

4K 腹腔镜与传统高清腹腔镜下保留盆腔自主神经的低位直肠癌根治术的比较*

李腾龙 叶贺鸣 李俊蒙 禹鹏飞 张超 闫旭 丁大晃 白军伟**

(郑州大学省临床医学院 河南省人民医院胃肠外科, 郑州 450003)

【摘要】 **目的** 探讨 4K 腹腔镜下保留盆腔自主神经 (pelvic autonomic nerve preservation, PANP) 的低位直肠癌根治术在男性患者中的应用价值。 **方法** 回顾性分析 2020 年 4 月 ~ 2025 年 4 月 113 例男性低位直肠癌资料, 均行 PANP 腹腔镜低位直肠癌根治术, 其中 59 例使用 4K 超高清腹腔镜 (4K 组), 54 例使用传统 1080P 高清腹腔镜 (高清组)。2 组年龄、体重指数、肿瘤距肛缘距离、肿瘤最大径、分化程度、美国麻醉医师协会分级、pTNM 分期及腹部手术史差异均无显著性 ($P > 0.05$)。比较 2 组围手术期指标及术后 6 个月和 12 个月排尿、性功能。 **结果** 4K 组术中出血量少于高清组 [中位数 46.1 (四分位数 36.9, 51.7) ml vs. 78.1 (71.1, 83.1) ml], 手术时间 [141.0 (127.0, 165.5) min vs. 181.0 (167.0, 189.8) min]、拔除尿管时间 [1.8 (1.5, 2.5) d vs. 2.7 (2.3, 3.1) d]、术后住院时间 [10.6 (9.7, 11.6) d vs. 12.5 (11.3, 13.7) d] 均短于高清组 (均 $P < 0.001$)。2 组切缘长度, 淋巴结清扫数量, 造口率, 术后首次下床、进食、排气时间差异均无显著性 ($P > 0.05$)。术后 6 个月, 4K 组排尿功能优于高清组 ($P < 0.05$), 性功能差异无显著性 ($P > 0.05$); 术后 12 个月, 2 组排尿功能及性功能差异无显著性 ($P > 0.05$)。并发症: 4K 组切口感染 1 例、吻合口狭窄 1 例、下肢静脉血栓 1 例, 高清组吻合口漏 1 例、切口感染 2 例、术后肠梗阻 1 例、下肢静脉血栓 1 例, 差异无显著性 ($\chi^2 = 0.247, P = 0.619$)。 **结论** 4K 腹腔镜下行 PANP 低位直肠癌根治术可减少术中出血, 缩短手术及住院时间, 改善术后排尿功能。

【关键词】 直肠癌; 盆腔自主神经; 腹腔镜手术; 全直肠系膜切除术; 排尿功能; 性功能

中图分类号: R6; R73

文献标识: A

文章编号: 1009-6604(2026)05-0272-06

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2026.05.003

Comparison of 4K Laparoscopy and Traditional Laparoscopy for Pelvic Autonomic Nerve Preservation Radical Surgery of Low Rectal Cancer

Li Tenglong, Ye Heming, Li Junmeng, et al. Department of Gastrointestinal Surgery, Zhengzhou University Provincial Medical Clinical College, Henan Provincial People's Hospital, Zhengzhou 450003, China

Corresponding author: Bai Junwei, E-mail: 784855985@qq.com

【Abstract】 **Objective** To investigate the application value of 4K laparoscopic pelvic autonomic nerve preservation (PANP) radical surgery for low rectal cancer in male patients. **Methods** This study retrospectively included 113 male patients with low rectal cancer from April 2020 to April 2025, all of whom underwent PANP laparoscopic low rectal cancer radical surgery. Among them, 59 patients were operated under 4K ultra-high-definition laparoscope (4K group), while 54 patients were operated under conventional 1080P high-definition laparoscope (HD group). There were no statistically significant differences between the two groups in age, Body Mass Index, distance of the tumor from the anus, maximum tumor diameter, degree of differentiation, the American Society of Anesthesiologists (ASA) classification, pTNM stage, or history of abdominal surgery ($P > 0.05$). Perioperative indicators as well as urinary and sexual functions at 6 months and 12 months postoperatively were compared between the two groups. **Results** The intraoperative blood loss in the 4K group was less than that in the HD group [46.1 (36.9, 51.7) ml vs. 78.1 (71.1, 83.1) ml], and the operation time [141.0 (127.0, 165.5) min vs. 181.0 (167.0, 189.8) min], catheter removal time [1.8 (1.5, 2.5) d

