



· 论 著 ·

# 声衰减成像对肥胖儿童非酒精性脂肪性肝病的诊断价值研究

赵 静<sup>1</sup>, 沈志云<sup>1</sup>, 王 慧<sup>1</sup>, 李金凝<sup>2</sup>, 朱云开<sup>1</sup>, 陈亚青<sup>1</sup>

1. 上海交通大学医学院附属新华医院超声科, 上海 200092;
2. 上海交通大学医学院附属新华医院放射科, 上海 200092

[摘要] 目的: 探索声衰减成像 (attenuation imaging, ATI) 技术在肥胖儿童非酒精性脂肪性肝病 (non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD) 肝脂肪变性及其分级中的诊断价值。方法: 纳入2022年9月—2023年11月在上海交通大学医学院附属新华医院就诊的肥胖儿童70例, 2名观察者采用ATI技术分别测定肥胖儿童肝脏声衰减系数 (attenuation coefficient, AC), 以磁共振质子密度脂肪分数 (magnetic resonance imaging-proton density fat fraction, MRI-PDFF) 为参考标准, 并依据肝右叶MRI-PDFF将受试者分为正常肝脏 (S0)、轻度肝脂肪变性 (S1)、中度肝脂肪变性 (S2) 及重度肝脂肪变性 (S3)。采用Spearman相关性分析检验AC与MRI-PDFF的相关性; 应用方差分析比较S0、S1、S2及S3的AC; 应用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析AC对NAFLD肝脂肪变性及其分级中的诊断效能; 应用双向混合效应模型组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 获取观察者之间的一致性。结果: 观察者1及观察者2的AC与MRI-PDFF相关系数分别为0.822、0.809; 观察者1的S0、S1、S2及S3级的AC分别为 (0.59 ± 0.05)、(0.73 ± 0.11)、(0.82 ± 0.09) 及 (0.89 ± 0.08) dB·cm<sup>-1</sup>·MHz<sup>-1</sup>, 观察者2的S0、S1、S2及S3级的AC分别为 (0.61 ± 0.07)、(0.74 ± 0.10)、(0.82 ± 0.10) 及 (0.89 ± 0.07) dB·cm<sup>-1</sup>·MHz<sup>-1</sup>, 各级别之间的AC差异均有统计学意义 (P < 0.05); ROC曲线分析显示观察者1 AC诊断 ≥ S1、≥ S2、≥ S3的AUC分别为0.954、0.887、0.877, 观察者2 AC诊断 ≥ S1、≥ S2、≥ S3的AUC分别为0.938、0.880、0.882; 双向混合效应模型ICC分析显示AC在观察者之间的ICC为0.897 (95% CI 0.939~0.934)。结论: ATI技术获得的AC对肥胖儿童NAFLD有较高的诊断价值, 在肥胖儿童NAFLD诊断和肝脂肪变性分级方面具有较好的应用前景。

[关键字] 儿童肥胖; 非酒精性脂肪性肝病; 声衰减成像; 磁共振质子密度脂肪分数

中图分类号: R575.5; R445.1 文献标志码: A DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2024.02.010

## Value of ultrasound attenuation imaging in the diagnosis of non-alcoholic fatty liver disease in obese children

ZHAO Jing<sup>1</sup>, SHEN Zhiyun<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, LI Jinning<sup>2</sup>, ZHU Yunkai<sup>1</sup>, CHEN Yaqing<sup>1</sup> (1. Department of Ultrasound in Medicine, Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China; 2. Department of Radiology, Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China)

Correspondence to: CHEN Yaqing E-mail: chenyaqing@xinhumed.com.cn

[Abstract] **Objective:** To explore the value of acoustic attenuation imaging (ATI) technology in the detection and grading of non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) in obese children. **Methods:** A total of 70 obese children were consecutively recruited at Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine from September 2022 to November 2023. ATI was performed by two independent operators to calculate attenuation coefficient (AC) of the liver. Using magnetic resonance imaging proton density fat fraction (MRI-PDFF) as the reference standard, patients were divided into four groups (S0, S1, S2, S3) according to the mean MRI-PDFF of right lobe of liver. Spearman correlation analysis was employed to study the correlation between AC values and MRI-PDFF. ANOVA analysis was used to compare AC values in S0, S1, S2, and S3. Diagnostic performance was assessed using the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) for the categories of steatosis. Two-way mixed-model intraclass

