

· 专家述评 ·



王文平，教授，复旦大学附属中山医院博士研究生导师。主要社会兼职：上海市超声质量控制中心主任，中国声学学会生物医学超声工程分会副主任委员，海峡两岸医药卫生交流协会超声医学分会副主任委员，国家肿瘤质控中心肝癌质量控制专家委员会委员，中华医学会超声医学分会第九届委员会副主任委员，上海市医学会超声医学专科分会第十届委员会主任委员，上海市影像医学研究所副所长，复旦大学超声医学与工程研究所副所长。以第一作者和通信作者发表论文近百篇，主编和参编各种专业书籍10余部，同时承担和参与多项国家自然科学基金等科研项目。2015年被评为上海市医学领军人才。

肝脂肪变性的超声检测技术及其应用前景

董 怡¹，王文平²

1. 上海交通大学医学院附属新华医院超声科，上海 200092；
2. 复旦大学附属中山医院超声科，上海 200032

〔摘要〕 非酒精性脂肪性肝病（non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD）是最常见的慢性肝病，在普通人群中的患病率约高达30%。肝脂肪变性是NAFLD的一个重要组织学特征，随着病程的发展，可导致肝纤维化或肝硬化，甚至增加肝细胞肝癌的患病风险。定量评估肝脂肪变性的金标准是肝脏穿刺活检，但其具有侵入性。影像学技术使无创、定量地评估肝脏脂肪成为可能。许多指南推荐超声作为NAFLD首选的影像学诊断手段，具有简便、实时、无创及可视化等优势。近年来，超声定量检测技术层出不穷，技术参数包括衰减系数、背向散射系数和声速。但各类超声新技术临床应用证据较少，需要大量研究探索并优化操作方法，以降低噪声对测量值的影响。本文从脂肪性肝病名称的变更、临床诊断现状、超声医学与生物世界联合会定量评估脂肪变性共识的解读入手，并介绍具有代表性的基于声衰减系数的定量超声技术，以及其在肝脂肪变性检测中的诊断价值。最后从诊断、监测、预测等角度展望超声定量检测技术的临床前景。

〔关键词〕 脂肪肝；定量；衰减系数；背向散射；射频信号

中图分类号：R575.5；R445.1 文献标志码：A DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2023.04.001

Detection and application prospects of ultrasound techniques for hepatic steatosis DONG Yi¹, WANG Wenping²
(1. Department of Ultrasound, Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China; 2. Department of Ultrasound, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Correspondence to: WANG Wenping E-mail: puguang61@126.com

〔Abstract〕 Non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) is the most common chronic liver disease, with an estimated prevalence of up to 30% in the whole population. Liver steatosis is an important histological feature of NAFLD, which can lead to liver fibrosis or cirrhosis, and even increase the risk of hepatocellular carcinoma as the disease progresses. The gold standard for quantitatively evaluating liver steatosis is liver biopsy, but it is invasive. Imaging technology enables non-invasive and quantitative assessment of liver fat. The guidelines recommend ultrasound as the first-line imaging diagnostic method for NAFLD, which has the advantages of being convenient, real-time, non-invasive and visualization. Recently, quantitative ultrasonic technologies have emerged, and the technical parameters include attenuation coefficient, backscatter coefficient, and sound velocity. However, there is limited evidence for the clinical application of various new ultrasound technologies, and a large amount of research is needed to explore and optimize

基金项目：中德合作交流项目（M-0504）；国家自然科学基金（82071942）

通信作者：王文平 E-mail: puguang61@126.com

operational methods to reduce the impact factors on measurement. This review introduced the change in the name of fatty liver disease, the current status of clinical diagnosis, the interpretation of international consensus from the World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology, and introduced representative quantitative ultrasound techniques based on attenuation coefficient, with their diagnostic value in the detection of hepatic steatosis. Moreover, this review evaluated diagnosis, monitoring, and prediction by ultrasound quantitative detection technology for the application of hepatic steatosis.

