

## · 双能量 CT 影像学专题 ·

## 双源 CT 双能量虚拟平扫对脂肪肝的诊断价值

王士闾, 王萱, 王云, 徐凯, 薛华丹, 金征宇

**【摘要】** 目的:探讨双源 CT 双能量腹部虚拟平扫对脂肪肝的诊断价值。方法:回顾性分析采用双源 CT 行腹部双能量增强扫描诊断为脂肪肝的 77 例患者的平扫期(120 kV)及虚拟平扫(VNC)图像。虚拟平扫图像运用门脉期双能量(100 及 140 kV)图像重建而来。选择肝门层面测量真实平扫(TNC)与 VNC 图像上肝右叶、肝左叶、脾脏、下腔静脉的 CT 值及噪声,并在肝门层面测量上腹部前后径及左右径。记录整个扫描和平扫期对应的剂量长度乘积(DLP)。评价 TNC 与 VNC 图像间各 CT 值及噪声的差异,分析两组图像上肝右叶噪声与前后径、左右径及平均径的关系。分别用肝/脾 CT 值比 $<0.8$ 、肝/下腔静脉 CT 值比 $<1.0$ ,做为诊断中重度脂肪肝的标准,比较 TNC 和 VNC 图像诊断中重度脂肪肝的一致性。结果:VNC 图像上肝左叶、右叶及脾脏的 CT 值均高于 TNC( $P<0.01$ ),差异小于 10 HU。VNC 图像上各部位噪声均低于 TNC。TNC 图像上,肝右叶噪声与前后径、左右径、平均径均有中等相关性( $r=0.562, 0.608, P<0.01$ );在 VNC 图像上,肝右叶噪声与上述径线值相关性弱。用肝/脾 CT 值比 $<0.8$  作为诊断重度脂肪肝的标准,VNC 与 TNC 图像诊断重度脂肪肝一致性的 kappa 值为 0.591;用肝/静脉 CT 值比 $<1.0$  作为诊断标准,两种图像一致性的 kappa 值为 0.458。用 VNC 代替 TNC 图像,可降低 24.2% 的总扫描剂量。结论:VNC 图像与 TNC 图像在诊断中重度脂肪肝上具有中等的一致性,推荐运用肝/脾 CT 值比 $<0.8$  这一诊断标准。

**【关键词】** 体层摄影术, X 线计算机; 脂肪肝; 双源双能量 CT; 辐射剂量

**【中图分类号】** R575.5; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)09-1008-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.09.007

**The diagnostic value of dual energy virtual non-contrast images in hepatic steatosis with dual source CT scanner** WANG Shi-tian, WANG Xuan, WANG Yun, et al. Department of Radiology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100730, P. R. China

**【Abstract】 Objective:** To investigate the value of dual energy (DE) virtual non-contrast (VNC) images in the diagnosis of hepatic steatosis. **Methods:** This retrospective study was based on contrast enhanced abdominal DECT scan of 77 patients with hepatic steatosis. The VNC images were reconstructed from two sets of dual energy images in portal venous phase; 100kV and 140kV. The CT value and noise were measured in both left and right lobe of liver, spleen and inferior vena cava (IVC) and these data were compared between VNC group and true non-contrast (TNC, 120kV) group. The relationship between the noise in right lobe of liver and the diameter parameters, anteroposterior, left-right and mean diameter of upper abdomen was explored in both TNC and VNC groups. Two proposed criteria for diagnosis of moderate and severe hepatic steatosis were studied independently and compared at the same ROI; a, liver-spleen attenuation ratio of less than 0.8, and b, liver-IVC ratio of less than 1.0. **Results:** The mean CT value of liver (both left lobe and right lobe) and spleen on VNC images were higher than that in TNC images with statistical significance ( $P<0.01$ ) with absolute difference less than 10HU. Noise was found lower at every ROI on VNC images than that on TNC images ( $P<0.01$ ). The noise of right lobe of liver on TNC images had moderate correlation ( $r=0.562$  to  $0.608, P<0.01$ ) with the diameter parameters, while on VNC images this correlation was less. It would be a better consistency with a kappa value of 0.591 when setting the liver-spleen attenuation ratio below 0.8 as diagnostic criteria of severe hepatic steatosis. When setting liver-IVC ratio below 1.0 as diagnostic criteria, the kappa value was 0.458. Additionally, we found the average radiation dose with VNC images as a replacement of TNC acquisition was 24.2% less. **Conclusion:** VNC and TNC images have moderate consistency in diagnosis of intermediate to severe hepatic steatosis, and a liver-spleen ratio of less than 0.8 is recommended as the diagnostic criteria.

