

论 著

基于迭代重建技术及低管电压条件下肝脏CT增强图像特点的研究*

唐茂文^{1,2} 雷平贵² 李方燕²
邹迅² 焦俊² 余晖^{1,2,*}

1.贵州医科大学医学影像学院
(贵州 贵阳市 550004)

2.贵州医科大学附属医院医学影像科
(贵州 贵阳市 550004)

【摘要】目的 探讨基于原始数据的迭代重建技术在80kVp条件下肝脏CT增强图像特点。**方法** 回顾性分析50例上腹部怀疑病变并行腹部CT增强检查的病人资料,及其BMI小于28kg/m²,根据扫描管电压的高低电压组:80kVp组与120kVp组(各25例)。以5种不同迭代重建强度(S1、S2、S3、S4、S5)对80kVp组病人的原始数据图像进行重建,在与传统的滤波反投影法(FBP)重建的图像相比。综合使用客观评价以及主观评价对图像质量进行评估,客观评价指标包括肝脏实质CT值、空气CT值、空气标准差(standard deviation,SD)对比噪声(contrast-to-noise,CNR)、信噪比(signal-to-noise,SNR)。主观评价指标:由2名高级职称的腹组医师对病人的图像进行盲法评估,然后再对两名医师读片一致性进行检验。记录辐射剂量表,最后根据公式算出每例病人的体型特异性剂量估计值(size-specific dose estimate,SSDE)。**结果** 80kVp组CTDIvol为(10.18±1.31)mGy,SSDE为(16.11±2.20)mGy。120kVp组的CTDIvol为(14.98±2.62)mGy,SSDE为(23.02±1.87)mGy。两者差异均具有统计学意义(P<0.05)。图像质量客观评价:80kVp-FBP组或者80kVp-S3(迭代强度S3)组与120kVp组比较,肝实质CT值差异均具有显著统计学意义(P<0.05);80kVp-FBP组与80kVp-S3组比较或者80kVp-S3组和120kVp-FBP组比较,CNR和SNR差异均有统计学意义(P<0.05)。主观评价:2名高级职称的腹组医师对所有病人的图像质量评价在满足临床诊断要求条件下,且有良好的一致性(kappa值范围为0.704-0.893)。**结论** 在80kVp条件下联合迭代重建技术,并且适当提高管电流,所获得的多期扫描肝脏增强图像符合临床诊断需求,同时降低了病人受到的辐射剂量。

【关键词】 迭代重建技术; 80kVp; 肝脏CT增强检查; 辐射剂量; 图像质量

【中图分类号】 R445.3

【文献标识码】 A

【基金项目】 国家自然科学基金(81760312)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.02.038

Study on the Characteristics of Liver CT Enhanced Examination Base on the Condition of Iterative Reconstruction and Low kVp CT Protocol *

TANG Mao-wen^{1,2}, LEI Ping-gui², LI Fang-yan², ZOU Xun², JIAO Jun², YU Hui^{1,2,*}.

1.School of Medical Imaging, The Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou Province, China.

2.Department of Radiology, The Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou Province, China.

ABSTRACT

Objective To study the characteristics of liver CT enhanced examination at 80kVp with the technique of iterative reconstruction based on original data. **Methods** The study retrospectively collected 50 patients suspected of having abdominal lesions, two groups [80kVp group (n=25) and 120kVp group (n=25)] were generated according to the tube voltage. The 80kVp liver CT images with filtered back projection (FBP) and different Sinogram-Affirmed Iterative Reconstruction (SAFIRE) strength levels (S1~S5) were obtained by post-process in comparison to 120kVp liver CT enhanced examination with FBP, and image quality was evaluated by quantitatively and qualitatively. For quantitative assessment, the CT value of liver parenchymal, muscle, air, SD of air, contrast-to-noise ratio (CNR) and signal-to-noise ratio (SNR) were measured and calculated in this study. For the qualitative assessment, the whole image quality was evaluated blind by two experienced radiologists, and the inter-observer agreement was also tested. CTDIvol was recorded, and SSDE was also calculated for each patient. **Results** CTDIvol and SSDE for 80kVp group were (10.18±1.31)mGy and SSDE(16.11±2.20)mGy, respectively; However, CTDIvol and SSDE for 120kVp group were (14.98±2.62)mGy and SSDE(23.02±1.87)mGy, respectively. For quantitative assessment, there was significant statistical difference in CT value of liver parenchymal between two groups, as well as CNR and SNR for 80kVp-FBP vs. 80kVp-S3 or 80kVp-S3 vs. 120kVp-FBP. For qualitative assessment, the whole image quality was satisfactory with clinical request for two groups. **Conclusion** The image quality of liver CT enhanced examination at 80kVp was satisfactory for clinical application by means of increasing the tube current, which has a potential to reduce the radiation dose. Utilizing the technique of iterative reconstruction could improve the image quality of liver CT enhanced imaging.

