

· 论著 ·

DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2024.06.002

基于MRI的三维重建技术在保留盆腔自主神经的腹腔镜直肠癌D3根治术中的应用价值

陈佳佳¹, 柯映平¹, 郭伟毅², 杨熙¹, 叶海璇^{1,3}, 洪建文¹✉

(1.潮州市中心医院肝胆外科, 广东 潮州 521000; 2.潮州市中心医院影像科, 广东 潮州 521000; 3.南方医科大学第一临床医学院, 广东 广州 510515)

【摘要】 目的 评估利用MRI图像三维重建直肠癌患者盆腔自主神经以及周围器官在腹腔镜直肠癌D3根治术中的应用价值。方法 将56例直肠癌患者随机分为重建组和对照组, 重建组术前依照MRI三维重建结果制定手术方案, 对照组按常规方式制定手术方案, 比较2组术中及术后功能恢复相关指标。结果 重建的三维模型能个体化呈现患者盆腔自主神经以及周围器官分布关系。与对照组相比, 重建组的手术时间缩短[(143.7 ± 13.3) min vs. (151.5 ± 12.1) min, $P = 0.040$], 失血量减少[(31.3 ± 12.1) mL vs. (39.4 ± 11.6) mL, $P = 0.024$], 国际前列腺症状评分(IPSS)更优[(6.0 ± 1.3)分 vs. (7.9 ± 2.6)分, $P = 0.003$]。此外, 重建组的术后拔除尿管时间较对照组短[2.0 (2.0, 2.0) d vs. 3.5 (3.0, 4.0) d, $P < 0.001$]。结论 基于MRI的盆腔自主神经三维重建能准确呈现盆腔自主神经及器官的解剖关系, 提高了D3根治术的效率和安全性, 可为术者制定精细化、个性化的手术方案提供重要参考。

【关键词】 直肠癌; 腹腔镜; D3根治术; 盆腔自主神经; 三维重建技术

Application value of MRI-based 3D reconstruction technology in laparoscopic D3 radical resection of rectal cancer with pelvic autonomic nerve preservation

CHEN Jiajia¹, KE Yingping¹, GUO Weiyi², YANG Xi¹, YE Haixuan^{1,3}, HONG Jianwen¹✉

(1.Department of Hepatobiliary Surgery, Chaozhou Central Hospital, Chaozhou 521000, China; 2.Department of Medical Imaging, Chaozhou Central Hospital, Chaozhou 521000, China; 3.The First Clinical Medical College, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China)

Corresponding author: HONG Jianwen, E-mail: HJW55688@sina.com

【Abstract】 Objective To evaluate the application value of the MRI-based three-dimensional (3D) reconstruction of pelvic autonomous nerves and surrounding organs in laparoscopic D3 radical resection for rectal cancer. **Methods** Fifty-six patients with rectal cancer were randomly divided into the reconstruction and control groups. In the reconstruction group, surgical plans were formulated based on preoperative MRI 3D reconstruction. In the control group, conventional surgical plans were formulated. Intraoperative and postoperative functional recovery-related indicators were compared between two groups. **Results** The 3D reconstruction model provided individualized visualization of the distribution relationship between the pelvic autonomous nerves and surrounding organs. Compared to the control group, patients in the reconstruction group had significantly shorter operation time ((143.7 ± 13.3) min vs. (151.5 ± 12.1) min, $P = 0.040$), less blood loss ((31.3 ± 12.1) mL vs. (39.4 ± 11.6) mL, $P = 0.024$), improved IPSS score ((6.0 ± 1.3) vs. (7.9 ± 2.6), $P = 0.003$), and shorter duration of urinary catheter removal (2.0 (2.0, 2.0) d vs. 3.5 (3.0, 4.0) d, $P < 0.001$). **Conclusions** MRI-based 3D reconstruction of pelvic autonomous nerves provides a more precise visualization of the anatomical position of the pelvic autonomous nerves and surrounding organs, ultimately improving the efficiency and safety of D3 resection. It offers important reference for surgeons in formulating precise and individualized surgical plans.

【Key words】 Rectal cancer; Laparoscopes; D3 radical resection; Pelvic autonomic nerve; Three-dimensional reconstruction technology

收稿日期: 2024-03-28

基金项目: 广东省自然科学基金(2023A1515011638); 教育部产学合作协同育人项目(22087043110408); 广东省企联合基金(2022A1515220107); 潮州市科技计划项目(210514114600668)

作者简介: 陈佳佳, 副主任医师, 研究方向: 数字医学临床应用, E-mail: 350884900@qq.com; 洪建文, 通信作者, 主任医师, 研究方向: 数字医学临床应用, 消化道疾病微创治疗, E-mail: HJW55688@sina.com

