

文章编号:1004-7220(2013)04-0388-09

# 不同硬度鞋底对下肢步行运动学的影响

宋雅伟<sup>1</sup>, 滕津汝<sup>1</sup>, 张曦元<sup>2</sup>

(1. 南京体育学院 科研处, 南京 210014; 2. 南京体育学院奥林匹克学院 体育与健康系, 南京 211162)

**摘要:** **目的** 通过对穿着不同硬度鞋底的受试者开展步行时的运动学分析,评价不同硬度鞋底对人体下肢步行运动学参数的影响。**方法** 受试者穿3种不同硬度鞋底的鞋,在跑台上以6 km/h的速度行走,利用Vicon红外摄像系统进行动作捕捉,以采集行走过程中脚后跟高度、脚尖高度、膝角度、踝角度等运动学参数,并分析实验结果。**结果** 穿软底鞋的步态周期比其他鞋的步态周期增加,小腿前摆角度最小;穿中等硬底鞋大腿前摆角度最小、后摆角度最大;穿硬底鞋的大腿前摆角度最大、后摆角度最小;摆动期时间相对稳定。**结论** 软底鞋更适合短时间慢速行走,中等硬底鞋对人体长时间步行的下肢运动学影响最小,硬底鞋适合短时间快速行走。

**关键词:** 硬度; 鞋底; 步态分析; 运动学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

## Effects of soles with different hardness on human lower extremity kinematics during walking

SONG Ya-wei<sup>1</sup>, TENG Jin-ru<sup>1</sup>, ZHANG Xi-yuan<sup>2</sup> (1. *Scientific Research Department, Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China*; 2. *Sports and Health Department, Olympic College of Nanjing Sport Institute, Nanjing 211162, China*)

**Abstract:** **Objective** To evaluate effects of soles with different hardness on kinematic parameters of human lower extremity during walking by conducting kinematic analysis on subjects walking with soles of different hardness. **Methods** Subjects were required to wear 3 kinds of shoes with soles of different hardness and walk on the treadmill at the speed of 6 km/h. Vicon infrared camera system was used to capture the motions of subjects during walking, and kinematic parameters such as heel height, toe height, knee angle and ankle angle were collected for experimental analysis. **Results** Compared with the other shoes, the gait cycle was increased when subjects wearing soft-soled shoes, with the smallest angel of the forward pendulum of crus. The forward pendulum of thigh was the smallest and the back pendulum was the largest when subjects wearing medium-hardness shoes. The forward pendulum of thigh was the largest and the back pendulum was the smallest when subjects wearing hard-soled shoes. The time of swing phase was relatively stable. **Conclusions** Soft-soled shoes are more suitable for slow walking during a short period, while medium-hardness shoes have the smallest impact on lower extremity kinematics during walking for a long period, and hard-soled shoes are suitable for fast walking during a short period.

**Key words:** Hardness; Soles; Gait analysis; Kinematics

步行是人体日常生活中重复最多的一种整体性运动,是人类与其他动物区别的关键特征之一。正

常步行不需要思考,它由全身肌肉参与,包括人体重心移位、骨盆倾斜旋转、以及髌、膝、踝关节伸屈及内

收稿日期:2013-03-04; 修回日期:2013-05-07

基金项目:南京体育学院体育学一级学科江苏高校优势学科建设工程资助项目,江苏省“青蓝工程”资助项目。

通信作者:宋雅伟,教授, E-mail: syw0008@163.com。

外旋展等,是人体位移的一种复杂的随意运动<sup>[1-2]</sup>。有关运动鞋的研究发现,硬底鞋比软底鞋提供更少的鞋底摩擦,鞋地面反作用力、全身运动、步幅特征和鞋类滑溜主观感知都需要人们调整相应的步态来减少摩擦;另有研究表明,受试者穿硬底鞋时表现出步行速度下降、步幅缩短、踝关节背屈角度减少;随着鞋穿着时间的增长,足有轻微应力损伤的趋势<sup>[3-4]</sup>。因此,有必要对人体穿不同硬度鞋底的鞋行走开展运动学分析,用可靠的运动学参数和科学的评价方法来衡量各种鞋的鞋底功能特性;对步态变化与不同硬度鞋的量化研究可深入认识关节的力学行为,进而保护关节、减少运动伤害<sup>[5-6]</sup>。

## 1 实验

### 1.1 实验对象

客制化的3双实验用鞋<sup>[7]</sup>,实验前需先进行鞋底硬度的选择。采用邵氏A硬度计分别测量每双鞋跟区(取鞋跟中心处)、足弓区(测量内、外侧足弓部分)、足掌区(第1、第5跖趾关节处)的鞋底硬度,误差小于0.1%,得出3双鞋底硬度值分别为51、62、69,并根据该3双鞋的软硬程度,分别命名为软底鞋、中等硬底鞋与硬底鞋,鞋的质量均为103 g。穿着实验用鞋的测试对象共6人,均为上海体育学院学生志愿者,受试者均要求体形匀称,身高和体质量在平均值范围内,无脊柱、下肢关节损伤史,足弓正常。实验地点在上海体育学院运动生物力学实验大厅。

