

文章编号: 1004-7220(2020)01-0108-06

不同年龄段人群行走足底压力特征分析

马新颖, 满喜

(内蒙古师范大学体育学院, 运动生物力学实验室, 呼和浩特 010000)

摘要:目的 获取不同年龄段人群正常行走时足底压力的动力学参数,为设计制作不同年龄段鞋垫和运动鞋提供理论依据,最大程度减小足部发生损伤的风险。**方法** 使用 Footscan 测力平板对4个年龄段120名受试者(20~30、30~40、40~50、50~60岁男女各15名)足底压力峰值、压强峰值进行测试。**结果** 足底压力峰值随着年龄增长不断变化,大部分呈上升趋势,只有在第1趾骨区域随着年龄的增长压力峰值逐渐减小,第1趾骨区域女性足底压力峰值在逐渐减小;大部分受试者第2、4跖骨头受力明显高于第1、5跖骨;50~60岁年龄段男性第2跖骨压力峰值也明显大于20~50岁年龄段人群($P<0.05$)。随着年龄增长,仅仅第1趾骨压力峰值逐渐减小,其余区域均呈现增长现象;压强峰值有显著变化,尤其以第2、3跖骨变化最大,呈上升趋势($P<0.05$)。**结论** 人体足底各分区的压力、压强随着年龄增长并非一成不变,找出每个年龄段人群足底压力特点,制定相应的运动鞋,才能更好发挥运动鞋的功能。

关键词: 足底压力; 压力峰值; 压强峰值

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2020.01.021

Analysis on Characteristics of Plantar Pressures in Different Age Groups during Walking

MA Xinying, MAN Xi

(Lab of Sports Biomechanics, Institute of Physical Education, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010000, China)

Abstract: Objective To obtain kinetic parameters of the plantar pressure in different age groups during normal walking, so as to provide theoretical references for designing insoles and sports shoes for different age groups, and maximally minimize the risk of foot injuries. **Methods** Footscan force plate was used to test the peak plantar force and pressure of 120 subjects in 4 different age groups (15 male and 15 female in 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 age group, respectively). **Results** The peak plantar force constantly changed with age, showing a rising tendency, except that at the first phalanx area, the peak plantar force gradually decreased with age. For female subjects, the peak plantar pressure in the first phalanx area was gradually decreasing. Most subjects had significantly higher force on the 2nd and 4th bones than the 1st and 5th metatarsals. The 2nd metatarsal peak plantar force in male 50-60 age group was also significantly higher than that in male 20-50 age group ($P<0.05$). Only the peak plantar force of the 1st phalanx gradually decreased with age increasing, and the rest of the plantar region showed an increasing tendency. A significant change in the peak plantar pressure was observed, especially in the 2nd and 3rd metatarsals, which showed a rising tendency ($P<0.05$). **Conclusions** The plantar force and pressure on each part of human foot constantly changed with age. To find out the characteristics of plantar pressures in different age groups can help to design corresponding sports shoes and exert the functions of sports shoes in a better way.

Key words: plantar pressure; peak force; peak pressure

收稿日期: 2018-12-17; 修回日期: 2019-03-22

基金项目: 内蒙古师范大学基金项目(2013ZRYB20)

通信作者: 满喜, 副教授, E-mail: manxi2004@126.com

美国足部医学会的研究报告显示,在行走时足部所承受的地面反作用力是身体质量的1.5倍,跑步时则达到身体质量的3~4倍^[1]。因此,足底受到的压力对脚底各区间是否产生伤害值得研究。压强是表示压力作用效果的指标,足部结构和功能的异常均可导致足底产生异常的高压强峰值。足底压强峰值反映足底压力分布,大量关于神经性足疾、糖尿病足和矫形足的临床研究都常以压强峰值作为重要的诊断指标^[2-7]。王玉珍等^[8]通过使用足底压强峰值作为诊断指标发现,治疗鞋和鞋垫较布鞋能够减轻足前部以及足跟的压力、压强;陈占法等^[9]采用Footscan系统指导跟骨骨折患者术后康复训练,结果表明,利用足底压力、压强峰值作为观察和评价指标,可以提高术后康复疗效以及对术后康复进行客观评价。

