

双层探测器光谱CT虚拟平扫中重建层厚对肝细胞癌显示的影响

谢孟臻, 吴斌, 许立强, 刘于宝, 王金电, 赵彦博, 高俊文
南方医科大学深圳医院医学影像中心, 广东 深圳 518110

【摘要】目的:探讨双层探测器光谱CT虚拟平扫(VNC)对肝细胞癌(HCC)显示的最佳层厚。**方法:**回顾性分析73例HCC患者腹部CT扫描的影像资料,分别获得5、3、1 mm不同层厚的常规平扫(TNC)、动脉期VNC(VNC-a)图像和门静脉期VNC(VNC-p)图像。比较3种不同层厚TNC、VNC-a和VNC-p图像的CT值、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)和噪声(SD)。通过Bland-Altman plot散点图分析TNC图像和VNC图像的CT值一致性;采用5分法评价图像质量。**结果:**3种层厚VNC-a图像、VNC-p图像与TNC图像相比,SNR升高,SD降低,差异有统计学意义($P<0.05$),CT值和CNR的差异无统计学意义($P>0.05$);组内两两比较,5和3 mm层厚VNC-p图像比VNC-a图像SD更低,SNR更高($P<0.05$),1 mm图像VNC-p与VNC-a图像SD和SNR差异无统计学意义($P>0.05$)。5和3 mm层厚VNC-a图像和VNC-p图像与TNC图像的CT值一致性良好,其中3 mm VNC-p图像LOA界限外的数据点比例最低(1.4%),与TNC的一致性最好。3个层厚的3种图像中,1 mm VNC-p图像主观评分最高。1 mm层厚中,VNC-p图像主观评分显著高于TNC图像和VNC-a图像($P<0.05$);VNC-p图像中,1 mm图像主观评分显著高于5、3 mm图像($P<0.05$)。取消TNC直接增强扫描可降低34.57%的辐射剂量。**结论:**双层探测器光谱CT中VNC的层厚设置对该技术的应用存在影响。3 mm VNC-p图像CT值一致性最高,SD最低,SNR最高,可用作观察客观测量指标,1 mm VNC-p图像对病灶轮廓和细节显示最佳,可用作主观评价。

【关键词】肝细胞癌;双层探测器光谱CT;虚拟平扫;辐射剂量

【中图分类号】R816.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)12-1495-07

Effect of reconstructed slice thickness on the display of hepatocellular carcinoma in virtual non-contrast scan of dual-layer detector spectral CT

XIE Mengzhen, WU Bin, XU Liqiang, LIU Yubao, WANG Jindian, ZHAO Yanbo, GAO Junwen

Medical Imaging Center, Shenzhen Hospital of Southern Medical University, Shenzhen 518110, China

Abstract: Objective To explore the optimal slice thickness for virtual non-contrast scan (VNC) of dual-layer detector spectral CT of hepatocellular carcinoma (HCC). **Methods** The imaging data of abdominal CT scan of 73 HCC patients were analyzed retrospectively. The true non-contrast (TNC), arterial VNC (VNC-a) and portal VNC (VNC-p) images with the slice thickness of 5, 3 and 1 mm were evaluated and compared in terms of CT number, signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR) and noise (SD). The consistency of the CT number between TNC image and VNC image was analyzed using Bland Altman plot scatter diagram, and the image quality was evaluated using 5-point method. **Results** Compared with TNC images, VNC-a and VNC-p images of different slice thicknesses had higher SNR and lower SD ($P<0.05$), but there was no statistical difference in CT number and CNR ($P>0.05$). The pairwise comparison within the group revealed that VNC-p images with the slice thickness of 5 and 3 mm had lower SD and higher SNR than VNC-a images ($P<0.05$), and that for the slice thickness of 1 mm, SD and SNR were close in VNC-p image and VNC-a image ($P>0.05$). For the slice thicknesses of 5 and 3 mm, the CT numbers of VNC-a image, VNC-p images and TNC images were in good consistency, of which 3 mm VNC-p image has the lowest proportion of data points outside the LOA (1.4%) and had the best consistency with TNC. The subjective score of 1 mm VNC-p images was the highest among all images. For 1 mm slice thickness, the subjective score of VNC-p image was significantly higher than TNC image and VNC-a image ($P<0.05$); for VNC-p images, the image with 1 mm slice thickness significantly higher than those with 5 and 3 mm slice thicknesses ($P<0.05$). Cancellation of TNC and

【收稿日期】2022-08-12

【基金项目】国家高性能医疗器械创新中心开放基金(NMED2021MS-01-003);深圳市科技创新委员会基础研究项目(JCYJ2021032412540301)

【作者简介】谢孟臻,初级技师,研究方向:CT影像技术,E-mail: xiemengzhen95@163.com

【通信作者】吴斌,硕士,副主任技师,研究方向:CT、MRI影像技术,E-mail: wubin3835@163.com

direct enhanced scan reduced the radiation dose by 34.57%. **Conclusion** The application of VNC of double-layer detector spectral CT is affected by slice thickness. VNC-p image with the slice thickness of 3 mm has the highest consistency in CT number, the lowest SD and the highest SNR, which can be used for objective measurement; and VNC-p image with the slice thickness of 1 mm shows the best outline and details of the lesion, and can be used for subjective evaluation.

