

高频超声及剪切波弹性成像评估指伸肌腱断裂修复术后疗效

朱晓玲 孙 冲 曾 健 秦茜羽 缪 娟 李 娜 贺友才

摘 要 **目的** 探讨高频超声及剪切波弹性成像(SWE)评估单侧指伸肌腱完全断裂修复术后不同时间疗效的临床应用价值。**方法** 前瞻性收集于我院创伤中心就诊的 33 例单侧指伸肌腱断裂患者(共 41 根断裂指伸肌腱),均经手术修复,术后 1、3、6 个月应用高频超声及 SWE 测量指伸肌腱修复区及健侧相同肌腱同一部位厚度、血流及剪切波速度平均值、最小值、最大值(SWVmean、SWVmin、SWVmax),并记录患侧及健侧手指功能总主动活动度(TAM),比较健侧与患侧,以及患侧术后不同时间上述参数的差异;分析上述参数与 TAM 的相关性。**结果** 术后 1、3 个月患侧指伸肌腱厚度均较健侧增加,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);术后 6 个月患侧指伸肌腱厚度接近健侧肌腱,差异无统计学意义。术后 1、3 个月患侧指伸肌腱血流信号评分与健侧比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),术后 6 个月患侧指伸肌腱血流信号评分与健侧比较差异无统计学意义。术后 1、3、6 个月患侧指伸肌腱 SWVmean、SWVmin、SWVmax 均小于健侧,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后 1、3、6 个月患侧指伸肌腱厚度、血流信号评分逐渐减小,SWVmean、SWVmin、SWVmax 逐渐增加,两两比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后 1、3、6 个月患侧指伸肌腱 TAM 均小于健侧,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);术后 1、3、6 个月患侧指伸肌腱 TAM 逐渐增加,两两比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后患侧指伸肌腱厚度、血流信号评分与 TAM 均呈负相关($r = -0.497, -0.635$, 均 $P < 0.05$),SWVmean、SWVmin、SWVmax 与 TAM 均呈正相关($r = 0.834, 0.691, 0.832$, 均 $P < 0.05$)。**结论** 高频超声及 SWE 在评估单侧指伸肌腱完全断裂修复术后不同时间疗效中有一定的临床应用价值。

关键词 超声检查;剪切波弹性成像;指伸肌腱断裂;修复术

[中图法分类号]R445.1;R687.2

[文献标识码]A

Evaluation of postoperative efficacy of extensor digitorum tendon rupture repair by high-frequency ultrasound and shear wave elastography

ZHU Xiaoling, SUN Chong, ZENG Jian, QIN Qianyu, MIAO Juan, LI Na, HE Youcai

Department of Ultrasound Medicine, Zigong Fourth People's Hospital, Sichuan 643000, China

ABSTRACT **Objective** To investigate the clinical application value of high-frequency ultrasound and shear wave elastography (SWE) in evaluating the postoperative efficacy of unilateral complete extensor digitorum tendon rupture repair at different time points. **Methods** A prospective study was conducted involving 41 extensor digitorum tendons from 33 patients with unilateral extensor digitorum tendon rupture treated at the trauma center of our hospital. All tendons were surgically repaired, and the were used to measure tendon thickness, blood flow and mean, minimum, maximum shear wave velocity (SWVmean, SWVmin, SWVmax) at the repair site at 1, 3, and 6 months postoperatively and corresponding healthy tendons by high-frequency ultrasound and SWE. The total active functional range (TAM) of the affected and healthy fingers were recorded. The differences of above parameters between the healthy and affected sides, and at different postoperative time points were compared. The correlation between above parameters and TAM were analyzed. **Results** At 1 and 3 months after operation, the thickness of the affected tendons was greater than that of the healthy side, with statistically significant differences (both $P < 0.05$).

基金项目:自贡市卫生健康委员会科研课题(21yb030)

作者单位:643000 四川省自贡市第四人民医院超声医学科(朱晓玲、孙冲、曾健、秦茜羽、缪娟、李娜),放射科(贺友才)

