

· 论著 ·

跟腱断裂手术修复后超声剪切波弹性成像评估*

陈香梅¹ 王 润¹ 袁树芳¹ 白 露² 刘俐^{1,*}

1.北京大学深圳医院超声影像科 (广东 深圳 518036)

2.北京大学深圳医院运动医学与康复科 (广东 深圳 518036)

【摘要】目的 应用剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)技术研究跟腱断裂及手术修复后不同时间段、不同体位下的弹性变化, 及其与临床功能的相关性, 评价SWE成像对跟腱断裂手术修复后的评估价值。方法 使用SWE成像前瞻性研究2018年1月至2019年12月因跟腱断裂在北京大学深圳医院进行手术修复的36名患者的跟腱SWE。于初次就诊时、术后3个月、6个月、12个月时分别测量跟腱中立位、最大跖屈位、最大背屈位的SWE值, 同时进行Leppilahti跟腱修复评分。结果 跟腱断裂后, SWE值明显下降。手术修复后, 跟腱肿胀增粗, 中立位长轴跟腱SWE值先增加后降低, 最大背屈位长轴SWE值逐渐增加, 低于健康志愿者的跟腱SWE值。中立位及最大背屈位SWE值与Leppilahti跟腱修复评分呈正相关($r=0.759$, $r=0.944$)。结论 跟腱断裂手术修复后, 中立位及背屈位长轴SWE值逐渐上升, 与Leppilahti跟腱修复评分呈正相关, 可用于跟腱断裂术后随访。

【关键词】跟腱断裂; 手术; 超声; 剪切波弹性成像

【中图分类号】R444.5

【文献标识码】A

【基金项目】深圳市卫生计生系统科研项目(SZXJ2018083); 深圳市医学重点学科建设经费资助(No.SZXK051)

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2023.03.031

Evaluation of Elastography of Torn Achilles Tendon after Surgical Repair Using Shear Wave Elastography*

CHEN Xiang-mei¹, WANG Run¹, YUAN Shu-fang¹, BAI Lu², LIU Li^{1,*}

1.Department of Ultrasound, Peking University Shenzhen Hospital, Shenzhen 518036, Guangdong Province, China

2.Department of Sports Medicine, Peking University Shenzhen Hospital, Shenzhen 518036, Guangdong Province, China

Abstract: Objective To evaluate the biomechanical properties of torn Achilles tendon after surgical repair with shear wave elasticity(SWE), and its correlation with clinical function. **Methods** Thirty-six patients who underwent surgical treatment after complete rupture of the Achilles tendon between January 2018 and December 2019 were included. The data for the patient group were assessed before surgery, 3 months, 6 months and 12 months after surgery. All patients were evaluated by the Leppilahti scoring scale. The thickness and SWE values in different positions (plantar flexion, neutral position, and maximal dorsal flexion) were compared. **Results** Repaired Achilles tendon is physiologically larger than a healthy one. The SWE values decreased significantly in torn Achilles tendon. After surgery, the SWE values of Achilles tendon in neutral position increased firstly and then decreased. The SWE values of Achilles tendon in maximum dorsiflexion position increased over time, but were still lower than that of healthy volunteers. The SWE values of shear wave in neutral position and maximum dorsiflexion position were positively correlated with Leppilahti score ($r = 0.759$, $r = 0.944$). **Conclusion** SWE can provide biomechanical information of healing Achilles tendon after surgical repair and can be used for tracking outcomes and monitoring treatments of Achilles tendon rupture.

Keywords: Achilles Tendon Rupture, Ultrasound, Shear Wave Elastography

跟腱是人体最大的肌腱, 跟腱断裂是临床常见的运动损伤, 近年来群众对健康的关注度提高, 业余运动者逐年增加, 跟腱断裂的发生率也逐年提高^[1]。跟腱断裂后, 在跟腱修复期, 跟腱瘢痕愈合后, 肌腱纤维排列紊乱, 会影响其生物力学性能, 进而影响跟腱的功能。因此, 恢复断裂跟腱的生物力学特性对患者跟腱的功能有重要的意义, 如何找到一种可以客观、简便地评估跟腱断裂修复力学变化的指标显得尤其重要。

