

·概念·争议·思考·

直肠癌保留盆腔自主神经的解剖学概念及临床意义

翟志超¹ 张卫光² 顾晋^{1,3}¹北京大学首钢医院胃肠外科,北京 100144;²北京大学基础医学院人体解剖学教研室,北京 100191;³北京大学肿瘤医院胃肠三科,北京 100142

通信作者:顾晋,Email:zlguj@bjmu.edu.cn

【摘要】 结直肠癌是全球常见的恶性肿瘤之一,其主要治疗策略是以手术为核心的综合治疗。直肠癌根治术后常见的泌尿生殖系统功能障碍成为困扰患者的重要问题,特别是男性功能的损伤,严重影响手术后患者的生活质量。部分患者因为担心性功能和泌尿功能受损而放弃直肠癌的根治手术。造成这一问题的原因,是术中盆腔自主神经的损伤。其中骨盆自主神经的保留主要是下腹神经,其主要负责男性射精功能。骨盆内脏神经主要司男性阴茎的勃起。本文对这两种神经的解剖来源、分布及其对相关的泌尿生殖功能的影响进行详细阐述,并介绍有关保留自主神经的手术分类、操作要点和效果评估。在微创外科快速发展的今天,在实施直肠癌根治手术的同时,充分了解盆腔自主神经的解剖学概念,应用现代微创外科手术技术实现对患者骨盆自主神经的保留,是结直肠外科医师的重要必修课程,也是直肠癌外科手术规范化的重要体现。

【关键词】 结直肠肿瘤; 盆腔自主神经; 解剖

Pelvic autonomic nerve preservation in rectal cancer: anatomical concept and clinical significance

Zhai Zhichao¹, Zhang Weiguang², Gu Jin^{1,3}¹Department of Gastrointestinal Surgery, Peking University Shougang Hospital, Beijing 100144, China;²Department of Human Anatomy, School of Basic Medical Sciences, Peking University, Beijing 100191, China;³Department of Gastrointestinal Surgery III, Peking University Cancer Hospital & Institute, Beijing 100142, China

Corresponding author: Gu Jin, Email: zlguj@bjmu.edu.cn

【Abstract】 Colorectal cancer is one of the most common cancers in the world, and surgery is the mainstage treatment. Urogenital and sexual dysfunction after radical resection of rectal cancer has become an important problem for patients, which seriously affects the quality of life. Some patients give up radical surgery for rectal cancer because of the concerns about sexual and urinary dysfunction. The cause of this problem is intraoperative of injury pelvic autonomic nerve. The preservation of the hypogastric nerve during the surgery is important for the male ejaculation. Pelvic splanchnic nerves are mainly responsible for the male erection. The anatomical origin, distribution, and urogenital function of these two nerves are detailed described in this article. At the same time, this article introduces the classification, key points of the operation and the evaluation of autonomic nerve preservation surgery. With the rapid development of minimally invasive surgery, performing radical surgery for rectal cancer is important, we also need to fully understand the anatomical

DOI: 10.3760/cma.j.cn441530-20221123-00489

收稿日期 2022-11-23 本文编辑 卜建红

引用本文: 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, 26(1): 68-74. DOI: 10.3760/cma.j.cn441530-20221123-00489.



concept of pelvic autonomic nerves, and apply modern minimally invasive surgical techniques to preserve the patient's pelvic autonomic nerves as well. It is an compulsory course and an important manifestation for the standardization of rectal cancer surgery.

【Key words】 Colorectal neoplasms; Pelvic autonomic nerve; Anatomy

结直肠癌是全球最常见的恶性肿瘤之一^[1]。以手术为主的综合治疗仍然是中低位直肠癌的主要治疗方法。早在 1982 年,英国学者 Bill Heald 就提出了全直肠系膜切除术 (total mesorectal excision, TME), 经过 40 年多的临床实践, 已经成为局部进展期中低位直肠癌的推荐手术方法。该术式在降低局部复发率和提高远期生存率方面具有显著优势^[2-3]。然而, 术中盆腔自主神经 (pelvic autonomic nerve, PAN) 损伤可导致高达 27% 的患者出现排尿功能障碍, 45% 的患者出现性功能障碍, 严重影响其术后的生活质量^[4]。为此, 通过术中盆腔自主神经的保护来改善患者术后泌尿生殖系统功能, 成为结直肠外科医生的一个重要挑战。特别是当今外科手术技术的进步, 新的手术方法向微创转型, 微创手术及外科机器人手术已经成为直肠癌根治术的主流; 对骨盆神经解剖学的认识已经从宏观到微观; 各种高清显示技术的进步, 使骨盆自主神经保留更加精准, 外科手术效果得到明显提升。当今, 正确认识直肠癌根治术中保留骨盆自主神经的解剖学概念, 对提高直肠癌外科手术的效果, 进而改善患者术后的生活质量至关重要。