correlation coefficients (ICC) were used to assess interrater reliability between operators. **Results:** The Spearman correlation coefficients between AC and MRI-PDFF were 0.822 and 0.809 for operator 1 and operator 2, respectively. The AC values of S0, S1, S2, and S3 were  $(0.59 \pm 0.05)$ ,  $(0.73 \pm 0.11)$ ,  $(0.82 \pm 0.09)$  and  $(0.89 \pm 0.08)$   $\text{dB} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1}$  respectively for operator 1 ( $P < 0.05$ ), and  $(0.61 \pm 0.07)$ ,  $(0.74 \pm 0.10)$ ,  $(0.82 \pm 0.10)$  and  $(0.89 \pm 0.07)$   $\text{dB} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1}$  respectively for operator 2 ( $P < 0.05$ ). The AUC for the detection of  $S \geq 1$ ,  $S \geq 2$  and S3 steatosis were 0.954, 0.887 and 0.877 respectively by operator 1, and 0.938, 0.880 and 0.882 respectively by operator 2. The ICC between operators was 0.897 (95% CI 0.939-0.934). **Conclusion:** The AC measured by ATI could accurately detected and quantified NAFLD in obese children, and showed potential application in the diagnosis, grading and clinical management of pediatric NAFLD.

[ **Key words** ] Pediatric obesity; Non-alcoholic fatty liver disease; Attenuation imaging; Magnetic resonance imaging proton density fat fraction

非酒精性脂肪性肝病 (non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD) 是肝脏慢性脂肪沉积所致临床病理综合征<sup>[1]</sup>, 全球儿童NAFLD患病率为3%~17%<sup>[2]</sup>, 在肥胖儿童中发病率显著升高<sup>[3]</sup>, NAFLD疾病谱包括非酒精性单纯性脂肪肝 (non-alcoholic fatty liver, NAFL) 和非酒精性脂肪性肝炎 (non-alcoholic steatohepatitis, NASH) 及其相关纤维化、不可逆性肝硬化, 甚至肝细胞癌<sup>[4-5]</sup>。因此寻求无创、安全的技术实现NAFLD早期诊断对肥胖儿童尤为重要。

肝穿刺活检是NAFLD诊断与分型的金标准<sup>[6]</sup>, 但其具有创伤性, 难以反复进行, 无法对疾病进行实时评估监测, 不推荐作为常规检查手段。磁共振质子密度脂肪分数 (magnetic resonance imaging-proton density fat fraction, MRI-PDFF) 可准确地评估患儿肝脂肪变性程度<sup>[7]</sup>, 但因操作复杂, 检查时间长, 费用高, 临床应用受到限制。常规超声具有简便、无创等优点被推荐为NAFLD首选的影像学检查方法<sup>[8]</sup>, 但常规灰阶超声缺乏定量参数, 易受操作者主观感受的影响, 且对于轻度肝脂肪变性的诊断灵敏度低。声衰减成像 (attenuation imaging, ATI) 技术作为新型超声诊断模式, 可通过测量组织衰减系数来定量评估肝脂肪变性程度, 与常规超声相比, 能提供客观量化的诊断信息, 提高疾病诊断的通用性和可评价性<sup>[9-10]</sup>。本研究以MRI-PDFF作为参考标准, 旨在探索ATI在肥胖儿童NAFLD肝脂肪变性中的诊断价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

收集2022年9月—2023年11月于上海交通大学医学院附属新华医院就诊的肥胖儿童作为研究对象。纳入标准: ① 年龄6~18岁; ② 临床依据世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 标准身高体重法诊断为肥胖儿童者<sup>[11]</sup>; ③ 无饮酒史; ④ 受试者同意参加本研究且受试者本人及其法定监护人共同签署知情同意书。排除标准: ① MRI-PDFF或超声检查图像不合格及不完整者 (6例); ② 患有遗传代谢性疾病、病毒性或药物性因素等其他可导致肝脂肪沉积的特定疾病 (0例); ③ 服用可影响肝脏脂肪沉积的药物 (1例), 最终共70例肥胖患儿纳入本研究, 年龄范围6~17岁, 体重指数 (body mass index, BMI)  $20.93 \sim 37.80 \text{ kg/m}^2$ 。本研究经过上海交通大学医学院附属新华医院伦理委员会批准。

### 1.2 仪器与方法

#### 1.2.1 超声检查

采用日本Canon公司的Aplio i900超声诊断仪, 配i8CX1凸阵探头。ATI检查由2名分别有4年和2年肝脏ATI检查经验的超声科医师完成, 操作者不知晓患儿临床数据及实验室检查结果。肝脏ATI检查时受检者取仰卧位, 右臂上抬, 充分显露肋间隙, 将i8CX1凸阵探头放置在右肋间隙垂直肝包膜取得肝右叶切面, 在患儿平静呼吸状态下嘱患者屏气, 启动ATI模式, 将ATI采集框

