doi:10.11659/jjssx.11E023116

·临床研究·

基于体表面积降低对比剂剂量对肝脏增强双能CT图像质量的影响

雷瑜竹[1],李晓明[2],季 冰[2],王 洁[2],李 静[2],陈 伟[2],李 莲[2] (1.陆军第七十九集团军医院医学影像科,辽宁 辽阳 111000;2.陆军军医大学第一附属医院放射科,重庆 400038)

[摘 要] **目的** 基于体表面积(BSA)个性化计算对比剂剂量,探究能否在减少对比剂剂量的情况下,通过双能CT获得虚拟单能量或重建融合的方法达到不影响门静脉主干增强效果的可行性。**方法** 选择陆军军医大学第一附属医院接受上腹部CT增强检查的60例患者,分为正常剂量组和降低剂量组。正常剂量组以BSA估算值作为对比剂剂量,降低剂量组采用BSA估算值减少20%作为对比剂剂量。2组患者门静脉期均采用双能CT扫描方式,且扫描参数相同。扫描结束后,用西门子多模图像工作站Syngo双能量后处理软件对降低剂量组门静脉期5 mm层厚图像进行"最佳对比度(OC)"和"单能量(Mono)"两种方式重建融合,测量各组图像中的门静脉主干和正常肝实质的CT值和SD值,计算出门静脉与肝实质的对比噪声比(CNR)和门静脉信噪比(SNR)。**结果** 与正常剂量组相比,降低剂量OC组主观评分差异无统计学意义($P>0.05$),但图像门静脉主干CNR、SNR显著提高($P<0.05$)。降低剂量Mono组图像门静脉CT值、门静脉与肝实质差值明显低于正常剂量组,且主观评分最低,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 在降低20%对比剂剂量的情况下,通过双能CT重建融合的方法,不仅能减少对比剂对患者的损害,而且可显著改善病灶显示,提高肝脏增强图像质量一致性。

[关键词] 双能CT;肝脏增强;对比剂;体表面积
[中图分类号] R445.3 [文献标志码] A [收稿日期] 2023-11-25

Effect of reducing contrast agent dosage based on body surface area on the quality of liver enhanced dual-energy CT images

LEI Yu-zhu[1], LI Xiao-ming[2], JI Bing[2], WANG Jie[2], LI Jing[2], CHEN Wei[2], LI Lian[2] (1. Department of Medical Imaging, the 79th Military Group Hospital of the Army, Liaoyang Liaoning 111000, China; 2. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective Personalized calculation of contrast agent dose based on body surface area (BSA) was conducted to explore the feasibility of obtaining virtual single energy or reconstruction fusion through dual-energy CT without affecting the enhancement effect of portal vein trunk under the condition of reducing the contrast agent dose. **Methods** A total of 60 patients who received enhanced upper abdominal CT examination in the First Affiliated Hospital of Army Medical University were selected and divided into the normal dose group and the reduced dose group. The normal dose group used the BSA estimated value as the contrast agent dose, and the reduced dose group used the BSA estimated value reduced by 20% as the contrast agent dose. Both groups of patients were treated with dual-energy CT scanning in portal vein stage, and the scanning parameters were the same. After scanning, Syngo dual-energy post-processing software of Siemens multi-mode image workstation was used to reconstruct and fuse the 5 mm layer thickness image of the portal vein stage in the reduced dose group by two methods: "optimum contrast (OC)" and "monoenergetic (Mono)". The CT value and SD value of the portal vein trunk and the normal liver parenchyma of images in each group were measured. The contrast to noise ratio (CNR) of theportal vein and the liver parenchyma and portal vein signal to ratio (SNR) were calculated. **Results** Compared with the normal dose group, there was no statistically significant difference in the subjective score in the reduced dose OC group ($P>0.05$), but the CNR and SNR of the portal vein trunk in the images were significantly improved ($P<0.05$). The portal vein CT value and the difference between portal vein and liver parenchyma in the reduced dose Mono group were significantly lower than those in the normal dose group, and the subjective score was the lowest, with statistical differences ($P<0.05$). **Conclusion** In the case of reducing the contrast agent dose by 20%, the dual-energy CT reconstruction fusion method can not only reduce the damage of contrast agent to patients, but also significantly improve the lesion display, and improve the consistency of liver enhancement image quality.