本研究的目的是通过使用剪切波弹性成像(Shear Wave Elastography, SWE)研究跟腱断裂及手术修复后不同时间段跟腱弹性的变化, 及其与临床功能的相关性, 评估跟腱断裂修复中的生物力学改变, 为指导康复训练打下基础。

1 资料与方法

1.1 研究对象 2018年1月至2019年12月因急性闭合性跟腱完全断裂在北京大学深圳医院进行开放式手术修复的患者40名, 其中4名患者失访, 最后纳入研究36名。男性31名, 女性5名, 平均年龄 36.9 ± 9.2 岁(年龄范围21~62岁), 左侧12例, 右侧24例。对照组采取了年龄、性别匹配的健康志愿者25名(共50条跟腱), 男性21名, 女性4名, 平均年龄 36.1 ± 9.9 岁(年龄范围22~60岁)。健康志愿者排除怀孕及患有其他系统疾病的患者。所有志愿者及入组

患者均签署知情同意书。本研究得到北京大学深圳医院伦理委员会的认可。

1.2 方法 仪器采用Supersonic Imaging AixPlore彩色多普勒超声诊断仪, 探头频率4~15MHz。采用仪器预设的肌肉骨骼超声检测条件。受检者均进行常规超声及SWE成像检查。跟腱断裂患者于初次就诊时、术后3个月、6个月、12个月时进行常规超声及超声SWE成像检查。常规超声检查患者取俯卧位, 双足自然垂于床边, 通过导声垫进行纵切、横切扫查, 观察跟腱的形态、血流信号情况。在自然下垂位、最大跖屈位及最大背屈位三个体位下, 在长轴及短轴切面分别测量5次弹性值, 取平均值进行统计分析。术前跟腱SWE成像仅在自然下垂位进行测量。术后3个月及6个月、12个月进行评分使用Leppilahti跟腱修复评分表对患者进行临床评分。

1.3 统计学方法 应用SPSS 19.0统计学软件, 符合正态分布的连续变量以均数±标准差表示, 应用t检验分析。使用Pearson相关系数进行相关性分析。 $P < 0.05$ 表示存在统计学差异。

2 结果

2.1 常规超声检查 正常跟腱呈条索状稍高回声, 肌腱纤维连续性完整, 近端与肌肉相连, 远端呈鸟嘴样附着于跟骨。正常情况

【第一作者】陈香梅, 女, 副主任医师, 主要研究方向: 肌肉骨骼影像学。E-mail: xiangmei_chen@163.com

【通讯作者】刘 俐, 女, 主任医师, 主要研究方向: 超声影像学。E-mail: liuli126126@126.com

下,跟腱内无明显血流信号显示。跟腱断裂超声表现为患侧跟腱连续性中断,断端回缩,断端间可见低或无回声填充。跟腱断裂手术修复后,患侧跟腱明显肿胀增厚,回声不均匀。术后6个月跟腱的厚度明显大于3个月和12个月时的跟腱厚度,差异有统计学意义($P=0.000$),见表1。

2.2 跟腱剪切波弹性成像 跟腱断裂后及手术修复后,跟腱的SWE值明显降低,与健康志愿者的中立位切面SWE值有显著性差异($P=0.000$)。跟腱断裂修复术后,长轴切面中立位跟腱弹性值增加,术后3个月时SWE值低于健康志愿者,差异有统计学意义。术后6个月时SWE值达到最大,高于健康志愿者($t=2.793$, $P=0.006$)。术后12个月SWE值下降,与健康志愿者无显著性差异($P=0.056$)。长轴切面最大背屈位SWE值逐渐增加,差异具有统计学意义($P=0.000$)。见图1。短轴切面中立位SWE值增加,均明显高于健康志愿者($P=0.000$)。最大跖屈位及最大背屈位SWE值增加,随时间呈下降趋势,与健康志愿者间均具有显著性差异($P=0.000$),见图2。不同体位下的跟腱弹性值与年龄无明显相关