现代运动鞋的材料和结构能降低足底和下肢在运动中的冲击力^[10-13],而设计运动鞋的原理需要通过测试不同人群的足底受力情况来得到。袁刚等^[14]等研究表明,我国正常人步行时足底压力最大峰值为(2.96±0.66) kg/cm²,足底各部位承受压力从大至小依次为第2拓骨头、足跟、第1跖骨头、第3~5跖骨头、第1趾、第2趾、足弓、第3~5趾,足底各部位承受的压力没有性别和左右足之间的差异;但平均足底压力最大峰值低于资料显示的其他人种足底压力。刘卫国等^[15]对91名大学生在自然速度下的裸足跑进行足底压力测试,证实自然速度裸足跑时单步支撑时间先短后长,负荷空间分布不均,集中作用于后足与前足,但时间与负荷分布均无性别差异;大众慢跑鞋后跟与前掌回弹频率的类别设计具有小、中、大频三类确定标准,个体慢跑鞋类别选择具有确定方法。谈诚等^[16]对7名健康成年男性进行不同垂直体质量的减重跑实验,重力等级分别为正常重力、模拟火星重力、模拟月球重力,运动量为行走或慢跑3、7、10 km/h。该实验证明了低重力环境下,最大足底受力、支撑作用时间和垂直冲量等指标都低于正常重力环境。

本文对不同年龄正常成年人步行时足底压力分布特征进行研究,为设计制作不同年龄段鞋垫和运动鞋提供理论依据。由于不同年龄男女足底压力不同,本文主要通过观察4个年龄段人群足底压

力分布特征,获得足底压力随年龄变化的趋势,为运动鞋的设计提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验对象

120名受试者,分别为:I组,20~30岁男、女各15名;II组,30~40岁男、女各15名;III组,40~50岁男、女各15名;IV组,50~60岁男、女各15名。实验前记录受试者的基本信息情况,包括姓名、性别、身高、体质量,并计算出受试者的身体质量指数(body mass index, BMI)(见表1)。纳入标准:选取正常体质指数(18.5<BMI<24.0)的人群为受试对象,且身体健康无下肢疾病。

表1 受试者参数

Tab.1 Subject parameters

性别	年龄段/岁	身高/cm	体质量/kg	BMI/(kg·m ⁻²)
男	20~30	170.61±2.5	67.45±8.62	22.33±1.46
	30~40	167.33±3.7	68.88±9.54	23.38±2.00
	40~50	165.29±4.8	66.39±6.53	23.63±1.40
	50~60	160.78±2.9	62.41±7.34	23.47±2.50
女	20~30	160.61±4.3	45.55±6.62	17.81±1.46
	30~40	159.33±3.7	56.88±7.43	21.88±4.50
	40~50	159.29±4.0	56.39±6.53	23.63±5.00
	50~60	158.78±6.5	62.41±7.34	24.22±4.20

1.2 实验方法

1.2.1 实验设备 采用Footscan足底压力测试系统(RSscan公司,比利时),此系统包括1个3D盒、1个测力平板(长度为2 m)和1套软件。测力板有效测试面积为48.8 cm×32.5 cm,测力板中每0.5 m有4 096个传感器,每个传感器大小为0.5 cm×0.7 cm,厚度为2.2 mm,以数据传输卡和电脑相连,进行数据记录,采样频率250 Hz。

1.2.2 实验过程 受试者在测试前进行10 min速度适应,对应的速度为常速1.1 m/s行走。为避免受试者消耗太多体力,速度适应持续时间为6 min,行走距离设定为30 m,通过监控时间来控制行走速度。实验开始要求每个受试者赤足在平板跑道上常速自然行走通过测力板10次,左、右脚各有5次落在测试平板上。行走过程脚跟首先着地,依次过度到脚尖离地,重复几次行走保证行走速度一致,要求受试者行走时姿态放松自然,要保证双脚全部踏在测力板采集区域内。通过Footscan软件系统对

测试结果进行分析,最终选择3次符合速度要求的数据进行保存^[8]。

1.2.3 数据处理 各参数采用均值±标准差表示,并使用SPSS 20.0统计软件进行分析。通过单因素方差分析对4组受试者的压力峰值和压强峰值进行统计分析。

2 结果与讨论

足底受力的研究已经较为普遍。跑步时两足交替承受着全身质量,足底会受到地面反作用力,该反作用力在垂直方向上的分力即足底压力^[17]。人体足底压力分布能够反映足的结构、功能和整个身体姿势控制等情况,通过测试分析足底压力分布特征,可获取人体在不同运动状态下的生理、病理力学和机能参数^[18-19]。过高的足底压力会导致不同程度、种类的运动损伤,如足底应力性骨折、足底溃疡等^[20-22],而压力峰值和压强峰值突出反映了足底受力情况。从力学角度来解释,足踝部位可看成杠杆的支点,支点两侧分布着不同的力^[23-24]。