Keywords: hepatocellular carcinoma; dual-detector spectral CT; virtual non-contrast scan; radiation dose

前言

肝细胞癌(Hepatocellular Carcinoma, HCC)是腹部常见的恶性肿瘤之一,CT增强扫描是HCC最常用的检查手段之一^[1],但因需多期扫描而导致其辐射剂量较其他部位的CT检查更高。近年来针对CT虚拟平扫(Virtual Non-Contrast, VNC)技术代替常规真实平扫(True Non-Contrast, TNC)以降低受检者辐射剂量的研究也越来越多,证明其潜在价值巨大^[2-5]。以往的研究结果显示不同设备如西门子双源CT、GE单源瞬时管电压切换CT及Philips双层探测器光谱CT获得的各组织器官VNC图像CT值与TNC图像均具有较高的一致性^[6-10],但对VNC图像噪声、信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)及图像质量的评价结果不尽相同^[11-13]。

相较于其他能谱CT,近年来投入临床应用的双层探测器光谱CT(IQon Spectral CT, Philips Healthcare, Best)利用上下两层不同材料的探测器^[14],一次扫描可实现对X线球管所发出的混合能量射线的区分,获得不同能级的图像^[15],进而实现“同时、同源、同向”的数据采集,结合其特有技术,噪声水平更低^[16-18]。屡见双层探测器光谱CT肝脏VNC技术的应用报道,但各研究中图像重建层厚各不相同,主、客观评价结果亦存在差异^[19-23],不利于该技术的推广。本研究旨在了解双层探测器光谱CT不同层厚设置对HCC患者增强VNC图像主、客观评价的影响,探讨VNC的最佳层厚设置。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析南方医科大学深圳医院自2020年4月至2021年10月行双层探测器光谱CT腹部增强检查的HCC患者73例,其中男48例,女25例,年龄39~83岁,平均(61.67±10.34)岁。排除标准:①弥漫性HCC;②病灶最大径≤3 cm;③中重度脂肪肝;④肝脏术后患者;⑤肝脏血流动力学障碍,如门静脉癌栓等,血运受影响进而影响去碘后CT值。以上HCC病例经病理证实或具有典型的临床及影像特征。

1.2 检查方法

采用双层探测器光谱CT(IQon Spectral CT,

Philips Healthcare, Best)。检查前去除患者文胸、皮带等金属物品,患者仰卧,脚先进,双手举过头顶。右侧肘静脉放置留置针,使用德国Ulrich高压注射器,注射非离子型对比剂(碘海醇,350 mgI/mL),剂量1.2 mL/kg,流率3 mL/s,然后用3 mL/s的20 mL生理盐水冲刷;患者注射对比剂前先行平扫,扫描范围为膈顶至肝脏下缘,增强触发监测位置为腹主动脉膈顶层面,触发阈值为120 HU,触发延迟为8 s,动脉期扫描40 s后行门静脉期扫描。管电压120 kVp,管电流采用自动调制技术,范围90~190 mAs,球管转速0.75 s/周,螺距1.016,准直器宽度64×0.625 mm,扫描层厚5 mm,FOV 512 mm×512 mm。平扫图像行混合迭代重建(iDose⁴ L5),两期增强数据采用投影空间光谱重建,生成全息光谱图像(Spectral Based Image, SBI)。三期数据均重建5、3、1 mm层厚图像,层间距分别为5、3、1 mm。

1.3 图像处理及测量

将所有图像数据传输至专用后处理工作站(Spectral Diagnostic Suite, SpDS, Philips Healthcare),光谱数据分别生成动脉期VNC图像(VNC-a)和门静脉期VNC图像(VNC-p)。

参考Jamali等^[20]和燕军成等^[24]放置感兴趣区域(Region of Interest, ROI)的方式,由两名具有10年以上工作经验的诊断医师共同对图像进行分析,确定ROI大小和位置。对照增强图像,选取病灶面积最大、密度较均匀且病灶各期均显示为实性成分的层面为唯一测量层面,当不同期相因呼气末屏气幅度不一致导致成像层面之间的解剖匹配不够准确时,手动匹配至解剖结构尽量一致后重新测量^[20]。重建得到5、3、1 mm层厚的TNC和VNC-a、VNC-p,共9幅图像(图1),在同一病灶相同位置上勾画圆形ROI测量CT值,ROI采用复制粘贴方式,保证面积不变,避开脉管组织、肝脏边缘等。不同患者ROI面积不同;以肝脏病灶和同层面右侧竖脊肌的CT值标准差(Standard Deviation, SD)作为图像噪声值,每一ROI均测量3次取平均值。计算图像SNR和对比噪声比(Contrast to Noise Ratio, CNR)。

$$\text{SNR} = \text{CT值}_{\text{病灶}} / \text{SD}_{\text{病灶}} \quad (1)$$

$$\text{CNR} = (\text{CT值}_{\text{病灶}} - \text{CT值}_{\text{竖脊肌}}) / \text{SD}_{\text{竖脊肌}} \quad (2)$$

