

## • 腹部影像学 •

# 能谱 CT 肠系膜静脉成像技术优化研究

崔晓, 吴岩, 陆琳, 沈莎莎, 谢晓洁, 熊倩, 韩丹

**【摘要】** 目的:探讨肠系膜静脉能谱 CT 增强扫描技术的优化方案。方法:前瞻性搜集 2019 年 12 月—2020 年 12 月昆明医科大学第一附属医院行腹部增强 CT 检查的 280 例患者,根据扫描方式(常规组与能谱组,各 50 例)、对比剂注射速率(3.0 mL/s、3.5 mL/s、4.0 mL/s 组,各 30 例)、动脉期后延迟时间(15 s、20 s、25 s 组,各 30 例)将 280 例患者分为 8 组。图像质量客观评价为测量每组图像同一层面 SMV-CT 值、竖脊肌 CT 值和 SD,并分别计算各组图像的 CNR。主观评价为 2 名诊断经验丰富的影像科医师对每例受检者的 VR、MIP 及 TSMIP 重建图像进行 5 分评分法。常规组与能谱组图像质量比较采用两独立样本 *t* 检验。不同注射速率组、不同延迟时间组图像质量比较采用方差分析,两两比较采用 LSD 法。结果:能谱组与常规组的 SMV-CT 值、SD 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。不同注射速率组 SMV-CT 值、竖脊肌 CT 值、SD、CNR 差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。不同延迟时间组 SMV-CT 值、SD、CNR 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。结论:肠系膜静脉 CT 成像中能谱扫描优于常规参数扫描,且对比剂注射速率推荐 3.0~4.0 mL/s,动脉期后延迟时间为 20~25 s。

**【关键词】** 肠系膜静脉; 体层摄影术, X 线计算机; 临床研究

**【中图分类号】** R322.123; R814.42; R4   **【文献标志码】** A   **【文章编号】** 1000-0313(2024)06-0767-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.06.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Optimization study of spectral computed tomography venography on mesenteric vein** CUI Xiao, WU Yan, LU Lin, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650000, China

**【Abstract】** **Objective:** Explore the optimization scheme of spectral CT scanning technology on mesenteric vein. **Methods:** A prospective analysis of abdominal enhanced CT data from 280 patients at the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University. 280 patients were divided into 8 groups based on the scanning method (50 cases in the conventional group and spectral group, respectively), injection rate of contrast agents (30 cases in the 3.0mL/s, 3.5mL/s, and 4.0mL/s groups, respectively), and delay time after arterial phase (30 cases in the 15s, 20s, and 25s groups, respectively). The objective evaluation of image quality was to measure the SMV-CT values, CT values, and SD of images at the same level in each group, and to calculate the CNR of images separately. Subjective evaluation was performed by two experienced radiologists, who made the image quality scores on the VR, MIP, and TSMIP reconstructed images independently. Independent sample *t*-tests were used to compare the image quality between conventional and spectral groups. The comparison of image quality among different injection rate groups and different delay time groups was conducted by using analysis of variance, LSD was used for pairwise comparison. **Results:** CT value of the superior mesenteric vein, image noise and subjective scores of the spectral group are higher than that of the conventional group, which shows significant differences ( $P < 0.05$ ). While, there is no significant difference between the different injection rate groups ( $P > 0.05$ ). There were significant differences in SMV-CT values, SD, and CNR among different delay time groups ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** In mesenteric vein CT imaging, spectral scanning is superior to conventional scanning, and the recommended injection rate of contrast agents is 3.0~4.0mL/s, with delay time of post-arterial phase is 20~25s.

