

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

陈佳佳^{1,2}, 陈志安³, 郭伟毅¹, 肖晴⁴, 邓汉闻⁴, 李严兵^{2,5}, 黄文华^{2,5,6}

1. 南方医科大学附属潮州市中心医院普外二科, 广东 潮州 521000; 2. 南方医科大学基础医学院人体解剖学国家重点学科, 广东 广州 510515; 3. 南方医科大学第一临床医学院, 广东 广州 510515; 4. 南方医科大学生物医学工程学院, 广东 广州 510515; 5. 广东省医学3D打印应用转化工程技术研究中心, 广东 广州 510515; 6. 广东医科大学基础医学院人体解剖教研室, 广东 湛江 524023

【摘要】目的:利用Mimics软件进行肠系膜下动脉(IMA)三维重建,并评估其在腹腔镜直肠癌D3根治术中的应用价值。**方法:**回顾性分析2016年6月至2018年1月期间行腹部增强CT检查的71例直肠癌患者的影像学资料,利用Mimics软件对该影像数据行IMA三维重建,归纳总结4种IMA分支类型所占的比例,并测量IMA根部到腹主动脉分叉的直线距离以及IMA根部至左结肠动脉(LCA)的直线距离。然后,将2018年1月~8月入院的30例直肠癌患者随机分成对照组(术前未行IMA三维重建)和观察组(术前根据IMA三维重建制定手术方案),每组15例。前瞻性分析两组患者的术中相关指标(手术时间、术中出血量、术中定位IMA及LCA的时间)以及术后相关观察指标(术后排气时间、术后引流管渗出量以及吻合口漏和肠梗阻的发生率)的差异,从而进一步评价术前IMA三维重建技术在直肠癌D3根治术中的应用。**结果:**在4种IMA分支分型中,I型和Ⅲ型是相对比较常见的类型,而Ⅳ型则比较少见;IMA的分支分型与IMA根部至LCA的直线距离有相关性。此外,与对照组相比,术前行IMA三维重建可以明显缩短腹腔镜直肠癌根治术总时间[(152.00±18.16) min vs (135.53±14.06) min, $P=0.010$];同时,术前行IMA三维重建有助于缩短术中对IMA和LCA的定位时间($P=0.004, 0.006$)、术后排气时间($P=0.029$),并减少引流管渗出量($P=0.001$)。**结论:**利用Mimics软件行IMA三维重建更便于术者准确评估患者IMA的分支类型及解剖定位,并在术中提供重要决策信息,进而明显缩短手术时间,提高直肠癌根治术的安全性。

【关键词】直肠癌;肠系膜下动脉;Mimics软件;三维重建

【中图分类号】R319;R739.9

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)07-0778-06

Application value of CT image-based three-dimensional reconstruction technology of Mimics software in laparoscopic D3 radical resection for rectal cancer

CHEN Jiajia^{1,2}, CHEN Zhi'an³, GUO Wei'yi¹, XIAO Qing⁴, DENG Hanwen⁴, LI Yanbing^{2,5}, HUANG Wenhua^{2,5,6}

1. Department of General Surgery, Affiliated Chaozhou Central Hospital of Southern Medical University, Chaozhou 521000, China; 2. National Key Discipline of Human Anatomy, School of Basic Medical Sciences, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 3. The First Clinical Medicine College, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 4. Biomedical Engineering College, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 5. Guangdong Province Medical 3D Printing Application Transformation Engineering Technology Research Center, Guangzhou 510515, China; 6. Department of Human Anatomy, School of Basic Medical Sciences, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China

Abstract: Objective To evaluate the application value of the three-dimensional (3D) reconstruction of inferior mesenteric artery (IMA) via Mimics software in laparoscopic D3 radical resection for rectal cancer. **Methods** A retrospective analysis was performed on the imaging data of 71 patients with rectal cancer who underwent abdominal contrast-enhanced CT examination during June

【收稿日期】2019-04-03

【基金项目】国家重点研发计划(2017YFC1103400);广东省科技计划项目(2016B090917001, 2017B090912006, 2018B090944002);深圳市医疗卫生“三名工程”高层次医学团队(SZSM201612019);广州市科技计划项目(201707010066)

