

超声黏弹性成像技术对肝脏病变的诊断价值研究

芦幸琪^{1,2}, 张洁¹, 张东³, 李小静¹, 于景彤^{1,2}, 王斐倩¹

¹西安交通大学第一附属医院超声医学科, 陕西省西安市 710061; ²宝鸡市中医医院超声科, 陕西省宝鸡市 721000; ³西安交通大学第一附属医院肝胆外科, 陕西省西安市 710061

摘要: 目的: 超声黏弹性成像技术是无创、定量评估组织硬度的工具。本研究拟探索超声黏弹性成像技术对常见肝脏病变的诊断价值。方法: 收集正常体检(60例)、各种癌症术后复查(33例)、移植肝(20例)、脂肪肝(50例)、肝硬化(21例)、肝癌(15例)、肝血管瘤(13例)共212例患者。对弥漫性和占位性肝脏病变分别实施肝脏实质和病灶处的黏弹性成像。将测得的平均弹性、黏度值做组间t检验, 探索不同病种间的黏弹性的差异。结果: 肝癌的弹性值($14.49 \pm 4.31 \text{ kPa}$)高于肝硬化($11.01 \pm 4.85 \text{ kPa}$) ($P=0.013$)、脂肪肝($10.45 \pm 4.04 \text{ kPa}$) ($P=0.001$)、移植肝($9.50 \pm 4.36 \text{ kPa}$) ($P<0.001$)、正常体检($9.81 \pm 4.37 \text{ kPa}$) ($P<0.001$)、癌症术后复查患者($8.35 \pm 3.04 \text{ kPa}$) ($P<0.001$)。肝血管瘤($2.91 \pm 0.67 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)和肝癌($2.71 \pm 0.77 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)的黏度值高于脂肪肝($2.12 \pm 0.63 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)、移植肝($1.83 \pm 0.74 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)、正常体检($2.01 \pm 0.68 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)、癌症术后复查患者($1.92 \pm 0.60 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) , 差异有统计学意义。年龄亚组(<40 岁, $40-60$ 岁, >60 岁)的黏度值有随年龄增长的升高趋势($P=0.018$)。然而, 男性和女性患者的弹性、黏度值均无统计学差异。结论: 超声黏弹性成像对肝脏病变有一定的鉴别诊断价值。

关键词: 黏弹性成像, 肝脏, 超声, 诊断

The diagnostic value of ultrasound viscoelasticity imaging technique in the study of hepatic disease

Jie Zhang¹, Xingqi Lu^{1,2}, Xiaojing Li¹, Dong Zhang³, Jingtong Yu^{1,2}, Feiqian Wang¹

¹Department of Ultrasound, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710061, China; ²Baoji Hospital of Traditional Chinese Medicine, Baoji, Shaanxi 721000, China; ³Department of Hepatobiliary Surgery, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710061, China

Abstract: Objective: Ultrasonic viscoelastic imaging technology serves as a non-invasive, quantitative tool for assessing tissue hardness. This study aims to explore the diagnostic value of ultrasonic viscoelastic imaging in common liver lesions. Methods: A total of 212 patients were recruited, including those undergoing routine physical examination (60 cases), post-surgical follow-up for various cancers (33 cases), liver transplantation (20 cases), fatty liver disease (50 cases), liver cirrhosis (21 cases), liver cancer (15 cases), and hepatic hemangioma (13 cases). Viscoelastic imaging was performed on both diffuse and space-occupying liver lesions, targeting the liver parenchyma and focal lesions, respectively. The measured average elasticity and viscosity values were subjected to intergroup t-tests to investigate viscoelastic differences among various disease conditions. Results: The elasticity value of liver cancer ($14.49 \pm 4.31 \text{ kPa}$) was higher than that of liver cirrhosis ($11.01 \pm 4.85 \text{ kPa}$) ($P=0.013$), fatty liver ($10.45 \pm 4.04 \text{ kPa}$) ($P=0.001$), transplanted liver ($9.50 \pm 4.36 \text{ kPa}$) ($P<0.001$), normal physical examination ($9.81 \pm 4.37 \text{ kPa}$) ($P<0.001$), and post-cancer surgery review patients ($8.35 \pm 3.04 \text{ kPa}$) ($P<0.001$). The viscosity values of hepatic hemangioma ($2.91 \pm 0.67 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) and liver cancer ($2.71 \pm 0.77 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) were significantly higher than those of fatty liver ($2.12 \pm 0.63 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), transplanted liver ($1.83 \pm 0.74 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), normal physical examination ($2.01 \pm 0.68 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), and post-cancer surgery review patients ($1.92 \pm 0.60 \text{ Pa}\cdot\text{s}$). There was a statistically significant difference. The viscosity values of age subgroups (<40 years, $40-60$ years, >60 years) showed an increasing trend with age ($P=0.018$). However, there were no statistically significant differences in elasticity and viscosity values between male and female patients. Conclusion: Ultrasonic viscoelastic imaging demonstrates diagnostic value in the differential diagnosis of liver lesions.

