

磁共振成像诊断冈上肌腱撕裂的临床价值

李传玉¹, 曾倩¹, 邓超²

(1. 内江市中医医院放射科; 2. 内江市第一人民医院放射科, 四川 内江 641000)

【摘要】目的: 探讨磁共振成像(MRI)在冈上肌腱撕裂中的诊断价值。**方法:** 选取 105 例肩关节病变患者为研究对象, 依据是否存在冈上肌腱损伤分为对照组($n=23$)和撕裂组($n=82$)。两组均行肩关节 MRI 检查, 以关节镜为“金标准”, 分析 MRI 对冈上肌腱撕裂的诊断效能; 将撕裂组患者再按损伤程度分为退变组($n=22$)、部分撕裂组($n=30$)及完全撕裂组($n=30$), 比较对照组与不同损伤程度组患者定量 MRI 参数[弥散加权成像(DWI)信号强度、表观扩散系数(ADC)值与肌腱厚度], 分析其与冈上肌腱撕裂损伤程度的相关性以及对撕裂和单纯退变的鉴别诊断价值。**结果:** MRI 诊断冈上肌腱撕裂敏感度、特异度、准确率分别为 95.00%、95.56%、95.24%。DWI 信号强度与 ADC 值随损伤加重递增, 肌腱厚度在部分撕裂组达峰后下降($P<0.05$), 且二者与冈上肌腱撕裂损伤程度均呈正相关关系($r=0.891, 0.832, P<0.05$)。受试者工作特征(ROC)曲线分析显示, ADC 值、DWI 信号强度鉴别撕裂与单纯退变的曲线下面积(AUC)分别为 0.812、0.899, 联合鉴别的 AUC 为 0.942; 肌腱厚度鉴别的 AUC 为 0.630。**结论:** MRI 对冈上肌腱撕裂诊断确切, DWI 信号强度与 ADC 值可反映损伤程度, 二者联合可提升诊断效能, 肌腱厚度可为损伤分期提供补充信息。

【关键词】 冈上肌腱撕裂; 磁共振成像; 医学影像技术; 临床诊断; 诊断价值

【中图分类号】 R687; R445 **【文献标志码】** A

Clinical value of magnetic resonance imaging in diagnosing supraspinatus tendon tears

LI Chuan-yu¹, ZENG Qian¹, DENG Chao²

(Department of Radiology, 1. Neijiang Hospital of Traditional Chinese Medicine; 2. The First People's Hospital of Neijiang, Neijiang 641000, Sichuan, China)

【Abstract】Objective: To investigate the diagnostic value of magnetic resonance imaging (MRI) in supraspinatus tendon tears. **Methods:** 105 patients with shoulder joint lesions were selected as the research subjects and divided into a control group ($n=23$) and a tear group ($n=82$) based on the presence of supraspinatus tendon injury. All patients underwent shoulder MRI examination. Using arthroscopy as the “gold standard”, the diagnostic efficacy of MRI was calculated. Patients in the tear group were divided into degeneration group ($n=22$), partial tear group ($n=30$), and complete tear group ($n=30$) according to the degree of injury. The quantitative MRI parameters [diffusion-weighted imaging (DWI) signal intensity, apparent diffusion coefficient (ADC) value, and tendon thickness] between the control group and patients with different degrees of injury were compared, and the correlation with the degree of supraspinatus tendon tear injury, and their diagnostic value for distinguishing tear from simple degeneration were analyzed. **Results:** The sensitivity, specificity, and accuracy of MRI in diagnosing supraspinatus tendon tears were 95.00%, 95.56%, and 95.24%, respectively. DWI signal intensity and ADC values increased with the aggravation of injury, while tendon thickness peaked in the partial tear group and then decreased ($P<0.05$). Both DWI signal intensity and ADC values showed a positive correlation with the degree of injury ($r=0.891, 0.832, P<0.05$). ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) of ADC values and DWI signal intensity for distinguishing tears from simple degeneration was 0.812 and 0.899, respectively, and the AUC increased to 0.942 when combined. The AUC of tendon thickness was 0.630. **Conclusion:** MRI has a definite diagnostic effect on supraspinatus tendon tears. DWI signal intensity and ADC values can reflect the severity of injury, and their combination improves the differential diagnostic efficiency. As a morphological indicator, tendon thickness provides supplementary information for injury staging.

