

· 综述 ·

DOI: 10.12449/JCH260325

磁共振弹性成像在代谢相关脂肪性肝病肝纤维化评价中的应用

张子毅^{1,2}, 尤红^{1,2}, 佟小非³

1 首都医科大学附属北京友谊医院肝病中心, 北京 100050

2 消化健康全国重点实验室, 国家消化系统疾病临床医学研究中心, 北京 100050

3 首都医科大学附属北京友谊医院研究型病房, 北京 100050

通信作者: 佟小非, tongxf@163.com (ORCID: 0000-0001-9437-2937)

摘要: 磁共振弹性成像(MRE)已成为代谢相关脂肪性肝病(MAFLD)中诊断和分期纤维化的重要工具,其具有较高的诊断准确性,能够有效评估MAFLD患者肝纤维化的动态变化及其长期预后。此外,MRE在代谢相关脂肪性肝炎新药研发的患者筛选与疗效评估中也显示出广泛潜力。本文综合分析了MRE在评估MAFLD患者肝纤维化方面的潜在价值,并探讨了其在临床实践中的优势和未来的发展方向。

关键词: 代谢相关脂肪性肝病; 肝纤维化; 磁共振弹性成像

基金项目: 国家自然科学基金(82400719); 北京市医院管理中心临床医学发展专项(ZLRK202501, ZLRK202301)

Application of magnetic resonance elastography in assessment of liver fibrosis in metabolic dysfunction-associated fatty liver disease

ZHANG Ziyi^{1,2}, YOU Hong^{1,2}, TONG Xiaofei³

1. Liver Research Center, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China; 2. State Key Laboratory of Digestive Health, National Clinical Research Center for Digestive Diseases, Beijing 100050, China; 3. Research Ward, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

Corresponding author: TONG Xiaofei, tongxf@163.com (ORCID: 0000-0001-9437-2937)

Abstract: Magnetic resonance elastography (MRE) has become an important tool for the diagnosis and staging of fibrosis in metabolic dysfunction-associated fatty liver disease (MAFLD), and its high diagnostic accuracy can help to effectively evaluate the dynamic changes and long-term prognosis of fibrosis in patients with MAFLD. In addition, MRE also shows wide potential in patient screening and outcome assessment in new drug development for metabolic-associated steatohepatitis. This article comprehensively analyzes the potential value of MRE in evaluating liver fibrosis in MAFLD patients, as well as its advantages in clinical practice and future development directions.

Key words: Metabolic Dysfunction-Associated Fatty Liver Disease; Liver Fibrosis; Magnetic Resonance Elastography

Research funding: National Natural Science Foundation of China (82400719); Beijing Hospitals Authority Clinical Medicine Development of Special Funding Support (ZLRK202501, ZLRK202301)

代谢相关脂肪性肝病(metabolic dysfunction-associated fatty liver disease, MAFLD)是一种由遗传易感性、营养过剩和胰岛素抵抗引起的慢性肝病,全球约1/3的人口受其影响^[1-3]。MAFLD的疾病谱包括代谢相关

单纯性脂肪肝、代谢相关脂肪性肝炎(metabolic dysfunction-associated steatohepatitis, MASH)、代谢相关脂肪性肝纤维化以及代谢相关脂肪性肝硬化^[4-5]。

研究表明,肝纤维化程度是MAFLD最重要的预测

预后因素^[6-7]。目前,肝脏活组织检查是代谢相关脂肪性肝纤维化诊断与分期的金标准。然而,肝脏活组织检查是一种有创操作,可能引发疼痛、感染、出血和穿孔等不良反应,限制了其在MAFLD患者中的广泛应用。此外,肝脏活组织检查所取得的肝组织相对整个肝脏较小,可能存在抽样误差,从而影响结果的可靠性,导致诊断和分期的准确性存在局限^[8]。面对这些挑战,发展非侵入性的无创诊断方法已成为迫切需求^[9]。

磁共振弹性成像(magnetic resonance elastography, MRE)是一种基于核磁的无创诊断方法,通过测量肝硬度值(liver stiffness measurement, LSM)反映肝纤维化程度,近年来在慢性肝病肝纤维化诊断中的应用日益广泛。MRE系统由核磁共振扫描仪、远程振动器以及传导装置构成,振动被刚性传导至患者肝区表面的换能器,在肝脏内产生轴向的剪切变形波,核磁扫描仪负责对数据进行采集与重建。通过测量组织在简谐机械刺激下的位移模式,检测在外部应力下产生的组织应变,重建得到的图像可用于定量计算组织弹性及其他力学特性,通过计算所有采集层面的平均值反映肝脏整体纤维化水平。MRE的测量形式是通过划定多个感兴趣区(region of interest, ROI)测量平均硬度,从而可以检测更大区域的肝组织,有助于提高肝脏弹性成像的准确性^[10-11]。基于MRE的肝脏硬度测量有望成为一种替代肝活检的有效方法,目前已逐步被应用于代谢相关脂肪性肝纤维化的诊断以及肝纤维化进展的评估中。

