

doi:10.19677/j.issn.1004-7964.2020.03.014

足弓部特征在性别与鞋码下的差异研究

李育奇,于晓晴

(华南理工大学设计学院,广东广州 510640)

摘要:利用三维足型扫描仪采集足弓数据,探讨不同性别与鞋码在足弓部尺寸的差异并建立一套足弓支撑功能鞋垫的设计参考原则。为了解足弓区域特征,对中国 500 位(男女各半)成年受试者进行足型扫描及数据采集,并使用足弓长、足弓深和足弓高表现足弓的形状,计算第一跖骨接地点、舟状骨和足弓轮廓内凹点的位置在足长中所占比例来定位足弓。结果指出,不同性别在足弓长、足弓高、舟状骨位置比例、足弓轮廓内凹位置比例有显著差异 ($p < 0.01$),但在足弓深、第一跖骨接地点位置比例无显著差异 ($p > 0.05$)。此外,研究以鞋码为分类依据对比各鞋码下的足弓特征差异,结果显示,男性和女性的足弓长随鞋码增大而递增,而男性的足弓深随鞋码增大而递减。因此,如今使用等比缩放方式制作男女足弓垫的做法有待改进,应分别根据男性和女性使用者的鞋码大小提出不同的足弓垫设计。最后,提出一套不同鞋码下的足弓尺寸制造规格表,为足弓支撑功能鞋垫的设计提供参考,以提升鞋垫的舒适性与足弓区的合脚程度。

关键词:足弓特征;三维扫描;性别差异;鞋码;足弓垫

中图分类号:Q 984 ;TQ 943 **文献标志码:**A

Investigation of Arch Characteristics under Different Genders and Shoe Sizes

LI Yuqi, YU Xiaoqing

(School of Design, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The objective of this study was to collect the arch characteristics by 3D foot scanner to evaluate the gender and shoe size differences, in order to provide manufacturing standards for design of arch support. Five hundred adult subjects (half of females) were recruited in this study. Arch length, arch depth and arch height were used to determine the arch shape, while distance of navicular (%FL), distance of metatarsle tibiale (%FL) and distance of the most medial point of medial border line (%FL) were used to locate the arch position. Results showed that gender difference was significant in arch length, arch height, distance of navicular and distance of the most medial point of medial border line ($p < 0.01$), except for arch depth and distance of the first metatarsal ($p > 0.05$). In addition, this study compared the arch characteristics under different shoes sizes. Results found that arch length would increase with shoe size for both gender, but arch depth would decrease with shoe size only for males. Therefore, the practice of making arch support for men and women by equal ratio scaling method needs to be improved. It is necessary to design the arch support based on arch dimensions for males and females separately. Finally, this study also proposed standards of arch support design of insole to improve the user's comfort and fitness.

Key words: arch characteristics; 3D scanning; gender effect; shoe size; arch support

收稿日期:2019-06-07

基金项目:华南理工大学双一流人才队伍建设经费(D6192270)

第一作者简介:李育奇(1983-),男,博士,副教授,研究生导师,liyiqui@scut.edu.cn,主要研究方向:人因工程,数位人体计测,生物力学,产品评估等。

1 前言

足弓是由关节、韧带、肌肉与肌腱等构成的具有弹性和收缩性的拱形结构^[1]。在站立或行走时,第一跖骨根部、第五跖骨根部和后脚跟三个支撑点间产生了前后方向的内侧纵弓、外侧纵弓和内外方向的横弓^[2],为身体提供了支撑作用^[3]。在走路或跑步时,足弓帮助保持身体的平衡并提供弹性,使重力及地面反作用力大为缓冲和减弱,重心能顺利移转到正确位置,有利于足部对地形的适应。其中内侧纵弓结构更容易受年龄、性别、鞋具选择等因素的影响而产生差异^[4],因此研究多着重在内侧纵弓的合适度改善。李波等人根据内侧纵弓的高度将足弓分类,并分别对男性和女性的左右脚之间的足弓系数进行差异比较并发现足弓的结构会影响足部运动的特性^[5]。