【Key words】 Supraspinatus tendon tear; Magnetic resonance imaging; Medical imaging technology; Clinical diagnosis; Diagnostic value

肩袖损伤是导致肩关节疼痛与功能障碍的首要原因,其中冈上肌腱作为解剖结构与生物力学的薄弱点,具有较高损伤风险^[1]。目前,磁共振成像(MRI)是诊断冈上肌腱损伤的重要方法,能有效显示肌腱的形态学改变,具有较高的诊断价值^[2-3]。但临床实践表明,MRI对早期肌腱退变与部分撕裂的鉴别及对损伤预后的评估仍存在挑战。传统的半定量分级系统主观性强,难以精确量化^[4-5],而随着定量MRI技术的发展,新兴的成像序列为解决这一问题提供了新途径。弥散加权成像(diffusion weighted imaging,DWI)序列可反映组织内水分子扩散受限情况;表观扩散系数(apparent diffusion coefficient,ADC)可量化水分子扩散能力;肌腱厚度是直观的形态学指标,三者临床已展现出一定应用潜能^[6-7]。本研究旨在探讨MRI在冈上肌腱撕裂中的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2022年9月至2025年9月内江市中医医院收治的105例肩关节病变患者为研究对象,依据是否存在冈上肌腱损伤分为对照组($n=23$)和撕裂组($n=82$);撕裂组患者再按损伤程度分为退变组($n=22$)、部分撕裂组($n=30$)及完全撕裂组($n=30$)。本研究经医院医学伦理委员会审批,患者知情同意。对照组和撕裂组、撕裂组不同损伤程度患者一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表1及表2。纳入标准:(1)存在肩关节疼痛、外展无力或活动范围受限等临床症状;(2)体格检查存在肩峰下撞击征阳性、Neer征或Hawkins征阳性、空罐试验阳性等阳性体征;(3)均完成肩关节MRI平扫检查;(4)临床资料完整。排除标准:(1)肩关节局部存在既往手术史或骨折史者;(2)患有肩关节肿瘤、结核、化脓性感染等非损伤性疾病的患者;(3)合并有颈椎病、臂丛神经损伤等可能引起肩部放射性疼痛的其他疾病;(4)MRI图像存在严重伪影,影响诊断评估者;(5)临床资料不全,无法获得最终明确诊断者。

1.2 方法

1.2.1 MRI检查采用超导型磁共振扫描仪(美国通用公司,1.5T)行肩关节MRI扫描:患者取仰卧位,患侧上肢置于身体旁并处于自然外旋中立位,掌心向上,用沙袋固定以确保扫描过程中无移动。扫描中心定于肱骨头中心,扫描范围上自肩锁关节,下至肱骨外科颈下方,完整覆盖肩袖结构。扫描序列包括肩关节常规形态学序列与定量成像序列。见表3。

表1 对照组与撕裂组患者一般资料比较 $[\bar{x}\pm s,n(\%)]$

资料	对照组($n=23$)	撕裂组($n=82$)	χ^2/t 值	P 值
性别			0.021	0.886
男	14(60.87)	48(58.54)		
女	9(39.13)	34(41.46)		
年龄(岁)	45.21 $\pm$ 10.35	49.46 $\pm$ 9.95	1.782	0.078
体质量指数(kg/m ²)	23.56 $\pm$ 2.14	24.07 $\pm$ 2.10	1.029	0.306
患侧			0.021	0.886
左	5(21.74)	17(20.73)		
右	18(78.26)	65(79.27)		
运动级别			0.784	0.376
业余运动爱好者	18(78.26)	63(76.83)		
专业运动员	5(21.74)	19(23.17)		