Keywords: viscoelasticity imaging, liver, ultrasound, diagnosis

1. 引言

超声及超声所衍生的各种成像技术具有无创、无辐射、成本低廉、可重复操作等优势,已被广泛应用于临床,尤其在肝脏病变的初步筛查中,与CT、MRI等影像学检查一道,成为一线诊断手段。然而,许多肝脏疾病存在“同图异病”、“同病异图”的影像学特征⁽¹⁾,这在临床实践中常导致误诊或漏诊。因此,亟需引入新型成像技术,以提升影像诊断的准确性和组织定性能力。

超声弹性成像作为一种能够定量评估组织硬度特性的无创技术,近年来受到广泛关注。超声弹性成像技术通过超声的声辐射力激发组织振动产生剪切波,进而测量剪切波的传播速度,以此评价组织的硬度。然而,该方法多将肝脏假设为均质、纯弹性体的理想模型⁽²⁾,忽略了肝脏中血管、炎症、损伤等因素所带来的粘滞度变化。事实上,所有生物活性组织均具备一定的弹性与黏性,单一评价“弹性”无法全面反映组织的力学特征。而且,黏度和弹性在早期软组织疾病的背景下发挥着相互关联的作用。例如,在炎症中,软组织的黏性可能会由于液体动力学的变化、炎症介质的存在而增加。这种黏性的改变会影响组织弹性的准确测量⁽³⁾。

近年来新发展起来的超声黏弹性(viscoelasticity)成像技术,在传统弹性成像基础上进一步引入黏性参数评估。该技术通过剪切波速度(shear wave velocity)评估组织刚度,同时以频散系数(dispersion coefficient)反映组织的黏性特征,从而可在弹性与黏性两个维度实现对组织硬度的全面量化评估,为疾病的组织学定性和病理机制研究提供更真实、可靠的信息⁽²⁾。目前,超声黏弹性成像技术已在乳腺⁽⁴⁾、甲状腺⁽⁵⁾、腮腺⁽⁶⁾、肾脏^(7,8)、皮肤⁽⁹⁾及颈动脉⁽¹⁰⁾等多种器官的疾病评估中获得初步应用,并展现出良好的临床前景。肝脏作为人体最大的实质性器官,兼具代谢、解毒与消化等多重功能,其病变形式复杂多样。然而,超声黏弹性成像在肝脏疾病方面的临床研究尚处于起步阶段,相关系统性研究报道仍相对较少。通过了解和表征肝脏组织的黏弹性特征至关重要,为早期检测肝脏疾病提供了一个及时干预和治疗的机会,以减轻或逆转病理变化⁽³⁾。

本研究拟以肝脏常见占位性和弥漫性病变患者为研究对象,探索不同病变类型的超声黏弹性特征,比较其黏弹性参数的差异,并结合病理机制对差异来源进行分析与解释。以期为不同类型的肝脏病变提供黏弹性参考值,并为肝脏疾病的早期、无创、定量诊断开辟新思路、提供理论和技术支持。

2. 患者与方法

2.1. 患者入组

收集2025年1月份在西安交通大学第一附属医院超声医学科就诊、随机分配到第11检查室行肝脏超声检查的患者。在行肝脏灰阶超声检查后,随即给与超声黏弹性成像检查。纳入标准:①肝血管瘤和肝癌为单发病灶,经过超声、增强CT、增强MRI、手术切除病理中至少两项检查获得明确诊断;②肝硬化有超声和肝纤维化两项检查结果明确诊断;③癌症术后复查患者、正常体检患者通过超声和肝功能检查综合诊断为正常肝脏;④脂肪肝患者通过血脂三项和灰阶超声综合诊断为脂肪肝。排除标准:①黏弹性成像时患者无法配合屏气,占位性病变距离心脏较近,病灶紧邻肝包膜,导致图像不稳定、黏弹性成像可信度差。②占位性病灶受到胃肠道气体或肋骨遮挡,超声下病灶显示不清晰。③肝血管瘤患者的肝背景非正常肝脏,为肝硬化或脂肪肝。④肝脏为脂肪肝和肝硬化并存。⑤癌症术后复查患者的癌症为肝癌。⑥影像学上观察到病灶距离皮肤深度超过10cm(超过超声黏弹性成像检测的极限)。本研究共纳入212例患者,年龄 49.91 ± 14.48 岁(范围10–81岁),男性102名,女性110名。本研究通过西安交通大学第一附属医院伦理委员会批准,所有患者均知情且签署知情同意书。