直肠癌是我国发病率、病死率均位于前列的恶性肿瘤之一,对广大群众健康造成严重威胁^[1]。1982年,Heald等^[2]提出的全直肠系膜切除(total mesorectal excision, TME)是目前中低位直肠癌主要的治疗方法。尽管保留盆腔自主神经(pelvic autonomic nerve preservation, PANP)的TME可有效避免泌尿生殖功能障碍的发生,但仍有部分患者需要进一步行D3根治术,即肠系膜下动脉根部淋巴结(No.253淋巴结)清扫,以提高生存率^[3]。该技术要求主刀医师掌握更高分离技术和更精确的盆腔解剖结构来避免腰内脏神经和肠系膜下神经丛的损伤^[4]。目前对盆底自主神经及血管的解剖研究主要基于解剖学、胎儿组织胚胎学等,但各个血管、神经的位置均存在一定比例的解剖变异及个体差异。在临床上主要通过CT、MRI等断层扫描数据来进行解剖定位及术前规划,但用二维图像去估计肿瘤与周围器官组织之间的位置关系,容易对血管及神经造成误伤。基于MRI的术前三维(three dimensions, 3D)重建技术可以实现术前神经、血管及盆底器官影像重建,并能构建肿瘤与器官组织间准确的解剖关系^[5],但其临床应用价值尚不确定。因此,本研究分析并评价术前盆腔自主神经3D重建技术在腹腔镜直肠癌D3根治术中保护盆腔自主神经的应用价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象

以2020年8月至2023年6月在潮州市中心医院住院拟进行腹腔镜直肠癌D3根治术的患者为研究对象,采用随机数表法将其分为重建组和对照组。纳入标准:①经病理学检查确诊为原发性直肠中下段恶性肿瘤;②术前国际抗癌联盟(the Union for International Cancer Control, UICC)/美国癌症协会(American Joint Committee on Cancer, AJCC)第八版TNM临床分期为Ⅱ~Ⅲ期;③术中行直肠癌D3根治性切除术,未行经肛或经骶切除;④术前体格检查、胸部X线片、肝脏彩色多普勒超声检查(彩超)或CT未发现明显远处转移迹象。排除标准:①多原发结直肠癌;②因肿瘤急性梗阻、穿孔或出血等而行急诊手术;③术中探查发现肿瘤巨大、广泛侵犯周围组织器官,需完全切除盆腔自主神经,或无法达到根治性切除

标准;④既往曾接受过腹部手术或泌尿系统手术;⑤心、肺、脑、血液等系统存在功能不全,无法耐受手术;⑥术前排尿功能评定异常或存在前列腺、膀胱等泌尿系统相关疾病;⑦自觉无法完成MRI检查(如金属物留置或有幽闭恐惧症等);⑧妊娠。本研究获得潮州市中心医院伦理委员会批准(批件号:2019007),患者均知情同意且签署知情同意书。

1.2 治疗过程

术前完善相关检查并填写国际前列腺症状评分(International Prostate Symptom Score, IPSS)问卷,IPSS用于评估患者下尿路症状,总分0~35分,0~7分为轻度症状,8~19分为中度症状,20~35分为重度症状。重建组完善MRI检查后利用Mimics软件重建盆腔自主神经,手术医师根据术前重建模型以及解剖标志制定手术方案后进行手术。对照组术前完善常规的MRI等影像学检查,手术医师根据检查结果及临床经验制定手术方案后进行手术。2组手术均由我院同一普外科手术团队实施。术后根据医师临床经验及患者恢复情况决定拔管、恢复饮食以及出院时间,术后3个月通过门诊或电话完善IPSS问卷内容。

1.3 MRI图像采集及重建

1.3.1 MRI图像采集条件

MRI检查采用飞利浦Ingenia 3.0 T医用MRI系统。患者接受MRI检查前禁食4~6 h,检查前30 min肌内注射消旋山莨菪碱10 mg。进行MRI检查时嘱患者屏住呼吸并保持膀胱适当充盈,根据患者骶骨的倾斜角度变化进行扫描。除进行常规的MRI序列检查外,还进一步行3D-STIR-SPACE序列检查,用于盆腔自主神经的3D重建和观察。3D-STIR-SPACE序列参数:TR 2 000 ms, TE 175 ms,切片厚度1 mm,扫描范围40 cm,矩阵384×384,切片数量145。

1.3.2 Mimics软件重建盆腔自主神经3D模型

采用Mimics 21.0软件进行盆腔自主神经以及周围解剖器官的区域半自动分割以及3D重建。基于原始MRI序列以及额外的3D-STIR-SPACE序列,通过人工判断MRI信号强度、周围解剖标志和神经连续性以及Mimics软件自带的阈值分割功能,进行半自动的盆腔自主神经以及周围器官的图像分割。图像分割完成后使用Mimics软件的3D计算以及平滑功能对分割图像进行3D模型重建以及

平滑处理。

1.4 观察内容

观察内容包括以下，基线数据：年龄、性别、BMI、美国麻醉医师协会（American Society of Anesthesiologists, ASA）分级、TNM分期、IPSS；手术情况：手术时间、出血量、肿瘤位置、术中血管损伤情况、总淋巴结清扫个数、No.253淋巴结情况；术后恢复情况：术后住院时间、术后并发症情况（吻合口出血、肠梗阻、肺部感染、切口感染等）、术后3个月的IPSS、术后拔除尿管的日数。

