

文章编号: 1004-7220(2021)01-0122-07

# 跑者足部形态与足趾及跖趾关节屈肌力量的相关性

张希妮, 张 桑, 崔科东, 肖松林, 邓力勤, 傅维杰

(上海体育学院 运动健身科技部省部共建教育部重点实验室, 上海 200438)

**摘要:**目的 探究坐姿及站姿下跑者足部形态与足趾屈曲力量和跖趾关节屈肌力量的相关性。方法 选取 26 名男性跑者,采用数显游标卡尺、跖趾关节屈肌力量测试仪、屈曲力量计测量足长、截脚长、足宽、足舟骨高度、50% 足长处足背高度、跖趾关节屈肌力量、第 1 和其余四趾屈曲力量。使用偏相关分析足部形态与足部肌力的相关性。结果 校正年龄与身体质量指数(body mass index, BMI)后,坐姿和站姿下截脚长以及站姿下足宽与第 1 足趾屈曲力量呈正相关;坐姿和站姿下足长、足宽、截脚长与其余四趾屈曲力量成正相关,坐姿下足弓高度指数与其余四趾屈曲力量成负相关;坐姿和站姿下足宽与跖趾关节屈肌力量成正相关。结论 更长的足长、足宽、截脚长以及正常范围内更低的足弓可能意味着更好的足趾肌力。在进行足部形态测量时,因考虑不同姿态下足部形态特征差异,为预测下肢特别是足部肌力以及预防足部损伤提供参考。

**关键词:**足部形态;足趾肌力;跖趾关节屈肌力量;相关性;跑步

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.01.020

## Correlation of Foot Morphology and Toe/Metatarsophalangeal Joint Strength in Recreational Runners

ZHANG Xini, ZHANG Shen, CUI Kedong, XIAO Songlin, DENG Liqin, FU Weijie

(Key Laboratory of Exercise and Health Sciences of Ministry of Education, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

**Abstract: Objective** To explore the correlation between foot morphology and toe/metatarsophalangeal joint muscle strength. **Methods** Twenty-six male recreational runners were recruited. Foot length, truncated foot length, foot width, navicular height, dorsum height at 50% of the foot length, metatarsophalangeal joint strength, tensile force of the first and remaining four toes were measured by using digital caliper, metatarsophalangeal joint strength tester and dynameter, respectively. Partial correlations were used to analyze the correlation between foot morphology and foot muscle strength. **Results** With adjusted age and body mass index (BMI), the foot width in standing position and truncated foot length in sitting and standing position were positively correlated to tensile force of the first toe; the foot length, foot width and truncated foot length were positively correlated to tensile force of the remaining four toes in both positions, and the arch height index in sitting position was negatively associated with tensile force of the remaining four toes; the foot width was positively correlated to metatarsophalangeal joint strength in both positions. **Conclusions** The longer foot length, foot width, truncated foot length, and the lower arch height in normal range might be related to the larger foot muscle strength. The consideration of the

收稿日期:2019-11-15; 修回日期:2020-01-13

基金项目:国家自然科学基金项目(11772201,11932013),国家重点研发计划项目(2019YFF0302100),上海市“曙光学者”(19SG47),上海市人才发展基金资助计划(2018107),上海市体育科技项目(20Q004),上海市青年拔尖人才开发计划

通信作者:傅维杰,教授,博士生导师,E-mail: fuweijie@sus.edu.cn

differences in foot morphological characteristics in different positions during the measurement of foot morphology can provide references for predicting foot muscle strength and preventing foot injury.