Keywords: dual-energy CT; liver enhancement; contrast agent; body surface area

肝脏增强CT广泛应用于临床,在病变的诊断、分期和疗效评价中发挥重要作用。肝脏门静脉期成像为回流性的血液成像,对比剂浓度在门静脉会降低[1]。临床检查中常根据体质量估算对比剂剂量,一般采取宁多勿少的原则以保证图像增强效果[2]。但是,随着

[基金项目] 重庆市自然科学基金(CSTB2022NSCQ-MSX1371)
[通信作者] 李 莲,E-mail:190441541@qq.com

对比剂剂量的增加,图像中的硬化伪影也会增加[3],而且对比剂过量还会增加毒副反应发生率、辐射剂量及对比剂外渗风险[4]。有研究比较了根据净体质量、体质指数(body mass index,BMI)、体表面积(body surface area,BSA)等估算肝脏对比剂剂量,并认为净体质量估算比较繁琐;BMI主要反映的是患者的胖瘦和体形特征,体质量增加与对比剂剂量的增加并非线性关系,会存在剂量高估;BSA常用于生理学测量和临床给药剂量计算,可直接反映基础代谢率且计算简便,更适合个体化计算对比剂剂量[5-6]。

双能CT同时采集2组高低不同kVp值的X射线投影数据,可回顾性重建不同keV水平的单能量(monoenergetic,Mono)图像[7]。我们前期的研究结果表明,双能CT的非线性融合技术可以在提高图像双能量数据中低kVp成像比重的同时降低图像噪声,并可使门静脉期肝实质增强幅度提高20.4%,在保持图像质量不变的情况下对比剂剂量可减少20.0%~40.0%[8]。本研究前瞻性地采用双能CT非线性融合技术,基于BSA计算对比剂剂量,探讨在确保影像质量的基础上降低对比剂剂量,减少对比剂过度使用的可行性。

1 资料与方法

1.1 临床资料

连续采集陆军军医大学第一附属医院2022年4~5月收治的60例行上腹部CT增强检查患者的图像资料,随机分为2组,每组30例。正常剂量组以BSA估算值作为对比剂剂量,降低剂量组以BSA估算值减少20%作为对比剂剂量。纳入标准:年龄35~75周岁;性别、年龄、身高和体质量等基本信息完整;病灶范围较小,不影响门静脉期肝实质和门脉的图像分析。排除标准:存在CT检查禁忌证;处于妊娠或哺乳期;存在严重心、脑、肾、心血管疾病及严重免疫系统疾病、严重神经体统疾病;无法正常沟通交流;抗拒、放弃或不能配合检查等。本研究已获得医院伦理审查委员会批准(伦理批号:KY201814),患者对本研究知情并签署知情同意书。

1.2 检查方法

检查前患者签署CT检查知情同意书。根据患者身高(H)、体质量(W),计算对比剂剂量[9]:BSA(m^2)=0.007 184×H(cm)$^{0.725}$×W(kg)$^{0.425}$;对比剂剂量=BSA×0.362×HU/0.3(HU为50,临床上一般认为门静脉期肝实质强化CE值大于50 HU才能达到增强效果)[5]。正常剂量组患者直接采用BSA估算对比剂剂量,降低剂量组患者以BSA估算值减少20%作为对比剂剂量。经肘正中静脉团注对比剂,注射时间均为20 s,注射速率=对比剂剂量/20。应用Siemens SOMATOM Force双源CT机采集数据,在CT扫描仪上选择上腹部双能扫描协议。在多期扫描中,增强前平扫期、增强后动脉期和延迟期均采用单能CT扫描方式,仅门静脉期采用双能CT扫描方式。