Keywords: Iterative Reconstruction Technique; 80kVp; Liver CT Enhanced Examination; Radiation Dose; Image Quality.

肝脏CT增强检查作为一种影像学检查方法,对诊断肝脏疾病有重要作用。多排螺旋CT(Multislice computed tomography, MSCT)成像技术扮演着非常重要的角色,主要的原因是MSCT扫描时间短、速度快并图像层厚薄。另外,MSCT成像所得的CT图像具有较好的空间分辨率及时间分辨率,在临床上得到广泛地应用。既往研究指出MSCT扫描增加辐射剂量的同时也会提高病人癌症患病率,此扫描方式是有较高的辐射剂量的^[1];临床上,对于怀疑肝脏占位患者,多需要进行CT平扫及增强扫描,通常CT增强会在动脉期、门静脉期及延迟期进行检查采集图像,然而,多期采集图像过程中辐射剂量增加,会导致提升患者的致癌风险。因此,基于原始数据的迭代重建(Iterative reconstruction, IR)技术,在降低管电压的条件下,可以显著降低患者所接受的辐射剂量^[2-3];另外,使用迭代重建技术可以减少束硬化伪影和降低图像噪声,联合使用降低管电压,这图像质量即可满足临床诊断要求,也可以降低辐射剂量^[4-5]。然而,在不同身体质量指数(body mass index, BMI),既往使用迭代重建技术及低管电压条件下肝脏CT增强图像特点的研究并不多。本次研究目的是探讨在80kVp条件下,联合使用迭代重建技术,适当提高管电流,探讨肝脏CT增强检查所得的图像质量,从而可优化肝脏CT增强扫描及重建参数。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析本院50例行腹部CT增强检查患者的CT检查资料,50例病人的身体质量指数(body mass index, BMI)都小于28kg/m²,同时患者的肾功能eGFR > 60ml/min.m²。50例患者分成2组,80kVp组和120kVp组,80kVp组病例总共25例,其中女性10例,男性15例,年龄范围为30~80岁,平均年龄为(56.96±13.94)岁, BMI为19~27kg/m²,平均BMI(22.56±4.03)kg/m²。120kVp组25例,男性12例,女性13例,年龄30~78岁,平均(54.12±11.98)岁, BMI为18~28kg/m²,平均(22.12±3.54)kg/m²。

1.2 肝脏CT检查 50例病人的图像均在128层螺旋CT扫描仪(SOMATOM definition AS+, Siemens, Germany)上检查获得。CT扫描参数:120kVp组:管电压120kVp,管电

【第一作者】唐茂文,男,住院医师,主要研究方向:低剂量CT研究。Email: 18188018982@163.com

【通讯作者】余晖,男,副教授,主要研究方向:医学影像诊断、神经影像。Email: 331693861@qq.com

流200~250mAs, CT扫描其余参数同80kVp组。80kVp组:管电压80kVp,管电流500~600mAs,准直128x0.6mm,0.5s/r,螺距0.6。在平扫完成后,使用双筒高压注射器,推注非离子型对比剂(碘伏醇,370 mgI/mL)80mL,对比剂注入后约30s开始行肝脏CT增强检查。