2.2. 黏弹性成像操作

使用迈瑞Resona A 20Q超声成像系统和该超声机配备的SC8-5凸阵探头。为获得肝脏黏弹性成像的准确测量值,受试者取平卧位,上抬双上肢,充分暴露上腹部。先行常规超声检查,然后切换到超声黏弹性成像模式。嘱患者屏住呼吸,点击Update键,取样框避开肝包膜、肝内管道系统及胆囊等结构。待3–5s图像稳定后冻结,得到彩色编码的弹性图像。在成像区域内勾画感兴趣区以进行定量测量。对局灶性病变,取样框设置在病灶处,以病灶中心为取样框中心,取样框尽量最大限度包含病灶(图1a, b);对弥漫性病变,于右肋间选择肝右叶S5/S6段切面,探头垂直于肝包膜,取样框大小统一设定为30mm×30mm,取样框顶部位于肝包膜下方1–1.5cm,以避免混响伪影(图1c–e)。采集的剪切波黏弹性结果必须满足三个可信度条件,方可用作后续黏弹性分析:①M-STB运动稳定性指数至少为四颗星;②测试区域内呈均匀绿色;③可信度指数>95%。黏弹性成像图由四幅构成。左上、右上、左下、右下分别是剪切波杨氏模量图(弹性图)、剪切波等时到达曲线图(剪切波传播图)、灰阶超声图、剪切波频散率图(黏性图)。两名不同年资的超声医生(王斐倩:从事超声工作13年,副主任医师;芦幸琪:从事超声工作3年,住院医师)分别独立操作并测量黏弹性,测得的数据由另一名超声医师(张洁)记录并计算平均值。

2.3. 统计检验

采用SPSS 26.0统计软件进行统计学分析。黏性值和弹性值基本服从正态分布,均以均数±标准差表示。不同组别的黏度值、弹性值采用独立样本t检验进行组间统计分析,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。理论上,徒手操作黏弹性成像检测会因操作者施加压力的大小和压力稳定性的不同而产生误差⁽¹¹⁾。因此,本研究对高年资

收稿日期: 2025-4-5; 修回日期: 2025-5-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(82102074); 西安交通大学第一附属医院临床研究面上项目(XJTU1AF-CRF-2023-025)

通讯作者/Corresponding author: 王斐倩/Feiqian Wang, E-mail: wangfeiqian@126.com

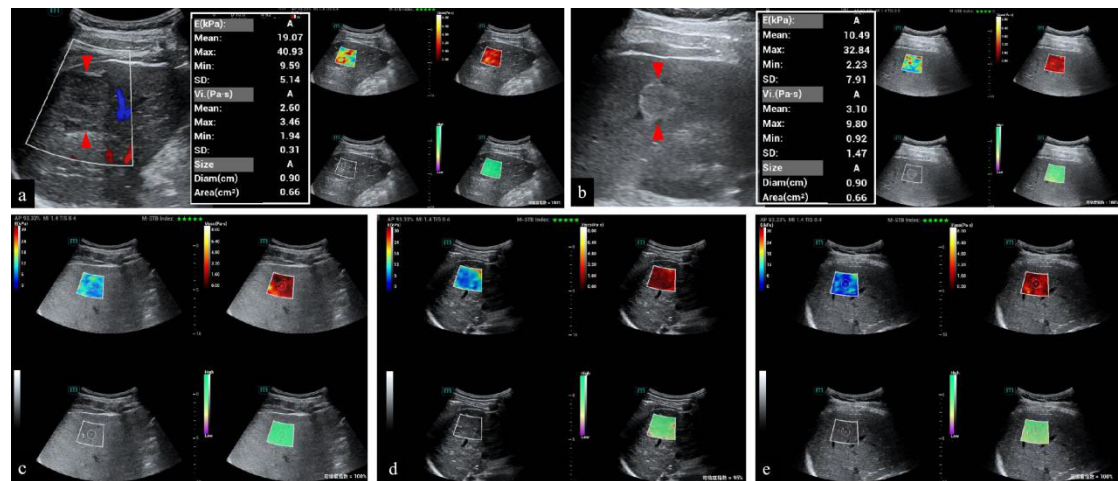


图1. 肝脏病变黏弹性检测示意图。(a) 肝细胞癌；(b) 肝血管瘤；(c) 脂肪肝；(d) 肝硬化；(e) 正常体检者。(a)和(b)中红色无尾箭头所指为病灶，白色方框内为弹性和黏度的测值（最大值、最小值、平均值）。(a)的肝细胞癌的平均弹性值：19.07kPa，平均黏度值：2.60Pa·s；(b)的肝血管瘤的平均弹性值：10.49kPa，平均黏度值：3.10Pa·s。

