

文章编号: 1004-7220(2023)06-1120-07

# 老年鞋舒适性和安全性的生物力学研究

王向东<sup>1</sup>, 曹克准<sup>1</sup>, 张田<sup>2</sup>, 苗文胜<sup>3</sup>, 唐明生<sup>4</sup>

(1. 集美大学体育学院, 福建 厦门 361021; 2. 北京体育大学 运动人体科学学院, 北京 100061;

3. 中国老龄科学研究中心, 北京 100088; 4. 昆山多威体育用品有限公司, 江苏 昆山 215300)

**摘要:**目的 对老年男性在穿着实验改良鞋进行快走运动时的鞋舒适性和安全性进行评估, 为老年鞋具的设计提供数据参考。**方法** 16名55~65岁男性受试者穿着3款不同老年运动鞋, 使用视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)和足底压力参数从主观舒适性和生物力学进行综合评价。使用垂直地面反作用力(vertical ground reaction force, vGRF)、压力中心(center of pressure, COP)位移和摩擦因数分别从冲击衰减特性、步态稳定性和鞋防滑性三方面对老年运动鞋的安全性进行评价。**结果** 在第2~5趾骨区, B鞋的平均压力、峰值压强均显著低于A鞋; 在第2~4跖骨区, B鞋峰值压强显著低于C鞋; 在第5跖骨区, C鞋平均压力、峰值压强均显著低于A、B鞋; 在足弓内侧区, C鞋平均压力显著高于A、B鞋; 外侧区, B鞋平均压力显著低于C鞋, 峰值压强显著低于A鞋。3双鞋vGRF第1峰值力存在显著性差异; B鞋vGRF第2峰值力显著低于C鞋。C鞋足底COP在从触地到vGRF第1峰值力产生时间段内左右方向上的位移变化量(COPX-LR)显著高于与A、B鞋, 而在整个支撑期左右方向上的位移变化量(COPXD)显著高于B鞋。B鞋脚掌蹬伸摩擦因数峰值显著高于A、C鞋, C鞋着地阶段峰值时刻显著慢于B鞋。**结论** B鞋安全性较高, 但仍需进一步改进以减少第5趾骨区的足底压力。在设计老年人鞋具时, 为达到减震缓冲效果而仅采取厚底设计, 可能会给老年人的步态稳定性带来负面影响。

**关键词:** 舒适性; 安全性; 运动鞋; 快走

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.06.010

## Biomechanical Study on Footwear Comfort and Safety for the Elderly

WANG Xiangdong<sup>1</sup>, CAO Kezhun<sup>1</sup>, ZHANG Tian<sup>2</sup>, MIAO Wensheng<sup>3</sup>, TANG Mingsheng<sup>4</sup>

(1. School of Physical Education, Jimei University, Xiamen 361021, Fujian, China; 2. School of Sports and Human Science, Beijing Sports University, Beijing 100061, China; 3. China Scientific Research Center on Aging, Beijing 100088, China; 4. Doway Sports Goods Co. Ltd., Kunshan 215300, Jiangsu, China)

**Abstract: Objective** To evaluate the comfort and safety of footwear for the elderly males wearing experimentally modified shoes during fast walking, so as to provide data references for footwear of the elderly. **Methods** A total of 16 male subjects aged 55-65 years old were required to wear three different types of sports shoes. The visual analogue scale (VAS) and plantar pressure parameters were used to comprehensively evaluate the sports shoes in terms of subjective comfort and biomechanics. Vertical ground reaction force (vGRF), center of pressure (COP) displacement and friction coefficient were used to evaluate the safety of sports shoes in terms of attenuation characteristics, gait stability and slip resistance. **Results** In the 2<sup>nd</sup>-5<sup>th</sup> phalangeal region, the average

收稿日期: 2023-02-08; 修回日期: 2023-04-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFC2008501), 中国老龄科学研究中心委托项目(H2021156)

