·基层园地·

肌骨超声联合超声弹性成像参数对肩袖撕裂术后再撕裂的预测价值

张宏坤，徐鲁

【摘要】目的　探讨肌骨超声（MSUS）联合超声弹性成像（UE）参数对肩袖撕裂术后再撕裂的预测价值。**方法**　本研究为回顾性观察性研究。纳入 2022 年 2 月至 2025 年 1 月于新昌县人民医院确诊并经手术治疗的肩袖撕裂患者 185 例，所有患者均在术前 1 周内完成 MSUS、UE 检查。术后进行为期 6 个月的随访，以随访期间再撕裂情况分为再撕裂组和愈合良好组。比较两组基线资料、MSUS 参数、UE 参数，采用 Logistic 多因素回归分析法筛选影响肩袖撕裂术后再撕裂的危险因素。绘制受试者工作特征（ROC）曲线，评估 MSUS 联合 UE 参数对肩袖撕裂术后再撕裂的预测价值。**结果**　截至末次随访，40 例出现术后再撕裂（再撕裂组），145 例愈合良好（愈合良好组）。两组性别、年龄、体质量指数、基础疾病等基线资料差异均无统计学意义（均 $P > 0.05$）。与愈合良好组比较，再撕裂组表现出更薄的肌腱厚度、更小的肌腱横截面积、更深的肌腱鞘积液、更低的杨氏模量及更慢的剪切波速度（均 $P < 0.05$）。Logistic 多因素回归分析结果显示，肌腱厚度薄[*OR*（95%*CI*）=1.866（1.317 ～ 2.416）]、肌腱横截面积小[*OR*（95%*CI*）=1.826（1.315 ～ 2.337）]、肌腱鞘积液深度深[*OR*（95%*CI*）=1.839（1.323 ～ 2.354）]、杨氏模量值低[*OR*（95%*CI*）=1.808（1.506 ～ 2.109）]及剪切波速度慢[*OR*（95%*CI*）=1.813（1.501 ～ 2.125）]均为影响肩袖撕裂术后再撕裂的独立危险因素（均 $P < 0.05$）。ROC 曲线显示，MSUS 联合 UE 参数预测肩袖撕裂术后再撕裂的曲线下面积（*AUC*）为 0.937，均高于 MSUS 参数（*AUC*=0.841）、UE 参数（*AUC*=0.832）单独检测（*Z*=2.852、3.022，均 $P < 0.05$）。**结论**　肌腱厚度、肌腱横截面积、肌腱鞘积液深度、杨氏模量值及剪切波速度均是影响肩袖撕裂术后再撕裂的因素。联合 MSUS 参数、UE 参数的模型预测肩袖撕裂术后再撕裂的预测效能较高。

【关键词】　肩袖撕裂；术后再撕裂；肌骨超声；超声弹性成像；预测
DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.03.023
【中图分类号】　R687.4　**【文献标志码】**　A　**【文章编号】**　1671-0800(2026)03-0313-04

肩袖撕裂是常见肌腱损伤性疾病，发病率随人口老龄化加剧及高强度运动人群扩大而呈逐年上升趋势，在中老年群体中发病率可达 20%以上[1-2]。随着关节镜技术的不断发展，肩袖修补术已成为治疗中重度肩袖撕裂的首选方案。然而，肩袖修补术虽可有效改善肩袖撕裂患者疼痛症状与关节活动度，但术后再撕裂发生率为 15%～ 40%，且再撕裂后，患者不仅要面临二次治疗的生理与经济负担，肩关节功能恢复效果亦显著下降，长期治疗效果及预后欠佳[3]。研究证实，肌骨超声（MSUS）参数、超声弹性成像（UE）参数均与肩袖修补术术后再撕裂显著相关[4-5]。MSUS 是常规超声的进阶技术，可通过高分辨率探头清晰显示肌腱钙化、肌腱鞘及肩峰下滑囊积液等细微结构变化，显著提升对肌腱结构异常的识别精度[6]。UE 是近年来新兴的功能影像学技术，可通过杨氏模量值、剪切波速度等参数量化肌腱硬度与弹性特征，直接反映肌腱纤维愈合的力学状态[7]。因此，本研究将 MSUS 的结构评估优势与 UE 的功能评估优势结合，联合预测肩袖撕裂手术患者术后再撕裂的风险，现报道如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料　本研究为回顾性观察性研究。纳入 2022 年 2 月至 2025 年 1 月在新昌县人民医院确诊并经手术治疗的肩袖撕裂患者 185 例。纳入标准：（1）综合临床症状、体征及磁共振成像检查结果，确诊为单侧肩袖全层撕裂；（2）实施关节镜下肩袖修补术，且术前 1 周内于本院完成规范 MSUS、UE 检查；（3）年龄＞ 18 周岁，依从性良好。排除标准：（1）既往有肩部手术史；（2）合并恶性肿瘤、功能性器官严重病变或急慢性感染；（3）合并免疫系统疾病、血液系统疾病或