1.3 图像处理

选择5 mm层厚门静脉期图像,采用西门子多模图像工作站Syngo双能量后处理软件进行重建。首先保存正常剂量组扫描完成后自动生成的F_0.6序列5 mm层厚图像,其次选取降低剂量组扫描完成后自动生成的5 mm层厚的A、B双能量门静脉期图像,以“CT双能量”的模式打开,选择子菜单中的“最佳对比度(optimum contrast,OC)”,选择“发布结果”进行保存,作为降低剂量OC组。最后,再次选择子菜单中的“单能量(Mono)”重建单能量图像,选择“发布结果”进行保存,作为降低剂量Mono组。

在上述3种图像中,选取门静脉主干层面上下三层,测量肝门水平层面门静脉主干的CT值和标准差(SD)值,感兴趣区(region of interest,ROI)为30 mm^2,测量同一层面肝实质(肝左叶和右前后叶距离肝边缘约2 cm的适当位置)的CT值及SD值,ROI为100 mm^2,取3次的平均值。ROI的选择采用“拷贝-粘贴”的方法,以保证数据可比性。以肝实质CT值的SD作为图像噪声,计算门静脉对比噪声比(contrast to noise ratio,CNR)和信噪比(signal to ratio,SNR),CNR=(CT门静脉-CT噪声)/SD噪声,SNR=CT门静脉/SD噪声,门静脉与肝实质差值=门静脉CT值-肝实质CT值[10]。

1.4 主观评价

由2名放射科医师(均具有5年以上工作经验)在相同窗宽、窗位条件下对3种图像分别进行图像质量评分[10]。评价内容包括门静脉边缘清晰度、肝内门静脉分支水平、门静脉和肝实质之间的对比度。采用5分制图像质量评价标准:5分为门静脉边缘非常锐利,与肝实质对比佳,可显示门静脉主干4级及以上分支;4分为门静脉边缘比较锐利,与肝实质对比良好,显示门静脉主干第3级分支;3分为门静脉边缘较清楚,与肝实质对比中等,显示门静脉主干第2级分支;2分为门静脉边缘不清楚,与肝实质对比较差,仅显示门静脉主干第1级分支;1分为门静脉边缘模糊,与肝实质对比差,仅显示门静脉主干。

1.5 统计学分析

采用IBM SPSS Statistic 25.0统计软件,数据结果以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示。对2组患者的年龄、身高、体质量、注射速度(符合正态分布)行独立样本t检验;对3组后处理图像客观评价指标进行正态性检验和方差齐性检验,满足正态分布且方差齐同的采用t检验,否则采用*Mann-Whitney U*检验,P<0.05为差异有统计

学意义。主观评价指标采用*Mann-Whitney U*检验，$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2组患者一般情况及注射速度比较

正常剂量组和降低剂量组患者的性别、年龄、身高、体质量的差异无统计学意义($P>0.05$)，2组患者的注射速度比较，差异具有统计学意义($P<0.05$)，见表1。

2.2 图像客观评价指标比较

3组后处理图像门静脉CT值、门静脉与肝实质差值、门静脉主干CNR、SNR及图像噪声见表2。降低剂量OC组与正常剂量组门静脉CT值比较差异无统计学意义($P>0.05$)，降低剂量Mono组门静脉CT值低于正常剂量组及低剂量OC组($P<0.000\ 1$)；降低剂量OC组门静脉主干CNR高于正常剂量组及降低剂量Mono组($P<0.000\ 1$)。降低剂量Mono组与正常剂量组门静脉主干CNR比较差异无统计学意义($P>0.05$)；降低剂量OC组SNR高于正常剂量组及降低剂量Mono组($P<0.000\ 1$)，降低剂量Mono组SNR高于正常剂量组($P=0.012\ 8$)；降低剂量OC组门静脉与肝实质差值高于正常剂量组($P=0.018\ 7$)，降低剂量Mono组门静脉与肝实质差值低于正常剂量组和降低剂量OC组($P<0.000\ 1$)；降低剂量OC组和降低剂量Mono组图像噪声均低于正常剂量组($P<0.000\ 1$)，降低剂量OC组图像噪声高于降低剂量Mono组($P<0.000\ 1$)。

