

# 多参数磁共振联合成像在肝纤维化分级中的研究进展

袁意淋, 刘 曦\*

重庆医科大学附属第二医院放射科, 重庆

收稿日期: 2025年4月6日; 录用日期: 2025年4月28日; 发布日期: 2025年5月8日

## 摘 要

肝纤维化是肝脏慢性损伤后的常见病理修复反应, 若未能及时干预, 可能恶化为肝硬化甚至肝癌。多参数磁共振联合成像(mpMRI)整合多种磁共振技术(如DWI、DCE、MRE等), 从形态、功能、代谢等多维度评估肝脏病理变化, 显著提升了肝纤维化分期的客观性和准确性。结合深度学习等人工智能技术, 可高效挖掘影像组学特征, 增强早期隐匿性病变的识别效能, 然而, 当前该技术仍面临数据标准化不足、处理流程复杂及成本高等挑战。未来需通过临床多中心研究制定指南及标准, 优化算法并降低成本, 推动其临床应用。

## 关键词

肝纤维化分级, 多参数磁共振联合成像, 人工智能技术

# Research Progress on Multiparametric Magnetic Resonance Imaging in the Staging of Liver Fibrosis

Yilin Yuan, Xi Liu\*

Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Apr. 6<sup>th</sup>, 2025; accepted: Apr. 28<sup>th</sup>, 2025; published: May 8<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

Liver fibrosis is a common pathological repair response following chronic liver damage. If not

\*通讯作者。

文章引用: 袁意淋, 刘曦. 多参数磁共振联合成像在肝纤维化分级中的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 147-152. DOI: 10.12677/acm.2025.1551353

intervened in a timely manner, it may progress to cirrhosis and even liver cancer. Multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI) integrates various MRI techniques (such as DWI, DCE, MRE, etc.) to reflect and assess liver pathological changes from multiple dimensions, including morphology, function, and metabolism, significantly enhancing the objectivity and accuracy of liver fibrosis staging. When combined with artificial intelligence technologies like deep learning, it can efficiently extract imaging features and improve the detection efficacy of early concealed lesions, further enhancing early diagnostic capabilities. However, this technology currently faces challenges such as insufficient data standardization, complex data processing workflows, and high costs. Future efforts should focus on multi-center clinical studies to establish guidelines and standards, optimize algorithms, and reduce costs to promote its clinical application.

## Keywords

The Staging of Liver Fibrosis, Multiparametric Magnetic Resonance Imaging, Artificial Intelligence Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

肝纤维化是肝脏应对慢性损伤的常见病理修复反应,主要表现为细胞外基质的异常沉积与结构重构。持续的致病因素可诱发不可逆肝硬化并显著增加肝癌风险[1]。肝癌作为全球性的健康威胁,预计到2025年病例数将突破100万[2],精准化防治体系的建立已成为临床研究重点。研究表明,肝纤维化在致病因素消除后是可逆的,因此早期诊断和分级对于及时干预和治疗至关重要[3]。目前,肝脏活检是肝纤维化诊断及分级的金标准[4],但其创伤性、取样误差及操作风险极大限制了动态监测应用[5][6]。近年来,多参数磁共振联合成像技术通过整合扩散加权成像(DWI)、弹性成像(MRE)及分子功能成像等多模态数据,实现了从宏观形态到微观结构的全维度评估,为无创分级诊断提供了新范式,为肝纤维化的分级诊断提供了更全面、准确的依据。但部分磁共振成像技术的应用和结论在不同研究中存在差异。例如,DWI在肝纤维化分级诊断中具有较高的准确率,且各分期差异显著[7];然而,ADC值虽能有效区分肝脏是否纤维化,但在分期差异上并不显著[8]。此外,T1 $\rho$ 弛豫成像在部分研究[9]中被认为对肝纤维化分期评估有一定作用,但也有研究[10]指出其与肝纤维化并无显著相关性。

## 2. 多参数磁共振联合成像在肝纤维化分级中的应用

### 2.1. 两种磁共振成像技术联合在肝纤维化分级中的应用

#### 2.1.1. T1 $\rho$ 联合 DKI

在Guo[11]等人的实验中,T1 $\rho$ 和DKI的联合应用被证明在肝纤维化分期中具有显著的诊断价值。通过对大鼠模型的实验,研究人员发现T1 $\rho$ 和MD值的联合诊断在不同纤维化阶段的区分中表现出极高的准确性,尤其是在区分F0与F1~4、F0与F2~4等阶段时,AUC值接近1.0,表明这种联合诊断方法具有显著的临床潜力。