* 基金项目: 2024 年河南省科技发展计划 (242102311090)

** 通讯作者, E-mail: 784855985@qq.com

vs. 2.7 (2.3, 3.1) d], and postoperative hospital stay [10.6 (9.7, 11.6) d vs. 12.5 (11.3, 13.7) d] were all shorter than those in the HD group (all $P < 0.001$). There were no statistically significant differences between the two groups in resection margin length, number of lymph nodes dissected, stoma rate, and time to first ambulation/feeding/flatus postoperatively ($P > 0.05$). At 6 months postoperatively, urinary function in the 4K group was better than that in the HD group ($P < 0.05$), while the difference in sexual function was not statistically significant ($P > 0.05$). At 12 months postoperatively, there were no significant differences in urinary and sexual function between the two groups ($P > 0.05$). The 4K group had 1 case of incision infection, 1 case of anastomotic stricture, and 1 case of lower limb venous thrombosis; the HD group had 1 case of anastomotic leakage, 2 cases of incision infection, 1 case of postoperative intestinal obstruction, and 1 case of lower limb venous thrombosis. The differences were not statistically significant ($\chi^2 = 0.247$, $P = 0.619$). **Conclusion** Performing PANP radical surgery for low rectal cancer under 4K laparoscope can reduce intraoperative bleeding, shorten surgery time and hospital stay, and improve postoperative urinary function.

【Key Words】 Rectal cancer; Pelvic autonomic nerve; Laparoscopic surgery; Total mesorectal excision; Urinary function; Sexual function

全直肠系膜切除术 (total mesorectal excision, TME) 是低位直肠癌首选术式^[1], 但术中易损伤盆腔自主神经 (pelvic autonomic nerve, PAN), 导致术后发生排尿及性功能障碍^[2]。研究表明, TME 术中保留盆腔自主神经 (PAN preservation, PANP) 可有效改善患者术后生活质量^[3,4]。当前, 腹腔镜下 TME 联合 PANP 已成为低位直肠癌的标准方案, 腹腔镜的放大视野和高清成像, 有助于术者在骨盆狭窄空间内精准识别并保护 PAN, 降低神经损伤风险^[5]。4K 腹腔镜系统具有 4 倍于全高清系统的分辨率 (3840 × 2160), 显著提升术野的细腻程度与色彩还原度, 使盆腔自主神经丛、Denonvilliers 筋膜及直肠固有筋膜等关键解剖结构的辨识更为精准, 实现神经、血管与筋膜的精细分辨, 从而为保留 PAN 功能提供技术保障^[6]。本研究回顾性分析 2020 年 4 月 ~ 2025 年 4 月 113 例男性低位直肠癌资料, 均行 PANP 腹腔镜低位直肠癌根治术, 其中 59 例使用 4K 腹腔镜, 54 例使用传统高清腹腔镜, 探讨 4K 腹腔镜在 PANP 男性低位直肠癌根治术中的应用价值。

1 临床资料与方法

1.1 一般资料

本研究为回顾性研究, 经河南省人民医院医学伦理委员会批准 (2025 伦审第 103 号), 豁免患者知情同意签字。

病例选择标准: ①男性, 年龄 35 ~ 75 岁; ②经肠镜及术后病理诊断为直肠癌; ③肿瘤最下缘距肛缘

3 ~ 5 cm, 肿瘤长径 < 5 cm; ④术前经肠镜、腹盆部 CT 及盆腔 MRI 明确肿瘤位置; ⑤美国癌症联合委员会 (American Joint Committee on Cancer, AJCC) 直肠癌 TNM 分期 III 期及以下; ⑥重要器官功能正常; ⑦临床病理资料完整。

排除标准: ①无法达到根治性切除或无法行 PANP; ②有远处转移灶; ③术前有排尿或性功能障碍, 经药物不能改善症状; ④术前行新辅助治疗; ⑤急诊手术。

本研究共 113 例, 均为男性。年龄 35 ~ 75 岁, (59.8 ± 9.0) 岁。便血 35 例, 大便性状改变 30 例 (其中排便困难 9 例), 里急后重 20 例, 体检肠镜发现 28 例。纤维结肠镜检查肿瘤最大径 1.8 ~ 3.1 cm, (2.41 ± 0.36) cm, 肿瘤下缘距肛缘 3.4 ~ 4.6 cm, (3.90 ± 0.32) cm。活检病理低分化腺癌 22 例, 中分化腺癌 61 例, 高分化腺癌 30 例。pTNM 分期 I 期 41 例, II 期 47 例, III 期 25 例。术前均行直肠 MRI、胸部 CT 平扫 + 全腹及盆腔增强 CT 检查除外远处转移。美国麻醉医师协会 (American Society of Anesthesiologists, ASA) 分级 I 级 43 例, II 级 54 例, III 级 16 例。