一、历史的回顾

PAN 系统主要由上腹下丛和下腹下丛等组成。它的完整性对于肠道、膀胱和性功能至关重要。关于临床神经解剖, 国内外文献大部分是通过尸体解剖来明确相关神经的走行和分布的。Woodburne^[5] 在 1956 年对 15 具尸体进行解剖, 观察并总结了对盆腔神经的认识。1973 年, Lee 等^[6] 对 20 具尸体进行解剖后明确了上腹下丛、腹下神经和下腹下丛的位置, 为外科医生对盆腔手术提供了帮助。2000 年, 顾晋等^[7] 对 6 具尸体的骨盆神经进行了应用解剖研究, 阐释并验证了上腹下丛、腹下神经、下腹下丛和骨盆内脏神经的位置及支配区域。随着当今各种微创技术及电子显像技术的进步, 对于盆腔自主神经的解剖学认识更加清晰, 保留神经的直肠癌根治术更加精准。

二、骨盆自主神经的解剖学描述

盆神经主要由骶交感干、上腹下丛、下腹下丛 (盆丛)、盆内脏神经和神经血管束等组成。

1. 交感神经 (sacral part of sympathetic trunk): 骶交感干是由腰交感干延续而来, 每侧有 3~4 个骶神经节沿骶前孔内侧下降, 在尾骨的前方两千连于单一的奇神经节, 又称尾神经节, 见图 1^[8]。其节后纤维参与构成下腹下丛。

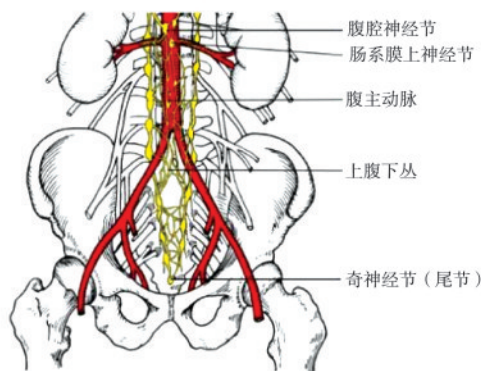


图 1 腹盆腔的交感干和神经^[8]

2. 上腹下丛 (superior hypogastric plexus): 又称骶前神经 (presacral nerve), 是腹主动脉丛和肠系膜下神经丛的远端延伸, 位于腹主动脉分叉下方, 经第 5 腰椎体前下降而来, 发出左、右腹下神经, 见图 2^[9]。腹下神经由 2~3 个分支组成, 与输尿管平行, 位于距离中线 1~2 cm 的骨盆侧面。当腹下神经损伤后, 膀胱的充盈、排尿、射精能力均会受到影响^[10]。其中还有来自盆丛的副交感神经纤维, 向上支配至乙状结肠、降结肠区域。

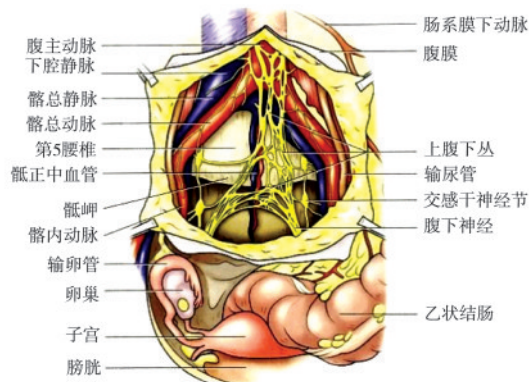


图 2 女性的上腹下丛^[9]

3. 副交感神经 (parasympathetic nerves): 盆内脏神经又称盆神经或者勃起神经, 共 3 支, 由第 2~4 骶神经前支中的副交感神经节前纤维组成, 见图 3^[11]。此神经加入盆丛, 与交感神经一起行走至盆内脏器, 在脏器附近或壁内的副交感神经节交换神经元, 节后纤维分布于远端横结肠、降结肠、乙状结肠、盆内脏器及外阴等。盆内脏神经的主要作用是负责阴茎的勃起, 当损伤后患者的勃起功能则不能实现。

