



足部形态学特征与踝关节肌肉力量及运动能力的关系研究

Associations of Foot Morphological Characteristics with Ankle Muscle Strength and Exercise Performance

赵晓光*

ZHAO Xiaoguang*

摘要:目的:探究足部形态学特征与踝关节肌肉力量及运动能力的关系。方法:选取65名成年男性作为研究对象,平均年龄(48.85 ± 7.95)岁,平均身体质量指数(body mass index, BMI)为(26.66 ± 3.62) kg/m^2 。足部形态学特征使用三维足形态扫描仪进行测量与评价,踝关节肌肉力量(包括跖屈、背屈、内旋、外旋)使用多关节等速肌力测试仪进行测量与分析,受试者运动能力使用灵活性、跳跃能力、本体感受性测试项目进行测量与评价。结果:校正年龄和BMI后发现,足长度、宽度、围度和高度等形态学指标与踝关节跖屈、背屈、内旋和外旋肌肉力量显著相关($r = -0.27 \sim 0.57, P < 0.05$),但未发现拇外翻角度与踝关节肌肉力量指标显著相关;足长度、宽度和围度指标与灵活性和跳跃能力指标显著正相关($r = 0.25 \sim 0.44, P < 0.05$),足弓高度指数与纵跳高度呈显著负相关($r = -0.29, P < 0.05$),所测足形态指标均与本体感受性指标不相关。结论:足长度、宽度、围度和高度与踝关节肌肉力量以及运动能力之间具有相关关系。

关键词:足形态;踝关节肌肉力量;运动能力;相关性

Abstract: Objective: To explore the possible association of foot morphological characteristics with ankle muscle strength and exercise performance. Subjects: A total of 65 adult men with a mean age of (48.85 ± 7.95) yrs, and body mass index (BMI) of (26.66 ± 3.62) kg/m^2 participated in the study. Foot morphological characteristics parameters were tested by a 3-dimensional foot scanner, and ankle strength which including plantarflexion, dorsiflexion, internal rotation, external rotation was measured with a dynamometer. Exercise performance items which including agility, force, and proprioception were also measured. Results: After adjusted age and BMI, it found that all the measured parameters of the length, width, girth, and height of the foot were correlated with the strength of plantarflexion, dorsiflexion, internal rotation, external rotation (r ranged from -0.27 to $0.57; P < 0.05$), except for the angles of hallux valgus. Moreover, the parameters of the length, width, and girth of the foot were correlated significantly with vertical jump ability (r ranged from 0.25 to $0.44; P < 0.05$). It was also found that the arch height index was negatively correlated with vertical jump ($r = -0.29; P < 0.05$), but no associations were observed between indicators of morphological characteristics and proprioception. Conclusions: These findings indicate the length, width, girth and height of the foot were correlated with ankle strength as well as exercise performance.

Keywords: foot morphology; ankle strength; exercise performance; correlation

中图分类号:G804.6 **文献标识码:**A

基金项目:

浙江省哲学社会科学规划重点课题(21NDJC004Z);浙江省省属高校基本科研业务费专项(SJWY2020005)

*通信作者简介:

赵晓光(1985-),男,助理研究员,博士,主要研究方向为运动医学, E-mail: xiaoguangzhao1985@gmail.com。

作者单位:

宁波大学,浙江 宁波 315211
Ningbo University, Ningbo 315211, China.