通信作者: 苗文胜, 教授, E-mail: crca2021@163.com

and peak pressures of B shoes were significantly lower than those of A shoes. In the 2<sup>nd</sup>-4<sup>th</sup> metatarsal region, the peak pressure of B shoes was lower than that of C shoes. In the 5<sup>th</sup> metatarsal region, the average and peak pressures of C shoes were significantly lower than those of A shoes and B shoes. In the medial area of foot arch, the average pressure of C shoes was significantly higher than that of A shoes and B shoes. On the outside of the arch area, the average pressure of B shoes was significantly lower than that of C shoes, and the peak pressure was significantly lower than that of A shoes. The 1<sup>st</sup> peak of vGRF between three pairs of shoes was significantly different. The 2<sup>nd</sup> peak of vGRF of B shoes was significantly lower than that of C shoes. COPX-LR displacement of C shoes was significantly larger than that of A shoes and B shoes, COPXD displacement of C shoes was significantly larger than that of B shoes. The peak friction coefficient of B shoes during push-off stage of the foot was significantly higher than that of A shoes and C shoes, and the peak time of C shoes at landing stage was significantly slower than that of B shoes. **Conclusions** B shoes have a good safety performance. However, further improvement is needed to reduce plantar pressure in the 5<sup>th</sup> phalangeal region. In designing footwear for the elderly, if the thick sole design is merely adopted to achieve the effect of shock absorption and cushioning, it may bring negative influences on gait stability of the elderly.

**Key words:** comfort; safety; sports shoes; fast walking

当前,我国人口老龄化趋势日益严重,老年人健康问题也成为社会关注的焦点。体育运动锻炼不仅能够改善老年人体质,还能促进心理健康。调查发现,老年人群体参与体育的人口数量远超其他群体<sup>[1]</sup>。健身和改善健康是老年人参与体育运动锻炼的主要目的<sup>[2]</sup>。受外部环境以及身体素质的限制,步行是老年人中最常见的活动形式<sup>[3]</sup>。在一项老年人参与快走运动的调研报告中显示,57.06%老年人在步行中出现过运动损伤<sup>[4]</sup>。其中,膝、踝关节和跟腱是运动损伤率最高的部位<sup>[5]</sup>。

现阶段,有关老年人步态及防跌倒方面已经开展了较为全面的研究,但基于老年鞋特定运动项目的实验研究仍然较少。随着人口老龄化的加剧,老年鞋产品必将迎来一个广阔的市场前景。但是,目前针对老年鞋具设计以及不同运动场景下应该具有的鞋类特征还并未出现明确统一的标准。本文在现有文献的基础上,对普通老年鞋进行改进,并对改进后的老年鞋进行生物力学评估,希望为老年运动鞋安全舒适性能评价及设计提供参考。

## 1 对象和方法

### 1.1 研究对象

从北京地区招募志愿者 16 名,受试者均为男性,以排除在跑步生物力学上的性别差异。受试者年龄 55~65 岁,平均年龄(56.81±1.76)岁,身高(1.73±0.05)m,体质量(76.63±10.10)kg,平时所

穿鞋码为 42 欧码,有参加体育活动锻炼的习惯且在过去的 1 年内下肢没有受到过损伤,均无神经肌肉、前庭和视觉系统疾病,所有受试者优势脚均为右脚。在实验开始前,对受试者讲解实验目的及流程,并签署知情同意书。

### 1.2 实验设备

**1.2.1 运动鞋** 除实验改良鞋 B 外,另选取两款老年鞋作为测试对照鞋,并分别以 A、C 进行命名。3 双鞋的基础参数如表 1 所示。

表 1 测试用鞋基本参数

Tab. 1 Basic parameters of shoes for test

参数	A 鞋	B 鞋	C 鞋
重量/g	259.60	364.01	231.47
硬度	54	58	46
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.23	0.27	0.22
回弹率/%	49	35	44
中底厚度/mm	18	25	12
鞋跟高度/mm	28	39	24