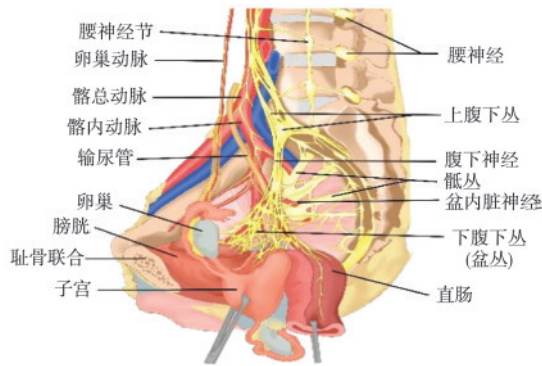


图3 女性的盆丛(下腹下丛)^[11]

4. 盆丛 (pelvic plexus): 腹下神经的远端部分位于腹膜下 2~4 cm 处, 约行至第 3 骶椎高度, 与同侧的盆内脏神经和骶神经节的节后纤维共同组成左、右下腹下丛, 又称盆丛。盆丛位于直肠、精囊和前列腺(女性为子宫颈和阴道穹)的两侧, 第 1~3 神经分支走行于膀胱壁的侧方和后方, 并深入输尿管。盆丛的纤维随着髂内动脉的分支分别形成膀胱丛、前列腺丛、子宫阴道丛和直肠丛, 分布于盆内脏器, 见图 3^[11]。这些神经负责阴茎勃起、膀胱逼尿肌收缩、阴道润滑和性欲唤醒等功能, 同时与上腹下神经形成 Y 形连接^[12]。膀胱丛起源于盆丛, 从胎儿的尸体解剖中发现^[13]。从盆丛的上、中、下 3 部分均有神经发出, 走行在膀胱外韧带内, 越过输尿管, 分布在膀胱输尿管开口附近, 部分支配膀胱颈、尿道及外生殖器, 其中含有交感和副交感神经, 当损伤后容易造成膀胱的失神经支配, 进而出现一系列功能障碍。

5. 神经血管束 (neurovascular bundle): 神经血管束位于覆盖前列腺的筋膜之间, 由互相叠加的众多神经纤维组成, 见图 4^[11]。传导交感神经信号到前列腺、精囊腺、海绵体和输精管的末端^[14]。上方分布到精囊、输精管及前列腺顶部, 下部分布到阴

茎海绵体及会阴部(女性沿远端输尿管和阴道两侧下行到会阴体部)。神经血管束以几乎包裹前列腺后面和外侧包膜表面的各种脂肪组织为依托, 同样也以网状围绕精囊腺。前列腺的外形和大小也可以改变神经血管束, 是一个扇形分布的血管神经网络, 与外尿道括约肌和盆底的复杂结构及功能有密切关系, 损伤神经血管束可引起勃起、射精以及分泌功能障碍等。

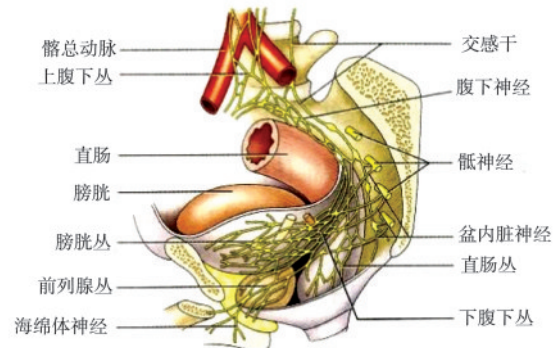


图4 男性盆部的内脏神经丛^[11]

三、骨盆自主神经的损伤

排尿及性功能障碍与术中自主神经和躯体神经损伤密切相关。无论是在开腹、腹腔镜或机器人手术过程中, 锐性分离和直视下操作是直肠癌手术的原则^[12]。

1. 排尿功能障碍: 直肠癌患者术后出现排尿功能障碍的比率为 6.5%^[15]。神经的损伤是导致排尿功能障碍的一个主要原因。有研究发现, 经腹会阴联合直肠癌切除术后膀胱向后移位是导致排尿异常的原因^[12]。直肠癌术前放疗对直肠癌患者术后排尿功能没有明显影响^[16]。