1.3 图像后处理与分析 将所有原始数据传SyngoMMWP(Version VE04B)工作站;在图像处理工作站进行图像重建,层厚1mm,层间距1mm。使用正弦图确认迭代重建(Sinogram affirmed iterative reconstruction,SAFIRE)算法,在主机上重建出80kVp组5组图像,使用不同等级的迭代重建强度(S1、S2、S3、S4、S5),将80kVp组不同迭代重建强度的5组图像、80kVp组滤波反投影法(Filtered back projection,FBP)图像及120kVp组FBP图像用于客观评价。

1.4 图像质量评价

1.4.1 客观评价 利用西门子图像后处理工作站“Viewing”软件,调入80kVp组的FBP、S1、S2、S3、S4及S5六组图像和120kVp组FBP图像。客观评价中主要是测量目标器官的CT值,主要测量目标脏器:肝脏(肝右前叶、肝右后叶及肝左叶)平均CT值、竖脊肌的CT值和空气的CT值,并记空气CT值的标准差(standard deviation,SD),背景噪声为空气CT值的SD值。然后计算出肝实质对比噪声比(contrast-to-noise,CNR)和信噪比(signal-to-noise,SNR): $CNR = |CT_{肝实质} - CT_{软组织}| / SD$; $SNR = |CT_{肝实质}| / SD$ 。

1.4.2 主观评价 由2名具有高级职称的腹组诊断医生对图像质量进行主观评价,采用“5分法”(很差=1,优=5)。医师分别对80kVp组图像(FBP组和S3组)和120kVp组进行独立阅片并对图像质量进行评分,其中图像质量评分≥3分者,认为满足临床诊断要求。图像质量评价由整体图像质量评价、图像细节评价两部份组成。整体图像质量评估标准如下:1分,很差:图像质量很差,严重影响图像的观察,无法用于临床诊断;2分,差:图像质量差,噪声等于或高于平均,或存在伪影,影响图像的观察,不满足临床诊断要求;3分,中等:图像质量较好,噪声平均或低于平均,或存在噪声,但可以用于临床诊断;4分,良好:图像质量好,图像噪声低于平均,有或无伪影;5分,优秀:图像质量很好,图像噪声无或小,无伪影。记录MSCT设备上所示的容积CT剂量指数 $f_{size}^{32} \times CTDI_{vol}^{32}$ CT dose index, $CTDI_{vol}$,通过公式求得每例病人的体型特异性剂量估计(size-specific dose estimate,SSDE)值^[6]。公式里代表的是个体剂量转换系数,CTDI代表的是容积CT剂量指数。

1.5 统计学方法 采用SPSS 19.0软件对数据进行统计学分析。患

$$SSDE_{32} = f_{size}^{32} \times CTDI_{vol}^{32}$$

者年龄及BMI等指标采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)形式表示。不同目标脏器的CT值在不同组图像间的整体差异的统计学方法采用单因素方差分析。80kVp条件下不同迭代强度水平的目标脏器的CT值差异采用的统计学方法为重复测量的方差分析;80kVp条件下的FBP组(80kVp-FBP)、S3组(80kVp-S3)两组间图像的客观评价(目标脏器的CT值)、CNR、SNR采用配对样本t检验;80kVp-FBP组和120kVp条件下的FBP组(120kVp-FBP)、80kVp-S3组和120kVp-FBP三组间的客观评价指标、CNR、SNR、辐射剂量指标($CTDI_{vol}$ 及SSDE)比较采用统计学方法为独立样本t检验。阅片者间的一致性分析采用Kappa检验,并计算出95%置信区间(Confidence interval,CI)。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 辐射剂量 80kVp组和120kVp组的 $CTDI_{vol}$ 分别为(10.18±1.31)

mGy和(16.11±2.20)mGy(t=8.139,P<0.001),SSDE分别为(14.98±2.62)mGy和(23.02±1.87)mGy(t=11.976,P<0.001)。