**Key words:** foot morphology; toe muscle strength; metatarsophalangeal joint strength; correlation; running

足作为下肢与地面/界面唯一直接接触的部位,在跑、跳等支撑相通过屈伸吸收或释放能量,从而保证力量传递的有效性,并利用足弓转换适应以减少冲击负荷<sup>[1]</sup>。因此,足部形态结构在静、动态负重运动中均发挥着重要作用。

跑者的足部形态在长期训练中可能会产生适应性的变化。研究发现,在一次性 20 km 马拉松运动中,有 62.5% 跑者因足部肌肉疲劳出现足弓高度下降;同时,在长期的跑步过程中可能出现足弓塌陷等问题<sup>[2]</sup>。足部形态与足部肌力息息相关,且足形本身或足部肌力不足导致的形态异常和肌力薄弱被认为是引起足部损伤的诱因<sup>[3]</sup>。足部在承受不同程度负荷时的形态也存在显著性差异。与健康人群相比,肥胖人群具有更低的足弓高度、更长的足长和更宽的足宽<sup>[4]</sup>。在日常生活中,虽然人们经常在坐姿和站姿间转换,但鲜有研究探究不同姿态(即不同负重条件)下的足部形态变化特征。

足部肌力(如足底跖屈肌等)在站立和行走中都具有重要作用。目前关于足形与肌力的相关性研究多集中于足弓高度。研究显示,足弓高度与踝关节肌肉力量具有一定相关,足趾屈肌肌力与足弓高度呈正相关<sup>[5-6]</sup>。跑步时,足部肌群控制足弓形变的程度和速度,当肌肉不能正常收缩时,足弓稳定性减弱<sup>[7]</sup>。然而,最近的研究认为,足趾屈肌肌力与足弓高度相关性较弱,甚至不存在相关性<sup>[8]</sup>。另外,Mickle 等<sup>[9]</sup>研究表明,足趾形变可能会导致足趾屈肌肌力下降。当存在足趾形变时,固有屈肌轴会发生改变,使其生物力学效率降低。因此,足部形态(如足长、足宽、足弓高度等)与足部肌力之间的相关性还有待进一步研究。

本文从不同姿态下的足部形态本身考虑,通过测量坐姿和站姿下跑者的足部形态特征(足长、足宽、截脚长、足弓高度等),探究其与足趾肌力(第 1 足趾及其余四趾屈曲力量、跖趾关节屈肌力量)之间的相关性,为预测下肢特别是足部功能以及预防足部损伤提供参考依据。本文假设:① 足部形态与足趾力量存在显著正相关性;② 足部形态与跖趾关

节屈肌力量存在显著正相关性。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

从社会跑步团体中选取 26 名男性跑步爱好者,年龄(24.5±3.6)岁,身高(176.1±6.6) cm,体质量(body weight, BW)(72.4±11.5) kg,身体质量指数(body mass index, BMI)(23.3±2.87) kg/m<sup>2</sup>,每周跑步距离(29.9±7.9) km。所有受试者均习惯穿带有缓冲功能的跑鞋进行后跟触地跑步,近 6 个月内无明显下肢损伤。实验开始前,受试者了解实验内容和流程,并签署知情同意书。

### 1.2 实验仪器

**1.2.1 Sylvac 数显游标卡尺** 采用瑞士 Sylvac 数显游标卡尺(300 mm,型号 S\_Cal Pro910.1502),内置液晶数显屏幕,分度值为 0.001,用于测量受试者足弓形态的数据。

**1.2.2 Ailitech™ 数显屈曲力量计** 采用艾力科技 Ailitech-AFG500 屈曲力量计的连续采样模式进行屈曲力量采集,采样频率为 16 kHz(见图 1)。



(a) Ailitech™ 仪器主体 (b) 实验设置

图 1 数显屈曲力量计

Fig.1 Digital display dynamometer (a) Main structure of Ailitech™, (b) Experimental setup

**1.2.3 跖趾关节屈肌力量测试仪** 采用本中心自主知识产权的跖趾关节屈肌力量测试仪(专利号:CN103 278 278 A,中国)<sup>[10]</sup>,采样频率为 500 Hz。该仪器采用踏板传递跖趾关节运动,利用屈曲力量传感器和计算机来测量和处理跖趾关节屈曲力量数据,并利用腿部固定架和脚跟限位板限制其他关节运动(见图 2)<sup>[11]</sup>。

