

定量 CT 脂肪参数诊断代谢综合征的最佳临界值及效能评价

张宇阳, 吕英茹, 蒋琳, 王兵, 谢玉雪, 陈爽

【摘要】 目的:探讨定量 CT(QCT)肝脏和腹腔内脂肪参数诊断代谢综合征(MS)的最佳临界值及效能。**方法:**回顾性分析 2019 年 6 月—12 月本院 1151 例体检人群的临床和 CT 资料。男性中代谢综合征的患病率为 18.9%(111/587),女性为 26.1%(147/564)。使用专用软件,测量肝脏的定量脂肪参数,包括肝脏和脾脏的平扫 CT 值以及肝脏 CT 脂肪分数(CTFF);并在 L₂₋₃ 椎间盘层面测量腹腔内脂肪组织(VAT)、皮下脂肪组织(SAT)、总脂肪组织(TAT)和非脂肪组织(NAT)的面积,计算脾脏与肝脏 CT 值的差值($\Delta CT_{脾-肝}$)和比值($CTR_{脾/肝}$)。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析肝脏 CTFF、肝脏 CT 值、脾脏 CT 值、 $\Delta CT_{脾-肝}$ 、 $CTR_{脾/肝}$ 、VAT/TAT、TAT/NAT、VAT/NAT 和 SAT/NAT 等指标诊断 MS 的效能。**结果:**在男性组中, $\Delta CT_{脾-肝}$ 和 $CTR_{脾/肝}$ 诊断 MS 的 AUC(0.736、0.738)均高于肝脏 CTFF (0.693),差异均有统计学意义(P 均 <0.05);而肝脏 CT 值诊断 MS 的 AUC 与肝脏 CTFF 比较,差异无统计学意义($P=0.500$);TAT 和 VAT 诊断 MS 的效能(AUC=0.823、0.818)优于其它腹部脂肪测量指标(P 均 <0.05)。在女性组中,肝脏 CTFF、肝脏 CT 值和 $\Delta CT_{脾-肝}$ 诊断 MS 的效能均不高(AUC=0.609~0.626),且差异无统计学意义($P>0.05$);TAT 和 SAT 诊断 MS 的效能(AUC=0.830、0.810)优于其它腹部脂肪测量指标(P 均 <0.05)。**结论:**QCT 测量的 TAT、VAT 和 SAT 对于诊断 MS 具有重要价值,肝脏脂肪定量指标诊断 MS 价值有限。

【关键词】 定量 CT; 代谢综合征; 脂肪分数; 诊断效能

【中图分类号】 R814.42; R589.1; R589.2 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2022)12-1468-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.12.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optimal cut-off value and performance of adipose parameters of quantitative CT in the diagnosis of metabolic syndrome ZHANG Yu-yang, LV Ying-ru, JIANG Lin, et al. Department of Radiology, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China

【Abstract】 Objective: To investigate the optimal cut-off value and performance of liver and visceral adipose parameters of quantitative CT (QCT) in the diagnosis of metabolic syndrome (MS). **Methods:** A total of 1151 individuals from the medical examination center from Fudan University Huashan hospital during June to December in 2019 were retrospectively analyzed. Using the dedicated Mindways software, the liver fat parameters including non-contrast enhanced CT values of liver and spleen, and liver CT fat fraction (CTFF) were measured; and at L₂₋₃ level, the areas of visceral adipose tissue (VAT), subcutaneous adipose tissue (SAT), total adipose tissue (TAT) and non-adipose tissue (NAT) were measured. The difference ($\Delta CT_{S/L}$) and ratio ($CTR_{S/L}$) of spleen-liver attenuation were manually calculated. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to identify the area under curve (AUC), sensitivity, and specificity of liver CTFF, non-contrast enhanced CT values of liver and spleen, $\Delta CT_{S/L}$, $CTR_{S/L}$, VAT/TAT, TAT/NAT, VAT/NAT and SAT/NAT. **Results:** The prevalence of MS was 18.9% (111/587) among men and 26.1% (147/564) among women. In the male group, the AUCs of $\Delta CT_{S/L}$ (0.736) and $CTR_{S/L}$ (0.738) were higher than that of CTFF (0.693) with statistical difference (both $P<0.05$). There was no statistical significance between AUC of CTFF and CT attenuation of liver ($P=0.500$). The efficacy of TAT and VAT (AUC=0.823, 0.818) for the diagnosis of

作者单位: 200040 上海, 复旦大学附属华山医院放射科(张宇阳, 吕英茹, 谢玉雪, 陈爽), 体检中心(蒋琳, 王兵)