【作者简介】陈佳佳, 硕士, 主治医师, 研究方向: 普通外科, E-mail: 81718370@qq.com; 陈志安, 在读硕士, E-mail: 877676698@qq.com (陈佳佳和陈志安共同为第一作者)

【通信作者】黄文华, 博士生导师, 教授, E-mail: huangwenhua2009@139.com

2016 to January 2018. The 3D reconstruction of IMA which was obtained with Mimics software based on the imaging data was used to analyze the proportions of 4 different branch types of IMA, and measure the linear distance from IMA root to abdominal aortic bifurcation and to the left colon artery (LCA). Thirty patients with rectal cancer admitted to hospital from January 2018 to August 2018 were randomly divided into control group (without the 3D reconstruction of IMA before surgery) and observation group (before surgery, the surgical program was established according to the 3D reconstruction of IMA), with 15 patients in each group. A prospective analysis was performed on the differences in intraoperative and postoperative related indicators, thereby further evaluating the application of preoperative 3D reconstruction of IMA in laparoscopic D3 radical resection for rectal cancer. The intraoperative related indicators included operation time, intraoperative blood loss, intraoperative localizations of IMA and LCA, and the postoperative related indicators included postoperative exhaust time, postoperative drainage tube exudation and the incidence of anastomotic leakage and intestinal obstruction. **Results** Among the 4 IMA subtypes, type I and type III were relatively common, while type IV was rare. The branch type of IMA was related to the linear distance from IMA root to LCA. In addition, compared with control group, the 3D reconstruction of IMA before surgery significantly shortened operation time $[(152.00 \pm 18.16) \text{ min vs } (135.53 \pm 14.06) \text{ min}, P=0.010]$. Meanwhile, preoperative 3D reconstruction of IMA was conducive to shortening the time for the localizations of IMA and LCA ($P=0.004, 0.006$), reducing postoperative exhaust time ($P=0.029$), decreasing drainage tube exudation ($P=0.001$). **Conclusion** The 3D reconstruction of IMA with Mimics software make it easier for the surgeon to accurately assess the branch types and anatomical localization of IMA and provide important decision-making information during the radical resection for rectal cancer, which can significantly shorten operation time and improve operation safety.

Keywords: rectal cancer; inferior mesenteric artery; Mimics software; three-dimensional reconstruction

前言

直肠癌是最常见的恶性肿瘤之一,由于其缺乏典型的早期症状,大部分患者在就诊时已经是进展期直肠癌,预后差、死亡率高^[1-2]。目前,虽然传统化疗、新型生物靶向治疗和分子免疫治疗已取得突破性进展,直肠癌患者的生存率和预后也有所改善,但是目前对于直肠癌患者的治疗仍然是以手术切除为主的综合治疗^[3-4]。近年来,随着微创诊疗技术的发展,直肠癌腹腔镜手术在临床上已取得广泛的应用,相比传统开腹手术,其创伤相对较小、手术时间短、安全性较高,对于直肠癌患者术后的快速康复具有独特的优势^[5-7]。

在进行直肠癌手术时,最关键的是对肠系膜下动脉(Inferior Mesenteric Artery, IMA)起始部至左结肠动脉(Left Colonic Artery, LCA)起始部以下约2 cm处血管的区段裸化及其周围淋巴结的清扫,因为IMA根部的第三站淋巴结与直肠癌患者的术后复发和转移密切相关^[8-9]。然而,由于腹腔镜下视野狭窄、缺乏触觉,很容易误伤变异的分叉血管,甚至会导致严重的并发症,如出血、肠缺血等,不利于患者的预后^[10]。因此,有必要在术前识别那些重要的、变异性较大的解剖结构(如IMA及其分支血管),从而帮助外科医生在术前规划好IMA需裸化程度并最大程度避免肠系膜下血管的误伤。目前,在临床上主要通过CT、MRI等断层扫描数据来对直肠癌患者进行术前规划,但是二维断层图像表达的是某一个截面的