表1 2组患者一般情况及注射速度比较

组别	性别(例) 男	女	年龄(岁)	身高(cm)	体质量(kg)	注射速度(mL/s)
正常剂量组	15	15	55.1±10.3	158.9±7.8	59.7±10.0	4.9±0.5
降低剂量组	20	10	57.8±11.3	161.9±7.4	61.4±9.1	4.0±0.3
P	0.190		0.340	0.130	0.480	0.000

表2 3组门静脉后处理图像客观指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	*n*	门静脉CT值(HU)	门静脉主干CNR	SNR	门静脉与肝实质差值(HU)	图像噪声(HU)
正常剂量组	30	223.13±22.53	8.68±2.23	23.04±3.04	84.25±20.99	9.79±0.91
降低剂量OC组	30	219.19±27.67	12.75±3.27*	28.41±4.39*	98.72±24.44*	7.86±1.21*
降低剂量Mono组	30	179.86±15.55*#	8.95±2.18#	25.28±3.59*#	63.96±14.67*#	7.26±1.13*#

*：与正常剂量组相比，$P<0.05$；#：与降低剂量OC组相比，$P<0.05$

2.3 图像主观评价

2名医师主观评分一致性较高，降低剂量OC组与正常剂量组主观评分差异无统计学意义($P>0.05$)，降低剂量Mono组主观评分低于正常剂量组及降低剂量OC组($P<0.05$)，见表3。

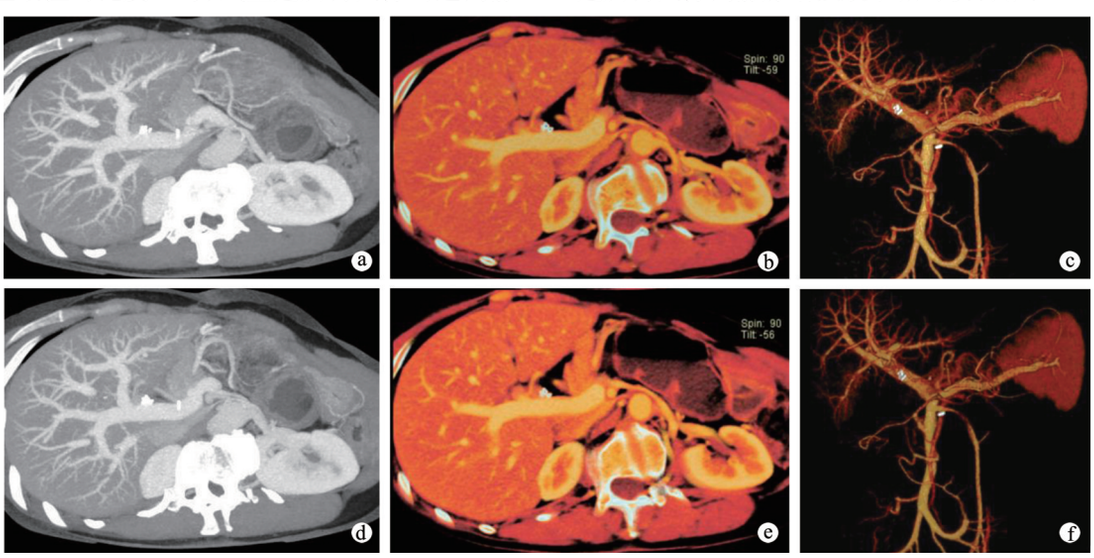
表3 3组门静脉后处理图像主观评分比较($\bar{x}\pm s$，分)