均行 PANP 腹腔镜低位直肠癌根治术, 依据手术室提供的设备, 59 例使用 4K 超高清腹腔镜 (4K 组), 54 例使用传统 1080P 高清腹腔镜 (高清组)。2 组年龄、体重指数、肿瘤最大径、肿瘤下缘与肛缘距离、肿瘤分化程度、pTNM 分期、ASA 分级及腹部手术史差异均无显著性 ($P > 0.05$), 具有可比性, 见表 1。

表 1 2 组一般资料比较

组别	年龄(岁)	体重指数	肿瘤最大径(cm)	肿瘤与肛缘距离(cm)
4K 组(n=59)	59.2±8.8	22.7(21.6,23.8)	2.5(2.1,2.8)	3.9(3.6,4.2)
高清组(n=54)	60.4±9.1	22.8(22.0,24.3)	2.4(2.0,2.6)	3.8(3.7,4.1)
t(Z、χ ²)值	t = -0.671	Z = -0.883	Z = 1.126	Z = 0.551
P 值	0.504	0.377	0.260	0.581

组别	肿瘤分化程度			pTNM 分期			ASA 分级			腹部手术史
	低	中	高	I	II	III	I	II	III	
4K 组(n=59)	13	32	14	20	27	12	21	30	8	18
高清组(n=54)	9	29	16	21	20	13	22	24	8	20
t(Z、χ ²)值	Z = -0.881			Z = -0.148			Z = -0.365			χ ² = 0.538
P 值	0.378			0.882			0.715			0.463

ASA:美国麻醉医师协会

1.2 手术方法

手术均由同一术者及其团队行 TME + PANP 低位直肠癌根治术,术中严格遵循无菌、无瘤原则。4K 超高清腹腔镜及传统高清腹腔镜均为 KARL STORZ 生产,4K 腹腔镜型号为 TC201(国械注进 20202060294),清晰度为 4K UHD;高清腹腔镜型号为 TC200(国械注进 20172066846),清晰度为 1080P。2 组术前准备、麻醉、手术步骤、操作要点均一致。

术前 3 天开始流质饮食,减少肠道内容物;术前 1 天口服复方聚乙二醇电解质散进行彻底的肠道清洁,至排出清水样液;术前 0.5 ~ 1 h 用头孢类联合奥硝唑等广谱抗生素预防感染。

头低脚高截石位,全麻气管插管。采用 5 孔法,其中观察孔位于脐下,主操作孔位于右髂前上棘旁,气腹压力 12 ~ 15 mm Hg。腹腔镜探查明确肿瘤位置。助手牵拉乙状结肠向左,充分暴露肠系膜下动脉。超声刀切开侧腹膜,沿腹主动脉表面游离肠系膜下动脉根部时,腹腔镜放大视野下清晰识别包绕血管的肠系膜下神经丛,紧贴血管壁清扫 253 组淋巴结,距根部 1 cm 结扎肠系膜下动脉。进入 Toldt 间隙,离断肠系膜下静脉前明确避开旁侧自主神经纤维。游离乙状结肠及直肠系膜,结扎直肠上血管时远离盆丛分支。绑缚束带后适度牵引,避免神经纤维拉伸。分离直肠侧方系膜时,腹腔镜高清视野精准显示直肠固有筋膜边界,严格紧贴筋膜分离,避免突破筋膜损伤外侧盆丛神经(图 1);分离骶前间隙时紧贴筋膜精细操作,保护上腹下神经(图 2)及其分叉的腹下神经^[7]。前方分离直肠与精囊间隙,腹腔镜系统清晰呈现沿间隙顶部走行的神经血管束,预留安全距离,避免电凝钩直接接触。分离至肛提肌水平止。