为便于实验操作,要求脚码为22.5 cm,体重62~64 kg,实验期间受试者身体健康状况良好,无肌肉疲劳现象,实验前24 h未进行任何形式的剧烈身体运动。参加本实验前均多次熟悉运动负荷方法和各种实验要求。

对受试者应用身高计、体重计以及皮尺进行测量,基本情况:年龄( $21 \pm 0.5$ )岁,体重( $62.38 \pm 1.22$ ) kg,身高( $173.69 \pm 2.38$ ) cm,足长( $25.91 \pm 1.21$ ) cm,足宽( $9.25 \pm 0.89$ ) cm,足弓高( $4.91 \pm 0.47$ ) cm。

### 1.2 实验仪器

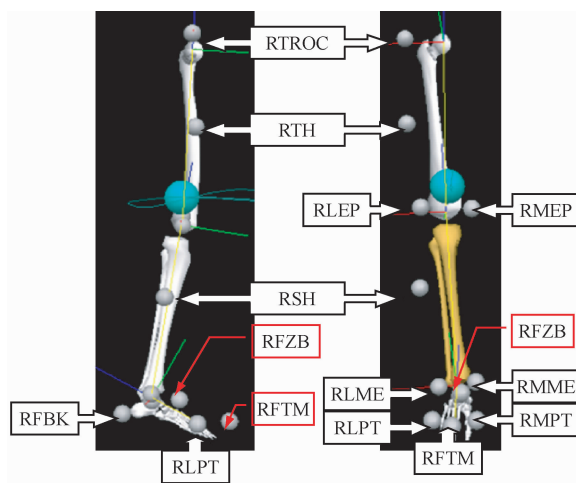
分析系统为英国生产的Vicon硬件及软件操作系统,包括8台MX13高速摄像头,采样频率为120 Hz,应用程序为Workstation 5.1。

### 1.3 实验步骤

将反光球贴于受试者关节位置,关节位置选择依据人体解剖学原理,反光球间的距离要适当,尽量使不同环节上的标记点不在一条直线上,以避免标记点图像的重叠。Vicon球直径为8 mm,可以精确反映人体各环节细微的运动,通过人体关节运动带动反光球运动,经由感光器反射光线到红外线摄像机中,将人运动学数据传到系统中。实验对象在跑台上穿不同类型的鞋,以6 km/h的速度行走,每隔5 min记录数据。

### 1.4 运动捕捉

运动捕捉实验包括静、动态捕捉2个步骤。静态捕捉包括对实验对象固定位置的捕捉及对反光球进行标记,以确保捕捉点和已知位置或者标记产生联系,即定位标记点,从而确定其在捕捉空间的位置。本实验对所贴12个小球分别进行标记(见图1)。



RTROC-大转子, RTH-大腿跟踪点, RLEP-膝外侧, RMEP-膝内侧, RSH-小腿跟踪点, RFZB-足背, RFTM-脚尖, RLME-踝外侧, RMME-踝内侧, RLPT-小脚趾根部, RFBK-脚后跟, RMPT-大脚趾根部

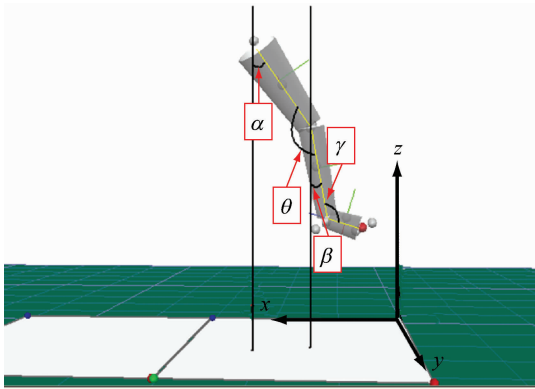
图1 标记点标定

Fig. 1 Calibration of the marker points

### 1.5 步态周期中角度定义

为了方便下面论述,定义大腿角 $\alpha$ 、小腿角 $\beta$ (见图2), $\alpha$ 、 $\beta$ 分别指大、小腿环节轴线在矢状面内投影与垂直轴的夹角。