作者简介: 张宇阳(1988—), 男, 福建福州人, 博士研究生, 主要从事骨肌 MRI 研究和诊断工作。

通讯作者: 陈爽, E-mail: chenshuang6898@126.com

基金项目: 国家自然科学基金面上基金(82171911); 国家自然科学基金青年基金(82102013); 国家重点研发计划资助项目(2018YFC2000205)

MS was superior to that of the other abdominal fat parameters (both $P < 0.05$). In the female group, the diagnostic performance of CTFF, CT attenuation of liver, and ΔCT_{SL} were relatively poor ($AUC = 0.609 \sim 0.626$), which showed no statistical significance ($P > 0.05$). The efficacy of TAT and SAT ($AUC = 0.830, 0.810$) for the diagnosis of MS was superior to that of the other abdominal fat parameters (both $P < 0.05$). **Conclusion:** TAT, VAT, and SAT of QCT play roles in the diagnosis of MS, while quantitative liver fat indicators are of limited value in the diagnosis of MS.

【Key words】 Quantitative computed tomography; Metabolic syndrome; Fat fraction; Diagnosis efficacy

代谢综合征 (metabolic syndrome, MS) 是一组与心血管疾病危险因素相关的生理和生化异常, 包括腹型肥胖、高血压、高血糖、高甘油三酯 (triglyceride, TG) 和高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol, HDL-C) 减低^[1]。不论在发达国家或发展中国家, MS 都是一个严重的公共卫生问题^[2]。研究表明, 肝脏脂肪变性和内脏脂肪增多是 MS 的重要危险因素^[3-4]。但是目前常用于评估肥胖的方法如腰围、腰臀比、身体质量指数 (body mass index, BMI) 等均不能对肝脏和腹部脂肪进行量化。腹部 CT 和 MRI 能够清楚地显示肝脏、皮下和内脏的脂肪。但传统 CT 受扫描条件和参数的影响, 不同制造商的设备测量的 CT 值之间存在一定差异, 其结果为半定量指标, 且对轻度脂肪变性不敏感^[5]。而 MRI 存在检测费用高和技术要求高等局限。定量 CT (quantitative CT, QCT) 最初主要用于骨密度 (bone mineral density, BMD) 的测量。与传统半定量 CT 相比, 经专用体模校正后的 QCT 可以获得肝脏和腹部脂肪含量的定量结果, 并允许在不同 CT 扫描仪间进行比较, 有利于开展多中心大样本研究。动物和人体研究结果均表明, QCT 获得的肝脏 CT 脂肪分数 (CT fat fraction, CTFF) 与 MRI 测量的脂肪分数之间存在高度相关性^[6-7]。本研究拟回顾性分析 MS 患者的 QCT 数据, 通过绘制受试者工作特征曲线 (receiver operator characteristic curve, ROC) 寻找诊断不同性别 MS 的反映肝脏脂肪和腹部脂肪量的 QCT 指标的最佳临界值, 并评价诊断效能。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性搜集本院体检中心 2019 年 6 月—12 月所有体检人群的病例资料。纳入标准: 体检项目包括肺部 CT、腰椎骨密度 QCT、血压测量和实验室检查 (空腹血糖、TG 和 HDL-C)。排除标准: 既往有全身类固醇药物治疗史或肝硬化、腹水和恶性肿瘤等病史。本研究获得本院医学伦理委员会的批准。

2. 代谢综合征的诊断标准

根据中华医学会糖尿病学分会发布的 2013 年版

中国 2 型糖尿病防治指南中关于代谢综合征的诊断标准, 具备以下 3 项或更多项即符合诊断要求: ①腹型肥胖, 即男性腰围 ≥ 90 cm、女性腰围 ≥ 85 cm; ②空腹 HDL-C < 1.04 mmol/L; ③空腹血糖 ≥ 6.1 mmol/L, 或既往已经明确诊断为糖尿病; ④收缩压 ≥ 130 mmHg 且舒张压 ≥ 85 mmHg, 或既往明确诊断为高血压; ⑤空腹 TG ≥ 1.7 mmol/L^[8]。由于本机构体检中心未将腰围纳入常规检查项目, 因此本研究中将 BMI ≥ 25 kg/m² 作为腹型肥胖的诊断标准之一^[1]。

3. QCT 检查方法

使用联影 UCT760 CT 扫描仪进行肺部 CT 和腰椎骨密度 QCT 检查。扫描参数: 120 kV, 100 mA, 层厚 1.0 mm, 视野 400 mm $\times$ 400 mm。每个月进行一次非同步 QCT 体模 (model 4, QCT Pro, mindways, 美国) 扫描进行 QCT 机的质量控制。