放置于肝包膜下1~2 cm处并尽可能避开肝内管道结构,图像稳定后冻结图像,然后将感兴趣区放置于ATI采集框内进行测量,系统自动测量计算肝脏衰减系数( attenuation coefficient, AC),单位为 $\text{dB}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{MHz}^{-1}$ (图1A),同时图像左下方给出ATI质控参数 $R^2$ 值,当 $R^2>0.80$ 表示该次测量合格,测值有效;当 $R^2\leq 0.80$ 表示测量失败,测值无效,连续测量获取5次有效测值,取其平均值作为肝脏AC值。

### 1.2.2 MRI-PDFF检查及测量方法

所有受试者MRI-PDFF检查均在肝脏超声ATI检查后1周内完成。采用荷兰Philips公司的Ingenia CX 3.0 T磁共振扫描仪配32通道体部线圈,检查时患者取仰卧位,采集m-Dixon-quant脂肪定量序列扫描上腹部,具体参数:视野为 $40\text{ cm}\times 25\text{ cm}\times 24\text{ cm}$ ,体素 $2.00\text{ mm}\times 1.99\text{ mm}\times 6.00\text{ mm}$ ,层间距3 mm,重复时间最

短为6.6 ms,回波数量为6,首个回波时间最短为1.18 ms,回波间隔0.9 ms,并于呼气末屏气扫描,完成MRI图像采集后将图像上传至图像存储与传输系统。PDFF测量由1名具有15年以上肝脏MRI诊断经验的影像科医师完成,将测量感兴趣区分别放置于肝脏9个肝段(I、II、III、IVa、IVb、V、VI、VII、VIII段),感兴趣区大小为 $100\text{ mm}^2$ (I段)或 $400\text{ mm}^2$ (II~VIII段),取感兴趣区内的平均值作为该肝段的MRI-PDFF(图1B、C),因ATI检测位于肝右叶,因此取V、VI、VII、VIII肝段的MRI-PDFF的平均值作为参考标准,根据已有的儿童MRI-PDFF分级阈值进行脂肪分级:无肝脂肪变性(S0级: MRI-PDFF $<6.0\%$ )、轻度肝脂肪变性(S1级:  $6.0\%\leq\text{MRI-PDFF}<17.5\%$ )、中度肝脂肪变性(S2级:  $17.5\%\leq\text{MRI-PDFF}<23.3\%$ )及重度肝脂肪脂肪变性(S3级:  $\text{MRI-PDFF}\geq 23.3\%$ )<sup>[12-13]</sup>。

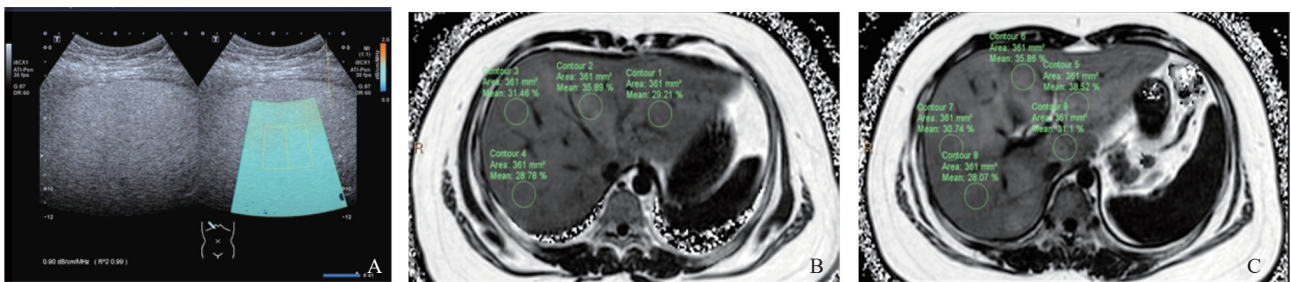


图1 ATI与MRI-PDFF测量方法

A: ATI测定AC,并同时给出质控参数 $R^2$ 值; B、C: 测量肝脏9个肝段的MRI-PDFF,本研究选取肝右叶(肝段V、VI、VII、VIII段)的MRI-PDFF的平均值作为肝右叶的MRI-PDFF。

### 1.3 统计学处理

采用SPSS 26.0及MedCalc 20.0统计学软件对数据进行分析,计量资料若符合正态分布且方差齐性以 $\bar{x}\pm s$ 表示,若不符合正态分布或方差齐性以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,计数资料以 $n(\%)$ 表示。两组数据比较采用 $t$ 检验,多组数据比较采用方差分析;采用Spearman相关性分析检验AC与MRI-PDFF的相关性;采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析超声AC诊断肥胖儿童肝脂肪变性程度的诊断效能,计算曲线下面积(area under curve, AUC)、最佳诊断阈值及相应的灵敏度与特异度;采用双向混合效应模型组内相关系数