1.5 样本量计算

本研究主要指标为IPSS分值，检验水准（ α ）=0.05，检验效能（ $1-\beta$ ）为0.80，根据既往文献报道设定重建组均数为3.24，对照组均数为4.05，假设方差齐性，样本标准差均为1，样本量之比为1:1。利用临床试验统计网StatBox的样本量计算功能进行计算，2组分别入组至少25例患者。

1.6 统计学处理

本研究所有数据采用SPSS 21.0处理。符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示，组间比较采用独立样本 t 检验，术前术后比较采用配对样本 t 检验；不符合正态分布的计量资料用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示，组间比较采用Mann-Whitney U 检验。计数资料用 $n(\%)$ 表示，组间比较采用 χ^2 检验；当 2×2 列联表中20%单元格理论频数 < 5 时，采用Fisher确切概率法；当 $2 \times C$ 列联表中20%单元格理论频数 < 5 时，采用Fisher-Freeman-Halton法检验。双侧 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料

共有56例患者被纳入本研究，重建组与对照组各28例。重建组中有7例患者因无法配合完成MRI检查、MRI检查图像质量不佳等原因最终退出研究。最终纳入分析的患者中重建组21例、对照组28例。2组患者年龄、性别、BMI、ASA分级、肿瘤TNM分期（均为M0）、IPSS等基线资料具可比性，见表1。

2.2 盆腔自主神经3D模型重建

对患者MRI图像进行测量和分析，重建盆腔自主神经以及周围器官的3D模型。如图1所示，肠系膜下神经丛及其分支进入系膜、支配乙状结肠以及直肠，而后继续下行，在第5腰椎和骶嵴前方形成上腹下神经丛，并逐渐在第2骶孔水平分出左右腹下神经。左右腹下神经在盆腔内与起源于第2~4骶神经的盆腔内脏神经汇合，形成下腹下神经丛，在盆腔侧壁内走行，支配膀胱以及生殖器官。术前基于MRI图像重建的3D模型可以个体化地呈现患者盆腔自主神经以及周围器官的分布和毗邻关系，与手术探查情况相对应，术中图例见图2。

2.3 手术情况

在分析重建盆腔自主神经对手术过程的影响时发现，重建组的手术时间短于对照组，出血量也更少（ P 均 < 0.05 ），而2组术中血管损伤情况、淋巴结清扫个数比较差异均无统计学意义（ P 均 > 0.05 ），见表2。

表1 重建组与对照组患者基线资料

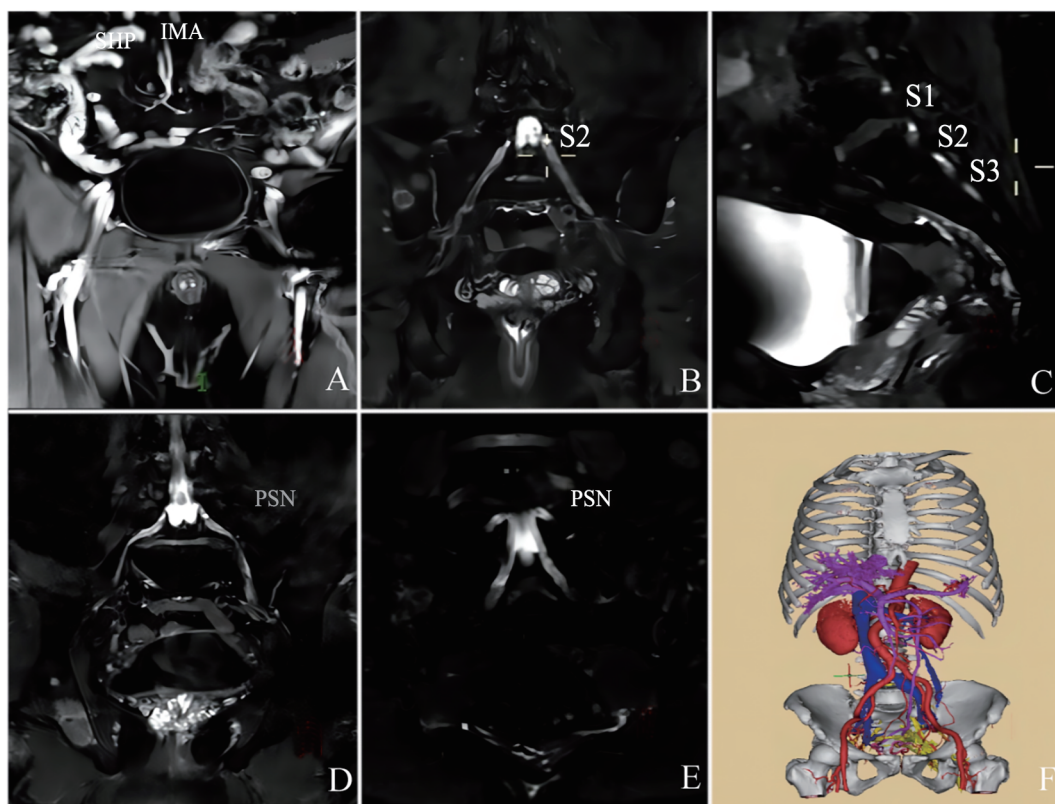
Table 1 The baseline characteristics of patients in reconstruction group and control group

