

·运动人体科学·

## 马拉松跑步前后人体跟腱形态结构的变化特征研究

任占兵<sup>1</sup>, 蔺亚南<sup>2</sup>, 郭梁<sup>2</sup>, 赖勇泉<sup>2</sup>

(1.深圳大学 体育部, 广东 深圳 518060, 2.广州体育学院, 广东 广州 510500)

**摘 要:** 拟通过超声技术观察业余马拉松跑者跑步前后跟腱形态结构的变化特征, 观察不同性别马拉松跑者跟腱结构在跑步前后会发生怎样的变化, 探索跟腱结构对马拉松跑步的急性效应机制。选择10名男子受试者, 年龄(35.30±7.15)岁, 身高(1.76±0.05)m, 体重(68.70±5.62)kg; 8名女子受试者, 年龄(25.50±4.63)岁, 身高(1.63±0.06)m, 体重(52.88±4.88)kg, 通过超声成像技术观察跑步前后跟腱长度、比目鱼肌长度、跟腱横截面积、跟腱厚度等指标的变化。研究发现, 马拉松跑步后业余男子和女子跑者的跟腱长度均增加, 且跑步前后差异均具有统计学显著性意义(男子 $P=0.037<0.05$ ; 女子 $P=0.020<0.05$ ), 跟腱相对小腿长度差异具有统计学显著性意义(男子 $P=0.039<0.05$ ; 女子 $P=0.022<0.05$ ); 男子和女子业余跑者在马拉松跑步后跟腱横截面积减小, 跑步前后跟腱横截面积差异具有统计学显著性意义(男子 $P=0.044<0.05$ ; 女子 $P=0.032<0.03$ ); 男子和女子马拉松跑者的比目鱼肌肌腱长度、比目鱼肌肌腱相对小腿长度、跟腱厚度和跟腱相对BMI厚度等指标跑步前后的差异不具有统计学显著性意义。研究结论认为, 马拉松的急性效应主要表现在跟腱长度增加和跟腱横截面积减小, 建议马拉松跑者在进行耐力训练的同时, 通过力量训练强化下肢腓肠肌和比目鱼肌肌肉肌腱结构, 进而避免跟腱急性效应对肌肉肌腱的伤害。

**关键词:** 跟腱; 形态结构; 超声成像技术; 马拉松跑步

中图分类号: G822.8 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2018)05-0139-06

### A study of the characteristics of changing of the Achilles tendon shape structure of the human body before and after marathon running

REN Zhan-bing<sup>1</sup>, LIN Ya-nan<sup>2</sup>, GUO Liang<sup>2</sup>, LAI Yong-quan<sup>2</sup>

(1.Department of Physical Education, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

2.Guangzhou Sport University, Guangzhou 510500, China)

**Abstract:** By means of ultrasonic technology, the authors observed the characteristics of changing of the Achilles tendon shape structure of amateur runners before and after marathon running, and what changes will occur to the Achilles tendon structure of marathon runners of different genders before and after running, and explored the mechanism of the Achilles tendon structure's acute effect on marathon running. The authors selected 10 male testees with an age of (35.30±7.15), a height of (1.76±0.05) m, and a weight of (68.70±5.62) kg, and 8 female testees with an age of (25.50±4.63), a height of (1.63±0.06) m, and a weight of (52.88±4.88) kg, and by means of ultrasonic imaging technology, observed the changing of such indexes as Achilles tendon length, soleus muscle length, Achilles tendon cross-sectional area and Achilles tendon thickness, and revealed the following findings: after marathon running, the Achilles tendon lengths of the male and female amateur runners increased, and the differences before and after running were all statistically significant (for the males:  $P=0.037<0.05$ ; for the females:  $P=0.020<0.05$ ), the differences in Achilles tendon lengths relative to shank lengths were also statistically significant (for the males:  $P=0.039<0.05$ ; for the females:  $P=0.022<0.05$ ); after marathon running, the Achilles tendon

收稿日期: 2017-10-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(11002036); 广东省教育厅特色创新类项目(2015KTSCX078, 2015GXJK071)。