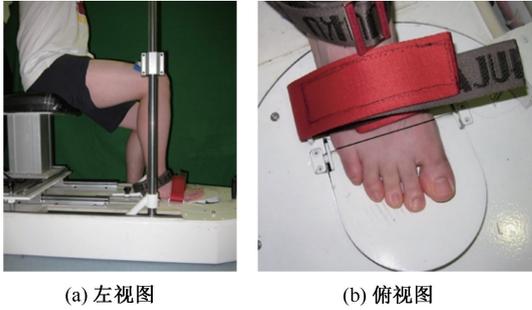


图2 跖趾关节屈肌力量测试仪  
Fig.2 Metatarsophalangeal joint strength tester  
(a) Left view, (b) Top view

### 1.3 实验测量

实验前,实验人员记录受试者的基本信息,向受试者讲解实验流程以及动作要求,并更换实验服装(运动背心和紧身短裤)。

**1.3.1 足部形态测量 站姿:**要求受试者裸足站立在测量高台上,双脚平行开立与髌同宽,脚尖朝前齐平,双手自然下垂,目视前方,躯干不能屈曲或旋转。所有足部形态学测量均由同一位康复治疗师通过触诊优势侧足部找到跟骨粗隆、第1、5跖趾关节中心、足舟骨粗隆的位置,并用记号标注。随后使用数显游标卡尺测量足形态。**坐姿:**要求受试者坐在可调节高度的测量高台凳子上,双脚平行开立与髌同宽,脚尖朝前齐平,双手自然下垂,目视前方,躯干不能屈曲或旋转。凳子高度与位置调节到使大腿与地面平行,膝关节成 $90^\circ$ 。随后,重复站立位的足弓形态测量方法并记录。

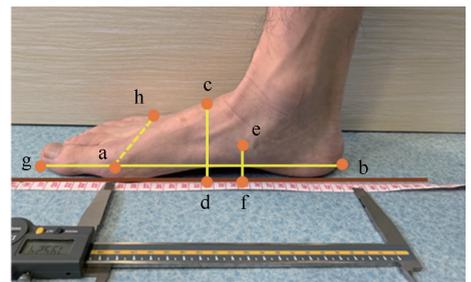
**1.3.2 足趾屈曲力量测试** 受试者坐在可调节高度的凳子上,躯干保持直立,双手自然下垂,足跟抵住测量器的顶板,大脚趾上套上带有海绵缠绕的刚性趾环,通过刚性连杆连接趾环与屈曲力量计的测量头(屈曲力量计安装在木箱的一端并固定),随后受试者全力屈曲第1足趾,直到屈曲力量计显示达到本次最大力量(屈曲力量计默认第1个峰值为最大力量),重复测量3次。随后更换适合其余四趾大小的趾环,重复屈曲力量测试。Ridge等<sup>[12]</sup>研究表明,第1足趾屈曲力量为 $(65.66 \pm 24.5)$  N,第2、3、4足趾屈曲力量为 $(50.96 \pm 22.54)$  N。同时,证明该测试方法表现出良好的可靠性,特别是在同一测试人员同一天进行测试时,可靠性的组间相关性

数(intraclass correlation coefficient, ICC)范围为 $0.94 \sim 0.99$ 。

**1.3.3 跖趾关节屈肌力量测试** 使用电子水平仪校准测量抬折板的高度,采用标准配重校准力量大小后,让受试者裸足、裸露小腿坐在测量仪的座位上,固定优势侧足前掌、足跟和足踝,调节座椅位置及高度使得大腿与地面平行,膝关节成 $90^\circ$ 。随后受试者保持躯干直立,双手自然垂下,放松小腿,在接收到开始测量的指令后,全力屈曲跖趾关节,并持续用力10 s,重复测量3次,计算并记录3次最大值的平均值<sup>[13]</sup>。本团队前期研究采用SPSS 22.0软件对同一测试人员同一天的3次测量结果进行重测信度的统计学分析,结果显示ICC为 $0.874$ <sup>[14]</sup>。