表2 撕裂组不同损伤程度患者一般资料比较 $[\bar{x}\pm s,n(\%),M(Q_1,Q_3)]$

资料	退变组 ($n=22$)	部分撕裂组 ($n=30$)	完全撕裂组 ($n=30$)	χ^2/H 值	P 值
病程(月)	5.00(3.25,7.75)	6.00(3.00,9.75)	6.50(3.00,10.25)	0.892	0.640
优势手与患病侧一致	15(68.18)	22(73.33)	21(70.00)	0.182	0.913
损伤原因				3.451	0.750
急性创伤	4(18.18)	7(23.33)	8(26.67)		
慢性劳损/过用	16(72.73)	20(66.67)	19(63.33)		
不明/隐匿性	2(9.09)	3(10.00)	3(10.00)		
既往治疗史				1.245	0.870
无	8(36.36)	13(43.33)	14(46.67)		
物理治疗/药物	14(63.64)	17(56.67)	16(53.33)		

表3 肩关节MRI扫描序列及参数

序列类型	方位	TR(ms)	TE (ms)	层厚/层间距 (mm)	矩阵	FOV
T ₁ WI	轴位	520	12	4.0/0.4	320×256	160mm×160mm
PD-FS	轴位、斜冠状位、斜矢状位	3 000	35	4.0/0.4	320×224	160mm×160mm
T ₂ WI	斜冠状位	3 500	85	4.0/0.4	320×224	160mm×160mm
DWI	轴位、斜冠状位	4 000	80	4.0/0.4	320×224	160mm×160mm

1.2.2 图像后处理与分析 所有图像均传输至后处理工作站进行分析。(1)常规序列分析:由两名不知晓最终诊断结果的副主任医师独立阅片,评估冈上肌腱的形态、信号及连续性,判断是否存在撕裂及其类型。(2)DWI信号强度与ADC值:在DWI($b=1\,000\text{ s/mm}^2$)斜冠状位图像上,于冈上肌腱最厚处的实质区域手动勾画感兴趣区(ROI),避开肉眼可见的撕裂裂隙、积液及筋膜组织。系统自动计算ADC值,DWI信号强度以灰度值量化,二者均测量

三次取平均值。(3)肌腱厚度:在 PD-FS 序列斜冠状位图像上,于冈上肌腱中点处垂直于肌腱长轴勾画直线,测量肌腱上下缘之间的距离,避开钙化、积液及撕裂区域,测量 3 次取平均值。

1.3 观察指标

(1)MRI 对冈上肌腱撕裂诊断效能:以关节镜检查结果为“金标准”,包括 MRI 序列(PD-FS、 T_2 WI)诊断的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值及阴性预测值。(2)对照组和不同冈上肌腱撕裂损伤程度组 MRI 参数:ADC 值、DWI 信号强度及肌腱厚度。(3)MRI 参数与冈上肌腱损伤程度的相关性。(4)MRI 参数对肌腱撕裂与单纯退变的鉴别诊断价值。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件对数据处理与分析。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,多组间比较采用单因素方差分析,进一步两两比较采用 SNK- q 检验;不符合正态分布的计量资料以 $[M(Q_1, Q_3)]$ 表示,组间比较行 Kruskal-Wallis H 秩和检验;计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较行独立样本 χ^2 检验;相关性采用 Spearman 秩相关系数分析;诊断效能采用受试者工作特征(ROC)曲线分析;诊断结果的一致性检验采用 $Kappa$ 分析,测量结果的一致性采用 Pearson 线性相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 MRI 对冈上肌腱撕裂的诊断效能及一致性

以关节镜结果为金标准,MRI 诊断冈上肌腱撕裂的敏感度为 95.00%(57/60),特异度为 95.56%(43/45),准确率为 95.24%(100/105),阳性预测值

为 96.61%(57/59),阴性预测值为 93.48%(43/46)。两名医师在 MRI 诊断结果上的一致性极好($Kappa = 0.892, P < 0.05$)。定量参数测量结果显示,DWI 信号强度的组内相关系数为 0.945($P < 0.05$),ADC 值组内相关系数为 0.921($P < 0.05$),肌腱厚度测量的组内相关系数为 0.932($P < 0.05$),表明测量结果具有极高的一致性。见表 4。

表 4 MRI 诊断冈上肌腱撕裂的结果与金标准比较
($n = 105$)

MRI 诊断	撕裂	非撕裂	合计
阳性	57	2	59
阴性	3	43	46
合计	60	45	105

2.2 对照组和不同冈上肌腱撕裂损伤程度组 MRI 参数比较

DWI 信号强度与 ADC 值均随损伤程度的加重而递增,组间比较,差异有统计学意义($P < 0.05$);而肌腱厚度则呈现先增后减的变化:从退变组到部分撕裂组增厚,但在完全撕裂组出现下降,组间比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 5。

