



· 论 著 ·

磁共振弹性成像在肝脏良恶性病变鉴别及恶性肿瘤患者预后预测中的应用价值

黄旭彤¹, 马雯欣¹, 孙跃军¹, 王娇燕¹, 覃智威², 袁杰¹

1. 上海中医药大学附属曙光医院影像医学科, 上海 201203;

2. 上海联影医疗高新技术研究院, 上海 201807

[摘要] **目的:** 探讨磁共振弹性成像 (magnetic resonance elastography, MRE) 在区分肝脏局灶性良恶性病变中的应用价值, 并分析其在预测恶性肿瘤患者预后方面的潜力。**方法:** 回顾并分析2021年12月—2024年10月于上海中医药大学附属曙光医院进行肝脏常规磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 和MRE扫描的肝脏局灶性病变患者, 包括肝血管瘤、肝细胞癌、肝转移瘤和胆管细胞癌。在3.0 T MRI扫描仪上进行2D MRE扫描, 获取弹性图并测量病变的弹性值。采用单因素方差分析比较不同病变MRE弹性值差异, 通过受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线确定MRE弹性值鉴别良恶性病变的最佳截断值, 并计算曲线下面积 (area under the curve, AUC) 等诊断效能指标。采用配对样本 t 检验比较恶性肿瘤全身治疗前后弹性值差异。**结果:** 本研究纳入肝脏局限性病变患者172例, 其中肝血管瘤50例, 肝细胞癌59例, 肝转移瘤51例, 胆管细胞癌12例。肝细胞癌、肝转移瘤和胆管细胞癌的弹性值分别为 (8.97 ± 5.33) kPa、(7.52 ± 4.64) kPa和 (8.74 ± 4.82) kPa; 肝血管瘤弹性值为 (3.10 ± 1.30) kPa; 恶性肿瘤组和血管瘤组病变弹性值差异有统计学意义 ($F=66.080, P<0.001$)。MRE弹性值在鉴别良恶性病变的AUC为0.870, 灵敏度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为75.4%、84.0%、92.0%和58.3%, 最佳截断值为4.15 kPa。通过对30例恶性肿瘤患者不同疗效组进行分析后发现, 疾病进展组治疗前后弹性值分别为 (5.98 ± 2.48) kPa和 (10.74 ± 3.83) kPa, 两者差异有统计学意义 ($t=-5.134, P<0.001$); 部分缓解组治疗前后弹性值分别为 (4.31 ± 1.88) kPa和 (3.06 ± 1.43) kPa, 差异有统计学意义 ($t=4.411, P=0.003$)。疾病稳定组弹性值分别为 (10.64 ± 7.71) kPa和 (10.67 ± 7.64) kPa, 治疗前后弹性值差异无统计学意义 ($t=1.209, P=0.258$)。**结论:** MRE作为一种无创技术, 能够有效地区分肝脏良恶性病变, 并在恶性肿瘤预后评估中具有潜在应用价值, 可为临床提供重要的诊断和治疗依据。

[关键词] 肝脏局灶性病变; 肝血管瘤; 肝细胞癌; 磁共振弹性成像; 磁共振成像; 预后预测

中图分类号: R735.7; R445.2 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2025.04.012

基金项目: 无。

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理批件: 不需要。

知情同意: 不需要。

引用本文: 黄旭彤, 马雯欣, 孙跃军, 等. 磁共振弹性成像在肝脏良恶性病变鉴别及恶性肿瘤患者预后预测中的应用价值 [J]. 肿瘤影像学, 2025, 34(4): 405-412.

Funding: no.

Conflicts of interest: authors declare no conflicts of interest.

Ethical approval: not required.

Informed consent: not required.

Cite this article: HUANG X T, MA W X, SUN Y J, et al. Application of magnetic resonance elastography in the identification of benign and malignant liver lesions and prognostic prediction of malignant tumors [J]. Oncoradiology, 2025, 34(4): 405-412.

Application of magnetic resonance elastography in the identification of benign and malignant liver lesions and prognostic prediction of malignant tumors HUANG Xutong¹, MA Wenxin¹, SUN Yuejun¹, WANG Jiaoyan¹, QIN Zhiwei², YUAN Jie¹ (1. Department of Radiology, Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China; 2. MR Collaboration, United Imaging Research, Shanghai 201807, China)

