



# 跖趾关节屈肌力量实验研究

邓 雪

**摘要:** 采用特制的足-跖趾关节力量测试仪,对跖趾关节屈肌100%最大随意收缩力量进行了测定,并比较了16名田径运动员与16名普通大学生在该力量上的区别,为跖趾关节在下肢运动中的重要性提供依据。结果表明,跖趾关节屈肌力值约位于300~500 N之间,优势侧与非优势侧无显著性差异;该值在运动员与普通大学生之间有显著性差异,运动员是普通大学生的128%。

**关键词:** 跖趾关节屈肌力量;优势侧;非优势侧;下肢运动

中图分类号: G804.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2014)06-0064-04

## Experimental Study on the Flexor Strength of Metatarsophalangeal Joint

DENG Xue

(School of Kinesiology, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

**Abstract:** With a special test instrument for flexor strength of metatarsophalangeal joint, the 100% maximum voluntary contraction strength (MCV) was measured. And this strength of the 16 track and field athletes was compared with that of the 16 ordinary university students so as to provide reference for the importance of metatarsophalangeal joint in lower limb movement. The result indicates that the value of the flexor strength of metatarsophalangeal joint is around 300-500N, and there is no significant difference between the dominant side and non-dominant side. This value of the athlete is apparently different from that of the ordinary university students. The value of the athlete is 128% of that of the ordinary university student.

**Key Words:** flexor strength of metatarsophalangeal joint; dominant side; non-dominant side; lower limb movement

跖趾关节位于足的前端,在走、跑、跳等下肢运动的离地和着地过程中起到重要的作用,在运动实践中也越来越受到教练员和运动员的重视,但目前在下肢运动的研究中,通常以髋、膝、踝等大关节为主,而把整个足部作为一个刚体,即使研究足部,也很少注意到足部末端的跖趾关节。而对于走、跑、跳等下肢运动,动作的最终必定经过跖趾关节,因此对于跖趾关节的研究不可或缺<sup>[1]</sup>。而近年来,在欧美一些较高竞技水平的国家,不少跑跳项目的教练员通过加强跖趾关节屈肌力量的训练,获得较大的支撑反作用力,以提高运动成绩<sup>[2]</sup>。

然而由于跖趾关节解剖位置的特殊性,对其肌肉力量的测试及量化变得较为困难,相关的研究也几乎未见。提供跖趾关节肌力的可靠数据,可减少教练员和运动员训练跖趾关节肌力的盲目性,不仅对提高运动成绩,对步态研究、运动鞋设计、假肢研发及相关的运动康复,都具有一定意义。

针对跖趾关节力量测试的缺如状态,上海体育学院自主研发了获得国家发明专利的跖趾关节力量测试仪<sup>[3]</sup>,该仪器专门用于测试并量化跖趾关节屈肌力量,提供可靠数据,本研究利用该测试仪,测试了田径专项大学生和普通大学生的跖趾关节屈肌力量,获得了跖趾关节屈肌力量的

量化参数,属国内首次报导,并对田径专项大学生和普通大学生的两组数据做了对比研究,为田径运动对跖趾关节屈肌力量影响提供一定的实验依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

上海体育学院大学一年级男生32名,其中田径专项大学生16名作为实验组,运动科学专业普通大学生16名作为对照组,所有被试年龄身高条件近似,近期无下肢损伤,如表1。

表1 受试者一般情况  
Table I General Information of the Subjects

	实验组	对照组
年龄/岁	20.07±0.83	20±0.63
身高/cm	175.06±3.51	175.81±2.46
体重/kg	67.04±8.54	65.85±6.94

经检验两组受试者的身高体重均服从正态分布,且具有方差齐性,独立样本T检验未表现出显著性差异( $P>0.05$ ),

收稿日期: 2014-09-15

基金项目: 上海市体育局科研攻关与科技服务课题(10JT028)。

作者简介: 邓雪,女,讲师。研究方向:运动解剖学及运动生物力学。

作者单位: 上海体育学院运动科学学院 上海 200438



证明了实验组与对照组具有可比性。

## 1.2 实验设备

### 1.2.1 测力仪

采用上海体育学院自主研发的跖趾关节力量测试仪,如图1所示,主要由一维拉力传感器、数据线、座椅、固定架、悬挂架、底盘和踏板组成,其中,座椅、固定架、悬挂架和踏板通过底盘连成一体。一维拉力传感器悬于悬挂架上,下连踏板。踏板可上下活动以测量足部跖趾关节的屈曲力量,本次实验将踏板调节至15°,以利于受试者发力。