#### 2.1.2. DWI 联合动态增强 DCE

许尚文[12]等人的研究表明,DWI和DCE的联合使用能显著提高肝纤维化的诊断准确性。通过结合

ADC 值和 HPI 值, 诊断范围分别从 69.6%、44.9% 提升至 78.3%, 表明多参数协同诊断能有效减少误诊和漏诊情况。

张穗诚[13]等人的研究表明: 通过联合 DWI 和 DCE, 研究人员发现 ADC 值在区分 S0 与 S2 期、S0 与 S3 期时具有显著的统计学差异( $P < 0.05$ ), AUC 值分别为 0.831、0.949, 灵敏度和特异度也较高; 另外, 门脉晚期的 RE 值在区分 S1 与 S2 期时也具有统计学意义( $P < 0.05$ ) (AUC: 0.685)。表明 MRI 动态多期增强联合 DWI 能有效提升肝纤维化分期的准确性。

与单一参数成像相比, DWI 和 Gd-EOB-DTPA 肝胆期成像的联合应用在肝纤维化分期中表现出更高的诊断效能。崔恩铭[14]等人的研究显示, ADC 值和 RE 值的联合诊断在区分  $S \geq 2$ 、 $S \geq 3$  期时表现出较高的 AUC 值(分别为 0.922、0.906)显著优于单一参数成像(ADC 组的 AUC 分别为 0.861 和 0.807, RE 组的 AUC 值分别为 0.771 和 0.748), 表明 ADC 和 RE 联合使用能明显提高诊断肝纤维化的效能。

## 2.2. DWI、SWI、肝特异性对比剂增强 T1 加权成像两两联合

在 Feier 等人[15]的研究中, DWI、SWI、肝特异性对比剂增强 T1 加权成像的两两联合在肝纤维化分期中体现出较高的诊断价值, 通过分析 ADC 值、肝胆相的相对增强(RE)和肝肌肉比(LMR)值, 研究人员发现 RE + LMR 诊断效能最佳, 尤其是在区分 F1、F2、F3、F4 阶段时, AUC 值均明显高于单一参数成像。

### IVIM、T1mapping 联合; DWI、T1mapping 联合

通过对 45 例慢性肝病患者的研究, 刘瑞瑞[16]等人发现, ADC 值和 T1 弛豫时间、D 值和 T1 弛豫时间的联合应用提高了诊断肝纤维化的敏感度和特异度, 尤其是在  $S \geq 2$  期、 $S \geq 3$  期的诊断中, D 值联合 T1 弛豫时间、ADC 联合 T1 弛豫时间的 AUC 值优于单一参数。

## 2.3. 多种磁共振成像技术联合

### 2.3.1. MRE、SWI、DCE-MRI 联合

通过对 150 只兔子的实验, Zou [17]等人发现 MRE、SWI、DCE-MRI 三者联合应用在诊断是否存在肝纤维化以及区分早、晚期肝纤维化时均表现出较高的诊断准确性和稳定性。通过测量 LS 值、SIR 值、Ktrans 值等参数, 研究人员发现联合诊断的 AUC 值在训练集和测试集中均表现出较高的准确性, 证实参数联合诊断在不同阶段的肝纤维化区分中具有较高的可靠性。

### 2.3.2. DWI、SWI、肝特异性对比剂增强 T1 加权成像联合

Feier 等人[15]的研究表明, DWI、SWI、肝特异性对比剂增强 T1 加权成像三者联合诊断肝纤维化的 AUC 值范围是 0.90~0.95 之间, 但从统计学角度看并不显著, 且三者联合诊断在纤维化 F2 期最大准确率为 95%。表明多参数联合能提供更准确的诊断信息。

## 2.4. IVIM、IDEAL IQ、T2\*mapping、T2mapping 联合

在 Huang [18]等人的研究中, IVIM、IDEAL IQ (IDE 双能成像技术)、T2\*mapping、T2mapping 的联合应用在非酒精性脂肪性肝炎(NASH)诊断和肝纤维化分期中表现出较高的诊断价值。通过开发预测模型, 研究人员发现联合诊断的 AUC 值在不同纤维化阶段均表现出色, 尤其是在纤维化晚期阶段, 诊断效能显著优于单一参数。

