

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2024.07.019

❖ 临床研究 ❖

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

张勤波¹, 韦广萍², 韦艳芬³, 罗浩¹

(河池市中医医院 1. 超声科, 2. 肾病风湿病科, 3. 超声影像科, 广西 河池 547000)

【摘要】目的: 探讨超声弹性成像(UE)术前评估对肩袖撕裂(RCT)手术患者远期预后的预测价值。**方法:** 根据预后情况不同将106例行关节镜下肩袖修补术的RCT患者分为再撕裂组($n=38$)与愈合组($n=68$)。比较两组一般临床资料、术前UE检测值[剪切波速度(SWV)、弹性模量]、Constant评分,分析术前SWV、弹性模量与术后Constant评分的相关性,绘制受试者工作特征(ROC)曲线,评估术前SWV、弹性模量单独及联合预测术后再撕裂的效能。**结果:** 再撕裂组术前SWV、弹性模量值及术后Constant评分均小于愈合组($P<0.05$);Pearson相关性分析显示,术前SWV、弹性模量与术后1年Constant评分均呈正相关关系($P<0.05$);ROC曲线显示,术前SWV敏感度为82.10%,特异度为75.00%;弹性模量敏感度为80.40%,特异度为73.60%;联合预测敏感度为91.70%,特异度为70.30%,术前SWV、弹性模量及联合检测的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.828、0.813、0.949。**结论:** RCT术前通过UE测量SWV及弹性模量可在一定程度上预测远期预后,术前SWV联合弹性模量对术后再撕裂的预测价值高于单一指标。

【关键词】 肩袖撕裂;超声弹性成像;关节镜下肩袖修补术;预后;再撕裂

【中图分类号】 R445.1;R687.4 **【文献标志码】** A

Predictive value of preoperative ultrasound elastography assessment for the long-term prognosis of patients undergoing rotator cuff tear surgery

ZHANG Qin-bo¹, WEI Guang-ping², WEI Yan-fen³, LUO Hao¹

(1. Department of Ultrasound; 2. Department of nephropathy and Rheumatism; 3 Department of Ultrasound Imaging, Hechi Traditional Chinese Medicine Hospital, Hechi 547000, Guangxi, China)

【Abstract】Objective: To explore the predictive value of preoperative ultrasound elastography (UE) assessment for the long-term prognosis of patients undergoing rotator cuff tear (RCT) surgery. **Methods:** 106 patients who underwent arthroscopic rotator cuff repair were divided into re-tear group ($n=38$) and healing group ($n=68$) according to different prognosis. The general clinical data, preoperative UE measurements [shear wave velocity (SWV), elastic modulus], and Constant scores were compared between the two groups. The correlation between preoperative SWV, elastic modulus, and one-year postoperative Constant scores was analyzed. Receiver operating characteristic (ROC) curves were constructed to evaluate the efficacy of preoperative SWV, elastic modulus alone, and in combination in predicting postoperative re-tear. **Results:** The preoperative SWV and elastic modulus values, as well as the postoperative Constant scores were lower in the re-tear group than in the healing group ($P<0.05$). Pearson's correlation analysis showed that preoperative SWV and elastic modulus were positively correlated with one-year postoperative Constant scores ($P<0.05$). The ROC curves demonstrated that the sensitivity/specificity of preoperative SWV, elastic modulus alone, and in combination for predicting postoperative re-tear were 82.10%/75.00%, 80.40%/73.60%, and 91.70%/70.30%, respectively, with corresponding AUCs of 0.828, 0.813, and 0.949. **Conclusion:** Preoperative measurement of SWV and elastic modulus through UE can predict the long-term prognosis of RCT to a certain extent, and combined detection has predictive value for postoperative re-tear.