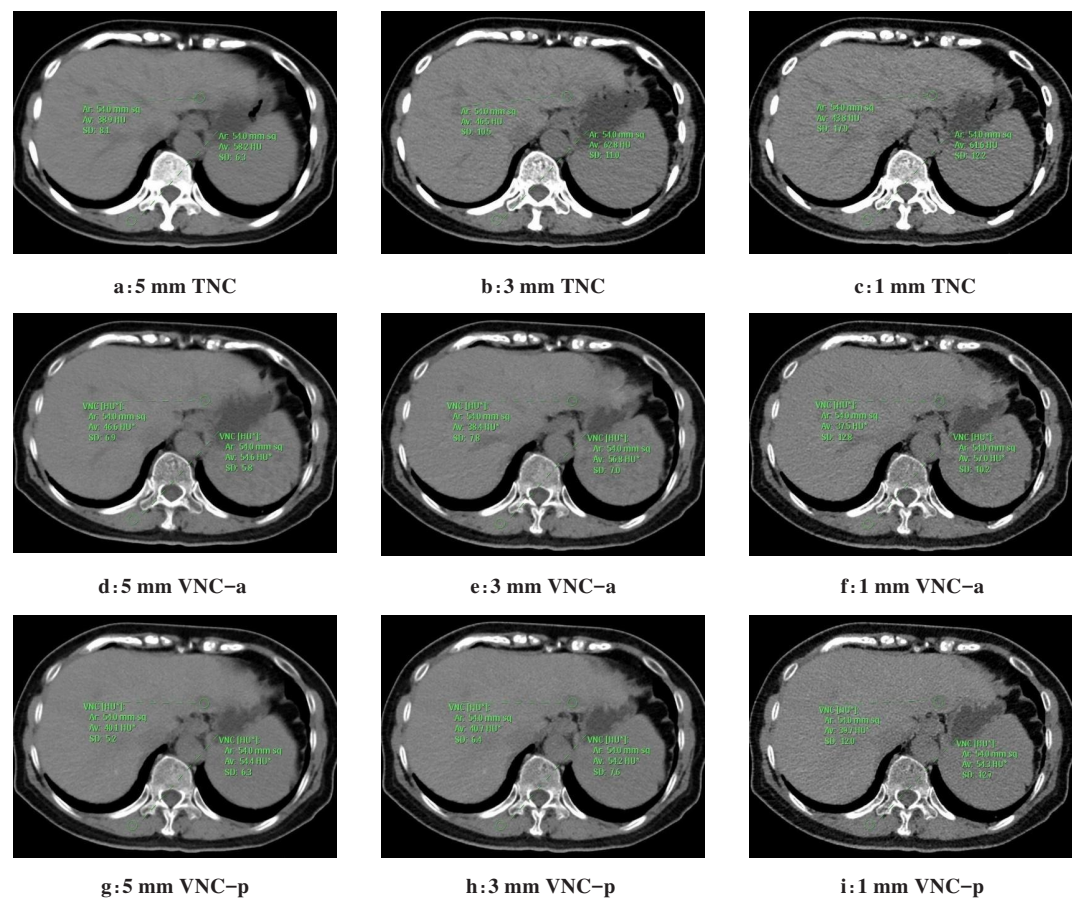


图1 5、3、1 mm层厚TNC、VNC-a、VNC-p图像
Figure 1 TNC, VNC-a and VNC-p images with the slice thickness of 5, 3 and 1 mm

1.4 评价指标

(1)图像质量客观评价,分析比较5、3、1 mm层厚的TNC和VNC-a、VNC-p图像的客观指标(CT值、SNR、CNR和SD)的差异。(2)图像质量主观评价,所得图像由两名具有10年以上工作经验的诊断医师采用双盲法针对图像质量、病灶形态、边缘轮廓等特征做出评分,采用5分法,3~5分即可满足诊断需求,如意见不一致时需协商得出最终结果^[5]。(3)辐射剂量比较,分别记录平扫、动脉期及静脉期扫描的剂量长度乘积(Dose Length Product, DLP),三者相加得出受检者完成一次CT检查总的辐射剂量,有效辐射剂量(Effective Dose, ED)为:

ED=DLP×k

(3)

其中,k值为组织权重因子,腹部的k值为0.015 mSv/(mGy·cm)^[13]。

1.5 统计学方法

采用SPSS 20.0和MedCalc 17软件进行统计分析符合。符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示。对TNC、VNC-a和VNC-p图像的客观评价指标(CT值、SNR、CNR、SD)采用单因素方差分析,组间有统计学差异者另行组内两两比较(Bonferroni

法)。制作Bland-Altman plot散点图分析TNC和VNC-a、VNC-p图像的CT值一致性,一致性界限(Limits of Agreement, LOA)为(Mean)±1.96 SD。根据LOA,添加5、10、15 HU一致性界限,通过界外点占比评价不同界限下两种测量方法的一致性。测量差值≤5 HU,两种测量无差异;5 HU<差值<10 HU,有潜在临床差异,尚可诊断;差值≥10 HU,有显著临床差异。采用费舍尔精确检验比较图像的主观评分差异。

2 结果

2.1 CT定量参数比较

3种层厚VNC-a图像、VNC-p图像与TNC图像相比,VNC图像SNR升高,SD降低,差异有统计学意义(P<0.05),CT值和CNR无统计学差异(P>0.05);VNC-a图像与VNC-p图像各客观评价指标间差异均无统计学意义(P>0.05)。

SD组内两两比较,5 mm层厚VNC-a与TNC相比,P=0.002,VNC-p与TNC相比,P<0.001,VNC-a与VNC-p相比,P=0.009,且VNC-p图像最低(P<0.05);3 mm层厚VNC-a与TNC相比,P<0.001,VNC-p与