本文应用Footscan软件对受试者自然行走通过测力平板时的数据进行采集和处理,该软件将足分为10个解剖部分:第1趾骨(T1)、第2~5趾骨(T2~5)、第1跖骨(M1)、第2跖骨(M2)、第3跖骨(M3)、第4跖骨(M4)、第5跖骨(M5)、足弓(MF)、足部外侧(HM)、足部内侧(HL)。

Footscan足底压力测量系统在下肢着地支撑过程中,通过记录压力传感器上负重时的压强值,从而反映人体行走时的足底压强变化特征^[25-27]。它能反映足底各区的压强水平以及压力随时间的变化情况。足底峰值压强是压力测量系统在每个传感器上某个运动过程中测得的一个最大压强值,它所反映的是足底各区在行走过程中压强所达到的最大水平^[28]。运动过程中,每个传感器的峰值压强是唯一的,故峰值压强只是反映足底各区最大压强的分布特征^[29-31]。

2.1 自然行走时足底压力峰值结果与分析

由表2显示的各年龄段男性左右脚足底压力峰值变化特点可知:男性在足底T2~5区压力峰值最小,左右脚平均压力峰值分别为25.39、37.47 N; T1、T2~5区男性左右脚压力峰值相差不大,且随着年龄增长压力峰值变化也很小,有较小的下降

趋势。M1区,男性左右脚压力峰值有一定差异,其中50~60岁年龄段压力峰值差异最大(相差34 N)。随着年龄增长,M1区压力峰值波动很大,但没有一定规律,且I、II组男性T1区压力峰值明显大于III、IV组($P<0.05$)。M2区男性左右脚足底压力峰值相差不大,随着年龄增长,M2区有上升趋势,IV组男性足底压力峰值显著大于I、II、III组($P<0.05$)。M3、M4区男性左右脚压力峰值相差不大,但在该区域50~60岁年龄段压力峰值相差较大(接近30 N)。随着年龄增长,左右脚压力峰值均有上升趋势,M4区较M3区上升趋势明显。M5区男性左右脚压力峰值在20~30岁年龄段时相差约36 N,差异较大;随着年龄增长,左右脚压力峰值相差逐渐减小,50~60岁年龄段时压力峰值相差14.23 N,变化较大。MF区男性足底压力峰值左右脚相差最为明显,在50~60岁年龄段左右脚压力峰值相差159 N;随着年龄增长,MF左右脚压力峰值波动较大,但没有明显上升或下降趋势。HM、HL区男性足底压力峰值相差不大,随着年龄增长,左右脚压力峰值均有上升趋势,左脚上升较右脚明显。HM、HL区,III、IV组男性足底压力峰值明显大于I、II组($P<0.05$)。随着年龄增长,50~60岁人群足底各区压力峰值明显大于20~30、30~40、40~50岁人群($P<0.05$)。

由表2显示的各年龄段女性左右脚足底压力峰值变化特点可知:T1、T2~5区女性左右脚压力峰值相差不大,且随着年龄增长,压力峰值变化也很小,两个区域压力峰值均有下降趋势。M1区女性左右脚足底压力峰值有一定差异,随着年龄增长,该差异逐渐变大,其中50~60岁年龄段左右脚足底压力峰值差异最大(相差56 N左右)。随着年龄增长,M1区内女性左脚压力峰值变化不大,但是右脚压力峰值上升较大。I、II组女性T1区压力峰值明显大于III、IV组($P<0.05$)。M2区女性左右脚足底压力峰值相差不大,随着年龄增长,M2区有上升趋势。M3区女性左右脚压力峰值相差不大,从II组到III组左右脚压力峰值增加明显,III组到IV组随着年龄增长,压力峰值逐渐趋于平稳。M4区女性左右脚压力峰值相差较大,随着年龄增长,左右脚压力峰值增加明显。M5区女性左右脚压力峰值相差较小,随着年龄增长,左右脚压

表2 不同年龄段男女性自然行走时足底各区压力峰值对比

Tab.2 Comparison of peak force in plantar areas for male and female in different age groups during natural walking

