

·临床研究·

## 剪切波弹性成像技术用于评价排球运动员髌腱弹性恢复情况的研究\*

王婧鲟<sup>1</sup> 刘 卉<sup>2</sup> 宋 琳<sup>3,5</sup> 崔立刚<sup>4</sup>

### 摘要

**目的:**以二维超声指标低回声区面积作为评价标准,将实时剪切波弹性成像(SWE)的弹性指标杨氏模量与低回声区面积对比,评价髌腱末端病治疗前后髌腱的弹性恢复情况,同时分析杨氏模量是否可以作为评价髌腱末端病治疗效果的指标。

**方法:**以髌尖部存在低回声区为标准筛选了16例患有髌腱末端病的男性排球二级运动员,随机分为治疗组和对照组各8例。治疗组进行1次/周,共5周的冲击波治疗,对照组不做任何治疗;在实验前、中、后分别进行剪切波弹性成像检查和二维超声检查。采用混合设计双因素方差分析比较两组之间以及治疗前、中、后的低回声区面积和杨氏模量;采用线性回归分析低回声区面积和杨氏模量的关系。

**结果:**前三周、后两周以及整个治疗前后,治疗组低回声区面积均显著减小( $P=0.003, P<0.001, P=0.002$ );治疗组杨氏模量在前三周以及整个治疗前后均显著增大( $P<0.001, P<0.001$ ),但在最后两周治疗之间没有显著变化。对照组的低回声区面积和杨氏模量在整个过程中均无显著改变。在治疗组与对照组之间,治疗前低回声区面积和杨氏模量均没有显著差异,治疗3周和5周后治疗组低回声区面积显著小于对照组( $P=0.042, P=0.003$ ),杨氏模量显著大于对照组( $P<0.001, P<0.001$ )。杨氏模量和低回声区面积显著负相关,当杨氏模量 $<80\text{kPa}$ 时,低回声区面积 $=1.649-0.019\times$ 杨氏模量( $R^2=0.608, P<0.001$ );当杨氏模量 $>80\text{kPa}$ 时,低回声区面积 $=0.651-0.003\times$ 杨氏模量( $R^2=0.752, P<0.001$ )。

**结论:**在髌腱末端病恢复进程中,髌腱弹性是逐渐增大的;实时剪切波弹性成像技术可以用于评价髌腱末端病的治疗效果,髌腱杨氏模量与低回声区面积间的关系与杨氏模量大小有关。

**关键词** 冲击波治疗;跳跃膝;实时剪切波弹性成像技术;杨氏模量

**中图分类号:**R493,R459.9,R686.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2022)-07-0912-06

Using shear wave elastography to evaluate the elastic recovery of volleyball players' patellar tendon/  
WANG Jingping, LIU Hui, SONG Lin, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2022, 37(7):  
912—917

### Abstract

**Objective:** By using Hypoechoic area from two-dimensional ultrasound examination as the standard and reference and comparing Young's modulus from real-time shear wave elastography(SWE) with hypoechoic area, the aim of this study was to evaluate the elastic recovery of symptomatic patellar tendon before and after treatment and figure out whether Young's modulus could be used as an index to evaluate the treatment of jumper's knee.

**Method:** Sixteen professional volleyball athletes with jumper's knee were recruited and randomly divided into treatment group and control group, with 8 cases in each group. The treatment group received shock wave ther-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.07.008

\*基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助课题(2019PT002)

1 北京体育大学运动人体科学学院,北京,100084; 2 北京体育大学中国运动与健康研究院; 3 北京体育大学运动医学与康复学院;  
4 北京大学第三医院; 5 通讯作者

第一作者简介:王婧鲟,女,硕士研究生; 收稿日期:2020-07-12

apy once a week for 5 weeks, and the control group did not receive any treatment. Shear wave 1 elastography and two-dimensional ultrasound examination were performed before, during, and after therapy. Two-way analysis of variance (ANOVA) with mixed design was performed to compare hypoechoic area and Young's modulus between the two groups and before, during and after therapy. Linear regression analysis was performed to determine the relationship between hypoechoic area and Young's modulus.