1 MRE在MAFLD诊断和肝纤维化分期中的重要应用价值

近年来,MRE技术在MAFLD肝纤维化的诊断与分期中应用日益广泛。该技术具有较高的诊断准确性,且不受腹水、肝内脂肪等因素影响,能够动态观察肝脏整体的纤维化水平,尤其在进展期MASH肝纤维化、肝硬化的识别方面,MRE展现出较高的敏感性,因此被认为是一种较为理想的无创诊断手段。

1.1 MRE诊断MASH肝纤维化具有较高准确性 MRE在识别不同阶段的肝纤维化方面表现良好。一项涵盖82项研究和14 609例患者的荟萃分析表明,MRE能够有效检测经皮肝脏活组织检查证实的MAFLD患者的肝纤维化程度,尤其在晚期肝纤维化阶段表现突出。研究结果显示,MRE诊断显著肝纤维化($\geq F2$)、进展期肝纤维化($\geq F3$)和肝硬化($F4$)的受试者操作特征曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为0.91、0.92和0.90^[12]。

另一项纳入798例患者的8个基于经皮肝脏活组织检查国际队列的荟萃分析提示,MRE检测显著肝纤维化的AUC为0.92(敏感度为79%、特异度为89%),检测进展期肝纤维化的AUC为0.92(敏感度为87%、特异度为88%),检测肝硬化的AUC为0.94(敏感度为88%、特异度为89%)^[13]。

目前,针对MAFLD患者基于MRE的肝纤维化分期界值尚无统一共识,尽管已有多项研究提出了不同的分期标准,但由于样本量、研究设计及地区差异等因素,结果存在一定异质性。因此,未来亟需大规模、多中心的研究以验证诊断界值,为临床医生提供更为可靠的参考依据。

1.2 MRE与其他无创肝纤维化检测方法的比较

1.2.1 MRE优于振动控制瞬时弹性成像(vibration-controlled transient elastography, VCTE)和2D-剪切波弹性成像(2D-shear wave elastography, 2D-SWE) 相较于其他影像学无创诊断方法,例如VCTE、2D-SWE,MRE在检测晚期肝纤维化方面展示出更高的诊断准确性。一项纳入62例MAFLD患者的头对头比较中,2D-SWE、VCTE和MRE诊断显著肝纤维化的AUC分别为0.80、0.77和0.85,诊断进展期肝纤维化的AUC分别为0.89、0.86和0.95^[14]。另一项纳入231例经皮肝脏活组织检查证实为MAFLD受试者的前瞻性队列中,与VCTE和2D-SWE相比,MRE在诊断显著肝纤维化(AUC:0.927 vs 0.888 vs 0.910)、进展期肝纤维化(AUC:0.929 vs 0.915 vs 0.920)及晚期肝纤维化(AUC:0.922 vs 0.871 vs 0.885)中具有最高的诊断效能,且MRE的观察者自身一致性和观察者间的可重复性优于VCTE和2D-SWE^[15]。

MRE相较于其他影像学无创诊断手段展示出更强的稳定性,在MAFLD患者中不易受体重指数(body mass index, BMI)、肝脏炎症和脂肪变性程度的影响^[16]。研究数据表明,肝脏炎症、BMI升高可能导致VCTE测得的LSM偏高,特别是BMI对VCTE的影响尤为显著,在BMI ≥ 35 kg/m²的患者中,VCTE诊断轻度肝纤维化、显著肝纤维化和进展期肝纤维化的AUC分别下降至0.68、0.72、0.77^[17]。另一项针对BMI为35.0~39.9 kg/m²患者的前瞻性研究显示,MRE诊断的AUC保持在0.914,提示MRE在大体重基数的MAFLD患者中具有更高的诊断准确性^[18]。

1.2.2 MRE优于血清学无创肝纤维化指标 MRE在肝纤维化的诊断及预测方面优于血清学无创肝纤维化指标。在一项对MRE与包括肝纤维化-4指数(fibrosis-4 index, FIB-4)、天冬氨酸氨基转移酶-血小板比值

(aspartate transferase to platelet ratio index, APRI)、无创肝纤维化评分(non-invasive hepatic fibrosis score, NFS)在内的8种血清肝纤维化标志物的头对头比较中,MRE和血清学无创肝纤维化指标的AUC分别为0.957和0.796~0.861^[19]。另外一项荟萃分析整合了64项研究,共纳入了13 046例MAFLD患者,评估了多种影像学及血清学无创肝纤维化诊断工具对MAFLD肝纤维化分期的诊断效能。结果显示,MRE诊断显著肝纤维化、进展期肝纤维化和肝硬化的AUC分别为0.92、0.96和0.97,优于其他所有无创诊断工具(AUC:0.73~0.84),提示MRE在MAFLD肝纤维化分期中具有更准确的诊断能力^[20]。