传统市面所售的鞋垫多为平版式设计,在足中区无足弓部支撑,由于人体足部具有向上拱起的足弓部位,当人们使用平版式鞋垫时因脚骨形状无法与鞋垫相互吻合,造成行走或运动时脚底所承受的压力无法平均分布于整个脚掌面。若长期穿着不合适的鞋具,容易造成疼痛不适甚至引发运动伤害的问题^[6]。

足弓的研究主要利用放射照相技术^[7]、精密标尺测量^[8]、绘制足印参数^[9]等二维测量方法获取足弓特征,提出不同足弓特征参数作为足弓分类的标准^[4,10],但分类的标准对于足弓高的合适度仍具争议^[10]。随着计算机技术的进步,许多学者利用三维足型扫描仪器进行足部尺寸搜集,并发展出足部尺寸特征值的自动测量方法,能够快速取得足型相关信息且辅于鞋具设计^[11,12]。另外, Lee 等人应用三维足型扫描的方法探讨台湾人的足型差异并指出性别对 14 项足部尺寸与足型有显著差异,并与其他地区的足部尺寸不同^[13]。Witana 等人使用三维尺寸量测仪器搜集足部特征,其结果指出足弓区的形状变化不会受足前区和足后区特征影响,可独立针对足弓区域进行设计以提升穿着时的合适度^[14]。

市面上除平版式鞋垫外,逐渐出现对足弓有凸起弧形支撑的改良结构形态的鞋垫,足弓垫的支撑能降低跖骨发生筋膜炎的机率^[15]并具有平均分散足底压力的作用^[16]。此外,相较只接触局部足

底的鞋垫,全接触式鞋垫能更有效地降低足压力及缓冲行走时的冲击力^[17]。王康康等人研究发现具有足弓支撑功能的鞋垫相较平版式鞋垫更能减小竞走运动员跖骨和足跟的压强峰值和冲量,并对足底压力的分布产生影响^[18]。Chen 等人发现将足跟和跖骨的力量分配至足中区域可以降低这些部位发生过度使用性损伤的风险^[19]。而符合使用者足型的鞋垫可以降低足前区及足跟区所受到的地面反作用力^[20]。Cheung 等人认为,相较于调整鞋垫厚度或鞋垫软硬度,设计符合使用者足型的鞋垫对于降低足底受力更有效^[21]。Witana 等人使用第一跖骨与足踵间的距离作为足弓区在足底的定位特征以提升穿鞋时足弓部的舒适度^[14]。由此可知,利用足部特征设计合适度更高的鞋垫能够降低足底压力、分散足底力量及提高舒适度。

然而,对于市面上设有足弓支撑的鞋垫仍有不完善的地方,如:没有考虑尺寸差异直接引进国外设计的鞋垫、没有正确定位足弓垫在鞋垫中的位置、没有考虑足弓特征的性别差异直接将男性鞋垫等比缩小为女性鞋垫、没有考虑足弓尺寸可能会随足长的变化而改变,导致实际使用鞋垫时仍未能正确支撑足弓部。因此,本研究利用三维足型扫描数据分析不同性别和鞋码下的足弓部特征,并建立一套足弓支撑的设计参考原则,针对足弓的造型与定位进行改善,使其更符合中国人的足型特征并提升足弓垫的支撑效果。

2 研究方法

2.1 受试者

本研究共招募 500 位大学生和研究生,其中包含 250 位男性和 250 位女性,受试者无任何足部畸形或足部病史。受试者年龄涵盖范围为 18 至 37 岁,男受试者的身高、体重与 BMI 值分别为 $(174.0 \pm 5.4)\text{cm}$, $(67.7 \pm 9.1)\text{kg}$ 与 $(23.4 \pm 3.0)\text{kg/m}^2$; 女受试者的身高、体重与 BMI 值则为 $(161.1 \pm 5.1)\text{cm}$, $(51.9 \pm 6.0)\text{kg}$, $(20.0 \pm 2.2)\text{kg/m}^2$ 。