作者单位：　312500 新昌，新昌县人民医院
通信作者：　张宏坤，Email：13967595936@163.com

严重过敏体质；(4) 合并认知障碍、精神疾病等可能影响认知功能的疾病。本研究获得新昌县人民医院医学伦理委员会批准{[2020]第(3 号)}，所有研究者均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.2　方法

1.2.1　临床资料收集　基线资料包括性别、年龄、体质量指数、基础疾病、患侧、撕裂原因及症状持续时间等。MSUS 参数包括肌腱钙化、肌腱回声强度、肌腱厚度、肌腱横截面积、肌腱鞘积液深度及肩峰下滑囊积液深度。UE 参数包括杨氏模量值、剪切波速度及应变比。

1.2.2　随访及分组　术后采用定期复查的方式进行为期 6 个月的随访。依据术后恢复情况，由 2 名不知晓患者临床资料的高年资超声影像科医师根据随访期间采集的影像学图像双盲判定患者是否发生术后再撕裂。术后再撕裂影像学判断标准（满足以下任一条件）：(1) 结构性中断，肌腱于骨附着处或腱体部分出现明确的连续性中断，可见无回声或低回声裂隙贯穿肌腱全层；(2) 形态学显著恶化，肌腱局部出现扩大的低回声区或无回声区，残余肌腱最薄处厚度较术前对应位置减少≥30%。采用组内相关系数(*ICC*)评价 2 名医师评估结果的一致性，*ICC*≥0.75 提示一致性良好；若 *ICC* ＜ 0.75，2 名医师协商确定最终评估结果。将随访期间发生术后再撕裂的患者纳入再撕裂组，其余患者纳入愈合良好组。

1.3　统计方法　使用 SPSS 26.0 软件进行数据分析，计量资料以均数±标准差表示，采用独立样本 *t* 检验；计数资料采用 χ^2 检验。采用 Logistic 多因素回归分析法筛选危险因素。绘制受试者工作特征(ROC)曲线评估预测效能，DeLong 检验评估曲线下面积(*AUC*)差异性。*P* ＜ 0.05 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　再撕裂发生情况　截至末次随访，40 例出现术后再撕裂(再撕裂组)，发生率 21.62%(40/185)；145 例愈合良好(愈合良好组)。两组性别、年龄、体质量指数、基础疾病、患侧、撕裂原因及症状持续时间等方面差异均无统计学意义(均 *P* ＞ 0.05)，见表 1。

2.2　两组 MSUS、UE 参数比较　与愈合良好组比较，再撕裂组表现出更薄的肌腱厚度、更小的肌腱横截面积、更深的肌腱鞘积液、更低的杨氏模量及更慢的剪切波速度(均 *P* ＜ 0.05)，见表 2。

