

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.18.016

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240829.1312.006\(2024-08-30\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240829.1312.006(2024-08-30))

二代双层探测器光谱 CT 腹部虚拟平扫诊断 脂肪肝的可行性研究

程勇¹, 丁杰豪¹, 张钰¹, 曹城浩¹, 郑卓¹, 彭丽¹, 张潇迪², 李真林^{1△}

(1. 四川大学华西医院放射科, 成都 610041; 2. 飞利浦医疗临床科研部, 成都 610000)

[摘要] **目的** 探讨二代双层探测器光谱 CT 腹部虚拟平扫(VNC)诊断脂肪肝的可行性。**方法** 回顾性分析 2022 年 6 月至 12 月在四川大学华西医院放射科采用二代双层探测器光谱 CT 上行腹部增强 CT 检查患者 128 例的影像资料。在真实平扫(TNC)、动脉期 VNC(A-VNC)、静脉期 VNC(V-VNC)图像上测量所有患者肝脏左叶、右前叶、右后叶、脾脏的 CT 值,并计算相应时相肝脏 CT 值与脾脏 CT 值的差值(L-S)及比值(L/S)。参考以往研究 TNC 图像诊断脂肪肝的阈值,将纳入病例分为脂肪肝与非脂肪肝两组。采用 Mann-Whitney U 检验比较脂肪肝组与非脂肪肝组之间定量参数的差异,通过受试者工作特征曲线(ROC)评估 VNC 诊断脂肪肝的效能,并使用 DeLong's 检验比较 ROC 曲线之间的差异。采用组间相关系数(ICC)评估数据测量的一致性。**结果** 数据的组内及组间一致性 ICC 值范围分别为 0.835~0.986、0.810~0.978($P<0.05$)。A-VNC 和 V-VNC 的肝脏左叶、右前叶、右后叶及三叶的平均值和脾脏的 CT 值均低于 TNC,差异均有统计学意义($P<0.05$)。非脂肪肝组 TNC、A-VNC、V-VNC 的 CT 值、(L-S)值及(L/S)值均高于脂肪肝组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。A-VNC、V-VNC 的 CT 值诊断脂肪肝的 ROC 曲线下面积(AUC)均为 0.997,诊断效能差异无统计学意义($Z=0.407, P=0.684$)。A-VNC(L-S)、V-VNC(L-S)诊断脂肪肝的 AUC 值分别为 1.000、0.981,诊断效能差异无统计学意义($Z=1.790, P=0.074$)。A-VNC(L/S)、V-VNC(L/S)诊断脂肪肝的 AUC 值分别为 0.992、0.987,诊断效能差异也无统计学意义($Z=0.665, P=0.506$)。**结论** 二代双层探测器光谱 CT 重建的 VNC 图像中肝脏、脾脏的 CT 值低于 TNC,但基于 VNC 图像诊断脂肪肝仍是可行的。

[关键词] 脂肪肝;体层摄影术;X 射线计算机;虚拟平扫;腹部

[中图法分类号] R445.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)18-2804-06

Feasibility study on second-generation dual-layer detector spectral CT abdominal VNC in diagnosing fatty liver

CHENG Yong¹, DING Jiehao¹, ZHANG Yu¹, CAO Chenghao¹, ZHENG Zhuo¹,
PENG Li¹, ZHANG Xiaodi², LI Zhenlin^{1△}

(1. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. Philips Clinical Medical Research Division, Chengdu, Sichuan 610000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the feasibility of second-generation dual-layer detector spectral CT abdominal virtual non-contrast(VNC) for diagnosing fatty liver. **Methods** The imaging data of 128 patients with second-generation dual-layer detector spectral CT abdominal enhanced CT in West China Hospital of Sichuan University from June 2022 to December 2022 were retrospectively analyzed. The CT values of the left lobe, right anterior lobe, right posterior lobe and spleen of all patients were measured on TNC, arterial stage VNC (A-VNC) and venous stage VNC (V-VNC) images. The difference value (L-S) and ratio value (L/S) between the CT value of liver and CT value of spleen were calculated. According to the threshold value of TNC image diagnosis of fatty liver in previous studies, the included cases were divided into two groups: fatty liver group and non-fatty liver group. The Mann-Whitney U test was used to compare the difference of quantitative parameters between the fatty liver group and non-fatty liver group. The efficiency of VNC in the diagnosis of fatty liver was evaluated by the receiver operating characteristic (ROC) curve, and the difference between ROC curves was compared with DeLong's test. The intra-group and inter-group correlation coefficient

