在毫米之间规避邻近的自主神经丛、输尿管等重要结构,这对术者的解剖学认知深度与操作精细度提出了极高挑战。在此前提下,同时保留 LCA 及 SRA 不仅显著增加了手术操作的复杂性,还会大幅延长手术时间,成为制约该术式广泛普及的关键瓶颈^[21]。

4 机器人技术的应用价值

基于对此术式的临床实践,我们总结了机器人手术的一些优势,可以一定程度弥补操作的不足,其机械臂的灵活性和稳定性远超人类所及,可减少因手部不自主震颤所导致的误差,可将术者的手部

操作转化为更精细的器械运动,有效地提高血管保留率,从而降低吻合口并发症发生率及副损伤风险。机器人的关节设计使其能够在受限的空间内进行无角度限制的旋转和精准定位,克服了腹腔镜手术器械在狭窄区域内操作受限的难题,提升了复杂解剖区域的可达性与操作灵活性^[22]。此外,其先进的高清 3D 成像技术,能够为术者提供立体、放大的手术视野,显著提升手术区域的清晰度,帮助术者准确识别解剖标志,能更清晰地分辨组织层次、血管和神经^[23],使术者能够在毫米级别上进行精细操作,使得机器人手术在 253 组淋巴结的清扫及血管的保留上发挥出了显著优势。但机器人手术因机械臂准备及调试等因素手术用时会相对更久,且学习曲线较为陡峭,需要大量的实践与练习。这些因素一定程度上限制了机器人手术的发展。

5 总结及展望

目前对于乙状结肠癌根治术中同时保留 LCA 及 SRA 的临床研究逐渐得到关注,但基于现有的文献报道、国内外大型医疗中心的学术交流讨论以及临床实践中的经验总结,我们发现这一术式在肿瘤根治性、术后肠道功能保护及患者生活质量改善等方面展现出重要的临床研究价值。然而,目前关于该术式的中长期肿瘤学疗效、术后并发症发生率以及功能学预后等方面仍缺乏高质量的循证医学证据。未来,需要通过设计严谨的多中心、大样本、前瞻性随机对照研究,结合长期随访数据,进一步评估该术式的肿瘤安全性、功能保护效果及临床应用价值,从而为乙状结肠癌手术方案的优化提供更可靠的依据。

机器人辅助技术的优势已在乙状结肠癌根治术中有所展现,但仍有诸多发展方向值得我们期待并为之努力:①单孔机器人技术有望逐步应用于乙状结肠癌根治术中,实现更小的手术创伤。②医保政策的调整可能将机器人手术纳入报销范围,为患者减轻经济压力。③触觉反馈技术有望应用于机器人系统中,此项技术可令术者操作时更直观地感知组织。④小型化、模块化的机器人设备将简化术前准备的步骤,节省空间。⑤应用虚拟现实和增强现实技术,可以构建更贴近现实的手术练习平台,帮助医生快速掌握并熟练机器人手术操作,精进手术技术。

总之,机器人在乙状结肠癌根治术的应用前景大好,有望为结肠癌患者提供更精准、更安全、更高效的治疗方案,针对保留 LCA 及 SRA 的争议,值得我们继续关注并进行更深入的研究。