## 2.5. 多参数联合与人工智能技术

### 2.5.1. 基于放射组学模型的 MRE、DCE、IVIM 联合

通过对 150 只兔子的实验, Mai [19]等人发现 MRE、DCE 和 IVIM 的联合应用能进一步提高早期肝

纤维化的预测准确性。通过建立放射组学模型, 研究人员发现联合诊断的 AUC 值在训练队列和验证队列中均优于任一单参数模型, 表明多参数联合能显著提高早期肝纤维化的诊断准确性。

### 2.5.2. 基于放射组学模型的磁共振常规序列、DWI, HBP 联合

在 Xiao 等人[20]的研究中, 磁共振常规序列, DWI, HBP 的联合应用被证明在肝纤维化分期中具有较高的诊断价值。通过建立放射组学模型, 研究人员发现融合模型的 AUC 值在不同纤维化阶段均表现优异, 尤其是在区分 F1~3 与 F4、F1~2 与 F4 时, AUC 值显著高于任一单参数。

## 3. 总结

目前, 多参数磁共振成像(MRI)在肝纤维化诊断中的研究主要采用 ROC 曲线分析 AUC 值来比较单一参数与联合参数的效能, 但不同研究之间存在显著差异和局限性, 主要体现在以下几个方面: 部分研究(如 Guo [11]等、Zou [17]等)采用动物模型(大鼠或兔子), 虽然能较好控制混杂因素, 但存在种属差异, 限制了结果向临床的推广。此外, 这些研究未明确说明样本量计算方法, 可能影响统计检验力; 临床研究样本量普遍偏小, 如 Feier [15]等( $n = 77$ )和刘瑞瑞[16]等( $n = 45$ ), 导致置信区间较宽(如刘瑞瑞研究中, ADC 联合 T1 弛豫时间诊断肝纤维化  $\geq S3$  期的特异度为 94.3%, 95% CI: 71.6%~97.0%), 可能增加 II 类错误风险; Xiao [20]等( $n = 230$ )和 Mai [19]等采用训练集/验证集设计, 但验证集样本占比不足(如 Xiao [20]研究), 可能影响模型的外部效度; 不同研究中, 灵敏度和特异度表现不一, AUC 值范围也存在较大波动, 提示参数选择和测量方法可能缺乏标准化; 多数研究未对多重比较进行校正(如 Bonferroni 或 FDR 法), 例如, 张穗诚[13]等同时比较 6 组参数组合, 理论 I 类错误率可能高达 40%, 增加了假阳性风险; 仅 Xiao [20]等(2024)明确报告了 Shapiro-Wilk 正态性检验结果( $P = 0.13$ ), 而其他研究默认使用参数检验, 可能不符合数据分布假设, 影响分析可靠性。虽然多参数联合在多数情况下展现统计显著的优势( $P < 0.05$ , 平均  $\Delta AUC + 0.11$ ), 但需警惕少数的无效联合方案。未来的研究应着重解决测量标准化(NIST 标准)、临床决策阈值优化及成本效益平衡等关键问题。

## 4. 面临的挑战

目前, 多参数磁共振联合成像在肝纤维化分级的研究中已经取得一定的成果, 但仍面临诸多挑战。其一, 不同联合方案的组合和应用顺序缺乏统一标准, 导致研究结果的可比性较差。其二, 联合诊断涉及多模态数据融合, 数据处理和分析难度较大, 增加了技术应用的复杂性。其三, 多参数磁共振联合成像技术对设备和操作人员的要求较高, 检查成本相对昂贵, 这在一定程度上限制了其在基层医疗机构的推广应用。同时, 特殊人群(如体内有金属植入物的患者)无法进行 MRI 检查, 也进一步制约了该技术的适用范围。此外, 多参数磁共振联合成像技术与人工智能的融合这一新技术的发展呈现出多维并进的态势: 在技术标准化建设方面, 亟需建立统一的影像采集协议和智能分析流程; 在算法创新层面, 重点开发可解释的多模态融合模型, 探索 transformer 等新型网络架构的应用。值得注意的是, 并非所有的联合参数成像都能提升肝纤维化的诊断效能。例如, Hoffman [21]等人对 223 名肝病患者的研究表明, MRE 单独使用即具有较高的准确性, 而 MRE 和 T1/T2mapping 的联合应用并未进一步提升诊断效能。类似地, Duman 团队[22]对 119 例代谢功能障碍相关脂肪性肝病患者的研究发现, MRE 与振动控制瞬时弹性成像(VCTE)或纤维化评分 4 (FIB-4)的组合并未优于 MRE 单独检测。这些研究表明, 在某些情况下, 单一技术的诊断准确性已足够, 联合技术未必能带来额外的诊断优势。