### 1.4 实验指标

**1.4.1 足部形态测量指标** 站姿下,优势足承受50% BW;坐姿下,优势足承受一侧下肢小腿的重量。具体指标包括①足长( $L_{gb}$ ):跟骨粗隆到第1足趾前部的垂直距离;②足宽( $L_{ah}$ ):第1跖趾关节到第5跖趾关节之间的直线距离;③截脚长( $L_{ab}$ ):跟骨粗隆到第1跖趾关节外侧中心点的垂直距离<sup>[15]</sup>;④足背高度( $L_{cd}$ ):50%足长处,足背顶部到测量平面的垂直距离<sup>[16]</sup>;⑤足舟骨高度( $L_{ef}$ ):舟骨粗隆到测量平面的垂直距离<sup>[16]</sup>;⑥足弓高度指数(arch height index, AHI)<sup>[17]</sup>:足背高度与截脚长的百分比,  $AHI = (L_{cd}/L_{ab}) \times 100\%$  (见图3)。



a为第1跖趾关节中心点,b为跟骨粗隆,c为50%足长处的足背处,d为50%足长处,e为足舟骨中心点,f为足舟骨对应地面位置,g为第1足趾足尖处,h为第5跖趾关节中心点

图3 足部形态测量指标示意图

Fig.3 Schematic diagram of foot morphological parameter measurement

**1.4.2 足部功能评价指标** 足部功能评价指标测量的对象是优势侧足部。所选用的指标有:BW标

准化后的第1足趾屈曲力量、其余四趾屈曲力量、跖趾关节屈肌力量,单位均为 N/kg。

### 1.5 统计学分析

所有参数均采用均值±标准差表示。使用配对样本 *t* 检验比较坐姿和站姿下的足部形态参数(足长、足宽、截脚长、足背高度、足舟骨高度、AHI)。使用偏相关(校正年龄和 BMI)分析足弓形态与足部肌力的相关性。数据采用 SPSS 22.0 统计软件进行分析,设定显著性水平  $P < 0.05$ ,相关性系数  $r$ 。其中: $|r| \geq 0.8$ ,高度相关; $0.5 \leq |r| < 0.8$ ,中度相关;

表1 坐姿、站姿下足部形态参数比较 (\* $P < 0.05$ )

Tab.1 Comparison of foot morphological parameters in sitting/standing position

姿态	足长/cm	足宽/cm	足舟骨高度/cm	足背高度/cm	截脚长/cm	AHI
坐姿	25.71±1.42	9.88±0.58	5.44±0.45	7.03±0.38	18.90±1.08	0.37±0.01
站姿	25.95±1.47*	10.12±0.54*	4.91±0.54*	6.53±0.41*	19.02±1.08	0.34±0.02*

### 2.2 坐姿、站姿下足部形态与足趾屈曲力量的相关性

坐姿下的足长、足宽、足背高度、截脚长以及站姿下足宽、截脚长与第1足趾屈曲力量成正相关( $r = 0.390 \sim 0.61, P < 0.05$ )。校正年龄与 BMI 后,除坐姿下足长、足宽和足背高度的相关性消失外,其他指标的相关性依然存在( $r = 0.440 \sim 0.559$ ,

表2 坐姿、站姿下足部形态与足趾屈曲力量相关性

Tab.2 Correlations of foot morphology with toe flexor strength in sitting/standing position

足趾	足部形态	坐姿				站姿			
		$r$ (校正前)	$P$	$r$ (校正后)	$P$	$r$ (校正前)	$P$	$r$ (校正后)	$P$
第1足趾	足长	0.390	0.049	0.327	0.118	0.373	0.061	0.299	0.155
	足宽	0.427	0.029	0.393	0.057	0.440	0.025	0.440	0.031
	足舟骨高度	-0.003	0.990	-0.208	0.330	0.224	0.271	0.137	0.522
	足背高度	0.407	0.039	0.324	0.122	0.382	0.054	0.295	0.161
	截脚长	0.561	0.003	0.559	0.004	0.536	0.005	0.522	0.009
	AHI	-0.341	0.088	-0.362	0.083	-0.151	0.462	-0.143	0.506
其余四趾	足长	0.265	0.191	0.581	0.003	0.243	0.231	0.546	0.006
	足宽	0.316	0.115	0.415	0.044	0.309	0.125	0.472	0.020
	足舟骨高度	-0.306	0.129	-0.279	0.186	0.131	0.525	0.167	0.434
	足背高度	0.181	0.377	0.341	0.103	0.174	0.395	0.294	0.164
	截脚长	0.403	0.041	0.683	0.000	0.344	0.085	0.625	0.001
	AHI	-0.368	0.065	-0.415	0.044	-0.157	0.443	-0.186	0.383