裸化肿瘤系膜后,于远端 1 ~ 2 cm 切断直肠,闭合器置入时避开神经路径。下腹正中切口拖出肠管,近端 10 cm 离断乙状结肠,置入钉座后回纳。再建气腹,扩肛后置入吻合器,腹腔镜直视下精准对合,确认无神经组织卷入,完成结直肠端端吻合。倒刺线加固吻合口。冲洗盆腔,检查神经走行完整,无出血,吻合口无张力。留置引流管后关腹。对于肿瘤位置过低、吻合口张力过大、水肿严重、患者年龄偏大基础情况较差者,为防止吻合口漏,行预防性肠造口^[8]。

术后禁食水,肠外营养支持,维持电解质平衡,抗感染,并根据情况补充白蛋白。肛门排气后尝试少量饮水,1 天后先予少量流食,待胃肠耐受后,逐步过渡至半流质、软食,最终恢复正常饮食。术后 1 周开始盆底肌训练。通过门诊复查或电话随访,监测出院后的并发症及肿瘤结局。

1.3 观察指标和评价标准

手术指标:手术时间(从切皮开始至缝皮结束),术中出血总量(吸引瓶总吸出量 - 术中冲洗液总量 + 纱布浸湿量,普通纱布为 20 ml,腹腔镜纱布为 5 ml),近切缘及远切缘安全长度(标本离体固定后病理医生测量),淋巴结清扫数量(病理报告),预防性肠造口例数,术后首次下床时间、排气时间、进食流质时间(病程记录及护理记录),拔除尿管时间(术后 24 ~ 72 h 夹闭尿管训练后拔除),术后住院时间(出院标准为无需补液,能进食半流食,可自由行走),术后并发症(病历记载的吻合口漏、切口感染、吻合口狭窄、肠梗阻及下肢血栓等)。