作者简介: 任占兵(1979-), 男, 副教授, 博士, 硕士研究生导师, 研究方向: 体育教育训练学。E-mail: zb-ren@qq.com

cross-sectional areas of the male and female amateur runners decreased, and the Achilles tendon cross-sectional area differences before and after running were statistically significant (for the males:  $P=0.044<0.05$ ; for the females:  $P=0.032<0.05$ ); before and after running, the differences in such indexes as soleus muscle tendon lengths, soleus muscle tendon lengths relative to shank lengths, Achilles tendon thickness, and Achilles tendon thickness relative to BMI with respect to the male and female marathon runners were not statistically significant. The authors concluded that marathon's acute effect mainly shows Achilles tendon length increase and Achilles tendon cross-sectional area decrease, and suggested that marathon runners intensify the lower limbs' gastrocnemius and soleus muscle tendon structures via strength training, while carrying out stamina training, thus avoiding the damage caused to muscle tendon by Achilles tendon's acute effect.

**Key words:** Achilles tendon; shape structure; ultrasonic imaging technology; marathon running

超声成像技术已经被广泛地应用于肌肉形态学与肌肉生物力学研究中<sup>[1]</sup>,特别是运动过程中肌肉肌腱复合体的形态以及力学特性的改变通常都用到超声成像技术<sup>[2]</sup>。研究指出,超声技术评价跟腱横截面积和厚度的测量可靠性较高,横截面积的测量敏感性较高<sup>[3]</sup>。近年来,超声成像技术不仅应用在体育运动相关跟腱疾病的诊断与康复中<sup>[4]</sup>,而且,也应用在测量运动中肌肉肌腱组织的动态变化和肌肉肌腱的形态学变化(长度和角度等)。例如,研究人员采用超声成像技术探索了人体腓肠肌的“力-速度”关系随步态速度变化的特征<sup>[5]</sup>;通过三维超声技术探索了人体下肢提踵力量训练对跟腱结构(横截面积、内外直径和前后直径)在等长收缩过程的影响<sup>[6]</sup>。与此同时,超声成像技术在跑步选手跟腱的研究中也比较普遍,研究人员基于超声影像技术探索了跑步选手跟腱横截面积和弹性模量<sup>[2]</sup>、斜坡跑步对跟腱的影响<sup>[7]</sup>、触地模式与跟腱性能之间的关系<sup>[8]</sup>、身体活动对成年后跟腱形态结构和功能的影响<sup>[9]</sup>。马拉松跑步前后人体跟腱的形态结构是否会发生特异性改变?迄今为止尚未有定论。

耐力跑步是提高人体有氧能力且可以预防慢性疾病的有效锻炼方法<sup>[10]</sup>,随着我国经济水平的不断提高,人们的健康意识开始逐渐增强,马拉松跑步热现象在我国成为一道风景。但是,马拉松跑步相关的运动性损伤率也比较高,调查发现,有超过 74%的跑步者在一年内都会有伤病困扰<sup>[11]</sup>。在人体中,虽然跟腱是最强的肌腱,但是也是最常见的损伤部位,据报道,跑步者的跟腱受伤比例大约占 8%~15%<sup>[12-14]</sup>。跟腱疾病大多为慢性病,随着病情的加重,跟腱附着部位会逐渐出现增大和疼痛,压痛点在跟腱止点的前方。跟腱疾病的病因很多,但对于马拉松跑步群体,由于跟腱长时间反复牵拉,以及跟腱在鞋内过度移动,导致跟腱张力不稳定,进而造成受累段肌腱逐渐出现病变。因此,关注跑步者的跟腱健康显得尤为重要。