1.3 MRE联合其他无创肝纤维化指标有效筛查高风险MASH患者 影像学与血清学指标的联合应用有助于筛查出高风险的MASH患者,即根据非酒精性脂肪性肝病临床研究网络病理学会病理评价标准,非酒精性脂肪性肝病活动性评分 ≥ 4 分且肝纤维化分期 $\geq F2$ 的患者。此类患者的疾病进展通常更快,因此需要给予特别关注和加强临床干预。

MRE联合天冬氨酸氨基转移酶(MRI-aspartate aminotransferase, MAST)评分被设计为识别高风险MASH患者的诊断模型,该评分基于核磁共振成像中的质子密度脂肪分数、MRE及AST水平进行构建。研究采用前瞻性设计,建模队列纳入了103例患者,验证队列则包括了244例患者,同时与Fibroscan联合AST(Fibroscan-AST, FAST)评分进行了直接比较,其中,FAST评分是为识别高风险MASH患者开发的非侵入性评分系统,基于AST水平和瞬时弹性成像结果进行评估^[21]。该研究结果显示,在验证队列中,MAST的AUC为0.93,高于FAST评分的0.87^[22],提示MAST评分是诊断高风险MASH患者较为理想的工具。

FIB-4评分是一种用于评估肝纤维化程度的非侵入性生物标志物计算工具^[23]。MRE联合FIB-4(MRE combined with FIB-4 index, MEFIB)评分可用于MASH肝纤维化的无创诊断。该研究在美国的238例患者队列中进行建模,并以MRE ≥ 3.3 kPa且FIB-4 ≥ 1.6 分作为诊断肝纤维化 $\geq F2$ 的标准。该标准在日本的222例患者的验证队列中依然有较高的阳性预测值(91.0%),证明了其在不同人群中的有效性和临床适用性^[24]。

一项头对头研究表明,MEFIB评分检测显著肝纤维化的诊断性能优于MAST评分和FAST评分(AUC:0.901 vs 0.770 vs 0.725);在高风险MASH的检测方面,MEFIB评分同样优于MAST评分和FAST评分(AUC:0.768 vs

0.719 vs 0.687)^[25]。上述研究结果表明,MEFIB评分与MAST评分在MAFLD患者的风险分层中均具有一定的应用价值。

2 MRE有效评估MAFLD患者肝纤维化动态变化以及长期预后

MRE可作为MAFLD患者预后的重要预测因素,能够有效评估肝纤维化进展、肝硬化失代偿以及肝病相关死亡风险。一项纳入320例MAFLD患者的研究发现,MRE-LSM的增加与发生腹水、肝性脑病和食管静脉曲张破裂出血显著相关,发生上述肝硬化并发症患者的MRE-LSM中位数分别为7.10、10.15、10.15 kPa;失代偿事件的发生风险也随着MRE-LSM的升高而显著增加,比值比为3.28^[26]。2021年一项回顾性研究发现,MRE-LSM每增加1 kPa,非肝硬化MAFLD患者在未来4年内患肝硬化的可能性将增加3倍,而已有肝硬化的患者在5年内发生失代偿和/或死亡的可能性将增加32%^[27]。

此外,MRE检查可以监测肝纤维化水平的动态变化。一项纳入102例MAFLD患者的前瞻性队列研究发现,MRE-LSM增加15%可能提示肝纤维化进展^[28]。另一项研究中,肝纤维化的进展定义为MRE-LSM较基线值增加19%,逆转定义为较基线值减少19%。结果显示,与非进展者相比,进展者在任何时间内发展为肝硬化的风险是非进展者的7.2倍,在任何时间内发生失代偿或死亡的风险比非进展者高出19倍^[29]。

综上所述,MRE为MASH肝纤维化变化的动态监测提供了有效工具,有助于优化治疗策略与预测疾病预后,并加强对高危患者的管理,进而改善MAFLD患者的临床结局。

3 MRE在MASH新药研发的患者筛选与疗效评估中的应用潜力

MRE检查在MASH新药研发的患者筛选和疗效评估方面展现出重要应用价值。目前,多数Ⅱ期MASH新药临床试验以经皮肝脏活组织检查作为入选与排除标准的评估依据,其中F2~3期肝纤维化被作为主要的纳入标准。因此,如何高效且准确地筛选出合并F2~3期肝纤维化的MASH患者成为关键问题。MRE检查凭借其较高的诊断准确性,可以应用在MASH新药临床试验的预筛环节,避免了不必要的肝穿刺,同时可节约筛选成本(表1)。