通讯作者:贺友才, Email: heyoca@163.com

At 6 months after operation, the thickness of the affected tendons was similar to the healthy tendons, with no significant difference. Compared with healthy side, the blood flow signal scores of the affected tendons were statistically significant at 1 and 3 months after operation (both $P < 0.05$), but there was no statistically significant differences at 6 months after operation. SWVmean, SWVmin and SWVmax of the affected tendons were lower than those of the healthy side at 1, 3, and 6 months after operation, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). Tendon thickness and blood flow signal scores of the affected side gradually decreased over time, while SWVmean, SWVmin and SWVmax increased at 1, 3, and 6 months after operation, with statistically significant differences in pairwise comparison (all $P < 0.05$). The TAM of the affected tendons was significantly lower than that of the healthy side at 1, 3, and 6 months after operation (all $P < 0.05$), but gradually increased over time, with statistically significant differences in pairwise comparison (all $P < 0.05$). The thickness and blood flow signal scores were negatively correlated with TAM ($r = -0.497, -0.635$, both $P < 0.05$), and SWVmean, SWVmin, SWVmax were positively correlated with TAM ($r = 0.834, 0.691, 0.832$, all $P < 0.05$). **Conclusion** High-frequency ultrasound and SWE have a certain clinical value in assessing the efficacy of unilateral complete extensor digitorum tendon rupture repair at different postoperative time points.

KEY WORDS Ultrasonography; Shear wave elastography; Extensor digitorum tendon rupture; Repair

指伸肌腱断裂是一种手外科常见病,多见于外伤,常需手术缝合修复,术后还需进行长期的康复训练^[1]。目前临床上对指伸肌腱愈合的术后评估多依赖临床医师的经验,缺乏评价修复肌腱在不同阶段结构和功能恢复情况的客观方法。高频超声具有较高的分辨率,已广泛应用于肌腱断裂修复术后的疗效评估中^[2-3],但其灵敏度低。近年随着超声弹性成像技术的发展,剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)在临床工作中应用广泛,其可以定量评估软组织的硬度,但目前研究^[4-7]主要关注肌肉、肩袖、跟腱和髌腱等方面,而关于指伸肌腱断裂修复术后的弹性变化报道较为少见。基于此,本研究通过探讨高频超声及SWE在评估指伸肌腱断裂修复术后不同时间疗效中的临床应用价值,旨在为临床诊疗提供影像学依据。

资料与方法

一、研究对象

前瞻性选取 2022 年 1 月至 2023 年 2 月于我院创伤中心就诊的单侧指伸肌腱完全断裂患者 33 例,男 23 例,女 10 例,年龄 29~67 岁,平均 (47.0 ± 9.7) 岁;右手 17 例,左手 16 例,其中 1 例为右手 4 根指伸肌腱断裂、2 例为右手 3 根指伸肌腱断裂、1 例为左手 2 根指伸肌腱断裂、14 例为右手 1 根指伸肌腱断裂、15 例为左手 1 根指伸肌腱断裂,共 41 根断裂指伸肌腱。断裂原因均为外伤,术前均行 X 线检查,无骨折及骨碎片,均经手术修复。排除标准:①双侧指伸肌腱断裂;②有手部肌腱断裂史或手术史;③类风湿性关节炎、糖尿病、免疫性疾病、激素注射病史等;④随访期间未能按时进行超声检查。本研究经我院医学伦理委员会批准(批准号:2022-030),所有患者均签署知情同意书。

二、仪器与方法

1. 超声检查:分别于术后 1、3、6 个月进行超声检查。使用法国声科 Aixplorer V 彩色多普勒超声诊断仪,线阵探头,频率 4~15 MHz;选择肌骨检查条件。患者双臂放松并与身体成 90°,手背朝上,肘关节和前臂置于检查床上;肌腱表面放置 10 mm 厚的导声垫,于指伸肌腱纵切面扫查修复部位,测量修复区肌腱厚度;能量多普勒探查患侧指伸肌腱血流信号并进行评分^[8],具体为:0 分,未探及多普勒能量信号;1 分,探及少量多普勒能量信号;2 分,探及中等量多普勒能量信号;3 分,探及丰富的多普勒能量信号。切换至 SWE 模式,弹性范围调至最大值 800 kPa。取样框覆盖肌腱修复区,保持探头静置 3~5 s 以获得稳定的彩色弹性图像,冻结保存图像,感兴趣区(ROI)取直径 1~2 mm 的圆形,系统自动计算剪切波速度平均值、最小值、最大值(SWVmean、SWVmin、SWVmax)。同时与健侧进行对照分析。所有数据均重复测量 3 次,取平均值。上述操作均由同一具有 5 年工作经验的超声医师完成。