组别	*n*	主观评分1	主观评分2	*P*
正常剂量组	30	4.23±0.50	4.27±0.57	>0.999
降低剂量OC组	30	4.30±0.46	4.40±0.49	0.581
降低剂量Mono组	30	4.00±0.52*#	4.10±0.47*#	0.548

*：与正常剂量组相比，$P<0.05$；#：与降低剂量OC组相比，$P<0.05$

2.4 典型病例

患者，男，55岁，身高165.5 cm，体质量59.1 kg，胰腺占位。经最佳对比度OC方式重建所得图像对远门静脉分支的显示更为清晰(图1a~c)，而通过单能量Mono重建所得图像门静脉增强效果相对较弱(图1d~f)。



a：降低剂量OC组门静脉最大密度投影图；b：降低剂量OC组门静脉容积再现图；c：降低剂量OC组门静脉容积重建图；d：降低剂量Mono组门静脉最大密度投影图；e：降低剂量Mono组门静脉容积再现图；f：降低剂量Mono组门静脉容积重建图

图1 典型病例

3 讨论

本研究基于BSA估算对比剂剂量,探究能否在减少20%对比剂剂量的情况下,通过双能CT非线性融合技术达到不影响门静脉主干增强效果的目的,结果显示,与正常剂量组相比,降低剂量组采用最佳对比度OC重建后图像门静脉主干CNR、SNR显著提高。这表明重建融合获得的OC图像增强效果更好,图像质量更高,为改善病灶显示提供了可能。同时,经OC重建获得的图像门静脉与肝实质差值也较大,门静脉成像清晰,远门静脉分支边缘显示更好。而且,最佳对比度OC重建后图像主观评分较高,虽然降低了对比剂剂量,但其主观评分与正常剂量图像主观评分并无显著差异。经单能量Mono重建所获图像门静脉CT值、门静脉与肝实质差值明显低于正常剂量组。提示在降低对比剂剂量时,使用单能量重建图像门静脉显示效果不佳,并不能达到理想的诊断要求。此次实验结论与先前文献报道[11]相一致,证实了双能CT特有的非线性融合技术可以在双能扫描的前提下,使用计算机软件技术增加门静脉期肝实质与门静脉差值,可弥补因对比剂不足而造成的增强不充分,表明了以此降低对比剂剂量的可行性。

伴随着当前各种造影中对比剂的广泛使用,对比剂肾病的发病率逐年升高,已成为继缺血和药物损伤后患者急性肾损伤的重要病因[12]。普通人群中对比剂肾病的发生风险为1%~2%,但合并多种基础疾病(如糖尿病、慢性肾功能不全等)的患者发生对比剂肾病的风险则高达50%[13],而需要进行CT增强检查的患者大多伴有多种基础疾病。对比剂肾病的发生不仅会延误患者治疗时机,还会增加不良结局和死亡风险。由于对比剂肾病具有剂量依赖性,其发生率与对比剂剂量相关,故在不影响图像质量的前提下,减少碘对比剂的剂量,对于降低对比剂肾病的发生风险具有重要意义。

本研究不足之处在于2组患者例数偏少,收集时间区域跨度小;其次,根据前期文献调研,在满足临床诊断的条件下,上腹部增强的对比剂剂量可降低40%[8],为最大程度保证试验的成功率及增强的效果,本研究最终只设置了减少20%对比剂剂量作为观察组,对于最多可减少约40%对比剂剂量未进行试验探究;最后,本研究缺少对辐射剂量的评估,已有研究证实,采用低千伏扫描不仅能减少对比剂使用剂量,而且可降低20%~40%的辐射剂量[14]。下一步将收集更多的患者,设置多种降低剂量的观察组,使研究数据更精准。

总之,在肝脏双能CT检查中,最佳对比度OC重建图像优于单能量Mono图像。采用双能CT结合图像可显著提高门静脉期增强效果,同时也为减少对比剂剂量过度使用、降低对比剂肾病发生率提供可能。

[参考文献]

[1] 周彦宇,林雁玲. 双源CT虚拟单能量成像技术不同keV值对门静脉成像质量提高的研究[J]. 现代医用影像学,2022,31(2):199-203. doi:10.3969/j.issn.1006-7035.2022.2.xdyyyxx202202001.