排尿功能和性功能^[9,10]:术后 6、12 个月门诊复查或电话随访评价排尿功能和性功能(射精障碍和勃起障碍)。① 按照国际前列腺症状评分

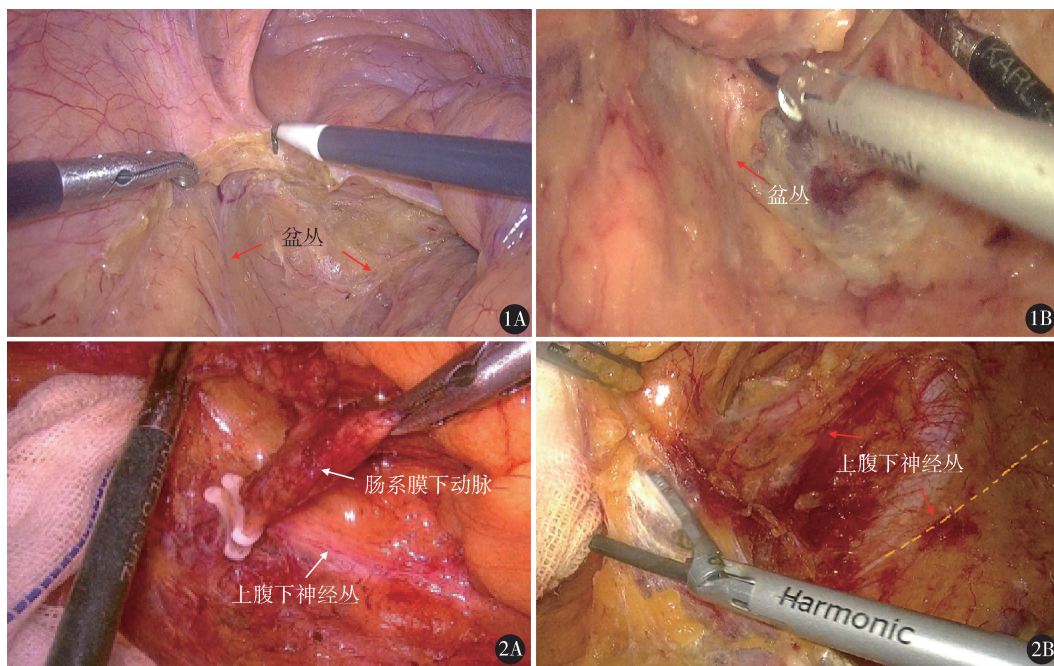


图1 盆丛:A.4K腹腔镜所见;B.高清腹腔镜所见 图2 上腹下神经:A.4K腹腔镜所见; B.高清腹腔镜所见

(International Prostate Symptom Score, IPSS) 及膀胱残余尿量(B超测定)将排尿功能分为4级:Ⅳ级,重度排尿障碍,需导尿治疗;Ⅲ级,中度排尿障碍,残余尿量 > 50 ml;Ⅱ级,轻度排尿障碍,尿频,残余尿量 ≤ 50 ml;Ⅰ级,排尿正常,无排尿障碍。②按国际勃起功能指数5(IEF-5)问卷和射精功能评分表(CIPE)评估性功能。勃起功能分为3级:Ⅲ级,勃起功能完全丧失,无勃起;Ⅱ级,勃起功能下降,只可以部分勃起;Ⅰ级,勃起功能正常,能完全勃起。射精功能也分为3级:Ⅲ级,完全无射精;Ⅱ级,出现逆行射精,存在射精功能障碍;Ⅰ级,存在射精,射精量正常。勃起、射精Ⅱ级和Ⅲ级均归为功能障碍。

肿瘤结局:术后前2年每3~6个月、3~5年每6个月复查,之后每年1次。若出现新发便血或排便困难等症状时随时检查。检查项目包括盆腔增强MRI(评估局部复发)和胸平扫+腹盆增强CT+血癌胚抗原(CEA)(评估远处转移)。复发转移诊断标准:病理活检为金标准;无法活检时,依据典型影像(MRI+PET/CT高代谢)结合CEA持续升高。排除标准:无典型影像病灶,CEA稳定或下降,症状无进展,且连续2次(间隔2~3个月)复查无变化。

1.4 统计学处理

应用SPSS 25.0软件进行统计分析。计数资料

比较采用 χ^2 检验。计量资料采用Kolmogorov-Smirnov法判断是否正态分布,正态分布的以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2组比较采用独立样本 t 检验;非正态分布的以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,2组比较采用Mann-Whitney U 检验。等级资料比较采用Mann-Whitney U 检验。检验水准为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 2组手术指标比较

与高清组相比,4K组术中出血量少,手术时间、拔除尿管时间、术后住院时间短(均 $P < 0.001$),2组近切缘及远切缘安全长度、淋巴结清扫数量、预防性肠造口例数、术后首次下床时间、排气时间、进食流质时间、并发症发生率差异均无显著性($P > 0.05$),见表2。4K组切口感染1例(拆除部分缝线及时换药后愈合),吻合口狭窄1例(术后扩肛治疗),下肢静脉血栓1例(行积极抗凝等治疗)。高清组吻合口漏1例(二次手术行结肠造瘘),切口感染2例(拆除部分缝线及时换药),肠梗阻1例(禁食水,行肠梗阻导管治疗),下肢静脉血栓1例(行积极抗凝等治疗)。2组Clavien-Dindo分级 \geq Ⅲ级并发症发生率差异亦无显著性[1.7%(1/59) vs. 3.7%(2/54), $\chi^2 = 0.006, P = 0.938$]。

表 2 2 组手术结果比较

组别	手术时间 (min)	术中出血量 (ml)	淋巴结清扫数量 (枚)	近切缘长度 (cm)	远切缘长度 (cm)	下床时间 (d)
4K 组 (n = 59)	141.0 (127.0, 165.5)	46.1 (36.9, 51.7)	19.0 (15.0, 21.0)	10.5 (9.9, 10.9)	1.8 (1.6, 1.9)	1.6 (1.3, 1.8)
高清组 (n = 54)	181.0 (167.0, 189.8)	78.1 (71.1, 83.1)	19.0 (17.0, 22.0)	10.6 (10.1, 11.0)	1.8 (1.7, 1.9)	1.6 (1.3, 1.7)
Z(χ ²) 值	Z = -7.417	Z = -9.157	Z = -0.447	Z = -1.621	Z = -0.789	Z = -0.728
P 值	<0.001	<0.001	0.655	0.105	0.430	0.467

组别	排气时间 (d)	进食流质时间 (d)	拔除尿管时间 (d)	术后住院时间 (d)	预防性肠造口	并发症
4K 组 (n = 59)	3.3 (2.5, 3.6)	4.2 (3.6, 4.5)	1.8 (1.5, 2.5)	10.6 (9.7, 11.6)	2 (3.4%)	3 (5.1%)
高清组 (n = 54)	3.3 (2.5, 3.7)	4.3 (3.6, 4.6)	2.7 (2.3, 3.1)	12.5 (11.3, 13.7)	4 (7.4%)	5 (9.3%)
Z(χ ²) 值	Z = -0.100	Z = -0.533	Z = -4.656	Z = -5.911	χ ² = 0.282	χ ² = 0.247
P 值	0.920	0.594	<0.001	<0.001	0.595	0.619