2.3　肩袖撕裂术后再撕裂的独立危险因素　将术后再撕裂(发生=1、未发生=0)作为因变量，表 2 中差异有统计学意义的指标作为自变量，采用向前逐步回归法纳入 Logistic 多因素回归分析模型。结果显示，肌腱厚度、肌腱横截面积、肌腱鞘积液深度、杨氏模量值及剪切波速度均是肩袖撕裂术后再撕裂的影响因素(均 *P* ＜ 0.05)，且各影响因素间不存在共线性(方差膨胀因子均＜ 10)，见表 3。

2.4　MSUS 联合 UE 参数对肩袖撕裂手术患者术后再撕裂的预测价值　ROC 曲线结果显示，MSUS 联合 UE 参数预测肩袖撕裂手术患者术后再撕裂的 *AUC* 为 0.937，均高于 MSUS 参数(*AUC*=0.841)、UE

表 1　两组基线资料比较

指标	再撕裂组(*n*=40)	愈合良好组(*n*=145)	χ^2(*t*)值	*P* 值
性别[例(%)]			0.12	＞0.05
男性	26(65.00)	90(62.07)		
女性	14(35.00)	55(37.93)		
年龄(岁)	55.0±8.2	54.4±8.1	(0.42)	＞0.05
体质量指数(kg/m^2)	23.20±1.23	23.06±1.23	(0.63)	＞0.05
基础疾病[例(%)]				
高血压	8(20.00)	20(13.79)	0.94	＞0.05
糖尿病	5(12.50)	12(8.28)	0.67	＞0.05
患侧[例(%)]			0.11	＞0.05
左侧	22(55.00)	84(57.93)		
右侧	18(45.00)	61(42.07)		
撕裂原因[例(%)]			0.07	＞0.05
外伤	11(27.50)	43(29.66)		
劳损	29(72.50)	102(70.34)		
症状持续时间(月)	6.20±1.52	6.00±1.55	(0.73)	＞0.05

表 2　两组 MSUS 参数、UE 参数比较

参数		再撕裂组（n=40）	愈合良好组（n=145）	t（χ^2）值	P 值
肌骨超声					
肌腱钙化[例（%）]		10（25.00）	29（20.00）	（0.47）	＞0.05
肌腱回声强度[例（%）]	低回声	30（75.00）	95（65.52）	（1.29）	＞0.05
	高回声	10（25.00）	50（34.48）		
肌腱厚度（mm）		2.90±0.41	4.50±0.72	13.47	＜0.05
肌腱横截面积（mm^2）		115.30±12.20	140.00±15.91	9.11	＜0.05
肌腱鞘积液深度（mm）		1.85±0.48	1.28±0.30	9.27	＜0.05
肩峰下滑囊积液深度（mm）		1.60±0.27	1.57±0.22	0.74	＞0.05
弹性成像					
杨氏模量值（kPa）		18.50±4.25	23.60±5.22	5.67	＜0.05
剪切波速度（m/s）		2.65±0.45	3.23±0.57	5.82	＜0.05
应变比		1.15±0.20	1.08±0.18	1.83	＞0.05

表 3　肩袖撕裂术后再撕裂的独立危险因素

变量	β值	SE 值	Wald χ^2 值	P 值	OR 值（95%CI）	VIF
肌腱厚度（薄）	0.624	0.268	5.421	＜0.05	1.866（1.317～2.416）	2.158
肌腱横截面积（小）	0.602	0.274	4.827	＜0.05	1.826（1.315～2.337）	2.358
肌腱鞘积液深度（深）	0.609	0.272	5.013	＜0.05	1.839（1.323～2.354）	2.346
杨氏模量值（低）	0.592	0.277	4.568	＜0.05	1.808（1.506～2.109）	2.897
剪切波速度（慢）	0.595	0.275	4.681	＜0.05	1.813（1.501～2.125）	2.852

参数（AUC=0.832）单独检测（Z=2.852、3.022，均P＜0.05），见封三图 6。

3　讨论

肩袖修补术可重建肌腱完整性与功能性，恢复肩关节活动能力，但术后仍有部分患者发生再次撕裂，甚至出现持续功能障碍[8]。本研究术后再撕裂发生率为 21.62%，与国内外多中心研究结果（15%～40%）一致，说明肩袖撕裂手术后再撕裂仍是临床常见问题。如何在术前准确识别出再撕裂高风险患者，对于调整康复策略、优化随访方案至关重要。