解剖信息,绝大多是医生凭借个人经验根据多幅二维图像估计直肠癌癌灶与周围器官组织之间的位置关系以及IMA及其分支的走形,很难实现直观、立体的观察,容易对IMA造成误伤,给术前规划增加不少难度。现在绝大多数的CT、MRI设备都有配套的三维重建系统,但操作复杂,只能在特定设备下由专业的技术人员使用。因此,目前临床上亟需一种新型的三维血管重建的简易技术来帮助临床医生辨别IMA的分支及解剖定位。

Mimics软件是Materialise公司开发的数字化三维交互式医学影像处理软件,是一套高度整合、简单易用的三维图像生成、编辑、处理软件^[11-12]。利用Mimics软件重建的三维模型可以进行动态旋转观察,任意切割显示内部解剖结构,也可以对其进行编辑、修改,便于临床医生更深入细致地对三维重建后的血管分支进行精准定位、定性、定量分析,有助于术前个性化规划和术中精确决策。然而,目前利用Mimics软件进行IMA三维重建和精确定位的研究尚少。因此,本研究回顾性收集直肠癌患者的CT等影像学数据,利用Mimics软件对IMA进行三维重建,并分析IMA的分型特点;此外,还进行了前瞻性的队列研究,分析并评价Mimics软件的三维重建技术在腹腔镜直肠癌D3根治术中的临床应用价值。

1 方法

1.1 研究对象

1.1.1 回顾性分析 分析2016年6月至2018年1月因

患直肠癌在潮州市中心医院行腹部增强CT检查71例患者的影像学数据。入组要求:(1)经肠镜或术后病理检查证实为直肠恶性肿瘤;(2)在潮州市中心医院曾行腹部增强CT检查;(3)既往未行过腹部、盆腔手术。共纳入男性患者37例,女性患者34例。

1.1.2 前瞻性分析 将2018年1月~8月在潮州市中心医院住院的拟行直肠癌D3根治术的30例患者随机分为观察组和对照组,每组各15例。入组标准:(1)术前根据UICC/AJCC TNM分期系统(2010年第七版),患者的临床分期为Ⅱ~Ⅲ期直肠癌;(2)术前均未行新辅助放化疗;(3)根据肿瘤位置,均选择腹腔镜直肠前切除术,且术中行直肠癌D3根治性切除术;(4)获得患者或其家属知情同意。排除标准:(1)患者既往有腹部手术史;(2)多原发的结直肠癌;(3)因急性肠梗阻、穿孔或出血等并发症而行急诊手术者;(4)心、肺、脑、血液等系统存在功能不全,无法耐受手术者;(5)妊娠。

1.2 基于CT数据采用Mimics软件重建血管

1.2.1 CT平扫及增强数据的获取 所有患者的CT检查均采用东芝Aquilion ONE128层CT。患者在检查前4~6 h开始禁食,并口服对比剂1 000 mL。检查时,患者取仰卧位,扫描范围至少包括剑突至耻骨联合水平。平扫结束后,经肘静脉将60~90 mL的碘帕醇(浓度370 mgI/mL)以4.5 mL/s的速度缓慢推注,然后进行增强序列扫描。扫描结束后上传并保存患者的影像学数据。

1.2.2 通过Mimics软件重建血管 将获取的患者腹部CT断层扫描数据导入Mimics软件中,生成原始蒙版图像,采用阈值分割的方法,选取特定区域进行区域增长后,进行三维重构,对重建后的三维模型进行切割,以获取所需要的特定部位的血管立体模型,并通过reduce、wrap、smooth来进一步优化三维模型,最后获得三维重建血管。

在重建后的三维模型测量以下几个数据:(1)根据LCA、乙状结肠动脉(Sigmoid Artery, SA)及直肠上动脉(Superior Rectal Artery, SRA)之间的关系对IMA进行分型;(2)在三维血管重建图像中测量IMA根部到腹主动脉分叉的直线距离;(3)探索LCA走行规律,并测量其在IMA根部水平至LCA(LCA缺如型则为SA)起始部的直线距离。