足在人体运动过程中直接与地面接触,不仅支撑身体的全部重量,还在缓冲运动振荡、吸收地面反作用力、稳定重心和维持平衡等方面起到非常重要的作用(张桑等, 2018)。可以说,足部形态与足部健康密切相关。然而,足部形态并非一成不变,它会随着年龄增长、体质量增加而逐渐发生变化。一般来说,足部形态异常变化可能会引发下肢,特别是足踝部多种疾患或运动损伤的发生。以往调查研究显示,拇外翻角度的过度

增加会显著提高大脚趾麻木、足痛和致残的概率(Menz et al., 2011)。同样, 过低或过高的足弓高度也会对足部健康造成影响。基于横向研究表明, 过低的足弓或扁平足一般与下肢关节炎、跟腱和软组织损伤有关联(何晓宇等, 2020; Burns et al., 2005; Hegedus et al., 2010), 过高的足弓通常与膝、踝、足关节疼痛和下肢应力性骨折有联系(Levy et al., 2006; Rao et al., 2011)。

足部形态异常者容易引发足踝部疾患或运动损伤的原因可能与足踝部生物力学改变有关。足部形态改变一般会伴随足踝或距下关节角度不对称、足底压力分布发生改变, 从而导致足踝部生物力学改变(顾耀东等, 2019; 梅齐昌等, 2015)。有研究指出, 低弓足或扁平足一般会伴随足内旋, 高足弓一般会容易发生足外旋。通常来说, 足内旋时, 踝关节同时外翻、外展并且背屈; 足外旋时, 踝关节同时内翻、内收并且跖屈(李杰, 2018)。同时, 低足弓通常会呈现中足接触面积显著增大、足底各区域峰值压强和冲量偏小的特性(孔德刚等, 2013)。Morrison等(2007)测量多种足部形态指标发现, 足宽度指标与跟骨外翻关节活动范围具有显著相关关系。可以看出, 不同足部形态特征所诱发的足踝部生物力学变化可能是导致下肢疾患的主要原因。

足部形态特征应当受到更多关注和重视, 因为足部形态直接影响足部功能, 它是足部健康的基础和前提, 并在一定程度上影响人体健康水平(赵晓光, 2018)。目前, 国内外学者对足部形态所导致的足踝部生物力学改变可能是造成下肢疾患或运动损伤的观点达成一致, 然而, 有关足部形态是否与踝关节肌肉力量和运动能力之间有关联仍存在一定争议(回俊岭等, 2007; Lin et al., 2001; Oda, 2004)。因此, 本研究目的在于通过测量足长度、宽度、围度和高度等足部形态学指标, 试图探究足部形态学特征与踝关节肌肉力量及运动能力的关系。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

通过社区居民委员会发布招募信息和在超市、商场等人流密集处张贴宣传海报招募受试者, 筛选条件: 1) 25~60 岁成年健康男性; 2) 无运动习惯(每周运动时间少于 150 min); 3) 无足病病史和影响足功能的神经、肌肉等病患。正式测试前, 向受试者讲解实验目的和实验程序, 受试者同意并签署知情同意书。共筛选受试者 65 名, 平均年龄(48.85±7.95) 岁, 平均身体质量指数(body mass index, BMI)为(26.66±3.62)kg/m², 实验人员对受试者身体形态、足部形态、踝关节肌肉力量和运动能力进行测量与评价(表 1)。

1.2 身体形态测量

受试者在裸足以及穿着短衣、短裤状态下接受身体形态学测量。使用身高测量仪(YG-200; Yagami, Nagoya, Japan)和体质量测量仪(TBF-551; Tanita, Tokyo, Japan)测量受试者的身高和体质量, 计算 BMI。

表 1 受试者身体形态、足部形态和运动能力特征情况

Table 1 Body Shape, Foot Morphology and Exercise Performance of the Subjects			<i>M±SD</i>
测试指标		结果	
身体形态指标	年龄/岁	48.85±7.95	
	身高/cm	172.02±6.37	
	体质量/kg	78.98±12.15	
	BMI/(kg·m ⁻²)	26.66±3.62	
	足形态指标		
足形态指标	足长度/mm	252.26±12.26	
	足弓凹陷长度/mm	181.37±8.95	
	前足宽度/mm	100.71±4.73	
	后足宽度/mm	66.44±4.08	
	前足围度/mm	245.18±10.45	
	足弓围度/mm	253.19±12.21	
	足背高度/mm	63.50±4.64	
	足弓高度指数	0.35±0.03	
	拇外翻角度/(°)	9.62±4.03	
	运动能力指标		
运动能力指标	左右跨步移动/次	42.20±7.04	
	前后跨步移动/次	21.54±4.53	
	纵跳高度/cm	44.87±8.61	
	单足闭眼平衡/s	15.55±16.46	

