

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2025.03.011

❖ 临床医学研究 ❖

动态增强 MRI 和肌骨超声对类风湿关节炎活动性的诊断价值

陈真¹, 雷皓天¹, 徐旋²

(延安市人民医院, 1. 放射科; 2. 影像科, 陕西 延安 716000)

【摘要】目的: 探讨动态增强 MRI (DCE-MRI) 和肌骨超声 (MSUS) 对类风湿关节炎 (RA) 活动性的诊断价值。**方法:** 回顾性分析 97 例行 DCE-MRI 和 MSUS 检查的 RA 患者的临床资料, 比较入院时 DCE-MRI、MSUS 检查对 RA 患者典型病理特征的检出率; 根据患者病情活动性 [类风湿性关节炎疾病活动性评分系统 (DAS28) 评分] 分为活动组 (DAS28 \geq 2.6 分, $n = 56$) 与非活动组 (DAS28 $<$ 2.6 分, $n = 41$), 比较入院检查时不同病情活动性患者 DCE-MRI 定量参数 [早期强化率 (EER)、最大强化率 (MER)、达峰时间 (TTP)] 和 MSUS (滑膜厚度、血流信号评分、滑膜动脉 RI) 定量参数, 采用受试者工作特征 (ROC) 曲线分析两种影像技术定量参数对 RA 患者病情活动性的诊断效能。**结果:** DCE-MRI、MSUS 对 RA 患者滑膜增生的检出率比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); DCE-MRI 对 RA 患者骨侵蚀的检出率高于 MSUS ($P < 0.05$); 对关节积液的检出率低于 MSUS ($P < 0.05$)。入院时, 活动组患者 EER、MER、滑膜厚度、血流信号评分高于非活动组 ($P < 0.05$); TTP、滑膜动脉 RI 低于非活动组 ($P < 0.05$)。ROC 曲线显示, EER、MER、TTP、滑膜厚度、血流信号评分、滑膜动脉 RI 单一指标检测曲线下面积 (AUC) 分别为 0.788、0.846、0.806、0.865、0.626、0.819; 敏感度分别为 75.61%、92.68%、70.73%、78.05%、87.80%、75.61%; 特异度分别为 71.43%、64.29%、76.79%、78.57%、32.14%、82.14%, 均对 RA 患者病情活动性有较好诊断效能 ($P < 0.05$)。**结论:** DCE-MRI 和 MSUS 对 RA 活动性均具有较好的诊断价值, 但 DCE-MRI 对 RA 患者骨侵蚀的检出率更高, 且 MSUS 对关节积液的检出率更高。

【关键词】 动态增强 MRI; 肌骨超声; 类风湿关节炎; 活动性; 诊断价值

【中图分类号】 R445.1 **【文献标志码】** A

Diagnostic value of dynamic contrast-enhanced MRI and musculoskeletal ultrasound for rheumatoid arthritis activity

CHEN Zhen¹, LEI Hao-tian¹, XU Xuan²

(1. Department of Radiology; 2. Department of Imaging, Yan'an People's Hospital, Yan'an 716000, Shaanxi, China)

【Abstract】Objective: To investigate and compare the diagnostic value of dynamic contrast-enhanced MRI (DCE-MRI) and musculoskeletal ultrasound (MSUS) for the activity of rheumatoid arthritis (RA). **Methods:** The clinical data of 97 patients with RA who received DCE-MRI and MSUS in the hospital were retrospectively analyzed. The detection rates of typical pathological features of RA patients by DCE-MRI and MSUS at admission were compared. The patients were divided into an active group (DAS28 \geq 2.6 points, $n = 56$) and an inactive group (DAS28 $<$ 2.6 points, $n = 41$) according to the disease activity [rheumatoid arthritis disease activity scoring system (DAS28) score]. The quantitative parameters of DCE-MRI [early enhancement rate (EER), maximum enhancement rate (MER), time to peak (TTP)] and MSUS [synovial thickness, blood flow signal score, synovial artery resistance index (RI)] of patients with different disease activities were compared at admission. The diagnostic efficiency of quantitative parameters of these two imaging techniques for the disease activity of RA patients was analyzed by receiver operating characteristic curve (ROC). **Results:** There was no statistical significance in the detection rate of synovial hyperplasia in RA patients between the two imaging techniques ($P > 0.05$). The detection rate of bone erosion in RA patients by DCE-MRI was higher than that by MSUS while the detection rate of joint effusion was lower than that by MSUS ($P < 0.05$). At admission, the EER, MER, synovial thickness and blood flow signal score in active group were higher while the TTP and synovial artery RI were lower than those in inactive group ($P < 0.05$). ROC analysis showed that the areas under the ROC curves (AUCs) for EER, MER, TTP, synovial thickness, blood flow signal score and synovial artery RI were 0.788, 0.846, 0.806, 0.865, 0.626 and 0.819, the sensitivities were 75.61%, 92.68%, 70.73%, 78.05%, 87.80% and 75.61%,