Correspondence to: YUAN Jie E-mail: yuanjie3352@shutcm.edu.cn

[**Abstract**] **Objective:** To explore the application value of magnetic resonance elastography (MRE) in differentiating benign and malignant focal liver lesions and to analyze its potential in predicting the prognosis of malignant tumors. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on patients with hepatic focal lesions who underwent routine magnetic resonance imaging (MRI) and MRE scans at Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine from December 2021 to October 2024. The cases included hepatic hemangiomas, hepatocellular carcinoma, liver metastases, and cholangiocarcinoma. 2D MRE scans were performed on a 3.0 T MRI scanner to obtain tumor elasticity maps and measure lesion elasticity values. Univariate analysis of variance was used to compare the differences in MRE elasticity values among various lesions and to assess the diagnostic efficacy of MRE in benign and malignant lesions. The optimal cutoff value of MRE elasticity for distinguishing benign and malignant lesions was determined through receiver operating characteristic (ROC) curve analysis, and diagnostic performance metrics such as the area under the curve (AUC) were calculated. Paired sample *t*-tests were used to compare elasticity value differences before and after treatment. **Results:** This study included 172 patients with localized liver lesions, including 50 cases of hepatic hemangioma, 59 cases of hepatocellular carcinoma, 51 cases of liver metastasis, and 12 cases of cholangiocarcinoma. Hepatocellular carcinoma, liver metastases and cholangiocarcinoma exhibited elasticity values of (8.97 ± 5.33) kPa, (7.52 ± 4.64) kPa, and (8.74 ± 4.82) kPa, respectively; whereas hepatic hemangiomas had notable lower elasticity values of (3.10 ± 1.30) kPa, with a statistically significant difference between the malignant tumors group and the hepatic hemangiomas group ($F=66.080$, $P<0.001$). The MRE elasticity value's AUC for distinguishing between benign and malignant lesions was 0.870, with sensitivities, specificities, positive predictive values, and negative predictive values at 75.4%, 84.0%, 92.0%, and 58.3%, respectively, and the optimal cutoff value was 4.15 kPa. In the analysis of 30 malignant tumor patients from different efficacy groups, the disease progression group showed a marked increase in elasticity values from (5.98 ± 2.48) kPa before treatment to (10.74 ± 3.83) kPa after treatment, with a statistically significant difference ($t=-5.134$, $P<0.001$). And the partial remission group showed elasticity values of (4.31 ± 1.88) kPa before and (3.06 ± 1.43) kPa after treatment, with a statistical difference ($t=4.411$, $P=0.003$). In contrast, the stable disease group showed values of (10.64 ± 7.71) kPa before and (10.32 ± 7.80) kPa after treatment, with no significant statistical differences observed for either group ($t=1.209$, $P=0.258$). **Conclusion:** MRE, as a non-invasive technique, can effectively differentiate between benign and malignant liver lesions and shows potential value in assessing the prognosis of malignant tumors, providing important diagnostic and therapeutic guidance for clinical practice.

[**Key words**] Focal liver lesion; Hepatic hemangioma; Hepatocellular carcinoma; Magnetic resonance elastography; Magnetic resonance imaging; Prognosis prediction

肝脏局灶性病变是临床常见的疾病, 准确诊断和评估这些病变对于医师为患者制订合适的治疗方案和预测预后至关重要。肝脏不同局灶性病变在病理学上存在显著差异, 这些差异不仅体现在组织结构上, 也反映在组织的生物力学特性中。研究^[1-4]表明, 良性病变与恶性病变的硬度存在差异, 恶性肿瘤通常硬度更高, 这可能与其内部细胞密度、纤维化程度以及肿瘤微环境有关。磁共振弹性成像 (magnetic resonance elastography, MRE) 作为一种无创的成像技术, 能够直接量化组织内部的力学特征, 定量检测组织的硬度, 为肝脏病变的诊断和疗效评估提供新的视角^[5]。MRE在评估肝纤维化程度方面已经得到广泛认可。然而, 在肝脏局灶性病变诊断和治疗评估中的应用价值尚未得到充分研究,

特别是在评估治疗效果方面, MRE的潜在优势仍需进一步探索。

本研究旨在评估MRE在区分肝脏良恶性病变以及监测恶性肿瘤治疗反应中的应用价值, 通过分析MRE定量参数与病变性质和临床结局的关系, 为MRE在肝脏疾病的诊断和管理中的应用提供新的见解, 从而优化临床决策。

1 资料和方法

1.1 研究对象

回顾并分析2021年12月—2024年10月于上海中医药大学附属曙光医院进行肝脏常规磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 和MRE扫描的肝脏局灶性病变患者。纳入标准参照《原

发性肝癌诊疗指南（2022版）》^[6]：具有典型肝癌影像学特征的肝占位性病变，符合肝癌临床诊断标准；对于缺乏典型影像学特征的肝占位性病变，需经肝病灶穿刺活检获得明确病理学诊断。以及参考《欧洲肝脏研究协会良性肝肿瘤管理临床实践指南》^[7]和《肝血管瘤诊断和治疗多学科专家共识（2019年版）》^[8]：肝血管瘤典型影像学表现，MRI表现为T2加权成像（T2-weighted imaging, T2WI）显著高信号，动脉期周边结节状强化，延迟期向心性填充。对于具有肝外恶性肿瘤病史且影像学符合标准的患者，诊断为肝转移瘤^[9]。