TNC相比, $P<0.001$,VNC-a与VNC-p相比, $P=0.015$,且VNC-p图像最低($P<0.05$);1 mm层厚,VNC-a与TNC相比, $P<0.001$,VNC-p与TNC相比, $P<0.001$,VNC-a与VNC-p相比, $P=0.440$,且VNC-a图像、VNC-p图像均低于TNC($P<0.05$)。

SNR组内两两比较,5 mm层厚VNC-a与TNC相比, $P=0.169$,VNC-p与TNC相比, $P<0.001$,VNC-a与VNC-p相比, $P=0.024$,VNC-p图像高于TNC图像和

VNC-a图像($P<0.05$);3 mm层厚VNC-a与TNC相比, $P=0.055$,VNC-p与TNC相比, $P<0.001$,VNC-a与VNC-p相比, $P=0.032$,VNC-p图像高于TNC图像和VNC-a图像($P<0.05$);1 mm层厚VNC-a与TNC相比, $P=0.028$,VNC-p与TNC相比, $P<0.001$,VNC-a与VNC-p相比, $P=0.228$,VNC-a图像和VNC-p图像均高于TNC($P<0.05$)。图像CT值、SD、SNR、CN结果见表1。

表1 TNC与VNC-a、VNC-p图像的CT值、SD、SNR和CNR结果比较($\bar{x}\pm s$)
Table 1 Comparison of CT number, SD, SNR and CNR of TNC image with VNC-a and VNC-p images (Mean±SD)

图像类型	CT值/HU			SD/HU			SNR			CNR		
	5 mm	3 mm	1 mm	5 mm	3 mm	1 mm	5 mm	3 mm	1 mm	5 mm	3 mm	1 mm
TNC	40.87±9.75	40.48±9.51	40.80±9.90	7.97±1.77	9.22±2.23	13.54±2.70	5.39±1.86	4.30±1.47	3.12±0.95	-1.12±1.47	-0.89±1.16	-0.66±0.90
VNC-a	41.05±8.95	40.97±9.22	41.05±9.47	7.12±1.43*	8.68±1.78*	11.82±2.08*	6.00±1.87	4.92±1.54	3.58±1.02*	-1.37±1.65	-1.14±1.54	-0.95±1.06
VNC-p	42.08±9.72	42.22±10.23	42.59±10.02	6.37±1.28*#	7.80±1.54*#	11.28±1.94*	6.85±2.03*#	5.59±1.70*#	3.88±1.15*	-1.17±2.03	-0.99±1.50	-0.63±1.14
F值	0.707	0.627	0.714	20.700	23.630	19.870	10.650	12.280	9.847	0.424	0.565	2.105
P值	0.347	0.535	0.491	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.655	0.569	0.124

与TNC比较,* $P<0.05$;与VNC-a比较,# $P<0.05$

2.2 CT值一致性分析

3种层厚VNC与TNC图像CT值差值为0.18~1.79 HU,5、3、1 mm层厚VNC-a图像与TNC图像的CT值差值在LOA界限外的数据点比例均分别为4.1%、5.5%、6.8%;5、3、1 mm层厚VNC-p图像与

TNC图像的CT值差值在LOA界限外的数据点比例均分别为4.1%、1.4%、5.5%。3 mm VNC-p图像与TNC图像的CT值差值在LOA界限外的数据点比例最低,3 mm VNC-p与TNC的一致性最好。见表2、图2。

表2 TNC与VNC-a、VNC-p图像CT值一致性分析
Table 2 Consistency analysis of CT numbers between TNC images and VNC-a, VNC-p images

指标	5 mm		3 mm		1 mm	
	VNC-a	VNC-p	VNC-a	VNC-p	VNC-a	VNC-p
TNC和VNC差值均值/HU	0.18	1.21	0.48	1.73	0.25	1.79
SD值/HU	5.01	5.45	4.83	5.84	5.09	5.78
TNC和VNC差值LOA上限/HU	10.01	11.90	9.95	13.18	10.22	13.12
TNC和VNC差值LOA下限/HU	-9.64	-9.47	8.98	-9.72	-9.72	-9.54
TNC和VNC差值>LOA	3(4.1%)	3(4.1%)	4(5.5%)	1(1.4%)	5(6.8%)	4(5.5%)
TNC和VNC差值≥±5 HU	17(23.3%)	24(32.9%)	19(26.0%)	25(34.2%)	20(27.4%)	30(41.1%)
TNC和VNC差值≥±10 HU	3(4.1%)	3(4.1%)	3(4.1%)	6(8.2%)	5(6.8%)	8(11.0%)

2.3 图像主观评分比较

3期图像中均为1 mm层厚图像主观评分最高,评分为5分的比例分别为65.8%、64.3%、89.0%,高于3、5 mm图像。VNC-p图像中1 mm层厚图像与5、3 mm比较均有统计学差异($P<0.05$),其余各期图像中各层厚间均无统计学差异($P>0.05$)。见表3和表4。

5、3、1 mm层厚图像中VNC-p图像主观评分为5分的比例分别为69.9%、68.5%、89.0%,高于TNC图像和VNC-a图像,且1 mm层厚VNC-p图像与TNC图像、VNC-a图像比较均有统计学差异($P<0.05$),5 mm层厚VNC-p图像与VNC-a图像比较有统计学差异($P<0.05$),其余均无统计学差异($P>0.05$)。见表5和表6。