2. 术后疗效评估:指伸肌腱断裂修复术后 1、3、6 个月进行患侧及健侧手指功能评估,采用美国手外科学会推荐的总主动活动度(TAM)测定法^[9],即掌指关节、近指间关节、远指间关节主动屈曲度之和减去各关节主动伸直受限度之和,并与健侧进行对照分析。均由同一具有 5 年工作经验的手外科医师使用量角器进行测量。

三、统计学处理

应用 SPSS 26.0 统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组比较采用重复性方差分析,两两比较采用 t 检验;计数资料以频数表示,采用秩和检验。患侧指伸肌腱断裂修复术后厚度、血流信号评分、SWVmean、

SWVmin、SWVmax 与 TAM 的相关性分析采用 Spearman 或 Pearson 相关分析法。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱高频超声检查结果比较

1. 术后1、3个月患侧指伸肌腱厚度较健侧增加, 差异均有统计学意义(均 $P<0.05$); 术后6个月患侧指伸肌腱厚度接近健侧肌腱, 差异无统计学意义。术后1、3、6个月患侧指伸肌腱厚度逐渐减小, 两两比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表1和图1。

表1 术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱厚度比较($\bar{x}\pm s$)

时间	患侧	健侧	t 值	P 值
术后1个月	3.35±0.47	2.24±0.49	6.455	<0.001
术后3个月	2.86±0.47*	2.22±0.48*	3.664	0.001
术后6个月	2.39±0.48**	2.25±0.49	0.989	0.328

与术后1个月比较, * $P<0.05$; 与术后6个月比较, ** $P<0.05$

2. 术后1、3个月患侧指伸肌腱血流信号评分与健侧比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$); 术后6个月患侧指伸肌腱血流信号评分与健侧比较差异无统计学意义。术后1、3、6个月患侧指伸肌腱血流信号评分逐渐减小, 两两比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见图2和表2。

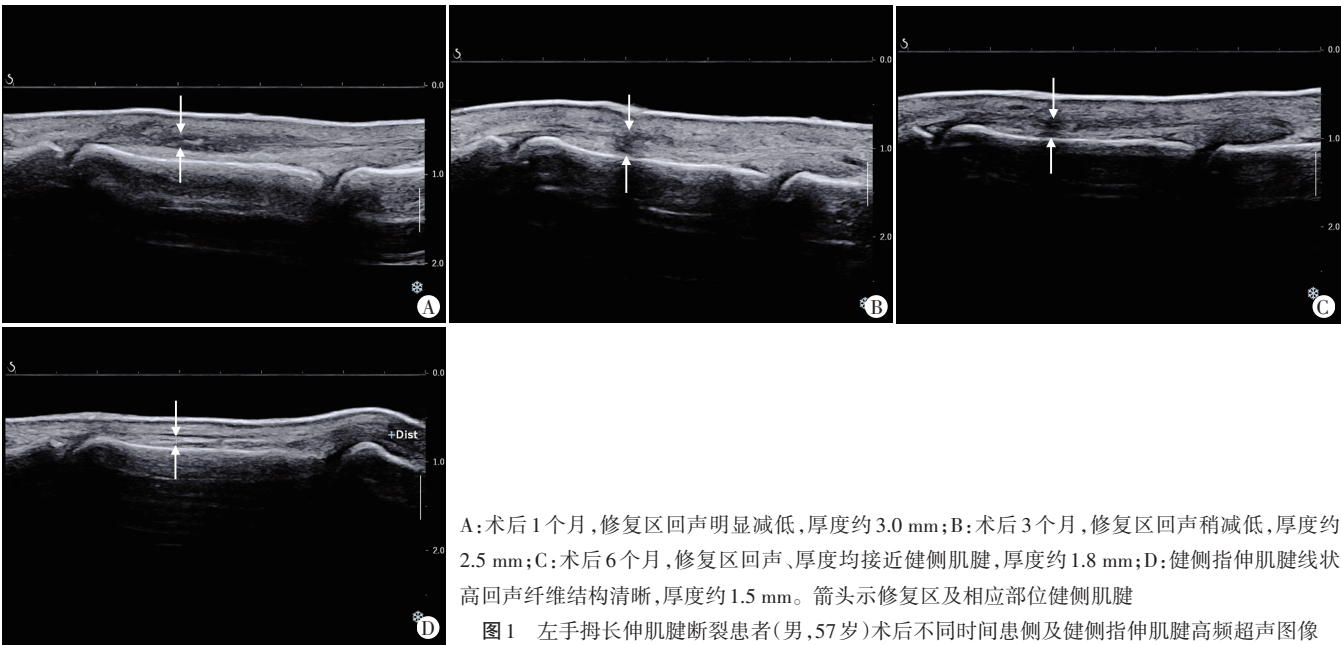


图1 左手拇长伸肌腱断裂患者(男, 57岁)术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱高频超声图像