2.3 MRI 参数与冈上肌腱损伤程度的相关性

相关性分析显示,DWI 信号强度与 ADC 值均与冈上肌腱损伤程度呈正相关($r = 0.891、0.832, P < 0.05$)。

2.4 MRI 参数对肌腱撕裂与单纯退变的鉴别诊断价值

ROC 曲线分析结果显示,DWI 信号强度、ADC 值、肌腱厚度对肌腱撕裂与单纯退变均有鉴别诊断价值($P < 0.05$),且 DWI 信号强度与 ADC 值联合诊断的价值更高($P < 0.05$)。见表 6 及图 1。

表 5 对照组和不同冈上肌腱撕裂损伤程度组 MRI 参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	DWI 信号强度	F 值	P 值	ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	F 值	P 值	肌腱厚度(mm)	F 值	P 值
对照组($n = 23$)	450.2 $\pm$ 75.3			1.25 $\pm$ 0.15			4.27 $\pm$ 0.51		
退变组($n = 22$)	580.5 $\pm$ 82.1 ^①	225.466	<0.001	1.45 $\pm$ 0.18 ^①	98.743	<0.001	5.86 $\pm$ 0.71 ^①	150.321	<0.001
部分撕裂组($n = 30$)	720.8 $\pm$ 95.6 ^{①②}			1.68 $\pm$ 0.22 ^{①②}			6.93 $\pm$ 0.92 ^{①②}		
完全撕裂组($n = 30$)	850.4 $\pm$ 120.7 ^{①②③}			2.05 $\pm$ 0.30 ^{①②③}			5.12 $\pm$ 1.16 ^{①②③}		

① $P < 0.05$;与对照组比较;② $P < 0.05$,与退变组比较;③ $P < 0.05$,与部分撕裂组比较。

表 6 MRI 参数对肌腱撕裂与单纯退变的鉴别诊断价值

参数	AUC 值	95%CI	截断值	敏感度(%)	特异度(%)	P 值	约登指数
DWI 信号强度	0.899	0.813~0.955	651.96	78.33	95.45	<0.001	0.738
ADC	0.812	0.710~0.890	$1.59 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	76.67	77.27	<0.001	0.539
肌腱厚度	0.630	0.516~0.734	6.3 mm	45.00	95.45	0.0302	0.405
DWI 信号强度+ADC	0.942	0.867~0.981		88.33	95.45	<0.001	0.838

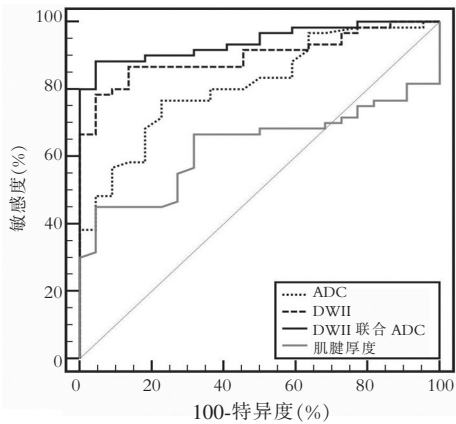


图1 MRI参数对肌腱撕裂与单纯退变鉴别诊断价值的ROC曲线

2.5 典型病例

典型病例见图2-4。

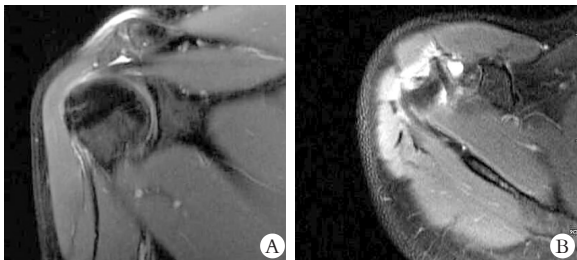


图2 典型病例1(MRI)

患者1,男,55岁,图A冠状位和图B横断位图像显示冈上肌腱断裂。



图3 典型病例2(MRI)