**【Key words】** Tomography, X-ray computed; Fatty liver; Dual energy CT; Radiation dose

在 X 线穿过组织的过程中,组织信号衰减的程度与物质的原子量及 X 线光子的能量相关,不同原子量的物质,衰减情况随 X 线能量的变化各不相同。双源

CT 可以同时采集两组不同管电压的数据,即双能量成像,利用不同组织在高、低能量下衰减特征间的差异,通过后处理从增强软组织中分离出对比剂的碘信号,即可获得虚拟平扫(virtual non-contrast, VNC)图像。近年来,包括虚拟平扫在内的双能量成像成为国内外研究的热点<sup>[1-5]</sup>。本研究通过定量分析脂肪肝患

作者单位:100730 北京,中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院放射科

作者简介:王士闾(1989-),男,吉林人,技师,主要从事 CT 影像技术成像工作。

通信作者:金征宇, E-mail: jin\_zhengyu@163.com

者上腹部双源 CT 双能量增强扫描数据,比较门脉期 VNC 图像与真实平扫(true non-contrast, TNC) 图像的差异,旨在探讨 VNC 技术对于脂肪肝的诊断价值。

## 材料与方法

### 1. 病例资料

利用我院 PACS 报告系统,以“脂肪肝”为检索词,回顾性分析 2013 年 1 月—2013 年 6 月在本院放射科因疑似上腹部病变行腹部增强 CT 检查的患者资料,检索获得 351 例病例。排除标准包括:年龄 < 18 岁( $n=8$ );肝脏手术(含介入治疗)或脾脏切除史、肝糖原累积症、血色病、肝炎、肝硬化、多囊肝病史、恶性肿瘤病史( $n=64$ );扫描时配合欠佳,呼吸伪影明显( $n=12$ );未按照本文下述方案进行扫描的病例( $n=177$ );本次回顾分析数据时,测量肝右叶 CT 值高于脾脏的病例( $n=13$ )。最后共 77 例患者纳入本组研究,包括男 37 例,女 40 例,年龄 18~81 岁,平均(50.9±14.1)岁。

### 2. 扫描方案

所有患者均采用德国 Siemens Somatom Definition FLASH 双源 CT 机进行扫描。检查前确认患者移除金属物品,嘱其扫描时配合屏气。先摄上腹部定位像,再行平扫及增强扫描,扫描范围为横膈顶至双侧髂嵴上缘连线,头至足方向扫描。平扫管电压 120 kV,管电流 210 mA,准直器宽度  $32 \times 1.2$  mm, X 线球管旋转速度 0.5 s/r,螺距 0.9,开启实时动态曝光剂量调节(CARE Dose 4D)技术,层厚 7 mm,重建间隔 7 mm,重建算法 B30f。增强扫描采用双筒高压注射器以 4.0 mL/s 流率经肘前静脉注入 90 mL 碘海醇(350 mg I/mL)行三期增强扫描。增强扫描 AX 线管电压 100 kV,管电流 230 mA,视野  $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ ,B X 线管电压 140 kV,管电流 178 mA,视野  $33.2 \text{ cm} \times 33.2 \text{ cm}$ ,准直器宽度  $40 \times 0.6$  mm,重建算法 D30f,融合系数 0.5,余扫描及重建参数同平扫。注射对比剂后约 60 s 行门静脉期扫描。

扫描完成后将图像传输至 Siemens Syngo MMWP VE40A 工作站,将动脉期和门脉期双能量图像调入 Dual-energy 软件,运行 liver VNC 程序,获得门脉期层厚