目前,无论是美国食品药品监督管理局还是我国国

表1 以MRE作为入选标准的MASH新药临床试验

Table 1 New drug clinical trials of MASH with MRE as the inclusion criterion

临床试验ID	试验阶段	药物名称	纳入标准
NCT04197479	3期	Resmetirom	MRE $\geq$ 2.0 kPa且 $<$ 4.0 kPa
NCT03350165	2期	Pemafibrate	MRE $\geq$ 2.5 kPa
NCT04710524	2期	FM101	MRE $\geq$ 2.9 kPa
NCT05084404	2期	Guanabenz	MRE $\leq$ 3.6 kPa
NCT04550481	2期	Lisinopril	MRE $\geq$ 5 kPa
NCT02781584	2期	Selonsertib、Firsocostat、Cilofexor、Fenofibrate、Vascepa	MRE $\geq$ 2.88 kPa
NCT03938246	2期	TVB 2640	MRE $\geq$ 2.5 kPa
NCT03166735	2期	BI 1467335	MRE $\geq$ 3.64 kPa
NCT02854605	2期	GS-9674	MRE $\geq$ 2.5 kPa
NCT04702490	2期	MET409、Empagliflozin	MRE $\geq$ 2.61 kPa
NCT04773964	2期	MET642	MRE提示的NASH
NCT04342793	2期	ALS-L1023	MRE $\geq$ 2.5 kPa
NCT02856555	2期	GS-0976	MRE $\geq$ 2.5 kPa
NCT04669158	1~2期	Idebenone	MRE提示的肝纤维化
NCT06309992	3期	Survodutide	MRE $<$ 4.68 kPa
NCT06773221	2期	Chiglitazar	MRE $\geq$ 4.45 kPa

注:数据来源于<https://clinicaltrials.gov/>。MRE,磁共振弹性成像;MASH,代谢相关脂肪性肝炎;NASH,非酒精性脂肪性肝炎。

家药品监督管理局,均推荐将治疗前后采用经皮肝脏活组织检查作为疗效硬终点的替代终点^[30-31]。其具体标准包括:MASH缓解且无肝纤维化进展,或肝纤维化改善且无MASH的加重,或MASH缓解和肝纤维化改善同时发生^[32]。然而,重复的肝脏活组织检查作为有创检查存在一定的风险,尤其是在肝硬化患者中,该部分患者通常凝血功能差且血小板水平偏低,进一步增加了肝穿刺的出血风险。此外,由于肝穿刺的抽样误差以及观察者的主观差异,也会在一定程度上影响疗效判断的准确性。相比之下,MRE作为客观可量化的无创肝纤维化评价手段,具有良好的安全性和较强的可重复性,患者的接受度更高。因此,MRE在一定程度上具有替代肝脏活组织检查的潜力,已在部分MASH新药临床试验中作为疗效终点指标应用(表2)。以MRE为基础的多种无创标志物的联合应用,可能为MASH新药研发提供一个综合的无创疗效评价体系。

4 3D-MRE在MAFLD肝纤维化诊断中的应用

2D-MRE和3D-MRE序列是肝脏MRE成像的2种主要序列。近年来,随着3D-MRE研究的逐渐深入,其诊断效能相较于2D-MRE具有潜在的优势。2D-MRE图像常因磁敏感效应而在肝脏边缘出现伪影^[33],且已有研究表明,2D-MRE中肝脏硬度的增加可能受到炎症的影响^[34-35]。相比之下,3D-MRE的应用可以减少由于平面波传播和散射或衍射效应而产生的伪影。除此之外,

3D-MRE能提供更多的附加参数,包括储能模量、损耗模量和阻尼比。既往一项前瞻性研究发现,发生坏死性炎症的患者肝脏阻尼比高于未发生($F=0$)的患者,提示3D-MRE可以检测早期坏死性炎症^[36]。

一项前瞻性临床研究表明,经3D-MRE评估的组织参数变异系数与MAFLD的进展呈正相关。在10例健康志愿者和169例MAFLD参与者中,剪切刚度的变异系数和损耗模量随着肝纤维化和炎症严重程度的增加而增加。在这项研究中,36例接受代谢减重手术的参与者在随访1年时,剪切刚度的变异系数从0.16(0.14~0.18)降至0.14(0.12~0.16)($P=0.009$)^[37]。

3D-MRE与2D-MRE的诊断效能相似,一项回顾性研究评估了293例接受2D-MRE和3D-MRE检查患者的数据,结果显示,3D-MRE鉴别 $\geq F1$ 、 $\geq F2$ 、 $\geq F3$ 、 $F4$ 肝纤维化的AUC(0.89、0.92、0.95、0.93)与2D-MRE(0.89、0.91、0.94、0.92)接近,但采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评价的观察者间一致性在3D-MRE(ICC:0.979 vs 0.955)中表现较好^[38]。

5 MRE的应用限制和未来发展方向

MRE的医疗成本较高,因此在一定程度上限制了其应用和普及。除此之外,肝脏铁过载、呼吸运动和ROI选择不当等因素可能影响MRE的可靠性或成功率^[39]。肝脏铁含量过高会导致核磁信号传导不良,进而可能导致MRE图像质量较差或无法判读^[40]。肝脏的急性炎症