表1. 患者基线特征

病种	例数	年龄(岁) (均数±标准差)	性别 (男/女)	病灶最大直径(mm) (均数±标准差)
肝细胞癌	15	53.13±8.42	10/5	33.12±15.52
肝血管瘤	13	49.08±12.51	4/9	22.51±9.73
肝硬化	21	49.43±12.99	14/7	/
脂肪肝	50	47.86±14.41	24/26	/
移植肝	20	51.45±9.78	15/5	/
正常体检	60	45.58±17.03	22/38	/
癌症术后 正常肝脏	33	59.12±11.88	13/20	/
总体	212	49.91±14.48	102/110	/

表2. 高年资和低年资的黏弹性测值一致性

病种	例数	弹性值			黏度值		
		ICC	95%CI	P值	ICC	95%CI	P值
肝细胞癌	15	0.973	0.923,0.991	0.465	0.952	0.846,0.981	0.376
肝血管瘤	13	0.915	0.746,0.973	0.736	0.919	0.748,0.973	0.391
肝硬化	21	0.947	0.875,0.978	0.958	0.886	0.742,0.952	0.654
脂肪肝	50	0.970	0.942,0.981	0.164	0.914	0.853,0.950	0.405
移植肝	20	0.992	0.975,0.996	0.087	0.951	0.881,0.980	0.181
正常体检	60	0.967	0.945,0.980	0.114	0.939	0.900,0.963	0.986
癌症术后 正常肝脏	33	0.943	0.888,0.971	0.910	0.973	0.946,0.987	0.847
总体	212	0.966	0.955,0.974	0.081	0.943	0.926,0.956	0.819

注：ICC，组内相关系数；CI，可信度区间。

和低年资的测值做组内相关系数（intraclass correlation coefficient, ICC）的一致性检验，并采用配对t检验，以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。ICC的值介于0–1之间。小于0.5表示一致性较差，0.5–0.75表示一致性中等，0.75–0.9代表一致性较好，大于0.9代表一致性极好。

3. 结果

3.1. 患者基线特征及操作者间差异性分析

患者的年龄、性别、局灶性病变的病灶尺寸的基线特征见表1。肝细胞癌和肝血管瘤的病灶直径分别为 $33.12\pm15.52\text{mm}$ （范围：12–65mm）、 $22.51\pm9.73\text{mm}$ （范围7–50mm）。癌症术后复查的患者的癌症种类有乳腺癌（5例）、肺癌（3例）、肾癌（2例）、膀胱癌（1例）、直肠癌（1例）、食管癌（1例）、胆囊癌（1例）、胰腺癌（1例）。对高年资和低年资的检测一致性进行比较，除了肝硬化的黏度值的ICC为0.847外，各个病种的弹性值、黏度值的ICC均大于0.9，所有病种的操

作者间配对t检验的 $P>0.05$ （表2）。

3.2. 弹性分析

如表3所示，肝癌（ $14.49\pm4.31\text{kPa}$ ）、肝硬化（ $11.01\pm4.85\text{kPa}$ ）、肝血管瘤（ $11.83\pm3.91\text{kPa}$ ）、脂肪肝（ $10.45\pm4.04\text{kPa}$ ）的弹性值高于移植肝（ $9.50\pm4.36\text{kPa}$ ）、正常体检患者（ $9.81\pm4.37\text{kPa}$ ）、癌症术后复查患者（ $8.35\pm3.04\text{kPa}$ ）。

其中，肝癌和肝硬化（ $P=0.013$ ）、脂肪肝（ $P=0.001$ ）、移植肝（ $P<0.001$ ）、正常体检（ $P<0.001$ ）、癌症术后复查患者（ $P<0.001$ ）间具有统计学差异。癌症术后复查患者和肝血管瘤（ $P=0.011$ ）、肝硬化（ $P=0.022$ ）、脂肪肝（ $P=0.024$ ）间具有统计学差异。