研究认为,跑步相关的跟腱损伤可能归因于低强

度大运动量或者高强度的运动负荷<sup>[15]</sup>;也有人认为,在跑步的支撑阶段,较高的冲击力会增加跟腱疾病的风险<sup>[16]</sup>,当跟腱在较短的时间内频繁地承受过大的冲击力时,可能会发生轻微的撕裂,进而出现炎症。跟腱炎是跑步运动员的多发病之一,这种疾病病期长,治疗见效慢,对训练影响很大<sup>[17]</sup>。当跟腱存在炎症、劳损或钙化等病因时,强度和耐受力都会减弱,当运动负荷强度过大时,就存在断裂的风险。跟腱一旦断裂,就会严重影响运动员的训练和比赛。研究发现,跟腱断裂患者手术后 2 年的康复时间都不能使跟腱断裂侧的形态结构和力学性能达到跟腱正常侧水平,说明了跟腱一旦出现断裂,恢复可能需要很长时间,会严重影响接下来的训练<sup>[18]</sup>。

人体跟腱的弹性性能对耐力跑步运动表现至关重要,而跟腱对耐力跑步训练的长期或急性适应机制均没有定论。因此,探索跟腱对耐力跑步训练的适应机制,对进一步了解耐力跑步相关跟腱损伤机制具有重要价值。本研究拟通过超声成像技术,观察马拉松跑者跑步前后跟腱形态结构的变化,对进一步认识跑步相关的跟腱运动损伤机制具有一定的科学价值,对业余马拉松跑步的科学训练具有一定的参考价值。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

选择 10 名男子受试者,年龄( $35.30 \pm 7.15$ )岁,身高( $1.76 \pm 0.05$ ) m,体重( $68.70 \pm 5.62$ ) kg, BMI 数值( $22.29 \pm 1.28$ ),小腿长度( $49.90 \pm 1.46$ ) cm,马拉松成绩( $229.60 \pm 20.72$ ) min,训练年限( $2.50 \pm 1.35$ )年;8 名女子受试者,年龄( $25.50 \pm 4.63$ )岁,身高( $1.63 \pm 0.06$ ) m,体重( $52.88 \pm 4.88$ ) kg, BMI 数值( $19.81 \pm 0.87$ ),小腿长度( $46.50 \pm 1.60$ ) cm,马拉松成绩( $270.00 \pm 27.93$ ) min,训练年限( $3.12 \pm 1.64$ )年。所有受试者都签订了知情同意书,测试前,详细讲解测试流程,并告知注意事项。受试者均没有伤病,且长期参加跑步训练,均参加过马拉

松赛事,实验测试时间:2016年3月19—20日;测试地点:广东清远;赛事:2016年清远马拉松赛。

## 1.2 研究方法

### 1) 实验测试。

(1)测量仪器:便携式彩色多普勒超声系统(Mindray, M5),采用超声线阵探头(7L6s),深度2.50 cm,最大频率10 MHz,工作频率5.0 MHz,脉冲重复频率2000 Hz,最大功率11.50 mW。

(2)测试体位:检查时,要求被试者采用俯卧位,下肢自然分开,足部垫高,踝关节自然放松。

(3)测试流程:①仔细询问被试者是否有下肢伤病、跟腱伤病和跟腱伤病史,选择健康被试者分别在马拉松赛前1 d和赛后即刻测试;②从近端的肌肉肌腱开始扫查,直到末端跟骨;③确定回声线界线边缘比较清晰,保存图片,继续扫查并采集和保存下一图片。由于超声成像回声的强度决定了亮度,在采集跟腱纵切面结构像的过程,为确保检查时定位准确,用黑色油性笔在小腿上做好标记,将金属丝固定于测量的不同部位,当金属丝位于超声探头下方的时候,会在超声图中形成黑色阴影线条(例如,在图1(d)中,跟腱纵切面超声图出现若干黑色阴影线条),然后根据阴影线条将各个超声图叠加形成整体跟腱超声图,进一步通过Image J软件计算跟腱的整体长度。