7 mm、层间距 7 mm 的 VNC 图像。

根据 2 组患者 TNC 及 VNC 轴面图像描绘 ROI 并进行测量(图 1~3)。选择肝门层面测量肝右叶、肝左叶、脾脏、下腔静脉的 CT 值及噪声值。下腔静脉的 ROI 面积为  $50 \sim 100 \text{ mm}^2$ ,其余 ROI 面积为  $100 \sim 200 \text{ mm}^2$ 。绘制 ROI 时首先在平扫期进行选择,然后在 VNC 图像上通过复制粘贴确定 ROI。对于少数平扫和增强屏气程度不一致的患者,在平扫图像进行 ROI 的移动,以确保各部位 ROI 大小和位置完全匹配。对于肝门区下腔静脉充盈不佳的病例,调整下腔静脉的测量层面。记录各部位的 CT 值和噪声值,并在肝门层面测量上腹部前后径及左右径。测量肝右叶的 CT 值,计算肝/脾 CT 值比及肝/下腔静脉 CT 值比。记录整个扫描过程和平扫期对应的仪器自动生成的剂量长度乘积(dose length product, DLP)。

### 3. 统计学分析

采用 SPSS16.0 软件进行统计学分析,计量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示。将 TNC 和 VNC 图像所测得肝左叶、肝右叶、脾脏、下腔静脉 CT 值及 SD 值、肝/脾 CT 值比与肝/下腔静脉 CT 值比运用配对 t 检验进行分析。运用 Pearson 相关性检验分别检验 TNC 和 VNC 图像上肝右叶噪声与前后径、左右径及平均径的关系,并检验肝/脾 CT 值比及肝/下腔静脉 CT 值比在 TNC 和 VNC 图像上的相关性。分别用肝/脾 CT 值比 < 0.8、肝/下腔静脉 CT 值比 < 1.0,做为诊断重度脂肪

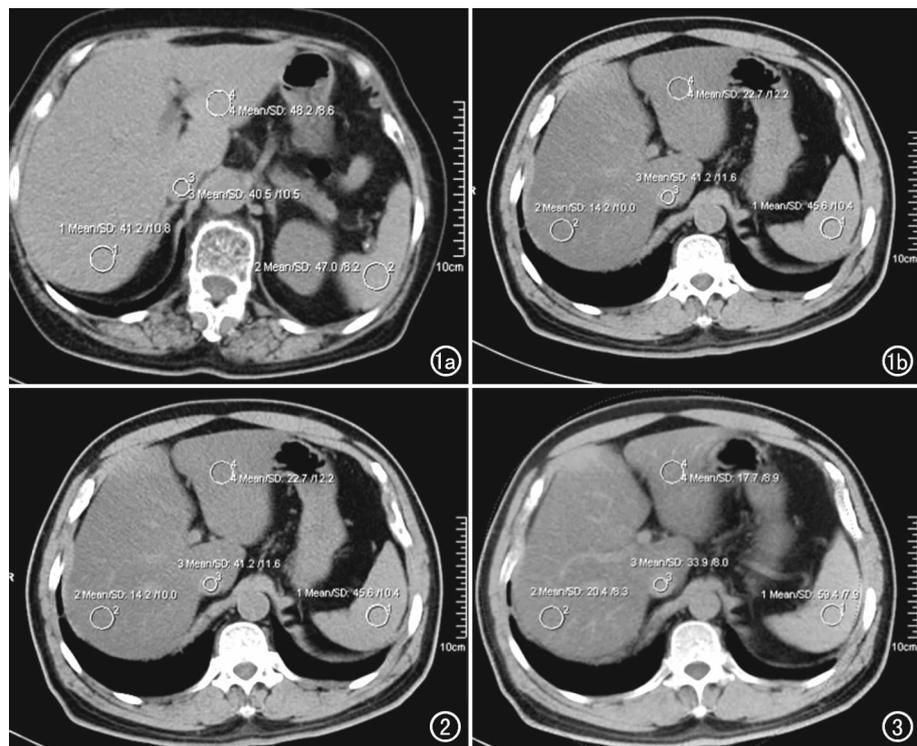


图 1 轻度脂肪肝患者 CT 扫描图像。a) TNC 图像; b) VNC 图像。图 2 中重度脂肪肝患者 TNC 图像。图 3 中重度脂肪肝患者 VNC 图像。

肝的标准。运用卡方检验计算 kappa 值,比较 TNC 和 VNC 图像诊断重度脂肪肝的一致性。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结果

### 1. TNC 和 VNC 图像各部位 CT 值及噪声比较

VNC 图像上肝左叶、肝右叶、脾脏的 CT 值明显高于 TNC 图像( $P < 0.05$ ),下腔静脉的 CT 值差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。在 VNC 图像上,各部位的噪声均低于 TNC 图像(表 1)。