注:硬度采用 Shore C 硬度测试方法测得。

**1.2.2 鞋垫式足底压力分布测量系统** 使用德国 NOVEL 公司生产的鞋垫式足底压力测量系统,型号为 Novel-Pedar-X,包括足底压力鞋垫、数据采集盒及配套的分析软件。采样频率为 100 Hz。

**1.2.3 测力台** 使用瑞士 Kistler 公司生产的嵌入式三维测力台及配套分析软件,采样频率为 1 kHz。

**1.2.4 测力跑台** 使用德国 h/p/cosmos 公司生产的专业测力跑台及配套分析软件,采样频率为 1 kHz。

### 1.3 测试过程

测试前,受试者先进行 5 min 热身。热身完成后,使用嵌入地面的 Kistler 三维测力台采集 2 次受试者在快走状态下的摩擦特性有效数据来评估 3 双鞋的防滑性能。每次测试达到有效测试需满足两个条件:① 受试者的右足完整落在测力台的边界内;② 速度保持 5 km/h 的 5% 以内。随后,进行跑台测试。在测试鞋内放置足底压力鞋垫,要求受试者在测力跑台上以 5 km/h 速度进行快走运动,同时采集每次步幅稳定后 15 s 左右的足底压力和 vGRF 数据。在进行 COP 位移分析时,根据 vGRF 的波峰进行阶段划分:① COPX-LR。足底 COP 在触地到第 1 峰值力产生时间段内左右方向上的位移变化量;② COPX-SPS。足底 COP 在第 1 峰值力到第 2 峰值力产生时间段内左右方向上的位移变化量;③ COPX-PS。足底 COP 在第 2 峰值力到足部离地时间段内左右方向上的位移变化量;④ COPXD。足底 COP 在整个支撑期左右方向上的位移变化量。

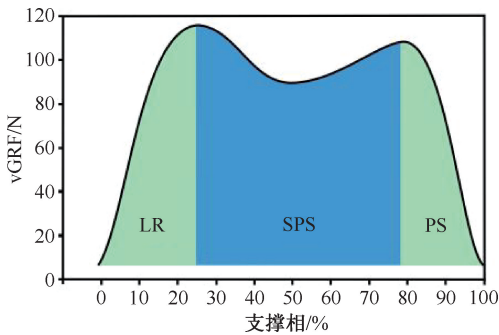


图1 基于垂直地面反作用力波峰 COP 阶段划分<sup>[17]</sup>

Fig.1 COP phase division based on vertical ground reaction crests<sup>[17]</sup>

注:LR、SPS、PS 分别为足跟初始着地期、单腿支撑期、足前掌蹬离期。

本研究中,定义最大加载率为从开始触地到第 1 波峰值期间 vGRF 的最大变化率;平均加载率为 vGRF 波谷值与第 2 波峰值的差值和两者之间间隔时长的比值。

主观测试评价量表选用视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS)。该量表共包括 9 个问题:总体舒适性、脚跟缓冲、前足缓冲、鞋跟宽度、运动鞋长、拱形支撑、脚跟贴合、前足宽度、内外控制。受试者根据自己的主观感觉在长 100 mm 横线上画

1 条竖线来进行评分。横线最右端表示最舒适,为 10 分;横线最左端表示最不舒适,为 0 分。以画线处距横线左端的距离占总长度的百分比确定分数。在填写评价量表前,讲解清楚每项指标的具体含义。每完成 1 双鞋的全部测试后再更换另外 1 双测试用鞋重复上述过程,直至完成 3 双鞋的全部测试。

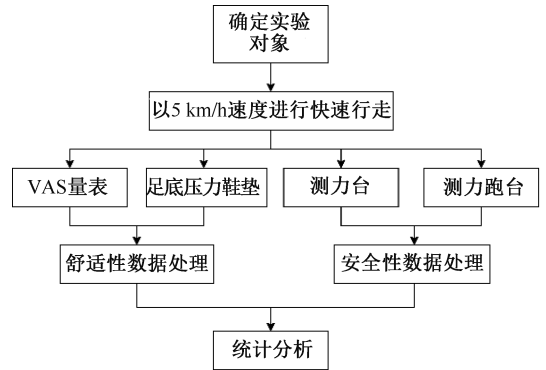


图2 实验设计

Fig.2 Experimental design

### 1.4 数据分析处理

利用 Pedar 足底压力系统配套软件将足底分为 8 个区域,然后对各个区足底压力数据进行计算。利用 h/p/cosmos 测力跑台配套分析软件 Gaitway 获取 vGRF 和 COP 位移数据,为便于比较,进行体重 (body weight, BW) 标准化和时间归一化处理。摩擦因数为行走时 GRF 水平力与垂直力的比值,由 Bioware 软件计算。以 vGRF > 20 N 作为足部触地的时刻, vGRF < 20 N 作为足部离地的时刻。