**【Key words】** Mesenteric veins; Tomography, X-ray computed; Clinical study

作者单位:650000 昆明,昆明医科大学第一附属医院医学影像科

作者简介:崔晓(1996—),女,山东临沂人,硕士,技师,主要从事头颈、胸腹、骨肌的医学影像技术工作。

通讯作者:韩丹,E-mail:kmhandan@sina.com

随着心脑血管疾病、免疫性疾病增多及人口老龄化的发展,肠系膜静脉疾病的发病率逐年增高,尤其是肠系膜静脉血栓(mesenteric venous thrombosis, MVT)。患者高凝状态或血栓前疾病、骨髓增生性肿瘤、癌症(最常见于胰腺和肝脏)、炎性疾病(急性胰腺炎、炎性肠病和憩室炎)、近期手术、门静脉高压和各种原因(如口服避孕药或妊娠)通常被视为诱发因素<sup>[1-2]</sup>。该病起病隐匿,症状极易与其他急腹症混淆,临床中容易误诊,加之该病发展迅速,严重的临床并发症为大面积肠缺血坏死、弥散性血管内凝血(disseminated intravascular coagulation, DIC),据报道生存率不足50%<sup>[3]</sup>。MVT早期诊断首选CT,而能谱CT运用两种不同能量X线获取高低能两组数据<sup>[4]</sup>,提高对碘检出的敏感性<sup>[5]</sup>。目前国内外对常规扫描肠系膜静脉(mesenteric venous, MV)的研究较多,针对MV能谱扫描的研究热点仍主要在于虚拟单能量图像,若想获得清晰的MV图像,需要多种参数合理搭配,重点如延迟时间、对比剂注射速率等。本研究目的为利用能谱CT技术并在此基础上对MV增强的对比剂注射速率及静脉期扫描延迟时间分别进行研究,为临床提供依据。

## 材料与方法

### 1. 一般资料

前瞻性连续性搜集本院2019年12月—2020年12月期间行腹部增强三期检查的患者。纳入标准:①既往无肝脏手术史;②无伴有临床症状的心功能不全;③患者均无碘对比剂使用禁忌证;④呼吸状态平稳,能正常屏气。排除标准:①腹腔内巨大占位性病灶严重影响观察肠系膜静脉血管者;②体质指数(body mass index, BMI) $\leqslant 18 \text{ kg/m}^2$ 者及BMI $\geqslant 30 \text{ kg/m}^2$ 者。共搜集297例患者,排除17例,其中行肝脏经颈静脉肝内门体分流术(transjugular intrahepatic portosystemic shunt, TIPS)手术者14例,腹腔内巨大占位性病灶者2例,图像不符合诊断要求者1例(呼吸伪影较重),最终入选280例,男151例、女129例,患者平均年龄 $51.7 \pm 17.6$ 岁。根据扫描方式、注射速率、动脉期后延迟时间将280例患者按照简单随机化分组的方法分为8组,其中常规组与能谱组各50例,其余每组各30例。本研究通过院医学伦理委员会审批,所有患者签署知情同意书。

### 2. 检查方法

患者检查前禁食6~12 h。采用CT扫描机(Revolution CT, General Electric Medical System, America),搭配后处理工作站(Advantage Workstation 4.7 version, AW4.7, General Electric Medical System, A-

merica)和对比剂(350 mg I/mL 碘海醇注射液,中国扬子江药业集团有限公司)。常规组平扫及注射对比剂后的3期扫描参数相同:管电压120 kV;管电流开启调制管电流(SmartmA)技术,参考mAs为250~600 mAs;机架旋转速度0.8 s/转,准直采用1.0 mm,螺距采用0.992:1,层厚1 mm,重建间隔1.0 mm,平均扫描时间5.3 s。能谱组平扫及注射对比剂后的3期扫描参数相同:管电压为140 kVp和80 kVp,0.5 ms瞬时切换,管电流为315 mAs;机架旋转速度0.8 s/转,准直采用1.0 mm,螺距采用0.992:1,层厚1 mm,重建间隔1.0 mm,平均扫描时间6.2 s。常规组与能谱组均采用3.5 mL/s的注射速率,注射总量约为80~110 mL(注射量根据患者BMI确定,即BMI $\leqslant 21 \text{ kg/m}^2$ 的患者,对比剂注射量约80~90 mL,BMI在21~25 kg/m<sup>2</sup>的患者,对比剂注射量约90~100 mL,BMI $>25 \text{ kg/m}^2$ 的患者,对比剂注射量约100~110 mL)。

除常规组外,其余各分组均采用能谱扫描。患者均右侧肘前静脉注射碘海醇,不同注射流率组患者采用能谱扫描程序,分别以3.0 mL/s、3.5 mL/s、4.0 mL/s的流率注射80~110 mL;之后再以相同速率注射30 mL生理盐水。动脉期扫描采用自动监测触发,触发层面定为降主动脉(腹腔干水平),常规组触发阈值为150 HU,而能谱组自动监测时采用140 kV,因此触发阈值则为120 HU。达到触发阈值时延迟8 s自动启动扫描,完成动脉期扫描;不同延迟时间组患者采用能谱程序扫描,时间设定分别为动脉期后15 s、20 s、25 s,再经8 s屏气启动静脉期扫描;注射对比剂后120 s行延时期扫描。扫描范围从膈肌上缘到耻骨联合水平,平均扫描长度( $37.43 \pm 5.24$ ) cm。扫描后将原始数据及静脉期重建数据传至GE AW4.7工作站进行图像处理。