性($P>0.05$)。

2.3 临床疗效评估 患者跟腱修复术后3个月、6个月及12个月的患侧Leppilahti跟腱修复评分逐渐提高,其分值分别为(80.4 ± 4.6)分, (85.9 ± 3.4)分, (90.1 ± 9.1)分。Leppilahti跟腱修复评分与中立位长轴($r=0.759$, $P=0.028$)、背屈位长轴($r=0.944$, $P=0.002$)的跟腱SWE值呈强正相关,与中立位短轴呈负相关($r=-0.61$, $P=0.036$),与其他体位的跟腱SWE值呈弱相关。

表1 正常组和跟腱断裂术后跟腱厚度比较(cm)

组别	健康志愿者	术后3个月	术后6个月	术后12个月
例数	50	36	36	36
跟腱厚度	0.51 ± 0.07	1.49 ± 0.15	$1.60\pm 0.10ab$	1.38 ± 0.15
t值		-36.810	-53.836	-32.391
P值		0.000	0.000	0.000

注: a: 与术后3个月比较, $t=3.700$, $P=0.000$; b与术后12个月比较, $t=7.344$, $P=0.000$

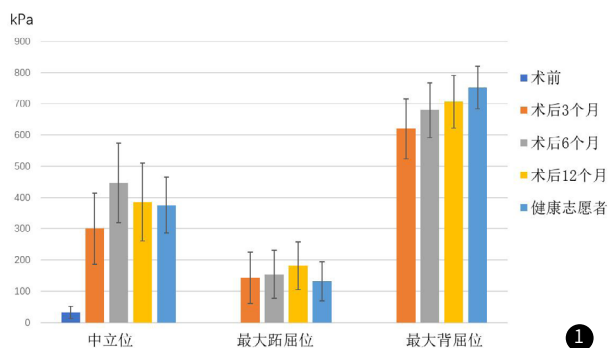
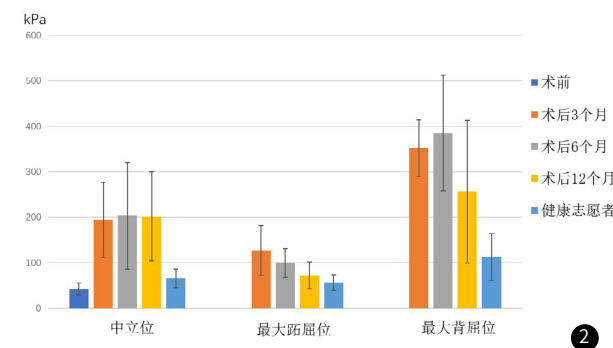


图1 跟腱断裂术后不同时期不同体位下长轴切面SWE值。跟腱断裂术后长轴切面中立位SWE逐渐增加,术后3个月SWE值增加,但低于健康志愿者($t=2.221$, $P=0.029$)。术后6个月时SWE值进一步增大,与术前($t=-18.465$, $P=0.000$)、术后3个月($t=-2.264$, $P=0.027$)、术后12个月($t=2.712$, $P=0.008$)及健康志愿者($t=2.793$, $P=0.006$)间均具有显著性差异。术后12个月时SWE值再次下降,与健康志愿者间无显著性差异($t=-0.591$, $P=0.556$)。最大背屈位, SWE值随时间逐渐增高,术后3个月($t=-17.464$, $P=0.000$)、术后6个月($t=2.888$, $P=0.000$)及术后12个月($t=2.718$, $P=0.008$)均低于健康志愿者。**图2** 跟腱断裂术后不同时期不同体位下短轴切面SWE值。跟腱断裂术后短轴切面, SWE值均高于健康志愿者。中立位SWE值术后3个月($t=-6.975$, $P=0.000$)、术后6个月($t=-8.562$, $P=0.000$)及术后12个月($t=-3.852$, $P=0.000$)均高于健康志愿者。最大跖屈位SWE值增加,术后3个月($t=-7.487$, $P=0.000$)、术后6个月($t=-4.358$, $P=0.000$)及术后12个月($t=-5.093$, $P=0.000$)均高于健康志愿者,随时间逐渐减低。最大背屈位SWE值增加,术后3个月($t=7.009$, $P=0.000$)、术后6个月($t=-11.067$, $P=0.000$)及术后12个月($t=-7.327$, $P=0.000$)均高于健康志愿者,随时间有减低趋势。