**Result:** In the first three weeks, the last two weeks, and the entire treatment, the hypoechoic area in the treatment group decreased significantly ( $P=0.003$ ,  $P<0.001$ ,  $P=0.002$ ). The Young's modulus of the treatment group was significantly increased both in the first three weeks and the entire treatment ( $P<0.001$ ,  $P<0.001$ ), while no significant change in the last two weeks. The hypoechoic area and Young's modulus of the control group did not change during the whole process. There was no significant difference in hypoechoic area and Young's modulus between the treatment group and the control group before treatment. The hypoechoic area in the treatment group was significantly smaller than that in the control group after three and five weeks ( $P=0.042$ ,  $P=0.003$ ). The Young's modulus was significantly greater than that in the control group ( $P<0.001$ ,  $P<0.001$ ). Young's modulus exhibited a significantly negative correlation with hypoechoic area. When Young's modulus was less than 80kPa, the hypoechoic area was about  $1.649-0.019 \times \text{Young's modulus}$  ( $R^2=0.608$ ,  $P<0.001$ ). when Young's modulus was greater than 80kPa, the hypoechoic area was about  $0.651-0.003 \times \text{Young's modulus}$  ( $R^2=0.752$ ,  $P<0.001$ ).

**Conclusion:** During the recovery of jumper's knee, the elasticity of patellar tendon increases gradually. Real-time shear wave elastography can be used to evaluate the treatment effect of jumper's knee. The relationship between Young's modulus and hypoechoic area is related to the value of the Young's modulus.

**Author's address** College of Human Movement Science, Beijing Sport University, Beijing, 100084

**Key word** shock wave therapy; jumper's knee; shear wave elastography; Young's modulus

髌腱末端病又称跳跃膝<sup>[1]</sup>,是一种常见的过度劳损型慢性运动损伤<sup>[2-3]</sup>。其在微观上表现为胶原纤维变性、退化,髌腱弹性改变,在宏观上表现为功能受限,甚至出现髌腱断裂。髌腱末端病多发于篮球、排球等跳跃性动作为主的运动项目<sup>[4]</sup>,常表现为膝前痛、跳跃痛、膝盖打软、上下楼梯痛等临床症状。因其发病率较高<sup>[3-5]</sup>,严重影响患者日常生活和运动表现<sup>[3]</sup>,严重的髌腱末端病会导致专业运动员长时间停训治疗,所以十分必要进行早期诊断并在康复治疗过程中全面监控评价。

二维超声是评价肌腱损伤的金标准。低回声区面积被认为是临床诊断中确认髌腱组织是否病变的重要诊断标准<sup>[6]</sup>。二维超声下髌腱厚度和低回声区面积同时也是评价髌腱末端病治疗过程中组织结构变化的常用指标<sup>[7]</sup>。然而也有研究表明,髌腱末端病的某些病理改变在传统超声中与正常髌腱难以区分,二维超声检查的敏感性有限<sup>[8]</sup>,而这些由于力学原因产生的病理改变似乎和髌腱弹性有关<sup>[9]</sup>。

实时剪切波弹性成像技术(shear wave elasticity, SWE)是一种近几年开始应用于肌肉骨骼系统

疾病的新方法,可以通过测定杨氏模量定量评价组织弹性<sup>[10]</sup>。Timm等<sup>[11]</sup>比较SWE与标准超声诊断肌腱病变的准确性,发现标准超声对髌腱末端病的诊断敏感性为71%,如果与实时剪切波弹性成像技术结合,诊断敏感性可以达到100%,显著提高了髌腱超声检查的诊断准确性。Tobias等<sup>[12]</sup>将健康跟腱的剪切波成像结果与常规超声结果作比较,发现两者高度相关,提示髌腱弹性可以有效评估健康髌腱。但是,目前尚不了解SWE技术是否可以用来评价病变髌腱的治疗效果,这使得SWE技术广泛推广和应用受到局限。