### 3. 图像分析

能谱参数扫描需在GEAW 4.7工作站上利用能谱成像浏览器(gemstone spectral imaging viewer, GSI)软件进行分析,取单能量值60 keV,50% ASIR-V重建。图像质量客观评价:确保观察的图像在同一层面,使用Compare软件,采用复制粘贴的方式使感兴趣区(region of interest, ROI)大小、形态和位置一致,ROI面积约为15 mm<sup>2</sup>。选取肠系膜上静脉(superior mesenteric vein, SMV)直径最大处轴面图,测量CT值和噪声以及竖脊肌的CT值和噪声,各数值均测量3次,取平均值。对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)<sup>[6]</sup> $= (\text{ROI}_o - \text{ROI}_d) / \text{SD}_n$ (其中ROI<sub>o</sub>为SMV的CT值,ROI<sub>d</sub>为同层竖脊肌CT值,SD<sub>n</sub>为同层图像平均噪声采用竖脊肌噪声),如图1所示。

由2名高年资腹部影像科医师利用GSI Viewer

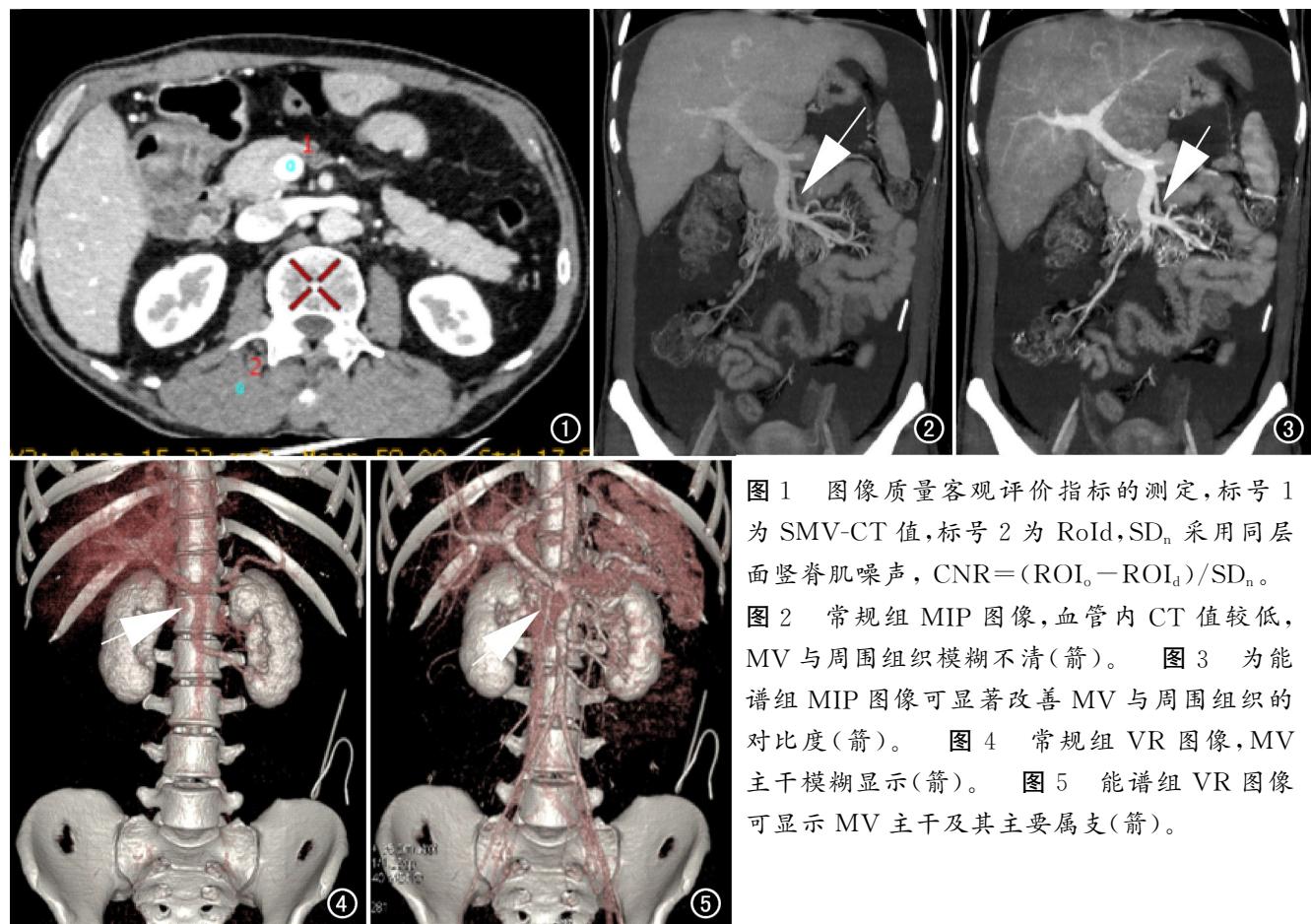


图 1 图像质量客观评价指标的测定, 标号 1 为 SMV-CT 值, 标号 2 为 RoId,  $SD_n$  采用同层面竖脊肌噪声,  $CNR = (ROI_o - ROI_d)/SD_n$ 。

图 2 常规组 MIP 图像, 血管内 CT 值较低, MV 与周围组织模糊不清(箭)。图 3 为能谱组 MIP 图像可显著改善 MV 与周围组织的对比度(箭)。图 4 常规组 VR 图像, MV 主干模糊显示(箭)。图 5 为能谱组 VR 图像可显示 MV 主干及其主要属支(箭)。