表2 以MRE作为主要终点/次要终点评价指标的MASH新药临床试验

Table 2 New drug clinical trials of MASH with MRE as the primary or secondary endpoint

临床试验ID	试验阶段	药物名称	测量指标	终点类型
NCT04342793	2期	ALS-L1023	基线期与24周治疗后比较MRE-LSM的变化情况	主要终点
NCT06773221	2期	Chiglitazar	相较于基线期治疗72周后MRE-LSM是否下降20%	主要终点
NCT03639623	2期	Saroglitazar	基线到治疗结束期间的MRE-LSM变化	次要终点
NCT02605616	2期	AZ compound	基线期与约12周的治疗后比较MRE-LSM	次要终点
NCT03350165	2期	Pemafibrate	基线期与72周治疗后比较MRE-LSM的变化情况	次要终点
NCT06152991	3期	Godex Carnitine Orotate Complex	第96周治疗后MRE-LSM相较于基线期的变化率,降低>20%视作肝纤维化改善	次要终点
NCT03459079	2期	Lanifibranor	基线期与24周治疗后MRE-LSM的变化情况	次要终点
NCT04710524	2期	FM101	基线期与91 d治疗后比较MRE-LSM的变化情况	次要终点
NCT05084404	2期	Guanabenz	第24周治疗后MRE-LSM相较于基线期的变化率	次要终点
NCT04235205	2期	Elobixibat、Cholestyramine	第16周治疗后MRE-LSM相较于基线期的绝对变化值	次要终点
NCT04550481	2期	Lisinopril	基线期与24周治疗后比较MRE-LSM的变化情况	次要终点
NCT04378010	2期	EDP-305	基线期与12周治疗后比较MRE-LSM的变化情况	次要终点
NCT03987451	2期	Semaglutide	第48周治疗后MRE-LSM相较于基线期的变化率	次要终点
NCT04669158	1~2期	Idebenone	治疗48周后经MRE评估,肝纤维化等级降低的患者数量	次要终点
NCT03656068	2期	Nitazoxanide	基线期与12、24周治疗后比较MRE-LSM的变化情况及变化率	次要终点
NCT02421094	2期	GR-MD-02	基线期与16周治疗后比较MRE-LSM的变化情况	次要终点
NCT06309992	3期	Survodutide	基线期与48周治疗后比较MRE-LSM的绝对变化值及变化率	次要终点

注:数据来源于<https://clinicaltrials.gov/>。MRE,磁共振弹性成像;MASH,代谢相关脂肪性肝炎;LSM,肝硬度值。

以及充血性心力衰竭继发的急性胆道梗阻和静脉充血可增加肝脏硬度,而在呼吸运动干扰、肝脏解剖结构改变、驱动器和肝脏实质间出现含气组织等情况下,可能会出现检查失败或MRE-LSM数值错误^[10]。此外,医师所选择的ROI不同,例如选择单个、多个ROI或直接采用全肝ROI,也会影响MRE-LSM水平^[41]。

近年来,MRE在硬件、序列、算法与自动分析等方面持续进行技术革新,作为肝纤维化的无创诊断技术正在逐步成熟。MRE的标准方案包括刚性的振动传导装置,但该装置可能引起患者不适,因此开发了柔性驱动器,能够顺应人体表面曲率^[42]。另外,自由呼吸式或呼吸触发采集式MRE也是潜在的发展方向,更适用于呼吸限制患者或儿童^[43]。人工智能技术也已应用于MRE数据的自动分析,与专业影像处理具有较好的一致性,显著提高了MRE的分析效率^[44]。

6 总结

MRE作为一种无创诊断工具,在MAFLD肝纤维化分期中表现出卓越的诊断效能,尤其是在进展期肝纤维化和肝硬化的诊断上具备明显优势。此外,MRE检查在MASH新药临床试验的受试者筛选及疗效评估中具有潜

在的应用价值。总的来说,MRE不仅提高了MAFLD肝纤维化无创诊断的准确性,还促进了更早期的干预和个性化治疗,有望在MAFLD诊疗的临床实践和新药研发中发挥更广泛的作用。

利益冲突声明:本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明:张子毅负责文章撰写;尤红、佟小非负责研究指导和论文审阅。

参考文献:

[1] QUEK J, CHAN KE, WONG ZY, et al. Global prevalence of non-alcoholic fatty liver disease and non-alcoholic steatohepatitis in the overweight and obese population: A systematic review and meta-analysis[J]. Lancet Gastroenterol Hepatol, 2023, 8(1): 20-30. DOI: 10.1016/S2468-1253(22)00317-X.

[2] RINELLA ME, NEUSCHWANDER-TETRI BA, SIDDIQUI MS, et al. AASLD practice guidance on the clinical assessment and management of nonalcoholic fatty liver disease[J]. Hepatology, 2023, 77(5): 1797-1835. DOI: 10.1097/HEP.000000000000323.