因此本研究的目的是,通过分析髌腱末端病患者治疗前、中、后期超声低回声区面积与剪切波成像杨氏模量之间的关系,确定剪切波成像技术作为评价髌腱末端病治疗效果手段的有效性和可行性。本研究结果可以为更好的进行髌腱末端病诊断及治疗效果评价提供依据。本研究拟验证两个研究假设:首先,髌腱末端病患者经过治疗,髌腱低回声区面积减小,同时杨氏模量增大;其次,杨氏模量和低回声区面积的负相关关系显著。

## 1 对象与方法

### 1.1 受试者

本研究招募对象为北京体育大学患有髌腱末端病的男性排球国家二级运动员。受试者先进行查体,符合查体纳入标准的受试者再进行影像学筛查。查体纳入标准为:①髌尖部髌腱压痛试验阳性;②抗阻伸膝疼痛试验或单腿下蹲疼痛试验阳性;③1个月内上下楼梯、跳跃或半蹲出现膝前痛或腿软现象;④1h以内大强度训练膝前痛明显;⑤症状持续3个月以上;⑥能积极配合参与。查体排除标准为:①膝关节有手术史;②膝关节有其他严重病症;③3个月内下肢发生其他运动损伤;④年龄不足18周岁,骨骼发育不成熟。影像学筛查纳入标准为:髌尖处存在低回声区。排除标准为:髌腱中段或胫骨粗隆附着处存在低回声区。

根据以上条件,筛选出16例患有髌腱末端病的男性排球国家二级运动员,随机分为治疗组和对照组,每组各8例。治疗组年龄( $21.5 \pm 1.4$ )岁,身高( $1.87 \pm 0.06$ )m,体重( $77.5 \pm 5.5$ )kg,训练史( $6.2 \pm 2.5$ )年,疼痛时长( $2.4 \pm 2.2$ )年。对照组年龄( $21.3 \pm 0.9$ )岁,身高( $1.82 \pm 0.07$ )m,体重( $73.2 \pm 9.7$ )kg,训练史( $5.5 \pm 3.0$ )年,疼痛时长( $2.1 \pm 1.8$ )年。

### 1.2 研究设计

受试者均签署知情同意书,治疗组在实验期间只进行冲击波治疗,对照组不做任何治疗。在治疗期间两组受试者均正常训练。在实验前、中、后期两组均进行二维超声检查和剪切波弹性成像检查,分别计算记录低回声区面积和杨氏模量。治疗组在进行第一

次影像学检查确诊后1周内开始第一次冲击波治疗。冲击波治疗10—20min/次/周,共5次。每位受试者的治疗全程由同一操作者负责,治疗时间统一为傍晚。治疗时间要求在大强度训练24h后,并保证冲击波治疗后24h内无训练。治疗前、中、后期的二维超声和剪切波弹性成像检查由同一位医师在中午进行。3次检查时间为:第一次治疗前一周内,第三次和第四次治疗之间,第五次治疗后一周内。