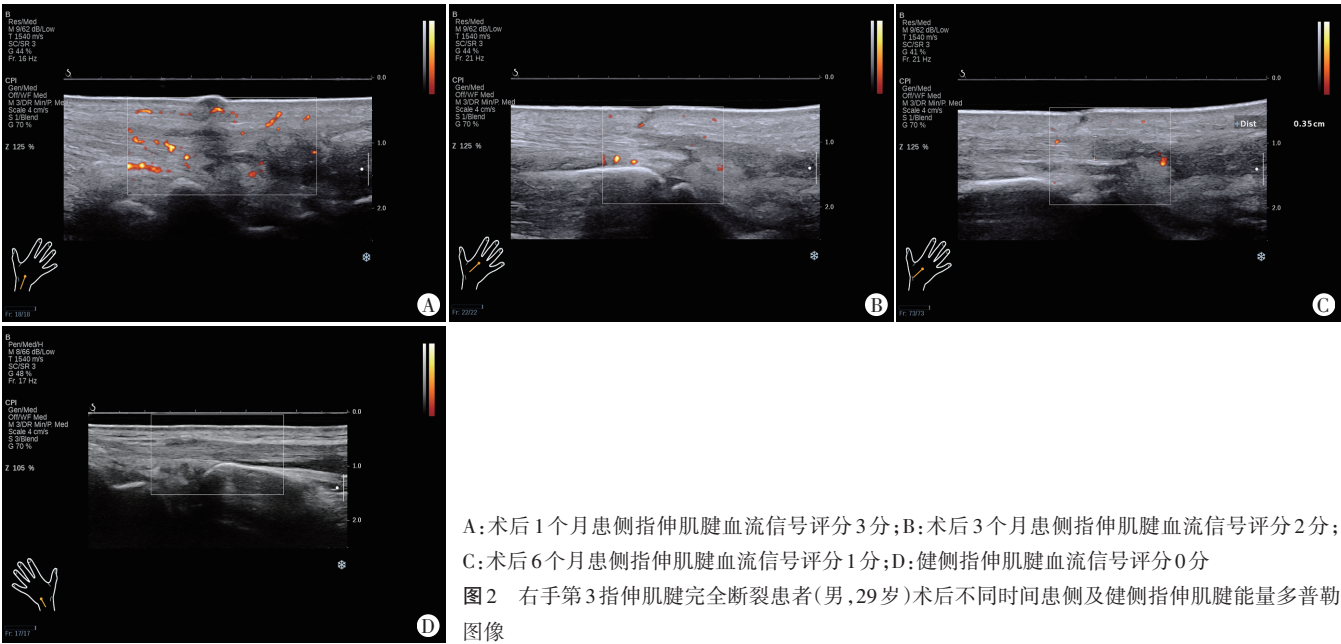


图2 右手第3指伸肌腱完全断裂患者(男, 29岁)术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱能量多普勒图像