【Key words】 Rotator cuff tear; Ultrasound elastography; Arthroscopic rotator cuff repair; Prognosis; Re-tear

肩袖撕裂(rotator cuff tears, RCT)是一种常见肩部损伤,严重影响肩关节功能及生活质量,手术是临床常用干预手段,可恢复肩部功能并缓解疼痛,但手术成功与否受诸多因素影响,存在术后再撕裂风

险^[1]。RCT手术后再撕裂的比例高达25~40%,长期效果和预后欠佳,精准有效的术前评估对于预测手术结果、指导临床决策具有重要意义^[2-3]。超声弹性成像(ultrasound elastography, UE)技术是利用

声波传播速度评估组织弹性特征的一种成像技术,在肝硬化、乳腺疾病等肌肉骨骼系统疾病的诊断中具有独特优势,可为软组织疾病提供无创、定量的评估手段^[4-6]。传统超声成像技术虽也能提供肌腱和软组织的形态学信息,但在评估组织弹性或硬度方面存在局限性,而 UE 技术通过测量组织对机械压力的响应,可定量评估组织弹性。对 RCT 患者采用 UE 技术进行术前评估,测量肌腱和相关肌肉的弹性特征定量参数,从而评估肌腱和肌肉的生物力学性质,或许可为手术治疗提供重要的预测信息。但 UE 在 RCT 术前评估中的应用研究相对较少,因此本研究拟探讨 UE 技术在 RCT 术前评估中的应用价值,并评估其对术后再撕裂的预测价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2019 年 11 月至 2023 年 11 月河池市中医医院收治的 106 例 RCT 患者作为研究对象。纳入标准:(1)年龄 > 18 岁;(2)临床评估及影像学检查确诊为肩袖撕裂;(3)持续肩部疼痛或功能障碍,且症状持续 > 3 个月;(4)保守治疗无效,拟接受关节镜下肩袖修补术;(5)临床、随访资料完整。排除标准:(1)撕裂 > 5 cm;(2)肩关节滑膜炎、关节内骨折、严重的骨关节病者;(3)患有严重心血管疾病、代谢疾病(如糖尿病控制不佳)或免疫系统疾病者;(4)既往有肩部手术史者;(5)患有中风后遗症、周围神经损伤等影响肩关节功能的神经肌肉疾病者;(6)依从性差、不遵医嘱、随访失联者。106 例患者中,男性 67 例,女性 39 例;年龄 39 ~ 75 岁;体质指数(BMI) 16.9 ~ 35.7 kg/m²;患病部位左侧 55 例,右侧 51 例。根据术后随访是否存在再撕裂,将患者分为再撕裂组($n = 38$)、愈合组($n = 68$)。两组患者性别、年龄、患侧、BMI、症状持续时间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。本研究获得医院伦理委员会批准。见表 1。

表 1 两组患者一般临床资料比较 [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

资料	再撕裂组($n = 38$)	愈合组($n = 68$)	t/χ^2 值	P 值
性别			0.001	0.994
男	24(63.16)	43(63.24)		
女	14(36.84)	25(36.76)		
年龄(岁)	55.31 ± 6.82	53.74 ± 7.09	1.108	0.270
患侧			0.857	0.355
左	22(57.89)	33(48.53)		
右	16(42.11)	35(51.47)		
BMI(kg/m ²)	24.49 ± 3.26	23.88 ± 3.42	0.895	0.373
症状持续时间(月)	6.29 ± 1.97	6.08 ± 2.11	0.503	0.616

1.2 检测方法

采用 TOSHIBA APlio400ALONE 彩色多普勒超声诊断仪,配备 L10 线性阵列探头,频率 4 ~ 8 MHz 和 ARIETTA850 彩色多普勒超声诊断仪,配备 L13-5 线性阵列探头,频率范围 2 ~ 12 MHz,配备弹性成像分析软件。患者采取坐位,裸露受检肩部,使肩关节处于中性位置,肘部弯曲 90°,前臂自然放置于腿上,肩部放松,探头轻置于患者肩部皮肤上,先进行常规 B 模式超声检查,明确撕裂位置及范围,调整探头位置,确保撕裂区及其周围组织清晰可见。随后切换至剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)模式,选择 5 mm × 5 mm 的感兴趣区域(region of interest, ROI),覆盖撕裂区及其邻近肌腱组织,自动测量记录剪切波速度(shear wave velocity, SWV)和弹性模量,每个 ROI 进行 3 次 SWE 扫描,取平均值。