2.2 2 组排尿功能和性功能比较

113 例均完成术后 6 个月评估, 103 例完成术后 12 个月评估, 结果显示, 4K 组术后 6 个月排尿功能

优于高清组 (P < 0.001), 2 组术后 6 个月性功能以及术后 12 个月排尿功能、性功能差异均无显著性 (P > 0.05), 见表 3。

表 3 2 组术后 6、12 个月排尿功能和性功能比较

时间	组别	排尿功能分级				勃起功能分级			勃起功能障碍	射精功能分级			射精功能障碍
		I	II	III	IV	I	II	III		I	II	III	
术后 6 个月	4K 组 (n = 59)	49	7	3	0	35	14	10	24 (40.7%)	41	14	4	18 (30.5%)
	高清组 (n = 54)	29	15	7	3	28	15	11	26 (48.1%)	34	14	6	20 (37.0%)
	Z(χ ²) 值	Z = -3.420				Z = -0.776			χ ² = 0.638	Z = -0.815			χ ² = 0.538
	P 值	<0.001				0.438			0.425	0.415			0.463
术后 12 个月	4K 组 (n = 54)	50	3	1	0	47	4	3	7 (13.0%)	49	4	1	5 (9.3%)
	高清组 (n = 49)	42	5	2	0	40	5	4	9 (18.4%)	42	5	2	7 (14.3%)
	Z(χ ²) 值	Z = -1.128				Z = -0.755			χ ² = 0.572	Z = -0.807			χ ² = 0.631
	P 值	0.259				0.450			0.450	0.420			0.427

2.3 2 组肿瘤结局

113 例随访 6 ~ 51 个月, 中位时间 35 个月, 其中 < 1 年 10 例, 1 ~ 2 年 50 例, > 2 年 53 例。共 7 例肿瘤复发, 5 例转移, 3 例死亡。

3 讨论

对于低位直肠癌男性患者来说, 直肠病灶位于骨盆中, 在生理结构上存在一定的弯曲, 常规开腹手术有困难^[8]。随着腹腔镜技术的逐渐成熟, 腹腔镜辅助低位直肠癌根治术已成为首选方案。腹腔镜可以提供清晰可见的手术视野, 提高手术精准度与安全性^[11, 12]。男性患者盆腔相对狭小, 行腹腔镜辅助低位直肠癌根治术时容易损伤盆神经, 导致术后排尿及性功能障碍。

4K 超高清技术逐渐发展, 并在手术领域中应用。4K 系统是指具有 4000 像素量级的水平分辨率和 2000 像素量级的垂直分辨率的显示器, 这是传统

1080P 高清显示器分辨率的 4 倍^[13]。在狭窄的空间内以 4K 系统进行高分辨率成像, 可以增强器官和周围环境的阴影, 从而提供更好的间接深度感^[14], 能够更好地区分神经组织与周围脂肪筋膜, 减少误损伤风险。因而在男性直肠癌患者狭小的骨盆空间中, 与高清腹腔镜相比, 4K 腹腔镜能更好地发挥优势作用, 包括对盆腔自主神经的保护以及降低排尿功能及性功能障碍的发生率, 并有助于减少术中出血量和手术时间^[15]。本研究回顾性比较 4K 腹腔镜和传统高清腹腔镜行 TME + PANP, 结果显示 4K 组术中出血量少于高清组, 手术时间、拔除尿管时间以及术后住院时间均短于高清组, 证明应用 4K 腹腔镜可以显著提高手术效率, 加快康复进程。2 组在淋巴结清扫数目、近远切缘长度等肿瘤根治性指标上差异无显著性, 说明 2 种腹腔镜均可以保证手术根治的安全性。2 组术后并发症发生率差异无显著性 (P > 0.05), 并且发生类型相似, 说明 4K