4. 肝脏脂肪量的测量

参考已发表的研究^[6], 使用 QCT 后处理工作站专用软件 (Mindways) 在门静脉右支层面于肝左叶、右前叶和右后叶内分别放置一个面积为 300 mm² 的类圆形 ROI, 测量肝脏的 CTFF 值, 取 3 个 ROI 测量结果的平均值。在 PACS 系统中测量肝脏和脾脏的 CT 值, 并计算脾脏与肝脏 CT 值的差值 ($\Delta CT_{脾-肝}$) 和比值 (ratio of CT value, $CTR_{脾/肝}$)。具体步骤: 测量肝脏的 CT 值时, 将 3 个面积为 300 mm² 的圆形 ROI 分别放置在与测量 CTFF 时所勾画的 ROI 相邻近的区; 测量脾脏 CT 值时, 在同一层面的 CT 图像上在脾脏内放置两个面积为 200 mm² 的圆形 ROI; ROI 的放置应尽量避开血管、胆管和局灶性病变区域 (图 1a)。

5. 腹部脂肪量的测量

使用 mindway 软件在 L₂₋₃ 椎间盘层面横轴面 CT 图像上, 沿着腹部肌肉外缘半自动放置一条闭合曲线, 软件将自动计算该层面内总脂肪组织 (total adipose tissue, TAT)、腹腔内脂肪组织 (visceral adipose tissue, VAT)、皮下脂肪组织 (subcutaneous adipose tissue, SAT) 和非脂肪组织 (non-adipose tissue, NAT) 的面积 (1b~c), 并计算 4 种组织面积的比值 (VAT/TAT, TAT/NAT, VAT/NAT 和 SAT/NAT)。



图 1 女性受检者,45 岁。a)肝脏 QCT 图像,在门静脉右支层面,分别在肝左叶、右前叶、右后叶和脾脏放置 ROI,测量各 ROI 的 CT 值;b)在定位像上确定 QCT 测量腹部脂肪时的定位层面为 L₂₋₃ 椎间隙平面;c)测量腹部脂肪的 QCT 图像,蓝色区域代表脂肪,黄色区域代表肌肉和内脏组织,通过软件半自动放置绿色闭合曲线,该曲线外的蓝色区域为 SAT,曲线内的蓝色区域为 VAT,两者相加为腹部 TAT。

6. 统计学分析

使用 SPSS 25.0 和 MedCalc 15.2 统计软件进行统计分析。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验进行正态性检验。对正态分布的连续变量采用 Student's *t* 检验,非正态分布者则采用 Mann-Whitney *U* 检验。采用 ROC 曲线评价各项定量指标诊断 MS 的效能。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 临床和 QCT 指标的比较

本研究最终纳入 1151 例受检者,其中男 587 例,女 564 例。共有 258 例受检者符合 MS 的诊断,男性

占 18.9%(111/587),女性占 26.1%(147/564)。男性和女性受检者中 MS 组和非 MS 组各项临床和 QCT 指标的组间比较结果见表 1。

在男性组中,MS 组和非 MS 组的年龄、BMD 值差异均无统计学意义。MS 组的肝脏 CTFF、 $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ 和 $\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$ 值高于非 MS 组,肝脏 CT 值低于非 MS 组,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。MS 组的 TAT、VAT、SAT、VAT/TAT、TAT/ NAT、VAT/ NAT 和 SAT/ NAT 均高于非 MS 组,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

在女性组中,MS 组和非 MS 组的年龄和 $\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$ 值之间的差异均无统计学意义($P>0.05$)。MS 组的