图1 跖趾关节力量测试仪

Figure 1 Test Instrument for Metatarsophalangeal Joint Strength

### 1.2.2 肌电仪

采用德国 Biovision16 通道肌电图与生物信号测试分析系统,跖趾关节力量测试仪的拉力传感器数据接入该肌电仪放大器及采集卡(DAQCard6024E),软件版本为 DASyLab10。

## 1.3 实验步骤及方法

### 1.3.1 标定

该步骤目的为取得作用力输入和记录的电压输出之间的关系。本实验以5kg为间隔,记录了5~60kg共12组重量施加于跖趾关节力量测试仪时的电压响应,取得了本测力仪本次测试的力-电压关系,如图2所示,为实验结果的测定提供依据。

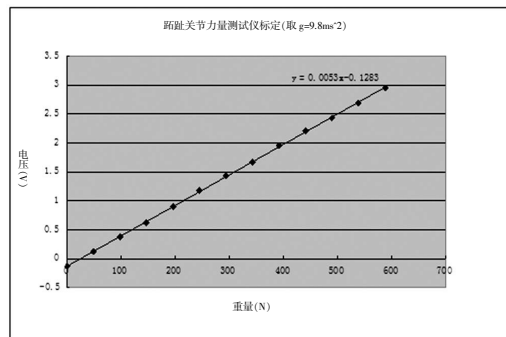


图2 跖趾关节力量测试仪标定结果

Figure 2 Calibration Results of the Test Instrument for Metatarsophalangeal Joint Strength

### 1.3.2 测试和复测

对每一位受试者进行优势侧和非优势侧跖趾关节屈肌力量的测试。要求被试测试前先做热身活动10min;测试时保持大腿与身体成90°,小腿与大腿成90°,踝关节角度为90°并均被固定,在测试人员的口令下,用最大力量踩压测力仪踏板并维持5s,重复测3次,每次休息2min。

由于是自主研发仪器,2d后抽取部分受试者进行了复测,以验证数据的稳定性。

## 1.4 主要观察指标

跖趾关节屈肌力值(最大随意收缩)。

## 1.5 数据处理

所有数据使用SPSS20统计软件处理,采用均数和标准差表示,应用独立样本T检验进行数据统计学处理,P<0.05为具有显著性差异,P<0.01为具有非常显著性差异。

## 2 结果

### 2.1 跖趾关节屈肌力量优势侧和非优势侧比较

田径专项大学生优势侧与非优势侧的跖趾关节屈肌力值测试结果如表2所示,绝对力量值由前述标定所得关系式( $y=0.0053x-0.1283$ ,x为电压,y为肌力)确定,相对力量值由绝对力量除以体重获得。

表2 田径专项大学生跖趾关节屈肌力量

Table II Flexor Strength of Metatarsophalangeal Joint of the University Students Majoring in Track & Field

	优势侧	非优势侧
绝对力量均值/N	458.65±92.27	409.65±83.14
相对力量均值/(N/kg)	6.87±1.19	6.13±1.09
绝对力量差值均值/N	49.00±10.87	
相对力量差值均值/(N/kg)	0.74±0.12	

经检验,田径专项大学生优势侧与非优势侧两组数据的差异不具有统计学意义( $P \geq 0.05$ )。

普通大学生优势侧与非优势侧的跖趾关节屈肌力量测试结果如表3所示。

表3 普通大学生跖趾关节屈肌力量

Table III Flexor Strength of Metatarsophalangeal Joint of the Ordinary University Students

	优势侧	非优势侧
绝对力量均值/N	358.28±79.15	330.01±79.08
相对力量均值/(N/kg)	5.48±1.25	5.04±1.20
绝对力量差值均值/N	28.27±6.72	
相对力量差值均值/(N/kg)	0.44±0.15	



同样,普通大学生优势侧与非优势侧两组数据的差异也不具有统计学意义( $P \geq 0.05$ )。

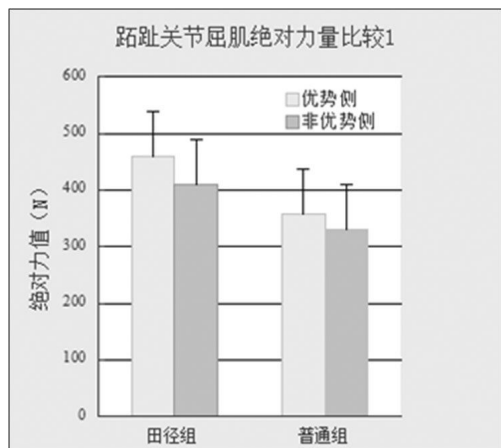


图3 跖趾关节屈肌力量优势侧和非优势侧比较

Figure 3 Comparison between the Metatarsophalangeal Joint Flexor Strength of the Dominant Side and that of the Non-dominant Side