1.3 重建肠系膜下血管在腹腔镜直肠癌手术中的应用评价

为了评价通过Mimics软件进行血管重建技术在直肠癌D3根治术中的优势,设计前瞻性的研究。将2018年1月~8月在潮州市中心医院拟行直肠癌D3

根治术的30例患者随机分观察组和对照组,每组各15例。对于观察组的患者,在手术前收集患者的CT等影像学数据并用Mimics软件进行血管重建,手术医生查看重建后的三维血管模型,并在获得IMA分型、IMA根部到腹主动脉分叉的三维直线距离以及IMA根部水平至LCA(LCA缺如型则为SA)起始部的直线距离等数据后,制定相应的手术方案再行腹腔镜手术;对于对照组的患者,则由同等技术水平的医生在查阅CT等影像学数据后直接制定手术方案并实施手术。

由同等技术水平的医生实施手术,并分析两组患者的术中及术后的相关指标。其中,术中观察的指标包括手术时间、术中出血量、术中定位IMA及LCA的时间;术后观察的指标包括术后排气、术后引流管渗出、出血量、是否有吻合口瘘以及肠梗阻等。

1.4 统计学分析

本研究所有数据都是采用SPSS 21.0软件进行处理。计量资料用均数±标准差来表示。采用卡方检验或者独立样本 t 检验对数据进行分析比较。当 $P<0.05$ 时,提示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 IMA的分支分型

本研究对现有的71例CT数据进行重建分析,根据LCA、SA及SRA之间的关系将其归类分为4种类型(图1):I型(直乙共干型),LCA单独发自于IMA,而SRA与SA则在IMA上以共干的形式发出,共26例(36.6%);II型(左乙共干型),LCA与SA以共干的形式起源于IMA,共14例(19.7%);III型(全共干型),LCA、SA和SRA起源于IMA上的一个共点,共26例(36.6%);IV型(无左型),此型缺乏LCA,共5例(7.1%)。I型和III型是相对比较常见的类型,而IV型则较少见。此外,经过Mimics软件重建的血管分型与腹腔镜直肠癌D3根治术时的术分型(图2)是相一致的,进而验证了经Mimics软件进行血管重建及分型的准确性。术前明确IMA的血管分型对腹腔镜直肠癌D3根治术的术前规划和术中决策有很大指导作用。

2.2 在三维血管重建图像中测量IMA根部到腹主动脉分叉的距离以及IMA根部至LCA(LCA缺如型则为SA)分支的直线距离

在进行腹腔镜直肠癌D3根治术时,定位IMA是非常关键的一步。本研究基于病人的CT数据进行重建,还在重建的模型中测量IMA根部到腹主动脉分叉的距离(L_1)以及IMA根部至LCA(LCA缺如型