2.2 实验仪器

本研究使用的三维足型扫描仪(INFOOT USB scanning system, IFU-S-01, I-Ware Laboratory Co., Ltd, Japan) 由 8 个 CCD 相机及 4 个雷射投影机组成,利用足部表面的三维空间坐标(X, Y, Z)构建足部模型,其系统可自动计算特征点间的高度、宽

表 1 足弓特征尺寸定义
Tab. 1 The definitions of the arch characteristics

足弓特征	定义	图示
a. 足弓长	内侧纵弓长。第一跖骨接地点和内侧足踵着地点的直线长度 ^[8, 24]	
b. 足弓深	足底的足弓轮廓内凹最深点至足弓长连接的垂直长度	
c. 足弓高	取舟状骨粗隆高代表 ^[25]	
d. 舟状骨位置比例	舟状骨粗隆至足踵的垂直长度占总足长比例	
e. 第一跖骨位置比例	第一跖骨接地点至足踵的垂直长度占总足长比例 ^[14]	
f. 足弓轮廓内凹位置比例	足底的足弓轮廓内凹最深点 ^[8] 至足踵的垂直长度占总足长比例	

度、围度与深度等相关尺寸,其精确度可达 1.0 mm 以内^[22]。

2.3 参数定义

由于扫描软件系统无法自动辨识足底特征,实验者将收集到的足部模型利用计算机辅助设计系统获取足底坐标数据来计算所需的足弓尺寸。为避免扫描时因抖动和着地的接触面不平整而造成影像缺陷,选取距离接触面高度 1.5 mm 处的平面作为基准面构建成足底^[23]。

本研究收集足弓长、足弓深、足弓高来描述足弓形状的参数,并考虑足弓区在鞋垫设计的位置,以舟状骨粗隆点、第一跖骨接地点、足弓轮廓内凹点为特征点,分别计算各点至足踵的垂直长度。第一跖骨接地点即足中部由内向外的第一块跖骨的足趾近端与地面接触的位置。由于特征点的位置会因个人足长而改变,因此用特征值除以足长将其标准化,提出舟状骨位置比例、第一跖骨位置比例和足弓轮廓内凹位置比例三个新参数。表 1 为各项足弓特征尺寸的详细定义说明。

2.4 实验流程

实验开始前,受试者首先了解实验内容与步骤并签署实验同意书,为避免足部的脏污影响足型扫描质量且考虑到仪器的干净整洁,每位受试者进行扫描前须将双脚浸泡盐水 5 分钟用以清洁足部,再用纸巾将足部表面擦拭至完全干燥。为增加扫描时的准确性,由 1 名受过专业培训的实验者以触摸的方式在所有受试者的足部表面舟状骨位置处贴附 1 个标记点,以增加自动辨识足弓高的精确度^[22]。扫描过程中,受试者直立目视正前方,采取双脚自然站立的姿势,且双手自然下垂,不要抓握扫描仪的把手,并将体重平均分摊至双

表 2 受试者足弓特征值的平均数(标准差)及 t 检定的性别差异结果

Tab. 2 Gender differences on average (Standard Deviation) of arch characteristics and t-test results

	足弓长 /mm	足弓深 /mm	足弓高 /mm	舟状骨 位置比例 /%	第一跖骨 位置比例 /%	足弓轮廓内 凹位置比 例/%
男	147.5 (7.4)	35.7 (8.4)	37.0 (5.1)	37.1 (2.1)	73.4 (1.6)	50.2 (4.4)
女	134.9 (6.3)	35.4 (7.3)	33.1 (4.9)	36.4 (2.5)	73.1 (1.5)	52.6 (3.3)
p ¹⁾	**	0.785	**	*	0.622	**