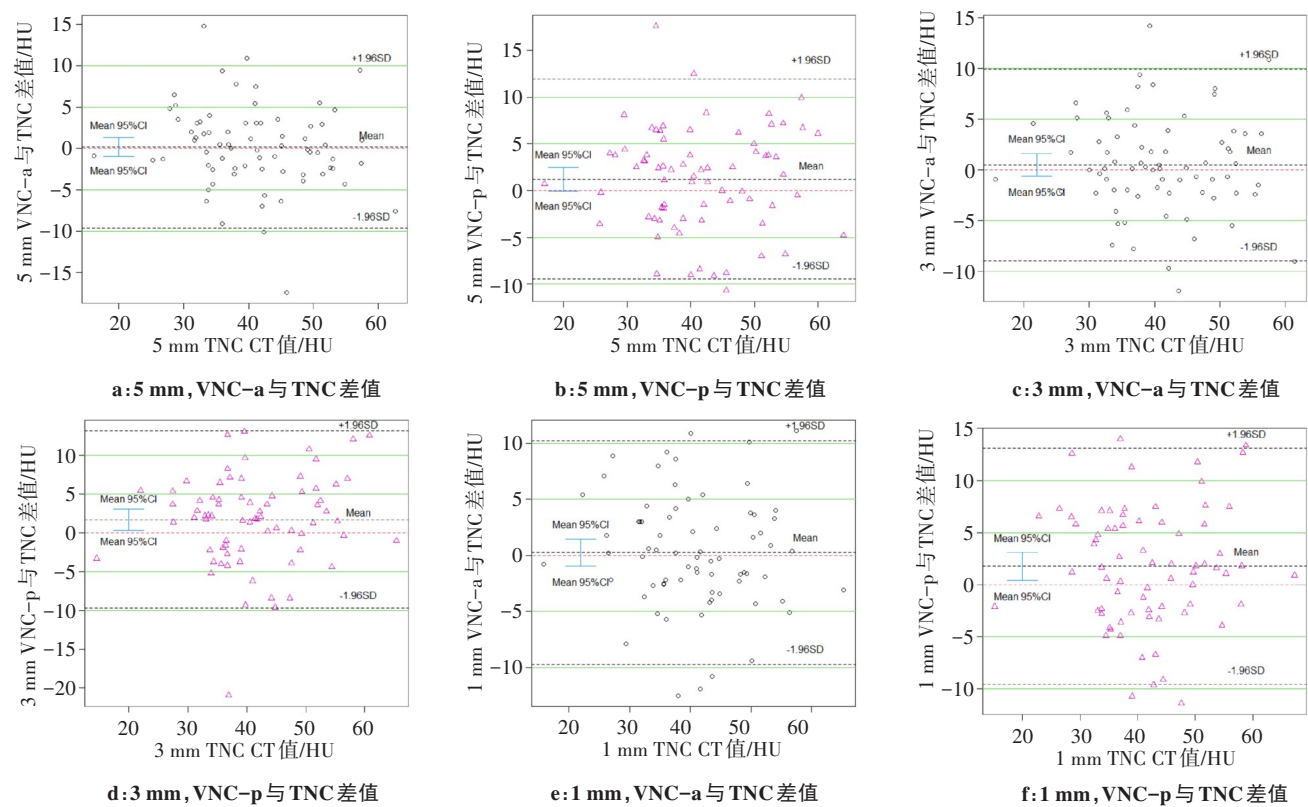


图2 TNC与VNC-a、VNC-p图像的CT值差值图

Figure 2 Difference of CT number between TNC images and VNC-a or VNC-p images

表3 TNC、VNC-a、VNC-p图像不同层厚间主观评分比较[例(%)]

Table 3 Comparison of subjective scores among different slice thicknesses of TNC, VNC-a and VNC-p images [cases (%)]

图像类型	层厚/mm	主观评分			P值
		3分	4分	5分	
TNC					0.083
	5	6(8.2%)	27(37.0%)	40(54.8%)	
	3	0(0%)	29(39.7%)	44(60.3%)	
	1	2(2.7%)	23(31.5%)	48(65.8%)	
VNC-a					0.376
	5	4(5.5%)	33(45.2%)	36(49.3%)	
	3	5(6.8%)	27(37.0%)	41(56.2%)	
	1	2(2.7%)	24(32.9%)	47(64.3%)	
VNC-p					0.018
	5	4(5.5%)	18(24.7%)	51(69.9%)	
	3	4(5.5%)	19(26.0%)	50(68.5%)	
	1	1(1.4%)	7(9.6%)	65(89.0%)	

表4 TNC、VNC-a、VNC-p图像不同层厚图像间主观评分两两比较P值

Table 4 P value obtained in the pairwise comparison of subjective scores between different slice thicknesses of TNC, VNC-a and VNC-p images

Table 4 P value obtained in the pairwise comparison of subjective scores between different slice thicknesses of TNC, VNC-a and VNC-p images

图像类型	5 mm vs 3 mm	5 mm vs 1 mm	3 mm vs 1 mm
TNC	0.294	0.129	0.587
VNC-a	0.497	0.061	0.252
VNC-p	0.869	0.004	0.002