根据2018版肝脏影像报告和数据系统（Liver Imaging Reporting and Data System, LI-RADS）标准，对具有肝细胞癌风险的患者观察到的局灶性病变进行表征，LR-4或LR-5级别的病变被认为是肝细胞癌^[10]，或者是穿刺活检或术后病理学检查确诊的肝细胞癌或胆管细胞癌。对于接受全身治疗的恶性肿瘤患者，根据实体瘤临床疗效评价标准（response evaluation criteria in solid tumor, RECIST）进行疗效评分。

排除标准：① 图像质量差，伪影严重，病变显示不清；② 病灶直径小于10 mm或无法准确识别的病灶。

1.2 MRI检查方法

扫描设备为上海联影医疗科技股份有限公司的uMR790 3.0 T MRI成像仪。受检者取仰卧位，扫描前禁食至少4 h。扫描范围覆盖全部肝脏，线圈采用32通道体部相控阵表面线圈。先行常规T2WI冠状位，T2WI轴位和T1加权成像（T1-weighted imaging, T1WI）轴位扫描，再进行弥散加权成像（diffusion-weighted imaging, DWI）序列扫描，随后进行MRE扫描，最后进行MRI增强扫描。

DWI序列扫描参数：重复时间（repetition time, TR）/回波时间（echo time, TE）= 3 000 ms/67.5 ms，采用弥散敏感系数 $b=50 \text{ s/mm}^2$ 和 800 s/mm^2 ，视野 $40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ ，矩阵 320×256 ，层厚0.4 cm，共采集20层。MRI增强扫描参数：TE 1.6 ms，TR 7 ms，层厚0.4 cm，视野

$40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ ，矩阵 320×256 ，并使用高压注射器注射钆喷酸葡胺，剂量为 0.1 mmol/kg ，注射速率为 2 mL/s 。

2D MRE扫描使用由美国Resoundant公司提供的控制器及驱动器，频率为60 Hz。驱动器置于右上腹部，并用腹带加以固定。选择肝脏最大层面进行扫描，层厚为10 mm，获取4张横断位肝脏弹性图。

1.3 图像分析

由2名高年资放射科医师（从事腹部MRI诊断10年）通过视觉判断病灶，勾画感兴趣区（regions of interest, ROI），尽可能避开囊变坏死区，得到弹性硬度值并记录。

1.4 RECIST

参考RECIST 1.1^[11]，将恶性肿瘤患者分为完全缓解组、部分缓解组、疾病稳定组和疾病进展组。

1.5 统计学处理

采用SPSS 19.0统计学软件进行数据分析。首先对测得的弹性值进行正态性检验，若不同病变之间的弹性值符合正态分布，则采用单因素方差分析进行比较；若不符合正态分布，则采用非参数检验。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示，计数资料以 $n(\%)$ 描述。

进一步通过受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线及曲线下面积（area under the curve, AUC）确定最佳截断值。对于实体瘤疗效评分，采用配对样本 t 检验比较各疗效评分组治疗前后的弹性值差异，并通过非参数检验比较不同疗效评分组之间的弹性值差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 临床资料

本研究纳入肝脏局限性病变患者172例，其中肝血管瘤50例，肝细胞癌59例，肝转移瘤51例，胆管细胞癌12例（图1）。其中男性120例，女性52例，年龄25~90岁，平均年龄（ 56.57 ± 12.70 ）岁。