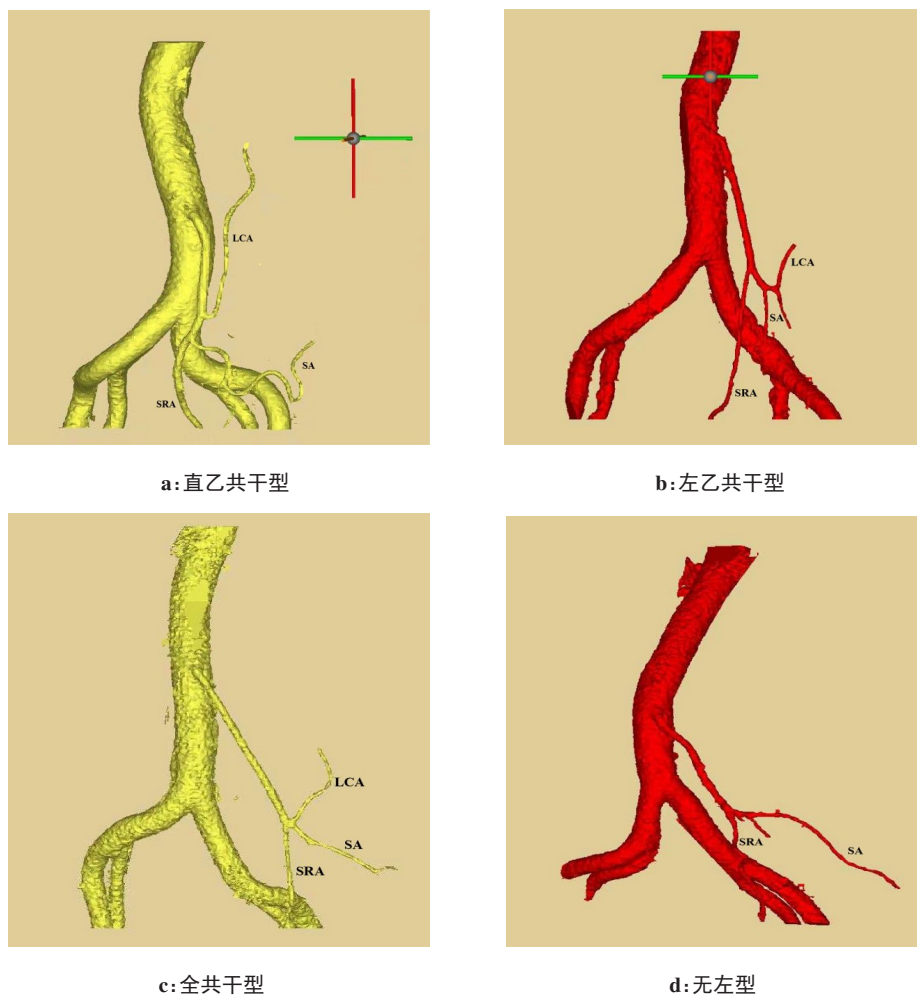


图1 IMA 的4种分型

Fig.1 Four different patterns of the bifurcations of IMA

IMA: 肠系膜下动脉; LCA: 结肠左动脉; SA: 乙状结肠动脉; SRA: 直肠上动脉

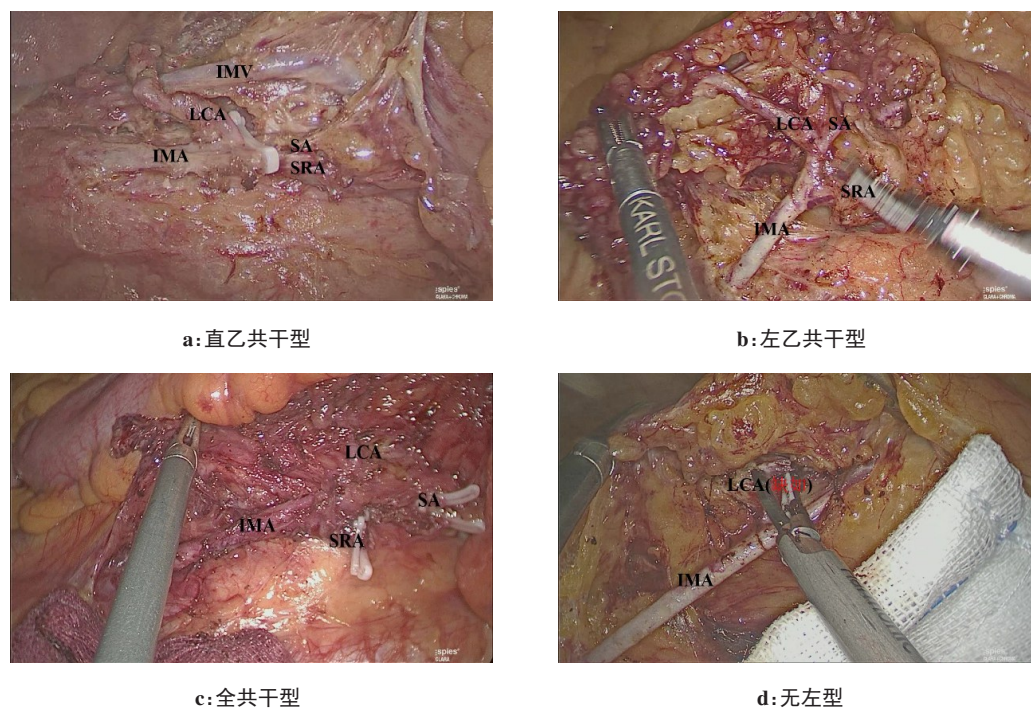


图2 腹腔镜直肠癌D3根治术中对LCA及IMA的解剖图

Fig.2 Dissections of IMA and LCA during laparoscopic D3 radical resection for rectal cancer