N

分区	男性								女性							
	I		II		III		IV		I		II		III		IV	
	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
T1	142.09±	118.09±	138.09±	115.60±	104.67±	101.44±	93.24±	91.38±	139.22±	133.69±	128.88±	129.82±	118.24±	105.22±	107.47±	115.91±
	33.42	48.62	32.62	46.53	36.91 ^{∨∨}	45.88 ^{∨∨}	21.95 [~]	36.68 [~]	31.25	28.32	20.44	32.17	49.33 ^{∨∨}	41.17 ^{∨∨}	38.77 [~]	49.56 [~]
T2~5	41.54±	40.67±	39.67±	39.11±	24.15±	24.73±	20.43±	23.46±	23.88±	38.22±	23.69±	39.44±	23.31±	46.84±	30.57±	25.61±
	12.37	11.27	13.44	11.23	27.70	11.64	12.25	13.20	4.59	20.33	8.32	21.13	15.05	25.08	4.46	19.67
M1	97.29±	104.99±	103.89±	112.55±	115.78±	143.41±	114.25±	170.79±	92.71±	102.33±	102.88±	119.92±	134.45±	149.82±	121.62±	155.44±
	19.31	30.19	22.31	30.16	46.85	39.53	51.67	39.08	27.22	32.18	25.58	39.50	42.07	44.30	41.86	63.62
M2	196.22±	186.27±	197.07±	197.51±	195.47±	208.35±	222.69±	236.72±	202.13±	209.77±	202.11±	218.77±	203.97±	236.34±	232.00±	287.66±
	28.94	36.45	32.36	38.02	44.40 ^{##}	49.12 ^{##}	70.45 [^]	47.54 [~]	21.01	27.99	20.94	32.87	74.14 [#]	48.54 [#]	66.23 [~]	83.04 [~]
M3	106.84±	125.33±	106.75±	127.62±	139.56±	142.75±	132.17±	143.64±	123.34±	139.71±	133.62±	148.32±	171.02±	161.44±	151.56±	185.57±
	40.51	19.77	41.50	24.56	40.59	44.59	39.37	58.68	50.21	44.41	59.29	41.29	5.16	37.25	51.07	67.19
M4	71.91±	99.59±	78.57±	102.91±	90.90±	107.99±	111.78±	126.33±	97.29±	86.34±	90.73±	90.55±	79.54±	102.37±	110.22±	140.19±
	26.51	26.31	27.86	25.32	29.14	35.52	38.21	30.13	36.11	19.81	33.58	21.26	27.07	33.75	33.21	61.70
M5	68.03±	63.23±	68.71±	67.72±	70.72±	77.88±	98.94±	97.25±	36.27±	69.93±	40.63±	74.76±	61.24±	84.57±	85.00±	99.23±
	31.23	19.88	31.62	20.64	31.44	21.17	37.34	31.04	20.09	17.32	21.48	18.21	23.96	22.29	14.97	4.33 [*]
MF	398.36±	382.61±	408.94±	369.80±	430.56±	355.54±	506.60±	355.22±	549.21±	401.24±	559.27±	378.49±	505.66±	416.24±	546.03±	387.34±
	40.77	58.77	54.37	66.21	94.62	79.76	136.83	88.74	70.23	58.31	63.57	59.37	56.65	91.91	99.37	78.07
HM	147.32±	163.32±	156.41±	176.34±	161.47±	186.31±	196.34±	206.17±	158.32±	169.30±	167.02±	178.51±	212.81±	194.67±	219.63±	202.23±
	70.11	59.01	65.21	53.50	54.22 ^{∨∨}	42.61 ^{∨∨}	44.97 [~]	49.83 [~]	47.66	44.03	49.43	34.40	70.16 ^{∨∨}	54.13 ^{∨∨}	87.02 [~]	32.95 [~]
HL	133.37±	166.24±	147.26±	170.34±	154.61±	177.89±	173.46±	194.02±	147.28±	177.39±	149.64±	169.88±	148.27±	164.21±	203.33±	185±
	47.39	33.72	53.54	63.78	72.23 ^{∨∨}	22.97 ^{∨∨}	30.60 [~]	68.88 ^{^*}	39.02	40.91	38.87	35.05	35.20 ^{∨∨}	47.35 ^{∨∨}	58.04 [~]	44.11 [~]