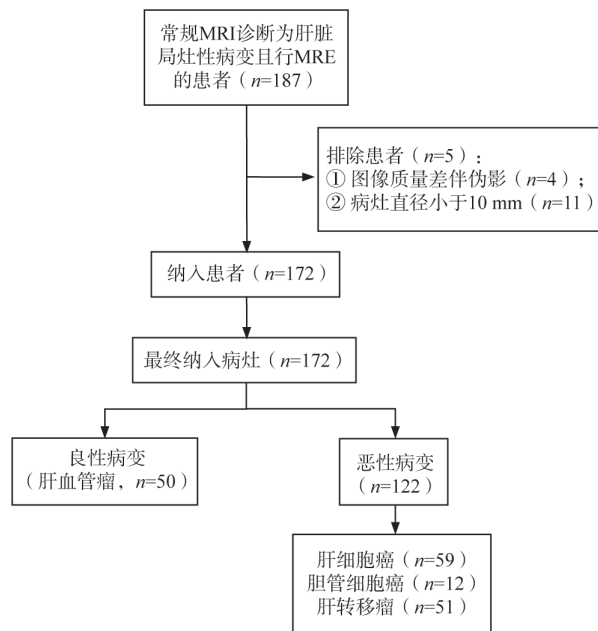


图1 患者纳入流程图

Fig.1 Flow chart of patients inclusion

2.2 肝脏局灶性病变弹性值比较

在172例患者中, 所有弹性值均通过

Shapiro-Wilk正态性检验, 符合正态分布 ($P < 0.001$), 其中肝血管瘤的弹性值为 (3.10 ± 1.30) kPa, 肝细胞癌为 (8.97 ± 5.33) kPa、肝转移瘤为 (7.52 ± 4.64) kPa, 胆管细胞癌为 (8.74 ± 4.82) kPa, 如表1所示。单因素方差分析结果显示, 各组间弹性值差异有统计学意义 ($F=18.886, P < 0.001$)。事后检验结果表明, 肝细胞癌、肝转移瘤、胆管细胞癌两两之间弹性值差异均无统计学意义 ($F=1.185, P=0.309$); 良性病变 (肝血管瘤) 与恶性肿瘤 (肝细胞癌、肝转移瘤和胆管细胞癌) 之间差异有统计学意义 ($F=66.080, P < 0.001$, 图2)。

表1 不同肝脏局灶性病变的弹性值

Tab.1 Elasticity values of different focal liver lesions

肝脏局灶性病变	n	MRE/kPa
肝血管瘤	48	3.10 ± 1.30
肝细胞癌	61	8.97 ± 5.33
肝转移瘤	52	7.52 ± 4.64
胆管细胞癌	13	8.74 ± 4.82

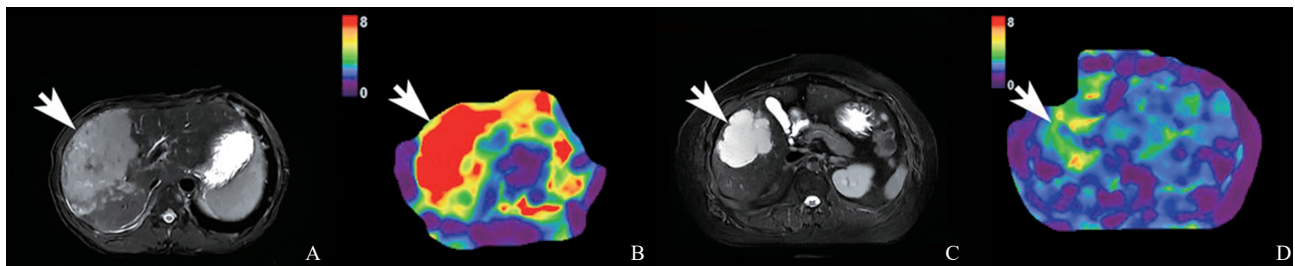


图2 肝脏局灶性病变MRI与MRE图像

Fig.2 MRI and MRE images of patients with focal liver lesions

A、B: 患者, 男性, 48岁, 肝细胞癌。A: 横断位抑脂T2WI; B: 横断位MRE, 弹性值为16.85 kPa。C、D: 患者, 女性, 55岁, 肝血管瘤。C: 横断位抑脂T2WI; D: 横断位MRE, 弹性值为2.63 kPa。

2.3 MRE对肝脏良恶性病变的诊断能力

MRE诊断肝脏良恶性病变的ROC曲线如图3所示, AUC为0.870 (95% CI 0.817~0.922)。当最佳截断值为4.15 kPa时, MRE的诊断灵敏度为75.4%, 特异度为84.0%, 阳性预测值为92.0%, 阴性预测值为58.3%, 约登指数为0.594。

2.4 恶性肿瘤治疗前后MRE弹性值变化分析

对30例接受全身治疗的恶性肿瘤患者进行分析。根据RECIST, 将患者分为部分缓解 ($n=7$)、疾病稳定 ($n=12$) 和疾病进展

($n=12$) 组, 各组患者的肝脏疾病如表2所示。其中部分缓解组: 治疗前弹性值 (4.31 ± 1.88) kPa, 治疗后 (3.06 ± 1.43) kPa; 疾病稳定组: 治疗前 (10.64 ± 7.71) kPa, 治疗后 (10.67 ± 7.64) kPa; 疾病进展组: 治疗前 (5.98 ± 2.48) kPa, 治疗后 (10.74 ± 3.83) kPa (图4、5)。部分缓解组和疾病进展组治疗前后弹性值差异有统计学意义 ($t=4.411, P=0.003$; $t=-5.134, P < 0.001$), 疾病稳定组差异无统计学意义 ($t=1.209, P=0.258$)。