组别	n	年龄/岁	男性/ n (%)	BMI/ (kg/m ²)	ASA 分级 / n (%)			T 分期 / n (%)				N 分期 / n (%)			IPSS/分
					I	II	III	T1	T2	T3	T4	N0	N1	N2	
重建组	21	60.7±5.4	10(47.6)	23.7±3.2	3(14.2)	17(81.0)	1(4.8)	1(4.8)	3(14.3)	10(47.6)	7(33.3)	12(57.1)	7(33.3)	2(9.5)	1.1±0.4
对照组	28	60.5±5.7	12(42.9)	23.5±3.3	3(10.8)	23(82.1)	2(7.1)	2(7.1)	4(14.3)	12(42.9)	10(35.7)	17(60.7)	8(28.6)	3(10.7)	1.1±0.4
t/χ^2 值		0.111	0.110	0.215		0.436				0.404			0.263		-0.097
P 值		0.911	0.740	0.830		1.000				1.000			0.913		0.923

2.4 患者术后功能恢复情况

患者术后功能恢复情况以及手术后IPSS的变化见表3、4。2组术后3个月的IPSS均高于术前（重建组术后3个月与术前比较， $t=-16.028$ ， $P < 0.001$ ；对照组术后3个月与术前比较， $t=-14.446$ ，

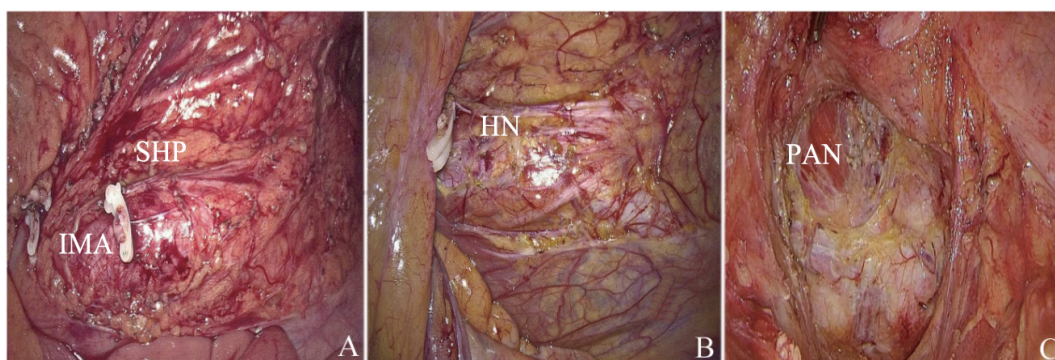
$P < 0.001$ ）。重建组拔除尿管的时间早于对照组，重建组术后3个月的IPSS低于对照组，其中尿频、夜尿次数比较差异有统计学意义（ P 均 < 0.05 ）。2组术后住院日数以及术后并发症发生率比较差异无统计学意义（ P 均 > 0.05 ）。



注：A 为肠系膜下动脉及上腹下神经；B 为 S2 神经；C 为 S1~S3 骶椎神经节；D、E 为盆内脏神经；F 为盆腔自主神经三维重建图。SHP 为下腹上丛（superior hypogastric plexus），IMA 为肠系膜下神经丛（inferior mesenteric plexus），PSN 为盆内脏神经（pelvic splanchnic nerves）。

图 1 基于盆腔 MRI 的盆腔自主神经及其相关器官的三维模型重建示例

Figure 1 The sample of the 3D reconstructions of pelvic autonomic nerves and their related organs based on MRI image



注：A 为上腹下神经；B 为左右腹下神经；C 为盆腔自主神经。SHP 为下腹上丛（superior hypogastric plexus），IMA 为肠系膜下神经丛（inferior mesenteric plexus），HN 为腹下神经（hypogastric nerve），PAN 为盆腔自主神经（pelvic autonomic nerves）。

图 2 腹腔镜直肠癌根治术中图例

Figure 2 Laparoscopic radical resection of rectal cancer

3 讨论

区域淋巴结清扫是中低位直肠癌根治术的重要环节。针对中晚期的直肠癌患者，除了进行 TME

清除系膜内淋巴结以外，仍有部分患者需行 D3 根治术以达到根治性切除的目的。然而，传统 D3 根治术的淋巴结清扫围绕肠系膜下动脉周围展开，若对解剖结构不熟悉则易导致淋巴结清扫过度，

表2 重建组与对照组患者手术情况

Table 2 The surgical characteristics of patients in reconstruction group and control group

组别	n	手术时间/min	失血量/mL	肿瘤部位/n(%)		术中血管损伤/n(%)	总淋巴结清扫个数	No.253 淋巴结阳性/n(%)
				直肠中段	直肠下段			
重建组	21	143.7 ± 13.3	31.3 ± 12.1	9 (42.9)	12 (57.1)	0 (0.0)	10.7 ± 3.1	2 (9.5)
对照组	28	151.5 ± 12.1	39.4 ± 11.6	11 (39.3)	17 (60.7)	1 (3.6)	10.2 ± 3.9	4 (14.3)
<i>t</i> / <i>Z</i> 值		2.114	2.326	0.063	—	—	0.478	—
<i>P</i> 值		0.040	0.024	0.801	1.000	0.635	0.688	—