数据采用平均值±标准差表示,使用 EXCEL 2007 进行计算。采用 SPSS 24 对各项指标进行统计学分析。其中,符合正态分布的数据采用单因素重复测量方差分析,后续采用 LSD 法进行两两比较。不符合正态检验的使用非参数检验。显著性水平定义为 0.05。

## 2 研究结果

### 2.1 主观舒适性

3 双鞋在总体舒适性得分上有统计学差异 ( $P < 0.05$ )。两两比较结果显示,总体舒适性得分 B 鞋 > A 鞋 > C 鞋。在脚跟缓冲方面,C 鞋的得分显著低于 A 鞋 ( $P < 0.05$ )、B 鞋 ( $P < 0.05$ ),A、B 鞋之间差异无统计学意义。而对于在前足缓冲、鞋跟宽度、鞋长、拱形支撑、脚跟贴合、前足宽度、内外控制

等方面的舒适性得分上,3双鞋差异均无统计学意义(见表2)。

表2 受试者穿着不同鞋时主观舒适度评价得分比较

Tab.2 Comparison of subjective comfort ratings for subjects wearing different shoes

指标	A鞋	B鞋	C鞋
总体舒适性	8.41±1.60	8.94±1.11*	7.42±1.75
脚跟缓冲	8.94±1.11*	8.36±0.79*	6.32±2.08
前足缓冲	7.40±2.63	8.04±1.32	6.88±1.78
鞋跟宽度	7.97±1.52	7.98±1.37	7.62±1.04
鞋长	7.40±2.20	7.57±1.82	7.33±1.52
拱形支撑	8.03±1.21	7.91±1.32	6.79±1.58
脚跟贴合	8.04±0.90	8.47±0.83	7.95±1.05
前足宽度	6.89±2.57	7.47±2.12	6.27±2.30
内外控制	8.29±1.13	8.52±0.64	7.93±0.97

注: \*表示与C鞋相比,  $P < 0.05$ 。

## 2.2 足底压力

在进行足底压力分析时,根据足部解剖结构将全足共分为8个区域(拇指区、第2~5趾骨区、第1跖骨区、第2~4跖骨区、第5跖骨区、足弓内侧区、足弓外侧区、足跟区),各区平均压力表示右足足底各区域在整个支撑阶段所受压力的平均值。

比较受试者穿着不同运动鞋进行快走时足底各区域所受平均压力发现:在第2~5趾骨区,受试者穿着B鞋时足底所受平均压力显著低于A鞋( $P < 0.05$ );在第5跖骨区,受试者穿着C鞋时足底所受平均压力均显著低于A、B鞋( $P < 0.05$ );在足弓内侧区,受试者穿着C鞋时足底所受平均压力均显著高于A、B鞋( $P < 0.05$ );在足弓外侧区,受试者穿着B鞋时足底所受平均压力显著低于C鞋( $P < 0.01$ ),见表3。

表3 受试者穿不同鞋快走时足底各区平均压力比较

Tab.3 Comparison of average pressure in each plantar area for subjects wearing different shoes during fast walking

分区	A鞋	B鞋	C鞋
拇指区	47.31±14.64	48.23±8.44	45.31±12.07
第2~5趾骨区	70.29±22.15 <sup>b</sup>	56.14±14.41 <sup>a</sup>	61.64±19.83
第1跖骨区	60.64±16.38	66.64±17.05	68.07±14.90
第2~4跖骨区	95.40±33.19	95.67±34.24	93.53±26.96
第5跖骨区	53.60±23.30 <sup>c</sup>	56.20±22.72 <sup>c</sup>	42.87±19.29 <sup>ab</sup>
足弓内侧区	16.33±2.77 <sup>c</sup>	19.83±8.11 <sup>c</sup>	29.08±6.50 <sup>ab</sup>
足弓外侧区	55.20±24.64	46.73±17.75 <sup>c</sup>	66.47±31.63 <sup>b</sup>
足跟区	168.40±72.65	188.87±66.02	175.40±61.54