3 讨论

基于飞利浦双层探测器光谱CT“同时、同源、同向”数据采集模式带来的更准确的能量分析优势^[18, 20],其肝脏VNC技术的研究越来越多,但结论多有不同,如李代欣等^[21]采用1 mm重建层厚的图像研究结果为VNC图像的CT值比TNC图像高($P<0.05$),但其具有较强的相关性,三者主观评分无差异;朱小倩等^[22]采用1 mm重建层厚图像研究认为仅VNC-p图像在CT值测量中可以替代TNC;林禹等^[23]采用3 mm重建层厚图像研究认为三期VNC图像均可满足诊断肝脏疾病需要,VNC-a图像主观评分最高;杨琰昭等^[13]采用5 mm重建层厚图像研究结果显示肝

2.4 辐射剂量比较

73例患者TNC与VNC-a、VNC-p三期有效辐射剂量分别为 (5.32 ± 1.16) 、 (4.75 ± 1.89) 、 (5.32 ± 1.42) mSv,总有效辐射剂量为 (15.39 ± 3.31) mSv,其中TNC的有效辐射剂量约占总有效辐射剂量的34.57%。

表 5 5、3、1 mm 层厚中不同图像类型间图像主观评分比较[例(%)]
Table 5 Comparison of subjective image scores among different images with 5, 3 or 1 mm slice thickness [cases (%)]

层厚	图像类型	主观评分			P 值
		3 分	4 分	5 分	
5 mm					0.091
	TNC	6(8.2%)	27(37.0%)	40(54.8%)	
	VNC-a	4(5.5%)	33(45.2%)	36(49.3%)	
	VNC-p	4(5.5%)	18(24.7%)	51(69.9%)	
3 mm					0.064
	TNC	0(0%)	29(39.7%)	44(60.3%)	
	VNC-a	5(6.8%)	27(37.0%)	41(56.2%)	
	VNC-p	4(5.5%)	19(26.0%)	50(68.5%)	
1 mm					0.001
	TNC	2(2.7%)	23(31.5%)	48(65.8%)	
	VNC-a	2(2.7%)	24(32.9%)	47(64.3%)	
	VNC-p	1(1.4%)	7(9.6%)	65(89.0%)	

表 6 5、3、1 mm 层厚中不同图像类型间图像主观评分
两两比较 P 值
Table 6 P value obtained in the pairwise comparison of subjective image scores between different images with 5, 3 or 1 mm slice thickness

层厚	TNC vs VNC-a	TNC vs VNC-p	VNC-a vs VNC-p
5 mm	0.658	0.066	0.019
3 mm	0.411	0.452	0.140
1 mm	0.869	0.001	0.001

脏 VNC-a、VNC-p 均可还原 TNC CT 值,且三者主观评分无差异。可见,双层探测器光谱 CT 肝脏 VNC 代替 TNC 的可行性高,可显著降低患者辐射剂量,但其不同重建层厚设置对肝脏增强 VNC 重建的影响的研究却鲜见文献报道。

本研究对比 5、3、1 mm 层厚的 TNC、VNC-a 和 VNC-p 图像,结果显示 3 种层厚图像中,相较 TNC, VNC 图像 CT 值和 CNR 无差异 ($P>0.05$), SNR 和 SD 分别升高和降低 ($P<0.05$), 与林禹等^[23]和杨琰昭等^[13]研究结果相同,但与朱小倩等^[22]研究结果不完全相同,甚至与李代欣等^[21]研究结果相左,分析原因为朱小倩等^[22]和李代欣等^[21]均单纯采用 1 mm 重建层厚图像进行测算,薄层图像本底噪声显著增大,进而影响研究结果^[25]。另本研究组内两两比较中,对于 5 和 3 mm 层厚, VNC-p 图像相比 VNC-a 图像 SD 更低, SNR 更高 ($P<0.05$), 分析原因为 HCC 增强表现为“快进快出”,对比剂在门静脉期较动脉期分布更均匀, ROI 内各像素 CT 值波动更小, SD 更低, 而

VNC-p 图像与 VNC-a 图像在 1 mm 层厚上因 SD 波动太大而无统计学差异 ($P>0.05$)。

CT 值的一致性、SNR 和 SD 是评价 VNC 图像质量的重要指标, VNC 图像与 TNC 图像 CT 值差异较大,腹部不同实质脏器的 CT 值差异 >10 HU 的比例可达 9%~42%^[9, 26-27], 本研究显示 VNC 与 TNC 图像 CT 值一致性表现优异; 本研究中 VNC 图像 SNR 更高, SD 更低。分析原因为双层探测器光谱 CT 通过特殊探测器产生能量分离, 实现了数据在投影域内达到了时间和空间的完全匹配, 利用反相关噪声抑制技术和基于模型的迭代重建算法可更好地抑制图像噪声, 达到最佳的 SNR^[17-18]。CNR 值无明显差异, 考虑 VNC 重建后肝脏和肌肉的 CT 值差异未扩大相关, 并且 VNC 重建会导致肌间隙脂肪 CT 值升高, 进而增大测量误差^[5]。