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2021SF-254)

作者简介: 陈真 (1988 -), 男, 主治医师。E-mail: chenchen090423@163.com

通讯作者: 徐旋。E-mail: yasmyyxx@163.com

and the specificities were 71.43% ,64.29% ,76.79% ,78.57% ,32.14% and 82.14% , respectively ($P < 0.05$). **Conclusion:** Both DCE-MRI and MSUS have good diagnostic value on RA activity, but DCE-MRI has a higher detection rate of bone erosion in RA patients, while MSUS has a higher detection rate of joint effusion.

[Key words] Dynamic contrast-enhanced MRI; Musculoskeletal ultrasound; Rheumatoid arthritis; Activity; Diagnostic value

类风湿性关节炎 (rheumatoid arthritis, RA) 是导致关节畸形和残疾的慢性免疫性疾病,尤其是出现手和脚的关节炎和损伤,影响全球数百万人^[1]。RA 发病原因尚不完全清楚,主要包括关节病变及可能的全身症状(如疲劳和低热),而症状持续时间与其病情活动性相关^[2]。因此,准确及时评估 RA 的活动性对于制定治疗计划和预防关节损伤至关重要。传统的评估方法主要依靠临床评估、血液测试和影像学检查。血液检测可以发现特定的抗体(如类风湿因子和 CCP 抗体),而 X 光和 MRI 有助于评估关节的损伤程度,但均存在一定的局限性^[3]。随着医疗技术的不断提升,动态增强 MRI(DCE-MRI) 技术可通过注射造影剂来观察关节炎程度,能清晰显示滑膜增生和血管翳的形成,是 RA 活动性的重要标志^[4]。通过定量分析造影剂的扩散速度和范围,DCE-MRI 能够提供关于疾病活动性的详细信息,帮助医生判断疾病的严重程度,从而指导治疗决策^[5]。而肌骨超声(MSUS)则是一种无创、无辐射的检查方法,以其便捷、无创和经济的特点受到青睐,能够实时监测关节内的炎症反应(如滑膜增厚、关节积液和腱鞘炎等),这些改变通常与 RA 的活动性相关^[6]。MSUS 还可以用于引导关节穿刺和注射治疗,增加操作的准确性和安全性。有研究^[7]表明,MSUS 还能在临床缓解的 RA 患者中检测到亚临床炎症,并建议对已达到低疾病活动度或缓解的 b/tsDMARDs 治疗的 RA 患者进行评估。在过去 30 年中,关于 RA 中 MRI 和 MSUS 的研究数量呈指数级增长且图像质量和分辨率明显提高,这意味着有助于检测炎症和关节损伤的微妙区域^[8]。而目前国内已有类似研究比较 DCE-MRI 和 MSUS 在 RA 活动性诊断中的应用价值。有研究^[9]显示,两种方法都能清晰显示 RA 患者手关节的病理特征,并通过定量或半定量分析说明对 RA 活动性的诊断具有参考价值,但除了手关节,两种方法均尚未对 RA 患者其他关节病理特征进一步探讨。本研究旨在探讨 DCE-MRI 和 MSUS 对 RA 活动性的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2021 年 7 月至 2024 年 7 月延安市人民医院 97 例行 DCE-MRI 和 MSUS 检查的 RA 患者为研究对象,其中男性 54 例,女性 43 例;年龄($57.50 \pm$

7.60)岁;病程(2.51 ± 0.47)年。根据患者病情活动性分为活动组($n = 56$)与非活动组($n = 41$)。本研究经医院医学伦理委员会审核批准。纳入标准:(1)符合 RA 的诊断标准^[10],超过 3 个关节同时存在炎症;(2)年龄 ≥ 18 岁;(3)均接受 DCE-MRI 和 MSUS 两种影像学检查。排除标准:(1)存在类似症状的疾病,如银屑病关节炎、系统性红斑狼疮、痛风等;(2)既往有关节炎手术史;(3)存在传染性疾病或恶性肿瘤者。