则为SA)分支出的直线距离(L₂)。按中位距离(L₁=47.25 mm, L₂=39.80 mm),将研究对象分成长距离组和短距离组。经分析发现 IMA 的分型与 L₁ 无明显的相关性;但是, IMA 的分型与 L₂ 有相关性,其中 I 型多为短距离组,而 IV 型多为长距离组(表 1)。

表 1 IMA 根部到腹主动脉分叉的距离(L₁)以及其至 LCA 分支出的直线距离(L₂)的关系[例(%)]

Tab.1 Linear distance from IMA root to abdominal aortic bifurcation (L ₁) and to the left colon artery (LCA) (L ₂) [cases(%)]						
指标	I型	II型	III型	IV型	χ^2 值	P值
L ₁ /mm						
≤47.25	14(37.8)	8(21.6)	13(35.1)	2(5.5)	0.514	0.916
>47.25	12(35.4)	6(17.6)	13(38.2)	3(8.8)		
L ₂ /mm						
≤39.80	20(52.6)	7(18.4)	11(28.9)	0(0.0)	12.866	0.005
>39.80	6(18.2)	7(21.2)	15(45.5)	5(15.2)		

2.3 术前 IMA 的三维重建在腹腔镜直肠癌 D3 根治术的应用评价

为进一步评价三维重建技术在手术中的作用,本研究将 2018 年 1 月~8 月的 30 例患者随机分成对照组和观察组。两组患者的一般情况(性别、年龄、分期等)没有明显差异。在术前对观察组患者 IMA 进行三维重建,并根据模型中的 IMA 血管及其分支的走形制定手术方案,指导术中对 IMA 及其主要分支进行裸化。

从表 2 的结果可以看出术者能快速地在术中定位 IMA 及 LCA,显著缩短手术的时间。由于手术时间的缩短,观察组患者的术后胃肠功能恢复也较快,同时术后引流管渗出、出血量较对照组明显减少,说明术前进行 IMA 的三维重建有利于直肠癌患者术后的恢复。此外,虽然在数量上,对照组的吻合口漏以及肠梗阻的发生率高于观察组,但统计学分析显示差异没有统计学意义,这有可能是因为本研究样本量太少。

3 讨论

随着人们生活环境以及饮食结构的改变,直肠癌的发病人数逐年增加,目前已成为全球发病率第三和死亡率第二的恶性肿瘤,改善直肠癌患者的生存预后已成为当前最主要的问题^[1, 13]。近年来,腹腔镜手术具有微创、安全、快速康复的优势,在临床中广泛使用,已成为直肠癌根治术的首选手术方式^[3]。

表 2 三维重建 IMA 的手术应用评价
Tab.2 Evaluation of the surgical application of three-dimensional reconstruction of IMA

指标		对照组	观察组	t/χ ² 值	P 值
年龄/岁		49.20±7.97	47.73±8.63	0.484	0.632
性别	男	7(46.7%)	5(33.3%)	0.556	0.355
	女	8(53.3%)	10(66.7%)		
分期	II	6(40%)	7(46.7%)	0.136	0.500
	III	9(60%)	8(53.3%)		
术中出血/mL		62.00±19.19	56.00±11.83	1.374	0.154
手术时间/min		152.00±18.16	135.53±14.06	2.777	0.010
术中定位 IMA/min		6.40±1.06	5.20±1.01	3.175	0.004
术中定位左结肠血管的时间/min		18.07±2.87	14.93±2.84	3.008	0.006
术后排气时间/h		76.73±19.55	60.93±17.99	2.303	0.029
术后引流管渗出量/mL		71.22±14.76	53.60±10.49	3.793	0.001
吻合口漏	有	1(6.7%)	0(0%)	1.034	0.500
	无	14(93.3%)	15(100%)		
肠梗阻	有	1(6.7%)	0(0%)	1.034	0.500
	无	14(93.3%)	15(100%)		

在行腹腔镜直肠癌根治术时,难以在腔镜下局限的视野中对 IMA 及其分支进行定位与分离,然而对 IMA 的准确解剖是直肠癌 D3 根治术中非常关键的一步, IMA 分支的不同类型会直接影响术者对其血管结扎位置的判断与处理以及第三站淋巴结的清扫,同时也与吻合口缺血及术后复发等有着密不可分的联系。因此,在术前了解清楚 IMA 的解剖特点及其变异情形对腹腔镜直肠癌手术是至关重要的。