【参考文献】

- [1] Petersson J, Matthiessen P, Jadid KD, et al. Short term results in a population based study indicate advantage for laparoscopic colon cancer surgery versus open[J]. *Sci Rep*,2023,13(1):4335.
- [2] Murono K, Kawai K, Kazama S, et al. Anatomy of the inferior mesenteric artery evaluated using 3-dimensional CT angiography[J]. *Dis Colon Rectum*, 2015, 58(2):214-219.
- [3] 周家铭,谭淑云,黄俊,等. 根据肠系膜下动脉各分支分型行精准低位结扎并根部淋巴结清扫的腹腔镜直结肠癌根治术[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2018,21(1):46-52.
- [4] Yasuda K, Kawai K, Ishihara S, et al. Level of arterial ligation in sigmoid colon and rectal cancer surgery[J]. *World J Surg On Col*, 2016,14:99.
- [5] 汤小龙,曲辉,何庆泗,等. 保留左结肠动脉及直肠上动脉的腹腔镜乙状结肠癌根治术的临床应用及近期疗效分析[J]. *腹腔镜外科杂志*,2017,22(12):903-906.
- [6] 杨晓龙. 保留直肠上动脉和左结肠动脉的腹腔镜根治术治疗乙状结肠癌的临床疗效[J]. *中国民康医学*,2019,31(6):8-9,18.
- [7] Li B, Wang J, Yang S, et al. Left colic artery diameter is an important factor affecting anastomotic blood supply in sigmoid colon cancer or rectal cancer surgery: a pilot study[J]. *World J Surg Oncol*, 2022, 20(1):313.
- [8] Borchert DH, Schachtebeck M, Schoepe J, et al. Observational study on preservation of the superior rectal artery in sigmoid resection for diverticular disease[J]. *Int J Surg*, 2015, 21:45-50.
- [9] Mari GM, Crippa J, Cocozza E, et al. Low ligation of inferior mesenteric artery in laparoscopic anterior resection for rectal cancer reduces genitourinary dysfunction; results from a randomized controlled trial (HIGHLOW Trial)[J]. *Ann Surg*,2019,269(6):1018-1024.
- [10] Liu J, Gong Y, He M, et al. Clinical effect of preservation or non-preservation of left colic artery in total mesorectal excision under laparoscopy: a meta-analysis[J]. *Gastroenterol Res Pract*, 2020, 2020:1958573.
- [11] Bendavid Y, Latulippe JF, Younan RJ, et al. Phase I study on sentinel lymph node mapping in colon cancer: a preliminary report[J]. *J Surg Oncol*. 2002, 79(2):81-85.
- [12] Zhang C, Zhang L, Xu T, et al. Mapping the spreading routes of lymphatic metastases in human colorectal cancer[J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1):1993.
- [13] 吕益中,朱劲涛,谭明华,等. 保留左结肠动脉的乙状结肠癌根治术的疗效分析[J]. *岭南现代临床外科*,2014,14(1):37-40.
- [14] Maruta H, Tominaga T, Nonaka T, et al. Efficacy of left colic artery preservation with D3 lymph node dissection in laparoscopic surgery for advanced sigmoid and rectal cancer[J]. *Surg Today*, 2023, 53(12):1335-1342.
- [15] 唐自元,胡英斌. 保留直肠上动脉的肠系膜下血管旁淋巴结清扫技巧[J]. *中国现代手术学杂志*,2012,16(6):415-416.
- [16] 赵军,赵海远,彭帅,等. 保留左结肠动脉和直肠上动脉的腹腔镜乙状结肠癌根治术的临床应用和预后分析[J]. *沈阳医学院学报*,2023,25(3):230-233,242.
- [17] Ren H, Liu Y, Zhang M, et al. Feasibility of preservation of superior rectal artery plus dissection of lymph nodes around inferior mesenteric artery in laparoscopic resection for sigmoid colon cancer[J]. *Front Surg*,2023,10:1086868.
- [18] 刘筹. 腹腔镜结直肠癌手术中肠系膜下动脉及其主要属支处理[J]. *中国实用外科杂志*,2023,43(10):1112-1115.
- [19] Barbour A, Gotley D. Current concepts of tumour metastasis[J]. *Ann Acad Med Singap*,2003,32(2):176-184.
- [20] Fisher B, Fisher ER. The interrelationship of hematogenous and lymphatic tumour cell dissemination[J]. *Surg Gynecol Obstet*, 1966, 122(4):791-797.
- [21] Zhou S, Chen H, Luo H. Evaluation on the safety and short-term efficacy of laparoscopic radical resection of rectal cancer with preservation of the left colonic artery[J]. *China Med Pharm*, 2022, 12:144-148.
- [22] Barbash GI, Glied SA. New technology and health care costs--the case of robot-assisted surgery[J]. *N Engl J Med*, 2010, 363(8):701-704.
- [23] Satava RM. Surgical robotics: the early chronicles: a personal historical perspective[J]. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*, 2002,12(1):6-16.

(收稿日期:2025-04-21;修回日期:2025-04-30)

(本文编辑:侯晓林)

《实用医院临床杂志》第一届青年编委会名单

(按姓氏汉语拼音排序)

陈豪	陈松	程明	邓凯	付小龙	高庆祝	顾卓伟	郭家梅	贺宏丽	黄建林
黄凯军	靳远萌	敬洁	雷迁	李东晓	李昊	李杰	李潭	林厚维	刘欢欢
刘健	刘庆梅	吕宇	吕中阳	毛孝容	莫茜	聂润聪	乔斌	邱田	曲莲莲
饶全	施涛	孙梓荧	谭淳予	田德财	度琳	汪栋	汪越	王剑雄	王洁
王瑞钰	王旻	王胰	王永槐	魏菟	谢礼波	解新芳	徐晓翔	许佩佩	杨博
姚渝	袁勇	张亮	张顺	章印红	赵婧雅	郑上游	钟林	周娟	周明超
庄玲芳	邹圣宇								

本刊编辑部