[**Key words**] Fatty liver; Quantitation; Attenuation coefficient; Backscatter; Radio-frequency signal

非酒精性脂肪性肝病 (non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD) 是世界范围内最常见的慢性肝病, 在普通人群中患病率高达30%^[1]。大部分NAFLD患者合并心血管系统疾病 (如高血压、冠心病、心肌梗死等)、代谢性疾病 (如2型糖尿病、肥胖症、脂质代谢异常、胰岛素抵抗等) 及肝外恶性肿瘤等^[2]。根据病程发展, NAFLD可分为两个阶段: 非酒精性脂肪肝 (non-alcoholic fatty liver, NAFL) 和非酒精性脂肪性肝炎 (non-alcoholic steatohepatitis, NASH), 后者可导致不同严重程度的肝纤维化, 进而发展为肝硬化, 显著增加肝癌的患病风险^[3]。目前中国仍以乙型肝炎病毒 (hepatitis B virus, HBV) 为肝癌发生的首要病因, 但随着乙肝疫苗接种的普及, HBV携带者数量逐年下降^[4]。中国2018年版NAFLD防治指南^[5]提出, 随着国家经济发展、人们生活水平的提高, NAFLD的患病率在近10年内从15%上升到31%, NAFLD也可能成为肝癌的主要病因。

1 脂肪性肝病名称的变更

在2020年, 由来自22个国家的30位专家共同发布了国际专家共识, 提出了代谢相关脂肪性肝病 (metabolic-associated fatty liver disease, MAFLD) 的概念^[6]。相比于NAFLD, MAFLD更强调脂肪肝同时合并代谢的问题。MAFLD的诊断标准与饮酒量无关, 满足肥胖、2型糖尿病或代谢功能障碍三者之一即可。

近日, 由美国肝脏疾病研究协会、欧洲肝脏研究协会以及拉丁美洲肝脏研究协会联合发布的脂肪性肝病新命名的多学会的德尔菲共识^[7], 建议使用代谢功能障碍相关脂肪性肝病 (metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease, MASLD) 取代NAFLD。修改后的定义保留了当前需要排除酒精的限制, 但在肝脂肪变

性的基础上需要同时考虑心脏代谢风险因素。这个术语更好地描述了与已知代谢功能障碍相关的肝病。

2 肝脂肪变性的临床诊断现状

肝脏穿刺活检是评价肝脂肪变性的金标准。NAFL, 即中低倍镜下超过5%的肝细胞发生脂肪变性 (肝细胞内堆积充满脂质的空泡), 而不伴小叶内炎症、气球样变和纤维化; NASH以脂肪变性、炎症和肝细胞气球样变为特征, 表现为实质炎症和门脉炎症, 镜下可见巨噬细胞和淋巴细胞浸润在肝细胞板和肝门静脉区域内^[8]。根据Kleiner评分, 肝脂肪变性可分为: 0级, 肝细胞脂肪变性<5%; 1级, 肝细胞脂肪变性5%~33%; 2级, 肝细胞脂肪变性>33%~66%; 3级, 肝细胞脂肪变性>66%^[9]。但肝脏穿刺活检是有创的, 具有引起并发症的风险和取样偏倚等局限性, 患者接受度不高。肝脂肪变性不仅需要准确的定量诊断, 还需要动态随访和评估疗效。因此, 在临床工作中亟需一种无创、高效的检查技术。

磁共振成像质子密度脂肪分数 (magnetic resonance imaging-proton density fat fraction, MRI-PDFF) 可用于肝脂肪变性分级评估, 与组织学分级的改变存在关联, 能预测患者脂肪变性的改变。MRI-PDFF具有肝脏特异性和可重复性, 可以实现对患者的长期监测^[10], 被推荐为诊断肝脂肪变性的参考标准^[1, 11]。MRI-PDFF采用m-DIXON序列和IDEAL-IQ序列, 通过计算肝实质内脂肪所占的体积比, 对脂肪含量进行量化, 能准确地反映脂肪肝的程度、预测NAFLD患者肝纤维化的进展^[12]。MRI-PDFF与肝脏穿刺病理学脂肪定量结果呈正相关。采用MRI-PDFF评估肝脂肪变性可减少因穿刺采样局限而导致的诊断误差, 同时可利用MRI得到形象的