分析软件进行独立观察和测量, 图像显示采用标准软组织窗, 窗宽为 400 HU, 窗位为 40 HU。图像主观质量评分采用 5 分评分法<sup>[7]</sup>。根据血管轮廓、图像颗粒、血管解剖结构显示、SMV 与肝实质对比度、是否满足诊断要求等依次评为 1~5 分。5 分: 血管轮廓清晰且边缘锐利, 颗粒均匀, 血管解剖结构显示好, SMV 与肝实质对比度非常好, 满足诊断要求; 4 分: 血管轮廓可见但边缘模糊, 颗粒较均匀, 血管解剖结构显示较清楚, SMV 与肝实质对比度好, 达到诊断要求; 3 分: 血管轮廓断续或仅见部分显示, 颗粒欠均匀, 但尚能显示血管解剖结构, SMV 与肝实质对比度较好, 达到诊断要求; 2 分: 血管轮廓不连续, 颗粒粗大, 解剖结构较模糊, SMV 与肝实质对比度较差, 无法达到明确诊断要求; 1 分: 血管未见显示, 颗粒粗大, 解剖结构模糊, SMV 与肝实质对比度差, 无法达到诊断要求。

#### 4. 统计学分析

应用 SPSS 20.0 统计软件, 各组间性别差异、肠系膜静脉是否变异采用  $\chi^2$  检验, 能谱组与常规组年龄、BMI 比较采用两独立样本  $t$  检验, 其余各组年龄、BMI 比较采用方差分析。常规与能谱组图像质量比较采用两独立样本  $t$  检验。不同注射速率组图像质量比较采用方差分析, 若有差异, 采用 LSD 法行两两比较。动脉期后静脉期不同延迟时间组图像质量比较采用方差

分析, 两两比较采用 LSD 法。 $P < 0.05$  有统计学意义。2 位影像诊断医师的图像质量评分一致性采用 Kappa 检验,  $Kappa \geq 0.75$ , 两者一致性很好,  $0.4 \sim 0.75$ , 两者一致性一般,  $< 0.4$  两者一致性很差。

## 结 果

### 1. 一般资料比较

能谱组与常规组间性别、年龄、BMI 差异等一般资料比较无统计学意义( $P > 0.05$ ), 3.0 mL/s、3.5 mL/s 与 4.0 mL/s 组间性别、年龄、BMI 差异等一般资料比较无统计学意义( $P > 0.05$ ), 15 s、20 s 与 25 s 组间性别、年龄、BMI 等一般资料差异比较无统计学意义( $P > 0.05$ , 表 1)。