表 1 TNC 与 VNC 图像上各部位 CT 值及噪声比较

部位	TNC	VNC	t 值
肝左叶 CT 值(HU)	35.6±11.9	41.3±12.6	-9.4*
肝左叶噪声(HU)	11.6±10.4	7.0±1.2	3.7*
肝右叶 CT 值(HU)	31.0±12.0	40.4±13.1	-17.6*
肝右叶噪声(HU)	10.5±1.6	6.9±1.0	19.3*
脾脏 CT 值(HU)	47.8±4.6	54.5±4.0	-10.7*
脾脏噪声(HU)	9.8±2.3	6.5±1.1	12.2*
下腔静脉 CT 值(HU)	40.8±4.7	39.9±5.7	1.328**
下腔静脉噪声(HU)	10.5±2.4	6.7±1.6	12.1*
肝右叶 CT 值/脾脏 CT 值	0.65±0.25	0.74±0.24	-9.31*
肝右叶 CT 值/下腔静脉 CT 值	0.77±0.32	1.04±0.39	-12.68*

注: \*  $P < 0.01$ , \*\*  $P > 0.05$ 。

### 2. TNC 与 VNC 图像上肝右叶噪声与腹部径线值的关系

患者上腹部前后径为(263.8±27.9) mm,左右径为(323.3±24.5) mm,平均径(前后径与左右径的平均值)为(293.6±25.1) mm。在 TNC 图像上,肝右叶噪声与前后径、左右径、平均径均有中等相关性,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。在 VNC 图像上,肝右叶噪声与上述径线值相关性较弱,且除左右径外,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ,表 2)。

表 2 TNC 与 VNC 图像上肝右叶噪声与腹部径线值的关系

指标	r 值	P 值
TNC 肝右叶噪声—前后径	0.562	0.000
—左右径	0.604	0.000
—平均径	0.608	0.000
VNC 肝右叶噪声—前后径	0.180	0.117
—左右径	0.226	0.048
—平均径	0.211	0.066

### 3. TNC 与 VNC 图像对于诊断重度脂肪肝的一致性分析

TNC 与 VNC 图像上的肝右叶/脾脏 CT 值比及肝右叶/下腔静脉 CT 值比均具有高度相关性(相关系数  $r$  值分别为 0.931 和 0.886,  $P$  值均  $< 0.01$ )。

用肝/脾 CT 值比  $< 0.8$  作为诊断重度脂肪肝的标准(表 3),TNC 与 VNC 图像诊断重度脂肪肝一致性的 kappa 值为 0.591。用肝/静脉 CT 值比  $< 1.0$  作为诊断重度脂肪肝的标准(表 4),两种图像诊断一致性的 kappa 值为 0.458。两种方法均为中等一致性,且肝脾比这一标准的一致性更高。

表 3 TNC 与 VNC 图像对重度脂肪肝的诊断结果 (例)

TNC	VNC		合计
	肝/脾 CT 值比 $< 0.8$	肝/脾 CT 值比 $\geq 0.8$	
肝/脾 CT 值比 $< 0.8$	41	13	54
肝/脾 CT 值比 $\geq 0.8$	2	21	23
合计	43	34	77

表 4 TNC 与 VNC 图像对重度脂肪肝的诊断结果 (例)

TNC	VNC		合计
	肝/静脉 CT 值比 $< 1$	肝/静脉 CT 值比 $\geq 1$	
肝/静脉 CT 值比 $< 1.0$	37	20	57
肝/静脉 CT 值比 $\geq 1.0$	1	19	20
合计	38	39	77

### 4. 扫描剂量

本组病例腹部动脉增强扫描总 DLP 为(1124±328) mGy·cm,平扫期 DLP 为(270±70) mGy·cm,平扫期 DLP 占总扫描 DLP 的 24.2%。