### 2.3 坐姿、站姿下足部形态与跖趾关节屈肌力量的相关性

坐姿和站姿下足宽与跖趾关节屈肌力量成正

$0.3 \leq |r| < 0.5$ ,低度相关; $|r| < 0.3$ ,关系极弱。

## 2 结果

### 2.1 坐姿、站姿下足部形态与足部功能指标

与坐姿相比,受试者在站姿下的足长更长、足宽更宽( $P < 0.05$ ),而足舟骨高度、足背高度和 AHI 显著更低( $P < 0.05$ )。而截脚长在两种姿态下无显著性差异(见表1)。受试者第1足趾屈曲力量为( $1.54 \pm 0.44$ ) N/kg,其余四趾屈曲力量为( $0.95 \pm 0.29$ ) N/kg,跖趾关节屈肌力量为( $1.35 \pm 0.51$ ) N/kg。

$P < 0.05$ )。坐姿下截脚长与其余四趾屈曲力量成正相关( $r = 0.403, P < 0.05$ )。校正年龄与 BMI 后,除坐姿下截脚长外,坐姿下足长、足宽以及站姿下足长、足宽、截脚长也与其余四趾屈曲力量成正相关( $r = 0.415 \sim 0.625, P < 0.05$ );坐姿下 AHI 与其余四趾屈曲力量成负相关( $r = -0.415, P < 0.05$ ),见表2、图4。

相关( $r = 0.399 \sim 0.550, P < 0.05$ )。校正年龄与 BMI 后,上述相关性依然存在( $r = 0.499 \sim 0.600, P < 0.05$ ),见表3、图5。