腹腔镜技术并未产生新的手术风险,在提升手术准确性的同时也保持了安全性。4K 腹腔镜技术具有更细腻的解剖细节显示能力,使术者能够清晰辨识神经纤维和微血管结构,尤其在男性患者狭窄骨盆这一特殊解剖环境中,4K 系统的优势更加明显,这在分离直肠侧韧带、保护盆神经时尤为重要。本研究 4K 组术后 6 个月排尿功能显著优于高清组,这与手术中对于盆神经的保护关系密切。2 组术后 6 个月性功能以及术后 12 个月排尿功能和性功能差异无显著性 ($P > 0.05$),说明 2 组神经功能在术后 1 年内持续改善并趋于相同。

综上,4K 腹腔镜下行 TME + PANP 可以有效减少术中出血量,缩短手术时间、拔除导尿管时间和术后住院时间,促进患者更快恢复,提高术后近期排尿功能。本研究样本量较少,可能存在一定偏倚,而且神经的恢复需要时间,尚需扩大样本量、延长随访时间进一步求证。

参考文献

- 1 Heald RJ, Husband EM, Ryall RD. The mesorectum in rectal cancer surgery: the clue to pelvic recurrence? *Br J Surg*, 1982, 69 (10): 613 - 616.
- 2 Chew MH, Yeh YT, Lim E, et al. Pelvic autonomic nerve preservation in radical rectal cancer surgery: changes in the past 3 decades. *Gastroenterol Rep (Oxf)*, 2016, 4(3): 173 - 185.
- 3 Seekin TK, Chu A, Kula H, et al. Real-time nerve mapping for endometriosis involving the sciatic and pudendal nerves. *Fertil Steril*, 2026, 125(1): 172 - 174.
- 4 Fang J, Wei B, Zheng Z, et al. Preservation versus resection of Denonvilliers' fascia in total mesorectal excision for male rectal cancer: follow-up analysis of the randomized PUF-01 trial. *Nat Commun*, 2023, 14(1): 6667.
- 5 Harada H, Kanaji S, Hasegawa H, et al. The effect on surgical skills of expert surgeons using 3D/HD and 2D/4K resolution monitors in laparoscopic phantom tasks. *Surg Endosc*, 2018, 32 (10): 4228 -

- 4234.
- 6 崔莞晴, 胡琼香, 张飞, 等. 保留盆腔自主神经的直肠癌根治术研究进展. *中华胃肠外科杂志*, 2023, 26(12): 1202 - 1209.
- 7 Kojima S, Kitaguchi D, Igaki T, et al. Deep-learning-based semantic segmentation of autonomic nerves from laparoscopic images of colorectal surgery: an experimental pilot study. *Int J Surg*, 2023, 109 (4): 813 - 820.
- 8 范青文, 梁 鸿, 李俊蒙, 等. 3D 腹腔镜下经括约肌间切除术治疗低位直肠癌近期疗效分析. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2023, 37(11): 1118 - 1122.
- 9 劳 萍, 梁 超. 3D 与 2D 腹腔镜保护盆腔自主神经的全直肠系膜切除术对比分析. *中国肿瘤临床*, 2023, 50(12): 631 - 635.
- 10 郭祖立, 叶 文. 腹腔镜与开腹保留盆腔自主神经全直肠系膜切除术对老年男性直肠癌患者排尿功能和性功能障碍的影响研究. *中国性科学*, 2015, 24(4): 55 - 59.
- 11 Jiang W, Xu J, Cui M, et al. Laparoscopy-assisted versus open surgery for low rectal cancer (LASRE): 3-year survival outcomes of a multicentre, randomised, controlled, non-inferiority trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2025, 10(1): 34 - 43.
- 12 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. *JAMA Oncol*, 2022, 8 (11): 1607 - 1615.
- 13 Abdelrahman M, Belramman A, Salem R, et al. Acquiring basic and advanced laparoscopic skills in novices using two-dimensional (2D), three-dimensional (3D) and ultra-high definition (4K) vision systems: a randomized control study. *Int J Surg*, 2018, 53: 333 - 338.
- 14 Singla V, Bhattacharjee HK, Gupta E, et al. Performance of three-dimensional and ultra-high-definition (4K) technology in laparoscopic surgery: a systematic review and meta-analysis. *J Minim Access Surg*, 2022, 18(2): 167 - 175.
- 15 Mari GM, Crippa J, Achilli P, et al. 4K ultra HD technology reduces operative time and intraoperative blood loss in colorectal laparoscopic surgery. *F1000Res*, 2020, 9: 106.

(收稿日期: 2026 - 02 - 12)

(修回日期: 2026 - 04 - 07)

(责任编辑: 王惠群)