(intraclass correlation coefficient, ICC)分析AC在观察者之间的一致性。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 临床资料

本研究共纳入70例肥胖患儿,其中男性51例,女性19例,年龄范围6~17岁,中位年龄11岁, BMI  $20.93\sim 37.80\text{ kg/m}^2$ ,中位BMI  $25.64\text{ kg/m}^2$ 。MRI-PDFF检查结果显示,非肝脂肪变性组(S0级)17例(24.3%);肝脂肪变性组共53例(75.7%),其中S1级22例(31.4%),

S2级14例 (20.0%), S3级17例 (24.3%)。

### 2.2 AC与MRI-PDFF之间的相关性

AC与MRI-PDFF相关性的散点图见图2,

经Spearman检验, 观察者1与观察者2的AC与MRI-PDFF的相关系数分别为0.822、0.809 (均 $P < 0.001$ )。

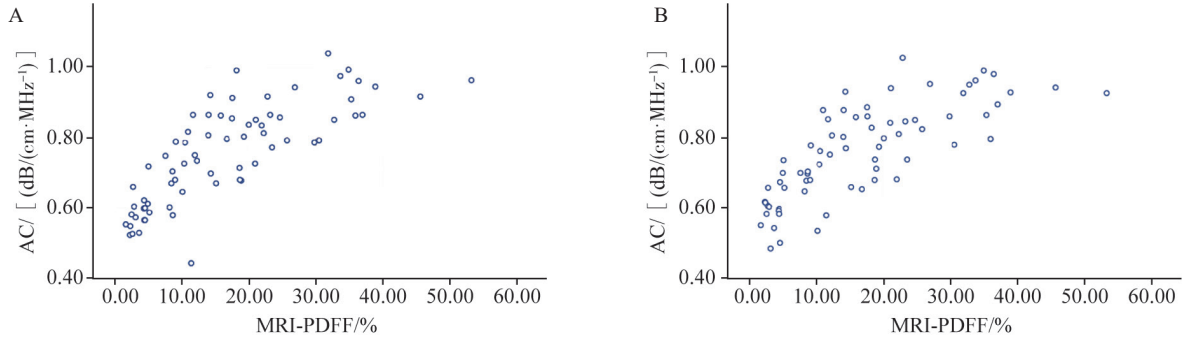


图2 ATI AC与MRI-PDFF关系的散点图

A: 观察者1的AC与MRI-PDFF关系的散点图; B: 观察者2的AC与MRI-PDFF关系的散点图。

### 2.3 非肝脂肪变性 (S0) 及各级肝脂肪变性 (S1、S2、S3) 的AC比较

肝脂肪变性组观察者1和观察者2的AC显著高于非脂肪变性组 [ (0.81 ± 0.12) dB·cm<sup>-1</sup>·MHz<sup>-1</sup> vs (0.59 ± 0.05) dB·cm<sup>-1</sup>·MHz<sup>-1</sup>,  $t=7.530$ ,  $P < 0.001$ ; (0.81 ± 0.11) dB·cm<sup>-1</sup>·MHz<sup>-1</sup> vs (0.61 ± 0.07) dB·cm<sup>-1</sup>·MHz<sup>-1</sup>,  $t=7.119$ ,  $P < 0.001$  ]。观察者1 S1、S2及S3级的AC分别为 (0.73 ± 0.11)、(0.82 ± 0.09)、(0.89 ± 0.08) dB·cm<sup>-1</sup>·MHz<sup>-1</sup>, 观察者2 S1、S2及S3级的AC分别为 (0.74 ± 0.10)、(0.82 ± 0.10)、(0.89 ± 0.07) dB·cm<sup>-1</sup>·MHz<sup>-1</sup>。经单因素ANOVA方差分析, 观察者1和观察者2的S3的AC均显

著高于S2、S1及S0, S2的AC均显著高于S1及S0, S1的AC均显著高于S0 (均 $P < 0.05$ , 表1, 图3)。

表1 各等级儿童AC的比较

组别	<i>n</i>	AC (观察者1) / dB·cm <sup>-1</sup> ·MHz <sup>-1</sup>	AC (观察者2) / dB·cm <sup>-1</sup> ·MHz <sup>-1</sup>
S0	17	0.59 ± 0.05	0.61 ± 0.07
S1	22	0.73 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.74 ± 0.10 <sup>b</sup>
S2	14	0.82 ± 0.09 <sup>bd</sup>	0.82 ± 0.10 <sup>bd</sup>
S3	17	0.89 ± 0.08 <sup>bdf</sup>	0.89 ± 0.07 <sup>bdf</sup>
<i>F</i> 值		38.165	33.117
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001