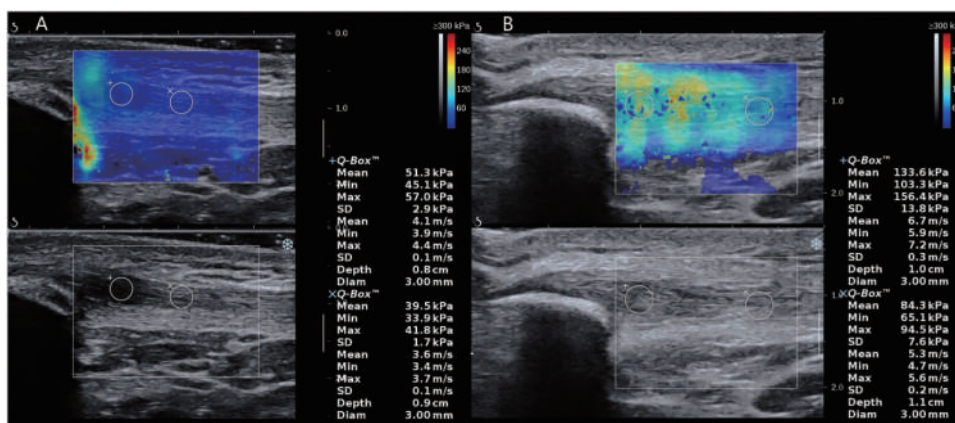
### 1.3 二维超声检查和剪切波弹性成像检查

二维超声检查采用西门子s3000超声检查仪,L17-5高频探头,内置肌肉骨骼扫查条件,对髌腱进行常规超声检查。根据2010年欧洲肌肉骨骼放射学会超声小组委员会(ESSR)制定的肌肉骨骼超声指南,检查时患者仰卧位,屈膝 $30^\circ$ ,探头垂直于取样面,取病灶区最大长径与最大短径的乘积得到病灶区低回声区面积。

低回声区面积( $\text{cm}^2$ )=最大长径( $\text{cm}$ ) $\times$ 最大短径( $\text{cm}$ )<sup>[13]</sup>

实时剪切波弹性成像检查采用法国Supersonic Aixplorer彩色多普勒超声诊断仪。参数设定为: preset: SL15-4(4-15MHz), SUP MSK; Option, Std; Opacity: 50%; Elasticity Map, 1; Smoothing。根据欧洲肌肉骨骼放射学会超声小组委员会(ESSR)2010年制定的肌肉骨骼超声指南,患者仰卧位放松,膝关节屈曲 $30^\circ$ 。测量区域取髌尖下2cm内的病灶处,探头垂直于取样面,探头静置3—5s后截取稳定充满状图,设定取样框Q-BOX直径3.0mm,重复测量3次取平均值(图1)。根据声科机器内设公式,杨氏模量与剪切波速度之间的定量关系为:  $E=3\rho c^2$  ( $E$ :

图1 治疗前(A)和治疗后(B)的实时剪切波弹性成像检查





杨氏模量,单位 kPa;  $c$ : 剪切波传播速度,单位 m/s;  $\rho$ : 组织密度,单位 g/cm<sup>3</sup>,取  $\rho=1$ 。

#### 1.4 冲击波治疗

冲击波治疗采用德国 GYMNA ShockMaster50 型冲击波治疗仪,根据前人研究<sup>[14-15]</sup>以及 ShockMaster50 使用手册推荐剂量,每次治疗时间 15—20mins,初次治疗剂量统一规定为:①痛点治疗:强度 1.2Bar,频率 8Hz,击打 2000 次<sup>[16]</sup>;②股四头肌放松性治疗:强度 2.5Bar,频率 20Hz,击打 1500 次。后续治疗根据受试者耐受程度调整强度<sup>[17]</sup>,每次在前一次治疗基础上增加 0.1—0.3Bar,受试者视觉类比疼痛评估表(VAS)主观疼痛评分 6—7 分。治疗时受试者仰卧位,屈膝 90°,膝盖下方放置泡沫垫,枪头垂直于髌腱,避免直接击打骨性结构。

#### 1.5 统计学分析

采用混合设计双因素方差分析确定组别和时间对低回声区面积和杨氏模量的影响。若组别和时间之间交互作用显著,事后检验应用简单效应分析,使用单因素方差分析确定时间对指标的影响,使用独立样本  $t$  检验比较不同组别之间指标的差异,统计学显著性定义为 I 类误差  $\leq 0.05$ 。采用线性回归分析低回声区面积和杨氏模量的关系, $P$  值小于或等于 0.05 说明回归方程具有显著性意义。

所有统计学分析采用 SPSS 21.0 软件(SPSS, Chicago, IL, USA)进行。

## 2 结果

双因素方差分析结果显示(表 1),时间与组别对低回声区面积的影响存在显著交互作用( $P=0.001$ )。单因素方差分析结果显示,治疗组髌腱的低回声区面积在冲击波治疗 3 周后( $P=0.003$ )和 5 周后( $P<0.001$ )都显著小于治疗前,且治疗 5 周后髌腱

