·临床研究·

# 腓肠肌内外侧硬度与跟腱硬度的相关性研究*

常田田[1] 王雪强[1] 臧新宇[2] 冯亚男[2] 张志杰[2,3]

**摘要**

**目的：**使用新型软组织弹性触诊仪（MyotonPRO）对健康受试者的跟腱硬度进行信度研究，探究腓肠肌内侧、外侧硬度与跟腱硬度相关性。

**方法：**招募40例健康受试者，测试者A、B使用MyotonPRO对受试者跟腱硬度进行测量，测量点为根骨结节上方2cm（AT-2）和4cm（AT-4），测试者A单独对腓肠肌硬度进行测量。分别计算了测试者之间及同一测试者前后测试指标的组内相关系数（ICC）、最小检测变化值（MDC）及肌肉硬度与肌腱硬度之间的相关系数。

**结果：**测试者之间以及同一测试者前后所测指标信度良好（ICC=0.86—0.93）。踝关节中立位时，腓肠肌内、外侧与AT-4硬度的相关性分别为0.60和0.49（$P<0.05$），腓肠肌内侧与AT-2硬度的相关性为0.36（$P<0.05$），腓肠肌外侧与AT-4硬度无相关性（$P>0.05$）。踝关节背屈10°位时，仅腓肠肌外侧与跟腱AT-4硬度存在相关性，相关系数为0.34（$P<0.05$）。

**结论：**MyotonPRO测量跟腱硬度的可信度较高，腓肠肌内、外侧肌肉硬度与跟腱硬度的相关性具有一定差异，并且受踝关节角度变化的影响。

**关键词** 跟腱；硬度；MyotonPRO；信度；相关性

**中图分类号：**R681，R49 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-1242（2021）-11-1408-06

**The study on the correlation between the stiffness of the gastrocnemius and the stiffness of achilles tendon/CHANG Tiantian，WANG Xueqiang，ZANG Xinyu，et al.//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine，2021，36(11)：1408—1413**

**Abstract**

**Objective：**To investigate the intra and inter-operator reliability of MyotonPRO for quantifying Achilles tendon (AT) stiffness and explore the correlations between the stiffness of the medial head of gastrocnemius (MG), the stiffness of the lateral head of gastrocnemius (LG) and the stiffness of the Achilles tendon.

**Method：**Forty healthy subjects (male，n=20，female，n=20) were recruited，and the stiffness of the AT (2 and 4 cm above the calcaneal tuberosity) were measured using a MyotonPRO device by rater A and B. Only rater A measured the stiffness of gastrocnemius. Intra-class correlation coefficients (ICCs), minimum detectable change (MDC) and correlation coefficient were calculated in this study.

**Result：**All reliability values for the measurement stiffness of the AT were higher than 0.85 (ICC=0.86—0.93). The correlations between the MG/LG and AT-4 stiffness were 0.60 and 0.49 in the ankle neutral position ($P<0.05$). The correlation between the MG and AT-2 stiffness was 0.36 when in the ankle neutral position. And there was no correlation between the stiffness of LG and AT-4 stiffness ($P>0.05$). Only the correlation between the LG and AT-4 stiffness was found when in the ankle dorsiflexied 10° and the value was 0.34($P<0.05$).

**Conclusion：**MyotonPRO is a reliable device for accessing the stiffness of AT. The correlations between the stiffness of the MG, LG, and AT were different for the modulation of the ankle joint position and the region

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.11.014

*基金项目：河南省中医药重点项目（2019ZY1028）

1 上海体育学院运动科学学院，上海市，200438；2 河南省洛阳正骨医院，河南省骨科医院；3 通讯作者

第一作者简介：常田田，女，硕士研究生；收稿日期：2020-06-09

of AT.