近年来，MSUS 技术的成熟使其能精确评估肌腱形态结构，新兴的 UE 技术则可无创地量化组织生物力学特性，共同为肩袖撕裂手术后再撕裂风险评估提供了一种全新的、多维度的视角。本研究中，在 MSUS 参数方面，与愈合良好组比较，再撕裂组表现出更薄的肌腱厚度和更小的肌腱横截面积（均P ＜ 0.05）。这一差异本质上反映了两组患者术前肌腱结构储备能力不同。肩袖肌腱的愈合过程依赖于自身胶原纤维的修复与重塑，厚度较薄、横截面积较小的肌腱往往提示胶原纤维数量不足，术后修复时难以形成足够厚度和强度的愈合组织[9]。而从病理生理机制来看，术前肌腱厚度较薄、横截面积较小的肩袖撕裂患者，肌腱内成纤维细胞活性通常较低，同时可能伴随局部胶原降解酶表达上调，术后肌腱断端难以有效融合，愈合不良、再撕裂发生风险显著升高[10-11]。与此同时，本研究再撕裂组有更深的肌腱鞘积液，这提示术前持续炎症状态可能抑制肩袖撕裂患者术后愈合能力。肌腱鞘积液是肌腱长期损伤后慢性炎症的直接体现，这种慢性炎症状态可扰乱肌腱局部微环境，导致即使手术修复了肌腱结构，术后局部炎症因子仍可能持续存在，直接延缓愈合进程[12-13]。在 UE 参数方面，与愈合良好组比较，再撕裂组杨氏模量值更低，这提示病变肌腱生物力学性能降低可能是诱发肩袖撕裂手术后再撕裂的重要因素。杨氏模量值是反映肌腱硬度的有效量化指标，而肌腱硬度直接取决于胶原纤维的排列有序度及交联程度[14]。术前杨氏模量值较低，意味着肌腱胶原纤维排列紊乱、交联不足，术后肌腱抗张力难以满足生理需求，在术后日常活动中易出现微损伤，逐渐累积后诱发再撕裂。有研究报道，退行性肩袖撕裂患者术前杨氏模量值通常低于创伤性肩袖撕裂患者，术后愈合能力更强[15]。后续将进一步细分肩袖撕裂类型，评估 UE 参数在不同肩袖撕裂类型中的差异。本研究结果显示，相较于愈合良好组，再撕裂组剪切波速度显著更慢，进一步完善了术前肌腱力学性能的评估体系，其有望作为杨氏模量值的补充指标，为肩袖撕裂手术患者术后再撕裂风险的分层评估提供可靠

参考依据。

本研究结果显示，MSUS 参数（肌腱厚度、肌腱横截面积、肌腱鞘积液深度）、UE 参数（杨氏模量值、剪切波速度）均为肩袖撕裂手术患者术后再撕裂的影响因素，且 MSUS 联合 UE 参数预测肩袖撕裂手术患者术后再撕裂的 *AUC* 为 0.937，均高于 MSUS 参数（*AUC*=0.841）、UE 参数（*AUC*=0.832）单独检测。这一结果提示 MSUS、UE 联合使用可更全面地评估肌腱愈合情况和力学性能，从而更准确地预测肩袖撕裂手术后再撕裂的发生，为临床医师在术后早期识别高风险患者提供了可靠依据。联合预测效能较高的核心可能在于术前结构评估与力学评估的互补性：MSUS 识别肌腱厚度、积液等结构异常，UE 补充硬度、波速等力学信息，二者结合可覆盖结构缺陷（MSUS 正常、UE 异常）、力学缺陷（MSUS 正常、UE 异常）、结构与力学双重缺陷（MSUS、UE 均异常）三类高危患者，显著提升高风险人群识别率。