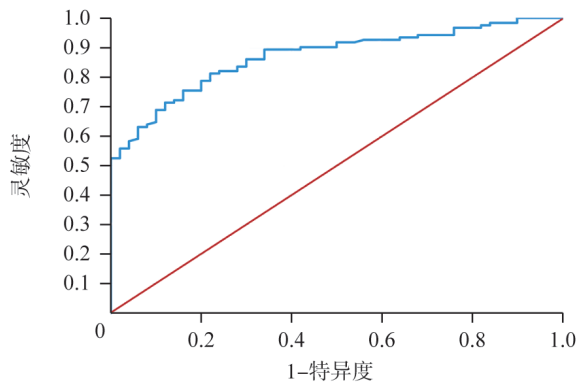


图3 ROC曲线分析MRE区分肝良性恶性病变

Fig. 3 ROC curve of MRE for differentiating benign and malignant liver lesions

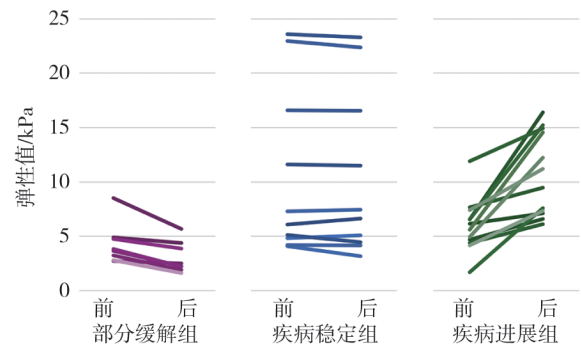


图4 不同疗效组患者治疗前后弹性值比较

Fig. 4 Comparison of elasticity values before and after treatment among different therapeutic response groups

表2 不同疗效分组患者肝脏恶性肿瘤类型分布

Tab.2 Classification of liver malignancies stratified by therapeutic efficacy

组别	部分缓解 (n=8)	疾病稳定 (n=10)	疾病进展 (n=12)
肝细胞癌	8	8	8
肝转移瘤	0	2	2
胆管细胞癌	0	0	2

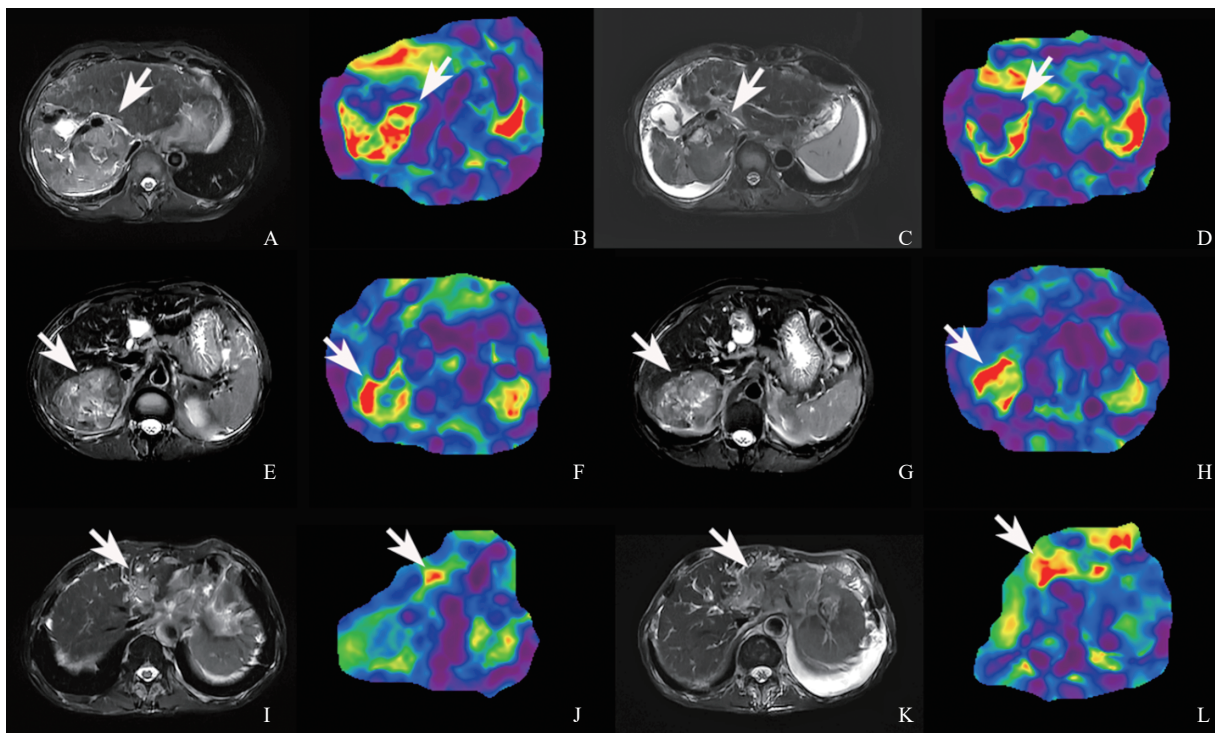


图5 不同疗效评估组患者MRI与MRE图像

Fig. 5 MRI and MRE Images for patients in different therapeutic response groups

A~D: 患者, 男性, 67岁, 肝细胞癌, 部分缓解组。A: 治疗前横断位抑脂T2WI; B: 横断位MRE, 弹性值为4.74 kPa; C: 治疗后横断位抑脂T2WI; D: 横断位MRE, 弹性值为3.89 kPa。E~H: 患者, 男性, 50岁, 肝细胞癌, 疾病稳定组。E: 治疗前横断位抑脂T2WI; F: 横断位MRE, 弹性值为4.39 kPa; G: 治疗后横断位抑脂T2WI; H: 横断位MRE, 弹性值为9.03 kPa。I~L: 男性, 70岁, 肝细胞癌, 疾病进展组。I: 治疗前横断位抑脂T2WI; J: 横断位MRE, 弹性值为6.57 kPa; K: 治疗后横断位抑脂T2WI; L: 横断位MRE, 弹性值为16.40 kPa。