表2 术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱血流信号评分比较

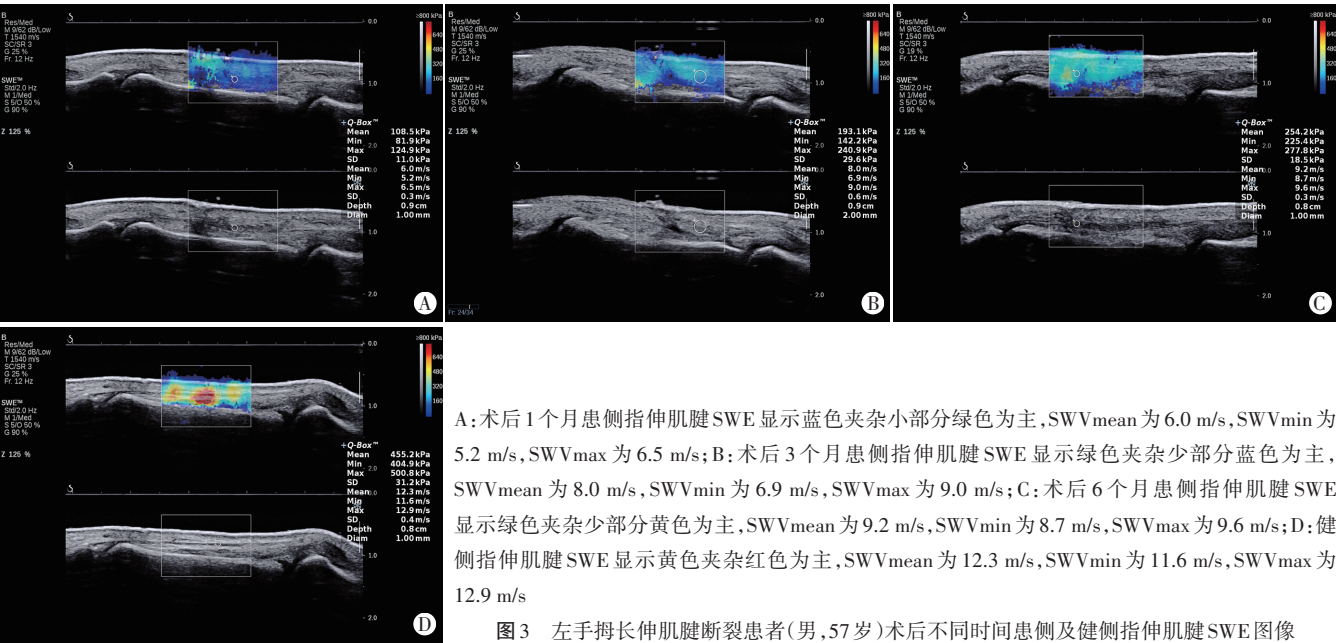
时间	患侧				健侧				Z值	P值
	0分	1分	2分	3分	0分	1分	2分	3分		
术后1个月	0	17	22	2	41	0	0	0	-8.470	<0.001
术后3个月	34	6	1	0	41	0	0	0	-2.529	0.011
术后6个月	40	1	0	0	41	0	0	0	-1.000	0.317

二、术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱SWE参数比较

术后1、3、6个月患侧指伸肌腱SWVmean、SWVmin、SWVmax均小于健侧,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);术后1、3、6个月患侧指伸肌腱SWVmean、SWVmin、SWVmax逐渐增加,两两比较差

异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见图3和表3。

三、术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱TAM比较
术后1、3、6个月患侧指伸肌腱TAM均小于健侧,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);术后1、3、6个月患侧指伸肌腱TAM逐渐增加,两两比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表4。



A: 术后1个月患侧指伸肌腱SWE显示蓝色夹杂小部分绿色为主,SWVmean为6.0 m/s,SWVmin为5.2 m/s,SWVmax为6.5 m/s;B: 术后3个月患侧指伸肌腱SWE显示绿色夹杂少部分蓝色为主,SWVmean为8.0 m/s,SWVmin为6.9 m/s,SWVmax为9.0 m/s;C: 术后6个月患侧指伸肌腱SWE显示绿色夹杂少部分黄色为主,SWVmean为9.2 m/s,SWVmin为8.7 m/s,SWVmax为9.6 m/s;D: 健侧指伸肌腱SWE显示黄色夹杂红色为主,SWVmean为12.3 m/s,SWVmin为11.6 m/s,SWVmax为12.9 m/s

图3 左手拇长伸肌腱断裂患者(男,57岁)术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱SWE图像

表3 术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱

SWE参数比较($\bar{x}\pm s$)		m/s	
时间	SWVmean	SWVmin	SWVmax
术后1个月			
患侧	5.44±0.38*#	4.57±0.50*#	6.27±0.71*#
健侧	11.10±0.46	9.56±1.07	12.33±0.62
术后3个月			
患侧	7.27±0.27*△	5.75±0.92*△	8.60±0.66*△
健侧	11.25±0.48	9.58±1.01	12.30±0.60
术后6个月			
患侧	9.25±0.20*	7.83±1.13*	10.20±0.45*
健侧	11.16±0.45	9.54±1.03	12.28±0.58

与同一时间健侧比较,* $P<0.05$;与术后3个月患侧比较,* $P<0.05$;与术后6个月患侧比较,△ $P<0.05$ 。SWVmean、SWVmin、SWVmax:分别为剪切波速度平均值、最小值、最大值