1.2 方法

1.2.1 DCE-MRI 检查 患者仰卧在 MRI 扫描床上,根据检查部位调整体位,确保扫描区域位于主磁场中心。使用西门子 3.0T Prisma 核磁共振扫描仪进行常规 MRI 平扫,扫描序列包括矢状面和横轴面上的快速自旋回波(FSE)序列,分别获取 T1 加权像(T1WI)、T2 加权像(T2WI)以及短时反转恢复序列(STIR),以提供关节及其周围结构的初步信息。完成后注射 0.1 mL/kg 磁共振对比剂(速率为 2.5 mL/s),采用三维内插快速反转梯度回波序列(T1-3D-VIBE)连续采集图像,参数设置为重复时间(TR) 5.58 ms,回波时间(TE) 2.34 ms,层厚 2 mm,层间距 0.2 mm,视野(FOV) 120 mm \times 120 mm,通过这种高分辨率的扫描方式,对典型病理特征(骨侵蚀、关节积液、滑膜增生)进行观察。借助于 Functool 软件对图像数据进行分析,在强化明显的滑膜增厚部位手动选取 3 个感兴趣区域(ROI,ROI 的选择是基于图像上的显著增强区域,这些区域通常表示血流活跃的地方)进行分析,通过对每个 ROI 绘制时间-信号强度曲线,并精确计算出一系列包括早期强化率(EER)、最大强化率(MER)及达峰时间(TTP)在内的血流动力学参数。

1.2.2 MSUS 检查 患者根据检查部位的不同,采取不同的体位,如坐位或仰卧位,涂抹耦合剂于关节表面,使用彩色多普勒超声仪(GE-LOGIQ-E9 超声诊断仪)和合适的超声探头(高 7 ~ 18 MHz 线阵探头,并为探头配备无菌套)对患者手、腕等各关节进行检查,观察典型病理特征,并精确测量最厚部位滑膜厚度,正常情况下的滑膜厚度 < 2.0 mm,超过则为异常;根据滑膜血流信号进行评分^[11](评分系统分值为 0 ~ 3 分,分值越高越严重);对滑膜动脉血流阻力指数(RI)进行计算(脉冲多普勒技术提取彩色血流信号获得相关数据), $RI = [收缩期峰值流速$

$(V_{\max}) - \text{张末期流速}(V_{\min})] / V_{\max}$ 。

1.2.3 病情活动性评价 采用类风湿性关节炎疾病活动性评分系统(DAS28)评分^[12]评估,总分为10分,评分DAS28 ≥ 2.6 分为活动性,且分值越高,病情活动性越高。

1.3 观察指标

(1)DCE-MRI 和 MSUS 对 RA 患者典型病理特征的检出率:包括入院时对骨侵蚀、关节积液及滑膜增生的检出率。(2)不同活动性 RA 患者 DCE-MRI 检查的定量参数:包括入院时检查时早期强化率(EER)、最大强化率(MER)及达峰时间(TTP)。(3)不同活动性 RA 患者 MSUS 检查的定量参数:包括入院时检查时 EER、MER、TTP、滑膜厚度、血流信号评分、滑膜动脉 RI。(4)DCE-MRI 和 MSUS 定量参数对 RA 患者病情活动性的诊断效能。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件对数据进行处理与分析。计量资料符合正态分布且方差齐性,以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,组间比较行独立样本 t 检验;计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较行独立样本 χ^2 检验;诊断效能采用受试者工作特征(ROC)曲线分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 DCE-MRI 和 MSUS 对 RA 患者典型病理特征的检出率比较

DCE-MRI 和 MSUS 对 RA 患者滑膜增生的检出率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。DCE-MRI 对 RA 患者骨侵蚀的检出率高于 MSUS($P < 0.05$);对关节积液的检出率低于 MSUS($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 DCE-MRI 和 MSUS 对 RA 患者典型病理特征的检出率比较 $[n(\%)]$

方法	骨侵蚀	关节积液	滑膜增生
DCE-MRI($n=97$)	53(54.64)	63(64.95)	65(67.01)
MSUS($n=97$)	39(40.21)	77(79.38)	71(73.20)
χ^2 值	4.052	5.030	0.885
P 值	0.044	0.025	0.347

2.2 不同活动性 RA 患者 DCE-MRI 检查的定量参数比较

入院检查时,活动组 RA 患的 EER、MER 均高于非活动组;TTP 低于非活动组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

2.3 不同活动性 RA 患者 MSUS 检查的定量参数比较

入院检查时,活动组 RA 患者的滑膜厚度、血流

信号评分高于非活动组($P < 0.05$);滑膜动脉 RI 低于非活动组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 3。