注: <sup>a</sup>表示与A鞋相比,  $P < 0.05$ ; <sup>b</sup>表示与B鞋相比,  $P < 0.05$ ;

<sup>c</sup>表示与C鞋相比,  $P < 0.05$ 。

在第2~5趾骨区和足弓外侧区,受试者穿着B鞋时足底峰值压强均显著小于A鞋( $P < 0.05$ )。在第2~4跖骨区,受试者穿着B鞋时足底峰值压强显著小于A、C鞋( $P < 0.05$ );在第5跖骨区,受试者穿着C鞋时足底峰值压强显著小于A、B鞋( $P < 0.05$ ),见表4。

表4 受试者穿不同鞋快走时足底各区峰值压强比较

Tab.4 Comparison of peak pressure in each plantar area for subjects wearing different shoes during fast walking

分区	A鞋	B鞋	C鞋
拇指区	89.00±26.04	86.60±22.52	82.80±17.48
第2~5趾骨区	82.33±6.34 <sup>b</sup>	70.33±9.05 <sup>a</sup>	73.25±12.93
第1跖骨区	100.87±21.99	100.47±25.52	98.87±21.77
第2~4跖骨区	91.27±20.17	90.27±23.55 <sup>c</sup>	96.27±25.60 <sup>b</sup>
第5跖骨区	71.40±18.96 <sup>c</sup>	68.67±18.25 <sup>c</sup>	60.20±17.31 <sup>ab</sup>
足弓内侧区	58.93±11.46	55.29±8.31	55.64±9.43
足弓外侧区	65.73±12.31 <sup>b</sup>	55.87±11.64 <sup>a</sup>	59.73±13.31
足跟区	91.93±24.76	97.36±18.10	87.57±19.17

注: <sup>a</sup>表示与A鞋相比,  $P < 0.05$ ; <sup>b</sup>表示与B鞋相比,  $P < 0.05$ ;

<sup>c</sup>表示与C鞋相比,  $P < 0.05$ 。

## 2.3 vGRF

对受试者穿着不同运动鞋进行快走时所受vGRF进行比较。结果显示,第1峰值力具有显著性差异( $P < 0.05$ ),C鞋所受第1峰值力最大,其次是B鞋,A鞋最小。同时,C鞋所受第2峰值力也显著高于B鞋( $P < 0.05$ )。支撑期时长、到达第1、2峰值力时间以及加载率差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表5。

表5 受试者穿着不同鞋快走时垂直地面反作用力比较

Tab.5 Comparison of vGRF for subjects wearing different shoes during fast walking

参数	A鞋	B鞋	C鞋
第1峰值力/BW	1.22±0.07*	1.23±0.07*	1.27±0.07*
第2峰值力/BW	1.03±0.07	1.03±0.05 <sup>c</sup>	1.08±0.04
第1峰值力时间/%	27.05±3.30	25.63±3.90	26.90±3.04
第2峰值力时间/%	73.41±3.25	73.65±4.26	74.45±3.25
支撑期时长/s	0.68±0.04	0.67±0.05	0.69±0.04
平均加载率/(BW·s <sup>-1</sup> )	1.97±0.66	2.23±0.78	2.26±0.54
最大加载率/(BW·s <sup>-1</sup> )	22.75±4.41	22.68±5.09	22.93±3.86

注: \*表示3双鞋之间比较,  $P < 0.05$ ; <sup>c</sup>表示与C鞋相比较,  $P < 0.05$ 。

## 2.4 COP位移

比较受试者穿着不同运动鞋进行快走时足底

压力在左右方向上的位移发现,在足跟着地前期,穿着 C 鞋快走时足底 COP 位移显著高于 A 鞋 ( $P < 0.05$ ) 和 B 鞋 ( $P = 0.01$ );在整个着地阶段, B 鞋足底 COP 位移显著低于 C 鞋 ( $P < 0.05$ );在支撑期其他亚阶段,3 双鞋的 COPX 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),见表 6。

表 6 受试者穿着不同鞋快走时 COP 位移

Tab.6 COP displacement for subjects wearing different shoes during fast walking 单位:cm