[3] RIAZI K, AZHARI H, CHARETTE JH, et al. The prevalence and incidence of NAFLD worldwide: A systematic review and meta-analysis [J]. Lancet Gastroenterol Hepatol, 2022, 7(9): 851-861. DOI: 10.1016/S2468-1253(22)00165-0.

[4] 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 on the management of metabolic dysfunction-

- associated steatotic liver disease (MASLD)[J]. *J Hepatol*, 2024, 81(3): 492-542. DOI: 10.1016/j.jhep.2024.04.031.
- [5] Chinese Society of Hepatology, Chinese Medical Association. Guidelines for the prevention and treatment of metabolic dysfunction-associated (non-alcoholic) fatty liver disease (version 2024) [J]. *J Pract Hepatol*, 2024, 27(4): 494-510. DOI: 10.3760/cma.j.cn501113-20240327-00163.
中华医学会肝病学分会. 代谢相关(非酒精性)脂肪性肝病防治指南(2024年版)[J]. *实用肝脏病杂志*, 2024, 27(4): 494-510. DOI: 10.3760/cma.j.cn501113-20240327-00163.
- [6] SANYAL AJ, VAN NATTA ML, CLARK J, et al. Prospective study of outcomes in adults with nonalcoholic fatty liver disease[J]. *N Engl J Med*, 2021, 385(17): 1559-1569. DOI: 10.1056/NEJMoa2029349.
- [7] CHHATWAL J, DALGIC OO, CHEN WY, et al. Analysis of a simulation model to estimate long-term outcomes in patients with nonalcoholic fatty liver disease[J]. *JAMA Netw Open*, 2022, 5(9): e2230426. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2022.30426.
- [8] PAI RK, JAIRATH V, HOGAN M, et al. Reliability of histologic assessment for NAFLD and development of an expanded NAFLD activity score[J]. *Hepatology*, 2022, 76(4): 1150-1163. DOI: 10.1002/hep.32475.
- [9] LIU ZY, ZHUANG YJ, DONG X, et al. Construction of a non-invasive diagnostic model for liver fibrosis in non-alcoholic fatty liver disease [J]. *Clin J Med Offic*, 2024, 52(7): 688-691. DOI: 10.16680/j.1671-3826.2024.07.07.
刘正一, 庄颖洁, 董旭, 等. 非酒精性脂肪性肝病肝纤维化无创诊断模型构建[J]. *临床军医杂志*, 2024, 52(7): 688-691. DOI: 10.16680/j.1671-3826.2024.07.07.
- [10] PEPIN KM, WELLE CL, GUGLIELMO FF, et al. Magnetic resonance elastography of the liver: Everything you need to know to get started [J]. *Abdom Radiol*, 2022, 47(1): 94-114. DOI: 10.1007/s00261-021-03324-0.
- [11] QIBA MR Biomarker Committee. Magnetic Resonance Elastography of the Liver, Quantitative Imaging Biomarkers Alliance. P[EB/OL]. (2023-11-07) [2024-08-16]. <https://qibawiki.rsna.org/images/4/47/MRE-QIBAPProfile-2023-11-07-CLINICALLY-FEASIBLE-maintenance.pdf>.
- [12] SELVARAJ EA, MÖZES FE, JAYASWAL ANA, et al. Diagnostic accuracy of elastography and magnetic resonance imaging in patients with NAFLD: A systematic review and meta-analysis[J]. *J Hepatol*, 2021, 75(4): 770-785. DOI: 10.1016/j.jhep.2021.04.044.
- [13] LIANG JX, AMPUERO J, NIU H, et al. An individual patient data meta-analysis to determine cut-offs for and confounders of NAFLD-fibrosis staging with magnetic resonance elastography[J]. *J Hepatol*, 2023, 79(3): 592-604. DOI: 10.1016/j.jhep.2023.04.025.
- [14] FURLAN A, TUBLIN ME, YU L, et al. Comparison of 2D shear wave elastography, transient elastography, and MR elastography for the diagnosis of fibrosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2020, 214(1): W20-W26. DOI: 10.2214/AJR.19.21267.
- [15] IMAJO K, HONDA Y, KOBAYASHI T, et al. Direct comparison of US and MR elastography for staging liver fibrosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2022, 20(4): 908-917. DOI: 10.1016/j.cgh.2020.12.016.
- [16] KIM MN, HAN JW, AN J, et al. KASL clinical practice guidelines for noninvasive tests to assess liver fibrosis in chronic liver disease[J]. *Clin Mol Hepatol*, 2024, 30(Suppl): S5-S105. DOI: 10.3350/cmh.2024.0506.
- [17] SIDDIQUI MS, VUPPALANCHI R, VAN NATTA ML, et al. Vibration-controlled transient elastography to assess fibrosis and steatosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2019, 17(1): 156-163. DOI: 10.1016/j.cgh.2018.04.043.
- [18] PARK CC, NGUYEN P, HERNANDEZ C, et al. Magnetic resonance elastography vs transient elastography in detection of fibrosis and noninvasive measurement of steatosis in patients with biopsy-proven nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Gastroenterology*, 2017, 152(3): 598-607. DOI: 10.1053/j.gastro.2016.10.026.