(ICC) values were used to evaluate the consistency of data measurement. **Results** The ICC values of intra-group and inter-group consistency of data ranged (0.835–0.986) and (0.810–0.978), respectively ($P < 0.05$). The mean value of left lobe, right anterior lobe, right posterior lobe and triple lobe of liver and CT value of spleen in A-VNC and V-VNC images were lower than those of TNC images, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The CT values of TNC, A-VNC, V-VNC, (L-S) values and (L/S) values of the non-fatty liver group were higher than those of the fatty liver group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The CT value, (L-S) value and (L/S) value of TNC, A-VNC and V-VNC images in the non-fatty liver group were higher than those in the fatty liver group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The area under the curve (AUC) of CT values of A-VNC and V-VNC for the diagnosis of fatty liver all were 0.997, and their efficiencies for diagnosing fatty liver had no statistical difference ($Z = 0.407, P = 0.684$). AUC of A-VNC (L-S) and V-VNC (L-S) in the diagnosis of fatty liver was 1.000 and 0.981, respectively, and their efficiencies for diagnosing fatty liver had no statistical difference ($Z = 1.790, P = 0.074$). AUC of A-VNC (L/S) and V-VNC (L/S) in the diagnosis of fatty liver was 0.992 and 0.987, respectively, and their efficiencies for diagnosing fatty liver also had no statistical difference ($Z = 0.665, P = 0.506$). **Conclusion** The CT values of liver and spleen in VNC images reconstructed by second-generation dual-layer detector spectral CT are lower than TNC, but it is still feasible to diagnose fatty liver based on VNC images.

[Key words] fatty liver; tomography; X-ray computer; virtual non-contrast; abdomen

脂肪肝是最常见的肝脏疾病, 又称肝脏脂肪变性, 是指肝细胞中积累了过多的脂肪组织, 也是成人肝脏最常见的影像学表现之一^[1-2]。单纯的肝脏脂肪变性是可逆的, 但肝脏的脂肪变性可能会伴随炎症(脂肪性肝炎), 进一步进展可能会导致肝纤维化或肝硬化^[2-6]。近年来, 脂肪肝的发病率呈逐年上升趋势, 严重地影响了人们的身体健康^[7-8]。饮酒是导致肝脏脂肪变性的主要原因, 但许多国家非酒精性脂肪肝的发病率也很高, 为 15%~30%^[9-11]。肝脏活检被认为是诊断肝脏脂肪变性的金标准, 但其为有创检查, 且可能引起许多相关的并发症^[12]。目前, 影像学是检出脂肪肝的主要方法, 包括超声、CT、MRI 等。以往研究^[13-16]表明, 基于 CT 检查的真实平扫(true non-contrast, TNC)图像对诊断脂肪肝具有很高的准确性。TNC 诊断脂肪肝采用的主要参数有肝脏 CT 值、肝脏 CT 值与脾脏 CT 值的差值(L-S), 以及肝脏 CT 值与脾脏 CT 值的比值(L/S)。随着 CT 设备的发展, 基于不同原理的能量 CT 都可以获得虚拟平扫(virtual non-contrast, VNC)图像。既往有研究^[17]表明用双层探测器光谱 CT 生成的 VNC 图像代替 TNC 图像降低患者 CT 检查辐射剂量具有可行性, 但在脂肪 CT 值还原方面效果并不理想, 其在诊断脂肪肝方面的性能更是未知。已有研究^[12, 18]表明基于双球管的双源 CT 及光子计数 CT 生成的 VNC 图像都能准确地评估脂肪肝, 但二代双层探测器光谱 CT 在临床上应用的时间较短, 关于其 VNC 图像诊断脂肪肝的研究尚未见报道。因此本研究旨在探讨二代双层探测器光谱 CT 腹部 VNC 图像诊断脂肪肝的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性收集 2022 年 6 月至 12 月在四川大学华西医院行二代双层探测器光谱 CT 腹部双期增强检查患者的影像学资料。纳入标准:(1)图像必须包括平扫、动脉、静脉三期, 且完整包括肝脏和脾脏;(2)检查前一周内未在其他医院行增强 CT 相关检查。排除标准:(1)图像质量不佳, 不能满足临床诊断要求;(2)肝脏或脾脏肿瘤、肝炎、肝硬化等肝脾相关疾病史或治疗史;(3)其他腹部相关手术治疗史。共纳入患者 128 例, 男、女均为 64 例, 年龄 28~78 岁, 平均(55.17±11.34)岁;影像诊断为胆囊结石(炎症)的 18 例、胆囊占位 13 例、肾囊肿(结石)27 例、输尿管结石 12 例、肾或肾上腺占位 9 例、胰腺炎 11 例、胰腺占位 6 例、肠道病变 22 例, 未见异常 34 例。本研究获得四川大学华西医院伦理委员会批准[审批号:2023 年审(296 号)], 且所有患者免除签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 CT 检查