2.2 图像质量客观评价

2.2.1 80kVp条件下不同迭代重建强度的图像及FBP图像的客观评价 对于肝实质及肌肉的CT值,针对不同的图像重建算法,在FBP及不同的迭代重建水平(S1~S5)间整体无明显差异(P值分别为0.681和0.063),而空气及空气的SD值在FBP及不同的迭代重建水平(S1~S5)间整体差异均有显著统计学意义(P值均<0.001)(表1)。

2.2.2 80kVp-FBP、80kVp-S3组图像与120kVp-FBP组图像客观评价比较: 1)肝实质的CT值的特点:在80kVp-S3与120kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(t=2.035, P=0.047),在80kVp-FBP与120kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(t=2.034, P=0.048),而在80kVp-FBP与80kVp-S3间差异无显著统计学意义(t=-0.050, P=0.960)。2)肌肉的CT值的特点:在80kVp-S3与120kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(t=2.035, P=0.038),在80kVp-FBP与120kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(t=2.140, P=0.038),而在80kVp-FBP与80kVp-S3间差异无显著统计学意义(t=0.637, P=0.960)。3)图像噪声的变化特点:空气的CT值SD在80kVp-FBP与80kVp-S3间差异具有显著统计学意义(t=21.560, P<0.001),在80kVp-FBP与120kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(t=2.556, P=0.014),在80kVp-S3与120kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(t=-2.313, P=0.026)。4)肝脏CNR值:在80kVp-FBP与80kVp-S3间差异具有显著统计学意义(t=-6.282, P<0.001),在80kVp-FBP与120kVp-FBP间差异无显著统计学意义(t=0.364, P=0.718),在80kVp-S3与120kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(t=2.109, P=0.040)。5)肝脏SNR值:在80kVp-FBP与80kVp-S3间差异具有显著统计学意义(t=-12.229, P<0.001),在80kVp-FBP与120kVp-FBP间差异无显著统计学意义(t=-0.240, P=0.811),在80kVp-S3与120kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(t=3.962, P<0.001)(表2)。

2.3 图像质量主观评价

2.3.1 两位阅片者对80kVp-FBP、80kVp-S3组图像与120kVp-FBP组主观评价 至于主观评价,两位影像科医师对三组图像进行盲法评价,即120kVp-FBP组、80kVp-FBP图像与80kVp-S3组图像。图像质量整体评分:所有患者的图像的图像质量均满足临床诊断要求(主观评分均≥3分)。阅片者A对120kVp-FBP组图像质量整体评估:3分2例,4分11例,5分12例;80kVp-FBP组图像质量整体评估:3分6例,4分18例,5分1例;80kVp-S3组图像质量整体评估:3分1例,4分20例,5分4例。阅片者B对120kVp-FBP组图像质量整体评估:3分3例,4分12例,5分10例;80kVp-FBP组图像质量整体评估:3分7例,4分18例;80kVp-S3组图像质量整体评估:3分1例,4分19例,5分5例。80kVp-FBP与80kVp-S3两组图像的整理图像质量不同,其差异具有显著统计学意义(Z=-2.754, P = 0.006),在120kVp-FBP与80kVp-FBP间差异具有显著统计学意义(Z=-3.194, P = 0.001),在120kVp-FBP与80kVp-S3间差异无具有显著统计学意义(Z=-1.245, P = 0.213)。

2.3.2 阅片者主观评价的一致性分析 由两位有经验的阅片者对三组图像进行盲法阅片评价,即评价80kVp-FBP、80kVp-S3组及120kVp组的图像质量,同时对两位阅片者主观评价结果进行一致性分析。研究结果显示在80kVp-FBP组,两位阅片者间的Kappa值为0.812(95%CI: 0.575~1.000);两位阅片者对于80kVp-S3组间的Kappa值为0.893(95%CI: 0.685~1.000);120kVp-FBP组间的Kappa值为0.704(95%CI: 0.450~0.959)。