彩色图像,是理想的无创脂肪含量定量检测技术。目前把MRI-PDFV阈值5%作为诊断脂肪变性的标准^[13]。但是,在同反相位下,或是脂肪肝患者合并纤维化时,可能造成测量值偏差,与此同时,MRI-PDFV检查费用昂贵、耗时,而且在患者形体过大(无合适的线圈)时无法进行。

3 世界超声医学与生物学联合会(World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology, WFUMB)国际共识解读

2021年,WFUMB发表的超声定量检测肝脏脂肪含量的国际共识^[11]讨论了量化NAFLD患者肝脂肪变性的重要性,提出肝脂肪变性 $\geq 5\%$ 是诊断NAFLD的基础,该共识提到MRI-PDFV可作为肝脂肪变性无创诊断的参考标准。针对超声检查技术,WFUMB共识认为常规灰阶超声可估计肝脏脂肪浸润的程度,但对轻度脂肪变性的检测灵敏度较低。半定量和定量超声技术可用来支持脂肪肝的诊断,提高对轻度脂肪变性的检测灵敏度。近年来,尤其是基于超声衰减系数、背向散射系数和声速的估计,超声定量检测技术的迅猛发展,提高了超声对肝脂肪变性识别和分级诊断的效能,所获取的测量结果与病理学金标准及MRI-PDFV的参考标准一致,且操作者间和操作者内部可重复性高。但是,在应用超声定量技术时应注意的是,在非均匀性脂肪肝的情况下,对于检测结果的解读需谨慎,因为目前尚未有非均匀性脂肪肝的诊断参考标准;与此同时,不同厂商的仪器获取的测量结果可能存在偏差。

4 超声技术评估肝脂肪变性

超声检查具有无创、便捷、实时、准确等独特优势。欧洲肝脏研究协会发布的《非酒精性脂肪肝管理临床实践指南》推荐超声检查为NAFLD首选的影像学诊断手段^[3]。超声检查评估脂肪肝的技术经历了3个阶段,即定性评估、半定量检测和定量检测。

4.1 超声定性评估技术

B型超声(B-mode ultrasound, BMUS)是定性评估脂肪肝的常用工具。肝脂肪变性的分级主要根据二维灰阶声像图特征,包括肝回声强

弱、后方回声衰减程度、肝脏和肾脏皮质回声的对比、肝内血管、胆管及膈肌的清晰度。肝脂肪变性的分级:0级,无脂肪变性;1级,轻度,肝实质回声稍增强,膈肌和肝门静脉血管壁清晰可见;2级,中度,可伴有右肝后叶实质的回声衰减或膈肌显示不清,肝门静脉血管壁回声减低;3级,重度,肝实质回声衰减范围达到前叶,且肝内血管壁模糊^[14]。但是,BMUS易受仪器调节和操作者主观的影响。在观察声像图特征的基础上,Hamaguchi评分和US-FLI评分综合多个超声特征进行脂肪变性的评估,Hamaguchi评分观察4个声像图征象,包括肝肾回声对比度、肝脏回声增高、肝脏后方衰减和血管壁模糊^[15]。US-FLI评分基于肝/肾对比度、肝脏后方衰减、血管、胆囊壁和膈肌显示不清,以及肝“岛”的存在^[16]。

近年来,基于人工智能的超声组学技术,通过数据收集和整理、病灶分割、高通量特征提取和量化、特征选择,再通过机器学习构建模型,在一定程度上可有效、精准、客观地分析疾病的特征,评估疗效和患者预后^[17]。超声组学技术的发展成熟和诊断效能稳定的模型构建,有赖于大量、标准化的超声图像,但目前超声标准化存图仍是个挑战。