采用荷兰飞利浦公司 Spectral CT 扫描仪, 对患者行腹部平扫及动脉期和静脉期 CT 扫描。患者采用足先进仰卧位, 双手伸直上举, 扫描范围自膈顶至耻骨联合下缘。对比剂采用碘海醇(浓度 350 mg I/mL, 通用电气药业上海有限公司)经右侧肘前静脉注射, 用量为 70~80 mL, 流率为 2.0~2.5 mL/s。采用阈值自动触发技术, 将监测 ROI 设置在肾门平面腹主动脉内, 当 ROI 内平均 CT 值达 150 HU 时延迟 12 s 启动动脉期扫描, 动脉期扫描结束后延迟 30 s 扫描静脉期。扫描参数:管电压 120 kV, 管电流采用自动管电流调节技术, 转速为 0.5 r/s, 螺距 1.0, 层厚及层间距均为 2 mm。

1.2.2 图像分析

将扫描获得的三期图像传输至星云图像后处理工作站(IntelliSpace Portal 12.1)进行数据测量。

1.2.3 数据测量

在工作站能谱数据处理模块中同时打开平扫期、动脉期和静脉期光谱图(spectral based image, SBI), 将动脉期和静脉期 SBI 分别生成 VNC 图, 即 A-VNC、V-VNC。由一名有 5 年工作经验的放射科医师测量门静脉层面内肝脏及脾脏 CT 值, 测量时适当调整各期层面, 尽量使三期位于相同层面后测量。参考以往文献^[19], 在 TNC 上分别测量层面内肝脏右前叶、右后叶、左叶及脾脏的 CT 值, ROI 大小设置为 $150 \sim 200 \text{ mm}^2$, 测量时避开血管、钙化等, 见图 1。再将 TNC 上的 ROI 逐一复制粘贴到 A-VNC 及 V-VNC 上进行测量, 以保证三期测量位置及 ROI 大小相同。计算对应期相肝脏与脾脏 CT 值的差值及比

值, 肝脏计算时取三叶的平均值, 即 $L-S = [(CT \text{ 值}_{\text{肝脏右前叶}} + CT \text{ 值}_{\text{肝脏右后叶}} + CT \text{ 值}_{\text{肝脏左叶}}) / 3] - CT \text{ 值}_{\text{脾脏}}$; $L/S = (CT \text{ 值}_{\text{肝脏右前叶}} + CT \text{ 值}_{\text{肝脏右后叶}} + CT \text{ 值}_{\text{肝脏左叶}}) / (3 \times CT \text{ 值}_{\text{脾脏}})$ 。测量完成 2 周后, 该技师从中随机选取 30 例病例进行再次测量, 测量方法与上述完全相同, 将两次测量数据进行组内一致性评价。

研究期间由另一名有 3 年工作经验的放射科技师对选取的 30 例病例按照相同方法进行测量, 与有 5 年工作经验的医师第一次测量的数据进行组间一致性评价。

1.2.4 诊断标准

参考以往 CT 诊断脂肪肝的相关研究^[18-19], 将 TNC 上肝脏 CT 值 $\leq 40 \text{ HU}$ 、 $L-S \leq -10 \text{ HU}$ 、 $CT(L/S) \leq 0.8$ 认为是诊断脂肪肝的截断值, 将患者分为脂肪肝组与非脂肪肝组。