综上所述，MSUS 参数（肌腱厚度、肌腱横截面积、肌腱鞘积液深度）联合 UE 参数（杨氏模量值、剪切波速度）预测肩袖撕裂手术患者术后再撕裂的效能高于单一检测手段，为临床评估术后再撕裂风险提供了更加精准、便捷的影像学依据。本研究亦存在一定局限性，如未细分肩袖撕裂类型，可能导致不同肩袖撕裂类型患者的影像学参数差异被掩盖，影响结果精准度；随访时间相对较短，可能影响对再撕裂风险的全面评估。未来可进一步评估不同类型肩袖撕裂患者影像学参数，同时延长随访时间，进一步提高联合预测的精确度。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　张宏坤：实验操作，论文撰写，数据整理，统计学分析；徐鲁：研究指导，论文修改，经费支持

参　考　文　献

[1] Centeno C J, Fausel Z, Dodson E, et al. Percutaneous bone marrow concentrate and platelet products versus exercise therapy for the treatment of rotator cuff tears: A randomized controlled, crossover trial with 2-year follow-up[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2024, 25(1): 392.

[2] Lawrence R L, Soliman S B, Roseni K, et al. *In vivo* evaluation of rotator cuff internal impingement during scapular plane abduction in asymptomatic individuals[J]. J Orthop Res, 2023, 41(4): 718-726.

[3] Baum C, Audigé L, Stojanov T, et al. Functional and radiologic outcomes of degenerative versus traumatic full-thickness rotator cuff tears involving the supraspinatus tendon[J]. Am J Sports Med, 2024, 52(2): 441-450.

[4] Seth I, Hackett L M, Bulloch G, et al. The application of shear wave elastography with ultrasound for rotator cuff tears: A systematic review[J]. JSES Rev Rep Tech, 2023, 3(3): 336-342.

[5] 张勤波,韦广萍,韦艳芬,等.超声弹性成像术前评估对肩袖撕裂手术患者远期预后的预测价值[J].川北医学院学报,2024,39(7):945-948.

[6] Mc Gill K C, Baal J D, Bucknor M D. Update on musculoskeletal applications of magnetic resonance-guided focused ultrasound[J]. Skeletal Radiol, 2024, 53(9): 1869-1877.

[7] Zellers J A, Li R, Vaidya R, et al. Minimal effect of scanning parameters on ultrasound shear wave elastography variability in tendons[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2024, 32(9): 2431-2439.

[8] Pawlak M, Walecka J, Lubiatowski P. Biological strategies in rotator cuff repair: A clinical application and molecular background[J]. EFORT Open Rev, 2024, 9(12): 1156-1169.

[9] Villací s Núnez C N, Scheven U, Bedi A, et al. Tear growth mechanisms in high-grade bursal-sided partial thickness tears in the rotator cuff measured with full volume magnetic resonance imaging methods[J]. Acta Biomater, 2025, 203: 438-450.

[10] Yeo M H X, Seah S J S, Lee M, et al. Different types of rotator cuff tear morphology do not affect post-repair clinical outcomes in large to massive tears[J]. J ISAKOS, 2024, 9(1): 25-33.

[11] 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.

[12] Fu P F, Tian J X, Guo B, et al. Effectiveness of arthroscopic double fixation and enhanced suture of long head of biceps tendon in situ for repairing rotator cuff tear[J]. Chin J Reparative Reconstr Surg, 2025, 39(4): 451-456.

[13] 朱亚玲,袁松,宋建琼,等.肌骨超声诊断肩袖损伤的效能及与关节镜手术诊断的一致性分析[J].临床误诊误治,2024,37(3):104-108.

[14] He X, Wei X, Hou J, et al. Application of real-time shear wave elastography to Achilles tendon hardness evaluation in older adults[J]. World J Clin Cases, 2024, 12(26): 5922-5929.

[15] Umehara J, Ueda Y, Yagi M, et al. Mechanical characteristic of supraspinatus muscle changes independent of its size and intramuscular fat in patient with rotator cuff repair[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2023, 73: 102831.

收稿日期：2025-11-20

（本文编辑：吴迪汉）