### 2. 图像质量评价

能谱组 SMV-CT 值、图像噪声均高于常规组(图 2~5), 差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 2 位医师对图像的主观评分一致性很好( $Kappa = 0.75, P < 0.001$ )。2 名医师采用盲法对图像评分, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。3.0 mL/s、3.5 mL/s 与 4.0 mL/s 组 SMV-CT 值、RoId、 $SD_n$ 、CNR 无统计学意义( $P > 0.05$ ), 2 名医师对图像的主观评分一致性很好( $Kappa = 0.75, P < 0.001$ )。2 名医师主观评价经方差分析, 差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。15 s、20 s、25 s 组 SMV-CT 值、

表 1 组间一般资料比较

组别	例数	男/女	年龄(岁)	BMI(kg/m <sup>2</sup> )
常规组	50	27/23	53.60±10.07	23.88±1.79
能谱组	50	25/25	52.70±9.33	23.28±1.81
常规组与能谱组				
<i>t</i> /χ <sup>2</sup> 值	—	0.160	0.463	1.662
<i>P</i> 值	—	>0.05	>0.05	>0.05
3.0mL/s 组	30	17/13	50.00±12.83	23.73±1.81
3.5mL/s 组	30	16/14	51.56±8.98	23.83±1.74
4.0mL/s 组	30	15/15	52.56±8.18	23.56±1.38
不同注射速率组				
<i>F</i> /χ <sup>2</sup> 值	—	0.268	0.482	0.198
<i>P</i> 值	—	>0.05	>0.05	>0.05
15s 组	30	15/15	50.50±11.70	23.06±1.92
20s 组	30	18/12	51.50±13.01	23.53±1.56
25s 组	30	17/13	53.33±12.91	23.30±1.17
不同延迟时间组				
<i>F</i> /χ <sup>2</sup> 值	—	0.630	0.393	0.647
<i>P</i> 值	—	>0.05	>0.05	>0.05

SD<sub>n</sub>、CNR 差异均有统计学意义(*P*<0.05),两位影像诊断医师对图像的主观评分一致性很好(Kappa=0.90,*P*<0.001),2名影像诊断医师主观评价差异有统计学意义(*P*<0.05,表2)。不同延迟时间组两两比较显示,15 s 与 20 s 组各数值差异均有统计学意义(*P*值分别为 0.009、0.024、0.007);15 s 与 25 s 组 CNR 差异有统计学意义(*P*=0.008);20 s 与 25 s 组 SD<sub>n</sub> 有统计学意义(*P*=0.017),见表 3。

## 讨 论

能谱扫描可在 40~140 keV 能量范围内实现任意单能量图像重建,获得血管与周围组织的最佳单能量

图像,提高对比噪声比<sup>[8]</sup>。学者<sup>[9~10]</sup>研究证实血管成像最佳单能量值多在 50~70 keV。因此本研究选用 60 keV 作为 MV 成像最佳单能量值。ASIR 技术可得到最佳图像分辨率并且大大降低噪声<sup>[11]</sup>,相比较 ASIR, ASIR-V<sup>[12~13]</sup> 数学模型更多,算法更精准。ASIR 值表示在重建原始数据时采用 ASIR 算法的比例,通常在 10%~100% 之间。随着 ASIR 值的增加,图像噪声随之降低,空间分辨力亦随之下降,容易产生图像“模糊”效应,在腹部血管的观察中以 50% ASIR-V 较佳。本研究能谱组采用 60 keV 联合 50% ASIR-V 显示 MV,但由于在 40~140 keV 能量范围内,随着能量降低 X 线穿透力亦降低,在提高图像 CT 值的同时会造成图像噪声增加,因此能谱与常规组间 CNR 差异并无统计学意义。能谱组的图像质量主观评分明显高于常规组,并且本研究证实能谱扫描可更好显示 MV(*P*<0.05)。

研究证明<sup>[14~15]</sup>采用较高注射速率、较高浓度对比剂可获得较短达峰时间、较高密度峰值,对动脉及其分支的显示有利。肝脏是双重供血器官,主要由肝动脉及门静脉共同供血,其中门静脉为正常肝脏提供 70%~75% 的血供,20%~25% 来自于肝动脉,快速注射对比剂对门脉系统的显示无益。另一方面一旦提高对比剂注射速率或增加对比剂注射剂量,更容易发生对比剂不良事件。能谱扫描及图像后处理会提高 MV 与周围组织的对比度,因此本研究对比剂剂量在 80~