4.2 超声半定量评估技术

肝肾指数(hepatorenal index, HRI)是超声半定量评估脂肪变性的方法。HRI主要是通过肝实质和肾实质同一深度分别确定感兴趣区(region of interest, ROI),计算肝脏与肾脏回声强度的比值。HRI可消除增益在不同深度上的差异,避免操作者视觉的影响,提高检测结果的可靠性^[18]。但是,由于仪器调节、增益补偿、测量深度等的不同,对脂肪变性的诊断阈值结果有差异^[18]。最近,肝肾指数加(hepatorenal index plus, HRI+)通过直接分析超声原始射频信号,计算肝脏和肾脏皮质的射频信号比值,比值越高则肝脂肪变性程度越高。HRI+不受机器调节的增益和显示器亮度的影响。当NAFLD患者合并肾脏急慢性疾病、右肾缺如、右肾下垂或者手术切除等情况时,则无法获取检测值。

4.3 超声定量评估技术

为了解决超声定性和半定量技术检测脂肪变性及肝纤维化的不足, 客观性、准确度高的定量超声技术应运而生^[11], 其原理基于衰减系数、

背向散射系数和声速。近年来, 基于组织中超声射频信号衰减系数的超声定量检测技术层出不穷(表1), 使临床上无创、便捷、高效地评估肝脏脂肪含量成为可能。

表1 基于声衰减系数的超声定量新技术

技术名称	仪器厂商和所在地	测量单位
受控衰减参数 (controlled attenuation parameter, CAP)		
FibroScan	爱科森 (Echosens), 法国	dB/m
FibroTouch	海斯凯尔 (Hisky), 中国	dB/m
超声脂肪分数 (US-derived fat fraction, UDFF)		
	西门子 (Siemens), 德国	%
声衰减成像 (attenuation imaging, ATI)		
	佳能 (Canon), 日本	dB/(cm·MHz ⁻¹)
超声引导声衰减参数 (US-guided attenuation parameter, UGAP)		
	通用电器 (GE), 美国	dB/(cm·MHz ⁻¹)
超声衰减分析 (ultrasound attenuation analysis, USAT)		
	深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司, 中国	dB/(cm·MHz ⁻¹)

4.3.1 CAP

CAP技术最早出现在法国Echosens公司的FibroScan仪, 自2010年被广泛应用于临床评估肝脂肪变性^[19]。CAP通过测量肝硬度值和肝脏衰减参数, 对肝脏脂肪含量大于10%的肝脂肪变性进行定量评估, 获取测值(单位dB/m)。CAP能够准确地鉴别正常肝脏与肝脂肪变性, 在病理组织学上, 与脂肪定量的结果有良好的相关性, CAP诊断脂肪变性 $\geq 11\%$ 、 $\geq 33\%$ 和 $\geq 66\%$ 时的曲线下面积(area under curve, AUC)分别为0.91、0.95和0.89; 肝硬化和非肝硬化患者的CAP差异无统计学意义, 提示CAP可能不受纤维化的影响^[20]。但是, CAP在脂肪变性程度上的诊断阈值差异大, 检测脂肪变性的临界值在不同研究之间有很大差异。CAP检查需要专用探头, 无超声图像实时引导, 无法动态观察检测区域的肝实质、避开管道系统的干扰, CAP测量的失败率达7.7%~14%^[21-24]。这些均限制了CAP在纵向随访研究中评估脂肪含量随时间变化的应用。

近年来, 由清华大学参与研发的FibroTouch仪结合了二维超声技术和低频剪切波技术^[25], 具有超声引导功能, 有助于在肝脏检测部位中快速定位, 弥补了FibroScan的不足。FibroTouch测量成功率更高(96.51%), 结果与肝脂肪变性呈正相关, 评估脂肪含量效能好