1.3 足部形态测量

足长度、宽度、围度、高度和角度等足部形态指标使用三维足形态扫描仪(FSN-2100, Dream GP Inc., Japan)进行采集与分析。与传统足形态测量法(如足印法和标尺等)相比, 三维足形态扫描具有快速、便捷、准确和可携带等优势, 尤其适用于大样本量。与以往测试方法相一致(Zhao et al., 2018a), 本实验仅对受试者右足形态数据进行采集与分析。

足形态数据采集的流程: 受试者坐于高度可调节的座椅上, 在测试人员指导下受试者目视前方, 保持两手自然下垂状态, 两脚自然站立与肩同宽, 体质量均匀分配至双脚, 膝关节成 90°弯曲, 大腿与地面平行, 小腿与地面垂直; 受试者将裸足放置于三维足形态扫描仪指定扫描位置, 启动仪器并对坐姿足形态数据进行采集; 坐姿足形态扫描完成后, 受试者在保持足位置不变的情况下进行站立, 对站姿足形态数据进行采集。测试时, 三维足形态扫描仪发出激光束对足部进行全方位扫描, 每次扫描均在 15 s 内完成。每位受试者测试结束后, 需用 70% 浓度的医用酒精对仪器与足部接触部位进行擦拭, 以备下一位受试者进行测试。

测试结束后, 利用仪器自带分析软件重建足形态模型, 获取足长度、宽度、围度、高度和角度等足部形态指标数据, 存数据以备后期分析。

1.4 踝关节肌肉力量测量

踝关节肌肉力量包括跖屈、背屈、内旋和外旋的肌肉力量, 使用多关节等速肌力测试仪(Biodex Medical System Inc., Shirley, NY, USA)进行测量与评价, 角速度设置

为30(°)/s。因为30(°)/s时,受试者在发挥最大力量的同时,发生肌肉损伤的概率较小,且30(°)/s的角速度已经被学者广泛使用,具有较高的测试效度和信度(赵晓光,2018;Burns et al.,2005)。

为避免运动损伤,每名受试者在测试前都会跟随体能教练进行3~5 min针对下肢和踝关节的热身运动。受试者在热身运动的同时,实验操作员根据操作手册对仪器进行设定和调节。正式测试前,要求受试者使用约50%的力量进行2~3次预测试。正式测试时,要求受试者发挥最大力量进行3次测试。为了最小化测试误差,踝关节肌肉力量全部测试均由同一名实验操作员完成。

1.5 运动能力测量

使用左右跨步移动、前后跨步移动、纵跳高度和单足闭眼平衡测试评价受试者运动能力,能够反映灵活性、跳跃能力和本体感受性(赵晓光,2018)。测试采用随机原则,且每2个相邻测试项目之间休息3~5 min。各个测试项目均进行2次测量,取最佳值。

1)左右跨步移动:3条标识线左右间隔均1 m,受试者在中间标识线处屈膝站立,以最大速度向左侧和右侧标识线处反复跨步移动,记录受试者20 s内左右跨步移动的重复次数。2)前后跨步移动:受试者站在标识横线后方,足尖指向标识横线,右脚为先、左脚为后的顺序以最

快速度反复完成跨越标识横线和返回原点的跨步移动,记录受试者20 s内前后跨步的重复次数。3)纵跳:受试者腰间佩戴纵跳测试仪(Jump-MD,TKK 5106,Takei Scientific Instruments,Tokyo,Japan),一条细线连接测试仪和起跳台,当受试者进行纵跳时,纵跳测试仪处细线则会被拉长并自动显示纵跳高度并记录。4)单足闭眼平衡:受试者两手分别置于腰间,使用优势脚进行单足站立并保持平衡,在闭眼瞬间开始用秒表计时,并在失去平衡状态时结束计时,记录受试者保持平衡的时间。