## 讨论

脂肪肝是因肝脏代谢和功能异常,肝细胞内甘油三酯聚集过多所致。多种疾病和致病因素均可导致肝脏脂肪变性,在此基础上可发生脂肪性肝炎、肝纤维化乃至肝硬化和肝癌<sup>[6]</sup>。此外,多项大型临床研究提示,脂肪肝可能是糖尿病、心血管疾病及消化道肿瘤的独立危险因素,且中重度脂肪肝的危险更大<sup>[7]</sup>。在大多数开展活体供肝肝移植手术的研究中心,供肝如果是中重度脂肪肝,是手术的绝对禁忌症<sup>[8]</sup>,而供肝是轻度脂肪肝则可以安全手术<sup>[9]</sup>。因此,对于脂肪肝尤其是中重度脂肪肝的诊断,具有重要的临床意义。诊断脂肪肝的金标准为组织穿刺活检,但该方法为有创性操作,且取样局限,不能反映肝脏整体情况。腹部 B 超及 CT 检查操作简便,是目前临床诊断脂肪肝最为常见的技术手段。相对于 B 超,腹部 CT 图像质量受肠腔胀气及腹壁脂肪厚度的影响较小,操作者依赖性低,对脂肪肝的评价更为客观,且能够进行定量测量。

肝细胞内脂肪含量越高,肝 CT 值越低。真实平扫诊断重度脂肪肝具有较高的准确率。在 Park 等<sup>[10]</sup>针对 154 例活体肝移植供者的研究中,以肝活检的病理学评价做为金标准,评价肝/脾 CT 值  $< 0.8$  诊断重度脂肪肝(即肝脏内脂肪含量超过 30%)的诊断效能,特异度达到 100%,敏感度达到 82%。在 Lee 等<sup>[11]</sup>的研究中,同样以活检病理为金标准,以肝静脉相对肝脏的密度为评价指标,肝脏密度低于肝静脉(肝血管反转)对于诊断中重度脂肪肝具有较高的特异度,可达 95.8%(23/24)。因此,对于 TNC 图像,用肝/脾 CT 值比  $< 0.8$ 、肝/下腔静脉 CT 值比  $< 1.0$  可以做为诊断中重度脂肪肝的标准。在行 CT 增强扫描时,肝脏、

脾脏及血管的密度变化各不相同,会明显影响脂肪肝的诊断。随着双源 CT 的应用,可双能量采集增强 CT 图像,重建出 VNC 图像,本文的研究目的即为探讨 VNC 图像对脂肪肝的诊断价值。

本组研究提示,VNC 图像上肝左叶、肝右叶、脾脏的 CT 值明显高于 TNC,下腔静脉的 CT 值无明显差异。回顾上腹部 VNC 的相关文献发现,大多数研究认为 TNC 与 VNC 的 CT 值差异不大<sup>[1,2,5]</sup>,但肝脏、脂肪、脾脏、胰腺各个结构,均有类似的虚拟平扫 CT 值高于真实平扫结果且差异具有统计学意义的报道<sup>[3-5]</sup>;发生这种现象可能的原因包括各研究间对比剂浓度与注射流率的差异、扫描时期的差异、扫描参数的不同等,还有一种解释为双能射线能谱存在交叉,肝脾实质在门脉期均为明显强化,微小部分的碘仍存在于 VNC 图像中未被减除。今后可以考虑设计开展荟萃分析研究,进一步评价 TNC 与 VNC 间 CT 值的差异。

此外,本研究还提示 VNC 的噪声明显低于 TNC,但这并不意味着 VNC 具有更高的图像质量。由于双能量 CT 采用了 D 卷积核用于提高物质特性,在降低噪声的同时导致图像细节的丢失,因此这种噪声的降低并不真实<sup>[12]</sup>,反而可能造成图像质量的下降。既往研究已显示,主观图像质量评分上 VNC 低于 TNC<sup>[2]</sup>。本研究显示 TNC 图像上肝右叶噪声与腹部径线值均具有中等相关性,符合 CT 的成像技术原理。但在 VNC 图像上,肝右叶噪声与上述径线值相关性较弱,也提示了 VNC 的噪声不能反映实际情况。

本研究显示,用肝/脾 CT 值比 $<0.8$ 及肝/下腔静脉 CT 值比 $<1.0$ 做为定量诊断标准,门脉期 VNC 图像与 TNC 图像在定量诊断重度脂肪肝上具有中等的一致性,且肝/脾 CT 值比更为准确。这一结果与肝/脾 CT 值比在两组图像中相关性更高相符合。本研究在设计中考虑到肝静脉管径较小,用下腔静脉代替肝静脉进行 ROI 的测量,但下腔静脉的充盈程度在不同患者间以及同一患者平扫及增强扫描期间,都可能存在差异而导致取样误差,且下腔静脉的强化影响因素较多,从而影响肝/下腔静脉 CT 值比的诊断符合率。此外,本研究显示,用 VNC 代替 TNC 可降低 24% 的辐射剂量。当前,合理减低辐射剂量这一理念已成为业界共识<sup>[13]</sup>,VNC 这一优势具有重要的临床意义。