与S0组比较: a表示 $P < 0.05$ , b表示 $P < 0.01$ ; 与S1组相比: c表示 $P < 0.05$ , d表示 $P < 0.01$ ; 与S2组相比: e表示 $P < 0.05$ , f表示 $P < 0.01$ 。

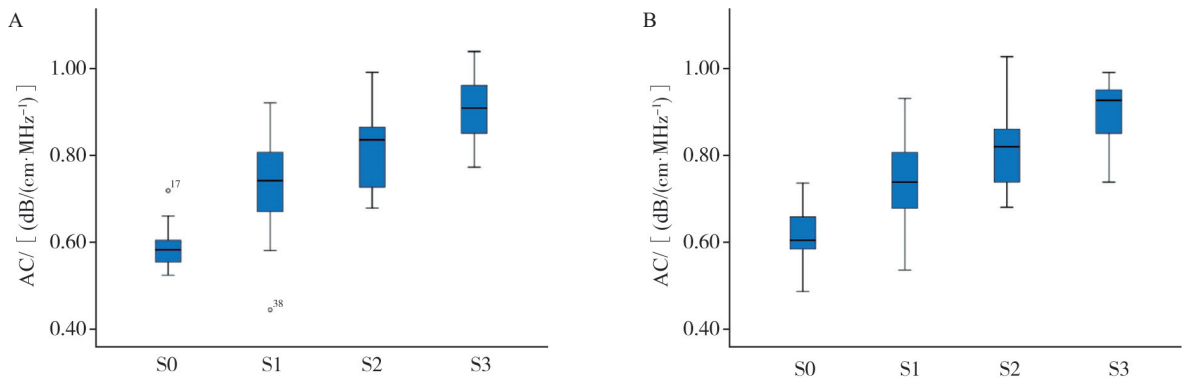


图3 各等级AC的箱式图

A: 观察者1的各等级AC的箱式图; B: 观察者2的各等级AC的箱式图。

## 2.4 AC对肝脂肪变性及其各分度肝脂肪变性的诊断效能

AC对肝脂肪变性及其各分度诊断效能的ROC曲线见图4。ROC曲线分析显示观察者1 AC诊断肝脂肪变性 $\geq S1$ 、 $\geq S2$ 、 $\geq S3$ 的AUC分别为0.954、0.887、0.877，截断值分别为0.66、0.75、0.75  $\text{dB}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{MHz}^{-1}$ ，灵敏度分别为92.5%、87.1%、100.0%，特异度分别为94.1%、76.9%、64.2%；观察者2 AC诊断肝脂

肪变性 $\geq S1$ 、 $\geq S2$ 、 $\geq S3$ 的AUC分别为0.938、0.880、0.882，截断值分别为0.67、0.76、0.77  $\text{dB}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{MHz}^{-1}$ ，灵敏度分别为90.6%、83.9%、94.1%，特异度分别为88.2%、76.9%、67.9%（表2）。

## 2.5 观察者间的一致性分析

双向混合效应模型ICC分析显示，观察者1和观察者2之间的ICC为0.897（95% CI 0.839~0.934），呈强一致性。

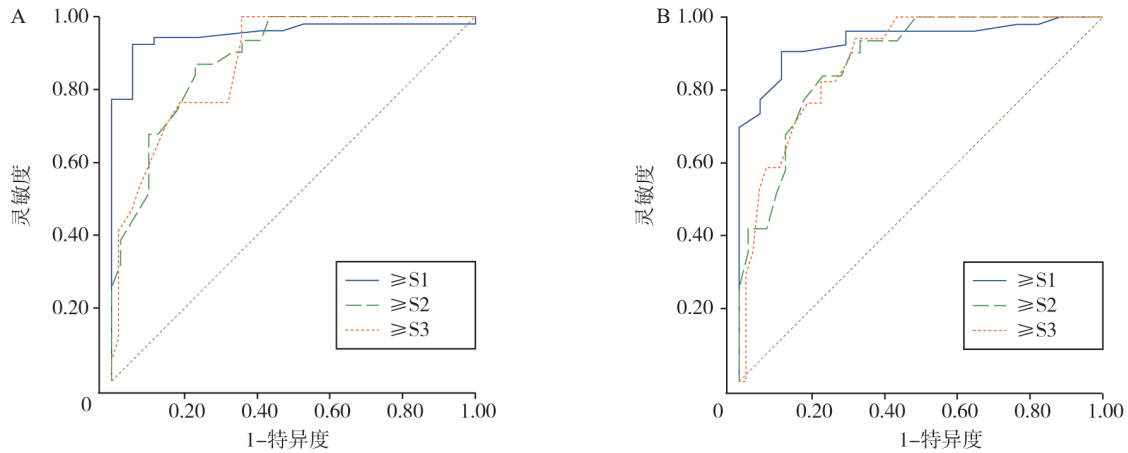


图4 AC对肝脂肪变性及各等级诊断效能的ROC曲线

A: 观察者1 AC对肝脂肪变性 $\geq S1$ 、 $\geq S2$ 、 $\geq S3$ 的ROC曲线；B: 观察者2 AC对肝脂肪变性 $\geq S1$ 、 $\geq S2$ 、 $\geq S3$ 的ROC曲线。