2. 性功能障碍: 直肠癌术后出现性功能障碍的比率为 6.7%~29.6%^[15,17]。原因可能为盆腔自主神经的损伤, 损伤原因包括术中血管神经鞘的损伤、术中电刀的热灼伤或神经丛的部分误切除^[18]。下腹下丛对男性的勃起功能和女性的性功能均会有影响, 上腹下丛则通过躯体神经系统对射精产生影响^[17]。当部分保留腹下神经和盆神经丛时, 患者射精和勃起功能的保持率可由 66.7% 提升至 70.4%^[15]。当完全保留盆腔自主神经时, 92.9% 的患者保持了勃起功能, 82.5% 的患者保持了射精功能, 93.9% 的患者仍然可达到性高潮^[19]。除此之外, 精神因素同样能影响患者性功能^[20]。直肠癌术前

放疗对于患者的勃起和射精功能也会产生影响,因为神经丛的位置位于放疗区域^[16]。

四、保留骨盆自主神经的手术(pelvic autonomic nerve preservation, PANP)

1. PANP 保留神经的手术方式: PANP 手术是在根治肿瘤的基础上尽可能保护盆腔自主神经。根据 Sugihara 等^[15]的研究,将保留神经的手术方式分为 4 种类型: I 型为完全保留盆腔自主神经; II 型为切除腹下神经,保留双侧盆神经丛; III 型为切除腹下神经和一侧的盆神经丛,保留另一侧盆神经丛; IV 型为完全切除盆腔自主神经。

2. PANP 手术指征: 每一种 PANP 手术方式的确定需要考虑风险因素,包括侧方淋巴结阳性和肿瘤所在部位与盆腔自主神经系统的关系。

3. 术前评估: 评估方法包括电子结肠镜检查、钼剂造影、超声内镜和腹腔腔 CT 等。

4. PANP 的 4 种手术方式选择: I 型 PANP 适用于侧方淋巴结风险低的、局限于肠壁内的肿瘤; II 型适用于腹膜反折上、肿瘤穿透直肠壁、存在可疑淋巴结转移的直肠癌; III 型适用于肿瘤邻近腹膜反折或腹膜反折下、穿透或累及单侧直肠壁、或存在可疑淋巴结转移的直肠癌,未累及的一侧可以保留盆腔自主神经; IV 型适用于需要进行双侧侧方淋巴结清扫的直肠癌^[15]。

对于进展期直肠癌,保留神经的 TME 手术与传统 TME 手术相比,局部复发率差异无统计学意义^[20]。根据术中实际操作, I 型和 II 型的 PANP 手术较为容易完成,因为上腹下丛和腹下神经较为容易辨认, III 型 PANP 手术保留神经的方法是在预保留神经的一侧操作时,应在尽量完整切除病灶的前提下贴近直肠,特别是到侧韧带以下及结扎处理直肠中的动静脉时,应注意保留周围交织成网的细小神经纤维。

有学者研究发现,可以通过膜引导的方式保护盆腔自主神经,即以直肠周围的筋膜结构为引导,在术中选择合适的手术平面,即可在保证手术效果的前提下,做到术中不用暴露盆腔自主神经而将肿瘤切除,为盆腔神经的保护提供了新的思路^[21]。

除 PANP 手术外,术中神经监测(intraoperation neuromonitoring, IONM)也可以成为自主神经保留的一个研究方向。通过 IONM,在手术中实时辨认盆腔自主神经的分布,避免神经的非必要损伤,进而改善患者生活质量^[22]。

随着达芬奇机器人、3D 和 4K、8K 高清腹腔镜等设备的出现,其三维视野以及更好、更清晰地放大画面,对盆腔内更多小的解剖学结构能够更加精细和准确地进行解剖和切除^[23]。盆腔自主神经保留的新术式越来越受到重视,如神经导向直肠系膜切除术(nerve-oriented mesorectal excision, NOME)和保留邓氏筋膜的改良 TME (innovative TME, iTME) 的出现^[24]。NOME 以盆腔自主神经作为标准的筋膜平面导航标志,其关键要点是对后侧壁的盆内脏神经、上侧方的腹下神经以及骶尾前侧壁的泌尿生殖神经分支的充分解剖和辨认^[25]。一项小样本量研究表明,接受 NOME 手术的性功能活跃的男性患者,术后 81.8% (18/22) 恢复了正常的性功能^[26]。在保留邓氏筋膜(Denonvilliers' fascia, DVF)的改良 TME 手术中,在 DVF 与直肠固有筋膜之间的手术平面进行解剖,保留完整的 DVF。一项纳入 253 例患者的随机对照临床试验显示:保留 DVF 有利于术后泌尿生殖功能的恢复^[27]。iTME 手术涉及神经的范围包括双侧神经血管束及其在 DVF 前的交通支,未涉及上腹下丛、盆丛和双侧腹下神经等盆腔自主神经。