表1 80kVp条件下肝脏、肌肉、空气及SD在FBP及不同迭代强度CT值变化情况表

CT值及噪声	80kVp						P value
	FBP	S1	S2	S3	S4	S5	
肝脏	71.51±14.32	71.53±14.33	71.53±14.31	71.51±14.31	71.52±14.27	71.53±14.28	0.681
肌肉	60.81±8.5	60.76±8.39	60.74±8.32	60.72±8.24	60.72±8.17	60.71±8.11	0.063
空气	-1000.82±3.32	-1000.76±3.21	-1000.46±3.04	-1000.08±2.92	-999.66±2.77	-999.34±2.76	<0.001
SD	9.85±3.0	9.00±2.84	7.93±2.71	6.82±2.57	5.83±2.50	4.69±2.40	<0.001

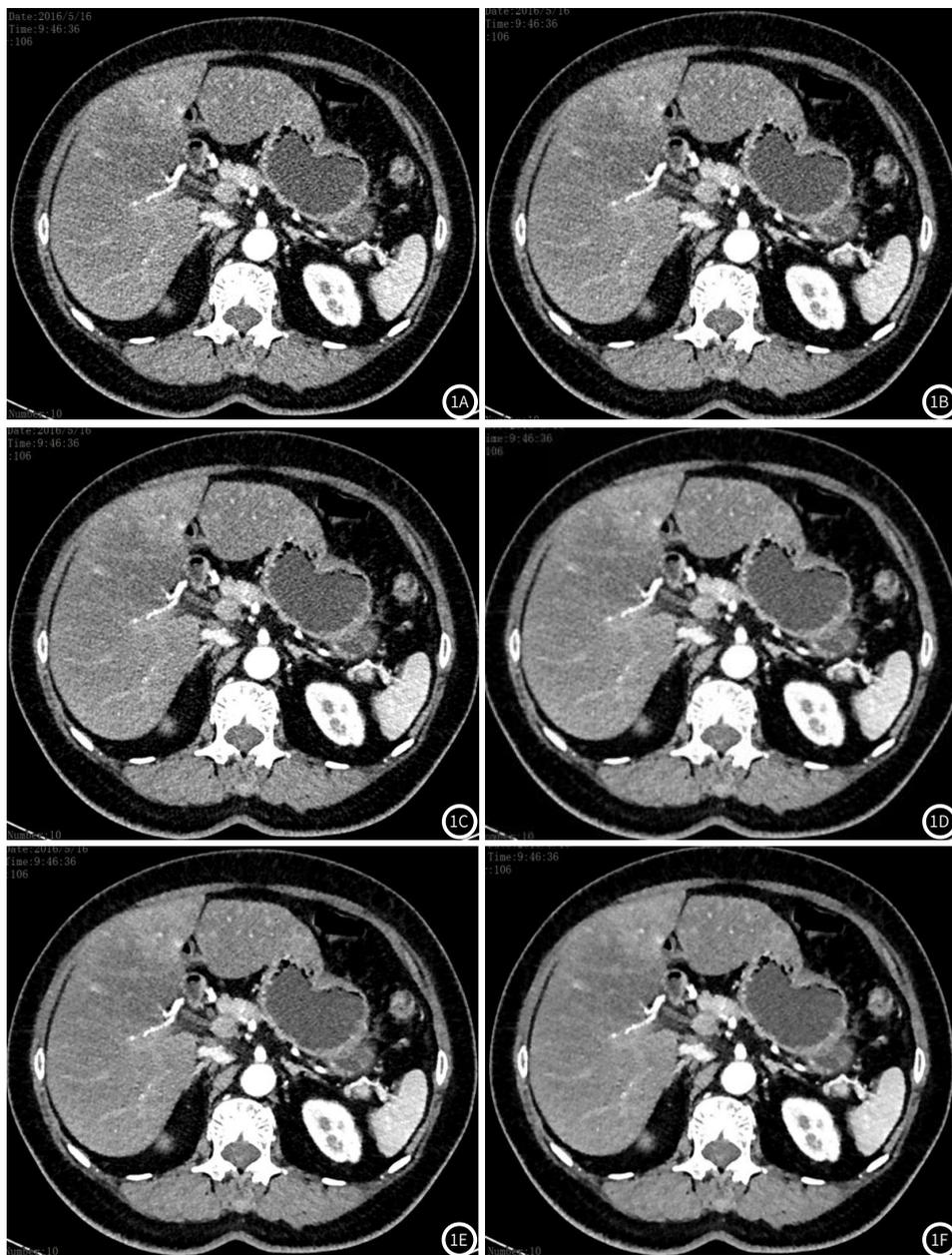


图1 女性, 38岁, 上腹部不适而行80kVp条件下上腹部CT增强检查, CT增强图像显示肝实质密度局限性低强化, 病变边界欠清晰。对比FBP重建的图像(图1A)与SAFIRE不同迭代强度(S1-S5)重建的图像(图1B~图1F), SAFIRE重建出的图像要比FBP重建出的图像噪声小; 但随着迭代重建强度的逐渐增加, 图像的“腊样”伪影逐渐加重, 而取迭代重建强度为3时得到的图像比较满意。

表2 80kVp-FBP、80kVp-S3和120kVp-FBP间客观与主观评价的比较

客观/主观评价	80kVp		120kVp	P值	P值	P值
	FBP	S3	FBP			
肝脏	71.51±14.32	71.51±14.31	63.49±13.53	0.960	0.048	0.047
肌肉	60.81±8.5	60.72±8.24	55.88±7.77	0.530	0.038	0.038