参数	A 鞋	B 鞋	C 鞋
COPX-LR	12.02±1.82*	11.71±2.20*	13.70±2.01
COPX-SPS	9.99±2.06	9.17±2.23	9.46±2.14
COPX-PS	8.78±1.28	9.13±1.85	9.19±1.61
COPXD	30.72±2.32	30.01±2.26*	31.74±2.72

注:\*表示与 C 鞋相比, $P < 0.05$ 。

## 2.5 摩擦因数

受试者穿着不同运动鞋进行快走时的防滑测试结果显示,在着地缓冲阶段,3 双鞋摩擦因数峰值差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),但 B 鞋到达摩擦因数峰值的时刻快于 C 鞋 ( $P < 0.05$ );在脚掌蹬伸阶段, B 鞋的摩擦因数峰值显著高于 A 鞋 ( $P < 0.05$ ) 和 C 鞋 ( $P < 0.05$ );而 3 双鞋到达摩擦因数峰值时刻的差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),见表 7。

表 7 受试者穿着不同鞋快走时鞋底防滑测试结果

Tab.7 Test results of non-slip soles for subjects wearing different shoes during fast walking

参数	A 鞋	B 鞋	C 鞋
着地缓冲摩擦因数峰值	0.28±0.03	0.28±0.03	0.27±0.04
脚掌蹬伸摩擦因数峰值	0.34±0.07*	0.37±0.08	0.35±0.07*
着地阶段峰值时刻/%	14.41±3.37	13.50±3.26	15.64±3.80*
蹬伸阶段峰值时刻/%	92.77±1.80	92.90±1.33	92.61±1.81

注:\*表示与 B 鞋相比, $P < 0.05$ 。

## 3 讨论

### 3.1 足底压力

足底压力结果显示,3 双鞋各区平均压力的分布趋势并不完全一致,但平均压力最大区域、次最大区域以及最小的区域相同,峰值压强最大值均出现在第 1 跖骨区,这与 Machado 等<sup>[6]</sup>关于老年人足底压力分布的结果相吻合。本文推测,与年轻人相比,老年人前足和中足区域压力增加的原因与老年人足弓的变平或者驼背的姿态有关。研究表明,老

年人在前、中足部位的患病率最高,前足更被认为是与鞋类相关的最易发生疼痛的区域<sup>[7]</sup>。Stewart 等<sup>[8]</sup>研究认为,一双表现良好的步行运动鞋能够重新分配足底压力,有效降低足前掌的压力。造成足底不同区域压力差异的原因不相同,前足区域主要受足部柔韧性、肌肉力量的影响,中足区域则取决于并站立中期负重。而老年人足部解剖结构的变化(包括软组织变厚、骨结构退化等)导致了足部转移负荷能力的下降<sup>[9]</sup>。金哲等<sup>[10]</sup>研究发现,在鞋垫前足与后跟增加减震片可以降低老年人步行中出现的高压力。

在舒适度测试中,足底压力和 VAS 评分呈现出了不一致的结果。有研究认为,生物力学测试舒适度与个人感知舒适度存在一定的差异性<sup>[11]</sup>。

### 3.2 vGRF

受试者穿着 C 鞋进行快走时受到 vGRF 第 1、第 2 峰值力值要显著高于 A、B 鞋。峰值增加了身体在运动过程中经历的冲击波,表明冲击波强度的增加与肌肉骨骼结构的损伤有关。各种内、外部因素,如老化、负载等已经被证明与 vGRF 第 1 个峰值的增加有关<sup>[12]</sup>。vGRF 加载率表示发生冲击前 vGRF 时间曲线的斜率,与髌骨疼痛、胫骨应力性骨折、足底筋膜炎等一系列跑步损伤疾病有关<sup>[13]</sup>。本文结果表明,C 鞋的最大、平均加载率均高于其他两双鞋,推测 C 鞋中底厚度与材料相互作用,使得 C 鞋虽然具有比其他两双鞋更大的冲击力峰值,但中底厚度最大,导致接触时间最长,故加载率反而没有与 A、B 鞋表现出显著性差异。C 鞋在降低冲击载荷率造成的损伤风险方面的表现与 A、B 鞋没有差别,但是接触时间增加意味着所受冲击时间延长<sup>[14]</sup>。