在行腹腔镜直肠癌根治术时,对 IMA 的处理有两种方式:(1)高位结扎,即在 IMA 的起始部进行结扎,完全切断 LCA 的血流^[14]; (2)低位结扎,即在 IMA 发出 LCA 后再结扎,保留 LCA 的血供。近年来,大量临床研究表明在行直肠癌根治术时,在术中彻底清扫第三站淋巴结并保留 LCA 进行低位 IMA 结扎术能在改善患者预后,减少复发率的同时,保障剩余结肠肠段的供血,促进吻合口的愈合,降低吻合口漏等术后并发症的发生率^[15-17]。因此,非常有必要在术前明确 IMA 的分支分型,帮助术者进行术前决策,指导术者在术中安全准确地裸露 IMA 根部至 LCA 起始部的血管段,完成保留 LCA 的 IMA 低位结扎术。为进一步明确直肠癌患者 IMA 的解剖特点及变异情况,本研究把患者的 CT 等影像学数据导入 Mimics 软件并进行 IMA 三维重建。经统计分析发现在 IMA 分支

的4种类型中,I型和Ⅲ型是相对比较常见的类型,而Ⅳ型则比较少见,仅占7.1%,各种分型的比例与既往的研究是相一致的^[18-19]。此外,本研究还发现IMA的分支分型与IMA根部至LCA(LCA缺如型则为SA)起始部的距离存在相关性,也就是说,如果要行保留LCA的直肠癌根治手术,IMA分支分型不同的患者需要裸化IMA的平均距离是不一样的,其中,I型患者所需要裸化的血管长度最短。通过Mimics软件的三维重建技术可以在术前预测IMA的分支分型;通过测量IMA根部到腹主动脉分叉的距离可以帮助术者在术中定位IMA根部;并通过测量IMA根部至LCA分支处的直线距离可以帮助术者在术中定位LCA,有助于术者进行术前规划、术中决策,降低手术的误伤率及手术时间。

为评估利用Mimics软件进行三维重建在临床上的使用价值,本研究纳入了30例患者参加前瞻性队列研究,每组各15例。其中,对于观察组的患者,术者需在术前基于患者CT等影像学数据利用Mimics软件进行IMA三维重建并制定个性化的手术方案。结果表明,与对照组相比,利用三维重建技术进行术前规划能起到术中导航的作用,帮助术者在术中对IMA及LCA进行快速定位,进而明显缩短术者的手术总时长。通过观察重建后的IMA的三维图像,术者可以在术前明确患者的IMA及其分支的解剖特点,彻底清扫IMA根部的第三站淋巴结并缩短术者的术中探查时间,减少患者术后引流管渗出量,进而加快患者胃肠功能的恢复。此外,通过统计学分析比较还发现观察组和对照组的吻合口漏以及肠梗阻等术后常见并发症的发生率并没有显著的差异,这可能是因为本研究的样本量太少造成差异不明显,因此在后续的研究将会加大样本量的研究对比,进一步明确三维重建技术对直肠癌D3根治术后恢复的辅助价值。

通过Mimics软件行IMA三维重建技术具有便捷、无创、经济等优势,能帮助术者在术前准确把握腹腔血管,尤其是IMA的解剖特点和变异情况,为腹腔镜直肠癌根治术中的第三站淋巴结的清扫提供解剖依据,有助于术者的术中决策。由于本研究是单中心的研究,样本量较小、随访时间也不长,因此,术前辅助技术的长期临床价值有待进一步临床验证。总而言之,采用Mimics软件进行IMA三维重建可以明显缩短手术时间,并在术中提供重要的决策信息,使患者的受益最大化,在临床上具有广泛的应用前景。

【参考文献】

[1] BRAY F, FERLAY J, SOERJOMATARAM I, et al. Global cancer

statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2018, 68(6): 394-424.

[2] SIEGEL R L, MILLER K D, FEDEWA S A, et al. Colorectal cancer statistics, 2017[J]. CA Cancer J Clin, 2017, 67(3): 177-193.