表3 重建组与对照组患者术后功能恢复情况

Table 3 The postoperative outcome of patients in reconstruction group and control group

组别	n	术后住院时间/d	术后并发症/n(%)				术后拔除尿管时间/d
			吻合口出血	肠梗阻	肺部感染	切口感染	
重建组	21	5.7 ± 1.8	0 (0.0)	1 (4.7)	2 (9.5)	2 (9.5)	2.0 (2.0, 2.0)
对照组	28	6.1 ± 1.1	1 (3.6)	2 (7.1)	2 (7.1)	3 (10.7)	3.5 (3.0, 4.0)
<i>t</i> / <i>Z</i> 值		-0.978	—	—	—	—	5.412
<i>P</i> 值		0.333	1.000 ^a	1.000 ^a	1.000 ^a	1.000 ^a	<0.001

注：^aFisher 确切概率法。

表4 重建组与对照组患者术后3个月IPSS评分

Table 4 The postoperative IPSS scoring of patients in reconstruction group and control group

组别	n	IPSS 评分							
		IPSS 总分	尿频	尿急	排尿不尽	排尿断续	排尿无力	排尿费力	夜尿次数
重建组	21	6.0 ± 1.3	1.3 ± 1.0	1 (1, 1)	0.1 ± 0.3	0.6 ± 0.7	1.3 ± 1.0	1.6 ± 0.9	0 (0, 0.5)
对照组	28	7.9 ± 2.6	2.1 ± 1.5	1 (0, 1)	0.1 ± 0.3	0.5 ± 0.5	1.4 ± 0.9	1.9 ± 0.9	1 (1, 2)
<i>t</i> / <i>Z</i> 值		-3.153	-2.168	-1.664	-0.133	0.496	-0.266	-1.093	4.924
<i>P</i> 值		0.003	0.035	0.096	0.894	0.622	0.792	0.280	<0.001

损伤盆腔自主神经，尤其是肠系膜下神经丛，致患者术后出现泌尿生殖系统障碍^[6]。为此，有学者提出了开展 PANP 的 TME 及 D3 根治术，这类术式在保护泌尿和生殖功能上体现出了显著优势^[7-8]，但仍须结合肿瘤的部位以及系膜内肿瘤浸润、淋巴结转移等高危因素，在遵循无瘤原则的前提下决定是否开展^[9]。因此，如何精准、有效地达到肿瘤根治性切除和 PANP 之间的平衡是新时代直肠癌手术中亟需解决的问题之一。

目前，在直肠癌根治术中最常用于保留盆腔自主神经的方法是基于膜平面的解剖^[10-12]。例如，保留邓氏筋膜不仅能够更好地保留泌尿和生殖功能，亦不会增加术后复发和转移的风险^[13-14]；又例如，通过筋膜定位，分离泌尿腹下神经筋膜、闭孔内肌和肛提肌表面筋膜可以实现侧方淋巴的完整切除^[15]。此外，术中神经监测也被逐步应用于直肠癌术中识别神经结构^[16-20]。但以上方法仍需要术者熟练掌握盆腔解剖结构及神经支配结构以辨清神经走行，避免损伤肿瘤周边重要结构。近年来，

数字化技术已在临床治疗中展现出巨大的潜力与价值^[21-27]。基于 MRI 的盆腔自主神经成像可以在术前清晰、个体化地展示盆腔自主神经解剖走行，但 MRI 图像展现的二维平面缺少立体感、无法直观地展示盆腔自主神经与盆腔其他器官的毗邻关系。因此，已有相关研究初步报道了基于 MRI 的盆腔自主神经 3D 重建技术在盆腔手术中的应用效果^[28-31]。Zhong 等^[29]率先进行了 MRI 盆腔自主神经 3D 重建技术应用于腹腔镜 TME 的回顾性对照研究，结果显示，术前 MRI 图像重建主要呈现了神经血管束和盆腔内脏神经，有助于提高手术实施效果，保护男性患者术后 6 个月的泌尿和性功能以及女性患者的性功能。

本研究团队重点关注 3D 重建技术在腹腔镜直肠癌 D3 根治术中的作用。不同于传统的 TME，D3 根治术中关于 No.253 淋巴结的清扫主要围绕肠系膜下动脉展开。在前期研究中，本研究团队利用 3D 重建图像阐明了肠系膜下动脉及其分支的类型和解剖定位^[32]。肠系膜下动脉鞘膜质地致密，