**Author's address** Shanghai University of Sport,Shanghai,200438

**Key word** achilles tendon; stiffness; MyotonPRO; reliability; correlation

腓肠肌跟腱复合体是指腓肠肌内侧和腓肠肌外侧向下移行为跟腱止于跟骨结节这一部分。腓肠肌跟腱复合体在人体的步行和跳跃等运动中起着重要的作用[1]。踝关节和足部的过度使用可以引起跟腱病,其在一般人群中发病率为0.2%[2]。跟腱病的病变部位常发生在跟骨结节上方2—6cm[3]。跟腱(achilles tendon,AT)和腓肠肌之间存在很强的相关性。腓肠肌内侧头(the medial head of gastrocnemius,MG)产生的肌腱束形成跟腱的后侧面,而跟腱前部是由腓肠肌外侧头(the lateral head of gastrocnemius,LG)和比目鱼肌的肌腱束构成[4]。腓肠肌跟腱复合体的主要作用是使踝关节跖屈,但腓肠肌外侧头和内侧头对肌力贡献比例有所不同[5]。此外,运动所致的肌肉被动张力改变时,比目鱼肌和腓肠肌的变化也存在一定差异[6]。但目前的研究仍集中在混合肌肉或群体肌肉中,并没有对小腿三头肌的单个肌肉进行研究,也没有研究检验跟腱和腓肠肌之间的确切相关性。

硬度是肌肉肌腱的机械特性参数之一,可以影响肌力和力矩发展速率[1]。人腓肠肌跟腱复合体硬度的变化可以影响运动效率[7]。腓肠肌跟腱复合体被认为是形成被动踝关节硬度的主要因素[8]。先前的研究已经发现,更硬的跟腱和腓肠肌更容易诱发跟腱病[9]。腓肠肌和跟腱的硬度增加也会导致下肢损伤的增加[10]。因此,准确地量化MG、LG和AT的独立区域的硬度,可以帮助临床工作者更全面的了解MG、LG和AT的生物力学,及时预防损伤。

以往研究通常采用剪切波弹性成像(shearwave ultrasound elastography,SWE)或者磁共振弹性成像来测量计算软组织硬度,但此技术要求较高的专业技术,仪器较昂贵。而新型软组织弹性触诊仪MyotonPRO具有成本较低,操作方便,简便快捷等优点。我们团队前期研究将SWE测得的以弹性模量为代表的肌肉肌腱硬度和用MyotonPRO测得的硬度值进行了相关性分析,发现两种测量方法所得的腓肠肌和跟腱硬度值具有较强的相关性[11]。同时MyotonPRO还可以用来评估局部硬度,因此可以作为剪切波弹性成像和磁共振弹性成像检查组织硬度的补充手段。尽管已有研究证实MyotonPRO在肌肉硬度测量中具有较高的信度。但以往研究一般集中于一个固定角度和一个部位的肌肉硬度的信度研究。但同一肌肉肌腱长轴上,不同部位的硬度不尽相同[12]。Kelly等[13]对用MyotonPRO评估静息状态和等长收缩状态下的腓肠肌硬度展开研究,结果发现不同肌肉收缩状态下,MyotonPRO的重测信度不同。

因此,本研究使用MyotonPRO分别测量了跟腱不同部位、腓肠肌内侧、腓肠肌外侧的硬度。旨在用MyotonPRO评估健康人下肢在踝关节不同角度时的跟腱不同位置的局部硬度,并进行信度分析;此外,探究下肢腓肠肌内侧、外侧的硬度与跟腱硬度的相关性。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

于2019年7月招募健康受试者40例(均来源于河南省康复医院的实习生),其中男性20例,女性20例,年龄(22.9±3.9)岁,体质指数21.0±2.7。纳入标准:年龄>18岁;体质指数18—25;无下肢外伤史、跟腱炎和足底筋膜炎者;无其他神经、肌肉或骨科疾病;无规律运动史;受试者了解试验方案且自愿参加本试验。排除标准:测前有大量运动者;曾服用影响肌肉张力的药物;冠心病、高血压等严重内科疾病或有认知障碍者。