1.3 手术及术后康复

患者均接受关节镜下肩袖修补术,手术均由同一专业团队完成。手术在全麻下进行,患者取侧卧位,通过肩关节后侧入路放置关节镜,详细检查肩关节内部结构,确认撕裂范围和性质。根据撕裂的具体情况,选择合适的锚钉进行肩袖修补,采用 Smith & Nephew Bio-SutureTak[®] 锚钉系统,根据撕裂的大小和形状确定锚钉数量和放置位置,修补过程中需注意保护肩关节解剖结构的完整性,手术结束后用生理盐水冲洗关节腔,关闭切口。术后康复计划分为四个阶段:术后 1 ~ 4 周:佩戴肩部支架保护手术区域,进行被动关节活动练习如肩部摆动;术后 5 ~ 10 周:逐渐增加被动和主动辅助关节活动范围练习,如肩部屈曲、外展、内旋及肩胛稳定性训练等;术后 11 ~ 16 周:进行无阻力的主动关节活动练习,增加肩部肌肉力量和耐力训练;术后 17 周及以后:增加哑铃、阻力训练等针对性的运动恢复训练。

1.4 随访及预后评价

术后均进行 1 年随访,影像学检查肩袖修补区是否存在再撕裂,据此将患者分为再撕裂组、愈合组,采用 Constant 评分系统^[7]对肩关节功能评估。

1.5 观察指标

比较两组一般资料及术前 SWV、弹性模量值及术后 Constant 评分,分析术前 SWV、弹性模量与术后 1 年 Constant 评分的相关性,评估术前 SWV、弹性模量单独及联合预测术后再撕裂的效能。

1.6 统计学分析

使用 SPSS 22.0 进行统计学分析。计量资料符合正态分布以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以 [$n(\%)$] 表示,组间比较采用 χ^2

检验;相关性分析采用 Pearson 相关性分析,绘制受试者工作特征曲线(ROC)评估指标对预后的预测价值,采用二元 Logistic 回归获取联合预测因子,构建联合检测的 ROC 曲线,获取最佳截断值、曲线下面积(AUC)、95% CI、标准误(SE)。P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组术前 SWV、弹性模量值及术后 1 年 Constant 评分比较

再撕裂组术前 SWV、弹性模量值及术后 1 年 Constant 评分均小于愈合组(P < 0.05)。见表 2。

表 2 再撕裂组与愈合组术前 SWV、弹性模量值比较($\bar{x} \pm s$)

组别	术前 SWV(m/s)	弹性模量(kPa)	术后 1 年 Constant 评分(分)
再撕裂组(n=38)	2.68 ± 0.44	18.35 ± 4.72	62.48 ± 8.93
愈合组(n=68)	3.12 ± 0.52	23.62 ± 5.38	78.64 ± 7.26
t 值	4.406	5.048	
P 值	<0.001	<0.001	

2.2 术前 SWV、弹性模量与术后 1 年 Constant 评分相关性分析

Pearson 相关性分析显示,术前 SWV、弹性模量与术后 1 年 Constant 评分均呈正相关关系(P < 0.05)。见表 3。

表 3 术前 SWV、弹性模量与术后 1 年 Constant 评分相关性分析

指标	SWV		弹性模量	
	r 值	P 值	r 值	P 值
Constant 评分	0.629	<0.001	0.571	<0.001

2.3 术前 SWV、弹性模量对术后再撕裂的预测效能分析

ROC 曲线显示,术前 SWV 敏感度为 82.10%,特异度为 75.00%;弹性模量敏感度为 80.40%,特异度为 73.60%;联合预测敏感度为 91.70%,特异度为 70.30%,术前 SWV、弹性模量及联合检测的 ROC 曲线下面积(AUC)分别为 0.828、0.813、0.949。见表 4 及图 1。

表 4 术前 SWV、弹性模量对术后再撕裂的预测效能

因素	截断值	AUC 值	SE 值	95% CI	敏感度(%)	特异度(%)
SWV	2.90 m/s	0.828	0.042	0.745 ~ 0.911	82.10	75.00
弹性模量	20.65 kPa	0.813	0.046	0.723 ~ 0.903	80.40	73.60
联合检测	-	0.949	0.025	0.900 ~ 0.998	91.70	70.30