无论是正常患者还是所有患者，男性（正常： $10.93\pm5.76\text{kPa}$ ；所有患者： $10.25\pm4.64\text{kPa}$ ）和女性（弹性：正常： $9.15\pm3.23\text{kPa}$ ；所有患者： $10.31\pm4.04\text{kPa}$ ）的肝脏弹性值无统计学差异。

表3. 不同病种黏弹性测值

分类	例数	平均弹性值 (kPa)	平均黏度值 (Pa·s)
病种			
肝细胞癌	15	14.49±4.31	2.71±0.77
肝血管瘤	13	11.83±3.91	2.91±0.67
肝硬化	21	11.01±4.85	2.25±0.54
脂肪肝	50	10.45±4.04	2.12±0.63
移植肝	20	9.50±4.36	1.83±0.74
正常体检	60	9.81±4.37	2.01±0.68
癌症术后正常肝脏	33	8.35±3.04	1.92±0.60
性别			
女性	110	10.31±4.04	2.09±0.68
男性	102	10.25±4.64	2.18±0.74
年龄			
青年(<40岁)	56	10.15±4.46	2.07±0.54
中年(40-60岁)	102	10.67±4.66	2.11±0.71
老年(>60岁)	54	9.66±3.46	2.23±0.84
总体	212	10.28±4.33	2.13±0.71

青年(<40岁, 56人)、中年(40-60岁, 102人)、老年(>60岁, 54人)的弹性值分别为: 10.15±4.46kPa, 10.67±4.66kPa, 9.66±3.46kPa, 未显示出明显差异性($P=0.084$)。

3.3. 黏性分析

如表3所示, 肝血管瘤(2.91±0.67Pa·s)、肝癌(2.71±0.77Pa·s)、肝硬化(2.25±0.54Pa·s)、脂肪肝(2.12±0.63Pa·s)的黏度值高于正常体检患者(2.01±0.68Pa·s)、癌症术后复查患者(1.92±0.60Pa·s)、移植肝患者(1.83±0.74Pa·s)。其中, 肝血管瘤的黏度值与肝硬化($P=0.005$)、脂肪肝($P<0.001$)、移植肝($P<0.001$)、正常体检($P<0.001$)、癌症术后复查患者($P<0.001$)间具有统计学差异。肝癌的黏度值与肝硬化($P=0.041$)、脂肪肝($P=0.003$)、移植肝($P<0.001$)、正常体检($P<0.001$)、癌症术后复查患者($P<0.001$)间具有统计学差异。肝硬化与移植肝的黏度值间存在统计学差异($P=0.038$)。

无论是正常患者还是所有患者, 男性的肝脏黏度值(正常: 2.10±0.83Pa·s; 所有患者: 2.18±0.74Pa·s)均高于女性(黏度: 正常: 1.95±0.57Pa·s; 所有患者: 2.09±0.68Pa·s), 但未显示出统计学差异。

按照青年(<40岁, 56人)、中年(40-60岁, 102人)、老年(>60岁, 54人)分亚组, 所有患者黏度值分别为: 2.07±0.54Pa·s, 2.11±0.71Pa·s, 2.23±0.84Pa·s。正常人的黏度值分别为: 1.93±0.83Pa·s, 1.95±0.67Pa·s, 2.11±0.61Pa·s。均显示出逐渐升高的趋势, 所有患者的年龄组间可见统计学差异($P=0.018$)。

4. 讨论

超声黏弹性成像技术是在传统超声基础上发展而来, 相较磁共振弹性成像(Magnetic Resonance Elastography, MRE), 其成本更低、成像更迅速, 并继承了超声成像的多项优势, 如高安全性、良好便携性和广泛适用性⁽¹²⁾。尤为重要的是: 本研究及已有文献⁽¹³⁾均表明: 不同资历

操作者之间的测量结果具有良好一致性(ICC无显著差异), 提示该技术对操作者依赖性较低, 学习时间短, 具备良好的临床可推广性。

目前已有研究尝试在小样本人群中探索超声黏弹性成像的临床应用, 例如: 构建健康成人肝脏黏弹性参考值(50例)⁽²⁾; 乙肝和正常肝脏的黏弹性比较及与血清学指标的相关性分析(132例)⁽¹⁴⁾; 肝纤维化评估(186例)⁽¹⁵⁾; 肝脏良恶性病变的鉴别诊断(83例⁽¹⁶⁾、46例⁽¹⁷⁾)等, 均取得了一定积极结果。然而, 现有研究多存在病种单一、仪器型号不一致(如迈瑞^(14,15)和佳能超声仪^(2,18))、测量参数不统一(分别测量黏度值和弹性值⁽¹⁶⁾、或根据黏弹性公式计算黏弹性值⁽¹⁴⁾)、黏性单位不统一(m/s·MHz^(13,18)和Pa·s⁽¹⁹⁾)、甚至部分结果相互矛盾(如张琪等⁽¹⁶⁾发现良性肿瘤的黏度值低于恶性肿瘤, 而Jesper等⁽¹⁷⁾则发现肝脏良性肿瘤的黏度值要高于恶性肿瘤)等问题。由于临床中肝脏病变错综复杂, 亟需在统一设备和技术参数下, 建立具备可比性的黏弹性测值参考值。故本研究的开展为不同类型肝脏病变提供了较系统的黏弹性数据支持。