与腰内脏神经和肠系膜下神经丛关系紧密, 进行清扫时容易损伤这些神经结构^[3]。本研究结果表明, 个性化的盆腔自主神经 3D 模型重建缩短了手术时间、减少了失血量, 患者术后 3 个月的 IPSS 也较术前改善。进一步行重建组与对照组的比较显示, 2 组排尿症状的差异主要体现在尿频、夜尿次数以及术后拔除尿管时间。这提示基于 MRI 图像的 3D 重建技术有助于保护盆腔自主神经和泌尿功能。

本研究存在一定局限性。基于问卷对泌尿功能的评估存在主观性, 会受患者的情绪、感知和认知水平的影响。术后泌尿功能仍需进一步用神经监测、尿流动力学等客观指标进行评估。此外, 本研究纳入样本量较少, 长期的临床价值有待大样本量、多中心的随机对照研究深入验证。

综上, 基于 MRI 的盆腔自主神经 3D 重建技术可在术前更加准确地呈现盆腔自主神经及器官的解剖关系, 在术前为术者制定精细化、个性化的手术方案提供重要参考, 提高腹腔镜直肠癌 D3 根治术的效率和安全性, 具有潜在的临床应用价值。

参 考 文 献

- [1] SIEGEL R L, MILLER K D, JEMAL A. Cancer statistics, 2016 [J]. *CA Cancer J Clin*, 2016, 66 (1): 7-30. DOI: 10.3322/caac.21332.
- [2] HEALD R J, HUSBAND E M, RYALL R D. The mesorectum in rectal cancer surgery-the clue to pelvic recurrence [J]. *Br J Surg*, 1982, 69 (10): 613-616. DOI: 10.1002/bjs.1800691019.
- [3] 燕速, 马新福, 赵康, 等. 低位直肠癌常规行 No.253 淋巴结清扫的争议与共识 [J]. *中国实用外科杂志*, 2020, 40 (3): 315-322. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2020.03.20.
YAN S, MA X F, ZHAO K, et al. Controversy and consensus on routine No.253 lymph node dissection for low rectal cancer [J]. *Chin J Pract Surg*, 2020, 40 (3): 315-322. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2020.03.20.
- [4] 燕速, Seung-Hun Chon, 马新福, 等. 腹腔镜直肠癌根治术筋膜解剖与自主神经保护再认识 [J]. *中华消化外科杂志*, 2020, 6 (10): 1054-1061. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20200922-00629.
YAN S, CHON S, MA X F, et al. Further understanding of fascial anatomy and pelvic autonomic nerve preservation in laparoscopic radical resection for rectal cancer [J]. *Chin J Dig Surg*, 2020, 6 (10): 1054-1061. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20200922-00629.
- [5] LI P, LIU P, CHEN C, et al. The 3D reconstructions of female pelvic autonomic nerves and their related organs based on MRI: a first step towards neuronavigation during nerve-sparing radical hysterectomy [J]. *Eur Radiol*, 2018, 28 (11): 4561-4569. DOI: 10.1007/s00330-018-5453-8.
- [6] 王治杰, 刘骞. 直肠和乙状结肠癌区域淋巴结清扫的规范化开展 [J]. *中华胃肠外科杂志*, 2022, 8 (4): 309-314. DOI: 10.3760/cma.j.cn-441530-20220104-00007.
WANG Z J, LIU Q. Standardization in performing regional lymph node dissection for rectum and sigmoid colon cancer [J]. *Chin J Gastrointest Surg*, 2022, 8 (4): 309-314. DOI: 10.3760/cma.j.cn-441530-20220104-00007.
- [7] LIU Z, HUANG M, KANG L, et al. Prognosis and postoperative genital function of function-preservative surgery of pelvic autonomic nerve preservation for male rectal cancer patients [J]. *BMC Surg*, 2016, 16: 12. DOI: 10.1186/s12893-016-0127-4.
- [8] SUGIHARA K, MORIYA Y, AKASU T, et al. Pelvic autonomic nerve preservation for patients with rectal carcinoma. Oncologic and functional outcome [J]. *Cancer*, 1996, 78 (9): 1871-1880.
- [9] 翟志超, 张卫光, 顾晋. 直肠癌保留盆腔自主神经的解剖学概念及临床意义 [J]. *中华胃肠外科杂志*, 2023, 9 (1): 68-74. DOI: 10.3760/cma.j.cn441530-20221123-00489.
ZHAI Z C, ZHANG W G, GU J. Anatomical concept and clinical significance of pelvic autonomic nerve preservation in rectal cancer. *Chin J Gastrointest Surg*, 2023, 9 (1): 68-74. DOI: 10.3760/cma.j.cn441530-20221123-00489.
- [10] 魏波, 黄盛鑫, 卫洪波. Denonvilliers 筋膜的微创解剖认识及其临床价值 [J]. *中华结直肠疾病电子杂志*, 2022, 8 (3): 192-197. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-3224.2022.03.002
WEI B, HUANG S X, WEI H B. Understanding the Denonvilliers' fascia and its clinical application value from the perspective of minimally invasive anatomy [J]. *Chin J Colorectal Dis Electron Ed*, 2022, 8 (3): 192-197. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-3224.2022.03.002
- [11] 王毅, 梁小波. 从膜外科角度对 Denonvilliers 筋膜应用解剖的再认识 [J]. *中华胃肠外科杂志*, 2016, 2 (10): 1092-1096. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2016.10.004
WANG Y, LIANG X B. The further understanding of Denonvilliers fascia based on "Fascial Surgery" [J]. *Chin J Gastrointest Surg*, 2016, 2 (10): 1092-1096. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2016.10.004
- [12] 韩方海, 钟广宇. 直肠癌全直肠系膜切除手术中保护盆腔自主神经的技术路径 [J]. *临床外科杂志*, 2020, 28 (5): 412-415. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6483.2020.05.004.
HAN F H, ZHONG G Y. The technical route to preserve the pelvic autonomic nerve during TME surgery for rectal cancer [J]. *J Clin Surg*, 2020, 28 (5): 412-415. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6483.2020.05.004.
- [13] WEI B, ZHENG Z, FANG J, et al. Effect of denonvilliers' fascia preservation versus resection during laparoscopic total mesorectal excision on postoperative urogenital function of male rectal cancer patients: initial results of Chinese PUF-01 randomized clinical trial [J]. *Ann Surg*, 2021, 274 (6): e473-e480. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004591.
- [14] 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 [J]. *Nat Commun*, 2023, 14 (1): 6667. DOI: 10.1038/s41467-023-42367-3.
- [15] 王自强, 黄昊. 腹腔镜直结肠癌侧方淋巴结清扫术中淋巴结定位技术要点 [J]. *中国实用外科杂志*, 2023, 43 (10): 1125-1128. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2023.10.10.