- [19] CUI J, ANG B, HAUFE W, et al. Comparative diagnostic accuracy of magnetic resonance elastography vs. eight clinical prediction rules for non-invasive diagnosis of advanced fibrosis in biopsy-proven non-alcoholic fatty liver disease: A prospective study[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2015, 41(12): 1271-1280. DOI: 10.1111/apt.13196.
- [20] XIAO GQ, ZHU SX, XIAO X, et al. Comparison of laboratory tests, ultrasound, or magnetic resonance elastography to detect fibrosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease: A meta-analysis[J]. *Hepatology*, 2017, 66(5): 1486-1501. DOI: 10.1002/hep.29302.
- [21] NEWSOME PN, SASSO M, DEEKS J, et al. FibroScan-AST (FAST) score for the non-invasive identification of patients with non-alcoholic steatohepatitis with significant activity and fibrosis: A prospective derivation and global validation study[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2020, 5(4): 362-373. DOI: 10.1016/S2468-1253(19)30383-8.
- [22] NOUREDDIN M, TRUONG E, GORNBEIN JA, et al. MRI-based (MAST) score accurately identifies patients with NASH and significant fibrosis[J]. *J Hepatol*, 2022, 76(4): 781-787. DOI: 10.1016/j.jhep.2021.11.012.
- [23] STERLING RK, LISSEN E, CLUMECK N, et al. Development of a simple noninvasive index to predict significant fibrosis in patients with HIV/HCV coinfection[J]. *Hepatology*, 2006, 43(6): 1317-1325. DOI: 10.1002/hep.21178.
- [24] JUNG J, LOOMBA RR, IMAJO K, et al. MRE combined with FIB-4 (MEFIB) index in detection of candidates for pharmacological treatment of NASH-related fibrosis[J]. *Gut*, 2021, 70(10): 1946-1953. DOI: 10.1136/gutjnl-2020-322976.
- [25] KIM BK, TAMAKI N, IMAJO K, et al. Head-to-head comparison between MEFIB, MAST, and FAST for detecting stage 2 fibrosis or higher among patients with NAFLD[J]. *J Hepatol*, 2022, 77(6): 1482-1490. DOI: 10.1016/j.jhep.2022.07.020.
- [26] HAN MAT, VIPANI A, NOUREDDIN N, et al. MR elastography-based liver fibrosis correlates with liver events in nonalcoholic fatty liver patients: A multicenter study[J]. *Liver Int*, 2020, 40(9): 2242-2251. DOI: 10.1111/liv.14593.
- [27] GIDENER T, AHMED OT, LARSON JJ, et al. Liver stiffness by magnetic resonance elastography predicts future cirrhosis, decompensation, and death in NAFLD[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2021, 19(9): 1915-1924. DOI: 10.1016/j.cgh.2020.09.044.
- [28] AJMERA VH, LIU A, SINGH S, et al. Clinical utility of an increase in magnetic resonance elastography in predicting fibrosis progression in nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Hepatology*, 2020, 71(3): 849-860. DOI: 10.1002/hep.30974.
- [29] GIDENER T, DIERKHISING RA, MARA KC, et al. Change in serial liver stiffness measurement by magnetic resonance elastography and outcomes in NAFLD[J]. *Hepatology*, 2023, 77(1): 268-274. DOI: 10.1002/hep.32594.
- [30] Food and Drug Administration. Noncirrhotic nonalcoholic steatohepatitis with liver fibrosis: Developing drugs for treatment[EB/OL]. (2018-12-04) [2024-08-16]. <https://www.federalregister.gov/documents/2018/12/04/2018-26333/noncirrhotic-non-alcoholic-steatohepatitis-with-liver-fibrosis-developing-drugs-for-treatment-draft>.
- [31] National Medical Products Administration. Guidelines for clinical trials of drugs for treatment of nonalcoholic steatohepatitis (interim) [EB/OL]. (2019-12-20) [2024-08-16]. <https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/ggtg/ypggtg/ypqtggtg/20191220141201879.html>.
国家药品监督管理局. 非酒精性脂肪性肝炎治疗药物临床试验指导原则(试行)[EB/OL]. (2019-12-20) [2024-08-16]. <https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/ggtg/ypggtg/ypqtggtg/20191220141201879.html>.
- [32] CHEUNG A, NEUSCHWANDER-TETRI BA, KLEINER DE, et al. Defining improvement in nonalcoholic steatohepatitis for treatment trial endpoints: Recommendations from the liver forum[J]. *Hepatology*,