的低回声区面积也显著小于治疗 3 周后( $P=0.002$ )。而对照组低回声区面积没有因为时间发生显著变化( $P>0.05$ )。独立样本  $t$  检验结果显示,治疗前两组受试者低回声区面积没有显著性差异( $P=0.770$ ),3 周后和 5 周后治疗组低回声区面积均显著小于对照组( $P=0.042, P=0.003$ )。

双因素方差分析结果显示(表 1),时间和组别对杨氏模量的影响存在显著交互作用( $P<0.001$ )。单因素方差分析结果显示,治疗组髌腱的杨氏模量在冲击波治疗 3 周后( $P<0.001$ )和 5 周后( $P<0.001$ )都显著大于治疗前,但治疗 5 周后髌腱的杨氏模量与治疗 3 周后无显著性差异( $P=0.205$ )。而对照组杨氏模量没有因为时间发生显著变化( $P>0.05$ )。独立样本  $t$  检验结果显示,治疗前两组受试者杨氏模量没有显著性差异( $P=0.320$ ),3 周后和 5 周后治疗组杨氏模量均显著大于对照组( $P<0.001, P<0.001$ )。

线性回归分析结果显示,低回声区面积和杨氏模量之间的回归方程为:

低回声区面积 =  $0.836 - 0.005 \times$  杨氏模量 ( $R^2=0.459, P<0.001$ )

结果显示  $R^2=0.459$ , 杨氏模量与低回声区面积负相关关系显著(图 3A)。同时观察发现 80kPa 前后低回声区面积减小趋势不同,再以 80kPa 为界,分别采用线性回归分析确定低回声区面积与杨氏模量的关系,结果显示回归方程为:

当杨氏模量小于 80kPa 时:低回声区面积 =  $1.649 - 0.019 \times$  杨氏模量 ( $R^2=0.608, P<0.001$ )

当杨氏模量大于 80kPa 时:低回声区面积 =  $0.651 - 0.003 \times$  杨氏模量 ( $R^2=0.752, P<0.001$ )

结果显示以杨氏模量 80kPa 为界,髌腱杨氏模量与低回声区面积的回归关系明显不同(图 3B)。当髌腱杨氏模量低于 80kPa 时,低回声区面积随杨氏模量增加而降低的速度较快,而髌腱杨氏模量大于 80kPa 后,低回声区面积随杨氏模量增加而降低的速度较慢。且经过 80kPa 分割,杨氏模量变化可以解释 60% 以上的低回声区面积变化。

## 3 讨论

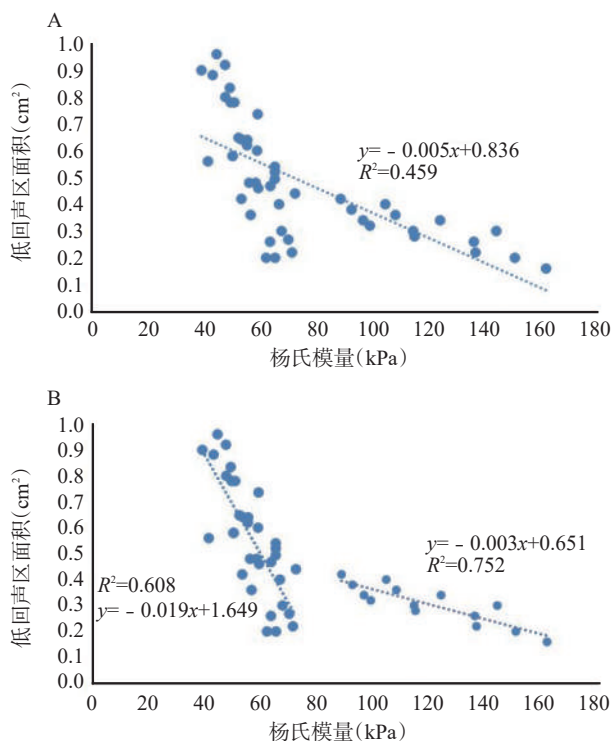
本研究的目的是通过分析髌腱末端病患者治疗前、中、后期超声低回声区面积与剪切波弹性成像杨