表2 观察者1及观察者2 AC对肝脂肪变性 $\geq S1$ 、 $\geq S2$ 、 $\geq S3$ 的诊断效能

肝脂肪变性程度	AC截断值/ $\text{dB}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{MHz}^{-1}$	AUC (95% CI)	灵敏度 (95% CI) /%	特异度 (95% CI) /%
观察者1				
$\geq S1$	0.66	0.954 (0.876~0.990)	92.5 (81.8~97.9)	94.1 (71.3~99.9)
$\geq S2$	0.75	0.887 (0.788~0.950)	87.1 (70.2~96.4)	76.9 (60.7~88.9)
$\geq S3$	0.75	0.877 (0.776~0.943)	100.0 (80.51~100.0)	64.2 (49.8~76.9)
观察者2				
$\geq S1$	0.67	0.938 (0.853~0.982)	90.6 (79.3~96.9)	88.2 (63.6~98.5)
$\geq S2$	0.76	0.880 (0.781~0.946)	83.9 (66.3~94.5)	76.9 (60.7~88.9)
$\geq S3$	0.77	0.882 (0.783~0.947)	94.1 (71.3~99.9)	67.9 (53.7~80.0)

## 3 讨论

近年来，随着生活水平的提高、生活方式的改变及饮食结构的变化，中国儿童肥胖率逐年上升。肥胖是儿童NAFLD的独立危险因素，肥胖

儿童中NAFLD患病率显著升高<sup>[3, 14]</sup>，NAFLD已成为儿童最常见的慢性肝脏疾病<sup>[15]</sup>。研究<sup>[16-18]</sup>显示，超重和肥胖儿童中NAFLD占比为33.8%~65.9%。本研究基于MRI-PDF为对照的结果显示，70例肥胖儿童中NAFLD占比达75.7%（53/70），因而NAFLD早期及分级诊断对肥胖

儿童尤为重要。

常规超声、计算机体层成像 (computed tomography, CT) 均可用于诊断肝脂肪变性, 但存在一定的不足, 肝活检是诊断NAFLD的金标准, 但其具有创伤性, MRI-PDFF具有安全、定量及准确度高等优势, 但费用高及技术普及面窄而不常推荐临床应用。近年来多种以超声为基础的无创、可定量的影像学检测方法被用于肝脏脂肪变性的诊断。

ATI技术是基于超声波的声衰减原理, 通过检测肝实质内的AC来定量评估肝脂肪变性程度, 可实现肝脂肪变性的无创定量评估。Ferraioli等<sup>[19]</sup>的多项研究显示, ATI技术对肝脂肪变性的诊断效能高 (AUC为0.88~0.96), 可重复性好, 观察者内部ICC为0.81~0.98, 而观察者之间ICC为0.79~0.92; 与受控衰减参数 (controlled attenuation parameter, CAP) 相比, AC测值与MRI-PDFF的一致性更高 (ATI 0.81 vs CAP 0.65)<sup>[20-23]</sup>, 但这些研究主要聚焦于成人, 关于儿童NAFLD诊断方面仅见少量报道, 其中Bulakci等<sup>[24]</sup>以MRI-PDFF作为标准对照分析了140例儿童的ATI结果, 显示ATI所测得的AC与MRI-PDFF的相关系数达0.88, AC诊断肝脂肪变性 $\geq S1$ 的AUC为0.944, 诊断肝脂肪变性 $\geq S2$ 、 $\geq S3$ 的AUC为0.98、0.97。关于ATI对肥胖儿童肝脂肪变性诊断作用未见报道。

本研究以MRI-PDFF为对照, 分析ATI在肥胖儿童NAFLD诊断方面的诊断价值。课题组在前期研究<sup>[25]</sup>中发现肝右叶各肝段之间的MRI-PDFF测值差异无统计学意义, 且与整肝PDFFF间ICC可达0.946~0.988, 因此本研究采用肝右叶作为ATI测量切面, 测量感兴趣区包含肝右前叶及肝右后叶。研究结果显示, 肝脂肪变性组AC明显高于非肝脂肪变性组, AC在S0、S1、S2及S3级组中逐渐升高, 各组间均存在显著差异; 观察者1与观察者2 AC诊断肝脂肪变性 $\geq S1$ 的AUC分别为0.954、0.938, 诊断肝脂肪变性 $\geq S2$ 的AUC分别为0.887、0.880, 诊断肝脂肪变性 $\geq S3$ 的AUC分别为0.877、0.882, 说明ATI在定量评估肥胖儿童NAFLD及其程度分级中有一定作用和