### 1.2 方法

试验开始前对受试者进行基本信息采集,并告知测试步骤签署知情同意书。在测试前充分放松身体,休息5min。受试者于治疗床上取俯卧位,身体处于自然放松状态,双上肢置于体侧,双下肢充分暴露并伸直,双脚悬于床外。优势侧下肢的确定方法是在受试者面前放一个足球,嘱其用脚踢球,观察受试者使用哪侧足踢球,则踢球侧下肢即为此受试者的优势侧[3—4]。腓肠肌内、外侧硬度测量点定位为胫骨内髁、腓骨小头至跟骨结节距离的中上1/3处[14],跟腱硬度测量点定位为根骨结节上方2cm(AT-2)、4cm(AT-4)处[3]。为了减少误差,腓肠肌和跟腱的测量位点由同

一位物理治疗师标记。用一个自制的踝足矫形器将优势侧踝关节分别固定于中立位和背屈10°，踝关节角度由一个经验丰富的物理治疗师用量角器确定。

其中，30例受试者（15男，15女）用于信度检验。测试者A和B分别使用MyotonPRO评估踝关节中立位和背屈10°位健康受试者优势侧跟腱硬度值，工作人员C对测试者A和B所测得的数据施盲记录。5d后测试者A进行上述重复测试。另外，测试者A对所有受试者优势侧腓肠肌内、外侧硬度和跟腱两个部位的硬度在踝关节中立位和背屈10°位进行测量。所有的测量都在同一间温度约为25℃的房间中进行。测量时将MyotonPRO的探针垂直放置在测量位点表面，轻微施加压力待稳定后探头自动震动5次，显示屏上出现测量结果。在每个测量位点进行测试时，每位测试者均进行3次测量，最终取平均值进行统计分析。

### 1.3 统计学分析

采用SPSS 22.0软件对所有测量的数据进行统计分析。受试者基本信息采用描述性统计，计量资料以平均数±标准差表示。应用组内相关系数（inter-class correlation coefficient，ICC）分析测试者A和B的测试者间信度和测试者A的重测信度。其结果用组内相关系数等级划分[ICC > 0.9为优秀；0.9 > ICC > 0.75为好；0.75 > ICC > 0.55为中等；0.55 > ICC为差]表示，并计算测量标准误（standard error measurement，SEM）和最小可检测变化值（minimum detectable change，MDC）[6]。

$$SEM=SD\times\sqrt{1-ICC},\ MDC=1.96\times SEM\times\sqrt{2}$$

Pearson相关系数用于检验腓肠肌内侧和腓肠肌外侧硬度与跟腱硬度的相关性分析。

## 2 结果

### 2.1 评估者间信度和重测信度

在95%置信区间下，踝关节中立位和背屈10°位，测试者间信度和测试者A的重测信度为好至优秀。其中，踝关节中立位时，测试者间信度在AT-2、AT-4处分别为0.88和0.92，测试者A的重测信度在AT-2、AT-4处分别为0.91和0.89。踝关节背屈10°时，测试者间信度在AT-2、AT-4处分别为0.88和0.93，测试者A的重测信度在AT-2、AT-4处分别为0.93和0.86。见表1—2。

### 2.2 腓肠肌内外侧与跟腱硬度的相关性

**表1 踝关节中立位的测试者间信度和重测信度**

| 踝中立位0° | AT-2 | | | AT-4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}\pm s$ | SEM | MDC | $\bar{x}\pm s$ | SEM | MDC |
| Test A1 | 999.71±99.57 | 18.18 | 50.39 | 926.63±107.26 | 19.58 | 54.27 |
| Test B | 1025.32±97.56 | 17.81 | 49.37 | 947.03±112.34 | 20.51 | 56.85 |
| Test A2 | 1010.55±97.95 | 17.88 | 49.56 | 915.71±100.07 | 18.27 | 50.64 |
| $ICC^{A1B}$(95%CI) | 0.88(0.72—0.94) | | | 0.92(0.83—0.96) | | |
| $ICC^{A1A2}$(95%CI) | 0.91(0.81—0.96) | | | 0.89(0.77—0.95) | | |