表 1 受试者不同时间髌腱低回声区面积和杨氏模量

| 时间  | 治疗组                          |                           | 对照组                          |                         |
|-----|------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|
|     | 低回声区面积<br>(cm <sup>2</sup> ) | 杨氏模量<br>(kPa)             | 低回声区面积<br>(cm <sup>2</sup> ) | 杨氏模量<br>(kPa)           |
| 第一周 | 0.54±0.19                    | 59.14±8.04                | 0.58±0.30                    | 55.21±7.17              |
| 第三周 | 0.37±0.10 <sup>①</sup>       | 107.28±31.28 <sup>①</sup> | 0.56±0.21 <sup>④</sup>       | 51.66±8.36 <sup>④</sup> |
| 第五周 | 0.28±0.07 <sup>②③</sup>      | 119.06±24.10 <sup>②</sup> | 0.58±0.22 <sup>④</sup>       | 58.34±9.95 <sup>④</sup> |

注:①治疗中与治疗前相比具有显著性差异( $P<0.05$ );②治疗后与治疗前相比具有显著性差异( $P<0.05$ );③治疗后与治疗中相比具有显著性差异( $P<0.05$ );④两组间具有显著性差异( $P<0.05$ )。

图3 杨氏模量与低回声区面积的相关性



氏模量之间的关系,确定剪切波弹性成像技术作为评价髌腱末端病疗效手段的有效性和可行性,为临床中监测髌腱末端病疗效提供新指标和新方法。本研究结果验证了第一个研究假设,即治疗之后髌腱的弹性增大,同时低回声区面积减小。低回声区面积减小表明本研究冲击波治疗方案有效,可以为临床治疗方案提供借鉴。在此基础上,髌腱弹性的增大证明在髌腱末端病康复进程中,髌腱弹性是逐渐增大的。本研究首次提供了病变髌腱治疗前后的弹性数据,Timm等<sup>[11]</sup>测量了病变髌腱和健康髌腱的杨氏模量值,发现病变髌腱组的平均杨氏模量值为(56.3±18.3)kPa,显著低于健康髌腱组的平均杨氏模量值(176.2±18.2)kPa,在跟腱炎组和肱骨外上髁炎组也存在相似的差异,与本研究结果一致。本研究结果中,治疗组在治疗前平均杨氏模量值为(59.14±8.04)kPa,治疗后平均杨氏模量值增大为(119.06±24.10)kPa,这提示在今后的疗效监控体系中,临床医生和超声科医师可以通过观察治疗前后髌腱弹性是否增大来判断治疗方向是否正确。

病变髌腱的弹性在治疗后增大这一结果可以从

组织学层面进行解释。Woo等<sup>[18]</sup>研究表明,在肌腱的干重中,胶原纤维占比86%,具有良好的弹性基础。同时,肌腱内部由一系列结构层次构成,从大到小分别为肌腱束、原纤维、亚原纤维、微原纤维和元胶原蛋白<sup>[19]</sup>。所有结构都遵循在纵轴方向平行排列的原则,平行排列的方式大大增加了肌腱的抗拉能力。病变髌腱进行冲击波治疗后,在组织学上,愈合的过程可以分为发炎、增殖、重塑三个阶段<sup>[20]</sup>。损伤后即刻,部分腱纤维断裂导致局部弹性降低;在增殖过程中,有研究表明,成纤维细胞内质网增加,Ⅲ型胶原蛋白和DNA浓度升高<sup>[21]</sup>,损伤处逐渐形成组织排列混乱的肉芽组织从而恢复一部分弹性;在重塑阶段,Ⅲ型胶原蛋白向I型胶原蛋白转化,胶原纤维逐渐恢复沿肌腱长轴的纵向定向排列<sup>[21]</sup>,进一步增加弹性,恢复功能。在本研究中,观察到最后两周的冲击波治疗并未使肌腱的弹性发生显著性差异。这可能是因为该时间段在整个弹性恢复过程中处于平台期,或者本次试验中髌腱组织对治疗方法形成了耐受性。冲击波治疗通过对局部造成二次损伤从而激活坏死组织的自我修复<sup>[22]</sup>,经过3周的治疗,坏死组织的修复基本已被激活,胶原纤维已大量增殖,最后两周治疗中,组织正处于为期数周的增殖期后段<sup>[20]</sup>,未向重塑期发生转换,胶原纤维增殖速度减慢,所以表现为最后两周之间弹性增加不明显。