- WANG Z Q, HUANG H. Key tips to ensure localization of the suspicious nodes in patients undergoing laparoscopic lateral lymph node dissection [J]. *Chin J Pract Surg*, 2023, 43 (10): 1125-1128. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2023.10.10.
- [16] 胡茜玥, 姜争, 张明光, 等. 直结肠癌手术中盆腔自主神经监测的研究现状 [J]. *中华胃肠外科杂志*, 2022, 25 (1): 82-88. DOI: 10.3760/cma.j.cn441530-20210324-00130.
- Hu X Y, Jiang Z, Zhang M G, et al. Current research status on pelvic autonomic nerve monitoring in rectal cancer surgery. *Chin J Gastrointest Surg*, 2022, 25 (1): 82-88. DOI: 10.3760/cma.j.cn441530-20210324-00130.
- [17] 刘帛岩, 冯子夜, 陈玉辉, 等. 盆腔自主神经监测对腹腔镜辅助中低位直结肠癌根治术中男性患者排尿功能保护作用的研究 [J/OL]. *解放军医学院学报*, 2024: 1-5. (2024-02-05). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1117.R.20240202.1514.016.html>.
- LIU B Y, FENG Z Y, CHEN Y H, et al. Protective effect of pelvic autonomic nerve monitoring on urinary function in male patients undergoing laparoscope-assisted radical resection for middle and low rectal cancer [J/OL]. *Acad J Chin PLA Med Sch*, 2024: 1-5. (2024-02-05). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1117.R.20240202.1514.016.html>.
- [18] 谭明华, 杜国能, 廖健南, 等. 实时神经监测在腹腔镜直结肠全直肠系膜切除术中盆腔自主神经丛保护的应用 [J]. *岭南现代临床外科*, 2022, 22 (5): 463-465. DOI: 10.3969/j.issn.1009-976X.2022.05.006.
- TAN M H, DU G N, LIAO J N, et al. Pelvic autonomic nerve preservation with real-time monitoring during laparoscopic total mesorectal excision for rectal cancer [J]. *Lingnan Mod Clin Surg*, 2022, 22 (5): 463-465. DOI: 10.3969/j.issn.1009-976X.2022.05.006.
- [19] 张飞. 术中盆腔自主神经监测对直结肠癌患者术后泌尿生殖及排便功能影响的相关研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2021.
- ZHANG F. Effect of intraoperative, pelvic autonomic nerve monitoring on urogenital and defecation function in patients with rectal cancer [D]. Soochow: Soochow University, 2021.
- [20] 金旦娟, 李震洋, 顾晓冬, 等. 腹腔镜中低位直结肠癌根治术中盆腔自主神经监测 (IMPAN) 的价值 [J]. *复旦学报 (医学版)*, 2020, 47 (5): 669-678. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8467.2020.05.005.
- JIN D J, LI Z Y, GU X D, et al. The value of intraoperative monitoring of pelvic autonomic nerves (IMPAN) during laparoscopic surgery for middle and low resection cancer [J]. *Fudan Univ J Med Sci*, 2020, 47 (5): 669-678. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8467.2020.05.005.
- [21] 叶琨, 万圣云, 丁洋. 3D 打印技术在复杂主动脉疾病腔内治疗中的应用 [J]. *新医学*, 2021, 52 (7): 524-529. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2021.07.011.
- YE K, WAN S Y, DING Y. Application of 3D printing technology in endovascular treatment of complex aortic disease [J]. *J New Med*, 2021, 52 (7): 524-529. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2021.07.011.
- [22] 陈家阳, 莫志康, 王宏伟, 等. 数字化技术在胰头癌手术中的应用研究 [J]. *新医学*, 2021, 52 (5): 334-338. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2021.05.007.
- CHEN J Y, MO Z K, WANG H W, et al. Application of digital technology in the surgery for pancreatic head carcinoma [J]. *J New Med*, 2021, 52 (5): 334-338. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2021.05.007.
- [23] 严宇巍, 林潇, 马蕊, 等. 数字化技术辅助牙列缺损患者的种植修复与咬合重建——基本修复程序 [J]. *中国口腔种植学杂志*, 2024, 29 (1): 30-35. DOI: 10.12337/zgkqzzxz.2024.02.006.
- YAN Y W, LIN X, MA R, et al. Implant restorations and occlusal reconstruction in partially edentulous patients aided by digital technology: a basic restorative procedure [J]. *Chin J Oral Implantol*, 2024, 29 (1): 30-35. DOI: 10.12337/zgkqzzxz.2024.02.006.
- [24] 刘奎, 唐雪梅, 唐波, 等. 数字化设计及 3D 打印技术在肋骨骨折外固定中的临床应用研究 [J]. *中国现代手术学杂志*, 2023, 27 (6): 454-459. DOI: 10.16260/j.cnki.1009-2188.2023.06.006.
- LIU K, TANG X M, TANG B, et al. Clinical application of digital design and 3D printing technology in external fixation of rib fractures [J]. *Chin J Mod Oper Surg*, 2023, 27 (6): 454-459. DOI: 10.16260/j.cnki.1009-2188.2023.06.006.
- [25] 沙鹏, 欧阳晓, 刘兴勇. 基于 3D 打印技术的数字化设计在胫骨远端粉碎性骨折内固定手术中的疗效及安全性分析 [J]. *中国中西医结合外科杂志*, 2023, 29 (4): 506-511. DOI: 10.3969/j.issn.1007-6948.2023.04.016.
- SHA P, OUYANG X, LIU X Y. Analysis of efficacy and safety of digital design based on 3D printing technology in internal fixation of distal tibial comminuted fracture [J]. *Chin J Surg Integr Tradit West Med*, 2023, 29 (4): 506-511. DOI: 10.3969/j.issn.1007-6948.2023.04.016.
- [26] 李骁群, 程翰林, 郑笑, 等. 基于舌象数字化技术分析针刺对阈下抑郁的疗效 [J]. *中医学报*, 2023, 38 (6): 1303-1309. DOI: 10.16368/j.issn.1674-8999.2023.06.216.
- LI X Q, CHENG H L, ZHENG X, et al. Curative effect analysis of acupuncture on subthreshold depression based on digital technology of tongue manifestation [J]. *Acta Chin Med*, 2023, 38 (6): 1303-1309. DOI: 10.16368/j.issn.1674-8999.2023.06.216.
- [27] 梁英, 杨镇焱. 数字化 X 线摄影技术临床应用价值评价体系研究 [J]. *黑龙江医学*, 2022, 46 (19): 2348-2350. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5775.2022.19.013.
- LIANG Y, YANG Z J. Research on the evaluation system of clinical application value of digital radiography technology [J]. *Heilongjiang Med J*, 2022, 46 (19): 2348-2350. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5775.2022.19.013.
- [28] LIU J, HUANG P, LIANG Q, et al. Preservation of