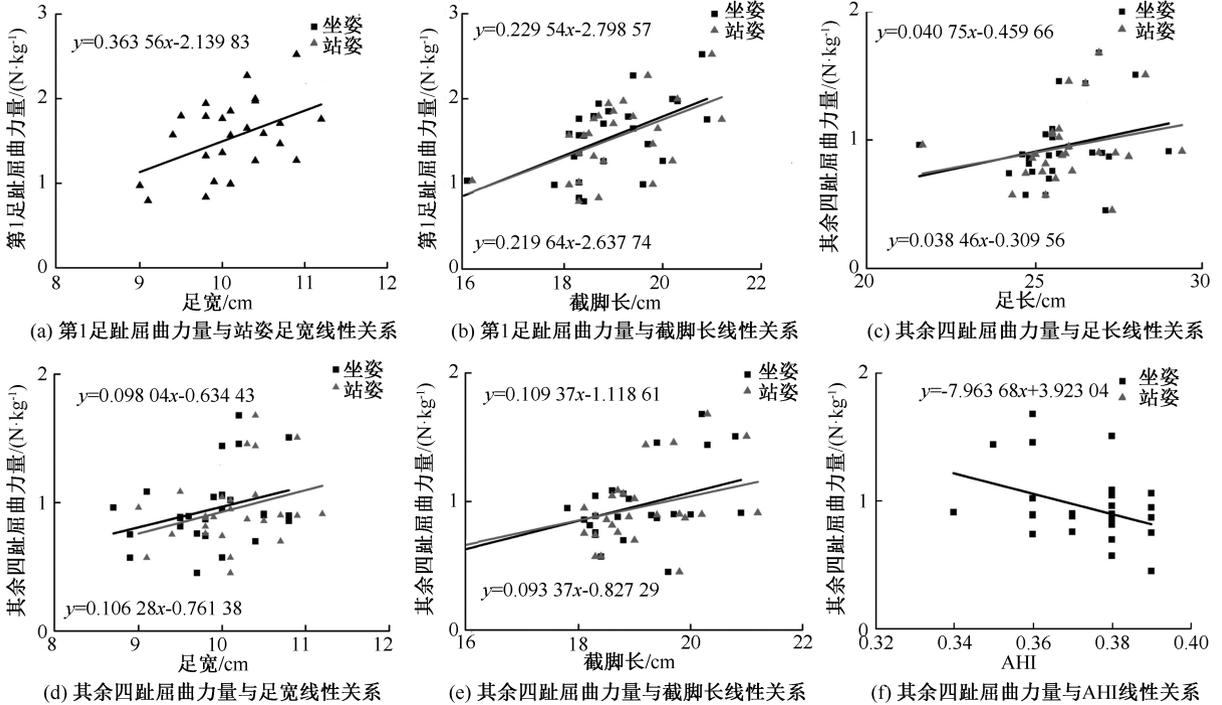


图4 足部形态与足趾屈曲力量的线性关系(校正年龄与BMI)

Fig.4 Linear relationship between foot morphology and toe flexor strength (adjusted age and BMI) (a) Liner relationship between the flexor strength of the first toe and foot width in standing position, (b) Liner relationship between the flexor strength of the first toe and truncated foot length, (c) Liner relationship between the flexor strength of the other toes and foot length, (d) Liner relationship between the flexor strength of the other toes and foot width, (e) Liner relationship between the flexor strength of the other toes and truncated foot length, (f) Liner relationship between the flexor strength of the other toes and AHI

表3 坐姿、站姿下足部形态与跖趾关节屈肌力量的相关性

Tab.3 Correlations of foot morphology with metatarsal joint strength in sitting/standing position

姿态	足部形态	$r$		$P$	$r$
		(校正前)	(校正后)		
坐姿	足长	0.141	0.491	0.091	0.673
	足宽	0.550	0.004	0.600	0.002
	足舟骨高度	0.065	0.753	-0.028	0.898
	足背高度	0.144	0.481	0.071	0.741
	截脚长	0.194	0.342	0.169	0.429
	AHI	-0.090	0.662	-0.130	0.544
	站姿	足长	0.110	0.593	0.039
足宽	0.399	0.044	0.499	0.013	
足舟骨高度	0.135	0.510	0.054	0.801	
足背高度	0.304	0.131	0.275	0.194	
截脚长	0.298	0.139	0.304	0.148	
AHI	0.027	0.897	0.020	0.925	

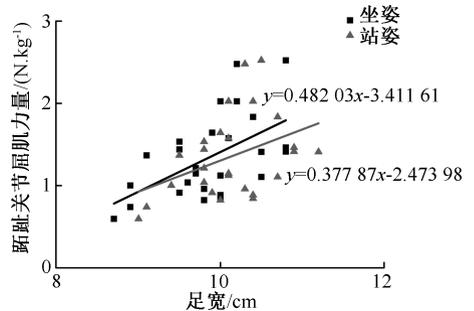


图5 足宽与跖趾关节屈肌力量线性关系(校正年龄与BMI)

Fig.5 Linear relationship between foot width and metatarsal joint strength (adjusted age and BMI)

### 3 讨论

本文通过测量跑步爱好者在坐姿和站姿下的足

部形态特征,探究其与足部肌力的相关性。结果发现,校正年龄与BMI后,坐姿下截脚长以及站姿下足宽、截脚长与第1足趾屈曲力量成正相关;坐姿和站姿下足长、足宽、截脚长与其余四趾屈曲力量成正相关;坐姿下AHI与其余四趾屈曲力量成负相关;坐姿和站姿下足宽与跖趾关节屈肌力量成正相关。

足部形态受 BW 影响较大。研究发现,当足部负荷由无 BW 到全身 BW 的过程中,足长和足宽增加,足弓高度下降,足外翻更显著<sup>[18]</sup>。类似地,研究表明,与健康人群相比,肥胖人群的纵弓高度较低、足长更长、足宽更宽,故足部形态会随着负荷的增加而产生相应变化<sup>[4]</sup>。在日常生活中,坐姿和站姿是人体最常见的两种姿态,两种姿态下由于足部所受负荷不同,可能存在不同的足部形态。本文通过比较坐姿和站姿两种姿态下足部形态特征发现,与坐姿相比,站姿下足长和足宽明显增加,而足舟骨高度、足背高度和 AHI 显著降低,推测主要原因是足部骨骼在承受负荷时产生结构性变化。坐姿下,人体足部不承受 BW 而处于放松状态;站姿下,BW 沿距骨下传至足部骨骼,对其产生向下的压力,从而导致足弓高度下降<sup>[19]</sup>。另一方面,有关足长、足宽等与足部肌力的相关性研究鲜有报道。本文结果表明,坐姿下足长、足宽、截脚长以及站姿下足宽、截脚长与足趾屈曲力量和跖趾关节屈肌力量成正相关;类似地,Zhao 等<sup>[20]</sup>研究表明,足长、足宽和足部高度与踝关节力量有关。本文推测,更长的足长、足宽意味着受试者可能具有更大 BW 和足部肌肉体积,从而产生更大的足部力量。