表 1 男性和女性受检者中 MS 组和非 MS 组临床及影像指标的比较

指标	男性组(n=587)		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	女性组(n=564)		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
	MS 组 (n=111)	非 MS 组 (n=476)			MS 组 (n=147)	非 MS 组 (n=417)		
BMI/kg/m ²	30.82±2.51	26.55±3.13	13.227	<0.001	30.24±1.78	24.99±3.45	8.480	<0.001
收缩压/mmHg	136.67±15.99	124.30±15.99	7.129	<0.001	140.78±18.01	121.24±20.23	5.237	<0.001
舒张压/mmHg	86.26±10.94	77.50±10.58	7.561	<0.001	83.50±9.79	72.51±11.40	5.236	<0.001
TG/mmol/L	2.94±1.95	1.72±1.73	6.299	<0.001	1.75±0.91	1.21±0.90	3.232	<0.001
HDL-C/mmol/L	0.98±0.20	1.22±0.25	-9.452	<0.001	1.24±0.26	1.48±0.32	-4.114	<0.001
血糖/mmol/L	6.22±2.10	5.53±1.42	3.916	<0.001	5.91±0.69	5.21±0.76	4.987	<0.001
年龄/岁	46.65±9.277	45.39±10.38	1.147	0.252	48.58±8.99	45.36±10.34	1.42	0.155
BMD /mg/cm ³	145.32±30.25	146.69±31.25	-0.323	0.911	125.62±38.57	160.41±42.33	-4.027	<0.001
肝脏 CT 值/HU	52.82±12.82	60.35±7.62	-7.484	<0.001	56.22±10.31	59.86±7.98	-2.373	0.019
脾脏 CT 值/HU	55.19±3.02	55.34±29.22	-0.056	0.956	52.05±3.62	51.84±2.43	0.441	0.659
肝脏脂肪参数								
肝脏 CTFF	11.41%±7.16%	7.32%±5.15%	6.565	<0.001	10.86%±5.57%	7.40%±4.54%	3.995	<0.001
$\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ /HU	2.37±12.92	-5.01±29.76	2.584	0.010	-4.17±10.70	-8.02±8.68	2.322	0.021
$\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$	1.30±1.90	0.94±0.46	2.040	0.044	0.96±0.24	0.90±0.28	1.323	0.187
腹部脂肪参数								
TAT/cm ²	365.05±90.70	257.75±90.31	10.946	<0.001	324.01±71.20	224.78±83.83	6.442	<0.001
VAT/cm ²	246.87±67.11	168.07±62.54	11.394	<0.001	158.32±43.40	113.54±53.73	4.551	<0.001
SAT/cm ²	118.18±49.11	89.68±43.24	5.857	<0.001	165.69±53.42	111.24±42.84	6.645	<0.001
VAT/TAT	0.68±0.08	0.66±0.10	2.293	0.023	0.49±0.10	0.50±0.10	-0.358	0.721
TAT/ NAT	1.75±0.33	1.23±0.35	8.525	<0.001	2.20±0.38	1.53±0.42	4.790	<0.001
VAT/ NAT	1.18±0.23	0.80±0.24	9.345	<0.001	1.08±0.20	0.77±0.24	3.667	<0.001
SAT/ NAT	0.57±0.18	0.43±0.17	4.105	<0.001	1.12±0.27	0.76±0.23	4.706	<0.001

BMD 值低于非 MS 组,差异具有统计学意义($P < 0.001$)。MS 组的肝脏 CTFF 和 $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ 值高于非 MS 组,肝脏 CT 值低于非 MS 组,差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。除 VAT/TAT 值外,MS 组的 TAT、VAT、SAT、TAT/NAT、VAT/NAT 和 SAT/NAT 均高于非 MS 组,差异均具有统计学意义($P < 0.001$)。

2. 肝脏脂肪参数诊断 MS 的效能

男性组和女性组中肝脏脂肪参数诊断 MS 的 ROC 曲线分析结果见表 2 和图 2~3。

在男性组中,肝脏 CTFF 和肝脏 CT 值、 $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ 和 $\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$ 诊断 MS 的最佳临界值分别为 8.0%、58.00HU、-4.50HU 和 0.92,相应的诊断敏感度排序为 $\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$ (66.4%) $>\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ = 肝脏 CTFF (65.5%)

$>$ 肝脏 CT 值 (59.5%),特异度排序为肝脏 CT 值 (74.6%) $>\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ = $\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$ (73.4%) $>$ 肝脏 CTFF (68.7%)。肝脏 CTFF 与肝脏 CT 值诊断 MS 的 AUC 差异无统计学意义 (0.693 vs. 0.700, $P = 0.500$), $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ 和 $\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$ 诊断 MS 的 AUC (0.736 和 0.738) 均高于肝脏 CTFF (0.693),差异有统计学意义 ($P < 0.05$),详见表 3。

在女性组中,CTFF、肝脏 CT 值和 $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ 诊断 MS 的最佳临界值分别为 9.5%、58.90HU 和 -5.90HU,诊断敏感度排序依次为肝脏 CT 值 (68.8%) $>\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ (53.1%) $>$ 肝脏 CTFF (40.63%),特异度依次为肝脏 CTFF (83.39%) $>\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ (70.6%) $>$ 肝脏 CT 值 (53.3%)。肝脏 CTFF、肝脏 CT 值和 $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ 诊断 MS 的效能均不高 ($\text{AUC} = 0.603 \sim$