1)* p < 0.01; ** p < 0.001

脚,在扫描过程中,避免身体与足部的晃动,每次扫描时间约为 10 秒钟,每位受试者将进行 2 次足型扫描以确保扫描数据的质量与完整性。

2.5 统计分析方法

本实验应用 SPSS 22.0 统计软件进行分析,统计显著水平 α 设定为 0.05。并使用独立样本 t 检定(t-test)评估性别间在各项足弓特征的差异。

3 结果与讨论

从表 2 中可看出,统计分析结果显示不同性别在足弓长、足弓高、舟状骨位置比例、足弓轮廓内凹位置比例有显著差异($p < 0.05$),但性别在足弓深、第一跖骨位置比例则无显著差异($p > 0.05$)。在足弓长和足弓高尺寸上,男性的尺寸均比女性尺寸大,这种现象也反映性别在其他足部尺寸的差异,例如男性的足长、内折线距离、内踝高等尺寸均较大^[13, 26]。

根据舟状骨位置比例和足弓轮廓内凹位置比例的性别差异数据,在相同的足长下,男性舟状骨与足踵的垂直长度较长,但足弓轮廓内凹点却更

表3 男性女性在不同鞋码下的足弓特征值 (N=250)
Tab. 3 Arch characteristics of males and females under different shoe sizes

足弓特征参数	男性鞋码 ¹⁾					女性鞋码 ¹⁾				
	CM 25 (US 7)	CM 26 (US 8)	CM 27 (US 9)	CM 28 (US 10)	CM 29 (US 11)	CM 21 (US 4)	CM 22 (US 5)	CM 23 (US 6)	CM 24 (US 7)	CM 25 (US 8)
足弓长/mm	138.1 (4.2)	145.2 (4.0)	150.7 (4.1)	157.0 (3.4)	162.4 (4.1)	122.6 (3.2)	129.7 (3.8)	135.0 (3.4)	139.1 (3.0)	144.6 (3.7)
足弓深/mm	37.7 (6.2)	36.8 (7.9)	35.5 (8.5)	31.3 (10.5)	30.3 (9.3)	35.2 (5.4)	32.8 (8.4)	35.9 (6.8)	36.7 (6.1)	35.7 (10.5)
足弓高/mm	38.1 (6.0)	36.3 (4.8)	37.6 (5.0)	36.9 (4.7)	35.1 (4.9)	32.5 (4.2)	33.1 (4.8)	32.8 (5.2)	34.4 (4.1)	32.4 (5.9)
舟状骨位置比例(%足长)	37.4 (2.2)	37.4 (2.2)	37.0 (2.0)	37.4 (2.0)	36.4 (2.6)	35.8 (2.2)	36.6 (2.5)	36.9 (2.5)	35.9 (2.3)	36.9 (2.8)
第一跖骨位置比例(%足长)	73.0 (1.4)	73.5 (1.7)	73.4 (1.5)	73.5 (1.6)	73.4 (1.2)	72.8 (1.4)	73.4 (1.5)	73.6 (1.6)	72.7 (1.5)	73.2 (1.4)
足弓轮廓内凹位置比例(%足长)	51.7 (3.1)	51.3 (4.3)	51.0 (4.2)	47.9 (5.4)	49.3 (6.0)	52.2 (3.8)	52.0 (3.8)	53.2 (3.0)	52.6 (3.3)	53.1 (3.3)

1)鞋码表示方式为新中规(美规)

靠近足踵,由此可看出性别在这两种特征点位置上的差异。综合上述结果,男性与女性在足弓长、足弓高、舟状骨位置比例、足弓轮廓内凹位置比例具有不同的尺寸,使得足弓特征具有性别差异。然而目前男女鞋垫的制作皆以等比例缩放的方式,因此在足弓区设计上应采用不同的规格系统来满足男女在足弓区特征尺寸上的差异。