3 讨论

跟腱是人体内最大的肌腱,也是人体最常发生断裂的肌腱,在跑步、跳跃以及突然加速或减速时,受到牵拉就可能断裂。高发年龄为30-40岁,男性比例更高。一旦发生断裂则直接影响患者的日常生活。跟腱断裂手术修复后,跟腱生物力学结构的恢复对患者恢复正常的生活及运动有重要的作用。目前临床上对断裂跟腱的术后评估包括临床评分及影像学检查。

跟腱断裂临床评分主要有美国足踝外科协会(American Orthopaedic Foot and Ankle Society, AOFAS)踝与后足评分^[2],跟腱断裂评分(Achilles Tendon Rupture Score, ATRS)^[3], Leppilahti跟腱修复评分^[4]等。这些评分标准缺乏统一的应用指南,均存在一定的主观性。本研究使用的是Leppilahti跟腱修复评分,是跟腱断裂修复后常用的评估标准,包含客观指标(等速小腿肌肉力量评分、踝关节运动范围)及主观指标(疼痛评分、小腿肌无力、僵硬、鞋类限制及满意度),不涉及跟腱本身的生物力学信息。跟腱的生物力学信息可以通过跟腱的弹性来反映。

超声弹性成像技术尤其是剪切波弹性成像(Shear Wave Elastography, SWE),可用于评估组织的弹性,目前在肌肉骨骼系统中已有大量的应用,在跟腱方面目前已有一些对正常跟腱、跟腱腱病及跟腱断裂评估的超声弹性成像研究^[5-8],其可重复性较好,经过训练的操作者间的一致性较高^[9]。

跟腱各项异性明显,其SWE值与测量的方向及体位的关系密切,而与年龄无明显相关性^[5,7]。与正常跟腱相比,断裂后的跟

腱明显变软。本研究中,跟腱断裂后SWE模量值显著下降,与其他学者的研究结果一致^[6]。跟腱断裂修复后,跟腱硬度逐渐增高^[10]。研究表明,损伤后6周,跟腱的弹性特性可恢复到正常值的80%^[11]。本研究发现,跟腱手术修复后,中立位跟腱的SWE值呈先增加后降低的趋势,术后6个月时跟腱中立位SWE值明显高于正常跟腱,之后再次下降(图3)。该结果与既往研究发现的SWE值随时间逐渐增加的结果略有不同^[8,10]。本研究中,跟腱修复术后, SWE值明显高于Zhang等的数值^[8],其原因可能是既往研究使用的SWE技术其最大可测量值仅为300kPa有关^[12],结果尚需进一步验证。此外本研究还发现,跟腱最大背屈位的SWE值随时间逐渐增高,但术后12个月时仍无法达到正常水平,且分布不均匀(图4)。这可能与跟腱断裂修复后组织结构的变化相关的。

正常跟腱中,90%以上的成分为I型胶原蛋白^[13],纤维结构排列紧密且互相平行^[14],其弹性模量值较大,且分布较为均匀。在断裂的跟腱中,III型胶原蛋白的比例增加,平行排列的纤维结构消失,排列紊乱,弹性减低,且分布不均匀^[14,15]。另外跟腱断裂后,存在炎症反应、瘢痕形成、跟腱会发生钙化、增厚及纤维化等改变,也会引起跟腱弹性的改变^[16]。

跟腱断裂后组织结构的变化,引起跟腱弹性发生改变,可能会影响其功能。目前对弹性成像提供的力学信息与跟腱临床功能之间的相关性研究较少。Zhang等使用SWE成像研究跟腱断裂后不同时期跟腱的SWE值及其与临床评分的相关性,结果表明二者具有正相关性^[8]。本研究的结果也表明,跟腱中立位SWE值与