1.6 统计方法

使用皮尔逊相关法检验足部形态学指标之间的相关性。由于足部形态还受年龄和BMI影响,本研究使用偏相关法验证足部形态学指标与踝关节肌肉力量、运动能力之间的相关性,控制变量为年龄和BMI。采用SPSS 22.0统计分析软件对数据进行统计处理,显著性水平设定在 $P<0.05$,非常显著性水平设定在 $P<0.01$ 。

2 结果

足长度(足长度和足弓凹陷长度)、宽度(前足宽度和后足宽度)、围度(前足围度和足弓围度)和高度(足背高度和足弓高度指数)等足部形态指标之间显著相关,拇外翻角度与其他足部形态指标之间均无显著相关关系(表2)。

表2 足部形态学指标之间的相关系数矩阵
Table 2 Correlation Coefficient Matrix of Indicators of Foot Morphology

	足长度	足弓凹陷长度	前足宽度	后足宽度	前足围度	足弓围度	足背高度	足弓高度指数
足弓凹陷长度	1.00**							
前足宽度	0.56**	0.55**						
后足宽度	0.41**	0.41**	0.47**					
前足围度	0.56**	0.56**	0.93**	0.52**				
足弓围度	0.40**	0.39**	0.80**	0.60**	0.87**			
足背高度	-0.01	-0.01	0.27*	0.29*	0.46**	0.57**		
足弓高度指数	-0.56**	-0.57**	-0.07	0.01	0.07	0.26	0.83**	
拇外翻角度	-0.18	-0.17	0.09	-0.13	-0.05	-0.05	-0.24	-0.09

注:*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$;下同。

对年龄和BMI进行校正后,足长度、足弓凹陷长度、前足宽度、后足宽度、前足围度、足弓围度、足背高度和足弓高度等足部形态学指标与踝关节跖屈、背屈、内旋和外旋肌肉力量之间显著相关,未发现拇外翻角度与任何所测踝关节肌肉力量指标之间具有显著相关(表3)。

对年龄和BMI进行校正后,足长度、足弓凹陷长度、前足宽度、后足宽度、前足围度、足弓围度和足背高度指标与左右跨步移动、前后跨步移动和纵跳高度呈显著正相关,足弓高度与纵跳高度呈显著负相关。未发现所测

量的足形态指标与本体感受性指标(单足闭眼平衡)存在显著相关关系(表4)。

3 讨论

本研究通过测量足长度、宽度、围度和高度等足部形态特征,试图探究足部形态特征与踝关节肌肉力量及运动能力的关系。研究结果表明,足长度、宽度、围度和高度等形态学指标与踝关节跖屈、背屈、内旋和外旋肌肉力量显著相关,但未发现拇外翻角度与踝关节肌肉力量之间具有显著相关;足长度、宽度、围度和高度与灵活性和

跳跃能力显著正相关,足弓高度与纵跳高度存在负相关,所测足形态指标均与本体感受性指标不具有相关性。可知,足长度、宽度、围度和高度与踝关节肌肉力量、灵活、跳跃运动能力之间具有相关关系。

表 3 足部形态学指标与踝关节肌肉力量之间相关性分析
(校正年龄和 BMI)

	跖屈肌力	背屈肌力	内旋肌力	外旋肌力
足长度	0.33*	0.48**	0.53**	0.39**
足弓凹陷长度	0.33*	0.48**	0.53**	0.39**
前足宽度	0.37**	0.56**	0.57**	0.41**
后足宽度	0.26*	0.48**	0.47**	0.33*
前足围度	0.35**	0.54**	0.56**	0.41**
足弓围度	0.32*	0.52**	0.52**	0.37**
足背高度	0.18	0.41**	0.38**	0.27*
足弓高度指数	-0.28*	-0.018	-0.30*	-0.27*
拇外翻角度	0.11	-0.09	-0.11	-0.01