由统计结果可见,优势侧力量大于非优势侧力量的习惯性观点在跖趾关节并未出现。

### 2.2 跖趾关节屈肌力量田径专项大学生(实验组)与普通大学生(对照组)比较

由表4、5可知,田径专项大学生和普通大学生的跖趾关节屈肌力量,无论是绝对力量,还是相对力量,都存在着具有统计学意义的较大差异,尤其是优势侧,见图4所示。

表4 跖趾关节屈肌绝对力量比较

Table IV Comparison between the Flexor Absolute Strength of Metatarsophalangeal Joint

	组别	平均数	平均数差值
优势侧绝对力量/N**	实验组	458.65±92.27	100.37±13.12
	对照组	358.28±79.15	
非优势侧绝对力量/N*	实验组	409.65±83.14	79.64±4.06
	对照组	330.01±79.08	

注:\*  $P < 0.05$ , 存在显著性差异。\*\*  $P < 0.01$ , 存在非常显著性差异。

表5 跖趾关节屈肌相对力量比较

Table V Comparison between the Flexor Relative Strength of Metatarsophalangeal Joint

	组别	平均数	平均数差值
优势侧相对力量/(N/kg)**	实验组	6.87±1.19	1.39±0.06
	对照组	5.48±1.25	
非优势侧相对力量/(N/kg)*	实验组	6.13±1.09	1.09±0.11
	对照组	5.04±1.20	

注:\*  $P < 0.05$ , 存在显著性差异。\*\*  $P < 0.01$ , 存在非常显著性差异。

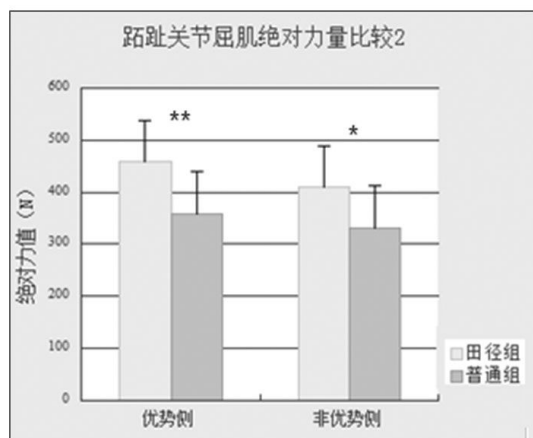


图4 跖趾关节屈肌力量田径组和普通组比较

Figure 4 Comparison between the Metatarsophalangeal Joint Flexor Strength of the Track and Field Group and that of the Ordinary Group

### 3 讨论

跖趾关节由跖骨头和近节趾骨底构成。跖趾关节的背伸展范围大于屈曲,主动背伸的范围是 $50 \sim 60^\circ$ ,主动屈曲的范围是 $30 \sim 40^\circ$ ,被动背伸是步态周期最后阶段的基本运动,角度可达甚至超过 $90^\circ$ ,被动屈曲的范围为 $45 \sim 50^\circ$ <sup>[4]</sup>。其屈肌除了有趾长屈肌与足母长屈肌等小腿后群长肌以外,还有足母短屈肌、足母收肌、小趾短屈肌、小趾展肌、趾短屈肌、足底方肌、蚓状肌等足底短肌<sup>[5]</sup>。正常行走时在足跟离地以后,由于跖趾关节伸展,使脚底面沿地面滚动,滚动中心是跖趾关节,足尖离地前该关节有较大的伸展,产生足够的向前推动力矩<sup>[6]</sup>。在田径运动训练当中,跑、跳和提踵都属于出现频率非常高的基本动作,而这些动作的原动肌除了传统所认为的小腿三头肌、臀大肌、股四头肌以外,还应包含跖趾关节屈肌<sup>[7]</sup>。众多学者都认为,在日常生活和体育运动中,跖趾关节在下肢运动中的作用不可忽视。

从动作分析的角度而言,体育运动中,在跑、跳最后的蹬地阶段,通过跖趾关节屈肌的向心收缩,有助于获得更大的蹬地力量,以使人体快速腾起;在前脚掌着地的跳跃落地动作中,足趾紧压地面,跖趾关节屈肌的远固定收缩可使下肢获得更好的缓冲从而保护身体;即使在足跟着地的落地动作中,跖趾关节屈曲,使足趾紧压地面,也可使足部保持更好的稳定性,以利于人体保持平衡。根据本文数据,以最大绝对力量(公斤力)除以体重,可以算出田径专项组跖趾关节屈肌优势侧绝对力量达到了体重的68%,普通大学生组达到了54%,由此可见,跖趾关节屈肌力量是下肢肌肉力量中的重要成分,教练员和运动员应该引起足够重视。