四、相关性分析

术后患侧指伸肌腱厚度、血流信号评分与TAM均

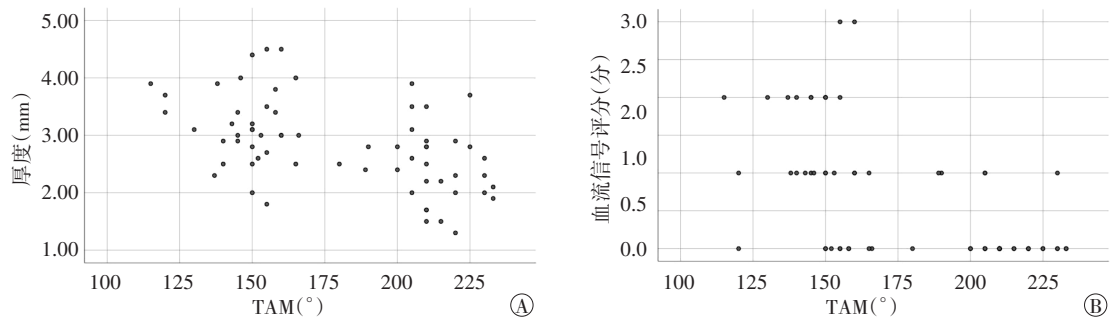
表4 术后不同时间患侧及健侧指伸肌腱

TAM比较($\bar{x}\pm s$)			
时间	患侧	健侧	t值
术后1个月	144.41±11.44	257.68±1.67	-45.945
术后3个月	169.27±22.04*	257.55±1.50	-18.746
术后6个月	217.32±10.13*#	257.59±1.74	-18.380

与术后1个月比较,* $P<0.05$;与术后3个月比较,* $P<0.05$ 呈负相关($r=-0.497$ 、 -0.635 ,均 $P<0.05$),SWVmean、SWVmin、SWVmax与TAM均呈正相关($r=0.834$ 、 0.691 、 0.832 ,均 $P<0.05$)。见图4,5。

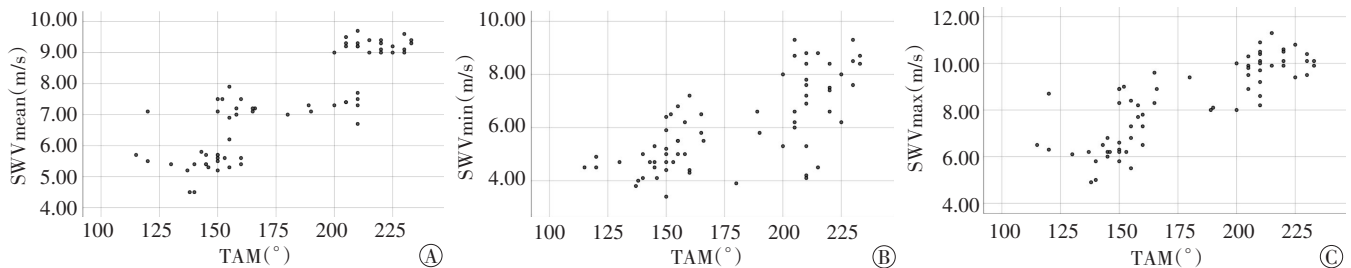
讨论

肌腱断裂修复术后可能会出现粘连、瘢痕连接、收缩性差等问题^[10],影响肌腱的功能,因此术后随访十分重要。X线仅可用于检查指伸肌腱断裂是否伴随骨折,无法显示指伸肌腱。MRI可以显示指伸肌腱的



A:厚度与TAM呈负相关;B:血流信号评分与TAM呈负相关

图4 术后患侧指伸肌腱厚度及血流信号评分与TAM的相关性分析散点图



A:SWVmean与TAM呈正相关;B:SWVmin与TAM呈正相关;C:SWVmax与TAM呈正相关

图5 术后患侧指伸肌腱SWVmean、SWVmin、SWVmax与TAM的相关性分析散点图

形态学特征,但价格昂贵,且无法进行动态、实时检查,不利于术后多次随访。近年来,随着超声技术不断发展,高频超声在肌骨领域的应用越来越多。研究^[2-3]表明,高频超声可以清晰显示肌腱断裂修复术后不同时间的肌腱微细结构改变,包括其厚度、回声、血流分布、连接方式、与周围组织的关系、滑动度等,具有实时、动态、价廉等优点。肌腱弹性是其重要的生物力学特征,评估肌腱弹性在修复术后不同时期的变化,研究肌腱功能与弹性的相关性具有重要意义。然而,通过形态学和生物力学方法测量肌腱弹性属有创检查,且在临床工作中不实用。SWE是超声弹性成像技术的一种,能定量评估组织弹性,具有无创、操作便捷等优点,能从功能学方面评价修复肌腱的弹性,为临床医师提供客观、定量的影像学诊断信息。本研究应用高频超声及SWE评估指伸肌腱断裂修复术后不同时间患侧指伸肌腱厚度、血流信号及弹性变化,并与TAM进行相关性分析,旨在为临床疗效评估提供影像学依据。