本研究结果验证了第二个研究假设,杨氏模量和低回声区面积负相关关系显著,说明杨氏模量可以准确反映病变髌腱的结构恢复情况。大量在体研究和离体研究表明,髌腱功能强弱与弹性大小有关<sup>[23-27]</sup>。Ooi等<sup>[28]</sup>研究发现在髌腱末端病临床诊断方面,相比于二维超声和多普勒超声,剪切波弹性成像与疼痛和功能障碍(victorian institute of sport assessment-patella, VISA-P)的相关性更高,这说明弹性指标与传统超声指标相比,能更准确地反映患者的疼痛情况和功能状态。结合本研究结果,进一步说明杨氏模量在临床中可以有效定量评价髌腱末端病治疗效果,相比于传统超声指标更适合作为临床中监测病变髌腱疗效的指标。同时,在临床实践中,杨氏模量指标从超声仪器中直接读取,可以为超声科医师有效节约指标计算的时间成本。有趣的是,本研究发现髌腱弹性为80kPa时是一个明显的拐

点,在拐点的两边,随弹性的增大,低回声区面积减小的速率是不同的。当髌腱弹性 $>80\text{kPa}$ 后,低回声区面积随弹性增大而减小的速率降低为弹性 $<80\text{kPa}$ 时的16%。在组织学层面,可以认为肌腱弹性增大和损伤面积减小是分别从两个不同方面反映了髌腱愈合的过程<sup>[19,29-32]</sup>。Gomez等<sup>[21]</sup>研究表明,肌腱的抗拉强度在增殖期结束时可恢复约80%,并且进入重塑期后抗拉强度恢复速率并没有出现增大,所以本研究认为低回声区面积随弹性增大而减小的速率在后期出现减慢的主要原因可能是低回声区面积减小的速率在病变肌腱愈合重塑期出现明显减慢<sup>[19,33]</sup>。本研究回归分析结果与前人研究相似,有研究表明 $70\text{kPa}$ 是健康跟腱和病变跟腱的分界值<sup>[34]</sup>,本研究则支持在髌腱弹性中, $80\text{kPa}$ 可能是健康髌腱与病变髌腱的分界值,为临床中髌腱末端病的诊断提供一定参考意义,但还需要更多的研究来进一步确认。杨氏模量值是一种连续变量,可以对病变髌腱的恢复进行定量监控,其临床意义在于临床医生和超声科医师可以直接通过观察髌腱弹性增大程度来判断康复疗效的好坏。在个体化康复方案的制定与执行中,治疗师可以指导患者定期进行剪切波弹性成像检查,以髌腱弹性的增大或减小以及变化量大小为标准评估阶段康复方案的疗效,并对治疗方案进行及时调整。综上,本研究结果对于髌腱功能评估、损伤预防、监控病变髌腱恢复情况、定量监测康复疗效以及制定个体化康复方案具有重大意义。

#### 4 结论

SWE可以准确测量和定量评价髌腱末端病治疗后的髌腱弹性变化,通过弹性的增大提示髌腱的功能恢复;杨氏模量变化可以解释60%以上的低回声区面积变化,是一种可以有效评价髌腱末端病治疗效果的指标,值得临床推广。