注: I、II组之间有差异[∨], I、III组之间有差异[∨], II、III组之间有差异[#], 性别差异^{*}, 双符号表示有显著性差异

力峰值均呈上升趋势^[9]。MF区女性足底压力峰值左右脚相差最为明显,在50~60岁年龄段足底压力峰值左右脚相差高达151 N,随着年龄增长,左脚压力峰值呈上升趋势,右脚压力峰值逐渐趋于平稳。HM、HL区女性足底左右脚压力峰值相差不大。

2.2 自然行走时足底压强峰值结果与分析

足底各分区平均压强是指行走时各分区出现最大压强的平均值。由表3显示的各年龄段男性左右脚足底压强峰值变化特点可知:在HL区男性足底压强峰值最高。T1区男性左右脚压强峰值相差不大,且随着年龄增长,T1区压强峰值逐渐减小,但减小不明显。T2~5、M1、M2、M3、M4、M5、MF、HM、HL区,男性足底左右脚压强峰值均差异不大。随着年龄增长,T2~5、M1、M2、M3、M4、HL区压强峰值有上升趋势,其中M2、M3区压强峰值显著增加($P < 0.05$)。随着年龄增长,M5、MF、HM区压强峰值趋于平稳。

由表3显示的各年龄段女性左右脚足底压强峰值变化特点可知:在HL区女性足底压强峰值较高。T1区女性左右脚压强峰值相差不大,且随着年龄增长,T1区压强峰值逐渐减小,但减小不明显。T2~5、M1、M2、M3、M4、M5、MF、HM、HL区女性足底左右脚压强峰值均差异不大。随着年龄增长,T2~5、M1、M2、M3、M4、HL区压强峰值有上升趋势,其中M2、M3区压强峰值显著增加($P < 0.05$)。随着年龄增长,HM区压强峰值趋于平稳^[10]。

3 结论

本研究结果详细标明足底不同受力分区的受力情况,针对各个年龄段的人群均进行受力测试及分析,得出以下结论:

除了第1、2趾骨区域外,各年龄段人群其他足底各区压力峰值均与年龄呈正相关增长。男女性比较发现:各个区域男性压强峰值均高于女性,

表3 不同年龄男女性自然行走时足底各区压强峰值对比

Tab.3 Comparison of peak pressure in plantar areas for male and female in different age groups

N/cm²

分区	男								女							
	I		II		III		IV		I		II		III		IV	
	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
T1	7.30±	4.99±	6.70±	5.02±	5.93±	5.95±	4.43±	4.36±	5.92±	5.64±	5.73±	5.64±	5.72±	5.77±	4.34±	4.68±
	3.11	3.07	3.02	3.02	4.04	3.24	3.56	1.85	3.63	2.75	3.22	2.35	3.63	3.47	2.57	2.89
T2-5	2.87±	3.21±	2.82±	3.68±	3.41±	2.99±	3.75±	3.66±	3.95±	3.49±	3.95±	3.98±	3.88±	3.53±	3.97±	3.68±
	2.19	1.94	2.44	1.96	0.44	2.03	2.26	2.03	1.69	1.64	1.67	1.77	2.74	1.64	2.39	1.66
M1	5.27±	6.79±	5.17±	6.99±	6.79±	6.43±	6.31±	7.33±	5.26±	7.36±	5.44±	7.86±	5.96±	6.35±	6.82±	7.56±
	2.34	2.38	2.36	2.68	2.46	3.06	2.62	2.33	3.68	3.54	2.62	3.64	3.88	2.58	2.49	3.53
M2	12.62±	14.36±	12.72±	13.36±	14.83±	14.57±	17.88±	16.28±	10.1±	11.6±	12.17±	12.65±	14.95±	13.68±	18.28±	15.34±
	3.8	5.5	3.80	5.53	9.45 ^{##}	4.50 ^{##}	3.45 [~]	2.64 [~]	3.45	3.52	3.45	3.51	6.15 ^{###}	5.34 ^{###}	6.05 [~]	4.69 [~]
M3	10.24±	9.05±	11.24±	10.05±	13.44±	12.33±	14.39±	15.65±	9.02±	9.63±	9.23±	9.23±	12.40±	12.35±	14.35±	14.50±
	1.8	2.53	1.87	2.53	7.32 ^{###}	6.45 ^{###}	5.51 [~]	3.67 [~]	3.38	3.28	3.78	3.788	6.93 ^{###}	4.61 ^{###}	3.64 [~]	5.60 [~]
M4	6.33±	4.32±	6.45±	5.82±	7.27±	7.34±	7.33±	6.58±	6.28±	7.89±	6.48±	6.30±	7.89±	6.32±	6.94±	6.81±
	4.54	3.44	4.44	3.54	5.36	2.36	2.46	2.56	3.19	4.18	3.20	2.32	4.00	1.86	2.36	4.35
M5	5.42±	5.02±	5.82±	5.82±	4.92±	3.35±	3.37±	2.69±	4.72±	3.46±	4.82±	3.23±	4.81±	3.56±	4.06±	4.68±
	3.14	3.24	3.54	3.54	2.24	1.77	2.12	2.01	2.71	2.19	2.52	2.08	2.94	2.34	2.36	2.33
MF	7.99±	8.81±	8.69±	8.69±	9.85±	9.80±	9.17±	10.55±	9.02±	9.33±	9.26±	9.25±	9.93±	10.54±	9.30±	10.48±
	2.23	2.61	2.63	2.63	4.13 [#]	2.04 [#]	2.32 [^]	3.64 [^]	2.74	3.41	2.34	2.56	4.54 [#]	6.53 [#]	3.61 [^]	3.63 [^]
HM	10.22±	11.2±	10.34±	11.68±	11.55±	12.56±	12.61±	12.35±	8.42±	11.34±	10.40±	12.34±	13.42±	13.36±	11.26±	12.39±
	4.3	6.27	4.30	5.27	6.15	4.52	87.04	5.37	5.07	6.3	5.27	6.53	4.22	5.54	4.90	3.68
HL	14.9±	13.86±	14.63±	13.65±	15.27±	14.86±	16.25±	17.51±	9.23±	9.11±	11.23±	13.14±	14.38±	14.69±	15.44±	17.58±
	3.32	5.2	3.91	7.51	5.33	5.34	5.07	3.54	3.43	5.56	3.53	5.76	7.56	8.22	6.70	5.33