五、手术中神经保护的关键要点

有研究者对 368 名外科医生进行问卷调查时发现,即使是在大量进行腹腔镜手术的外科医生中,在术中相关神经的发现率依旧参差不齐。腹下神经发现率为 81.2%,下腹下丛为 43.5%,上腹下丛为 57.6%,泌尿生殖束为 31.8%,盆内脏神经仅为 12.9%^[28]。由此可见,术中对自主神经的保护势在必行。

1. 上腹下丛及腹下神经的保护: 在结扎肠系膜下动脉时,应距离动脉根部 1.5~2.0 cm,避免损伤在腹主动脉前方的上腹下丛神经纤维^[29]。术中避免用力钳夹肠系膜下动脉主干。腹下神经左主干距离血管鞘比右主干更近,更易被损伤^[12]。在剥离输尿管及生殖血管时,应注意保留 Gerota 筋膜,因为其中含有上腹下丛的神经纤维^[30]。在骶腓水平,乙状结肠系膜和直肠系膜渐变区域是骶丛和腹下神经易损伤区域,为避免进入错误的分离平面,手术操作区域应停留在骶前筋膜的前方。

2. 下腹下丛的保护: 直肠在侧方不必过分解剖,在直肠后方解剖已尽可能达到盆底时,侧韧带的解剖应已经完成^[31]。在适当的牵引和反牵引下,能够清楚地看到腹下神经在进入更深层次与盆神经丛相融合。因此,直肠系膜上附着的神经能够被分离下

来,外科医生避免使用手指去钩拉直肠侧方韧带或横向钳夹直肠,从而减少神经损伤的发生^[32]。

3. 盆丛:从前列腺、精囊和阴道旁剥离腹膜下方的直肠是损伤神经的高危区域。当直肠肿瘤位于直肠壁前方时,为保证手术切缘予以切除 DVF,当肿瘤位于直肠侧方或后方时,建议保留完整的直肠前列腺筋膜。然而,当遇到男性小骨盆、肿瘤巨大、老年人或新辅助治疗后的患者时,DVF 往往难以辨认,会对术中神经保留带来不利的影响。对于经腹会阴联合直肠癌的切除时,在 DVF 平面应小心阴部背神经,此神经对勃起和射精存在重要作用,当过度牵拉或灼烧出血时,会大概率导致此神经损伤^[33-34]。

六、PANP 术后男性排尿及性功能评价

部分直肠癌术后患者,常出现排尿功能和性功能受损。文献报道,排尿障碍率为 16%~28%^[4,20,35-37];勃起维持率为 75.0%~87.7%^[22-23,37-38];射精成功率为 65%~66.9%^[19-20]。因此,需要合适的评价手段来评价患者术后排尿和性功能的受损程度^[39]。

1. 男性排尿功能评价:关于排尿功能的评价标准有很多,目前最常用的是国际前列腺症状评分(International Prostate Symptom Score, IPSS),其内容包括排尿不尽、尿频、间断排尿、尿急、尿线变细、夜尿增多等项目,具体程度分为 0~5 分^[40]。除此之外,不同的研究者根据自身的临床经验,也提出了不同的排尿功能评价标准。

Mori 等^[38]设计了直肠癌术后排尿功能评分,0~2.5 分为良好,3~9.5 分为一般;>10 分为功能较差。Saito 等^[41]也提出了排尿功能评价:排尿无异常为正常功能;尿频和残余尿量<50 ml 为轻度功能障碍;残余尿>50 ml 和基本无需导尿为中度功能障碍;尿失禁、尿潴留以及需要留置导尿管为重度功能障碍。Maeda 等^[42]在研究中发现,保留神经的 TME 手术加侧方淋巴结清扫术后有 15% 的膀胱功能障碍率,仅行保留神经的 TME 手术有 25% 的患者存在膀胱功能异常;当肿瘤位于腹膜反折下时,膀胱功能异常的患者占 22%。Ameda 等^[18]发现,当未能完全保留盆神经时,男性患者排尿迟缓及夜尿增多的发生率明显高于女性,在排尿满意度上,女性要明显高于男性。

2. 男性性功能评价:包括勃起能力、完成性交、射精和高潮等部分^[42]。常用的评分为国际勃起功能指数(International Index of Erectile Function,