3 讨 论

本研究旨在评估MRE在肝脏良恶性病变的鉴别及恶性肿瘤治疗效果监测中的应用价值。研究表明, MRE在鉴别肝脏良恶性病变方面具有较高的诊断效能, 并且在预测恶性肿瘤患者的治疗反应方面也具有潜在的临床应用价值。

肝脏正常组织与病变组织在生物力学特性上的显著差异, 成为弹性成像技术应用的基础^[5]。本研究结果表明, 肝脏良性病变(肝血管瘤)与恶性肿瘤(肝细胞癌、肝转移瘤和胆管细胞癌)弹性值存在显著差异, 这一结果与先前的研究结果^[12-13]相一致。良性病变通常表现为较低的弹性值, 而恶性肿瘤则表现为较高的弹性值。这与恶性肿瘤病理学特征有关, 恶性肿瘤通常因细胞密度增加、血管生成和间质反应导致硬度增高^[4]。进一步研究显示, MRE在鉴别良性和恶性肝脏病变中具有较高的诊断效能, 进一步证实了MRE作为无创成像技术在临床诊断中的潜在应用价值, 通过MRE的定量分析, 可以为肝脏良恶性病变的鉴别诊断提供可靠依据。值得注意的是, 本研究显示不同类型恶性肿瘤之间弹性值差异无统计学意义, 提示MRE在鉴别不同类型恶性肿瘤时可能存在局限性, 这可能是由于不同类型恶性肿瘤在组织学上可能存在相似性。因此在临床实践中, MRE应与其他影像学检查及临床资料相结合, 以提高诊断准确度。

传统影像学手段, 如计算机体层成像(computed tomography, CT)和MRI, 虽然在肿瘤的诊断、定位、大小、形态以及转移灶的检测中具有重要作用, 但在评估肿瘤治疗反应方面存在一定的局限性, 例如早期肿瘤诊断准确度较低^[14]。本研究表明, MRE在评估肝脏恶性肿瘤治疗反应中具有重要的应用价值, 可作为肝脏恶性肿瘤全身治疗效果的动态监测工具。在对肝脏恶性肿瘤患者的治疗反应分析中, 疾病进展组的患者在治疗后表现出显著的弹性值增加。肿瘤细胞的生长、增殖和治疗反应均会导致肿瘤组织的硬度发生变化, 特别是在恶性肿瘤的进展阶段,

随着肿瘤的恶化、纤维化程度增加或细胞外基质的改变, 肿瘤组织的硬度常常显著增加^[4]。在疾病进展组中, 治疗后弹性值的显著升高提示, 尽管接受了治疗, 但肿瘤可能未能得到有效的控制, 反而呈现恶化趋势。肿瘤微环境的改变和癌细胞对治疗的耐药性可能是导致这种现象的原因。全身治疗效果往往因肿瘤的异质性而存在差异, 部分耐药性肿瘤细胞可能在治疗后继续增殖, 并通过增加基质硬度来促进其存活和扩散。MRE的优势在于其能够提供肿瘤组织硬度的定量评估, 反映肿瘤的生物力学变化, 因此具有一定的预警作用, 可以帮助临床医师及时发现治疗效果不佳的患者, 并调整治疗方案^[15]。与疾病进展组不同, 疾病稳定组的患者在治疗前后的弹性值变化并不显著, 弹性值的稳定表明肿瘤在生物学性质上的变化不大。对于疾病稳定的患者, 治疗可能有效地抑制了肿瘤的进一步生长, 然而肿瘤细胞并未完全死亡或被清除, 肿瘤组织的刚性也未发生明显变化。因此, MRE可能无法在短期内反映疾病稳定组患者的微观生物学变化, 特别是当治疗效果仅是抑制肿瘤生长而非完全消除肿瘤时, 弹性值的变化可能较为平缓。部分缓解组患者治疗后, MRE弹性值均值有所下降, 表明治疗后肿瘤体积缩小或肿瘤活性降低的患者, 肿瘤细胞的死亡可能导致肿瘤组织的硬度减弱。这些发现凸现了MRE在肝脏恶性肿瘤治疗效果评估中的潜在价值。与传统的影像学评估方法相比, MRE可能提供了一种更敏感、更早期的治疗反应评估手段。这对于临床决策具有重要意义, 可能有助于及时调整治疗策略, 优化患者管理。