ICC：组内相关系数；CI：置信区间；SEM(N/m)：标准误；MDC(N/m)：最小检测变化值；A1B=测试者间信度；A1A2=重测信度

**表2 踝关节背屈10°位的测试者间信度和重测信度**

| 踝背屈10° | AT-2 | | | AT-4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}\pm s$ | SEM | MDC | $\bar{x}\pm s$ | SEM | MDC |
| Test A1 | 1162.29±192.68 | 35.18 | 97.51 | 1067.48±65.76 | 12.01 | 33.29 |
| Test B | 1203.76±192.54 | 35.15 | 97.43 | 1063.61±73.80 | 13.47 | 37.34 |
| Test A2 | 1149.66±150.49 | 27.48 | 76.17 | 1062.97±74.21 | 13.55 | 37.56 |
| $ICC^{A1B}$(95%CI) | 0.88(0.75—0.95) | | | 0.93(0.85—0.97) | | |
| $ICC^{A1A2}$(95%CI) | 0.93(0.86—0.97) | | | 0.86(0.70—0.93) | | |

ICC：组内相关系数；CI：置信区间；SEM(N/m)：标准误；MDC(N/m)：最小检测变化值；A1B=测试者间信度；A1A2=重测信度

腓肠肌内外侧硬度与跟腱AT-4、AT-2硬度的相关性分析中，踝关节中立位时，腓肠肌内、外侧与AT-4硬度的相关性分别为0.60和0.49，腓肠肌内侧与AT-2硬度的相关性为0.36，腓肠肌外侧与AT-2硬度无显著相关关系。踝关节背屈10°位时，腓肠肌外侧与跟腱AT-4的相关性分别为0.34，腓肠肌外侧与AT-2硬度无显著相关性，腓肠肌内侧与跟腱AT-2、AT-4均无显著相关性。见图1—2。

图1 腓肠肌内外侧与AT-2/AT-4硬度的相关性图示(踝关节中立位)

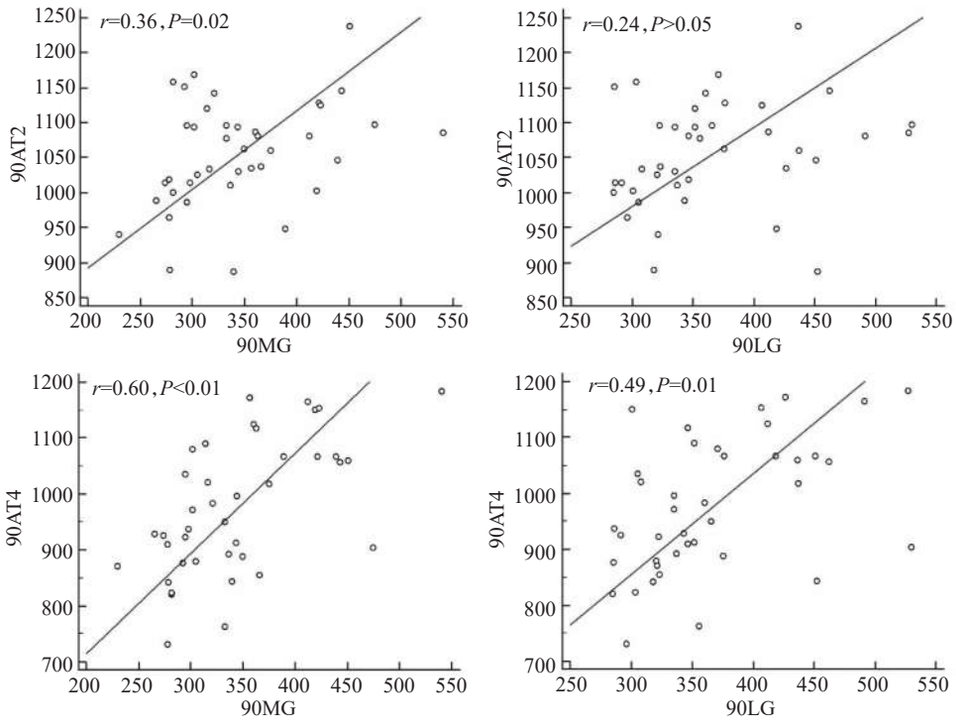
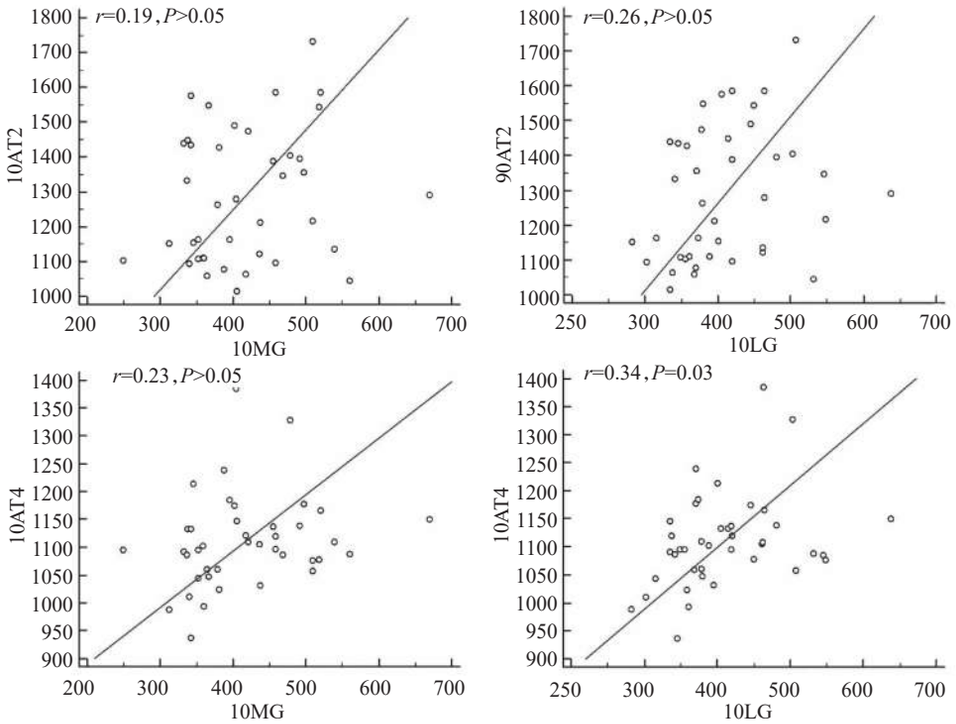