空气	-1000.82±3.32	-1000.08±2.92	-1000.92±2	<0.001	0.906	0.243
SD	9.85±3	6.82±2.57	8.16±1.38	<0.001	0.014	0.026
CNR	1.56±1.09	2.31±1.67	1.44±1.19	<0.001	0.718	0.040
SNR	7.83±2.58	11.58±4.06	7.99±2.02	<0.001	0.811	<0.001
整体图像质量	3.76±0.46	4.14±0.45	4.34±0.61	0.006	0.001	0.213

3 讨论

肝脏由于其解剖位置和组织, 以及其独特的代谢和免疫抑制环境, 肝脏常被其他各种病变所侵犯受累, 其中肝占位性病变在临床中较为常见。肝脏占位性病变可以分成良性和恶性两大类, 良性病变包括肝囊肿、FNH、肝细胞腺瘤、肝血管瘤、肝脓肿等, 恶性病变主要包括肝癌、胆管细胞癌及转移癌等^[7,8]。因部分肝脏病变的临床症状及体征表现有重叠, 缺乏典型的特征性征象及临床体征, 诊断及鉴别诊断有一定的困难。另外, 对于肝脏恶性病变的早期诊断, 对于患者治疗方案的选择及预后均有重要影响^[9]。临床上, 肝脏病变的主要辅助检查手段有超声、CT及MRI检查, 其中, 肝脏CT检查具有速度快、效率高、安全、方便等优点, 是临床上最常用的检查方法。肝脏的CT扫描方法主要包括肝脏CT平扫及CT增强, 肝脏CT增强检查主要包括三个期相: 动脉期、门静脉期及延迟期。肝脏的多期CT检查, 使患者重复接受辐射剂量, 从而导致辐射剂量的增加。然而, 辐射剂量的多少与患癌风险存在一定的关系, 辐射剂量增加会增加致癌风险^[1]。因此, 针对肝脏病变患者需要肝脏CT增强检查, 如何合理达到尽量低剂量的原则是临床诊疗与保健体检等医疗活动中所迫切关注的科学问题。相关研究显示, 使用IR重建技术结合低管电压, 可以获得满足临床诊断要求的高质量图像, 由于使用低管电压, 辐射剂量显著降低, 因此, 在多期增强扫描过程中能明显降低病人所受到的辐射剂量^[3,5,10]。