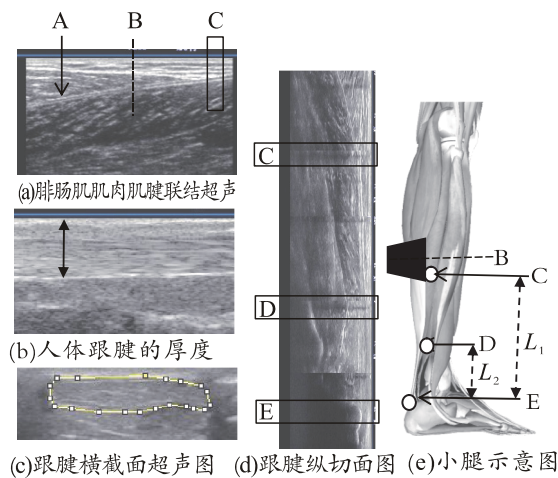


图1 人体下肢跟腱相关形态结构测量位置示意图

(4)测量部位:测量被试者小腿腓肠肌和比目鱼肌肌腱纵切面超声图像结构以及跟腱横截面积(单位: $\text{mm}^2$ )。本研究下肢跟腱相关形态结构测量如图1所示,其中,图1(a)是腓肠肌肌肉肌腱联结超声图;图1(b)是人体跟腱的厚度图;图1(c)是跟腱横截面积超声图;图1(d)是跟腱纵切面;图1(e)是小腿示意图。在图1(a)中,A是腓肠肌与比目鱼肌肌腱膜,B是超声探头的

中间位置,C是腓肠肌肌肉肌腱联结处;在图1(d)中,C同图1(a)中的C,D是比目鱼肌肌肉肌腱联结处,E是跟骨;在图1(e)中的B同图1(a)中的B,C同图1(a)和图1(d)中的C,D同图1(d)中的D,E同图1(d)中的E, $L_1$ 是腓肠肌肌腱长度(跟腱长度), $L_2$ 是比目鱼肌肌腱长度。

主要测量指标界定如下:

①小腿长度:是指胫骨上端内侧踝上缘(胫骨点)到胫骨下端内踝下缘(内踝点)之间的直线距离,用钢尺测量;

②跟腱长度:是指腓肠肌肌腱长度,即腓肠肌肌肉肌腱联结处(图1(e)-C)到跟骨(图1(e)-E)之间的长度,通过Image J软件进行测量。

③比目鱼肌肌腱长度:是指比目鱼肌肌肉肌腱联结处(图1(e)-D)到跟骨(图1(e)-E)之间的长度;跟腱厚度主要是指肌腱膜之间的距离(图1(b)),通过Image J软件进行测量;

④跟腱横截面积:是指根骨上方3~5 cm处跟腱横截面积的平均值(图1(c)),通过Image J软件进行测量;研究发现,跟腱横截面积在距离根骨3~5 cm趋于稳定<sup>[9]</sup>。因此,本研究分别测量距离根骨3、4和5 cm的跟腱横截面积,并取平均数。

### 2) 数理统计。

用SPSS软件求出各变量的平均数( $\bar{x}$ )和标准差( $s$ ),男子双侧跟腱样本为20例;女子双侧跟腱样本为16例,本研究进一步将跟腱长度除以小腿长度以消除腿长对跟腱长度的影响,比目鱼肌肌腱的处理方法同跟腱;并且进一步将跟腱厚度除以身体质量指数,以消除体型的影响,所有数据之间的差异均采用配对样本 $t$ 检验,显著性水平为0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 马拉松跑步前后跟腱形态结构表现

本研究中跟腱纵切面和横切面超声图像结构与前人发现一致,跟腱纵切面超声图像显示,跟腱的腱纤维结构表现出相互平行的细丝状均质性的较强回声,马拉松跑步前和跑步后上下肌腱膜的回声线界线边缘比较清晰,跟腱下端近止点处肌腱周围的脂肪组织显著增厚,跟腱下部近止点端与跟腱结节之间可以看到跟腱囊表现出无回声的暗区,跟骨结节表面骨皮质呈致密的弧形强回声光带。本研究选择测量的跟腱横截面积靠近跟腱的起点,马拉松跑步前后,跟腱横截面超声图像表现出椭圆形均质性较强的回声。

### 2.2 马拉松跑步前后跟腱形态结构差异性比较

马拉松跑步前后跟腱形态结构测量结果见表1。



表 1 马拉松跑步前后跟腱形态结构测量结果 ( $\bar{x} \pm s$ )