(AUC为0.88~0.93)^[26]。

4.3.2 ATI

ATI技术是基于超声波的声衰减原理, 在日本Canon公司Aplio i800系列以上的超声仪器中配备, 检测超声波在脂肪变性时肝实质内的衰减系数, 计算得出测量值[单位dB/(cm·MHz⁻¹)]^[11]。在测量时, BMUS图像和ATI彩色编码图双幅实时显示, ATI彩色编码图能自动屏蔽肝内血管、胆管等的区域, 避免超声伪像(如混响伪像)干扰, 在显示器下方显示测值的可行性, 以线性拟合优度 $R^2 \geq 0.9$ 代表图像质优。以肝脏穿刺活检为诊断标准, ATI技术对脂肪变性的诊断效能高(AUC=0.808)^[27], 优于CAP^[19]。对比CAP技术, ATI技术与MRI-PDFF的一致性更高(ATI为0.83, CAP为0.58)^[19]。ATI测值不受肝脏纤维化和活动性炎症的影响^[1], 仅与脂肪变性分级相关^[28]。

4.3.3 UGAP

UGAP技术配备于美国GE公司Logiq E9及以上系列超声仪器, 其原理是基于已知衰减系数的参考体模, 在UGAP模式下, 传输和接收数据与参考体模一致, 利用补偿的方式获取肝脏超声回波信号, 即代表衰减, 再通过自动测量算法, 在最佳测量范围内测量斜率, 计算得出衰减系数^[29]。以肝脏穿刺活检作为诊断标准,

UGAP诊断S1、S2和S3级脂肪变性的AUC分别为0.89~0.90、0.91~0.95和0.91~0.95^[30-31]。在诊断S2级及以上脂肪变性时，UGAP技术优于CAP。UGAP检测结果不受肝脏硬度值增加的影响。UGAP技术的优势还在于其可提供质量图、衰减图，便于操作者快速准确地确定ROI，测量成功率为98.3%~100.0%^[31-32]。但是，UGAP技术对脂肪变性程度方面的诊断阈值存在重叠；UGAP测值与MRI-PDFF在正常肝脏或轻度脂肪变性时的相关性较低（ $r=0.559$ ）^[33]。

4.3.4 UDFF

UDFF技术搭载于德国Siemens公司Acuson Sequoia超声诊断系统，通过测量组织回波射频信号中的衰减系数和背向散射系数，计算得出反映肝脏脂肪含量的声学脂肪分数UDFF（%）。UDFF的操作在BMUS实时引导下，确定一个大小固定的ROI后启动UDFF测量功能。一个ROI内包含15个大小为1.0 cm × 1.5 cm的子ROI，即同步获取最多15个UDFF值。ROI会自动屏蔽运动伪像、肝内大的管道或肝包膜等区域，避免测量误差。UDFF采用DAX探头，测量深度可达55 cm，适用于体型较大或体重指数较高的患者。以肝脏穿刺活检为标准，UDFF诊断脂肪变性效能高（AUC为0.83~0.94）^[13, 34]。UDFF技术的优势在于，UDFF测值结果不受测量深度的影响^[35]，与MRI-PDFF呈线性相关（ ρ 为0.82~0.87）^[13, 34]。因此，UDFF脂肪分数可以与MRI-PDFF直接对照，且UDFF更加经济、便捷。

4.3.5 USAT

USAT技术最早出现在深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司的Resona 9超声仪器。USAT基于超声原始射频信号的“全域声场还原”技术，通过特殊的聚焦控制、波束合成与信号处理算法，还原超声信号在肝脏的真实声速以及原始衰减信息，从而有效地提高测值的准确度，重复性较好。传统的声衰减技术采用图像灰阶信号、参数（焦点和增益）的改变，真实衰减信息已被改变，影响声衰减系数的准确度；通过调节后端增益档位或者图像亮度无法还原真实信息；