肌腱断裂修复术后会通过内在愈合和外在愈合两种机制进行愈合。本研究高频超声检查显示,指伸肌腱断裂修复术后1个月,修复区肌腱呈明显增厚的低回声区,正常线状高回声的肌纤维结构消失,可见条状高回声,与周围组织分界欠清晰,周边可见组织水肿区,能量多普勒显示局部血流信号明显增多,表明此时缝合的指伸肌腱尚处于炎症反应期。指伸肌腱修复术后3~6个月,修复区肌腱血流信号逐渐减少

甚至消失,表明炎症反应逐渐减退,内源性愈合在这个阶段起主要作用。因此在指伸肌腱修复术后,随访并监测指伸肌腱内的血流信号变化至关重要^[11]。本研究结果显示,术后1、3个月患侧指伸肌腱厚度及血流信号评分均增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);术后6个月患侧指伸肌腱厚度及血流信号评分与健侧比较,差异均无统计学意义;术后1、3、6个月患侧指伸肌腱厚度及血流信号评分均逐渐减小,两两比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),表明断裂修复术后随着时间推移患侧指伸肌腱厚度及血流信号评分均逐渐减小,术后6个月患侧指伸肌腱厚度及血流信号评分均与健侧接近,提示指伸肌腱厚度及血流信号评分可作为评估指伸肌腱断裂修复术后的一个重要形态学指标,与既往研究^[2-3]结论相似。

SWE是评估组织力学特性的常用方法,通过向组织施加声辐射力产生剪切波,并追踪其传播速度来反映组织弹性。剪切波的传播速度与组织硬度相关,其值随着硬度的增加而增大。通过测量肌腱的SWV可以直接反映其硬度,具有良好的可靠性和重复性^[12]。本研究结果显示,术后1、3、6个月患侧指伸肌腱SWVmean、SWVmin、SWVmax均小于健侧,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);术后1、3、6个月患侧指伸肌腱SWVmean、SWVmin、SWVmax逐渐增加,两两比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),表明随着时间的推移,肌腱硬度逐渐增加,但仍未达到健侧水平,与李春香^[13]研究结论相似。分析原因可能为当损伤的肌腱

修复后,会经过纤维支架形成期、纤维组织增生期、肌腱塑形初期及肌腱塑形期^[14],随着术后时间的推移,肌腱组织内肌腱细胞排列整齐,胶原纤维逐渐增加^[15],胶原纤维是肌腱弹性的主要提供者,因此指伸肌腱的弹性逐渐增加。研究^[16]表明在肌腱修复术后 1 年左右,大约能恢复到原来组织结构和生物力学特性的 70%~100% 不等,本研究术后 6 个月患侧指伸肌腱 SWV 仍低于健侧亦符合此机制。既往文献^[10,17]报道跟腱、指屈肌腱也存在类似改变。

TAM 可用于评价手指肌腱功能,是国际手外科联合会肌腱损伤委员会制订的标准方法。本研究结果显示,术后 1、3、6 个月患侧指伸肌腱 TAM 均小于健侧,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);术后 1、3、6 个月患侧指伸肌腱 TAM 逐渐增加,两两比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。表明随着术后时间的推移,患侧指伸肌腱功能逐渐恢复,但仍未达到健侧水平。本研究相关性分析显示,术后患侧指伸肌腱 TAM 与厚度呈负相关($r = -0.497, P < 0.05$),表明术后随着指伸肌腱厚度逐渐减小,肌腱逐渐愈合,手指功能逐渐恢复,与既往研究^[2]结论相似。术后患侧指伸肌腱血流信号评分与 TAM 呈负相关($r = -0.635, P < 0.05$),表明随着修复区域血流信号逐渐减少,炎症反应逐渐减少甚至消失,手指功能逐渐恢复,与既往研究^[2]结论不同,可能与术后随访时间、血流信号评分方法不同有关。术后患侧指伸肌腱 SWVmean、SWVmin、SWVmax 与 TAM 均呈正相关($r = 0.834、0.691、0.832$,均 $P < 0.05$),表明随着术后时间的推移,肌腱弹性逐渐增加,手指功能活动度逐渐恢复,提示 SWE 可用于评估指伸肌腱愈合过程的生物力学信息。与 Zhang 等^[17]研究结论相似。且 SWVmean、SWVmin、SWVmax 与 TAM 的相关性系数较厚度及血流信号评分与 TAM 的相关性系数大,表明 SWE 在指伸肌腱断裂修复术后不同时期疗效评价方面较高频超声更佳。