本文研究发现,其余四趾屈曲力量随足弓高度的降低而逐渐增加。这与赵晓光等<sup>[5]</sup>的研究结果类似,即踝关节肌力与足弓高度成负相关。根据本文研究结果推测,更低的足弓高度在进行足趾屈曲力量测试时可能会经历更大的形变,从而影响屈曲力量测试结果。因此,仅从上述相关性结果而言,还不能充分说明较低足弓高度具有更大足部肌力。另外,Yokozuka 等<sup>[8]</sup>研究发现,AHI 与足趾屈肌力量的相关性很小,该结果与本文结果有差异,推测与测试时人体姿态的影响有关。虽然本文结果显示,在坐姿下 AHI 与其余四趾屈曲力量成负相关,但站姿下两者无显著相关性;且拇趾与其余四趾的力量差别很大。而前人测试足趾屈曲力量时并未将拇趾和其余四趾分开测量,可能会影响实验结果。由此可见,足弓高度与足部肌肉力量的关系还需要进一步探究。

结合上述相关性数据可知,站姿和坐姿下足部形态与足趾屈曲力量、跖趾关节屈肌力量在校正前后各指标相关性存在差异,就此本文推测:① 站姿

下足部要承受 BW,使足型产生较大的形变,并且受试者重心的少许偏差也可能会改变压力分布,从而改变足部形态<sup>[21]</sup>。但是坐姿下足部形态受 BW 影响较少,故可部分解释为何站姿下许多指标在校正年龄和 BMI 后会出现显著相关性;② 本研究中,足部力量测量在坐姿下进行;相应的,足部形态与足趾屈曲力量的相关性在坐姿下更显著。前人研究多关注一种姿态下(坐姿或站姿)的足部形态测量,这可能会忽略由于测量姿态不同而导致的各研究间差异性结果。本文同时关注坐姿和站姿两种测量姿态,结果表明,不同姿态下所测得的足部形态存在一定差异性,且足部形态特征在一定程度上会影响足部肌力。因此,后续在进行足部形态测量时,需考虑不同姿态下足部形态特征及其与足部肌力相关性的结果差异。

本研究的局限性如下:① 由于招募对象均为习惯后跟触地的跑步爱好者,其足弓结构均为正常,故在无运动习惯和足弓结构非正常的人群中,本文研究结果的适用性还有待进一步探究;② 由于目前针对足部力量的测试方法没有金标准,故本文中采用“足趾力量和跖趾关节力量”有一定局限性,实质上是“足趾力量和跖趾关节力量”的相关指标,建议后续研究可针对足部力量测试方法进行深入探讨。

## 4 结论

本文研究发现,足长、足宽、截脚长与足部肌力(第 1 足趾屈曲力量、其余四趾屈曲力量、跖趾关节屈肌力量)均呈正相关;AHI 与足部肌力(第 1 足趾屈曲力量、其余四趾屈曲力量、跖趾关节屈肌力量)呈负相关。本文结果提示,足部形态测量可在一定程度上预测跑者的足部能力,即更长的足长、足宽、截脚长以及正常范围内更低的足弓可能意味着更好的足趾肌力。此外,在进行足部形态测量时,因考虑不同姿态下足部形态特征的差异,为预测下肢特别是足部肌力以及预防足部损伤提供参考。