皮下脂肪的厚度、肝脂肪含量的变化也会导致超声波在组织中传播声速的改变，从而对超声回波信号的接收产生影响。USAT全域声场还原技术则可获得更真实的衰减信息，实现多频点复合。该技术的优势在于采用实时监控运动稳定性指数、可信度图和可信度指数，以保证成像质量，提高结果的可信度。在空间域上，对局部ROI进行内部测量，获取测量值的均值、最大值、最小值和标准差；在时间域上，可对局部ROI测量结果进行连续多次重复测量，获取测值的中位数、四分位间距、均值和标准差等。USAT各项测量结果及图像都会记录在检查报告中，供医师分析处理。还可对不同时期检查的同一患者进行肝脏脂肪含量的监测管理，通过报告中的“趋势图”工具，直观地显示患者的预后情况。USAT与BMUS的脂肪变性分级具有良好的 consistency，USAT测值随脂肪肝严重级别的增加而增加，USAT平均值分别为0.49、0.59、0.70和0.90 dB/(cm·MHz⁻¹)^[36]。根据脂肪变性的Brunt分级（S0，<5%；S1，5%~33%；S2，33%~66%；S3，>66%），USAT的推荐截止值分别为0.53、0.66和0.82 dB/(cm·MHz⁻¹)^[36]。

除此之外，Resona 9超声仪基于静态超声成像数据的肝脏纹理指数（liver texture index, LTI）技术，通过计算与目标组织散射相关的肝脏纹理信息，评估肝脂肪变性，对早期脂肪肝的诊断灵敏度高^[36]。LTI技术可与HRI+和USAT技术联合应用，在一次超声检查过程中实现肝脂肪变性的全面的多参数评估，且不产生额外的经济负担。

5 展望

随着脂肪肝患病率的增高和潜在并发症的增加，人们对准确、无创诊断的需求越来越迫切，脂肪肝诊断领域涌现出一批基于衰减系数的超声定量检测技术。大部分超声定量检测技术可以在BMUS上实时、精准地测量肝脏脂肪，测量失败率较低。但是，由于仪器之间技术原理的不同，推荐的ROI和检测深度亦不同，导致不同的超声定量技术在用于评估脂肪变性时受到一致性偏差的限制；不同研究采用的扫查方法（如禁食

状态、呼吸时相、体位等)和诊断标准(穿刺活检、MRI-PDFF或CAP)不一致,导致诊断阈值的交叠或偏倚,影响诊断的准确度。

因此,前瞻性的、大样本、多中心的研究是必要的,应开展针对超声定量检测技术与现有脂肪变性诊断标准之间的相关性研究,如超声定量技术与MRI-PDFF、病理Kleiner评分的相关性研究,以及不同仪器或探头的直接对照研究,可以验证超声定量检测技术的可靠性。与此同时,通过操作者间一致性、重复性的研究,以及患者体重指数和实验室指标,探讨测量操作过程中的影响因素,剔除混杂因素。更重要的是探索特定疾病(如糖尿病、肥胖症)的最佳诊断阈值,将超声定量检测技术运用于临床随访、评估疗效和肝癌预警监测中。

超声无创定量检测技术的发展,对早期识别肝脂肪变性并进行积极干预至关重要。但目前各类超声新技术临床应用证据较少,仍需大量研究探索并优化操作方法,以降低混杂因素对测量值的影响。

[参 考 文 献]