表 2 各项 QCT 脂肪定量指标诊断 MS 的效能指标值

指标	男性			女性		
	AUC(95%CI)	P 值	临界值 (SEN, SPE)	AUC(95%CI)	P 值	临界值 (SEN, SPE)
肝脏 CT 值	0.700(0.655~0.743)	<0.001	58.00(59.5%, 74.6%)	0.626(0.570~0.679)	0.026	58.90(68.8%, 53.3%)
肝脏脂肪参数						
CTFF	0.693(0.647~0.736)	<0.001	8.0(65.5%, 68.7%)	0.603(0.547~0.657)	0.032	9.5(40.63%, 83.4%)
$\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$	0.736(0.692~0.777)	<0.001	-4.50(65.5%, 73.4%)	0.609(0.554~0.663)	0.039	-5.90(53.1%, 70.6%)
$\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$	0.738(0.694~0.779)	<0.001	0.92(66.4%, 73.4%)	0.599(0.544~0.653)	0.082	0.88(53.1%, 71.3%)
腹部脂肪参数						
TAT/cm ²	0.823(0.783~0.857)	<0.001	298.26(82.8%, 71.2%)	0.830(0.784~0.870)	<0.001	247.42(93.8%, 61.9%)
VAT/cm ²	0.818(0.778~0.853)	<0.001	212.71(71.6%, 79.6%)	0.767(0.716~0.812)	<0.001	136.80(75.0%, 70.9%)
SAT/cm ²	0.695(0.650~0.738)	<0.001	75.35(90.5%, 42.3%)	0.810(0.751~0.842)	<0.001	133.61(84.4%, 73.4%)
VAT/TAT	0.569(0.521~0.616)	0.020	0.64(76.7%, 40.4%)	0.489(0.380~0.598)	0.838	0.36(15.6%, 92.4%)
TAT/NAT	0.752(0.708~0.792)	<0.001	1.40(88.8%, 52.0%)	0.750(0.699~0.797)	<0.001	1.61(81.3%, 61.3%)
VAT/NAT	0.767(0.725~0.806)	<0.001	0.99(79.3%, 59.9%)	0.703(0.650~0.753)	<0.001	0.87(84.4%, 57.8%)
SAT/NAT	0.638(0.591~0.684)	<0.001	0.48(82.8%, 41.4%)	0.719(0.666~0.767)	<0.001	0.96(71.9%, 66.4%)

注:SEN 为敏感度,SPE 为特异度。

表 3 肝脏脂肪参数诊断 MS 的 AUC 比较

参数间比较	AUC 差值(95% CI)	Z 值	P 值
男性组			
肝脏 CTFF vs. 肝脏 CT 值	0.007(-0.014~0.029)	0.680	0.500
肝脏 CTFF vs. $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$	0.043(0.011~0.074)	2.664	0.008
肝脏 CTFF vs. $\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$	0.045(0.012~0.078)	2.649	0.008
女性组			
肝脏 CTFF vs. 肝脏 CT 值	0.023(-0.015~0.061)	1.202	0.229
肝脏 CTFF vs. $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$	0.007(-0.056~0.070)	0.211	0.833

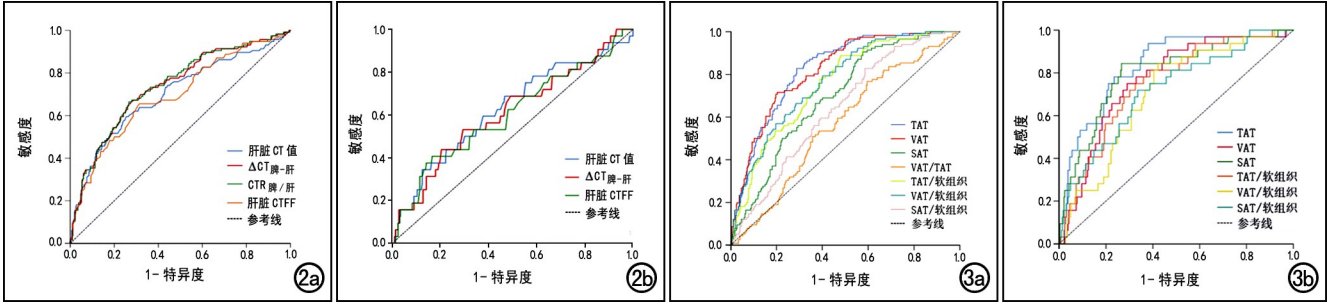


图 2 肝脏 CTFF、肝脏 CT 值、 $\Delta\text{CT}_{\text{脾-肝}}$ 、 $\text{CTR}_{\text{脾/肝}}$ 诊断 MS 的 ROC 曲线。a) 男性组;b) 女性组。