IIEF)^[43],其内容包括勃起功能、性高潮功能、性欲功能、性交满意度和总体满意度 5 个方面^[10]。女性性功能采用女性性功能指数评分量表(Female Sexual Function Index, FSFI)^[44]进行评价,其内容包括勃起功能、性高潮功能、性欲、性交满意度和总体满意度 5 个方面,各项内容均有不同分值,累加后得出最终评分。随着手术技术的进步,术后患者阳痿的发生率从 42% 降至 11%^[42]。当进行神经保留时,年轻患者自主勃起的成功率为 86%,年龄>60 岁患者的勃起成功率为 67%^[45]。对于年龄>60 岁、随访时间<6 个月的患者,低位直肠癌是造成术后性功能异常的危险因素^[10]。随着机器人手术如火如荼地开展,PANP 在机器人手术中也逐渐推广。Luca 等^[23]在一项回顾性研究中发现,机器人手术后 1 个月和 6 个月与术前相比,同样会出现性功能障碍,随着时间的推移,性功能会逐渐恢复并接近术前水平,这可能与术后盆腔组织炎性病变和微小神经纤维损伤后修复有关。机器人直肠癌根治术与腹腔镜相比,其更大的三维视野在直肠前方的分离中能够更好地分辨 DVF,其独特的操作平台在分离直肠侧方和后方时可以长时间维持适度张力,从而更好地保护盆神经丛^[46]。

对肠系膜下丛的保留亦可改善患者术后的排尿功能和性功能,Li 等^[47]在回顾性研究了 124 例行肠系膜下丛保留的直肠癌患者后发现,肠系膜下丛保留后,术后患者的排尿及性功能可以得到很好的保留。

事实上,骨盆自主神经的保留还受到许多外科技术因素以外的诸多因素的影响,包括术前的治疗,患者的先天解剖学异常和变异以及来自社会心理等诸多因素。对结直肠癌肿瘤外科医生来说,认真学习掌握骨盆自主神经的解剖学知识,完成好盆腔自主神经保留手术,能够降低患者术后排尿功能和性功能障碍的发生率,且不增加局部复发率,不降低生存率,在正确掌握手术适应证的前提下,能够明显改善患者的生活质量。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer statistics, 2019[J]. CA Cancer J Clin, 2019,69(1):7-34. DOI: 10.3322/caac.21551.
- [2] Heald RJ, Husband EM, Ryall RD. 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] Heald RJ, Ryall RD. Recurrence and survival after total meso-