### 3.3 COP 位移

一般来说,快走会增加 COP 的位移量<sup>[15]</sup>。本文通过左右方向上支撑阶段 COP 总位移及其 3 个亚阶段 COP 轨迹位移,对穿着不同运动鞋时的步态稳定性进行评估。本文选择以 vGRF 峰值的 COP 阶段划分方法,原因是支撑阶段的不同亚阶段与不同功能任务相关联<sup>[16]</sup>。足跟初始着地期 (loading response, LR),需要肢体保持稳定性和缓冲震荡;单腿支撑期 (single support stance, SPS),包括支撑相的中期和末期;足前掌蹬离期 (preswing, PS),承

担着向前推进的作用。一般认为,在这3个阶段中,LR和PS两个时期的人体重心开始从一侧下肢转移到另一侧下肢,故步态稳定性不如SPS。这与范文祥等<sup>[17]</sup>的研究结果相符合。当赤足以平常步速行走时,LR和PS的COP位移变化量均高于SPS。在步态的稳定性评价中,LR和PS的运动变异更能显示出差异性。以往的实验证明,老年人的COPXD、COPX-LR、COPX-PS要明显高于年轻人,意味着更大的运动变异性。在比较跌倒和非跌倒人群的COP位移时,COPX-PS产生了更大的位移变化<sup>[18]</sup>。然而本文发现,3双鞋COPXD和COPX-LR差异有统计学意义,与Barron等<sup>[19]</sup>的研究结果相符合,即穿鞋时会在COPX-LR产生显著的COP运动。

### 3.4 摩擦因数

在1个单步中,后跟主要在着地缓冲阶段防止向前滑倒,而前脚掌主要在足蹬离地面阶段防止蹬地向后滑动。为避免着地阶段 $vGRF$ 过小造成虚假高摩擦因数<sup>[20]</sup>,本文选取着地缓冲阶段摩擦因数峰值来评价运动鞋外底的后跟部位与作用面之间的摩擦特性,蹬伸离地阶段摩擦因数峰值来评价运动鞋外底的前掌部位与作用面之间的摩擦特性。结果显示,3双鞋在着地缓冲阶段的摩擦因数峰值差异无统计学意义,都为0.28左右。但C鞋在到达着地缓冲阶段摩擦因数峰值的时间要显著晚于B鞋,推测与C鞋较长的着地缓冲时间有关。当步行速度增加, $vGRF$ 和剪切力也会增加。但是速度对剪切力的相对影响不如垂直力大,当平均速度提高29.1%,GRF合剪切力增加了6.8%,而 $vGRF$ 增加了13%,所需摩擦因数则减少了6.1%<sup>[21]</sup>。该结果提示,在以更快的速度行走时,所需的摩擦因数可能会更小。

本研究的局限性如下:①出于安全的考虑,本次实验所招募的男性老年受试者年龄均在65岁以下,故不能确定鞋的安全舒适性是否适用于年纪更大的人群;②与地上行走相比,跑步机具有不同的步行模式,故本研究基于跑步机测量方法所得到的结果可能与日常实际情况有所差异。

在运动鞋的设计中,需要针对运动项目特点考虑不同的生物力学因素,这也是现代运动鞋的分类越来越精细化的原因。目前运动鞋的面向人群仍

然是主流大众消费者,故满足老年人群特定运动的运动鞋很少。受限于时间、精力和设备技术,本文只针对快走这一运动项目对老年运动鞋进行初步探索,希望未来能够对老年运动鞋开展更加全面深入的研究。

## 4 结论

本研究表明,与市售的两双鞋相比,B鞋在老年人进行快步走运动时具有不错的舒适安全表现,但仍需进一步改进以减少第5趾骨区的足底压力。为老年人设计鞋时,若为达到减震缓冲效果而仅采取厚度设计,可能不利于步态稳定性。同时,在选择鞋具时,除了考虑舒适性外,更应该考虑安全性,尽量避免选择鞋底过厚的鞋。