患者2,女,54岁,图A斜矢状位和图B冠状位图像显示冈上肌肌腱大部分断裂。

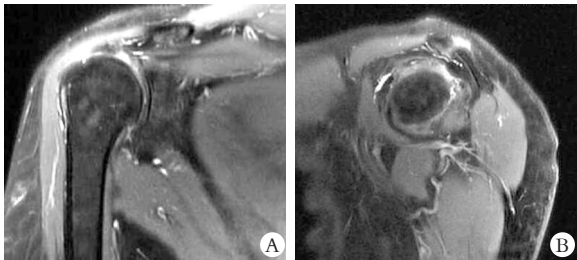


图4 典型病例3(MRI)

患者3,女,66岁,图A冠状位和图B斜矢状位图像显示冈上肌肌腱断裂。

3 讨论

随着肩关节疾病发病率的上升,冈上肌腱撕裂

的早期精准诊断成为临床关注的焦点。传统MRI虽在形态学评估中占据主导地位,但对肌腱早期退变、部分撕裂的鉴别能力有限,且依赖医师主观经验。近年来,定量MRI技术通过客观反映组织内水分子动态与脂肪浸润程度,为肌腱损伤的生物学评估提供新视角。本研究将常规序列与定量参数相结合,不仅验证MRI的整体诊断效能,同时深入探讨ADC值、DWI信号强度及肌腱厚度在损伤分级中的鉴别价值,为构建更系统、客观的影像评估体系提供一定依据。

本研究结果显示,MRI序列诊断冈上肌腱撕裂的敏感度为95.00%,特异度为95.56%,准确率达95.24%,与既往研究报道^[8-9]一致。其中高敏感度提示MRI能有效捕捉绝大多数真实存在的撕裂,避免漏诊,而高特异度则表明其能较好地区分非撕裂性病变,减少误诊,但结果中仍存在3例假阴性与2例假阳性,提示MRI在鉴别严重退变与微小部分撕裂、或合并严重滑膜炎时仍存在一定误诊风险,造成这一现象的原因可能在于MRI对微观结构与生化环境改变的辨识不足。DWI信号强度与ADC值均随损伤加重而升高($P<0.05$),分析原因为ADC值升高揭示组织水肿、纤维结构崩解导致的水分子扩散能力增强,正常肌腱胶原纤维排列紧密,水分子弥散受限明显,ADC值较低,而随着损伤加重,胶原纤维断裂、排列紊乱,水分子弥散空间增大,弥散受限减轻,故ADC值逐渐升高^[10-11]。DWI信号强度升高主要反映损伤后细胞水肿、炎性浸润导致的水分子扩散受限,损伤后弥散运动增强,导致DWI信号强度明显升高^[12-13]。二者从不同角度共同印证肌腱的进行性病理改变。尤为重要的是,本研究观察到肌腱厚度随损伤演变呈现一种动态规律,即从退变组到部分撕裂组,肌腱因水肿、增生而显著增厚,但在完全撕裂组,厚度却出现下降。这一“先增后减”的趋势精准反映肩袖损伤的病理演变过程,其早期以炎症增生为主导,故而表现为增厚,而至晚期则以肌腱磨损、消蚀与回缩为主导,表现为变薄^[14-15]。这解释了为何肌腱厚度与损伤程度并非呈现简单的线性关系,同时提示其具有作为独立分期指标的价值。ROC曲线分析结果显示,单独使用DWI信号强度($AUC=0.899$)或ADC值($AUC=0.812$)均能较好地鉴别肌腱撕裂与单纯退变,而当二者联合时, AUC 提升至0.942,表明DWI信号强度与ADC的联合模型有助于弥补单一参数的不足,为临床诊断提供更全面的补充判断依据。尽管肌腱厚度单独亦展现出一定的诊断价值($AUC=0.630$),但本研究未将其与DWI信号强度及ADC值共同纳入联合诊

断模型,主要考虑到肌腱厚度与损伤程度并非简单的线性关系,与 DWI 信号强度、ADC 值所反映的水分子扩散功能改变在生物学基础上存在本质差异^[16-17],若在联合模型中强行引入此形态学指标,其在不同阶段的相反变化趋势可能引入噪声,干扰并削弱功能学参数所提供的、指向组织完整性渐进式丧失的一致信号,反而不利于构建一个高效的鉴别诊断体系。但肌腱厚度的动态变化本身是评估损伤所处病理阶段的形态学标志,为临床制定个体化治疗策略提供 DWI 与 ADC 之外的重要补充信息。