## 5. 结论与展望

未来, 不仅需要开展大规模与多中心的研究、制定统一的联合诊断标准和操作流程, 还要规范不同

技术的参数设置和联合应用顺序, 以提高研究结果的可比性和可靠性。同时, 应进一步加强多模态数据融合算法的研究, 开发更高效、准确的数据处理和分析方法, 提高联合诊断模型的性能。除此之外, 多参数磁共振联合成像技术与人工智能的融合正在开创肝纤维化诊断的新纪元, 这一技术突破通过整合 DWI、SWI 和增强 MRI 等多模态影像优势, 结合深度学习算法, 实现了从数据采集到智能分析的全流程革新。基于卷积神经网络(CNN)的智能系统能够自动解析影像中的深层特征, 显著提升了诊断准确率, 也突破了传统方法对人工特征工程的依赖。需要强调的是, 随着联邦学习等隐私计算技术的应用, 分布式机器学习将有效破除医疗数据壁垒。这种智能诊断系统通过整合影像组学、临床指标和基因组数据, 不仅能实现精确的纤维化分期, 还可预测疾病进展和药物响应, 最终构建慢性肝病的精准诊疗闭环。这一变革将推动肝病诊疗从经验医学向智慧医疗的全面升级, 为临床实践带来革命性突破。

总的来说, 多参数磁共振联合成像技术为肝纤维化分级提供了更全面、准确的诊断信息, 具有巨大的潜力。

## 基金项目

重庆市自然科学基金面上项目(CSTB2022NSCQ MSX0846); 重庆医科大学附属第二医院“宽仁英才”项目(kryc gg-2104)。

## 参考文献

- [1] 中华医学会肝病学会, 中华医学会消化病学分会, 中华医学会感染病学分会. 肝纤维化诊断及治疗共识(2019年) [J]. 中华肝脏病杂志, 2019, 27(9): 657-667.
- [2] Llovet, J.M., Kelley, R.K., Villanueva, A., Singal, A.G., Pikarsky, E., Roayaie, S., *et al.* (2021) Hepatocellular carcinoma. *Nature Reviews Disease Primers*, 7, Article No. 6. <https://doi.org/10.1038/s41572-020-00240-3>
- [3] Tian, L., Liu, S., Zhou, H. and Wu, Y. (2025) Dwi-Derived Sequences: Application in the Evaluation of Liver Fibrosis. *Current Medical Imaging Reviews*, 20, e15734056326012. <https://doi.org/10.2174/0115734056326012241031074233>
- [4] Diehl, A.M. and Day, C. (2017) Cause, Pathogenesis, and Treatment of Nonalcoholic Steatohepatitis. *New England Journal of Medicine*, 377, 2063-2072. <https://doi.org/10.1056/nejmra1503519>
- [5] Kose, S., Ersan, G., Tatar, B., Adar, P. and Erturk Sengel, B. (2015) Evaluation of Percutaneous Liver Biopsy Complications in Patients with Chronic Viral Hepatitis. *The Eurasian Journal of Medicine*, 47, 161-164. <https://doi.org/10.5152/eurasianjmed.2015.107>
- [6] Shiha, G., Ibrahim, A., Helmy, A., Sarin, S.K., Omata, M., Kumar, A., *et al.* (2016) Asian-Pacific Association for the Study of the Liver (APASL) Consensus Guidelines on Invasive and Non-Invasive Assessment of Hepatic Fibrosis: A 2016 Update. *Hepatology International*, 11, 1-30. <https://doi.org/10.1007/s12072-016-9760-3>
- [7] 李鹏, 张振国. 磁共振弥散加权成像对慢性乙型肝炎肝纤维化程度和炎症活动程度的判断价值分析[J]. 肝胆外科杂志, 2017, 25(4): 265-268.
- [8] 刘春堂, 李若旭, 邢卫红, 等. 肝纤维化肝脏 ADC 值与病理的对照分析[J]. 河北医药, 2019, 41(18): 2778-2781.
- [9] Allkemper, T., Sagmeister, F., Cicinnati, V., Beckebaum, S., Kooijman, H., Kanthak, C., *et al.* (2014) Evaluation of Fibrotic Liver Disease with Whole-Liver T1ρ MR Imaging: A Feasibility Study at 1.5 T. *Radiology*, 271, 408-415. <https://doi.org/10.1148/radiol.13130342>
- [10] Takayama, Y., Nishie, A., Asayama, Y., Ushijima, Y., Okamoto, D., Fujita, N., *et al.* (2014) T1ρ Relaxation of the Liver: A Potential Biomarker of Liver Function. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 42, 188-195. <https://doi.org/10.1002/jmri.24739>
- [11] Guo, Y., Guo, T., Huang, C., Sun, P., Wu, Z., Jin, Z., *et al.* (2024) Combining T1rho and Advanced Diffusion MRI for Noninvasively Staging Liver Fibrosis: An Experimental Study in Rats. *Abdominal Radiology*, 49, 1881-1891. <https://doi.org/10.1007/s00261-024-04327-3>
- [12] 许尚文, 陈自谦, 王晓阳, 等. MR 扩散加权联合动态增强评估乙型病毒性肝炎肝纤维化分级的研究[J]. 医学影像学杂志, 2018, 28(1): 78-82.
- [13] 张穗诚, 蔡凯丽, 卿强, 等. MRI 动态多期增强联合 DWI 对肝纤维化分期的初步研究[J]. 中国处方药, 2022, 20(9): 187-189.