- rectal excision for rectal cancer[J]. *Lancet*, 1986, 1(8496): 1479-1482. DOI: 10.1016/s0140-6736(86)91510-2.
- [4] Nagawa H, Muto T, Sunouchi K, et al. Randomized, controlled trial of lateral node dissection vs. nerve-preserving resection in patients with rectal cancer after preoperative radiotherapy[J]. *Dis Colon Rectum*, 2001, 44(9):1274-1280. DOI: 10.1007/BF02234784.
- [5] Woodburne RT. The sacral parasympathetic innervation of the colon[J]. *Anat Rec*, 1956, 124(1):67-76. DOI:10.1002/ar.1091240105.
- [6] Lee JF, Maurer VM, Block GE. Anatomic relations of pelvic autonomic nerves to pelvic operations[J]. *Arch Surg*, 1973, 107(2):324-328. DOI: 10.1001/archsurg.1973.01350200184038.
- [7] 顾晋, 马朝来, 夏家骝. 直肠癌根治术中保留骨盆自主神经的神经解剖学基础及临床意义[J]. *中华外科杂志*, 2000, 38(2):3.
- [8] 张卫光, 张雅芳, 武艳. 系统解剖学[M]. 第4版. 北京: 北京大学医学出版社, 2018: 281
- [9] 王建六, 廖利民, 任东林. 盆底医学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2021: 146.
- [10] Kim NK, Aahn TW, Park JK, et al. Assessment of sexual and voiding function after total mesorectal excision with pelvic autonomic nerve preservation in males with rectal cancer[J]. *Dis Colon Rectum*, 2002, 45(9):1178-1185. DOI: 10.1007/s10350-004-6388-5.
- [11] 王建六, 廖利民, 任东林. 盆底医学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2021: 144.
- [12] Chew MH, Yeh YT, Lim E, et al. Pelvic autonomic nerve preservation in radical rectal cancer surgery: changes in the past 3 decades[J]. *Gastroenterol Rep (Oxf)*, 2016, 4(3): 173-185. DOI: 10.1093/gastro/gow023.
- [13] Kraima AC, Derks M, Smit NN, et al. Careful dissection of the distal ureter is highly important in nerve-sparing radical pelvic surgery: a 3D reconstruction and immunohistochemical characterization of the vesical plexus[J]. *Int J Gynecol Cancer*, 2016, 26(5): 959-966. DOI: 10.1097/IGC.0000000000000709.
- [14] Bertrand MM, Alsaid B, Droupy S, et al. Optimal plane for nerve sparing total mesorectal excision, immunohistological study and 3D reconstruction: an embryological study [J]. *Colorectal Dis*, 2013, 15(12):1521-1528. DOI: 10.1111/codi.12459.
- [15] 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.
- [16] Bonnel C, Parc YR, Pocard M, et al. Effects of preoperative radiotherapy for primary resectable rectal adenocarcinoma on male sexual and urinary function[J]. *Dis Colon Rectum*, 2002, 45(7):934-939. DOI: 10.1007/s10350-004-6332-8.
- [17] Banerjee AK. Sexual dysfunction after surgery for rectal cancer[J]. *Lancet*, 1999, 353(9168): 1900-1902. DOI: 10.1016/s0140-6736(99)00127-0
- [18] Ameda K, Kakizaki H, Koyanagi T, et al. The long-term voiding function and sexual function after pelvic nerve-sparing radical surgery for rectal cancer[J]. *Int J Urol*, 2005, 12(3):256-263. DOI:10.1111/j.1442-2042.2005.01026.x.
- [19] Masui H, Ike H, Yamaguchi S, et al. Male sexual function after autonomic nerve-preserving operation for rectal cancer[J]. *Dis Colon Rectum*, 1996, 39(10):1140-1145. DOI: 10.1007/BF02081416.
- [20] Shirouzu K, Ogata Y, Araki Y. Oncologic and functional results of total mesorectal excision and autonomic nerve-preserving operation for advanced lower rectal cancer[J]. *Dis Colon Rectum*, 2004, 47(9):1442-1447. DOI: 10.1007/s10350-004-0618-8.
- [21] 梁小波, 王毅, 马国龙. "膜"引导保护盆腔植物神经技术在直肠癌手术中的应用[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2017, 20(6):614-617. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2017.06.004.
- [22] 胡茜玥, 姜争, 张明光, 等. 直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.
- [23] Luca F, Valvo M, Ghezzi TL, et al. Impact of robotic surgery on sexual and urinary functions after fully robotic nerve-sparing total mesorectal excision for rectal cancer [J]. *Ann Surg*, 2013, 257(4): 672-678. DOI: 10.1097/SLA.0b013e318269d03b.
- [24] Li K, Pang P, Cheng H, et al. Protective effect of laparoscopic functional total mesorectal excision on urinary and sexual functions in male patients with mid-low rectal cancer[J]. *Asian J Surg*, 2022. DOI:10.1016/j.asjsur.2022.03.050. [published online ahead of print]
- [25] Zhou H, Ruan C, Sun Y, et al. Nerve-guided laparoscopic total mesorectal excision for distal rectal cancer[J]. *Ann Surg Oncol*, 2015, 22(2): 550-551. DOI: 10.1245/s10434-014-4161-0.
- [26] Runkel N, Reiser H. Nerve-oriented mesorectal excision (NOME): autonomic nerves as landmarks for laparoscopic rectal resection[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2013, 28(10):1367-1375. DOI: 10.1007/s00384-013-1705-x.
- [27] 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.
- [28] Cheung YM, Lange MM, Buunen M, et al. Current technique of laparoscopic total mesorectal excision (TME): an international questionnaire among 368 surgeons[J]. *Surg Endosc*, 2009, 23(12): 2796-2801. DOI: 10.1007/s00464-009-0566-4.
- [29] Moszkowicz D, Alsaid B, Bessede T, et al. Where does pelvic nerve injury occur during rectal surgery for cancer? [J]. *Colorectal Dis*, 2011, 13(12):1326-1334. DOI: 10.1111/j.1463-1318.2010.02384.x.
- [30] Stamopoulos P, Theodoropoulos GE, Papailiou J, et al. Prospective evaluation of sexual function after open and laparoscopic surgery for rectal cancer[J]. *Surg Endosc*, 2009, 23(12):2665-2674. DOI: 10.1007/s00464-009-0507-2.
- [31] Bissett IP, Hill GL. Extrafascial excision of the rectum for cancer: a technique for the avoidance of the complications of rectal mobilization[J]. *Semin Surg Oncol*, 2000, 18(3):207-215. DOI:10.1002/(sici)1098-2388(200004/05)18:3<207::aid-ssu4>3.0.co;2-d.
- [32] Grama FA, Burcoş T, Bordea A, et al. Localisation and preservation of the autonomic nerves in rectal cancer surgery-technical details[J]. *Chirurgia (Bucur)*, 2014, 109(3):375-382.