图2 腓肠肌内外侧与AT-2/AT-4硬度的相关性图示(踝关节背屈10°位)



## 3 讨论

本研究发现MyotonPRO在受试者不同踝关节角度下对跟腱AT-2、AT-4硬度的测量信度结果均大于0.85（ICC=0.86—0.93），表明MyotonPRO在跟腱硬度测量中具有高重复性。腓肠肌内、外侧肌肉硬度与跟腱硬度相关性受踝关节角度变化的影响，受试者踝关节处于中立位时，腓肠肌内、外侧的硬度与AT-4的硬度相关性要大于与AT-2硬度的相关性。但踝关节处于背屈10°位时，仅腓肠肌外侧与跟腱AT-4的硬度存在相关性。腓肠肌和肌腱不同部位硬度相关关系受踝关节角度变化的影响不尽相同，这种差异可以帮助我们更加全面的了解跟腱病及指导我们更好的预防和治疗跟腱病。

Kelly等[13]对SWE和MyotonPRO评估静息状态和等长收缩状态下的腓肠肌硬度展开研究，结果证明两者具有相关性，且在等长收缩状态下MyotonPRO的重测信度优于SWE。由于测量位点的结构或功能差异会造成不同局部硬度的不同[14]。但本研究发现MyotonPRO测量不同踝关节角度下的不同跟腱部位的硬度测量信度均较好（ICC>0.85），并且测试者间信度和重测信度都显示出了相对较低的SEM和MDC。Taş等[15]用MyotonPRO测量跟腱硬度，测量位点为根骨结节上方2cm，同样采取了踝关节中立位和背屈10°位，测试者间信度和重测信度为0.87到0.94，对应于SEM<44 N/m和MDC<122 N/m。这与本研究所有测试者间信度和重测信度为0.86到0.93，SEM均<36N/m和MDC<98N/m基本一致（表1—2），表明MyotonPRO对跟腱硬度测量具有良好的信度和精度。综上提示，MyotonPRO是一个可以客观量化肌肉肌腱硬度和随时监测硬度变化的仪器，能够实现对软组织生物力学特性进行客观科学的分析。