本研究具有一定的局限性。首先,缺乏病理结果的金标准对照,穿刺活检诊断脂肪肝患者接受度低,将来需要动物实验进一步评价。其次,研究对象均已诊断为脂肪肝,缺乏正常人群的对照,在后续研究中,需增加样本量及正常对照,研究 VNC 图像对于脂肪肝的检出价值,并增加定性评价指标。

此外,既往研究证实脂肪在不同 X 线能级下的 CT 值各不相同,在 80 kVp 与 140 kVp 上,肝脏 CT 值差异超过 10 HU 提示肝实质内存在超过 25% 的脂肪浸润<sup>[14]</sup>。还有研究提出,肌肉组织可代替脾脏做为评价增强 CT 上肝脏密度降低的参照标准<sup>[15]</sup>。高、低能级增强图像间肝脏 CT 值差异对于脂肪肝的诊断价值以及肌肉这一参照物对于 VNC 图像上脂肪肝的诊断价值,还有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Graser A, Johnson TR, Hecht EM, et al. Dual energy CT in patients suspected of having renal masses: can virtual nonenhanced images replace true nonenhanced images[J]. *Radiology*, 2009, 252(2):433-440.
- [2] 袁元, 黄子星, 李真林, 等. 胰腺双能量 CT 虚拟平扫与真实平扫的初步对比研究[J]. *放射学实践*, 2013, 28(12):1191-1195.
- [3] 石磊, 张欢, 潘自来, 等. 双能量 CT 在胃癌虚拟平扫应用的初步探讨[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2013, 19(1):33-37.
- [4] 林志焯, 吴先衡, 林货英, 等. 双源 CT 双能量虚拟平扫在胆系结石检查中的价值[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2014, 23(3):216-219.
- [5] 彭晋, 张龙江, 周长圣, 等. 对比剂注射流率对双源 CT 上腹部虚拟平扫图像质量的影响[J]. *放射学实践*, 2010, 25(2):215-218.
- [6] El-Serag HB, Tran T, Everhart JE. Diabetes increases the risk of chronic liver disease and hepatocellular carcinoma[J]. *Gastroenterology*, 2004, 126(2):460-468.
- [7] Armstrong MJ, Adams LA, Canbay A, et al. Extrahepatic complications of nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Hepatology*, 2014, 59(3):1174-1197.
- [8] McCormack L, Clavien PA. Understanding the meaning of fat in the liver[J]. *Liver Transpl*, 2005, 11(2):137-139.
- [9] Cho JY, Suh KS, Kwon CH, et al. The hepatic regeneration power of mild steatotic grafts is not impaired in living-donor liver transplantation[J]. *Liver Transpl*, 2005, 11(2):210-217.
- [10] Park SH, Kim PN, Kim KW, et al. Macrovesicular hepatic steatosis in living liver donors: use of CT for quantitative and qualitative assessment[J]. *Radiology*, 2006, 239(1):105-112.
- [11] Lee SW, Park SH, Kim KW, et al. Unenhanced CT for assessment of macrovesicular hepatic steatosis in living liver donors: comparison of visual grading with liver attenuation index[J]. *Radiology*, 2007, 244(2):479-485.
- [12] Numburi UD, Shonehagen P, Flamm SD, et al. Feasibility of dual-energy CT in the arterial phase: imaging after endovascular aortic repair[J]. *AJR*, 2010, 195(2):486-493.
- [13] Slovis TL. The ALARA conception in pediatric CT: myth or reality[J]. *Radiology*, 2002, 223(1):5-6.
- [14] Raptopoulos V, Karellas A, Bernstein J, et al. Value of dual-energy CT in differentiating focal fatty infiltration of the liver from low-density masses[J]. *AJR*, 1991, 157(4):721-725.
- [15] Panicek DM, Giess CS, Schwartz LH. Qualitative assessment of liver for fatty infiltration on contrast-enhanced CT: is muscle a better standard of reference than spleen? [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 1997, 21(5):699-705.