### 参考文献:

- [1] 李慧. 健康中国建设背景下老年人体育需求凸显研究[J]. 山东体育学院学报, 2020, 36(3): 48-53.
- [2] 汪淮海. 中老年人体育锻炼、生命意义感、运动热情的关系研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2021.
- [3] 代俊. 中国老年人体育锻炼行为特征[J]. 中国老年学, 2017, 37(1): 238-241.
- [4] 孙晨光. 上海市老年人健步走现状及发展对策调研报告[D]. 上海: 上海体育学院, 2020.
- [5] 李想. 老年人运动损伤防护补给策略研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
- [6] MACHADO ÁS, BOMBACH GD, DUYSSENS J, et al. Differences in foot sensitivity and plantar pressure between young adults and elderly [J]. Arch Gerontol Ger, 2016, 63: 67-71.
- [7] PAIVA DE CASTRO A, REBELATTO JR, AURICHIO TR. The relationship between foot pain, anthropometric variables and footwear among older people [J]. Appl Ergon, 2010, 41(1): 93-97.
- [8] STEWART S, DALBETH N, MCNAIR P, et al. The effect of good and poor walking shoe characteristics on plantar pressure and gait in people with gout [J]. Clin Biomech, 2014, 29(10): 1158-1163.
- [9] HESSERT MJ, VYAS M, LEACH J, et al. Foot pressure distribution during walking in young and old adults [J]. BMC Ger, 2005, 5: 8.
- [10] 金哲, 冯通, 王向东, 等. 不同矫形鞋垫对老年人足底的生物力学影响[J]. 医用生物力学, 2022, 37(5): 868-873. JIN Z, FENG T, WANG XT, et al. Biomechanical effects of different orthopedic insoles on foot soles in older adults [J]. J Med Biomech, 2022, 37(5): 868-873.

- [11] 王熙, 杨洋, 张希妮, 等. 不同运动鞋舒适性差异及对篮球典型动作足部受力特征影响[J]. 医用生物力学, 2018, 33(2): 1004-7220.  
WANG X, YANG Y, ZHANG XN, *et al.* Comfort difference in sports shoes and its effects on characteristics of foot loading in typical basketball footwork [J]. J Med Biomech, 2018, 33(2): 1004-7220.
- [12] CREABY MW, MAY K, BENNELL KL. Insole effects on impact loading during walking[J]. Ergonomics, 2011, 54(7): 665-671.
- [13] LAW MHC, CHOI EMF, LAW SHY, *et al.* Effects of footwear midsole thickness on running biomechanics [J]. J Sports Sci, 2017, 37(9): 1004-1010.
- [14] ADDISON BJ, LIEBERMAN DE. Tradeoffs between impact loading rate, vertical impulse and effective mass for walkers and heel strike runners wearing footwear of varying stiffness [J]. J Biomech, 2015, 48(7): 1318-1324.
- [15] THOMAS KS, VANLUNEN BL, MORRISON S. Changes in postural sway as a function of prolonged walking [J]. Eur J Appl Physiol, 2013, 113(2): 497-508.
- [16] BIZOVSKA L, SVOBODA Z, KUTILEK P, *et al.* Variability of centre of pressure movement during gait in young and middle-aged women [J]. Gait Posture, 2014, 40(3): 399-402.
- [17] 范文祥, 倪朝民, 刘孟, 等. 年龄对正常人步行时足底压力中心轨迹的影响[J]. 中华物理医学与康复, 2018, 40(3): 174-178.
- [18] SVOBODA Z, BIZOVSKA L, JANURA M, *et al.* Variability of spatial temporal gait parameters and center of pressure displacements during gait in elderly fallers and nonfallers: A 6-month prospective study [J]. PLoS One, 2017, 12(2): e171997.
- [19] BARRONS ZB, HEISE GD. The impact of shod vs unshod walking on center of pressure variability [J]. Gait Posture, 2020, 81: 116-119.
- [20] BLANCHETTE MG, BRAULT JR, POWERS CM. The influence of heel height on utilized coefficient of friction during walking [J]. Gait Posture, 2011, 34(1): 107-110.
- [21] ANDERSON DE, FRANCK CT, MADIGAN ML. Age differences in the required coefficient of friction during level walking do not exist when experimentally-controlling speed and step length [J]. J Appl Biomech, 2014, 30(4): 542-546.