较高的诊断效能。本研究中AC诊断肝脂肪变性 $\geq S1$ 的诊断效能与Bulakci等<sup>[24]</sup>的研究结果相近, 但AC在肝脂肪变性 $\geq S2$ 、 $\geq S3$ 中的诊断效能及AC与MRI-PDFF的相关性略低于其研究结果, 原因可能与入组人群及肝脂肪变性程度分布不同有关, Bulakci等<sup>[24]</sup>研究纳入的是疑有脂肪肝的儿童, 肝脂肪变性占比50%, 其中重度肝脂肪变性占比27.8%; 而本研究纳入的是疑有脂肪肝的肥胖儿童、肝脂肪变性占比75.7%, 中重度肝脂肪变性占比44.3%。此外, 肥胖儿童皮下脂肪相对较厚, 测量深度相对较深, 亦可能导致AC测值减低<sup>[26]</sup>。本研究显示观察者之间ICC为0.897, 该研究结果与Ferraioli等<sup>[19]</sup>的研究结果相似, 表明ATI技术可重复性好, 不易受操作者影响。以上结果均表明ATI在定量评估肥胖儿童肝脂肪变性方面具有较好的诊断价值。本研究的不足之处在于, 首先, 研究以MRI-PDFF作为参考标准, 未经肝组织病理学检查证实, 但既往研究<sup>[27-29]</sup>已经表明MRI-PDFF与肝脏组织学脂肪变性程度有较好的一致性, 也在多项临床试验中替代肝活检作为诊断的参考标准。其次, 样本量偏少, 尤其是S0等级的受试者比例较少, 最后我们纳入的样本是肥胖儿童, 研究结果是否可在正常体重儿童中应用, 还需要进一步扩大样本研究证实。

总之, ATI技术是定量评估儿童肝脂肪变性的一项新兴影像学手段, 具有无创、无辐射、可重复性好及诊断效能高等特点, 在肥胖儿童NAFLD诊断和肝脂肪变性程度方面具有较好应用前景。

#### [参 考 文 献]

- [1] POWELL E E, WONG V W, RINELLA M. Non-alcoholic fatty liver disease [J]. *Lancet*, 2021, 397(10290): 2212-2224.
- [2] YOUNOSSI Z, TACKE F, ARRESE M, et al. Global perspectives on nonalcoholic fatty liver disease and nonalcoholic steatohepatitis [J]. *Hepatology*, 2019, 69(6): 2672-2682.
- [3] WELSH J A, KARPEN S, VOS M B. Increasing prevalence of nonalcoholic fatty liver disease among United States adolescents, 1988-1994 to 2007-2010 [J]. *J Pediatr*, 2013, 162(3): 496-500.e1.
- [4] LINDENMEYER C C, MCCULLOUGH A J. The natural history