[2] 吴晶晶,吴丽霞,舒 毅,等. 320能谱CT技术对门静脉图像质量及辐射剂量影响的初步研究[J]. 实用放射学杂志,2022,38(3):483-486. doi:10.3969/j.issn.1002-1671.2022.03.032.

[3] 王世伟,李金锋,邹 颖,等. 双层探测器能谱CT单能级成像对门静脉成像质量的影响[J]. 中国临床医学影像杂志,2020,31(6):425-428. doi:10.12117/jccmi.2020.06.012.

[4] Amato E, Salamone I, Naso S, et al. Can contrast media increase organ doses in CT examinations? A clinical study[J]. Ajr Am J Roentgenol, 2013,200(6):1288-1293. doi:10.2214/AJR.12.8958.

[5] 杨克柽,李 莲,王建杰,等. 肝脏CT门静脉成像中对比剂剂量的估算方法[J]. 临床放射学杂志,2016,35(4):630-633. doi:10.13437/j.cnki.jcr.2016.04.036.

[6] Kondo H, Kanematsu M, Goshima S, et al. Body size indices to determine iodine mass with contrast-enhanced multi-detector computed tomography of the upper abdomen: does body surface area outperform total body weight or lean body weight?[J]. Eur Radiol, 2013, 23(7): 1855-1861. doi:10.1007/s00330-013-2808-z.

[7] 胡 斌,陈静静,徐文坚,等. 双能CT改进的虚拟单能成像重建算法的门静脉图像质量评估[J]. 首都医科大学学报,2019,40(6):943-947. doi:10.3969/j.issn.1006-7795.2019.06.023.

[8] 李 莲. 肝脏门静脉期双能CT:单能量图像与融合图像的比较[J]. 中国医学计算机成像杂志,2017,23(2):140-145. doi:10.3969/j.issn.1006-5741.2017.02.008.

[9] Tsutomu K, Noriyuki K, Hirofumi M, et al. Standardization of the body surface area (BSA) formula to calculate the dose of anticancer agents in Japan[J]. Jpn J Clin Oncol, 2003(6): 309-313. doi: 10.1093/jjco/hyg062.

[10] 钟志明,潘 慧,班统幸,等. 新型非对比剂增强MR血管成像技术用于肝门静脉成像的可行性研究[J]. 影像科学与光化学,2024,42(1):16-22. doi:10.7517/issn.1674-0475.231013.

[11] 王 琦,刘 响,王丽佳,等. 双能CT非线性融合技术提高门静脉血管图像质量[J]. 中国医学影像学杂志,2014,22(6):427-430. doi:10.3969/j.issn.1005-5185.2014.06.009.

[12] 陈 瑜,秦 艳,曾 清. 对比剂肾病的防治进展[J]. 中国当代医药,2022,29(8):33-36. doi:10.3969/j.issn.1674-4721.2022.08.009.

[13] 段 鹏,张小勇,张赛丹. 大剂量阿托伐他汀序贯治疗对急性非ST段抬高型心肌梗死患者围手术期对比剂肾病的影响[J]. 中国动脉硬化杂志,2016,24(7):711-714. doi:1007-3949(2016)24-07-0711-04.

[14] Choi JY, Kim MH, Kim S, et al. Effectiveness evaluation about the volume reduction of contrast media and radiation dose with 100 kVp in abdomen-pelvis CT[J]. J Korean Soc Comput Tomogr Technol, 2019,21(2):doi:10.31320/JKSCT.2019.21.2.41.

(编辑:贺绍梅)