表 4 足部形态学指标与运动能力指标之间相关性分析
(校正年龄和 BMI)

	左右跨步 移动	前后跨步 移动	纵跳高度	单足闭眼 平衡
足长度	0.23	0.25*	0.37**	0.15
足弓凹陷长度	0.23	0.25*	0.37**	0.15
前足宽度	0.25*	0.27*	0.40**	0.16
后足宽度	0.24	0.21	0.44**	0.16
前足围度	0.25*	0.26*	0.38**	0.18
足弓围度	0.22	0.21	0.38**	0.19
足背高度	0.15	0.13	0.21	0.17
足弓高度指数	-0.14	-0.19	-0.29*	0.09
拇外翻角度	0.11	0.06	0.23	0.08

以往有关足部形态的研究多关注于足弓形态或足弓高度,鲜见关于足长度、宽度、围度和高度等足部形态特征的研究。本研究利用三维足形态扫描测试法获取足部形态指标数据,并使用相关分析法对数据进行统计分析,发现足长度、宽度、围度和高度等大多数足部形态指标之间具有显著相关关系,而拇外翻角度与足部形态指标之间均未发现显著关联,可能与拇外翻角度更多受其他因素(如遗传和穿鞋习惯等)影响有关(黄萍等,2016)。

以往研究已表明,足弓高度与踝关节肌肉力量显著相关(赵晓光,2018;Aydog et al.,2005;Snook,2001)。本研究表明,足长度、足弓凹陷长度、前足宽度、后足宽度、前足围度、足弓围度、足背高度和足弓高度等足部形态学指标与踝关节跖屈、背屈、内旋和外旋肌肉力量之间具有

显著相关关系($r=-0.27\sim0.57,P<0.05$)。结合以往研究和本研究结果可知,不仅足弓高度,其他足部形态指标如长度、宽度、围度等均与踝关节肌肉力量之间具有相关关系。

日本学者调查儿童扁平足(过低的足弓)与运动能力的关系时发现,扁平足不仅影响儿童的运动成绩,特别是跳跃成绩,还对运动技能有负面影响(Oda,2004)。然而,梳理文献发现,除足弓高度外,目前鲜见有关其他足部形态指标与运动能力的相关研究。本研究显示,足长度、宽度、围度和高度与灵活性和跳跃能力存在正相关,足弓高度与灵活性和跳跃能力存在负相关,得出足部形态特征与运动能力之间具有关联的研究结论。以上研究结果均校正了年龄和 BMI 的影响。

本研究未发现足长度、宽度、围度和高度等足形态指标与单足闭眼平衡(本体感受性)之间具有显著关联,这可能是因为单足闭眼平衡不是评价本体感受能力的敏感指标或敏感性较低。袁金凤等(2013)指出,与其他本体感受能力测试指标相比,单足闭眼平衡的各项指标相关系数较小,其有效性也需要进一步验证。此外,可能与其他测试项目相比,影响单足闭眼平衡测试结果的因素相对较多,如前庭系统、视觉系统、躯体感觉、神经系统和肌肉-骨骼等系统功能都在一定程度上影响人体的本体感受能力(王秀阳等,2015)。

本研究虽然发现足长度、宽度、围度和高度与踝关节肌肉力量及运动能力之间具有相关关系,但未发现拇外翻角度与踝关节肌肉力量及运动能力之间有显著联系,这可能与本研究受试者均为男性有关,因为与女性相比,男性拇外翻角度相对较小。本研究中,受试者平均拇外翻角度为 $9.62^{\circ}\pm4.03^{\circ}$,远未达到轻度拇外翻标准($\geq12^{\circ}$),所以不会对踝关节肌肉力量及运动能力造成不良影响。此外,一项横向对比研究显示,成年人即使具有轻度或中度拇外翻也不会对踝关节肌肉力量产生消极影响(Zhao et al.,2018b)。相反,该研究还指出,轻度和中度拇外翻很可能会增加受试者踝关节内旋肌肉力量。