考虑不同足长在足弓尺寸的差异与制造的实用性,本研究以足长做为足型分类的依据进行深入分析,所用男性鞋码分布为CM 25至CM 29,女性则为CM 21至CM 25,其对应的6项足弓特征量测数据如表3所示。

由数据结果显示,男性和女性的足弓长尺寸都会随鞋码增大而递增,最小的鞋码有最小的足弓长尺寸(男性138.1 mm,女性122.6 mm),最大的鞋码有最大的足弓长尺寸(男性162.4 mm,女性144.6 mm)。以足弓深来看,男性的足弓深尺寸会随尺码的增大而递减,最小的鞋码有最大的足弓深尺寸(37.7 mm);最大的鞋码有最小的足弓深尺寸(30.3 mm)。但对女性而言,足弓深尺寸在不同鞋码下不存在大小趋势。此外,男性和女性的足弓高、舟状骨位置比例、第一跖骨位置比例和足弓轮廓内凹位置比例在不同鞋码下都没有大小趋势。根据上述结果,在鞋垫的足弓区设计上,应随鞋垫本体的尺寸改变而调整足弓长尺寸及男性的足弓深尺寸的规格。

在应用方面,本研究根据不同性别和鞋码在足弓特征的差异分别对男性和女性提出适用于足弓

垫的制造参考规格(表4),此表主要为了方便让鞋具制造商在制作时参照与使用。对于足弓形状参数,由于男性和女性的足弓长皆随鞋码的增大而有增加趋势,因此分别采用各鞋码下的足弓长平均值作为男性和女性足弓长的设计规格(男性由CM 25至CM 29,女性则由CM 21至CM 25)。在足弓深方面,男性足弓深尺寸随鞋码的增大而有减小趋势,因此采用各鞋码下的男性足弓深平均值作为男性足弓深的设计规格(由CM 25至CM 29)。而男性足弓高和女性的足弓深特征在不同鞋码下无固定的尺寸大小趋势,因此在规格的设计上采用性别间的全体平均值,其尺寸不随鞋码改变而变动。

在足弓定位的特征点参数上,舟状骨位置比例、第一跖骨位置比例、足弓轮廓内凹位置比例在不同鞋码下的尺寸大小并无固定趋势,且最大和最小值之间的差值大部分在1%足长之内。考虑鞋具产品为大量制造的特性,在规格的设计上采用表3的性别间的全体平均值。然而,这三个参数都是经过足长的比例标准化而产生,故在规格的运用时须换算为实际长度尺寸参数,分别为舟状骨点至足踵垂直长度、第一跖骨点至足踵垂直长度、足弓轮廓内凹点至足踵垂直长度,即在规格表中的尺寸会随足长(鞋码)而有变化与差异,计算方式如下:

足弓位置比例参数(%足长)×各鞋码的足长(mm)=足弓特征点至足踵垂直长度(mm)。

例如,在大量制作中规27码男鞋时,应根据舟状骨点、第一跖骨点、足弓轮廓内凹点分别至足

表 4 男女足弓垫设计参考规格¹⁾
Tab. 4 Design references of arch support for Chinese males and females

足部尺寸	男性鞋码					女性鞋码				
	CM 25 (US 7)	CM 26 (US 8)	CM 27 (US 9)	CM 28 (US 10)	CM 29 (US 11)	CM 21 (US 4)	CM 22 (US 5)	CM 23 (US 6)	CM 24 (US 7)	CM 25 (US 8)
足长	250	260	270	280	290	210	220	230	240	250
足弓长	138.1	145.2	150.7	157	162.4	122.6	129.7	135	139.1	144.6
足弓深	37.7	36.8	35.5	31.3	30.3			35.4		
足弓高			37					33.1		
舟状骨点至足踵垂直长度	93.5	97.2	99.9	104.7	105.6	75.2	80.5	84.9	86.2	92.3
第一跖骨点至足踵垂直长度	182.5	191.1	198.2	205.8	212.9	152.9	161.4	169.3	174.5	183.0
足弓轮廓内凹点至足踵垂直长度	129.3	133.4	137.7	134.1	143.0	110.3	114.4	122.4	126.2	132.8