在肝脏病变的诊断中, 多种影像学方法被广泛应用, 包括超声弹性成像、常规MRI和影像组学等。超声弹性成像是一种利用超声波探测组织硬度的技术, 它能够提供有关组织生物力学特性的信息^[16], 对判断肝癌患者TNM分期具有一定的参考价值^[17]。常规MRI则通过不同的成像序列来呈现肝脏结构和病变的详细影像。基于超声造影的影像组学模型能够更准确地诊断良性病灶和非典型性肝细胞癌, 对肝细胞癌的非侵入性检查具有参考意义^[18]。多排CT图像中提取的放

射组学模型能够有效地预测结直肠肝转移患者的组织病理学生长模式，为预后分级和治疗决策提供依据^[19]。尽管这些技术在肝脏病变的诊断与鉴别中发挥着重要作用，但它们各有优势和局限性。超声弹性成像因其操作简便、成本较低而被广泛使用。然而，肥胖或腹腔积液过多的患者不宜进行该检查^[20]。常规MRI提供了高分辨率的肝脏图像，有助于病变的检出和定性分析，但在评估肝脏硬度和肿瘤生物力学特性方面存在局限性。基于CT和MRI的影像组学在干细胞的诊断和预后预测方面显示了良好的性能^[21-22]，但由于缺少数据分析的标准化方法导致其可重复性较差^[18]。而MRE作为一种无创的成像技术，克服了上述技术的局限。MRE能够定量地测量组织的硬度，反映肿瘤的生物力学特性，为肝脏病变的鉴别诊断提供重要信息。MRE的高准确度和重复性使其在评估肝脏病变方面可以发挥重要作用^[23]。此外，本研究表明MRE在预测肿瘤治疗反应和预后评估中也显示出巨大的潜力，可为临床决策提供重要的辅助信息。

本研究存在一定的局限性。首先，本研究为回顾性分析，受限于数据的获取和患者的随访情况，可能存在选择偏倚。研究中纳入的患者样本数量相对有限，可能影响到结果的外推性和普适性。再者，虽然本研究分析了MRE与临床预后之间的关联，但尚缺乏前瞻性研究来进一步验证MRE在恶性肿瘤患者预后预测中的准确度和可靠性。未来需要前瞻性、多中心、大样本的研究来验证结论的可靠性。最后，MRE的生物物理学机制仍需结合术后病理学检查结果进一步研究，以明确其与肿瘤微环境、细胞组成及分子特征之间的关系，从而为肝脏病变的诊断和治疗提供更为精准的依据。

综上所述，MRE作为一种先进的成像技术，为肝脏良恶性病变的鉴别及恶性肿瘤的疗效监测提供了新的思路和方法。随着技术的不断发展及临床应用的深入，MRE有望成为肝脏疾病管理中不可或缺的重要工具，为提高患者的生存率和生活质量作出贡献。

第一作者：

黄旭彤 (ORCID:0009-0003-2107-907X)，本科。

通信作者：

袁杰 (ORCID:0000-0002-6471-6687)，硕士，主治医师，

E-mail: yuanjie3352@shutcm.edu.cn

作者贡献说明：

黄旭彤：论文撰写，MRE测量，数据统计分析；马雯欣：整理数据资料，整理参考文献；孙跃军：数据资料收集，MRE测量；王娇燕：数据统计分析，MRE测量；覃智威：技术支持；袁杰：研究设计，论文审稿。

[参 考 文 献]

- [1] VENKATESH S K, YIN M, EHMAN R L. Magnetic resonance elastography of liver: clinical applications [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2013, 37(6): 887-896.
- [2] GRGUREVIC I, BOKUN T, SALKIC N N, et al. Liver elastography malignancy prediction score for noninvasive characterization of focal liver lesions [J]. *Liver Int*, 2018, 38(6): 1055-1063.
- [3] PARK S J, YOON J H, LEE D H, et al. Tumor stiffness measurements on MR elastography for single nodular hepatocellular carcinomas can predict tumor recurrence after hepatic resection [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 53(2): 587-596.
- [4] PASZEK M J, ZAHIR N, JOHNSON K R, et al. Tensional homeostasis and the malignant phenotype [J]. *Cancer Cell*, 2005, 8(3): 241-254.
- [5] MURPHY M C, HUSTON J 3rd, EHMAN R L. MR elastography of the brain and its application in neurological diseases [J]. *Neuroimage*, 2019, 187: 176-183.
- [6] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政司. 原发性肝癌诊疗指南 (2024年版) [J]. *协和医学杂志*, 2024, 15(03): 532-559.
Department of Medical Administration, National Health Commission of the People's Republic of China. Guideline for diagnosis and treatment of primary liver cancer (2024 version) [J]. *Chin J Hepatol*, 2024, 15(3): 532-559.
- [7] European Association for the Study of the Liver (EASL). EASL Clinical Practice Guidelines on the management of benign liver tumours [J]. *J Hepatol*, 2016, 65(2): 386-398.
- [8] 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) [J]. *临床肝胆病杂志*, 2019, 35(9): 1928-1932.
International HepatoPancreatoBiliary Association, China Branch, Hepatic Hemangioma Professional Committee. Multidisciplinary expert consensus on the diagnosis and treatment of hepatic hemangioma (2019 edition) [J]. *J Clin Hepatol*, 2019, 35(9): 1928-1932.
- [9] NAMASIVAYAM S, MARTIN D R, SAINI S. Imaging of liver metastases: MRI [J]. *Cancer Imaging*, 2007, 7(1): 2-9.
- [10] CHERNYAK V, FOWLER K J, KAMAYA A, et al. Liver Imaging Reporting and Data System (LI-RADS) version 2018:

- Imaging of hepatocellular carcinoma in at-risk patients [J]. *Radiology*, 2018, 289(3): 816–830.
- [11] EISENHAUER E A, THERASSE P, BOGAERTS J, et al. New response evaluation criteria in solid tumors: revised RECIST guideline (version 1.1) [J]. *Eur J Cancer*, 2009, 45(2): 228–247.
- [12] 何浩强, 许桂晓, 刘辉明, 等. 磁共振弹性成像对肝脏局灶性良恶性肿瘤鉴别价值的初步研究 [J]. *实用放射学杂志*, 2017, 33(2): 230–233.
- HE H Q, XU G X, LIU H M, et al. Preliminary study of MR elastography for differentiating hepatic focal benign and malignant tumors [J]. *J Pract Radiol*, 2017, 33(2): 230–233.
- [13] VENKATESH S K, YIN M, GLOCKNER J F, et al. MR elastography of liver tumors: preliminary results [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, 190(6): 1534–1540.
- [14] 葛永亮. MRI与CT在介入治疗肝癌后癌肿残留及复发的早期诊断应用 [J]. *影像研究与医学应用*, 2024, 8(18): 185–187.
- GE Y L. Application of MRI and CT in early diagnosis of residual and recurrent tumors after interventional therapy for hepatocellular carcinoma [J]. *J Imag Res Med Appl*, 2024, 8(18): 185–187.
- [15] GIDENER T, AHMED O T, LARSON J J, 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.e6.
- [16] FANG C, LIM A, SIDHU P S. Ultrasound-based liver elastography in the assessment of fibrosis [J]. *Clin Radiol*, 2020, 75(11): 822–831.
- [17] 田 苗, 高小瞻. 超声弹性成像参数与肝癌患者TNM分期的相关性分析 [J]. *肿瘤影像学*, 2022, 31(2): 187–191.
- TIAN M, GAO X Z. Correlation analysis of ultrasound elastography parameters and TNM staging of patients with liver cancer [J]. *Oncoradiology*, 2022, 31(2): 187–191.
- [18] 李娜娜, 吴瑞超, 聂 芳. 基于超声造影的影像组学在肝细胞癌诊断中的研究进展 [J]. *肿瘤影像学*, 2023, 32(6): 567–572.
- LI N N, WU R C, NIE F. Progress in contrast-enhanced ultrasound-based radiomics in the diagnosis of hepatocellular carcinoma [J]. *Oncoradiology*, 2023, 32(6): 567–572.
- [19] CHENG J, WEI J W, TONG T, et al. Prediction of histopathologic growth patterns of colorectal liver metastases with a noninvasive imaging method [J]. *Ann Surg Oncol*, 2019, 26(13): 4587–4598.
- [20] 吴 越, 冯对平. 影像学方法评价肝纤维化的研究进展 [J]. *影像诊断与介入放射学*, 2020, 29(4): 294–299.
- WU Y, FENG D P. Research progress in evaluating liver fibrosis using imaging [J]. *Diagn Imag Interv Radiol*, 2020, 29(4): 294–299.
- [21] JI G W, ZHU F P, XU Q, et al. Radiomic features at contrast-enhanced CT predict recurrence in early stage hepatocellular carcinoma: a multi-institutional study [J]. *Radiology*, 2020, 294(3): 568–579.
- [22] WU J J, LIU A L, CUI J J, et al. Radiomics-based classification of hepatocellular carcinoma and hepatic haemangioma on precontrast magnetic resonance images [J]. *BMC Med Imaging*, 2019, 19(1): 23.
- [23] 李宗泰, 邓德乐, 刘海彬, 等. MR弹性成像诊断肝细胞癌及评估其病理分化程度 [J]. *中国介入影像与治疗学*, 2022, 19(10): 645–648.
- LI Z T, DENG D L, LIU H B, et al. MR elastography for diagnosing and evaluating pathological differentiation of hepatocellular carcinoma [J]. *Chin J Interv Imag Ther*, 2022, 19(10): 645–648.

(收稿日期: 2025-03-06 修回日期: 2025-03-26)