表 2 不同活动性 RA 患者 DCE-MRI 检查结果比较 $(\bar{x} \pm s)$

组别	EER	MER	TTP(s)
活动组($n=56$)	1.16 \pm 0.19	1.68 \pm 0.24	3.39 \pm 0.58
非活动组($n=41$)	0.92 \pm 0.15	1.29 \pm 0.23	4.10 \pm 0.67
t 值	6.700	8.045	5.576
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

表 3 不同活动性 RA 患者 MSUS 检查结果比较 $(\bar{x} \pm s)$

组别	滑膜厚度(mm)	血流信号评分(分)	滑膜动脉 RI
活动组($n=56$)	4.56 \pm 0.71	2.23 \pm 0.46	0.73 \pm 0.17
非活动组($n=41$)	3.74 \pm 0.67	1.90 \pm 0.39	0.90 \pm 0.18
t 值	5.753	3.717	4.776
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

2.4 DCE-MRI 和 MSUS 定量参数对 RA 患者病情活动性的诊断效能

ROC 曲线分析显示,DCE-MRI 定量参数(EER、MER、TTP)及 MSUS 定量参数(滑膜厚度、血流信号评分、滑膜动脉 RI)均对 RA 患者病情活动性有较好的诊断效能($P < 0.05$)。见表 4。

表 4 DCE-MRI 和 MSUS 定量参数对 RA 患者病情活动性的诊断效能

参数	AUC 值	SE 值	95% CI	敏感度(%)	特异度(%)	约登指数	P 值
EER	0.788	0.047	0.693-0.865	75.61	71.43	0.470	<0.001
MER	0.846	0.038	0.759-0.911	92.68	64.29	0.570	<0.001
TTP	0.806	0.045	0.713-0.879	70.73	76.79	0.475	<0.001
滑膜厚度	0.865	0.037	0.780-0.926	78.05	78.57	0.566	<0.001
血流信号评分	0.626	0.047	0.522-0.722	87.80	32.14	0.200	0.007
滑膜动脉 RI	0.819	0.046	0.727-0.890	75.61	82.14	0.580	<0.001

3 讨论

本研究结果显示,DCE-MRI 和 MSUS 对 RA 患者滑膜增生的检出率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),表明二者在评估滑膜增生方面具有相似的诊断价值。DCE-MRI 对 RA 患者骨侵蚀的检出率高于 MSUS;对关节积液的检出率低于 MSUS($P < 0.05$),可能是因为 MSUS 在检测关节腔积液方面更为直接和敏感。DCE-MRI 通过动态监测对比剂在组织中的增强过程,可以更清晰地显示骨质侵蚀的情况,尤其是在 MRI 的 T1 加权序列上,增强后的滑膜和骨质侵蚀显示更为明确,有助于发现较小的骨侵蚀征象^[13]。而 MSUS 则能够实时观察到关节腔内的液体积聚,对关节积液的检测更为敏感^[14]。胡小丽等^[15]研究表明 MSUS 在评估 RA 患

者的病理特征上与 MRI 具有相当的效益。活动期 RA 患者的典型病理特征评分及 Slopemax、Ktrans、ERmax 值等参数指标均高于缓解期组,这些参数可以作为评估 RA 活动性的指标。两种影像技术的检测指标与 RA 活动性有较高的相关性,表明两种技术可以相互补充,联合使用可能有助于提高诊断的准确性和评估 RA 活动性。

ROC 曲线分析显示,DCE-MRI 和 MSUS 定量参数 EER、MER、TTP、滑膜厚度、血流信号评分、滑膜动脉 RI 等对 RA 活动性诊断的曲线下面积(AUC)分别是 0.788、0.846、0.806、0.865、0.626、0.819,表明两种影像技术在 RA 活动性诊断中都具有较高的诊断价值。这是因为当 RA 处于活跃期时,体内的免疫系统错误地攻击关节组织,导致炎症反应,不仅会引起关节肿胀和疼痛,还会影响关节内的血管系统,即炎症介质会使得血管壁变得松散,增加其通透性,同时还会导致关节内滑膜增生和血液流速改变,这些都能在 DCE-MRI 和 MSUS 的检测结果中得到体现^[16-17]。本研究成果可用于 RA 的诊断与监控,以往可能需要依赖更具侵入性的检查或者长时间的临床观察来确定病情,而现在通过此两项检查就能较为准确地评估 RA 的活动性。但 DCE-MRI 是一种昂贵的检查方法,且检查时间长,可能限制其在所有 RA 患者中的普遍应用;且其产生的图像需要专业的放射科医生进行解读,对于 RA 活动的评估可能不如 MSUS 直观。而 MSUS 检查时视野有限,无法对整个关节的解剖结构进行全面完整的显示,尤其是对于中轴关节,如骶髂关节和脊柱。故在临床实践中选择 DCE-MRI 或 MSUS 作为 RA 活动性评估的方法时,还需要综合考虑多种因素,如患者的具体情况、检查的可行性、成本效益比及医疗资源的可用性。