1)鞋码表示方式为新中规(美规),尺寸单位为 mm

踵的垂直长度 99.9 mm、198.2 mm、137.7 mm 来定位适合于 270 mm 足长的足弓垫位置。且足弓垫的长度、宽度、高度应分别制作成 150.7 mm、35.5 mm 和 37 mm 以更好贴合穿着中规 27 码男鞋的人的足弓形状。同样的,制作女性足弓鞋垫时,应参考不同鞋码下的女性足弓参数与规格,从而提高鞋垫足弓部设计的舒适性和合脚性。

4 结论

本研究主要应用三维足型自动量测技术收集男女足部区域的特征,并通过计算机辅助系统计算足弓部 6 项重要参数,利用足弓形状(足弓长、深、高)与足弓定位(舟状骨、第一跖骨、足弓轮廓内凹位置占总足长的比例)指标评估不同鞋码与性别间的差异。研究结果显示,不同性别在足弓长、足弓高、舟状骨位置比例、足弓轮廓内凹位置比例有显著差异。男性的足弓长、足弓深在不同鞋码下分别有递增和递减的趋势;而女性只有足弓长在不同鞋码有递增趋势。因此,应针对不同性别与鞋码提供不同的足弓支撑设计,避免使用等比缩放的方式制作不合适的鞋垫。另外,本研究提出一套依照不同鞋码下的足弓支撑设计尺寸规格表,对未来设计鞋垫足弓部支撑提供参考价值,对于鞋垫的制造具有实质的意义。

参考文献:

- [1] 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(04): 61-66.
- [2] 向其鹏, 李紫豪, 吴秀清, 等. 足弓结构对足底压力分布的影响[J]. 皮革科学与工程, 2019, 29(03): 59-62.
- [3] McKeon P O, Hertel J, Bramble D, et al. The foot core

system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function [J]. Br J Sports Med, 2015, 49 (5): 290-290.

- [4] Razeghi M, Batt M E. Foot type classification: a critical review of current methods [J]. Gait & posture, 2002, 15 (3): 282-291.
- [5] 李波, 赵佳华, 仲映旭. 足弓结构对足部运动特性的影响[J]. 中国皮革, 2016, 45(07): 52-55+60.
- [6] Killian R B, Nishimoto G S, Page J C. Foot and ankle injuries related to rock climbing. The role of footwear [J]. Journal of the American Podiatric Medical Association, 1998, 88(8): 365-374.
- [7] McCrory J L, Young M J, Boulton A J M, et al. Arch index as a predictor of arch height [J]. The Foot, 1997, 7(2): 79-81.
- [8] Hawes M R, Nachbauer W, Sovak D, et al. Footprint parameters as a measure of arch height [J]. Foot & ankle, 1992, 13(1): 22-26.
- [9] Cavanagh P R, Rodgers M M. The arch index: a useful measure from footprints [J]. Journal of biomechanics, 1987, 20(5): 547-551.
- [10] Xiong S, Goonetilleke R S, Witana C P, et al. Foot arch characterization: a review, a new metric, and a comparison [J]. Journal of the American Podiatric Medical Association, 2010, 100(1): 14-24.
- [11] 李晓芸, 冉诗雅, 杨璐铭等. 三种负重状态下青年女性的三维脚型数据对比分析 [J]. 皮革科学与工程, 2016, 26(05): 48-54.
- [12] 叶晓露, 施凯. 三维足型扫描技术在鞋类产品中的应用研究[J]. 中国皮革, 2015, 44(17): 48-51.
- [13] Lee Y C, Wang M J. Taiwanese adult foot shape classification using 3D scanning data [J]. Ergonomics, 2015, 58(3): 513-523.
- [14] Witana C P, Goonetilleke R S, Xiong S, et al. Effects of surface characteristics on the plantar (下转第 83 页)