SAFIRE技术之前很早就被提出, 由于既往计算机处理图像时间较长, 不能很好的满足临床应用需求, 从而未得到广泛临床应用。此IR迭代算法利用病人的原始数据, 通过反复迭代重建, 迭代等级逐渐增加, 用这种方法, 不仅可以保持图像清晰度, 而且降低了图像噪声^[3,11]。SAFIRE技术与传统的FBP技术相比, SAFIRE技术可以降低图像噪声, 从而可以得到满足临床诊断要求的图像质量^[12-14], 因此利用该技术可以获得较高质量的图像。之前研究结果指出, 身体质量指数(BMI)18~24kg/m², 扫描环境在80kVp下的上腹部CT增强图像能达到临床诊断标准^[15]。因此, 本研究采用相同条件(迭代重建技术及管电压为80kVp条件下, 且BMI小于28kg/m²的患者), 并且适度提高管电流, 此时上腹部肝脏增强图像符合临床诊断标准。在BMI小于28kg/m²的病人中采取适当迭代等级的IR重建技术, 能降低图像噪声, 提高肝脏增强扫描的图像质量。使用迭代重建技术以及管电压80kVp扫描条件下, 患者接受的辐射剂量降低。80kVp组与120kVp组图像进行组间比较, 前者具有清晰的图像质量、低噪声、高噪声比和信噪比等优点, 可达到临床医生的诊断要求(参见图1)。

研究中用客观评价、主观评价进行评价图像质量, 选迭代重建强度为3的80kVp扫描条件下图像, 与120kVp扫描条件下图像作主观评价比较, 图像中的噪声随着迭代次数的增加而逐渐减小, 噪声比与信噪比均增高, 同时, 增强扫描所获得的CT图像的“蜡样”伪影随着迭代等级增高而加重。根据这项研究结果, 其与之前的研究相似^[3,11]。另外, 与120kVp的管电压相比, 使用低管电压80kVp条件下扫描, 当器官或组织的CT值发生变化时, 它会增加图像的对数对比度, 但是图像的噪声也会相应地增加(表1), 如何降低图像噪声是临床需要解决的问题。因此, 在我们的研究中, 使用80kVp条件下, 所得图像肝脏实质的CT值发生了变化, CT值明显增高, 图像的对数对比度增加; 同时, 为了降低噪声, 我们联合应用迭代重建技术, 降低图像噪声, 获得具有较高的CNR及SNR的图像(表2), 从而可以提高图像质量。迭代重建和80kVp条件扫描下是对病变的检出与诊断有益的技术, 主要是因为病变组织与正常组织之间的对比度提高了。

多期增强扫描越多, 不仅病人所到的辐射剂量会增加, 而且会导致病人的致癌的风险提高^[1]。对于需要多期CT扫描的患者, 应在保证获得满足临床诊断要求前提下, 尽量降低辐射剂量, 达到合理的尽可能的低剂量原则。目前, 评估辐射剂量的参数, 主要包括CTDIvol、DLP、ED及SSDE, 其中CTDIvol、DLP、ED与SSDE不同, 这三个参数主要跟设备和检查者部位有关, 而SSDE

除此之外, 还增加了患者体型的因素。在影响辐射剂量的因素中, 管电压、管电流起着非常重要的作用, 因为管电压与辐射剂量成指数关系, 而管电流与辐射剂量成线性关系。因此, 从公式可以发现降低管电压所降低的辐射剂量比降低管电流的辐射剂量要更多(指数关系与线性关系)。但是, 由于MSCT降低管电压扫描, 所得的图像质量噪声就会增加, 图像对比度也会增加, 而适当地增加管电流就可以提高图像质量。80kVp条件下扫描与常规120kVp条件下扫描相比, 辐射剂量降低, 图像对比度增加, 不会导致较小病灶漏诊。

本研究具有一定的局限性: 1)本研究结果显示低管电压条件下联合使用迭代重建技术所得图像具有一定的特点, 但是本研究样本量较少, 需要扩充样本量进一步研究肝脏CT增强不同期相图像的特点。2)不同的BMI患者, 所得图像质量不同, 本研究只针对BMI小于28kg/m²患者, 在以后的研究中, 我们期望针对不同BMI的患者, 可根据BMI大小制定个性化肝脏CT增强扫描方案及重建参数的选择, 达到尽可能的低剂量原则。