- [1] FERRAIOLI G, KUMAR V, OZTURK A, et al. US attenuation for liver fat quantification: an AIUM-RSNA QIBA pulse-echo quantitative ultrasound initiative [J] . Radiology, 2022, 302(2): 495-506.
- [2] ZHU J Z, ZHOU Q Y, WANG Y M, et al. Prevalence of fatty liver disease and the economy in China: a systematic review [J] . World J Gastroenterol, 2015, 21(18): 5695-5706.
- [3] 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] . Obes Facts, 2016, 9(2): 65-90.
- [4] CHEN S Q, LI J, WANG D, et al. The hepatitis B epidemic in China should receive more attention [J] . Lancet, 2018, 391(10130): 1572.
- [5] 中华医学会肝病学会脂肪肝和酒精性肝病学组, 中国医师协会脂肪性肝病专家委员会. 非酒精性脂肪性肝病防治指南(2018年更新版) [J] . 临床肝胆病杂志, 2018, 34(5): 947-957.
- [6] ESLAM M, NEWSOME P N, SARIN S K, et al. A new definition for metabolic dysfunction-associated fatty liver disease: an international expert consensus statement [J] . J Hepatol, 2020, 73(1): 202-209.
- [7] RINELLA M E, LAZARUS J V, RATZIU V, et al. A multi-society Delphi consensus statement on new fatty liver disease nomenclature [J/OL] . J Hepatol, 2023. DOI: 10.1016/j.jhep.2023.06.003.
- [8] SIMON T G, ROELSTRAETE B, KHALILI H, et al. Mortality in biopsy-confirmed nonalcoholic fatty liver disease: results from a nationwide cohort [J] . Gut, 2021, 70(7): 1375-1382.
- [9] KLEINER D E, BRUNT E M, VAN NATTA M, et al. Design and validation of a histological scoring system for nonalcoholic fatty liver disease [J] . Hepatology, 2005, 41(6): 1313-1321.
- [10] MIDDLETON M S, HEBA E R, HOOKER C A, et al. Agreement between magnetic resonance imaging proton density fat fraction measurements and pathologist-assigned steatosis grades of liver biopsies from adults with nonalcoholic steatohepatitis [J] . Gastroenterology, 2017, 153(3): 753-761.
- [11] 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.
- [12] ZHANG Y N, FOWLER K J, HAMILTON G, et al. Liver fat imaging—a clinical overview of ultrasound, CT, and MR imaging [J] . Br J Radiol, 2018, 91(1089): 20170959.
- [13] DILLMAN J R, THAPALIYA S, TKACH J A, et al. Quantification of hepatic steatosis by ultrasound: prospective comparison with MRI proton density fat fraction as reference standard [J] . AJR Am J Roentgenol, 2022, 219(5): 784-791.
- [14] HERNAEZ R, LAZO M, BONEKAMP S, et al. Diagnostic accuracy and reliability of ultrasonography for the detection of fatty liver: a meta-analysis [J] . Hepatology, 2011, 54(3): 1082-1090.
- [15] HAMAGUCHI M, KOJIMA T, ITOH Y, et al. The severity of ultrasonographic findings in nonalcoholic fatty liver disease reflects the metabolic syndrome and visceral fat accumulation [J] . Am J Gastroenterol, 2007, 102(12): 2708-2715.
- [16] ZARDI E M, DE SIO I, GHITTONI G, et al. Which clinical and sonographic parameters may be useful to discriminate NASH from steatosis? [J] . J Clin Gastroenterol, 2011, 45(1): 59-63.
- [17] 陈凯玲, 张炜彬, 毛丽娟, 等. 肝脏VX2原位移植瘤术后模型的建立及超声影像学评估 [J] . 肿瘤影像学, 2022, 31(5): 547-553.
- [18] MARSHALL R H, EISSA M, BLUTH E I, et al. Hepatorenal index as an accurate, simple, and effective tool in screening for steatosis [J] . AJR Am J Roentgenol, 2012, 199(5): 997-1002.
- [19] 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.
- [20] SASSO M, BEAUGRAND M, DE LEDINGHEN V, et al. Controlled attenuation parameter (CAP): a novel VCTE™ guided ultrasonic attenuation measurement for the evaluation of hepatic steatosis: preliminary study and validation in a cohort of patients