注: III组与其他3组之间有差异[#], IV组与其他3组之间有差异[^], 双符号表示有显著性差异

由于压强峰值随年龄增长波动较小, 男女性差异不太明显。随着年龄增长, 男女性左右脚压力峰值均有上升趋势, 且 50~60 岁年龄段女性右脚压力峰值明显高于男性。女性第 1 跖骨左右脚压力峰值在 20~30 岁年龄段高于男性; 随着年龄增加, 男、女性第 1 跖骨压力峰值均有减少趋势, 女性较男性减少趋势更加明显。

男、女性足底各区压力峰值、压强峰值随年龄的变化趋势, 只有第 1 趾骨的压力峰值随年龄增加呈递减趋势, 其他足底各区压强峰值均与年龄呈正相关。建议在设计运动鞋时, 要考虑不同年龄段、不同性别人群的足底受力特征, 在增加足底不同区域缓冲能力的基础上, 更加有效地降低长期走路对足底各区的损伤。

参考文献:

[1] 张昊华, 闫松华, 刘志成. Footscan~SCSI 高频平板测试不同膝关节炎患者自然行走步态的生物力学比较[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(43): 8019-8023.

[2] 柏豪豪. 自然行走和负重对正常人体步态影响的研究[D]. 天津: 天津医科大学, 2017.

[3] 司莹. 基于足底压力的坡道步态失稳自适应平衡研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.

[4] 钱荷云. 基于日常生活活动的足底压力分析研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.

[5] 赵吉凤, 刘永斌, 张西林, 等. 脊髓不完全损伤患者的步态分析[J]. 中国康复医学杂志, 1996, 11(1): 31-32.

[6] 章浩伟, 孙洋洋, 刘颖, 等. 基于三维膝-踝-足有限元模型的足跟痛足底压力生物力学分析[J]. 医用生物力学, 2017, 32(5): 436-441.

ZHANG HW, SUN YY, LIU Y, et al. Biomechanical analysis of plantar pressure of heel pain based on 3D knee-ankle-foot finite element model [J]. J Med Biomech, 2017, 32(5): 436-441.

[7] 高娟, 杜冬青. 针灸联合西医治疗对急性期脑梗死患者足底压力等生物力学参数变化的观察[J]. 针灸临床杂志, 2017, 33(9): 24-27.

[8] 王玉珍, 王爱红, 刘彧, 等. 糖尿病足治疗鞋减轻了足底压力[J]. 中华糖尿病杂志, 2005, 13(6): 406-408.