- of nonalcoholic fatty liver disease—an evolving view [J]. *Clin Liver Dis*, 2018, 22(1): 11–21.
- [ 5 ] 刘 丽, 欧阳文献, 李双杰. 儿童非酒精性脂肪性肝病研究进展 [J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2013, 28(20): 1585–1588.
- [ 6 ] DEZSÓFI A, BAUMANN U, DHAWAN A, et al. Liver biopsy in children: position paper of the ESPGHAN Hepatology Committee [J]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 2015, 60(3): 408–420.
- [ 7 ] LEE D H. Imaging evaluation of non-alcoholic fatty liver disease: focused on quantification [J]. *Clin Mol Hepatol*, 2017, 23(4): 290–301.
- [ 8 ] European Association for the Study of the Liver (Easl), European Association for the Study of Diabetes (Easd), European Association for the Study of Obesity (Easo). EASL–EASD–EASO Clinical Practice Guidelines for the management of non-alcoholic fatty liver disease [J]. *Diabetologia*, 2016, 59(6): 1121–1140.
- [ 9 ] BAE J S, LEE D H, LEE J Y, et al. Assessment of hepatic steatosis by using attenuation imaging: a quantitative, easy-to-perform ultrasound technique [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(12): 6499–6507.
- [ 10 ] TORKZABAN M, WESSNER C E, HALEGOUA–DEMARZIO D, et al. Diagnostic performance comparison between ultrasound attenuation measurements from right and left hepatic lobes for steatosis detection in non-alcoholic fatty liver disease [J]. *Acad Radiol*, 2023, 30(9): 1838–1845.
- [ 11 ] VAN DEN BROECK J, WILLIE D, YOUNGER N. The World Health Organization child growth standards: expected implications for clinical and epidemiological research [J]. *Eur J Pediatr*, 2009, 168(2): 247–251.
- [ 12 ] MIDDLETON M S, VAN NATTA M L, HEBA E R, et al. Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging hepatic proton density fat fraction in pediatric nonalcoholic fatty liver disease [J]. *Hepatology*, 2018, 67(3): 858–872.
- [ 13 ] KIM P H, CHO Y A, YOON H M, et al. Accuracy of attenuation imaging in the assessment of pediatric hepatic steatosis: correlation with the controlled attenuation parameter [J]. *Ultrasonography*, 2022, 41(4): 761–769.
- [ 14 ] MA X Z, HOLALKERE N S, KAMBADAKONE R A, et al. Imaging-based quantification of hepatic fat: methods and clinical applications [J]. *Radiographics*, 2009, 29(5): 1253–1277.
- [ 15 ] CHAN D F Y, LI A M, CHU W C W, et al. Hepatic steatosis in obese Chinese children [J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2004, 28(10): 1257–1263.
- [ 16 ] LIU J Y, MU C Y, LI K W, et al. Estimating global prevalence of metabolic dysfunction-associated fatty liver disease in overweight or obese children and adolescents: systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Public Health*, 2021, 66: 1604371.
- [ 17 ] ZHAO Y Z, GAN Y G, ZHOU J L, et al. Accuracy of multi-echo Dixon sequence in quantification of hepatic steatosis in Chinese children and adolescents [J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(12): 1513–1523.
- [ 18 ] 施红波, 傅君芬, 梁 黎, 等. 肥胖儿童非酒精性脂肪肝病及代谢综合征发病情况分析 [J]. *中华儿科杂志*, 2009, 47(2): 114–118.
- [ 19 ] FERRAIOLI G, BERZIGOTTI A, BARR R G, et al. Quantification of liver fat content with ultrasound: a WFUMB position paper [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2021, 47(10): 2803–2820.
- [ 20 ] JEON S K, LEE J M, JOO I, et al. Prospective evaluation of hepatic steatosis using ultrasound attenuation imaging in patients with chronic liver disease with magnetic resonance imaging proton density fat fraction as the reference standard [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2019, 45(6): 1407–1416.
- [ 21 ] FERRAIOLI G, MAIOCCHI L, RACITI M V, et al. Detection of liver steatosis with a novel ultrasound-based technique: a pilot study using MRI-derived proton density fat fraction as the gold standard [J]. *Clin Transl Gastroenterol*, 2019, 10(10): e00081.
- [ 22 ] FERRAIOLI G, MAIOCCHI L, SAVIETTO G, et al. Performance of the attenuation imaging technology in the detection of liver steatosis [J]. *J Ultrasound Med*, 2021, 40(7): 1325–1332.
- [ 23 ] 朱宇莉, 包静文, 王 坤, 等. 超声声衰减成像评估肝脂肪变性严重程度的病理学对照研究 [J]. *肿瘤影像学*, 2023, 32(4): 328–333.
- [ 24 ] BULAKCI M, ERCAN C C, KARAPINAR E, et al. Quantitative evaluation of hepatic steatosis using attenuation imaging in a pediatric population: a prospective study [J]. *Pediatr Radiol*, 2023, 53(8): 1629–1639.
- [ 25 ] 宋华丹, 刘 明, 刘欢欢, 等. 超重/肥胖儿童非酒精性脂肪性肝病的磁共振成像质子密度脂肪分数分布特点 [J]. *肿瘤影像学*, 2023, 32(4): 339–346.
- [ 26 ] FERRAIOLI G, RAIMONDI A, MAIOCCHI L, et al. Liver fat quantification with ultrasound: depth dependence of attenuation coefficient [J]. *J Ultrasound Med*, 2023, 42(10): 2247–2255.
- [ 27 ] SCHWIMMER J B, MIDDLETON M S, BEHLING C, et al. Magnetic resonance imaging and liver histology as biomarkers of hepatic steatosis in children with nonalcoholic fatty liver disease [J]. *Hepatology*, 2015, 61(6): 1887–1895.
- [ 28 ] EL–BADRY A M, BREITENSTEIN S, JOCHUM W, et al. Assessment of hepatic steatosis by expert pathologists: the end of a gold standard [J]. *Ann Surg*, 2009, 250(5): 691–697.
- [ 29 ] CAUSSY C, REEDER S B, SIRLIN C B, et al. Noninvasive, quantitative assessment of liver fat by MRI–PDFF as an endpoint in NASH trials [J]. *Hepatology*, 2018, 68(2): 763–772

(收稿日期: 2023–12–28 修回日期: 2024–01–13)