在人的日常生活和体育运动中,由于人体的习惯性动作,优势侧和非优势侧下肢总是存在着力量、速度等方面的区别,跖趾关节也不例外。从本文实验结果来看,优势侧的屈肌力量也总是大于非优势侧,无论田径组和普通组都不例外。但人体下肢除了运动外,更重要的是支撑和平衡,



在站、走、跑、跳等基本动作中,为了保证人体的平衡和协调,双下肢的同时运动和交替运动都比较多,故双侧跖趾关节力量虽然测出有差异,但并不具有统计学意义。田径专项组优势侧和非优势侧的绝对力量差值是 49 N,约为 12%,普通大学生组是 28 N,约为 9%,相对力量差距也有类似结果,可见人体双侧的跖趾关节屈肌力量虽有差异,但基本平衡。由统计结果可见,优势侧力量应该显著大于非优势侧力量的习惯性观点在跖趾关节并未出现。

而田径专项组和普通大学生组比较,优势侧绝对力量差值达 28%,相对力量达 25%;而非优势侧绝对力量差值达 24%,相对力量达 22%,二者差距都具有统计学意义。可见,在田径运动中,由于起跑、起跳、蹬地、扒地、单脚跳等足部动作较多,对跖趾关节要求较高,造成了运动员跖趾关节屈肌力量高于常人,尤其是运动员习惯使用的优势侧,可见田径运动可显著提高跖趾关节屈肌力量,也说明了跖趾关节屈肌力量对田径运动的重要性。GOLDMANN<sup>[8]</sup>通过对跖趾关节屈肌力量的专门锻炼,使折返跑及跳远等运动成绩显著增加,也从侧面印证了本文结果。

本文所测的值是足部跖趾关节的屈肌力量(F),该值乘以跖趾关节到一维拉力传感器垂直线的距离(L)后,可得到跖趾关节的屈肌力(M):

$$M = L \times F \quad (\text{公式 1})$$

根据以上公式,本研究随机测量了几名田径专项组被试的跖趾关节屈肌力矩,均值约为 18 Nm。研究表明,行走过程中跖趾关节屈曲力矩峰值可达 15 Nm<sup>[6]</sup>,该结果与本文较为相近。其他相关研究显示,走、跑时跖趾关节的伸力矩为 20~40 Nm,而在水平及垂直跳时则达 75~150 Nm<sup>[9]</sup>。本文研究重点虽然是跖趾关节屈肌的最大随意收缩力量,但本文数据对跖趾关节的动态研究,也可起到一定的参考作用。

本研究实验组选取的是大学一年级的体育教育专业的田径专项学生,属于业余选手,并非专业运动员。一般认为,男子 35 岁左右,肌肉力量才开始达到峰值。本研究被试如果是长期训练,并且更成熟的专业运动员,也许更能够反映出跖趾关节的力量特点。

## 4 结论

4.1 提供了田径专项大学生和普通大学生跖趾关节屈肌最大随意收缩力量的具体参数,为该方面的研究提供了一定的量化依据,目前未见同类研究。

4.2 获得的优势侧和非优势侧跖趾关节屈肌力量虽有差异,但不具有显著性。

4.3 中田径专项组大学生跖趾关节的屈肌力量显著高于普通大学生组,约是后者的 128%。鉴于其重要性,建议在田径训练中,需加强跖趾关节的针对性训练。

## 参考文献:

- [1] STEFANYSHYN D, (2004). FUSCO C. Increased shoe bending stiffness increases sprint performance[J]. *Sports Biomech*, 3(1): 55-56.
- [2] GOLDMANN J P, SANNON M, WILLWACHER S, et al. (2013). The potential of toe flexor muscles to enhance performance [J]. *J Sports Sci*, 31(4):424-433.
- [3] 刘宇, 周坚强, 等. 一种足部跖趾关节力量测试仪: 中国, CN103278278A [P]. 2013-09-04.
- [4] I.A. KAPANDJI. 骨关节功能解剖学[M]. 北京: 人民军医出版社, 2011.
- [5] 柏树令, 应大君. 系统解剖学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003.
- [6] 武明, 季林红. 人体跖趾关节弯曲对行走步态特征的影响[J]. *清华大学学报*, 2002, 42(8): 1053-1056.
- [7] 张小杨. 足屈背及其背屈肌在下肢运动中的作用[J]. *上海体育学院学报*, 1987, 3: 28-30.
- [8] GOLDMANN J, SANNON M, et al. (2011). Effects of increased toe flexor muscle strength to foot and ankle function in walking, running and jumping[J]. *Footwear science*, 3(SI): 59-60
- [9] 傅维杰, 李路, 刘宇. 跖趾关节运动功能的研究进展及其在体育科学领域中的应用[J]. *体育科学*, 2013, 33(9): 91-96.

(责任编辑: 何聪)