综上,DCE-MRI 和 MSUS 在检测 RA 患者的病理特征时各有所长,都能够为 RA 活动性的诊断和治疗提供重要信息。

参考文献

[1] Jang S, Kwon E-J, Lee JJ. Rheumatoid arthritis: pathogenic roles of diverse immune cells[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(2):905.
[2] Zeng J, Liu X, Liu J, et al. Linkage of calprotectin with inflammation, activity and treatment response of rheumatoid arthritis: a meta-analysis[J]. *Biomarkers in Medicine*, 2022, 16(17):1239-1249.
[3] Abdelhafiz D, Baker T, Glasgow DA, et al. Biomarkers for the diagnosis and treatment of rheumatoid arthritis-a systematic review[J].

Postgraduate Medicine, 2023, 135(3):214-223.
[4] Ulas ST, Hermann KG, Makowski MR, et al. Perfusion in hand arthritis on dynamic contrast-enhanced computed tomography: a randomized prospective study using MRI as a standard of reference [J]. *Skeletal Radiology*, 2021, 50(1):59-68.
[5] Yu M, Mori N, Izumiyama T, et al. Mathematical model for histogram analysis of dynamic contrast-enhanced MRI: a method to evaluate the drug treatment response in rheumatoid arthritis[J]. *European Journal of Radiology*, 2021, 141:109831.
[6] 韩雪莉,崔智飞,杨玉娇. 肌骨超声对类风湿性指关节炎病情活动性及炎性病变评估临床研究[J]. *深圳中西医结合杂志*, 2023, 33(22):22-26,137.
[7] Chen CC, Chen DY. The clinical utility of musculoskeletal ultrasound for disease activity evaluation and therapeutic response prediction in rheumatoid arthritis patients: a narrative review [J]. *Journal of Medical Ultrasound*, 2023, 31(4):275-281.
[8] Ranganath VK, Hammer HB, McQueen FM. Contemporary imaging of rheumatoid arthritis: clinical role of ultrasound and MRI [J]. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 2020, 34(6):101593.
[9] 刘元君. 动态增强 MRI 和肌骨超声对类风湿关节炎活动性的诊断价值比较[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2021, 19(5):173-176.
[10] 中华医学会风湿病学分会. 2018 中国类风湿关节炎诊疗指南 [J]. *中华内科杂志*, 2018, 57(4):242-251.
[11] 何丽君,何芸,覃折波,等. 2017 欧洲抗风湿联盟类风湿关节炎超声评分法临床应用的可行性研究 [J]. *第三军医大学学报*, 2021, 43(9):863-870.
[12] Van Riel PLCM, Renskers L. The Disease Activity Score (DAS) and the Disease Activity Score using 28 joint counts (DAS28) in the management of rheumatoid arthritis [J]. *Clinical and Experimental Rheumatology*, 2016, 34(5 Suppl 101):S40-S44.
[13] Tripathi D, Awasthi R, Agarwal V, et al. Diffusion tensor and dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging correlate with molecular markers of inflammation in the synovium [J]. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 2022, 12(12):3041.
[14] Song PZ, Wu N, Huo C, et al. Correlation analysis and clinical significance of Musculoskeletal Ultrasound semi-quantitative grading with bone salt metabolism, Rheumatoid factor and Erythrocyte Sedimentation rate in patients with Rheumatoid Arthritis [J]. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 2023, 39(6):1652-1656.
[15] 胡小丽,谷颖,蔡燕,等. 肌骨超声评价类风湿性指关节炎的病理特征及炎性病变 [J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(20):3182-3187.
[16] 朱永涛,回瑾,郭玲,等. 肌肉骨骼超声与 MRI 诊断类风湿性膝关节炎及评估其活动度的价值比较 [J]. *长春中医药大学学报*, 2022, 38(11):1253-1257.
[17] Xiao F, Griffith JF, Ko JKL, et al. MRI wrist in early rheumatoid arthritis: reduction in inflammation assessed quantitatively during treatment period correlates best with clinical improvement [J]. *Skeletal Radiology*, 2021, 50(7):1337-1345.

(收稿日期:2024-09-20

修回日期:2024-10-27)