肝细胞癌是一种异质性强的实体瘤, 其形成过程中肿瘤细胞产生生物机械力, 促进基质硬化, 且常伴随血管网异常丰富、组织结构复杂, 呈现出同时存在的弹性和黏性改变。研究表明, 肝癌组织的黏弹性增强, 尤其是黏度升高, 可通过激活整合素 β 1-TNS1-YAP通路, 促进细胞增殖并推动肿瘤进展⁽²⁰⁾。基于MRE的研究发现, 肝脏硬度每升高1kPa, 肝癌发生率可增加4%, 术后复发风险增加16.3%⁽¹²⁾, 提示黏弹性参数可作为反映肿瘤进展的重要生物力学标志物。

与以往研究相似, 本研究发现肝血管瘤的弹性值低于肝癌。但不同的是, 本研究发现肝血管瘤的黏度值高于肝癌。我们认为, 这个结果与血管瘤的组织病理结构相关。血管瘤是一种先天性血管畸形, 由大量过度发育或分化异常的血管构成。瘤体通常由肝动脉供血, 部分患者伴有动静脉瘘⁽²¹⁾。由于超声黏度主要反映组织中液态成分的黏性阻抗, 血管结构丰富的血管瘤黏度值自然高于实体结构致密的肝癌。

肝硬化是肝癌的高风险前驱状态, 表现为显著的肝组织硬化。本研究发现肝硬化组与正常肝、肝癌组在弹性参数上均存在显著差异。传统灰阶超声评估肝硬化主要依赖肝被膜形态、实质回声等定性特征, 主观性强、操作者间一致性差⁽²²⁾。黏弹性成像提供了客观的定量数据。在常规超声检查时添加肝脏黏弹性检测, 可辅助提高肝硬化的早期识别精度, 而且不会增加患者的检查风险、时间、费用。本研究测得肝硬化患者的弹性和黏度值分别为11.01±4.85kPa与2.25±0.54Pa·s, 显著高于健康个体, 提示其作为肝癌高危人群值得重点关注。未来可进一步对早期与晚期肝硬化进行黏弹性分层分析, 指导个体化干预策略。

脂肪肝是另一种值得重视的肝病谱系成员。本研究发现脂肪肝的黏度值、弹性值均高于健康人群, 低于肝脏占位性病变和肝硬化, 且与肝癌的弹性和黏度值、脂肪肝与癌症术后患者的弹性值间存在统计学差异。脂肪肝可发展为肝纤维化、甚至肝衰竭⁽²³⁾。纤维化过程中胶原蛋白等结缔组织增生, 导致肝脏硬度增加, 弹性数值升高。另外, 肝脏脂肪变性还常常伴随着炎症反应和脂质沉积, 这些因素可能引起黏性而非弹性变化⁽²³⁾。所

以,需要对脂肪肝的黏性和弹性做综合评估。有研究发现,非酒精性脂肪肝病(Non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD)已成为肝细胞癌的新兴病因,相关人口学、遗传学及代谢因素可加剧其致癌风险⁽²⁴⁾。因此,脂肪肝患者的肝脏黏弹性评估在肝癌早期筛查中具有重要意义。

肝移植患者亦是黏弹性评估的潜在受益群体。既往动物实验表明,超声黏度参数较弹性及传统指标更敏感于识别早期移植抗宿主反应⁽²⁵⁾。Lee等研究发现移植肝黏度升高与经活检证实的坏死性炎症密切相关⁽²⁶⁾。提示超声黏弹性成像可能有助于早期检测肝移植后同种异体移植损伤。由于超声本身是术后监测的标准手段⁽²⁷⁾,在常规随访中附加黏弹性测定可望早期发现排斥风险、从而及时采取治疗措施挽救珍贵的移植肝。然而,本研究中纳入的20例移植肝患者的黏弹性参数与健康人无显著差异,可能因其术后均超过1年且病情稳定,提示未来需设计动态纵向研究,以明确其预后评估价值。