图 1 CT 值测量 ROI 放置示意图
A: TNC 图像, 肝脏右后叶、右前叶、左叶、脾脏的 CT 值分别为 51.1 HU、49.0 HU、54.3 HU、54.7 HU; B: A-VNC 图像, 肝脏右后叶、右前叶、左叶、脾脏的 CT 值分别为 44.3 HU、48.0 HU、50.4 HU、49.0 HU; C: V-VNC 图像, 肝脏右后叶、右前叶、左叶、脾脏的 CT 值分别为 49.9 HU、49.4 HU、54.3 HU、49.9 HU。

1.3 统计学处理

采用 SPSS25.0 和 MedCalc15.2 软件进行统计分析。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)对测量参数做组内和组间一致性评价。当 ICC 值 < 0.4 时认为一致性差; $0.4 \sim < 0.6$ 一致性一般; $0.6 \sim < 0.8$ 一致性较好; ≥ 0.8 一致性很好。采用 Shapiro-Wilk 检验和 Levene 检验分别检验计量资料的正态性和方差齐性。符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 两组间比较采用独立样本 t 检验; 不符合正态分布则用中位数和四分位数 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验, 3 组间整体比较采用 Kruskal-Wallis H 检验, 整体有统计学差异时采用 Bonferroni 方法进行两两比较。采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC)评估各期 VNC 诊断脂肪肝的效能, 计算最佳截断值下的灵敏度和特异度, 并用 DeLong's 检验比较 ROC 曲线之间的差异。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 数据测量一致性分析

所有测量数据的组内和组间一致性均很好, ICC 值范围分别为 $0.835 \sim 0.986$ 、 $0.810 \sim 0.978$ ($P < 0.05$), 表明数据测量的可重复性高, 见表 1。

2.2 TNC 与 VNC 比较

TNC 上肝脏右前叶、右后叶、左叶、脾脏的 CT 值均高于 A-VNC 和 V-VNC, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。A-VNC 和 V-VNC 的肝脏右前叶、右后叶、左叶、脾脏的 CT 值比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。TNC、A-VNC 和 V-VNC 3 组间 (L-S) 值整体比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 但 A-VNC 和 V-VNC 图像上 (L/S) 值要高于 TNC, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 2。

2.3 VNC 诊断效能

非脂肪肝组 TNC、A-VNC、V-VNC 图像上肝脏平均 CT 值、(L-S) 值、(L/S) 值均高于脂肪肝组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 3。以 A-VNC 及 V-VNC 上测量及计算的参数做 ROC 曲线诊断脂肪肝, 所有参数均可以很好地诊断脂肪肝, AUC 值为 $0.981 \sim 1.000$, 且相同参数不同期相 VNC 图像之间诊断效能差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 4、图 2。

表 1 组内及组间数据测量的 ICC 结果

项目	TNC				A-VNC				V-VNC			
	右后叶	右中叶	左叶	脾脏	右后叶	右中叶	左叶	脾脏	右后叶	右中叶	左叶	脾脏
组内	0.960	0.986	0.972	0.901	0.969	0.978	0.956	0.856	0.969	0.976	0.958	0.835
组间	0.956	0.978	0.977	0.845	0.954	0.972	0.961	0.810	0.961	0.973	0.946	0.838

表 2 TNC 与不同期相 VNC 相关参数的比较[M(Q₁,Q₃)]

项目	TNC	A-VNC	V-VNC	χ^2	P
肝脏					
右后叶	59.95(48.68,66.40)	54.30(44.40,57.88)	54.90(46.08,59.65)	28.51	<0.001
右中叶	61.05(49.03,65.68)	53.53(44.85,58.40)	55.40(47.23,59.55)	32.91	<0.001
左叶	62.25(52.23,66.70)	55.00(47.98,58.38)	56.50(49.78,60.40)	33.90	<0.001
平均	61.75(50.45,66.19)	54.75(46.14,58.07)	55.45(47.95,59.89)	33.64	<0.001
脾脏	53.80(51.80,56.48)	46.30(44.10,48.00)	46.60(44.83,48.40)	198.90	<0.001
L-S	7.33(-4.88,12.88)	8.63(0.13,12.73)	8.68(1.31,13.87)	3.04	0.219
L/S	1.13(0.90,1.24)	1.18(1.00,1.28)	1.19(1.03,1.30)	8.13	0.017

表 3 脂肪肝组与非脂肪肝组参数比较[M(Q₁,Q₃)]