测量指标	性别	n/例	跑步前	跑步后
跟腱长度/mm	男子	20	185.80±9.35	190.80±11.79 <sup>1)</sup>
	女子	16	173.50±8.38 <sup>2)</sup>	178.38±9.74 <sup>1)2)</sup>
跟腱相对小腿长度/%	男子	20	37.17±2.08	38.16±2.44 <sup>1)</sup>
	女子	16	37.30±1.34	38.34±1.62
比目鱼肌肌腱长度/mm	男子	20	49.70±5.81	51.10±7.59
	女子	16	44.00±4.47 <sup>2)</sup>	46.25±5.18 <sup>2)</sup>
比目鱼肌肌腱相对小腿长度/%	男子	20	9.94±1.17	10.22±1.53
	女子	16	9.45±0.82	9.93±0.93
跟腱厚度/mm	男子	20	5.77±0.55	5.58±0.69
	女子	16	4.59±0.62 <sup>3)</sup>	4.43±0.58 <sup>3)</sup>
跟腱相对 BMI 厚度/(mm × m <sup>2</sup> /kg)	男子	20	0.26±0.03	0.25±0.03
	女子	16	0.23±0.03	0.22±0.03
跟腱横截面积/mm <sup>2</sup>	男子	20	52.80±3.99	50.30±5.93 <sup>1)</sup>
	女子	16	41.50±2.56 <sup>3)</sup>	38.25±3.01 <sup>1)3)</sup>

跑步前后比较: 1)  $P < 0.05$ ; 男子和女子比较: 2)  $P < 0.05$ , 3)  $P < 0.01$

(1)跟腱长度方面, 马拉松跑步后业余男子和女子跑步者的跟腱长度均增加, 统计检验发现, 马拉松跑步前后跟腱长度差异均具有统计学显著性意义(男子  $P=0.037 < 0.05$ , 女子  $P=0.020 < 0.05$ , 马拉松跑步前后跟腱相对小腿长度差异也具有统计学显著性意义(男子  $P=0.039 < 0.05$ , 女子  $P=0.022 < 0.05$ ); 跑步前和跑步后, 男子跟腱长度均大于女子跟腱长度, 性别差异均具有统计学显著性意义(跑步前  $P=0.010 < 0.05$ , 跑步后  $P=0.010 < 0.05$ ); 跟腱相对小腿长度男女之间差异不具有统计学显著性意义(男子  $P=0.884 > 0.05$ , 女子  $P=0.862 > 0.05$ )。

(2)比目鱼肌肌腱长度方面, 马拉松跑步后, 男子和女子跑者的比目鱼肌肌腱长度虽然均表现出增加的趋势, 但统计检验发现, 跑步前后比目鱼肌肌腱长度差异不具有统计学显著性意义(男子  $P=0.218 > 0.05$ , 女子  $P=0.115 > 0.05$ ), 比目鱼肌肌腱相对小腿的长度差异也不具有统计学显著性意义(男子  $P=0.209 > 0.05$ , 女子  $P=0.122 > 0.05$ ); 跑步前, 男子比目鱼肌肌腱长度大于女子比目鱼肌肌腱长度, 性别差异具有统计学显著性意义(跑步前  $P=0.037 < 0.05$ ), 跑步后, 性别差异不具有统计学显著意义(跑步后  $P=0.143 < 0.05$ ); 比目鱼肌肌腱长度相对小腿长度男女之间差异不具有统计学显著性意义(男子  $P=0.332 > 0.05$ , 女子  $P=0.644 > 0.05$ )。

(3)跟腱厚度方面, 男子和女子业余跑步者在马拉松跑步前后跟腱厚度均表现出增加的趋势, 但差异不具有统计学显著性意义(男子  $P=0.058 > 0.05$ , 女子  $P=0.216 > 0.05$ ); 跟腱相对 BMI 的厚度方面, 男子跑步前后差异具有统计学显著性意义( $P=0.048 < 0.05$ ), 女子跑步前后差异不具有统计学显著性意义( $P=0.222$ );