在 CT 值一致性分析中, 5、3、1 mm 层厚 VNC-a 图像与 TNC 图像的 CT 值差值均值分别为 0.18、0.48、0.25 HU; 5、3、1 mm 层厚 VNC-p 图像与 TNC 图像的 CT 值差值均值分别为 1.21、1.73、1.79 HU。在一致性界限为 10 HU 时界外数据点占比中, 仅 5 mm VNC-a、VNC-p 和 3 mm VNC-a 图像 $\leq 5\%$, 3 mm VNC-p 和 1 mm VNC-a、VNC-p 图像 $>5\%$, 与林禹等^[23]和杨琰昭等^[13]提示两期增强 VNC 均与 TNC 一致性较好的结论不全一致。另本研究显示 5、3、1 mm 层厚 VNC-a 图像与 TNC 图像的 CT 值差值在 LOA 界限外的数据点比例均分别为 4.1%、5.5%、6.8%; 5、3、1 mm 层厚 VNC-p 图像与 TNC 图像的 CT 值差值在 LOA 界限外的数据点比例均分别为 4.1%、1.4%、5.5%, 提示 3 mm VNC-p 图 LOA 界限外的数据点比例最低 (1.4%), 与 TNC 的一致性最好, 与林禹等^[23]采用 3 mm 重建层厚测算结果一致, 杨琰昭等^[13]则是采用 5 mm 重建层厚测算认为 VNC-p 图与 TNC CT 值的一致性最好, 朱小倩等^[22]采用 1 mm 重建层厚得出同样结论, 但本研究结果显示 1 mm VNC-a 和 VNC-p 图像的 CT 值差值在 LOA 界限外和界限为 10 HU 时界外数据点占比均 $>5\%$, 提示一致性欠佳。

图像主观评价中, 三期图像中 1 mm VNC-p 图像评分显著最高, 其对病灶轮廓和细节显示更好, 分析原因为 HCC 增强时病灶在门静脉期较动脉期强化均匀且减退, VNC 去碘后病灶密度更低而轮廓更加易于辨认^[24], 又因 1 mm 薄层图像部分容积效应最小, 对病变的细节显示更佳。VNC 的应用可有效降低患者辐射剂量, 本研究结果显示该技术可降低 34.57% 的有效辐射剂量, 与前者研究相仿^[13, 20, 28]。

本研究存在一定的局限性: (1) 样本量较少, 后续

应进一步扩大样本量,以获得更具代表性统计数据;(2)只纳入重建层厚一个变量进行比较,后续可针对受检部位、疾病种类、病理分级、ROI设置等亚方向作相关研究;(3)未对钙化、脂肪变等因素做测算研究。

综上所述,双层探测器光谱CT中VNC的层厚设置对该技术的应用存在影响,3 mm VNC-p图像CT值一致性最高,SD最低,SNR最高,可用作观察客观测量指标,1 mm VNC-p图像主观评分最高,可用作主观评价,另VNC技术大大降低了患者辐射剂量。