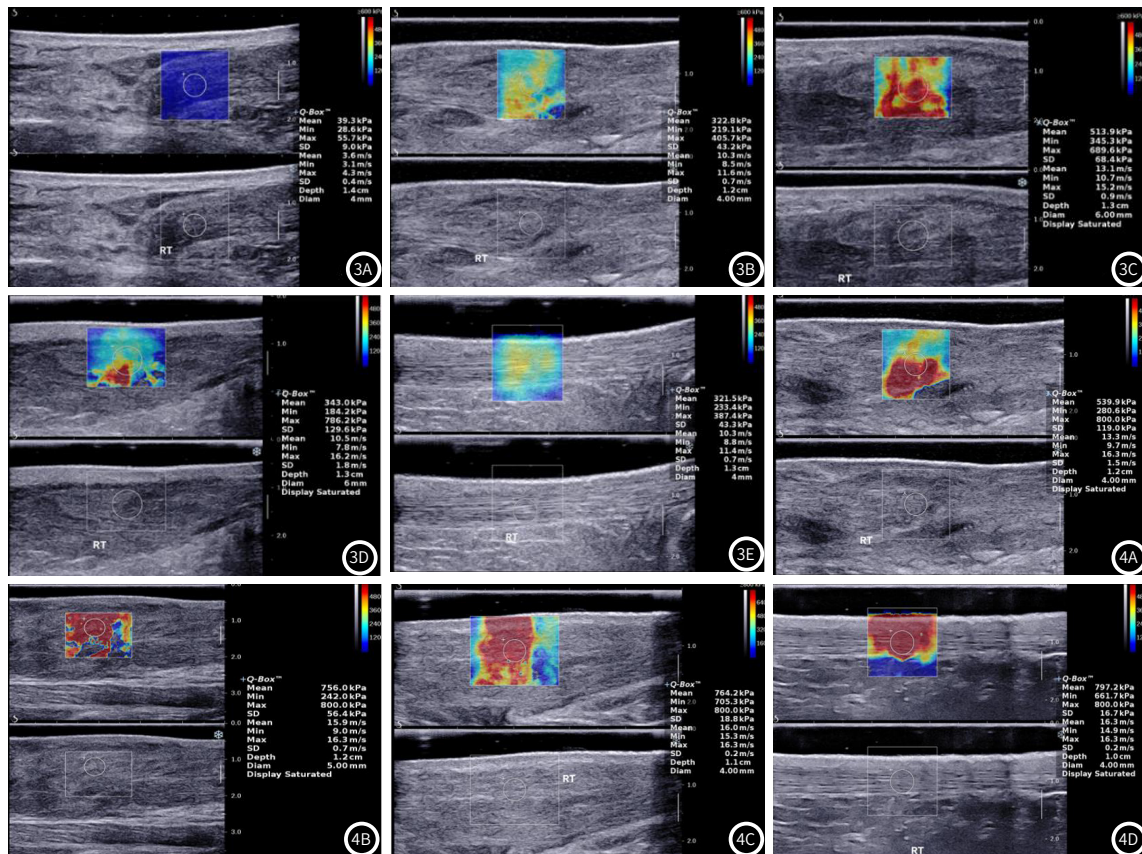


图3 跟腱断裂SWE值(中立位长轴)。男, 44岁, 足球运动后右侧跟腱完全断裂。A: 跟腱断裂后1天。跟腱连续性中断, SWE值极低。B: 术后3个月, 跟腱肿胀, 连续性完整, SWE值增高, 分布不均匀。C: 术后6个月, SWE值明显增高, 分布不均匀。D: 术后12个月, SWE值较术后6个月时降低, 分布不均匀。E: 健康志愿者跟腱, 跟腱SWE值较均匀。**图4** 跟腱断裂修复后SWE值(最大背屈位长轴)。男, 44岁, 足球运动后右侧跟腱断裂术后。A: 术后3个月, 跟腱肿胀, 连续性完整, SWE值较低, 分布不均匀。B: 术后6个月, 跟腱SWE值较术后3个月时增高, 分布不均匀。C: 术后12个月, 跟腱SWE值较术后6个月时无明显变化, 分布较均匀。D: 健康志愿者, 跟腱SWE值分布均匀。

Leppilahti跟腱修复评分呈正相关。另外, 本研究对不同时期不同体位的跟腱SWE均进行测量, 并与临床评分进行了相关性分析, 结果表明, 跟腱最大背屈位的SWE值与临床评分的相关性更好。而Zhang等的研究仅进行了自然下垂位的跟腱弹性值测量, 未进行最大背屈位和最大跖屈位的测量^[8]。