综上,MRI 在诊断冈上肌腱撕裂中具有高准确性,DWI 信号强度与 ADC 值作为客观定量指标,能有效反映损伤程度并提高鉴别诊断能力,将其联合使用的诊断价值更高,结合肌腱厚度的补充信息,可为临床提供更全面、精准的评估手段,具有重要的推广价值。

参考文献

- [1] 尹正勃,陈志安,尹妮,等. 肩袖损伤修复的生物治疗进展及展望[J]. 中国修复重建外科杂志,2023,37(9):1169—1176.
- [2] Fitzpatrick LA, Atinga A, White L, *et al.* Rotator cuff injury and repair[J]. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 2022, 26(5):585—596.
- [3] Horowitz EH, Aibinder WR. Shoulder impingement syndrome[J]. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 2023, 34(2):311—334.
- [4] 余浪波,卿明松,赵春涛,等. 动态对比增强 MRI 在骨科临床应用中的热点问题[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(3):449—455.
- [5] Plancher KD, Shanmugam J, Briggs K, *et al.* Diagnosis and management of partial thickness rotator cuff tears: a comprehensive review[J]. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 2021, 29(24):1031—1043.
- [6] Van Den Berghe T, Verstraete KL, Lecouvet FE, *et al.* Review of diffusion-weighted imaging and dynamic contrast-enhanced MRI for multiple myeloma and its precursors (monoclonal gammopathy of undetermined significance and smouldering myeloma)[J]. *Skeletal Radiology*, 2022, 51(1):101—122.
- [7] Teng L, Huang M, Tao H, *et al.* Evaluation of IVIM and FACT imaging for early detection of rotator cuff muscle degeneration and physiotherapy exercise effects[J]. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2025, 7:1688162.
- [8] Zhan J, Liu S, Dong C, *et al.* Shoulder MRI-based radiomics for diagnosis and severity staging assessment of surgically treated supraspinatus tendon tears[J]. *European Radiology*, 2023, 33(8):5587—5593.
- [9] Longo UG, Mazzola A, Magri F, *et al.* Histological, radiological and clinical analysis of the supraspinatus tendon and muscle in rotator cuff tears[J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2023, 24(1):127.
- [10] Yokohama T, Iwasaki M, Oura D, *et al.* Increased muscle fiber fractional anisotropy value using diffusion tensor imaging after compression without fiber injury[J]. *Acta Radiologica*, 2023, 64(1):139—146.
- [11] Chen Y, Yang P, Fu C, *et al.* Variabilities in apparent diffusion coefficient (ADC) measurements of the spleen and the paraspinous muscle: a single center large cohort study[J]. *Heliyon*, 2023, 9(7):e18166.
- [12] Tous C, Jodoin A, Pontré B, *et al.* Characterizing the myoarchitecture of the supraspinatus and infraspinatus muscles with MRI using diffusion tensor imaging[J]. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2024, 59(3):851—862.
- [13] Amaya J, Lue B, Silva FD, *et al.* Diffusion-weighted MR imaging and utility of ADC measurements in characterizing nerve and muscle changes in diabetic patients on ankle DWI studies: a cross-sectional study[J]. *European Radiology*, 2023, 33(7):4855—4863.
- [14] 宁梓文,施政良,杨光,等. 冈上肌腱撕裂术后肌腱愈合评估方法[J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36(9):1172—1177.
- [15] 颜华伦,壮健,朱韦文,等. 肌骨超声联合剪切波弹性成像在不同类型肩袖撕裂术后评估中的临床应用[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2025, 22(6):527—534.
- [16] 孙海涛,冯银波,詹德平,等. 冈上肌腱撕裂术前 MRI 测量与术中所见对比[J]. 中国矫形外科杂志, 2025, 33(9):856—860.
- [17] 潘小文,高艳,但倩,等. MRI 诊断肩袖损伤及撕裂程度的临床应用观察[J]. 河北医学, 2024, 30(6):951—955.

(收稿日期:2025—11—02)

修回日期:2026—01—16)