【参考文献】

- [1] Forner A, Reig M, Bruix J. Hepatocellular carcinoma[J]. Lancet, 2018, 391(10127): 1301-1314.
- [2] Meyer M, Nelson RC, Vernuccio F, et al. Virtual unenhanced images at dual-energy CT: influence on renal lesion characterization[J]. Radiology, 2019, 291(2): 381-390.
- [3] Lehti L, Derberg MS, Glund PH, et al. Comparing arterial- and venous-phase acquisition for optimization of virtual noncontrast images from dual-energy computed tomography angiography[J]. J Comput Assist Tomo, 2019, 43(5): 770-774.
- [4] Lee HA, Lee YH, Yoon KH, et al. Comparison of virtual unenhanced images derived from dual-energy CT with true unenhanced images in evaluation of gallstone disease[J]. AJR Am J Roentgenol, 2016, 206(1): 74-80.
- [5] Ananthakrishnan L, Rajiah P, Ahn R, et al. Spectral detector CT-derived virtual non-contrast images: comparison of attenuation values with unenhanced CT[J]. Abdom Radiol (NY), 2017, 42(3): 702-709.
- [6] SELLERER T, Noel PB, Patino M, et al. Dual-energy CT: a phantom comparison of different platforms for abdominal imaging[J]. Eur Radiol, 2018, 28(7): 2745-2755.
- [7] Kaufmann S, Sauter A, Spira D, et al. Tin-filter enhanced dual-energy-CT: image quality and accuracy of CT numbers in virtual noncontrast imaging[J]. Acad Radiol, 2013, 20(5): 596-603.
- [8] Durieux P, Gevenois PA, Muylem AV, et al. Abdominal attenuation values on virtual and true unenhanced images obtained with third-generation dual-source dual-energy CT[J]. AJR Am J Roentgenol, 2018, 210(5): 1042-1058.
- [9] Toepker M, Moritz T, Krauss B, et al. Virtual non-contrast in second-generation, dual-energy computed tomography: reliability of attenuation values[J]. Eur J Radiol, 2012, 81: e398-e405.
- [10] 杨雯, 荣萍, 辛小燕, 等. 能谱CT虚拟平扫代替常规平扫应用于肺部占位性病变诊疗中的可行性[J]. 实用癌症杂志, 2021, 36(2): 280-282.
Yang W, Rong P, Xin XY, et al. Feasibility of spectral virtual non-contrast CT scans to replace true non-contrast scans in the diagnosis of space-occupying lung lesions[J]. The Practical Journal of Cancer, 2021, 36(2): 280-282.
- [11] 顾芳燕, 朱晓梅, 聂芳, 等. 肝脏成像中Revolution能谱CT虚拟平扫替代真实平扫的可行性研究[J]. 现代医学, 2021, 49(10): 1159-1166.
Gu FY, Zhu XM, Nie F, et al. Study of feasibility of virtual non-contrast technology replacing true non-contrast scanning in liver imaging with GE Revolution spectral CT[J]. Modern Medical Journal, 2021, 49(10): 1159-1166.
- [12] 王佃樟. 双源CT双能量虚拟平扫在原发性肝癌的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(1): 104-106.
Wang LT. Application of dual-source CT and virtual non-contrasted in primary liver cancer[J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2021, 19(1): 104-106.
- [13] 杨琰昭, 严福华, 韩群, 等. 双层光谱探测器CT腹部虚拟平扫代替常规平扫的可行性研究[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(1): 33-39.
Yang YZ, Yan FH, Han Q, et al. Feasibility study on dual-layer spectral detector CT-derived virtual non-contrast images substitute for true non-contrast images[J]. Chinese Journal of Radiology, 2019, 53(1): 33-39.
- [14] Mccollough CH, Leng S, Yu L, et al. Dual- and multienergy CT: principles, technical approaches, and clinical applications [J]. Radiology, 2015, 276: 637-653.
- [15] Rassouli N, Etesami M, Dhanantwari A, et al. Detector-based spectral CT with a novel dual-layer technology: principles and applications[J]. Insights Imaging, 2017, 8(6): 589-598.
- [16] Sakabe D, Funama Y, Taguchi K, et al. Image quality characteristics for virtual monoenergetic images using dual-layer spectral detector CT: comparison with conventional tube-voltage images[J]. Phys Med, 2018, 49: 5-10.
- [17] Kalisz K, Rassouli N, Dhanantwari A, et al. Noise characteristics of virtual monoenergetic images from a novel detector-based spectral CT scanner[J]. Eur J Radiol, 2018, 98: 118-125.
- [18] Philips Healthcare. A scientific review of dual-energy and spectral computed tomography imaging[OL]. [2018-06-04]. http://clinical.netforum.healthcare.philips.com/us_en/Explore/White-Papers/CT/A-scientific-review-of-dual-energy-and-spectral-computed-tomography-imaging.
- [19] Sauter AP, Muenzel D, Dangelmaier J, et al. Dual-layer spectral computed tomography: virtual non-contrast in comparison to true non-contrast images[J]. Eur J Radiol, 2018, 104(5): 108-114.
- [20] Jamali S, Michoux N, Coche E, et al. Virtual unenhanced phase with spectral dual-energy CT: is it an alternative to conventional true unenhanced phase for abdominal tissues? [J]. Diagn Interv Imaging, 2019, 100(9): 503-511.
- [21] 李代欣, 付志浩, 杜超, 等. 双层光谱探测器CT虚拟平扫在肝细胞癌检查中的应用[J]. 山东医药, 2020, 60(31): 70-72.
Li DX, Fu ZH, Du C, et al. Application of double-layer spectral detector CT virtual plain scan in hepatocellular carcinoma [J]. Shandong Medical Journal, 2020, 60(31): 70-72.
- [22] 朱小倩, 陈晨, 魏晓磊, 等. 光谱CT虚拟平扫在肝脏及肾上腺CT衰减一致性研究[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(2): 354-358.
Zhu XQ, Chen C, Wei XL, et al. Study on CT attenuation consistency of liver and adrenal glands by spectral CT virtual non-contrast images [J]. Journal of Clinical Radiology, 2021, 40(2): 354-358.
- [23] 林禹, 张潇潇, 张有彬, 等. 双层探测器光谱CT虚拟平扫应用于肝脏三期增强扫描[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(S1): 29-33.
Lin Y, Zhang XX, Zhang YB, et al. Application of two-layer detector spectral CT virtual plain scan in tertiary enhanced liver scanning[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2020, 36(S1): 29-33.
- [24] 燕军成, 张景峰, 韩志江, 等. CT值比值在鉴别小肝细胞肝癌和肝局灶性结节增生中的意义[J]. 浙江医学, 2020, 42(16): 1766-1768.
Yan JC, Zhang JF, Han ZJ, et al. The significance of CT value ratio in differentiating small hepatocellular carcinoma from hepatic focal nodular hyperplasia[J]. Zhejiang Medicine, 2020, 42(16): 1766-1768.
- [25] 元恒涛, 秦维昌, 王巍, 等. 64层螺旋CT噪声测试及其影响因素分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007, 27(2): 195-198.
Qi HT, Qin WC, Wang W, et al. Measurement and evaluation of image noise at 64 slice spiral CT [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2007, 27(2): 195-198.
- [26] Borhani AA, Kulzer M, Iranpour N, et al. Comparison of true unenhanced and virtual unenhanced (VUE) attenuation values in abdominopelvic single-source rapid kilovoltage-switching spectral CT [J]. Abdom Radiol, 2017, 42(3): 710-717.
- [27] Barrett T, Bowden DJ, Shaida N, et al. Virtual unenhanced second generation dual-source CT of the liver: is it time to discard the conventional unenhanced phase?[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(7): 1438-1445.
- [28] Wichmann JL, Hardie AD, Schoepf UJ, et al. Single-and dual-energy CT of the abdomen: comparison of radiation dose and image quality of 2nd and 3rd generation dual-source CT[J]. Eur Radiol, 2017, 27: 642-650.

(编辑:谭斯允)