年龄是影响足部形态的重要影响因素,随着年龄增长发生一定变化。横向比较研究显示,老年人群足长度、围度和高度都低于青年和中年人群(Zhao et al.,2017)。此外,身高、体质量和身体形态也是影响足部形态主要因素。Aurichio 等(2011)调查老年人身体形态与足部形态关系发现,BMI 与足弓指数和足姿指数之间具有正相关关系。基于以上考虑,本研究在验证足部形态学指标与踝关节肌肉力量、运动能力之间的相关关系时,有必要将年龄和 BMI 指标设置为控制变量。

本研究不足之处:1)研究对象数量相对较少($n=65$);2)受试者为 25~60 岁无运动习惯的健康成年男性,研究结果是否也适用于儿童青少年、老年人或女性群体还有

待检验;3)在相关性分析时虽然考虑到年龄和BMI对足部形态学指标的影响,但足形态指标可能还受其他因素(如遗传、选鞋习惯等)影响(Shultz et al., 2017),而这些影响因素在本研究中并未涉及;4)本研究基于横向数据,而非纵向数据的因果关系研究,所以本研究不能由此获取变量之间的因果关系及先后顺序。

4 结论

本研究通过测量足长度、宽度、围度和高度等足部形态学特征,试图探究其与踝关节肌肉力量及运动能力的关系,结果表明:除拇外翻角度外,足长度、宽度、围度和高度等形态学指标与踝关节跖屈、背屈、内旋和外旋肌肉力量显著相关;足长度、宽度、围度和高度指标与灵活性和跳跃运动能力呈显著正相关,足弓高度与纵跳高度存在显著负相关;足长度、宽度、围度和高度与踝关节肌肉力量及运动能力之间具有相关关系。

参考文献:

- 顾耀东,孙冬,梅齐昌,等,2019.“裸足”运动方式对下肢生物力学功能调整的研究进展[J].中国体育科技,55(1):61-74.
- 何晓宇,王朝强,周之平,等,2020.三维有限元方法构建足部健康骨骼与常见疾病模型及生物力学分析[J].中国组织工程研究,24(9):1410-1415.
- 黄萍,钱念东,齐进,等,2016.拇外翻发病危险因素与足底压力特征[J].中国组织工程研究,20(42):6351-6356.
- 回俊岭,刘冀,陈树君,等,2007.沧州市某校804名大学生扁平足及其与运动能力的关系[J].解剖学杂志,30(2):230-231.
- 孔德刚,高虹,王璐,2013.扁平足与正常足男大学生足底压力及步态特征比较[J].中国学校卫生,34(6):680-682,685.
- 李杰,2018.脚型与足弓形态对跑步中运动损害程度的影响[J].中国皮革,47(2):56-59.
- 梅齐昌,顾耀东,李建设,2015.基于足部形态特征的跑步生物力学分析[J].体育科学,35(6):34-40.
- 王秀阳,王伟,许莉敏,等,2015.老年人身体平衡能力的影响因素及改善方法[J].中国康复医学杂志,3(6):631-634.
- 袁金凤,张秋霞,陆阿明,2013.闭眼单脚站立方法在体质测试中的应用[J].中国组织工程研究,17(33):6049-6054.
- 张燊,张希妮,崔科东,等,2018.足弓的运动功能进展及其在人体运动中的生物力学贡献[J].体育科学,38(5):73-79.
- 张悠然,王坤余,徐波,等,2014.三维扫描仪在四川儿童足部形态学中的应用研究[J].中国皮革,43(4):115-117.
- 赵晓光,2018.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,38(4):61-66.
- AURICCHIO T R, REBELATTO J R, DE CASTRO A P, 2011. The relationship between the body mass index (BMI) and foot posture in elderly people[J]. Arch Gerontol Geriatr, 52(2): e89-e92.
- AYDOG S, ÖZÇAKAR L, TETİK O, et al., 2005. Relation between foot arch index and ankle strength in elite gymnasts: A preliminary study[J]. Br J Sports Med, doi: 10.1136/bjsm.2004.011627.
- BURNS J, CROSBIE J, HUNT A, et al., 2005. The effect of pes cavus on foot pain and plantar pressure[J]. Clin Biomech (Bristol,

Avon), 20(9): 877-882.