跑步前和跑步后, 男子跟腱厚度均大于女子跟腱厚度, 性别差异均具有统计学显著性意义(跑步前  $P=0.001 < 0.05$ , 跑步后  $P=0.002 < 0.05$ ); 比目鱼肌肌腱长度相对小腿长度男女之间差异不具有统计学显著性意义(男子  $P=0.085 > 0.05$ , 女子  $P=0.106 > 0.05$ )。

(4)跟腱横截面积方面, 跑步后, 男子和女子跑者在马拉松跑步前后跟腱横截面积减小, 统计检验发现, 跑步前后跟腱横截面积差异具有统计学显著性意义(男子  $P=0.044 < 0.05$ , 女子  $P=0.032 < 0.03$ )。

### 3 讨论

本研究重点基于超声成像探索了业余马拉松运动员跑步前后跟腱形态结构的变化特征。有研究指出, 超声技术评价人体跟腱横截面积和厚度的测量可靠性较高<sup>[3]</sup>。本研究主要发现了马拉松跑步后人体跟腱长度和跟腱相对小腿长度增加显著, 跟腱横截面积减小显著; 而人体比目鱼肌肌腱长度、比目鱼肌肌腱相对小腿长度、跟腱厚度和跟腱相对 BMI 厚度等指标在跑步前后的差异不具有统计学显著性意义, 但是, 跟腱相对小腿长度、比目鱼肌肌腱长度、比目鱼肌肌腱相对小腿长度在跑步后均表现出增加的趋势。本研究说明了急性马拉松跑步对业余马拉松跑步者的肌肉肌腱结构具有一定的影响。另外, 跟腱形态结构的性别比较发现, 跟腱长度、比目鱼肌肌腱长度、跟腱厚度以及跟腱横截面积等指标男子均显著大于女子, 研究结果与相关研究<sup>[2]</sup>观点吻合。本研究的新颖之处在基于超声成像观察全程马拉松前后人体跟腱形态结构的变化。

跟腱横截面积方面, 本研究发现马拉松运动后, 人体跟腱横截面积减小。肌腱对急性运动训练的适应

比较明显,例如,研究人员观察了3组10 min的斜坡跑步对人体跟腱的影响,结果发现跟腱横截面积在运动后显著降低,说明了斜坡跑步对跟腱具有一定的影响,但是,这种影响是一种良性的应激反应<sup>[7]</sup>。研究人员进一步通过三维超声技术研究了3组提踵训练(每组15次)对跟腱结构(横截面积、内外直径和前后直径)在等长收缩过程的影响,结果发现,跟腱在肌肉收缩过程的横截面积的应变取决于跟腱纵向的应变和前后方向的应变<sup>[6]</sup>。深入了解肌腱形态结构及力学性能对急性运动的适应,对运动表现、伤病预防以及康复等都具有重要的意义。

跟腱长度方面,本研究发现,马拉松跑步后人体跟腱长度显著增加。离体实验表明,不断重复的周期性收缩会导致肌腱疲劳,在外力的作用下会增加跟腱的长度<sup>[20]</sup>;研究发现,一次性的5 km跑步对跟腱长度影响显著,虽然跟腱长度有所增加,但是跟腱长度增加的并不明显<sup>[21]</sup>;跟腱是一种黏弹性组织,在跑步过程中可以承受较大的张力,同时对足跟产生的力可以驱动踝关节做背伸或跖屈运动。在跑步的支撑阶段,跟腱像弹簧一样表现出“拉长-缩短”特点,即在跑步触地缓冲阶段,跟腱在力的作用下被拉长,储存弹性能量,协同踝关节做背伸运动,跟腱可以承受较大的张力以防止肌肉过度拉扯;在跑步蹬伸离地阶段,跟腱开始缩短,释放弹性能量,驱动踝关节做跖屈运动。马拉松跑步属于周期性耐力运动项目,人体跟腱“拉长-缩短”的弹簧表现可能驱使跑步后跟腱长度增加的趋势。