- with chronic liver disease from various causes [J] . *Ultrasound Med Biol*, 2010, 36(11): 1825–1835.
- [21] DE LÉDINGHEN V, VERGNIOL J, CAPDEPONT M, et al. Controlled attenuation parameter (CAP) for the diagnosis of steatosis: a prospective study of 5 323 examinations [J] . *J Hepatol*, 2014, 60(5): 1026–1031.
- [22] SASSO M, TENGHER-BARNA I, ZIOL M, et al. Novel controlled attenuation parameter for noninvasive assessment of steatosis using Fibroscan®: validation in chronic hepatitis C [J] . *J Viral Hepat*, 2012, 19(4): 244–253.
- [23] CAUSSY C, ALQUIRAISH M H, NGUYEN P, et al. Optimal threshold of controlled attenuation parameter with MRI-PDFF as the gold standard for the detection of hepatic steatosis [J] . *Hepatology*, 2018, 67(4): 1348–1359.
- [24] HU Y Y, DONG N L, QU Q, et al. The correlation between controlled attenuation parameter and metabolic syndrome and its components in middle-aged and elderly nonalcoholic fatty liver disease patients [J] . *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(43): e12931.
- [25] WANG H, GAO P, CHEN W X, et al. A cross-sectional study of alcohol consumption and alcoholic liver disease in Beijing: based on 74 998 community residents [J] . *BMC Public Health*, 2022, 22(1): 723.
- [26] QU Y, SONG Y Y, CHEN C W, et al. Diagnostic performance of FibroTouch ultrasound attenuation parameter and liver stiffness measurement in assessing hepatic steatosis and fibrosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease [J] . *Clin Transl Gastroenterol*, 2021, 12(4): e00323.
- [27] JANG J K, KIM S Y, YOO I W, et al. Diagnostic performance of ultrasound attenuation imaging for assessing low-grade hepatic steatosis [J] . *Eur Radiol*, 2022, 32(3): 2070–2077.
- [28] DIOGUARDI BURGIO M, RONOT M, REIZINE E, et al. Quantification of hepatic steatosis with ultrasound: promising role of attenuation imaging coefficient in a biopsy-proven cohort [J] . *Eur Radiol*, 2020, 30(4): 2293–2301.
- [29] BENDE F, SPOREA I, ŞIRLI R, et al. Ultrasound-guided attenuation parameter (UGAP) for the quantification of liver steatosis using the controlled attenuation parameter (CAP) as the reference method [J] . *Med Ultrason*, 2021, 23(1): 7–14.
- [30] FUJIWARA Y, KURODA H, ABE T, et al. The B-mode image-guided ultrasound attenuation parameter accurately detects hepatic steatosis in chronic liver disease [J] . *Ultrasound Med Biol*, 2018, 44(11): 2223–2232.
- [31] KURODA H, ABE T, FUJIWARA Y, et al. Diagnostic accuracy of ultrasound-guided attenuation parameter as a noninvasive test for steatosis in non-alcoholic fatty liver disease [J] . *J Med Ultrason* (2001), 2021, 48(4): 471–480.
- [32] YOON H, KIM J, LIM H J, et al. Attenuation coefficient measurement using a high-frequency (2–9 MHz) convex transducer for children including fatty liver [J] . *Ultrasound Med Biol*, 2022, 48(6): 1070–1077.
- [33] TADA T, KUMADA T, TOYODA H, et al. Utility of attenuation coefficient measurement using an ultrasound-guided attenuation parameter for evaluation of hepatic steatosis: comparison with MRI-determined proton density fat fraction [J] . *AJR Am J Roentgenol*, 2019, 212(2): 332–341.
- [34] LABYED Y, MILKOWSKI A. Novel method for ultrasound-derived fat fraction using an integrated phantom [J] . *J Ultrasound Med*, 2020, 39(12): 2427–2438.
- [35] GAO J, WONG C, MAAR M, et al. Reliability of performing ultrasound derived SWE and fat fraction in adult livers [J] . *Clin Imaging*, 2021, 80: 424–429.
- [36] JUNG E M, DONG Y, JUNG F. Current aspects of multimodal ultrasound liver diagnostics using contrast-enhanced ultrasonography (CEUS), fat evaluation, fibrosis assessment, and perfusion analysis—an update [J] . *Clin Hemorheol Microcirc*, 2023, 83(2): 181–193.

(收稿日期: 2023-07-07 修回日期: 2023-07-27)