表 2 图像质量客观参数与主观参数

项目	SMV-CT 值(HU)		RoId(HU)		SDn	CNR	医师 A		医师 B	
	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值			<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
常规组	214.67±40.65		68.90±7.90		12.64±2.43	10.94±3.55	3.96±0.72		3.96±0.80	
能谱组	259.34±41.04		69.63±6.33		15.35±1.30	14.91±3.55	4.66±0.55		4.66±0.80	
常规与能谱组										
<i>t</i> 值	5.466		-0.506		6.939	4.139	5.402		5.046	
<i>P</i> 值	0.000		0.614		0.000	0.000	0.000		0.000	
3.0mL/s 组	259.43±55.67		70.20±7.10		13.97±3.67	14.87±2.97	4.83±0.37		4.70±0.53	
3.5mL/s 组	265.31±52.32		67.63±6.87		15.11±3.49	15.07±2.24	4.86±0.34		4.66±0.60	
4.0mL/s 组	262.73±55.93		67.23±9.95		13.79±2.88	14.57±2.58	4.83±0.46		4.73±0.58	
不同注射速率组										
<i>F</i> 值	0.087		1.182		1.351	0.277	0.070		0.101	
<i>P</i> 值	0.916		0.311		0.264	0.759	0.932		0.904	
15s 组	210.20±39.01		67.83±8.30		14.70±2.18	10.15±2.10	4.13±0.73		3.93±0.73	
20s 组	271.50±41.67		70.56±8.69		18.46±2.59	14.70±2.47	4.80±0.48		4.66±0.54	
25s 组	259.13±48.28		69.82±5.93		14.26±3.50	14.90±3.31	4.76±0.50		4.53±0.62	
不同延迟时间组										
<i>F</i> 值	16.91		0.952		20.19	30.11	12.429		11.06	
<i>P</i> 值	0.00		0.390		0.00	0.00	0.00		0.00	

表 3 不同延迟时间组主观及客观参数两两比较

项目	SMV-CT 值(HU)		RoId(HU)		SDn		CNR		医师 A 评分		医师 B 评分	
	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
15s 组/20s 组	-61.29	0.00	-2.73	0.18	-3.76	0.00	-4.55	0.00	-0.66	0.00	-0.73	0.00
15s 组/25s 组	-48.92	0.00	-1.99	0.33	0.43	0.55	-4.75	0.00	-0.63	0.00	-0.60	0.00
20s 组/25s 组	12.36	0.27	0.74	0.71	4.20	0.00	-0.20	0.77	0.33	0.82	0.13	0.42

110 mL 范围内。MV 走行复杂且属支细小繁杂,若采用较高对比剂注射速率如 5.0 mL/s 或以上,无法保证增强后时间-密度曲线有较长且稳定的平台期,因此本研究选用 3.0 mL/s、3.5 mL/s 与 4.0 mL/s 的注射速率,并观察 3 组间图像质量的差异。3.0 mL/s 组、3.5 mL/s 组与 4.0 mL/s 组间各数值差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),这是由于对比剂到达 MV 的时间较长,MV 内对比剂浓度经体循环血液的稀释而降低,这与 Suzuki、林森等<sup>[16-17]</sup>的研究结论相同。但过于缓慢的注射速率可能会导致血管内峰值过低、对比剂反流等现象,因此应适当降低对比剂注射速率。

MV 扫描延迟时间对于成像效果影响显著,如何确定准确的扫描延迟时间,至今众多学者的观点、方法各不相同,主要为小剂量预实验法、智能跟踪触发法及经验法。小剂量预实验法耗时、受检者剂量增加,且该方法与常规剂量 MV 成像的达峰时间有所不同<sup>[18]</sup>。经验法主观性强,智能跟踪触发法单独扫描 MV 显然不适用于大多数受检者,本研究为寻求一种广泛普及、可操作性强的 MV-CT 扫描方法。根据前人研究 MV 延迟时间约为注射对比剂后 50~60 s<sup>[19]</sup>。本研究所采用的能谱扫描触发阈值为 120 HU,扫描时间为 6.2 s,且静脉期增强效果应与动脉期增强有一定相关性,本研究中所设定的不同延迟时间组,分别为动脉期后 15 s、20 s、25 s。动脉期后 20 s 组的对比噪声比高于 15 s 组,20 s 组的 CNR 与 25 s 组大致相仿,说明大多数受检者增强效果大约于动脉期后 20~25 s 达到峰值。本研究延迟时间为 20 s、25 s 主观评分最佳,且两组间主观评分差异可忽略不计。这与以往研究的结果即 MV 较佳延迟时间约为注射对比剂后 60 s 左右略有不同,主要由于本研究采用能谱扫描,而既往研究多数采用常规扫描,且本研究相关延迟时间为动脉期后延迟时间。