图 3 TAT、VAT、SAT、VAT/TAT、TAT/非脂肪组织、VAT/非脂肪组织和 SAT/非脂肪组织诊断 MS 的 ROC 曲线。a) 男性组;b) 女性组。

0.626),且差异无统计学意义($P>0.05$),详见表 3。

3. 腹部脂肪 QCT 参数诊断 MS 的效能

在男性组中,诊断 MS 的敏感度以 SAT(90.5%)和 TAT/ NAT(88.8%)较高、VAT/TAT(76.7%)和 VAT(71.6%)较低,特异度以 VAT(79.6%)和 TAT(71.2%)较高, SAT/ NAT(41.4%)和 VAT/TAT(40.4%)较低。与其它腹部脂肪参数相比,TAT 和 VAT 的诊断效能较好($AUC=0.823、0.818$),两者之间 AUC 的差异无统计学意义,而 SAT 诊断 MS 的效能不佳,详见表 4。

在女性组中,诊断 MS 的敏感度以 TAT(93.8%)最高、SAT/ NAT(71.9%)最低,特异度以 SAT(73.4%)最高、VAT/ NAT(57.8%)最低。VAT/ TAT 诊断 MS 无统计学意义($P=0.838$)。与其它腹部脂肪参数相比,TAT 和 SAT 表现出良好的诊断效能($AUC=0.830、0.810$),两者诊断 MS 的 AUC 的差异无统计学意义($P=0.260$),详见表 4。

讨 论

肝脏脂肪变性与肥胖、胰岛素抵抗、高血压和高血脂密切相关。代谢综合征在肝脏以非酒精性脂肪肝为主要表现形式^[9-10]。目前在临床上肝脏组织病理活检仍是定量分析肝脏脂肪含量的金标准,但因其为有创性方法,故难以成为临床筛查的主要方法。临床首选的常规腹部超声仅能对肝脏脂肪进行定性分析。MRS 是一种公认的无创性定量分析肝脏脂肪的检查技术,但由于其扫描技术要求高、检测费用昂贵,限制了其在临床的普及。

正常肝实质的 CT 值约为 60 HU。发生脂肪变性的肝实质密度将低于正常肝组织^[11-12]。依赖于校准和采集协议的 CT 值可能会因制造商不同而产生差异。诊断肝脂肪变性的 CT 值通常为 40~48 HU,具有较高的诊断特异度和中等的敏感度^[13]。同时,传统的半

定量 CT 只能鉴别中度和重度肝脏脂肪变性。本研究在男性组中,以肝脏 CT 值诊断 MS 的最佳临界值为 58.00 HU,相应的 AUC 为 0.700(95%CI:0.655~0.743),特异度较高,但敏感性不高。肝脏 CTFF 诊断 MS 的最佳临界值为 8.0%,相应的 AUC 为 0.693(95%CI:0.570~0.679),其特异度和敏感度均欠佳。以脾脏的 CT 值作为参考标准得到的 $\Delta CT_{脾-肝}$ 和 $CTR_{脾/肝}$ 诊断 MS 具有较高的准确性,诊断效能均优于肝脏 CTFF 和肝脏 CT 值。在女性组中,肝脏 CT-FF、肝脏 CT 值和 $\Delta CT_{脾-肝}$ 诊断 MS 的效能均不佳,其 AUC 的差异无统计学意义; $CTR_{脾/肝}$ 对诊断 MS 无统计学意义。笔者认为造成肝脏脂肪参数诊断 MS 价值有限的可能原因主要包括以下几方面。首先,影响肝脏和脾脏 CT 值的因素较多。肝、脾实质内的金属离子、糖原和血细胞比容等含量差异均会对 X 线的衰减造成影响^[14-15];其次,本研究放置的 ROI 数量尚不足以完全反映肝脏总体脂肪含量,但 ROI 设置过多又会限制该项技术在临床中的推广。

脂肪不仅参与能量储蓄,还调节机体的内分泌和代谢功能。皮下和腹腔内脂肪组织因脂肪细胞表达的受体、分泌的因子和酶的活性等因素存在差异,造成其脂肪细胞在分化、代谢和凋亡等方面亦不同。如,皮下脂肪组织中的脂肪细胞分布有较多的雌激素受体,腹腔内脂肪组织中的脂肪细胞分布有较多的雄激素受体,因此,男性腹腔内脂肪量大于绝经前女性。随着雌激素水平下降,女性腹腔内脂肪含量将增加^[16]。本研究结果显示腹部脂肪诊断 MS 的效能在不同性别之间存在差异。TAT 在男性和女性中均具有很高的诊断效能。在男性组中,VAT 和 TAT 诊断 MS 的 AUC 的差异无统计学意义($P>0.05$);SAT 诊断 MS 的 AUC 低于 TAT 和 VAT。而女性组中,VAT 诊断 MS 的 AUC 低于 TAT 和 SAT;SAT 与 TAT 诊断 MS 的 AUC 的差异无统计学意义($P>0.05$)。本研究