此外,本研究提示黏性参数对肝脏老化过程可能更敏感。随着年龄的增长,肝细胞在各种应激源的影响下发生变化。微观上,肝细胞在面对时间老化时产生了一些适应性改变以维持机体健康:肝细胞体积增大数量减少、细胞外基质(extracellular matrix, ECM)蛋白沉积、ECM重塑增强以修复或去除受损蛋白⁽²⁸⁾、肝细胞含水量减少。这些因素共同促进了肝脏对炎症损伤和组织纤维化反应的敏感性⁽²⁹⁾,导致肝脏的黏弹性增加。本研究发现肝脏黏度值随着年龄增长显示出逐渐升高的趋势($P=0.018$),而弹性值未表现出一致变化趋势,提示黏度值或可作为评估肝脏生理老化和亚临床损伤的潜在指标。

当然,本研究亦存在若干局限。首先样本量较小。男性更容易罹患肝纤维化⁽³⁰⁾。但是本研究未能发现性别与黏弹性参数的相关性,或因统计效能不足所致。其次,本课题未设计患者随访或生存结局的研究,限制了对黏弹性与预后的深入分析。第三,患者分层不够细致,未涵盖临床中常见的混合型病变(如脂肪肝合并肝硬化、癌症或肝移植术后合并脂肪变等),而这些情况在真实人群中普遍存在,且其黏弹性特征可能更为复杂。已有动物实验表明,脂肪肝和肝硬化同时存在时,肝脏黏度值和肝硬化的严重程度的相关性减弱⁽³¹⁾。此外,目前超声黏弹性成像在技术层面仍存在限制,例如最大取样框仅5cm、最大检测深度不能超过10cm,限制了对大病灶的准确评估和深部病灶的评估。

综上所述,超声黏弹性成像技术在不同肝脏病变中显示出良好的区分能力和生物学解释力。凭借其无创、低成本、重复性高、定量化和操作简便等优势,黏弹性成像有望成为肝脏疾病尤其是早期病变识别的重要补充工具,推动精准影像在肝病管理中的临床转化应用。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