[3] BRENNER H, KLOOR M, POX C P. Colorectal cancer[J]. Lancet, 2014, 383(9927): 1490-1502.

[4] POON J T, LAW W L. Laparoscopic resection for rectal cancer: a review[J]. Ann Surg Oncol, 2009, 16(11): 3038-3047.

[5] JAYNE D G, THORPE H C, COPELAND J, et al. Five-year follow-up of the Medical Research Council CLASICC trial of laparoscopically assisted *versus* open surgery for colorectal cancer[J]. Br J Surg, 2010, 97(11): 1638-1645.

[6] BUUNEN M, VELDKAMP R, HOP W C, et al. Survival after laparoscopic surgery *versus* open surgery for colon cancer: long-term outcome of a randomised clinical trial[J]. Lancet Oncol, 2009, 10(1): 44-52.

[7] FLESHMAN J, BRANDA M, SARGENT D J, 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.

[8] KE J, CAI J W, WEN X F, et al. Anatomic variations of inferior mesenteric artery and left colic artery evaluated by 3-dimensional CT angiography: insights into rectal cancer surgery-a retrospective observational study[J]. Int J Surg, 2017, 41: 106-111.

[9] LIANG J T, LAI H S. Surgical technique of robotic D3 lymph node dissection around the inferior mesenteric artery with preservation of the left colic artery and autonomic nerves for the treatment of distal rectal cancer[J]. Surg Endosc, 2014, 28(5): 1727-1733.

[10] BRAGA M, FRASSON M, VIGNALI A, et al. Laparoscopic resection in rectal cancer patients: outcome and cost-benefit analysis[J]. Dis Colon Rectum, 2007, 50(4): 464-471.

[11] SHIN D S, LEE S, PARK H S, et al. Segmentation and surface reconstruction of a cadaver heart on Mimics software[J]. Folia Morphol (Warsz), 2015, 74(3): 372-377.

[12] 曹桂平, 张明娇, 刘非, 等. Arigin 3D Pro软件与Mimics软件三维建模模型的精度研究[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(15): 2384-2389. CAO G P, ZHANG M J, LIU F, et al. Accuracy of three-dimensional reconstruction models using Arigin 3D Pro and Mimics software programs[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2018, 22(15): 2384-2389.

[13] ARAGHI M, SOERJOMATARAM I, JENKINS M A, et al. Global trends in colorectal cancer mortality: projections to the year 2035[J]. Int J Cancer, 2019, 144(12): 2992-3000.

[14] LANGE M M, BUUNEN M, VAN DE VELDE C J, et al. Level of arterial ligation in rectal cancer surgery: low tie preferred over high tie. A review[J]. Dis Colon Rectum, 2008, 51(7): 1139-1145.

[15] SINDHU R, NATESH B, RAJAN R, et al. Low-tie IMA and selective D3 lymph node sampling in laparoscopic rectal resection for carcinoma rectum: comparison of surgical and oncological outcomes with the open technique[J]. J Gastrointest Oncol, 2017, 8(5): 850-857.

[16] BONNET S, BERGER A, HENTATI N, et al. High tie *versus* low tie vascular ligation of the inferior mesenteric artery in colorectal cancer surgery: impact on the gain in colon length and implications on the feasibility of anastomoses[J]. Dis Colon Rectum, 2012, 55(5): 515-521.

[17] YAMAMOTO M, OKUDA J, TANAKA K, et al. Oncological impact of laparoscopic lymphadenectomy with preservation of the left colic artery for advanced sigmoid and rectosigmoid colon cancer[J]. Dig Surg, 2014, 31(6): 452-458.

[18] SAKORAFAS G H, ZOUIROS E, PEROS G. Applied vascular anatomy of the colon and rectum: clinical implications for the surgical oncologist[J]. Surg Oncol, 2006, 15(4): 243-255.

[19] NANO M, DAL CORSO H, FERRONATO M, et al. Ligation of the inferior mesenteric artery in the surgery of rectal cancer: anatomical considerations[J]. Dig Surg, 2004, 21(2): 123-126.

(编辑:谭斯允)