[9] 陈占法, 张英泽, 郑占乐, 等. Footscan 足底压力分析系统对跟骨骨折术后疗效的定量评价[J]. 中国修复重建外科杂志, 2009, 23(8): 925-929.

[10] 李宏恩, 鲍申杰, 高晓航. 压电式步态分析系统在足底压力监测中的应用[J]. 医用生物力学, 2017, 32(3): 288-292.

LI EH, BAO SJ, GAO XH. The application of piezoelectric

- gait analysis system in plantar pressure monitoring [J]. J Med Biomech, 2017, 32(3): 288-292.
- [11] 宋祺鹏. 太极拳练习对老年人上下楼梯时身体稳定性的影响 [D]. 上海: 上海体育学院, 2017.
- [12] 焦珊珊. 衰老对迈步启动时身体动态姿势稳定性的影响 [D]. 天津: 天津体育学院, 2017.
- [13] 谭景旺. 坐姿振动训练对高龄老年人下肢肌肉力量、平衡和步行能力的影响研究 [D]. 上海: 上海体育学院, 2017.
- [14] 袁刚, 张木勋, 王中琴, 等. 正常人足底压力分布及其影响因素分析 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26(3): 156-159.
- [15] 刘卫国, 高晗, 欧瑜枫, 等. 自然速度裸足跑足底压力特征与慢跑鞋设计研究 [J]. 北京体育大学学报, 2015, 38(1): 74-79.
- [16] 谈诚, 夏永明, 曹毅, 等. 模拟不同重力环境下步态运动的足底受力分析 [J]. 医用生物力学, 2014, 29(3): 200-205.
TAN C, XIA YM, CAO Y, *et al.* Analysis on plantar force parameters of gait under different simulated gravities [J]. J Med Biomech, 2014, 29(3): 200-205.
- [17] 于惠贤, 杨纯生, 张冉, 等. 完善慢性功能性关节不稳定康复治疗评估体系 [J]. 解剖学报, 2017, 48(2): 165-169.
- [18] 陈玲. 射箭运动员射箭撒放时足底压力与心率变异关联的研究综述 [J]. 运动, 2016(19): 24-25.
- [19] 戴昕, 李圆. 超重肥胖对中老年女性步态及平衡功能的影响 [J]. 首都体育学院学报, 2016, 28(5): 476-480.
- [20] 高瀑涵. 青年男子篮球运动员足底压力与步态特征分析 [D]. 沈阳: 东北师范大学, 2015.
- [21] 康平. 对脑瘫青少年下肢柔韧性训练的运动生物力学研究 [D]. 烟台: 鲁东大学, 2017.
- [22] 张道苗, 王燕珍, 李佩瑶. 鞋垫类型对儿童足底压力的影响 [J]. 上海工程技术大学学报, 2017, 31(2): 183-188.
- [23] 周海波, 张超, 吴李闯, 等. 足底压力测试系统在第1跖楔关节融合术后的疗效评价 [J]. 中国骨伤, 2017, 30(6): 552-556.
- [24] 徐洪璋, 陈超, 黄波, 等. 针刀治疗足跟痛症患者足底压力异常区域的临床研究 [J]. 中国医药导报, 2017, 14(15): 159-162.
- [25] 范江涛. 永年传统杨式太极拳足底压力平衡转换特征的研究 [D]. 北京: 北京体育大学, 2017.
- [26] 冯平平. 吴式与杨式太极拳上步动作的运动生物力学分析 [D]. 北京: 北京体育大学, 2017.
- [27] 李雪婷. 北京市海淀区6-15岁健康少儿步行足底压力和体成分发育规律 [D]. 北京: 北京体育大学, 2017.
- [28] 徐洪璋, 陈超, 黄波, 等. 跟痛症动态足底压力分布特征 [J]. 中国医药导报, 2017, 14(13): 54-57.
- [29] 史衍. 儿童习得性姿势控制异常 (APCA) 分析与运动干预的研究 [D]. 北京: 首都体育学院, 2017.
- [30] 张炳早. 多运动模式下的足底压力分布特征研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017.
- [31] 杨洋, 王熙, 傅维杰. 着鞋和触地方式对慢跑时足部受力特征的影响 [J]. 医用生物力学, 2017, 32(2): 154-160.
YANG Y, WANG X, FU WJ. The influence of shod conditions and foot-strike patterns on foot force characteristics during jogging [J]. J Med Biomech, 2017, 32(2): 154-160.