不同踝关节角度下，腓肠肌内侧、外侧与跟腱硬度相关性有所不同。腓肠肌内侧和腓肠肌外侧的结构或功能差异可能影响其与跟腱硬度的相关性。腓肠肌内侧和外侧在肌肉结构、功能、产力能力等方面均存在差异[16]。从解剖结构上看，腓肠肌内、外侧产生的肌腱束组成跟腱的不同部位，并且腓肠肌外侧头较短，腓肠肌内侧头比外侧头更大更长，腓肠肌内侧的肌肉体积高于腓肠肌外侧[17]。从功能上看，腓肠肌内侧与腓肠肌外侧具有相同的跖屈功能，但Mogi等[18]报告了在踝关节等长跖屈收缩至最大时，腓肠肌内侧与腓肠肌外侧对踝跖屈的作用程度不同。从肌肉收缩力量角度看，MG对踝关节总的等长跖屈收缩力的贡献大约是LG的两倍，MG提供了70%以上的肌肉力量[5]。并且在收缩的过程中，MG比LG有着更大的肌腹缩短，MG的亚腱应变更大，这可能是造成MG应变损伤的发生率高于LG应变损伤的原因之一[19]。而且，在所有的腓肠肌劳损中，MG断裂占总约53%，而LG断裂只占3%[20]。此外，Riemann等[21]证明在台阶边进行提踵运动的离心阶段，MG被激活的程度明显大于LG。有研究表明，MG和LG之间产生的力的不平衡被推测是导致跟腱病变或跟腱疼痛的发生和发展的诱因[18]。肌肉肌腱形态和组成可能会影响肌肉肌腱的机械特性(硬度)和材料特性(杨氏模量)[22]。而跟腱病变与跟腱硬度相关，跟腱硬度改变可以作为跟腱病变的有效评估手段。所以，腓肠肌内侧和外侧结构和功能的差异除了可能影响到其结构的损伤情况，还可能与跟腱硬度相关。

Park等[25]发现使用体外冲击波放松腓肠肌内侧后，痉挛型脑瘫患儿的踝关节被动关节活动范围有所增加。Hirata等[26]调查了静态拉伸后腓肠肌内、外侧硬度的变化，发现腓肠肌内侧硬度显著降低，而腓肠肌外侧硬度无明显变化。Crill等[27]报道，离心训练可以减少跟腱病变患者的疼痛，改善他们的功能。他们还发现离心训练后MG组的肌束长度增加了12%，而LG组没有。以上提示MG与AT的生物力学特性更紧密一些，降低MG张力可能是预防和治疗跟腱病的方法之一。

不同踝关节角度下，LG、MG与AT的相关性还鲜有报道。本研究发现在踝关节中立位时，腓肠肌内、外侧硬度与AT-4的硬度存在相关性，这可能是由于腓肠肌内外侧与AT-4这一位置的肌腱联系紧密。从总体趋势上看，当踝关节中立位时，腓肠肌内侧硬度与跟腱硬度（AT-2、AT-4）的相关性总是大于腓肠肌外侧硬度与跟腱硬度的相关性。这可能是因为踝关节中立位时腓肠肌内侧对跟腱的贡献较大。而当踝关节背屈10°时，腓肠肌内侧与AT-2、AT-4无相关性，而腓肠肌外侧与AT-4硬度存在相关性。可

能是随着踝关节的背屈,腓肠肌内侧与腓肠肌外侧肌的协调性的改变或者是腓肠肌内侧对跟腱硬度的贡献减少。我们的研究表示,在健康人群中,不同踝关节角度下,腓肠肌内侧和外侧与跟腱的相关性不同,该发现可能为跟腱相关疾病的治疗提供一种新的思路。可以选择在特定角度下,进行腓肠肌内侧或外侧特异性训练,来预防或治疗跟腱病。由于缺乏相关研究,因此需要更多的研究来调查跟腱病患者的MG硬度、LG硬度和AT硬度之间的相关性,并探讨当前的跟腱病治疗方案是否需要针对MG或LG进行调整。