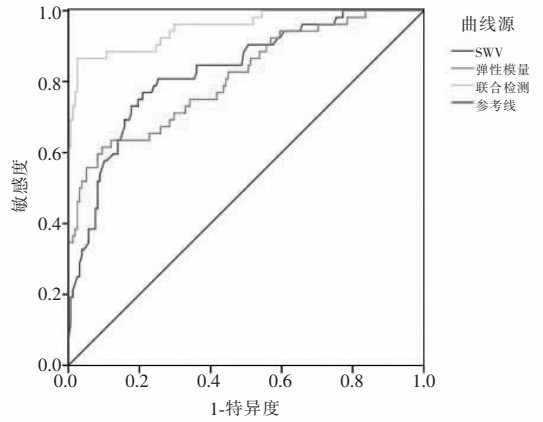


图 1 术前 SWV、弹性模量预测术后再撕裂的 ROC 曲线

3 讨论

术后再撕裂影响 RCT 患者预后和生活质量,有效的术前评估对于预测手术结果、制定个性化治疗计划具有重要意义^[8]。MRI 可提供高分辨率的软组织图像,但费用高、对金属植入物敏感且检查时间较长;CT 扫描对骨结构评估具有明显优势,但在软组织对比度方面相对较差,且有辐射暴露^[9-11]。超声检查具有实时成像、低成本、可重复性强、无辐射等优点,在肩袖撕裂的诊断和术前评估中具有独特优势^[12]。

关节镜下肩袖修补术可重建肌腱的完整性和功能性,增强肌力,恢复关节活动能力,但仍有部分患者术后发生再撕裂,甚至出现持续功能障碍。本研究中,术后发生再撕裂发生率 35.85%,与既往报道^[13-14]吻合,提示肩袖修补术后再撕裂仍是常见的临床问题,除了手术技术、术后康复训练等因素之外,其高发生率还可能与肌腱质量较差。脂肪浸润、肌肉萎缩是影响术后再撕裂风险的重要因素,脂肪浸润可导致肌肉力学性能下降,组织弹性降低,更易在负荷或应力下发生再次损伤,从而增加再撕裂的风险^[15]。UE 技术利用超声波探测组织在受到机械压力时产生的形变和恢复过程,从而评估组织的弹性特性,其原理是基于不同组织或组织状态(正常、炎症或纤维化)的弹性特性不同^[16]。SWV 通过测量剪切波在组织中的传播速度评估组织弹性,在健康的肌腱中,组织紧密且有序,声波较快通过,而撕裂或损伤的肌腱由于纤维断裂及组织结构松弛,声波传播速度减慢,可反映肌腱物理完整性及生物力学特性受损。撕裂肌腱的 SWV 值通常低于健康肌腱,可能与撕裂引发的组织结构松弛和弹性减少有关,通过测量 SWV 可辅助评估撕裂程度和肌腱的修复潜力^[17]。弹性模量是基于组织密度和 SWV 计算得出,其反应组织在受到力时抵抗形变的能力,较高

的弹性模量提示组织更为刚硬,可更好地抵抗外力导致的形变,在肌腱撕裂情况下,由于纤维的断裂和组织的松弛,弹性模量通常较低,表明组织的刚性和弹性降低,弹性模量可与 SWV 共同评估组织生物力学性质,作为 RCT 评估的量化指标。

本研究显示,再撕裂组术前 SWV、弹性模量值均小于愈合组。分析其可能机制为:在肩袖撕裂的情况下,肌腱结构受损,尤其是纤维断裂和组织松弛,导致声波传播速度下降(即 SWV 降低),及肌腱的整体刚性和抵抗形变的能力下降(即弹性模量降低),因此,SWV 和弹性模量的降低可反映肌腱损伤的严重性,与再撕裂组 SWV、弹性模量值较低的结果基本吻合。随着肌腱的慢性损伤和炎症加剧,组织退变和脂肪浸润程度恶化,进一步影响肌腱弹性和功能,胶原纤维稀疏和不规则排列,及脂肪细胞的积聚,均降低肌腱的机械强度和弹性,导致 SWV 和弹性模量进一步降低,不利于手术修复的长期稳定。Constant 评分是评估肩关节功能恢复的标准工具。本研究显示,术前 SWV、弹性模量与术后 1 年 Constant 评分均呈正相关关系,提示术前 SWV、弹性模量值较高,术后恢复更好。ROC 曲线分析显示,术前 SWV、弹性模量值联合预测术后远期再撕裂风险的敏感度较高(91.7%),AUC 达到 0.949,提示术前行 UE 检测 SWV、弹性模量值,可识别多数有再撕裂风险。SWE 参数联合检测还可为临床术后管理提供支持,可根据术前 SWE 评估较为准确地识别高风险患者,从而制定个性化术后康复计划,强化物理治疗、密切随访,减少再撕裂的发生,提高治疗效果。

综上,RCT 术前 SWV 和弹性模量与术后 Constant 评分密切相关,且两者联合检测在预测术后再撕裂风险方面具有较高的敏感度和特异度,可在一定程度上预测远期预后,对于优化手术计划、指导术后康复具有重要的临床价值。

参考文献

[1] 刘静静,李廷廷,张炎晶,等. 超声新技术在肩袖撕裂应用中的研究进展[J]. 中国医学影像学杂志,2023,31(2):185-188.