- 2019, 70(5): 1841-1855. DOI: 10.1002/hep.30672.
- [33] WANG J, GLASER KJ, ZHANG TH, et al. Assessment of advanced hepatic MR elastography methods for susceptibility artifact suppression in clinical patients[J]. J Magn Reson Imaging, 2018, 47(4): 976-987. DOI: 10.1002/jmri.25818.
- [34] YIN ZY, MURPHY MC, LI JH, et al. Prediction of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) activity score (NAS) with multiparametric hepatic magnetic resonance imaging and elastography[J]. Eur Radiol, 2019, 29(11): 5823-5831. DOI: 10.1007/s00330-019-06076-0.
- [35] ALLEN AM, SHAH VH, THERNEAU TM, et al. The role of three-dimensional magnetic resonance elastography in the diagnosis of nonalcoholic steatohepatitis in obese patients undergoing bariatric surgery[J]. Hepatology, 2020, 71(2): 510-521. DOI: 10.1002/hep.30483.
- [36] SHI Y, QI YF, LAN GY, et al. Three-dimensional MR elastography depicts liver inflammation, fibrosis, and portal hypertension in chronic hepatitis B or C[J]. Radiology, 2021, 301(1): 154-162. DOI: 10.1148/radiol.2021202804.
- [37] WU H, ZHU Z, LI JH, et al. Three-dimensional vector MR elastography for evaluating tissue mechanical heterogeneity to assess liver disease progression[J]. Radiology, 2025, 315(1): e242349. DOI: 10.1148/radiol.242349.
- [38] LI MS, YANG H, LIU Y, et al. Comparison of the diagnostic performance of 2D and 3D MR elastography in staging liver fibrosis[J]. Eur Radiol, 2021, 31(12): 9468-9478. DOI: 10.1007/s00330-021-08053-y.
- [39] LU M, WANG MJ, CHEN L. Advances in the application of elastography in noninvasive diagnosis of liver fibrosis in nonalcoholic fatty liver disease[J]. J Clin Hepatol, 2023, 39(2): 408-412. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2023.02.025.
- 陆梦, 王铭杰, 陈立. 弹性成像技术在非酒精性脂肪性肝病肝纤维化无创诊断中的应用进展[J]. 临床肝胆病杂志, 2023, 39(2): 408-412. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2023.02.025.
- [40] KIM DW, KIM SY, YOON HM, et al. Comparison of technical failure of MR elastography for measuring liver stiffness between gradient-recalled echo and spin-echo echo-planar imaging: A systematic review and meta-analysis[J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 51(4): 1086-1102. DOI: 10.1002/jmri.26918.
- [41] GARTEISER P, DOBLAS S, van BEERS BE. Magnetic resonance elastography of liver and spleen: Methods and applications[J]. NMR Biomed, 2018, 31(10): e3891. DOI: 10.1002/nbm.3891.
- [42] WANG K, MANNING P, SZEVERENYI N, et al. Repeatability and reproducibility of 2D and 3D hepatic MR elastography with rigid and flexible drivers at end-expiration and end-inspiration in healthy volunteers[J]. Abdom Radiol, 2017, 42(12): 2843-2854. DOI: 10.1007/s00261-017-1206-4.
- [43] BOYARKO AC, DILLMAN JR, TKACH JA, et al. Comparison of compressed SENSE and SENSE for quantitative liver MRI in children and young adults[J]. Abdom Radiol, 2021, 46(10): 4567-4575. DOI: 10.1007/s00261-021-03092-x.
- [44] DZYUBAK B, LI JH, CHEN J, et al. Automated analysis of multiparametric magnetic resonance imaging/magnetic resonance elastography exams for prediction of nonalcoholic steatohepatitis[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 54(1): 122-131. DOI: 10.1002/jmri.27549.

收稿日期: 2025-07-25; 录用日期: 2025-09-03

本文编辑: 王莹

引证本文: ZHANG ZY, YOU H, TONG XF. Application of magnetic resonance elastography in assessment of liver fibrosis in metabolic dysfunction-associated fatty liver disease [J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(3): 683-689.

张子毅, 尤红, 佟小非. 磁共振弹性成像在代谢相关脂肪性肝病肝纤维化评价中的应用 [J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(3): 683-689.

读者·作者·编者

《临床肝胆病杂志》常见异形词

异形词指的是: 普通话书面语中并存并用的同音(本规范中指声、韵、调完全相同)、同义(本规范中指理性意义、色彩意义和语法意义完全相同)而书写形式不同的词语。现将本刊常见异形词整理如下(前者为推荐词形):

标志—标识	笔画—笔划	报道—报导	编者按—编者案
成分—成份	订阅—定阅	当作—当做	分量—份量
关联—关连	干预—干与	给予—给与	痼疾—固疾、锢疾
寄予—寄与	简练—简炼	精华—菁华	看作—看做
连接—联接	黏性—粘性	黏液—粘液	录像—录象、录相
图像—图象	影像—影象	缘故—原故	缘由—原由