- Denonvilliers' fascia for nerve-sparing laparoscopic total mesorectal excision: a neuro-histological study[J]. Clin Anat, 2019, 32 (3): 439-445. DOI: 10.1002/ca.23336.
- [29] ZHONG G, YANG B, ZHONG J, et al. Magnetic resonance neuroimaging promotes the preservation of pelvic autonomic nerves in laparoscopic total mesorectal excision: a comparative study[J]. Ann Transl Med, 2021, 9 (24): 1756. DOI: 10.21037/atm-21-5658.
- [30] YAMASHITA R, ISODA H, ARIZONO S, et al. Selective visualization of pelvic splanchnic nerve and pelvic plexus using readout-segmented echo-planar diffusion-weighted magnetic resonance neurography: a preliminary study in healthy male volunteers[J]. Eur J Radiol, 2017, 86 : 52-57. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.10.034.
- [31] BERTRAND M M, MACRI F, MAZARS R, et al. MRI-based 3D pelvic autonomous innervation: a first step towards image-guided pelvic surgery[J]. Eur Radiol, 2014, 24 (8): 1989-1997. DOI: 10.1007/s00330-014-3211-0.
- [32] 陈佳佳, 陈志安, 郭伟毅, 等. 基于 CT 图像应用 Mimics 软件的三维重建技术在腹腔镜直肠癌 D3 根治术中的价值[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36 (7): 778-783. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2019.07.007.
- CHEN J J, CHEN Z A, GUO W Y, et al. Application value of CT image-based three-dimensional reconstruction technology of Mimics software in laparoscopic D3 radical resection for rectal cancer[J]. Chin J Med Phys, 2019, 36 (7): 778-783. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2019.07.007.

(责任编辑: 洪悦民)