- HEGEDUS E J, COOK C, FIANDER C, et al., 2010. Measures of arch height and their relationship to pain and dysfunction in people with lower limb impairments[J]. Physiother Res Int, 15(3): 160-166.
- LEE Y C, LIN G, WANG M J, 2014. Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods[J]. J Foot Ankle Res, doi: 10.1186/s13047-014-0044-7.
- LEVY J C, MIZEL M S, WILSON L S, et al., 2006. Incidence of foot and ankle injuries in West Point cadets with pes planus compared to the general cadet population[J]. Foot Ankle Int, 27(12): 1060-1064.
- LIN C J, LAI K A, KUAN T S, et al., 2001. Correlating factors and clinical significance of flexible flatfoot in preschool children[J]. J Pediatr Orthop, 21(3): 378-382.
- MENZ H B, RODDY E, THOMAS E, et al., 2011. Impact of hallux valgus severity on general and foot-specific health-related quality of life[J]. Arthritis Care Res (Hoboken), 63(3): 396-404.
- MORRISON K E, KAMINSKI T W, 2007. Foot characteristics in association with inversion ankle injury[J]. J Athl Train, 42(1): 135-142.
- ODA A, 2004. An experimental study on the effects of a flatfoot on physical motor performances: The relations of conditions evaluated from medial longitudinal arch to foot strength and physically functional motor capacities[J]. Sendai Coll, 5: 139-148.
- RAO S, SONG J, KRASZEWSKI A, et al., 2011. The effect of foot structure on 1st metatarsophalangeal joint flexibility and hallux loading[J]. Gait Posture, 34(1): 131-137.
- SAGHAZADEH M, TSUNODA K, SOMA Y, et al., 2015. Static foot posture and mobility associated with postural sway in elderly women using a three-dimensional foot scanner[J]. J Am Podiatr Med Assoc, 105(5): 412-417.
- SHARIFF S M, MERICAN A F, SHARIFF A A, 2019. Development of new shoe-sizing system for Malaysian women using 3D foot scanning technology[J]. Measurement, 140(2): 182-184.
- SHULTZ S P, SONG J, KRASZEWSKI A P, et al., 2017. An investigation of structure, flexibility, and function variables that discriminate asymptomatic foot types[J]. J Appl Biomech, 33(3): 203-210.
- SNOOK A G, 2001. The relationship between excessive pronation as measured by navicular drop and isokinetic strength of the ankle musculature[J]. Foot Ankle Int, 22(3): 234-240.
- ZHAO X, TSUJIMOTO T, KIM B, et al., 2017. Characteristics of foot morphology and their relationship to gender, age, body mass index and bilateral asymmetry in Japanese adults[J]. J Back Musculoskelet Rehabil, 30(3): 527-535.
- ZHAO X, TSUJIMOTO T, KIM B, et al., 2018a. Does weight reduction affect foot structure and the strength of the muscles that move the ankle in obese Japanese adults?[J]. J Foot Ankle Surg, 57(2): 281-284.
- ZHAO X, TSUJIMOTO T, KIM B, et al., 2018b. Mild-to-moderate hallux valgus does not decrease ankle muscle strength in middle-aged Japanese women: A comparative study[J]. J Foot Ankle Surg, 57(6): 1157-1160.

(收稿日期:2020-04-20; 修订日期:2022-07-13; 编辑:尹航)