致谢:无。

作者贡献声明:无。

参考文献

1. 孙川,何雪倩,张曼,等.超声剪切波黏弹性成像在肝脏局灶性

- 病变中的研究进展. 临床医学进展. 2023;13:14377-14382.
2. 朱宇莉,包静文,王坤.超声剪切波弹性及频散成像技术检测健康成人肝脏黏弹性的参考值范围. 中国临床医学. 2021;28:869-873.
3. Kimondo JJ, Said RR, Wu J, *et al.* Mechanical rheological model on the assessment of elasticity and viscosity in tissue inflammation: A systematic review. PloS one. 2024;19:e0307113.
4. 黄志彬,吴淮宇,田宏天,等.超声黏弹性技术在乳腺病变中的诊断价值. 影像研究与医学应用. 2023;7:181-184.
5. Stoian D, Borlea A, Sporea I, *et al.* Assessment of thyroid stiffness and viscosity in autoimmune thyroiditis using novel ultrasound-based techniques. Biomedicine. 2023;11:938.
6. Li J, Yuan H, Gao Y. Influencing factors, reference range and repeatability of salivary gland ultrasound viscoelastic imaging in healthy adults. Ultrasound Med Biol. 2024;50:1544-1550.
7. Yuan H, Huang Q, Wen J, *et al.* Ultrasound viscoelastic imaging in the noninvasive quantitative assessment of chronic kidney disease. Ren Fail. 2024;46:2407882.
8. Yuan H, Chen Y, Wei L, *et al.* Noninvasive quantitative evaluation of proliferative lupus nephritis based on ultrasonic viscoelastic imaging. J Inflamm Res. 2025;18:3269-3281.
9. Wu YC, Xu GX, Chen C, *et al.* Estimating the viscoelastic anisotropy of human skin through high-frequency ultrasound elastography. Med Phys. 2024;51:8060-8073.
10. 罗向红,张健慧,邵思惠,等.超声剪切波频散成像评估颈动脉黏弹性的初步研究. 中华超声影像学杂志. 2019;28:753-758.
11. Sridhar M, Liu J, Insana MF. Viscoelasticity imaging using ultrasound: Parameters and error analysis. Phys Med Biol. 2007;52:2425-2443.
12. Baradaran Najar A, Gilbert G, Karam E, *et al.* MR elastography for classification of focal liver lesions using viscoelastic parameters: A pilot study based on intrinsic and extrinsic activations. J Magn Reson Imaging. 2025;61:2525-2540.
13. 王坤,朱宇莉,陈凯玲,等.剪切波频散成像鉴别诊断肝肿瘤良恶性的初步应用. 中华超声影像学杂志. 2022;31:518-524.
14. 黄志彬,唐淑珍,丁志敏,等.慢性乙型肝炎患者超声黏弹性指标与临床血清学指标的相关性研究. 影像研究与医学应用. 2023;7:72-75.
15. 刘昌汶,高瑞智,杨红,等.超声剪切波黏弹性成像在早期肝纤维化评估中的应用. 中国超声医学杂志. 2025;41:170-173.
16. 张琪,董怡,杨道辉,等.超声剪切波黏弹性技术在肝肿瘤良恶性鉴别中的初步临床应用. 中华超声影像学杂志. 2019;28:766-770.
17. Jesper D, Fiedler S, Klett D, *et al.* Shear wave dispersion imaging for the characterization of focal liver lesions - A pilot study. Ultraschall Med. 2022;43:507-513.
18. Schulz M, Kleinjans M, Strnad P, *et al.* Shear wave elastography and shear wave dispersion imaging in the assessment of liver disease in alpha1-antitrypsin deficiency. Diagnostics (Basel). 2021;11:629.
19. 王雨萌,王昆,蔺雨萱,等.剪切波弹性成像评价大鼠急性肝淤血状态下肝脏黏弹性变化. 临床超声医学杂志. 2025;27:1-5.
20. Fan W, Adebawale K, Vancza L, *et al.* Matrix viscoelasticity promotes liver cancer progression in the pre-cirrhotic liver. Nature. 2024;626:635-642.
21. 国际肝胆胰协会中国分会肝血管瘤专业委员会. 肝血管瘤诊断和治疗多学科专家共识(2019版). 中国实用外科杂志. 2019;39:761-765.
22. Nicolau C, Bianchi L, Vilana R. Gray-scale ultrasound in hepatic cirrhosis and chronic hepatitis: Diagnosis, screening, and intervention. Semin Ultrasound CT MR. 2002;23:3-18.
23. Pi Z, Wang M, Lin H, *et al.* Viscoelasticity measured by shear wave elastography in a rat model of nonalcoholic fatty liver disease: Comparison with dynamic mechanical analysis. Biomed Eng Online. 2021;20:45.

24. Daher D, Dahan KSE, Singal AG. Non-alcoholic fatty liver disease-related hepatocellular carcinoma. *J Liver Cancer*. 2023;23:127-142.
25. Xiong Y, Xin Y, Liu F, *et al*. Efficacy of shear wave dispersion imaging for viscoelastic assessment of the liver in acute graft-versus-host disease rats. *Quant Imaging Med Surg*. 2022;12:5044-5055.
26. Lee DH, Lee JY, Bae JS, *et al*. Shear-wave dispersion slope from US shear-wave elastography: Detection of allograft damage after liver transplantation. *Radiology*. 2019;293:327-333.
27. 中华医学会超声医学分会, 中国医师协会外科医师分会, 中国医师协会介入医师分会, 等. 肝移植超声临床实践指南 (2023版). *中华医学杂志*. 2023;103:2365-2388.
28. Chatterjee N, Sharma R, Kale PR, *et al*. Is the liver resilient to the process of ageing?. *Ann Hepatol*. 2024, 30:101580.
29. Kim IH, Kisseleva T, Brenner DA. Aging and liver disease. *Curr Opin Gastroenterol*. 2015;31:184-191.
30. Wu XN, Wang MZ, Zhang N, *et al*. Sex-determining region Y gene promotes liver fibrosis and accounts for sexual dimorphism in its pathophysiology. *J Hepatol*. 2024;80:928-940.
31. Tamura K, Ito K, Kishimoto R, *et al*. The effect of steatosis on shear-wave velocity and viscoelastic properties related to liver fibrosis progression in rat models. *Ultrasound Med Biol*. 2024;50:592-599.

引用本文 / Article Citation:

芦幸琪, 张洁, 张东, 李小静, 于景彤, 王斐倩. 超声黏弹性成像技术对肝脏病变的诊断价值研究. *医学新视角*. 2025;2(2):104-109. doi:10.5582/npjm.2025.01011

Jie Zhang, Xingqi Lu, Xiaojing Li, Dong Zhang, Jingtong Yu, Feiqian Wang. The diagnostic value of ultrasound viscoelasticity imaging technique in the study of hepatic disease. *The New Perspectives Journal of Medicine*. 2025;2(2):104-109. doi:10.5582/npjm.2025.01011