- 
- [14] 崔恩铭, 龙晚生, 李卓永, 等. 磁共振扩散加权成像联合 Gd-EOB-DTPA 定量分析肝纤维化[J]. 实用放射学杂志, 2016, 32(11): 1702-1705.
- [15] Feier, D., Balassy, C., Bastati, N., Fragner, R., Wrba, F. and Ba-Ssalamah, A. (2015) The Diagnostic Efficacy of Quantitative Liver MR Imaging with Diffusion-Weighted, SWI, and Hepato-Specific Contrast-Enhanced Sequences in Staging Liver Fibrosis—A Multiparametric Approach. *European Radiology*, **26**, 539-546. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-3830-0>
- [16] 刘瑞瑞, 郑建军, 张景峰, 等. 磁共振多参数成像联合血清学模型在肝纤维化分期中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(2): 116-122, 138.
- [17] Zou, L., Jiang, J., Zhang, H., Zhong, W., Xiao, M., Xin, S., *et al.* (2021) Comparing and Combining MRE, T1 $\rho$ , SWI, IVIM, and DCE-MRI for the Staging of Liver Fibrosis in Rabbits: Assessment of a Predictive Model Based on Multiparametric MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, **87**, 2424-2435. <https://doi.org/10.1002/mrm.29126>
- [18] Huang, Z., Xia, X., Liang, Y., Wen, Y., Yang, M., Pan, Y., *et al.* (2025) Assessment and Integration of Multiparametric MRI for Liver Fibrosis Staging in Rat Non-Alcoholic Steatohepatitis: Evaluation of Diagnostic Efficiency and Model Interpretation. *European Journal of Radiology*, **182**, Article ID: 111821. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111821>
- [19] Mai, X., Zhang, H., Wang, Y., Zhong, W. and Zou, L. (2024) Multiparametric MRI-Based Whole-Liver Radiomics for Predicting Early-Stage Liver Fibrosis in Rabbits. *British Journal of Radiology*, **97**, 964-970. <https://doi.org/10.1093/bjrt/qae063>
- [20] Xiao, L., Zhao, H., Liu, S., Dong, W., Gao, Y., Wang, L., *et al.* (2024) Staging Liver Fibrosis: Comparison of Radiomics Model and Fusion Model Based on Multiparametric MRI in Patients with Chronic Liver Disease. *Abdominal Radiology*, **49**, 1165-1174. <https://doi.org/10.1007/s00261-023-04142-2>
- [21] Hoffman, D.H., Ayoola, A., Nickel, D., Han, F., Chandarana, H. and Shanbhogue, K.P. (2019) T1 Mapping, T2 Mapping and MR Elastography of the Liver for Detection and Staging of Liver Fibrosis. *Abdominal Radiology*, **45**, 692-700. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-02382-9>
- [22] Duman, S., Kuru, D., Gumusoy, M., Kiremitci, S., Gokcan, H., Ulas, B., *et al.* (2023) A Combination of Non-Invasive Tests for the Detection of Significant Fibrosis in Patients with Metabolic Dysfunction-Associated Steatotic Liver Disease Is Not Superior to Magnetic Resonance Elastography Alone. *European Radiology*, **34**, 3882-3888. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10441-5>