#### 参考文献

- [1] 王国祥,张秋霞,鲍捷.髌腱末端病运动员膝关节动作反应的变化特征[J].中国康复医学杂志,2011,26(9):838—842.
- [2] Lian Oystein B, Engebretsen Lars, Bahr Roald. Prevalence of jumper's knee among elite athletes from different sports: a cross-sectional study[J]. American Journal of Sports Medicine, 2005, 33(4): 561—567.
- [3] 任玉衡,田得祥,史和福,等.优秀运动员的运动创伤流行病学

- 调查[J].中国运动医学杂志,2000,19(4):377—386.
- [4] Peers Koen HE, Lysens Roeland JJ. Patellar tendinopathy in athletes: current diagnostic and therapeutic recommendations[J]. Sports Medicine, 2005, 35(1): 71—87.
- [5] Cassel M, Baur H, Hirschmuller A, et al. Prevalence of Achilles and patellar tendinopathy and their association to intratendinous changes in adolescent athletes[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2015, 25(3): e310—e318.
- [6] Eugene Sun Yim, Gianmichael Corrado. Ultrasound in sports medicine[J]. Sports Medicine, 2012, 42(8): 665—680.
- [7] Christian RA, Rossy WH, Sherman OH. Patellar tendinopathy recent developments toward treatment[J]. Bulletin of The Hospital for Joint Diseases, 2014, 72(3): 217—222.
- [8] Visnes H, Tegnander A, Bahr R. Ultrasound characteristics of the patellar and quadriceps tendons among young elite athletes[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2015, 25(2): 205—215.
- [9] 杨金娟,谢敏豪,黄伟平,等.运动性肌腱损伤研究进展[J].中国运动医学杂志,2019,38(9): 809—815.
- [10] Aubry S, Risson JR, Barbier-Brion B, et al. Transient elastography of calcaneal tendon: preliminary results and future prospects[J]. Journal De Radiologic, 2011, 92(5): 421—427.
- [11] Timm Dirrichs, Valentin Quack, Matthias Gatz, et al. Shear wave elastography (SWE) for the evaluation of patients with tendinopathies[J]. Academic Radiology, 2016, 23(10): 1204—1213.
- [12] Tobias De Zordo, Christian Fink, Gudrun M Feuchtnner, et al. Real-time sonoelastography findings in healthy achilles tendons[J]. American Journal of Roentgenology, 2009, 193(2): W134—138.
- [13] 彭科志.冲击波治疗髌腱病影像变化及疗效研究[D].北京:北京体育大学.2015.
- [14] 刘雪峰,程亮,钱莉,等.冲击波用于优秀运动员髌腱末端病治疗的效果观察[J].中国康复医学杂志,2018,33(7): 858—860.
- [15] 范志英,金志高,宋宏晖,等.分散体外冲击波治疗髌腱炎的时效性研究[J].实用骨科杂志,2020,26(9): 843—846.
- [16] 闫红梅,孟齐生.体外冲击波治疗髌腱炎48例疗效观察[J].浙江创伤外科,2019,24(4): 730—731.
- [17] Schmitz C, Császár N B M, Milz S, et al. Efficacy and safety of extracorporeal shock wave therapy for orthopedic conditions: a systematic review on studies listed in the PEDro database[J]. British Medical Bulletin, 2015, 116(1): 115—138.
- [18] Woo SL, Debski RE, Zeminski J, et al. Injury and repair of ligaments and tendons[J]. Annual Review of Biomedical Engineering, 2000, 2: 83—118.
- [19] Derwin K. A quantitative investigation of structure-function relationships in a tendon fascicle model[D]. Michigan: University of Michigan, Ann Arbor, 1998.
- [20] 曲绵域,于长隆.实用运动医学[M].北京:北京大学医学出版社.2003.
- [21] Gomez M. Rehabilitation of the injured knee[M]. 2nd Edition. St. Louis, MO: Mosby Company, 1995: 34—44.
- [22] 于铁成,陈小英,董世娜,等.冲击波治疗膝关节骨性关节炎的

(下转第923页)