项目	非脂肪肝组	脂肪肝组	Z	P
肝脏平均 CT 值(HU)				
患者数(n)	114	14		
TNC	62.78(53.29,66.38)	36.87(32.34,37.77)	-6.09	<0.001
A-VNC	55.55(48.68,58.65)	34.15(32.42,36.75)	-60.60	<0.001
V-VNC	56.72(51.04,60.04)	34.85(33.02,38.07)	-6.05	<0.001
L-S(HU)				
患者数(n)	116	12		
TNC	9.25(-1.29,13.53)	-19.35(-22.18,-14.81)	-5.52	<0.001
A-VNC	9.23(3.02,12.89)	-14.65(-18.93,-12.87)	-5.69	<0.001
V-VNC	9.58(3.47,14.33)	-11.23(-15.08,-8.67)	-5.47	<0.001
L/S				
患者数(n)	109	19		
TNC	1.18(1.00,1.25)	0.68(0.63,0.73)	-6.94	<0.001
A-VNC	1.21(1.08,1.29)	0.75(0.70,0.87)	-6.83	<0.001
V-VNC	1.22(1.09,1.31)	0.80(0.72,0.86)	-6.77	<0.001

表 4 VNC 图像诊断脂肪肝的效能

项目	AUC	95%CI	截断值	灵敏度(%)	特异度(%)	Z	P
肝脏平均 CT 值(HU)						0.407	0.684
A-VNC	0.997	0.967~1.000	41.200	100.0	98.25		
V-VNC	0.997	0.965~1.000	41.930	100.0	97.37		
L-S(HU)						1.790	0.074
A-VNC	1.000	0.972~1.000	-10.460	100.0	100.0		
V-VNC	0.981	0.939~0.997	-6.000	100.0	96.55		
L/S						0.665	0.506
A-VNC	0.992	0.957~1.000	0.949	94.50	100.0		
V-VNC	0.987	0.949~0.999	0.988	94.50	100.0		

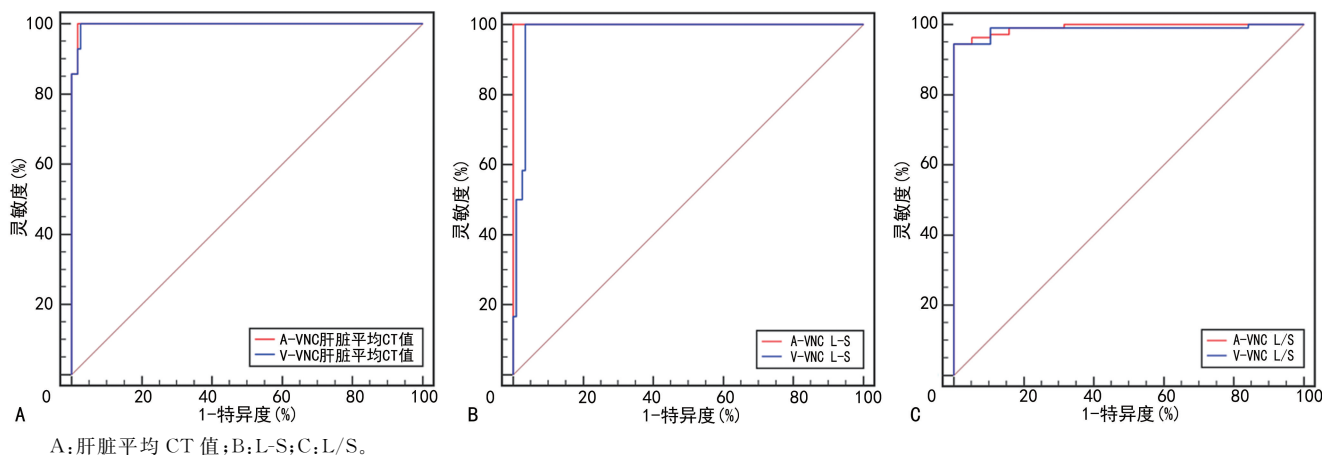


图 2 A-VNC 和 V-VNC 参数诊断脂肪肝的 ROC 曲线

3 讨论

脂肪肝是临床常见的疾病,可通过多种影像学方法检出,包括超声、CT、MRI 等。随着 CT 设备的发展,不同原理的能谱 CT 设备被广泛地应用于临床,能谱 CT 可以实现 CT 多参数的临床应用,在病灶检出、疾病诊断等方面具有独特优势。第一代的双层探测器光谱 CT 已在临床上得到了一致认可,可以提供多达 12 种的能量参数,提高了疾病诊断的准确性,增加了影像诊断医师的信心^[20]。有研究^[17]表明,光谱 CT 在腹部增强扫描中生成的 VNC 图像能还原 TNC 图像上部分组织的 CT 值,且 VNC 能保持良好的图像质量,若用 VNC 代替 TNC,可能使患者减低 33% 左右的辐射剂量。在此基础上,本研究评估 VNC 能否诊断脂肪肝及其诊断效能。