综上所述,肠系膜静脉 CT 成像中能谱扫描优于常规参数扫描,且对比剂注射速率推荐 3.0~4.0 mL/s,延迟时间为 20~25 s。

## 参考文献:

- [1] Karaosmanoglu AD, Uysal A, Akata D, et al. Role of imaging in visceral vascular emergencies[J]. Insights Imaging, 2020, 11(1): 112.
- [2] 何兵, 刘保东, 罗昕, 等. 急性门静脉和肠系膜上静脉血栓形成的 CT 诊断[J]. 放射学实践, 2006, 21(12): 1243-1246.
- [3] Derikx JP, Schellekens DH, Acosta S. Serological markers for human intestinal ischemia: A systematic review[J]. Best Pract Res Clin Gastroenterol, 2017, 31(1): 69-74.
- [4] Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). I. Description of system[J]. Br J Radiol, 1973, 46(552): 1016-1022.
- [5] Goo HW, Goo JM. Dual-energy CT: new horizon in medical imaging[J]. Korean J Radiol, 2017, 18(4): 555-569.
- [6] Kaga T, Noda Y, Fujimoto K, et al. Deep-learning-based image reconstruction in dynamic contrast-enhanced abdominal CT: image quality and lesion detection among reconstruction strength levels [J]. Clin Radiol, 2021, 76(9): 15-24.
- [7] 魏忠荣, 韩丹, 陈涛, 等. MSCT 肠系膜静脉成像延迟时间及重建方式的探讨[J]. 实用放射学杂志, 2016, 32(10): 1605-1608.
- [8] Li J, Wang X, Huang X, et al. Application of care dose 4D combined with Karl 3D technology in the low dose computed tomography for the follow-up of COVID-19[J]. BMC Med Imaging, 2020, 20(1): 56.
- [9] Goo HW, Goo JM. Dual-energy CT: new horizon in medical imaging[J]. Korean J Radiol, 2017, 18(4): 555-569.
- [10] 刘筱霜, 周孟, 肖艳, 等. 能谱 CT 单能量融合技术优化子宫动脉 CTA 图像质量研究[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(4): 638-642.
- [11] 殷小平, 刘笑非, 黄桦, 等. 能谱 CT 最佳单能量技术优化腹腔干动脉成像质量的研究[J]. 临床放射学杂志, 2015, 34(5): 808-811.
- [12] Han WK, Na JC, Park SY. Low-dose CT angiography using ASiR-V for potential living renal donors: a prospective analysis of image quality and diagnostic accuracy[J]. Eur Radiol, 2020, 30(2): 798-805.
- [13] 孙杰, 倪亚博, 沈云, 等. 联合全新迭代算法(ASiR-V)的 Revolution CT 低 keV 单能量优化腹部血管成像的价值[J]. 放射学实践, 2022, 37(10): 1238-1242.
- [14] Henning MK, Aaløkken TM, Johansen S. Contrast medium protocols in routine chest CT: a survey study[J]. Acta Radiol, 2022, 63(3): 351-359.
- [15] Knollmann F, Chu L, Lang JA. CT angiography for the detection of pulmonary embolism: role of tube voltage and contrast injection rate on diagnostic confidence[J]. Acad Radiol, 2022, 29(2): 91-97.
- [16] Suzuki H, Oshima H, Shiraki N, et al. Comparison of two contrast materials with different iodine concentrations in enhancing the density of the aorta, portal vein and liver at multi-detector row CT: a randomized study[J]. Eur Radiol, 2004, 14(11): 2099-2104.
- [17] 林森, 柳澄, 王丽君, 等. 对比剂不同参数选择对肝门静脉成像的影响[J]. 实用放射学杂志, 2009, 25(12): 1836-1838.
- [18] 林丽萍, 尹化斌, 庄玉忠, 等. 肝硬化受检者多层螺旋 CT 门静脉成像延迟时间优化[J]. 放射学实践, 2010, 25(10): 1121-1124.
- [19] Dohan A, Dautry R, Guerrache Y, et al. Three-dimensional MDCT angiography of splanchnic arteries: pearls and pitfalls[J]. Diagn Interv Imaging, 2015, 96(2): 187-200.

(收稿日期:2023-05-10 修回日期:2023-10-21)