马拉松跑步后人体跟腱长度增加及横截面积减小,可能归因于跟腱在耐力跑步过程中由于疲劳而表现出了蠕变趋势<sup>[22-24]</sup>。蠕变曾被认为是肌腱结构微损伤的迹象<sup>[25]</sup>,因此,肌腱蠕变的产生也预示着肌腱损伤风险的增加。蠕变机制是否是造成马拉松跑步后跟腱长度增加的原因,未来仍然需要加大样本量同时结合动物实验进行深入探索。

马拉松跑步后人体跟腱长度增加及横截面积减小,也可能归因于跟腱的顺应性特征。顺应性是指弹性体在外力作用下发生形变的难易程度,跟腱是柔性肌腱,顺应性良好,在马拉松跑步运动中跟腱的长度变化相对较大。跟腱的顺应性越高,形态越细小,我们期望看到的结果是在跑步运动后跟腱在特定的载荷下具有较高的应力和应变,跟腱力学性能和形态结构改变都会有一定的载荷阈值,该载荷阈值也是跟腱疲劳以及抗拉强度下降的警示信号,在马拉松跑步运动的训练实践中,可以通过体能训练尤其是力量训练强化跟腱的材料属性,提高跟腱的顺应性,进一步提升

跟腱的载荷阈值,防止跟腱损伤。

马拉松跑对跟腱形态结构的急性影响可能归因于长时间运动导致的跟腱胶原纤维的结构改变。跟腱主要由胶原纤维束组成,束内无血管分布,束间吻合血管稀少,代谢率甚低<sup>[26]</sup>。本研究中,男子马拉松被试者平均完赛时间为229 min,女子马拉松被试者平均完赛时间为270 min,长时间耐力跑步可能在一定程度上改变了跟腱胶原纤维的微观结构,进而使人体跟腱长度增加及横截面积减小。但是,应对急性应激反应,跟腱会进行早期的自我修复,未来可以结合活检技术对人体进行深入研究。

综上所述,本研究基于超声成像技术,主要发现了马拉松跑步前后人体跟腱形态结构的变化主要表现在跟腱长度增加和跟腱横截面积减小。男子和女子业余跑步者在马拉松跑步后跟腱横截面积均减小,跑步前后跟腱横截面积差异具有统计学显著性意义;比目鱼肌肌腱长度、比目鱼肌肌腱相对小腿长度、跟腱厚度和跟腱相对BMI厚度等指标跑步前后的差异不具有统计学显著性意义。跟腱长度增加和跟腱横截面积减小可能归因于跟腱的蠕变、顺应性特征以及跟腱胶原纤维的结构改变。建议马拉松跑步者在进行耐力训练的同时,通过力量训练强化下肢腓肠肌和比目鱼肌等,进而避免跟腱急性效应对肌肉肌腱造成伤害。另外,超声相关肌骨系统生物力学的研究受到多方面因素的影响,本研究在测试过程也存在一定的局限性,比如测量误差、样本含量等。因此,建议未来进一步增加样本量进行深入研究。

## 参考文献:

- [1] 刘宇. 生物力学在运动控制与协调研究中的应用[J]. 体育科学, 2010, 30(11): 62-73.
- [2] 沈勇伟, 张林, 刘劲松. 短跑训练对跟腱横截面积和弹性模量的影响[J]. 体育学刊, 2010, 17(1): 92-95.
- [3] TWEDELL A J, RYAN E D, SCHARVILLE M J, et al. The influence of ultrasound measurement techniques on the age-related differences in achilles tendon size[J]. *Exp Gerontol*, 2016: 68-71.
- [4] 封旭华, 蔡叶华, 华英汇, 等. 高频超声在跟腱腱病诊断与康复疗效评估中的应用[J]. 上海体育学院学报, 2014, 38(5): 56-60.
- [5] FARRIS D J, SAWICKI G S. Human medial gastrocnemius force-velocity behavior shifts with locomotion speed and gait[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2012, 109(3): 977-982.
- [6] OBST S J, NEWSHAM-WEST R, BARRETT R S.