综上所述,高频超声及 SWE 在评估单侧指伸肌腱完全断裂修复术后不同时间疗效中有一定的临床应用价值。但本研究样本量较小,在针对指伸肌腱手术方式、损伤具体部位时并未进行严格分区处理,且随访时间较短,待今后扩大样本量深入探讨。

参考文献

[1] Collocott SJ, Kelly E, Ellis RF. Optimal early active mobilisation

- protocol after extensor tendon repairs in zones V and VI: a systematic review of literature[J]. *Hand Ther*, 2018, 23(1): 3-18.
- [2] 李春香, 张冬梅, 钱晓芹. 高频超声在手指肌腱断裂修复术后的应用价值[J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2021, 18(1): 88-91.
- [3] 蒲大容, 王冬, 张勇. 超声评估手腕部肌腱断裂修复术后患指功能的价值[J]. *临床超声医学杂志*, 2022, 24(2): 123-126.
- [4] 朱家安. 弹性成像在肌骨超声中的应用[J]. *临床超声医学杂志*, 2021, 23(7): 481-482.
- [5] 胡敏霞, 温德惠, 王立坤, 等. 肌骨超声联合弹性成像在跟腱断裂术后的应用[J]. *中国医学影像学杂志*, 2022, 30(11): 1154-1158.
- [6] 胡敏霞, 温德惠, 王立坤, 等. 高频超声与剪切波弹性成像在跟腱损伤术后评估中的应用研究[J]. *实用医学杂志*, 2022, 38(8): 1017-1021.
- [7] 徐焱, 冉海涛, 张花. 剪切波弹性成像在周围神经及肌肉组织中的应用进展[J]. *临床超声医学杂志*, 2021, 23(4): 303-305.
- [8] 易林丽. 彩色多普勒及能量多普勒对 Perthes 病髋关节血流的评价[D]. 广州: 广州中医药大学, 2012.
- [9] 宋小妹, 胡琴. Valpar-4 系统用于手部肌腱修复术后患者康复的临床应用价值[J]. *甘肃医药*, 2023, 42(3): 228-230.
- [10] 任晓霞. 剪切波弹性成像在尺神经病变与肌腱断裂术后应用价值的研究[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2019.
- [11] 胡佩俊, 黄丽雅, 胡凤莲, 等. 能量多普勒联合超声弹性成像在冈上肌肌腱炎中的诊断价值[J]. *临床超声医学杂志*, 2022, 24(3): 211-215.
- [12] Miyasaka H, Ebihara B, Fukaya T, et al. Absolute reliability of Young's modulus of the soleus muscle and Achilles tendon measured using shear wave elastography in healthy young males[J]. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol*, 2024, 37: 1-7.
- [13] 李春香. 高频超声结合弹性成像技术评估手指肌腱及断裂修复术后结构与功能恢复的应用价值[D]. 镇江: 江苏大学, 2021.
- [14] Zhu C, He L, He T, et al. Clinical effects of early rehabilitation treatment after repair surgery of skin and soft tissue defects accompanied by extensor tendon injury on the back of hand [J]. *Zhonghua Shao Shang Yu Chuang Mian Xiu Fu Za Zhi*, 2024, 40(4): 365-372.
- [15] 杨晓光, 时艳程, 马韬, 等. 生物羊膜修复跟腱断裂大鼠跟腱粘连及对愈合的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(15): 2297-2301.
- [16] Li H, Korcari A, Ciufo D, et al. Increased Ca^{2+} signaling through $Ca_v1.2$ induces tendon hypertrophy with increased collagen fibrillogenesis and biomechanical properties[J]. *FASEB J*, 2023, 37(7): e23007.
- [17] Zhang LN, Wan WB, Wang YX, et al. Evaluation of elastic stiffness in healing Achilles tendon after surgical repair of a tendon rupture using in vivo ultrasound shear wave elastography[J]. *Med Sci Monit*, 2016, 22: 1186-1191.

(收稿日期: 2024-05-11)