本研究结果中,肝脏及脾脏 CT 值在 VNC 和 TNC 图像上都是不同的,且差异有统计学意义。本研究中,TNC 图像上肝脏平均 CT 值和脾脏 CT 值都要高于 A-VNC 及 V-VNC 图像,肝脏在 TNC 上的平均 CT 值要分别高于 A-VNC、V-VNC 图像 5.75 HU 和 4.34 HU,脾脏在 TNC 上的 CT 值要分别高于 A-VNC、V-VNC 图像 7.85 HU 和 7.28 HU。以往也有关于双源 CT 的研究^[21]得出肝脏与脾脏的 CT 值在 TNC 图像上要明显高于 VNC 图像,这一结果与本本研究结果相似。但也有研究^[22]表明,肝脏 CT 值在 TNC 图像与 A-VNC 及 V-VNC 图像上并无差异,但 V-VNC 图像上脾脏 CT 值要低于 TNC 图像。虽然本研究结果表明肝脏和脾脏的 CT 值在 TNC 图像上要明显高于 VNC 图像,但本研究数据测量组内及组间一致性评估均很好,ICC 值均 >0.8 。造成以上结果不同的原因可能是不同能谱 CT 成像方式、不同扫描方案及对比剂注射方案的不同。

在接受腹部 CT 检查的患者中,评价有无脂肪肝尤为重要,早期发现脂肪肝可以通过饮食、锻炼等方式来避免其朝着肝炎、肝硬化这一不好的方向发展^[23-24]。本研究将以往 TNC 图像上诊断脂肪肝的阈值作为诊断标准,得到 A-VNC、V-VNC 图像上相应

指标都能很好地诊断脂肪肝。此外,相同参数在 A-VNC 与 V-VNC 诊断效能之间并没有统计学差异,这表明不同增强期相生成的 VNC 图像都可以诊断脂肪肝。但值得注意的是,在 VNC 图像上不能直接采用 TNC 诊断脂肪肝的截断值,因为 TNC 图像上测得的肝脏和脾脏 CT 值要高于 VNC 图像,若直接使用 TNC 的诊断阈值则可能导致在 VNC 图像上对脂肪肝的过度诊断。根据本研究结果,推荐采用 A-VNC、V-VNC 图像上肝脏的平均 CT 值诊断脂肪肝时,其截断值应分别调整为 41.2 HU、41.93 HU;当采用 A-VNC、V-VNC 图像上(L-S)值诊断脂肪肝时,其截断值应相应调整为 -10.46 HU、-6.0 HU;当采用 A-VNC、V-VNC 图像上(L/S)值诊断脂肪肝时,其截断值应相应调整为 0.95、0.98。

本研究存在不足:(1)样本量较小,在未来需要进行多中心大样本研究进一步证实;(2)本研究为回顾性研究,可能存在选择偏移,另外在对比剂用量上也未完全统一,也可能会影响研究结果;(3)本研究脂肪肝的诊断标准并不是病理学,但既往研究已证实 TNC 诊断脂肪肝具有可靠性;(4)本研究未对脂肪肝的严重程度进行分析,可能会影响 VNC 的诊断效能。

综上所述,二代双层探测器光谱 CT 在 VNC 图像上测量的肝脏和脾脏 CT 值并不能代替 TNC 图像上所测得的 CT 值,但经过调整截断值后,VNC 图像在诊断脂肪肝方面仍有很好的诊断效能,值得在临床上应用推广。

参考文献

- [1] JANG J K, JANG H, KIM J S, et al. Focal fat deposition in the liver: diagnostic challenges on imaging[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2017, 42(6): 1667-1678.
- [2] VENKATESH S K, HENNEDIGE T, JOHNSON G B, et al. Imaging patterns and focal lesions in fatty liver: a pictorial review[J]. *Ab-*