表 4 腹部脂肪 QCT 参数诊断 MS 的 AUC 比较

参数间比较	男性			女性		
	AUC 差值(95%CI)	Z 值	P 值	AUC 差值(95%CI)	Z 值	P 值
TAT vs. VAT	0.005(-0.018~0.028)	0.412	0.681	0.063(0.014~0.113)	2.494	0.013
TAT vs. SAT	0.127(0.087~0.167)	6.239	<0.001	0.031(-0.023~0.084)	1.128	0.260
VAT vs. SAT	0.123(0.065~0.180)	4.150	<0.001	0.052(-0.064~0.129)	0.667	0.036
TAT vs. TAT/NAT	0.071(0.044~0.098)	5.143	<0.001	0.080(0.034~0.126)	3.417	<0.001
TAT vs. VAT/NAT	0.055(0.025~0.086)	3.526	<0.001	0.127(0.066~0.188)	4.062	<0.001
TAT vs. SAT/NAT	0.184(0.137~0.232)	7.630	<0.001	0.111(0.035~0.188)	2.853	0.004
VAT vs. TAT/NAT	0.066(0.029~0.103)	3.456	<0.001	0.016(-0.058~0.091)	0.430	0.668
VAT vs. VAT/NAT	0.051(0.027~0.074)	4.172	<0.001	0.064(0.023~0.104)	3.058	0.002
VAT vs. SAT/NAT	0.180(0.116~0.243)	5.557	<0.001	0.058(-0.067~0.163)	0.815	0.015
SAT vs. TAT/NAT	0.057(0.016~0.098)	2.703	0.007	0.049(-0.008~0.107)	1.678	0.093
SAT vs. VAT/NAT	0.072(0.013~0.131)	2.407	0.016	0.096(-0.002~0.194)	1.927	0.054
SAT vs. SAT/NAT	0.057(0.038~0.076)	5.739	<0.001	0.081(0.036~0.126)	3.515	<0.001

结果与 Pickhardt 等^[17]的研究结果存在一定差异。后者对 474 例非西班牙裔白人的研究中发现,男性人群中,SAT 比 VAT 能更好地预测 MS;而在女性人群中,VAT 是最佳的 MS 预测因子。造成这种差异的原因可能有两点。首先,代谢综合征的相关参数存在种族和性别差异^[18],本研究 and Pickhardt 等^[17]纳入的研究对象来自不同种族;其次,Pickhardt 等^[17]在脐水平测量腹部脂肪,与本研究不同。Huo 等^[19]对 1744 名中国人进行横断面研究,发现诊断心血管代谢异常的腹部脂肪面积最佳诊断阈值为 142 cm² (男性)或 115 cm² (女性)。该研究依据 2005 年国际糖尿病联盟制定的 MS 诊断标准^[20],且满足诊断标准中的一项即纳入研究,与本研究方案和结果均存在差异。

本研究存在一定的局限性:首先,回顾性纳入使用 QCT 进行骨密度检查的体检人群,可能会造成选择偏倚。其次,未对不同制造商的 CT 机结果进行比较。可在今后通过设计前瞻性研究方案、进行多中心研究和完善临床信息等方面进行更深入的研究。最后,仅测量了 L₂₋₃ 椎间盘水平腹部脂肪组织,而不是整个腹部的脂肪体积。然而,以往的研究表明,在 L₂₋₃ 椎间盘测量的脂肪组织与总脂肪体积的相关性最强,体积脂肪测量的结果并不优于单层脂肪测量的结果^[21-22]。

综上所述,QCT 可以为 MS 诊断提供重要依据。TAT 和 VAT 在男性人群中具有较高诊断价值,TAT 和 SAT 在女性人群中具有较高诊断价值,而肝脏脂肪定量指标诊断 MS 的价值有限。

(注:1 mmHg=0.133 kPa)

参考文献:

- [1] 中华医学会糖尿病学分会代谢综合征研究协作组.中华医学会糖尿病学分会关于代谢综合征的建议[J].中华糖尿病杂志,2004,12(3):5-10.
- [2] Engin, A. (2017). The definition and prevalence of obesity and metabolic syndrome. In: Engin A (eds), Obesity and lipotoxicity. advances in experimental medicine and biology [M/OL]. 2017, 960: 1-17. Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48382-5_1.
- [3] Marchesini G, Brizi M, Bianchi G, et al. Nonalcoholic fatty liver disease: a feature of the metabolic syndrome[J]. Diabetes, 2001, 50(8): 1844-1850.
- [4] Liu J, Fox CS, Hickson DA, et al. Impact of abdominal visceral and subcutaneous adipose tissue on cardiometabolic risk factors: the Jackson heart study[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2010, 95(12): 5419-5426.
- [5] 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.
- [6] Guo Zhe, Blake GM, Li Kai, et al. Liver fat content measurement with quantitative CT validated against MRI proton density fat fraction: a prospective study of 400 healthy volunteers[J]. Radiolo-

- gy, 2020, 294(1): 89-97.
- [7] Xu Li, Duan MY, Blake GM, et al. Validation of goose liver fat measurement by QCT and CSE-MRI with biochemical extraction and pathology as reference[J]. Eur Radiol, 2018, 28(5): 2003-2012.
- [8] 中国 2 型糖尿病防治指南(2013 年版)[J/OL]. 中国医学前沿杂志(电子版), 2015, 7(3): e26-e89. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1000-6699.2014.10.020.
- [9] Ratzliff V, Bellentani S, Cortez-Pinto H, et al. A position statement on NAFLD/NASH based on the EASL 2009 special conference [J]. J Hepatol, 2010, 53(2): 372-384.
- [10] Marchesini G, Brizi M, Morselli-Labate AM, et al. Association of nonalcoholic fatty liver disease with insulin resistance[J]. Am J Med, 1999, 107(5): 450-455.
- [11] Park YS, Park SH, Lee SS, et al. Biopsy-proven nonsteatotic liver in adults: estimation of reference range for difference in attenuation between the liver and the spleen at nonenhanced CT[J]. Radiology, 2011, 258(3): 760-766.
- [12] Boyce CJ, Pickhardt PJ, Kim DH, et al. Hepatic steatosis (fatty liver disease) in asymptomatic adults identified by unenhanced low-dose CT[J]. AJR, 2010, 194(3): 623-628.
- [13] Pickhardt PJ, Park SH, Hahn L, et al. Specificity of unenhanced CT for non-invasive diagnosis of hepatic steatosis: implications for the investigation of the natural history of incidental steatosis [J]. Eur Radiol, 2012, 22(5): 1075-1082.
- [14] Fischer MA, Gnannt R, Raptis D, et al. Quantification of liver fat in the presence of iron and iodine: an ex-vivo dual-energy CT study[J]. Invest Radiol, 2011, 46(6): 351-358.
- [15] Johnston RJ, Stamm ER, Lewin JM, et al. Diagnosis of fatty infiltration of the liver on contrast enhanced CT: limitations of liver-minus-spleen attenuation difference measurements[J]. Abdom Imaging, 1998, 23(4): 409-415.
- [16] 邵新宇, 贾伟平. 腹部脂肪与代谢综合征[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2004, 20(3): 279-282.
- [17] Pickhardt PJ, Jee Y, O'Connor SD, et al. Visceral adiposity and hepatic steatosis at abdominal CT: association with the metabolic syndrome[J]. AJR, 2012, 198(5): 1100-1107.
- [18] Alberti KG, Zimmet P, Shaw J. Metabolic syndrome: a new worldwide definition. A Consensus Statement from the International Diabetes Federation[J]. Diabet Med, 2006, 23(5): 469-480.
- [19] Huo L, Li K, Wang L, et al. Optimal cut-points of visceral adipose tissue areas for cardiometabolic risk factors in a Chinese population: a cross-sectional study
- [20] Alberti KG, Zimmet P, Shaw J. The metabolic syndrome—a new worldwide definition [J]. Lancet, 2005, 366(9491): 1059-1062.
- [21] Cheng X, Zhang Y, Wang C, et al. The optimal anatomic site for a single slice to estimate the total volume of visceral adipose tissue by using the quantitative computed tomography (QCT) in Chinese population[J]. Eur J Clin Nutr, 2018, 72(11): 1567-1575.
- [22] Preis SR, Massaro JM, Robins SJ, et al. Abdominal subcutaneous and visceral adipose tissue and insulin resistance in the Framingham heart study[J]. Obesity (Silver Spring), 2010, 18(11): 2191-2198.

(收稿日期: 2022-03-14 修回日期: 2022-07-05)