综上所述, 对于BMI小于28kg/m²患者, 在接受肝脏CT增强检查时, 使用80kVp管电压并适当提高管电流, 在采取适当等级的迭代重建技术降低图像噪声, 也可获得满意的图像质量, 降低患者的辐射剂量。

参考文献

- [1] Brenner D J, Hall E J. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure[J]. *N Engl J Med*, 2007, 357(22): 2277-2284.
- [2] 牟东景, 周刚. 双低剂量联合迭代重建算法在头颈部CTA检查中的应用研究[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2017(12): 23-25+29.
- [3] 张宏宾, 袁海燕, 王小乐. 低剂量CT与迭代重建技术在健康体检筛查早期肺癌中的可行性分析[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2018, 16(9): 14-16+37.
- [4] 胡娟, 王鹤, 王霄英, 等. 迭代算法在100kVp分次团注二期CTU检查中的应用研究[J]. *放射学实践*, 2013, 28(5): 509-513.
- [5] 曾宪春, 刘莉, 韩丹, 等. 80kVp扫描联合基于原始数据的迭代重建技术在儿童副鼻窦CT检查中的应用[J]. *中国医学影像技术*, 2015, 31(9): 1406-1409.
- [6] 张晓东, 郭小超, 王霄英. 体型特异性剂量估计的最新概念及临床应用[J]. *中国医学影像技术*, 2016, 32(12): 1822-1826.
- [7] Sheefa H, Lata J, Basharat M, et al. Utility of FNAC in conjunction with cell block for diagnosing space-occupying lesion (SOL) of liver with emphasis on differentiating hepatocellular carcinoma from metastatic SOL: analysis of 61 cases[J]. *Oman Medical Journal*, 2016, 31(2): 135.
- [8] Sharma K, Gupta N, Goyal K, et al. Evaluation of polymerase chain reaction in space-occupying lesions of liver reported as granulomatous inflammation/tuberculosis on fine-needle aspiration cytology[J]. *Cytojournal*, 2017, 14: 1.
- [9] Peng J, Li J, Li J, et al. Could ADC values be a promising diagnostic criterion for differentiating malignant and benign hepatic lesions in Asian populations: A meta-analysis[J]. *Medicine*, 2016, 95(48): e5470.
- [10] Chen C Y, Hsu J S, Jaw T S, et al. Lowering radiation dose during dedicated colorectal cancer MDCT: comparison of low tube voltage and sinogram-affirmed iterative reconstruction at 80 kVp versus blended dual-energy images in a population of patients with low body mass index[J]. *Abdom Imaging*, 2015, 40(7): 2867-2876.
- [11] Chen G Z, Zhang L J, Schoepf U J, et al. Radiation dose and image quality of 70 kVp cerebral CT angiography with optimized sinogram-affirmed iterative reconstruction: comparison with 120 kVp cerebral CT angiography[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(5): 1453-1463.
- [12] Sun H, Xue H D, Jin Z Y, et al. Non-enhanced low-tube-voltage high-pitch dual-source computed tomography with sinogram affirmed iterative reconstruction algorithm of the abdomen and pelvis[J]. *Chin Med Sci J*, 2014, 29(4): 214-220.
- [13] Fletcher J G, Krueger W R, Hough D M, et al. Pilot study of detection, radiologist confidence and image quality with sinogram-affirmed iterative reconstruction at half-routine dose level[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2013, 37(2): 203-211.
- [14] Solomon J, Samei E. Quantum noise properties of CT images with anatomical textured backgrounds across reconstruction algorithms: FBP and SAFIRE[J]. *Medical Physics*, 2014, 41(9): 091908-091908.
- [15] 姜健, 王可, 许玉峰, 等. 低辐射剂量肝脏CT增强扫描: 80kVp结合迭代重建技术的初步研究. *放射学实践*, 2016, 31(4): 316-320.

(收稿日期: 2021-01-12)

(校对编辑: 何镇喜)