本研究还存在一些不足之处: 首先, SWE取样框大小有限, 测量位置很难保持一直, 不能完全代表整个跟腱的弹性情况。其次, 本研究为单中心研究, 未进行操作者间的一致性研究。第三, 本研究未进行跟腱弹性与跟腱病理组织结构的相关性研究。下一步希望可以从以上几个方面进行进一步的研究。

综合本研究结果, 跟腱断裂手术修复后, 跟腱肿胀增粗, 中立位及背屈位跟腱剪切波弹性值逐渐上升, 与Leppilahti跟腱修复评分呈正相关, 可用于跟腱断裂术后随访。

参考文献

- [1] Sheth, U., Wasserstein, D., Jenkinson, R., et al. The epidemiology and trends in management of acute Achilles tendon ruptures in Ontario, Canada: a population-based study of 27 607 patients. *The bone & joint journal* 2017, 99-B(1): 78-86.
- [2] Kitaoka, H. B., Alexander, I. J., Adelaar, R. S., et al. Clinical Rating Systems for the Ankle-Hindfoot, Midfoot, Hallux, and Lesser Toes. *Foot & ankle international* 1997, 18(3): 187-188.
- [3] Nilsson-Helander, K., Thomee, R., Silbernagel, K. G., et al. The Achilles tendon Total Rupture Score (ATRS): development and validation. *Am J Sports Med* 2007, 35(3): 421-426.
- [4] Leppilahti, J., Forsman, K., Puranen, J., et al. Outcome and prognostic factors of achilles rupture repair using a new scoring method. *Clin Orthop Relat Res* 1998(346): 152-161.
- [5] Cao, W., Sun, Y., Liu, L., et al. A Multicenter Large-Sample Shear Wave Ultrasound Elastographic Study of the Achilles Tendon in Chinese Adults. *J Ultrasound Med* 2019, 38(5): 1191-1200.
- [6] Chen, X. M., Cui, L. G., He, P., et al. Shear wave elastographic characterization

- of normal and torn achilles tendons: a pilot study. *J Ultrasound Med* 2013, 32(3): 449-455.
- [7] Fu, S., Cui, L., He, X., et al. Elastic Characteristics of the Normal Achilles Tendon Assessed by Virtual Touch Imaging Quantification Shear Wave Elastography. *J Ultrasound Med* 2016, 35(9): 1881-1887.
- [8] Zhang, L., Wan, W., Wang, Y., et al. Evaluation of Elastic Stiffness in Healing Achilles Tendon After Surgical Repair of a Tendon Rupture Using In Vivo Ultrasound Shear Wave Elastography. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research* 2016, 22: 1186-1191.
- [9] Peltz, C. D., Haladik, J. A., Divine, G., et al. Shear Wave elastography: repeatability for measurement of tendon stiffness. *Skeletal radiology* 2013, 42(8): 1151-1156.
- [10] Ciloglu, O., Görgülü, F. F. Evaluation of a Torn Achilles Tendon After Surgical Repair: An Ultrasound and Elastographic Study With 1-Year Follow-up. *J Ultrasound Med* 2020, 39(7): 1263-1269.
- [11] Frankewycz, B., Henssler, L., Weber, J., et al. Changes of Material Elastic Properties during Healing of Ruptured Achilles Tendons Measured with Shear Wave Elastography: A Pilot Study. *International journal of molecular sciences* 2020, 21(10): 3427.
- [12] Bercoff, J. *ShearWave™ Elastography white paper*, 2008.
- [13] O'Brien, M. The anatomy of the Achilles tendon. *Foot Ankle Clin* 2005, 10(2): 225-238.
- [14] Maffulli, N., Longo, U. G., Maffulli, G. D., et al. Marked pathological changes proximal and distal to the site of rupture in acute Achilles tendon ruptures. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 2010, 19(4): 680-687.
- [15] Maffulli, N., Ewen, S. W. B., Waterston, S. W., et al. Tenocytes from ruptured and tendinopathic Achilles tendons produce greater quantities of type III collagen than tenocytes from normal Achilles tendons - An in vitro model of human tendon healing. *American Journal of Sports Medicine* 2000, 28(4): 499-505.
- [16] Wang, J. H. C. Mechanobiology of tendon. *Journal of Biomechanics* 2006, 39(9): 1563-1582.

(收稿日期: 2022-06-21)

(校对编辑: 孙晓晴)