## 参考文献:

- [1] 燕晓宇,俞光荣. 正常足弓的维持及临床意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2005, 23(2): 219-221.
- [2] 郭雪莹. 长跑爱好者足部形态及足底压力变化恢复特征研究[D]. 北京:北京体育大学, 2019.
- [3] FRANCIS P, WHATMAN C, SHEERIN K, et al. The

- proportion of lower limb running injuries by gender, anatomical location and specific pathology: A systematic review [J]. *J Sports Sci Med*, 2019, 18(1): 21-31.
- [ 4 ] PRICE C, NESTER C. Foot dimensions and morphology in healthy weight, overweight and obese males [J]. *Clin Biomech*, 2016, 37(4): 125-130.
- [ 5 ] 赵晓光. 不同足弓高度对踝关节肌力和运动能力的影响[J]. *体育科学*, 2018, 38(4): 61-66.
- [ 6 ] LIN CJ, LAI KA, KUAN TS, *et al*. Correlating factors and clinical significance of flexible flatfoot in preschool children [J]. *J Pediatr Orthoped*, 2001, 21(3): 378-382.
- [ 7 ] 张卓恒. 肌肉骨骼超声在评估慢性足底筋膜炎中的临床应用[J]. *实用医技杂志*, 2017, 24(10): 1062-1063.
- [ 8 ] YOKOZUKA M, OKAZAKI K, SAKAMOTO Y, *et al*. Relationship between foot morphology and toe muscle strength in female university students [J]. *J Phys Ther Sci*, 2019, 31(5): 457-461.
- [ 9 ] MICKLER KJ, MUNRO BJ, LORD SR, *et al*. ISB Clinical Biomechanics Award 2009: Toe weakness and deformity increase the risk of falls in older people [J]. *Clin Biomech*, 2009, 24(10): 787-791.
- [ 10 ] 刘宇, 阎坚强, 傅维杰, 等. 一种足部跖趾关节力量测试仪. 中国: CN103278278A[P]. 2013-06-17.
- [ 11 ] 张燊, 崔科东, 张希妮, 等. 后跟着地跑步技术对足弓肌肉力量的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2019, 38(11): 955-959.
- [ 12 ] RIDGE ST, MYRER JW, OLSEN MT, *et al*. Reliability of doming and toe flexion testing to quantify foot muscle strength [J]. *J Foot Ankle Res*, 2017, 10(1): 55-62.
- [ 13 ] 邓雪. 跖趾关节屈肌力量实验研究[J]. *体育科研*, 2014, 35(6): 64-67.
- [ 14 ] ZHANG S, FU WJ, LIU Y. Does habitual rear-foot strike pattern with modern running shoes affect the muscle strength of the longitudinal arch? [J]. *Isokinet Exerc Sci*, 2019, 27(3): 213-218.
- [ 15 ] BIRINCI T, DEMIRBAS SB. Relationship between the mobility of medial longitudinal arch and postural control [J]. *Acta Orthop Trauma*, 2017, 51(3): 233-237.
- [ 16 ] MULLIGAN EP, COOK PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function [J]. *Manual Ther*, 2013, 18(5): 425-430.
- [ 17 ] WILLIAMS DS, MCCLAY IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: Reliability and validity [J]. *Phys Ther*, 2000, 80(9): 864-871.
- [ 18 ] XIONG S, GOONETILLEKE R, ZHAO J, *et al*. Foot deformations under different load-bearing conditions and their relationships to stature and body weight [J]. *Anthropol Sci*, 2009, 117(2): 77-88.
- [ 19 ] MCPHAIL TG, CORNWALL MW, MEDOFF L, *et al*. Arch height change during sit-to-stand: An alternative for the navicular drop test [J]. *J Foot Ankle Res*, 2008, doi: 10.1186/1757-1146-1-3
- [ 20 ] ZHAO X, TSUJIMOTO T, KIM B, *et al*. Association of foot structure with the strength of muscles that move the ankle and physical performance [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2018, 57(6): 1143-1147.
- [ 21 ] WRIGHT WG, IVANENKO YP, GURFINKEL VS. Foot anatomy specialization for postural sensation and control [J]. *J Neurophysiol*, 2012, 107(5): 1513-1521.