- [33] Hojo K, Vernava AM, Sugihara K, et al. Preservation of urine voiding and sexual function after rectal cancer surgery[J]. *Dis Colon Rectum*, 1991,34(7): 532-539. DOI: 10.1007/BF02049890.
- [34] Daniels IR, Woodward S, Taylor FG, et al. Female urogenital dysfunction following total mesorectal excision for rectal cancer[J]. *World J Surg Oncol*, 2006,4: 6. DOI: 10.1186/1477-7819-4-6.
- [35] Moriya Y, Sugihara K, Akasu T, et al. Nerve-sparing surgery with lateral node dissection for advanced lower rectal cancer[J]. *Eur J Cancer*, 1995,31A(7-8):1229-1232. DOI: 10.1016/0959-8049(95)00164-e.
- [36] Ishikura S, Ogino T, Ono M, et al. Preliminary results of pelvic autonomic nerve-preserving surgery combined with intraoperative and postoperative radiation therapy for patients with low rectal cancer[J]. *Jpn J Clin Oncol*, 1999,29(9):429-433. DOI: 10.1093/jjco/29.9.429.
- [37] Maas CP, Moriya Y, Steup WH, et al. Radical and nerve-preserving surgery for rectal cancer in The Netherlands: a prospective study on morbidity and functional outcome[J]. *Br J Surg*, 1998,85(1): 92-97. DOI: 10.1046/j.1365-2168.1998.00530.x.
- [38] Mori T, Takahashi K, Yasuno M. Radical resection with autonomic nerve preservation and lymph node dissection techniques in lower rectal cancer surgery and its results: the impact of lateral lymph node dissection[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 1998,383(6): 409-415. DOI: 10.1007/s004230050153.
- [39] Lussiez A, Vitous CA, De Roo AC, et al. A multi-modal study examining long-term bowel, urinary, and sexual function after rectal cancer surgery[J]. *Am J Surg*, 2022,224(1 Pt B): 562-568. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2022.02.046.
- [40] Kneist W, Junginger T. Male urogenital function after confirmed nerve-sparing total mesorectal excision with dissection in front of Denonvilliers' fascia[J]. *World J Surg*, 2007,31(6): 1321-1328. DOI: 10.1007/s00268-007-9008-4.
- [41] Saito N, Sarashina H, Nunomura M, et al. Clinical evaluation of nerve-sparing surgery combined with preoperative radiotherapy in advanced rectal cancer patients[J]. *Am J Surg*, 1998, 175(4): 277-282. DOI: 10.1016/s0002-9610(98)00018-x.
- [42] Maeda K, Maruta M, Utsumi T, et al. Bladder and male sexual functions after autonomic nerve-sparing TME with or without lateral node dissection for rectal cancer[J]. *Tech Coloproctol*, 2003,7(1):29-33. DOI: 10.1007/s101510300005.
- [43] Rosen RC, Riley A, Wagner G, et al. The international index of erectile function (IIEF): a multidimensional scale for assessment of erectile dysfunction[J]. *Urology*, 1997, 49(6):822-830. DOI: 10.1016/s0090-4295(97)00238-0.
- [44] Rosen R, Brown C, Heiman J, et al. The Female Sexual Function Index (FSFI): a multidimensional self-report instrument for the assessment of female sexual function [J]. *J Sex Marital Ther*, 2000,26(2):191-208. DOI: 10.1080/009262300278597.
- [45] Barabouiti DG, Wong WD. Current management of rectal cancer: total mesorectal excision (nerve sparing) technique and clinical outcome[J]. *Surg Oncol Clin N Am*, 2005,14(2):137-155. DOI: 10.1016/j.soc.2004.11.003.
- [46] Tang B, Gao G, Ye S, et al. Male urogenital function after robot-assisted and laparoscopic total mesorectal excision for rectal cancer: a prospective cohort study[J]. *BMC Surg*, 2022,22(1):185. DOI: 10.1186/s12893-022-01592-1.
- [47] Li K, Zeng J, Pang P, et al. Significance of nerve plane for inferior mesenteric plexus preservation in laparoscopic rectal cancer surgery[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 853662. DOI: 10.3389/fonc.2022.853662.