[2] 张岩岩,朱好辉. 剪切波弹性成像在肩袖撕裂诊疗中的应用进展[J]. 中华医学超声杂志(电子版),2023,20(10):1099-1102.

[3] 黄家兴,王家伟,朱博,等. 剪切波超声弹性成对在冈上肌腱滑囊侧部分撕裂的诊断价值分析[J]. 重庆医学,2022,51(18):3100-3104,3110.

[4] Lawrence RL, Ruder MC, Moutzouros V, et al. Ultrasound shear wave elastography and its association with rotator cuff tear charac-

teristics[J]. JSES International,2021,5(3):500-506.

[5] 王嘉,钱林学. 超声弹性成像在肝硬化食管-胃底静脉曲张断中的研究进展[J]. 中国医刊,2022,57(10):1071-1074.

[6] 查燕,戴松. 超声血流量参数联合超声弹性成像对乳腺癌诊断的临床价值[J]. 医学影像学杂志,2023,33(9):1681-1684.

[7] Vrotsou K, Ávila M, Machón M, et al. Constant-Murley Score: systematic review and standardized evaluation in different shoulder pathologies[J]. Quality of Life Research: an International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation, 2018,27(9):2217-2226.

[8] 袁蓉,郝艳红,李廷廷,等. 高频超声在肩袖撕裂及黏连性肩关节囊炎诊断中的应用价值[J]. 实用骨科杂志,2023,29(3):278-281.

[9] 韩增帅,张益,丁磊,等. 肩袖撕裂的相关危险因素分析及预测效能评估[J]. 中华创伤杂志,2022,38(3):213-219.

[10] Seth I, Hackett LM, Bulloch G, et al. The application of shear wave elastography with ultrasound for rotator cuff tears: a systematic review[J]. JSES Reviews, Reports, and Techniques, 2023,3(3):336-342.

[11] Nasr AJ, Pierson CJ, Tzen YT, et al. Emerging role of quantitative ultrasound-based imaging techniques for characterizing rotator cuff tears: a scoping review[J]. Diagnostics, 2023,13(12):2011.

[12] Huang J, Jiang L, Wang J, et al. Ultrasound shear wave elastography-derived tissue stiffness is positively correlated with rotator cuff tear size and muscular degeneration[J]. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA, 2022,30(7):2492-2499.

[13] Nocera NL, Burke CJ, Gyftopoulos S, et al. Ultrasound-MRI correlation for healing of rotator cuff repairs using power Doppler, sonographic shear wave elastography and MR signal characteristics: a pilot study[J]. Journal of Ultrasound in Medicine: Official Journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine, 2021,40(10):2055-2068.

[14] Ishikawa H, Muraki T, Morise S, et al. Changes in shoulder muscle activities and glenohumeral motion after rotator cuff repair: an assessment using ultrasound real-time tissue elastography[J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2021,30(11):2577-2586.

[15] Peeters NHC, van der Kraats AM, van der Krieken TE, et al. The validity of ultrasound and shear wave elastography to assess the quality of the rotator cuff[J]. European Radiology, 2024,34(3):1971-1978.

[16] Shimizu K, Watanabe N, Yoneda M, et al. Providing safe and effective rehabilitation by assessing supraspinatus muscle elasticity using ultrasound real-time tissue elastography after rotator cuff repair: a case series[J]. Physiotherapy Theory and Practice, 2023,39(10):2262-2272.

[17] 李月华,刘雪梅,胡敏霞,等. 实时剪切波弹性成像在冈上肌腱撕裂中的诊断价值分析[J]. 中国超声医学杂志,2023,39(9):1046-1049.

(收稿日期:2024-01-27

修回日期:2024-04-18)