本研究证实健康受试者腓肠肌和肌腱不同部位硬度相关关系受踝关节角度变化的影响。但本研究也存在一定的局限性。首先,本研究只研究了腓肠肌内外侧肌硬度与跟腱硬度的相关性,并未从机制上探讨这种差异。其次,本研究的受试对象均为健康人,因此未来研究应深入探究不同人群肌肉和肌腱硬度的相关性的变化以及潜在的作用机制。

## 4 结论

本研究表明MyotonPRO在健康人踝关节不同角度、跟腱不同部位测量时信度较高,可以精准量化跟腱硬度。而且腓肠肌内外侧与跟腱硬度的相关性具有一定差异。未来研究应深入研究这种差异在跟腱病变中的具体体现。

## 参考文献


[1] Obst SJ, Newsham-West R, Barrett RS, et al. Changes in Achilles tendon mechanical properties following eccentric heel drop exercise are specific to the free tendon[J]. Scand J Med Sci Sports, 2016,26:421—431.

[2] Romero-Morales C, Martín-Llantino P, Calvo-Lobo C, et al. Comparison of the sonographic features of the Achilles tendon complex in patients with and without Achilles tendinopathy: A case-control study[J]. Phys Ther Sport, 2019,35:122—126.

[3] Haen TX, Roux A, Soubeyrand M, et al. Shear waves elastography for assessment of human Achilles tendon's biomechanical properties: an experimental study[J]. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2017, 69:178—184.

[4] Ballal MS, Walker CR, Molloy AP. The anatomical footprint of the Achilles tendon: a cadaveric study[J]. Bone Joint J, 2014, 96(10): 1344—1348.

[5] Albracht K, Arampatzis A, Baltzopoulos V. Assessment of muscle volume and physiological cross-sectional area of the human triceps surae muscle in vivo[J]. Journal of Biomechanics, 2008, 41(10):2211—2218.

[6] Green MA, Sinkus R, Gandevia SC, et al. Measuring changes in muscle stiffness after eccentric exercise using elastography[J]. NMR Biomed, 2012,25(6):852—858.

[7] Morgan GE, Martin R, Williams L, et al. Objective assessment of stiffness in Achilles tendinopathy: a novel approach using the Myotonpro[J]. BMJ Open Sport Exer Med, 2018,4:e000446.

[8] Riemann BL, DeMont RG, Ryu K, et al. The effects of sex, joint angle, and the gastrocnemius muscle on passive ankle joint complex stiffness[J]. J Athl Train, 2001, 36(4): 369—375.

[9] Dries B, Vanwanseele B, Jonkers I, et al. Musculotendon excursion potential, tendon slack and muscle fibre length: the interaction of the canine gastrocnemius muscle and tendon[J]. J Anat, 2018,233(4):460—467.

[10] Butler RJ, Crowell HP 3rd, Davis IM. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2003,18(6):511—517.

[11] Feng YN, Li YP, Liu CL, et al. Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO[J]. Sci Rep, 2018, 8(1):17064.

[12] Zhou J, Yu J, Liu C, et al. Regional elastic properties of the Achilles tendon is heterogeneously influenced by individual muscle of the gastrocnemius[J]. Appl Bionics Biomech, 2019,2019:8452717.

[13] Kelly JP, Koppenhaver SL, Michener LA, et al. Characterization of tissue stiffness of the infraspinatus, erector spinae, and gastrocnemius muscle using ultrasound shear wave elastography and superficial mechanical deformation [J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2018, 38:73—80.

[14] Zhang ZJ, Ng GYF, Fu SN. Effects of habitual loading on patellar tendon mechanical and morphological properties in basketball and volleyball players[J]. European Journal of Applied Physiology, 2015, 115(11):2263—2269.

[15] Taş S, Salkın Y. An investigation of the sex-related differences in the stiffness of the Achilles tendon and gastrocnemius muscle: Inter-observer reliability and inter-day repeatability and the effect of ankle joint motion[J]. Foot (Ed-


(下转第1419页)