- dom Radiol (NY), 2017, 42(5):1374-1392.
- [3] COHEN S M. Alcoholic liver disease[J]. Clin Liver Dis, 2016, 20(3):xiii-xiv.
- [4] AGYAPONG G, DASHTI F, BANINI B A. Nonalcoholic liver disease: epidemiology, risk factors, natural history, and management strategies [J]. Ann N Y Acad Sci, 2023, 1526(1):16-29.
- [5] JV L, HE M, AM A, et al. A global research priority agenda to advance public health responses to fatty liver disease [J]. J Hepatol, 2023, 79(3):618-634.
- [6] NGUYEN V H, LE I, HA A, et al. Differences in liver and mortality outcomes of non-alcoholic fatty liver disease by race and ethnicity: a longitudinal real-world study [J]. Clin Mol Hepatol, 2023, 29(4):1002-1012.
- [7] BARBIERI E, SANTORO N, UMANO G R. Clinical features and metabolic complications for non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) in youth with obesity [J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2023, 14:1062341.
- [8] HARTMANN P, ZHANG X, LOOMBA R, et al. Global and national prevalence of nonalcoholic fatty liver disease in adolescents: an analysis of the global burden of disease study 2019 [J]. Hepatology, 2023, 78(4):1168-1181.
- [9] MANIKAT R, AHMED A, KIM D. Up-to-date global epidemiology of nonalcoholic fatty liver disease [J]. Hepatobiliary Surg Nutr, 2023, 12(6):956-959.
- [10] YOUNOSSI Z M, GOLABI P, PAIK J M, et al. The global epidemiology of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) and nonalcoholic steatohepatitis (NASH): a systematic review [J]. Hepatology, 2023, 77(4):1335-1347.
- [11] LAZARUS J V, MARK H E, ANSTEE Q M, et al. Advancing the global public health agenda for NAFLD: a consensus statement [J]. Nat Rev Gastroenterol Hepatol, 2022, 19(1):60-78.
- [12] CHOI M H, LEE Y J, CHOI Y J, et al. Dual-energy CT of the liver: true noncontrast vs. virtual noncontrast images derived from multiple phases for the diagnosis of fatty liver [J]. Eur J Radiol, 2021, 140:109741.
- [13] WU Z J, HIPPE D S, ZAMORA D A, et al. Accuracy of dual-energy computed tomography techniques for fat quantification in comparison with magnetic resonance proton density fat fraction and single-energy computed tomography in an anthropomorphic phantom environment [J]. J Comput Assist Tomogr, 2021, 45(6):877-887.
- [14] GUO Z, BLAKE G M, LI K, et al. Liver fat content measurement with quantitative CT validated against MRI proton density fat fraction: a prospective study of 400 healthy volunteers [J]. Radiology, 2020, 294(1):89-97.
- [15] STAREKOVA J, HERNANDO D, PICKHARDT P J, et al. Quantification of liver fat content with CT and MRI: state of the art [J]. Radiology, 2021, 301(2):250-262.
- [16] PICKHARDT P J, BLAKE G M, GRAFFY P M, et al. Liver steatosis categorization on contrast-enhanced CT using a fully automated deep learning volumetric segmentation tool: evaluation in 1 204 healthy adults using unenhanced CT as a reference standard [J]. AJR Am J Roentgenol, 2021, 217(2):359-367.
- [17] 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.
- [18] NIEHOFF J H, WOELTJEN M M, SAEED S, et al. Assessment of hepatic steatosis based on virtual non-contrast computed tomography: initial experiences with a photon counting scanner approved for clinical use [J]. Eur J Radiol, 2022, 149:110185.
- [19] ZEB I, LI D, NASIR K, et al. Computed tomography scans in the evaluation of fatty liver disease in a population based study [J]. Acad Radiol, 2012, 19(7):811-818.
- [20] 中华放射学杂志双层探测器光谱 CT 临床应用协作组. 双层探测器光谱 CT 临床应用中国专家共识 (第一版) [J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(7):635-643.
- [21] DURIEUX P, GEVENOIS P A, MUYLEM A V, 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.
- [22] DE CECCO C N, MUSCOGIURI G, SCHOEPF U J, et al. Virtual unenhanced imaging of the liver with third-generation dual-source dual-energy CT and advanced modeled iterative reconstruction [J]. Eur J Radiol, 2016, 85(7):1257-1264.