- Three-dimensional morphology and strain of the human Achilles free tendon immediately following eccentric heel drop exercise[J]. *J Exp Biol*, 2015, 218(Pt24): 3894-3900.
- [7] NEVES K A, JOHNSON A W, HUNTER I, et al. Does achilles tendon cross sectional area differ after downhill, level and uphill running in trained runners?[J]. *J Sports Sci Med*, 2014, 13(4): 823-828.
- [8] KUBO K, MIYAZAKI D, TNANKA S, et al. Relationship between Achilles tendon properties and foot strike patterns in long-distance runners[J]. *J Sports Sci*, 2015, 33(7): 665-669.
- [9] LENSKJOLD A, KONGSGAARD M, LARSEN J O, et al. The influence of physical activity during youth on structural and functional properties of the Achilles tendon[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2015, 25(1): 25-31.
- [10] LEE D C, PATE R R, LAVIE C J, et al. Leisure-time running reduces all-cause and cardiovascular mortality risk[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 64(5): 472-481.
- [11] DAOUD A I, GEISSLER G J, WANG F, et al. Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2012, 44(7): 1325-1334.
- [12] LYSHOLM J, WIKLANDER J. Injuries in runners[J]. *Am J Sports Med*, 1987, 15(2): 168-171.
- [13] VAN G A, THIJS Y, HESAR N G, et al. Intrinsic gait-related risk factors for achilles tendinopathy in novice runners: a prospective study[J]. *Gait Posture*, 2009, 29(3): 387-391.
- [14] TAUNTON J E, RYAN M B, CLEMENT D B, et al. A prospective study of running injuries: the Vancouver Sun Run "In Training" clinics[J]. *Br J Sports Med*, 2003, 37(3): 239-244.
- [15] ALMONROEDER T, WILLSON J D, KERNOZEK T W. The effect of foot strike pattern on achilles tendon load during running[J]. *Ann Biomed Eng*, 2013, 41(8): 1758-1766.
- [16] LORIMER A V, HUME P A. Achilles tendon injury risk factors associated with running[J]. *Sports Med*, 2014, 44(10): 1459-1472.
- [17] 何国荣. 中长跑运动员急慢性跟腱腱围炎的治疗[J]. *中国运动医学杂志*, 1998, 17(3): 264-265.
- [18] GEREMIA J M, BOBBERT M F, CASA N M, et al. The structural and mechanical properties of the Achilles tendon 2 years after surgical repair[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2015, 30(5): 485-492.
- [19] PELTONEN J, CRONIN N J, AVELA J, et al. In vivo mechanical response of human achilles tendon to a single bout of hopping exercise[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2010, 213(8): 1259-1265.
- [20] KER R F, WANG X T, PIKE A V. Fatigue quality of mammalian tendons[J]. *J Exp Biol*, 2000, 203(Pt 8): 1317-1327.
- [21] LICHTWARK G A, CRESSWELL A G, NEWSHAM-WEST R J. Effects of running on human Achilles tendon length-tension properties in the free and gastrocnemius components[J]. *J Exp Biol*, 2013, 216(Pt 23): 4388-4394.
- [22] KUBO K, KANEHISA H, KAWAKAMI Y, et al. Effects of repeated muscle contractions on the tendon structures in humans[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2001, 84(1-2): 162-166.
- [23] MAGANARIS C N, PAUL J P. Tensile properties of the in vivo human gastrocnemius tendon[J]. *J Biomech*, 2002, 35(12): 1639-1646.
- [24] DE ZEE M, BOJSEN-MOLLER F, VOIGT M. Dynamic viscoelastic behavior of lower extremity tendons during simulated running[J]. *J Appl Physiol*, 2000, 89(4): 1352-1359.
- [25] WANG X T, KER R F. Creep rupture of wallaby tail tendons[J]. *J Exp Biol*, 1995, 198(Pt3): 831-845.
- [26] 陈明法, 任国良, 姚作宾. 跟腱微血管解剖及其临床意义[J]. *中国临床解剖学杂志*, 1994, 12(2): 85-87.