每一个步态周期根据下肢在步行中的位置分为支撑相和摆动相,每个时相又划分为几个时期,为了研究方便,在每个时相抽取7个特殊时刻(见图3)。



$\alpha$ -大腿角,  $\beta$ -小腿角,  $\gamma$ -踝角,  $\theta$ -膝角

图2 步态周期中下肢关节角度

Fig. 2 Lower extremity joint angles in the gait cycle

① 足跟着地: 足跟接触地面的瞬间, 前向运动减速, 到足确定进入支撑阶段的时间段; 足跟着地刻: 在足跟着地时相内, 指足接触地面的瞬间。

② 全掌着地: 足首次触地之后重心由足跟向全足转移的时间段; 全掌着地刻: 在全掌着地时相内, 指足跟触地之后, 足向前滚动, 足前掌(跖骨)接触

地面的时间点。

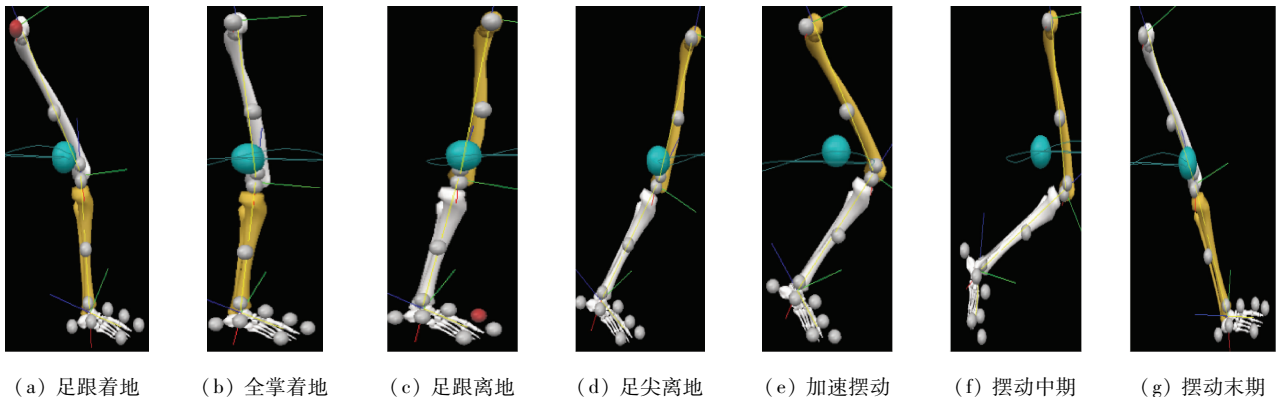
③ 足跟离地: 足跖骨接触地面至足跟抬起, 下肢主动加速蹬离地面的时间段; 足跟离地刻: 足跟抬起的瞬间。

④ 足尖离地: 继足跟离地之后, 由足跟过渡到足尖离开地面的时间段; 足尖离地刻: 足尖离开地面的瞬间。

⑤ 加速摆动: 指足离开地面早期时段的活动, 主要动作包括屈髋带动屈膝, 加速下肢前向摆动至大腿角为零的时间段; 摆动中膝角最小时刻: 在加速摆动时期内膝角最小时刻。

⑥ 摆动中期: 下肢在空中继续向前摆动的时相, 从膝角最小到膝角最大的时间段。摆动中足尖最低时刻: 下肢摆动时, 踝关节背屈, 此时足尖垂直高度最低的时刻。

⑦ 摆动末期: 迈步即将结束, 足在落地之前的活动, 下肢前向运动减速, 准备足着地的时间段; 摆动中膝角最大时刻: 摆动末期足着地前, 膝角最大时刻。



(a) 足跟着地

(b) 全掌着地

(c) 足跟离地

(d) 足尖离地

(e) 加速摆动

(f) 摆动中期

(g) 摆动末期

图3 步态周期的时相

Fig. 3 Phases of the gait cycle (a) Heel strike, (b) Whole palm on the ground, (c) Heel off the ground, (d) Toe off the ground, (e) Accelerated arm swing, (f) Mid-term of arm swing, (g) End of arm swing

## 1.6 数据处理

导出相关原始数据, 通过低通滤波法对其进行平滑处理, 截断频率为 8 Hz, 所有数据用 SPSS 13.0 统计软件处理, 结果用平均值  $\pm$  标准差表示, 并进行方差齐性检验, 组间比较采用双因素方差设计分析, 显著水平为  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 步态的运动学分析

选取行走过程中脚后跟高度、脚尖高度、膝角度以及踝角度作为参数, 研究穿不同硬度鞋底的鞋长时间行走对人体步态的影响(见表 1)。

表1 6名受试者实验后的运动学参数

Tab.1 Kinematic parameters of six subjects after experiment

时相	鞋类型	脚后跟高度/cm	脚尖高度/cm	膝角度/(°)	踝角度/(°)
脚跟着地刻	软	0.242 ± 0.012 <sup>#</sup>	0.329 ± 0.018	160.629 ± 6.275	103.559 ± 11.274 <sup>☆#</sup>
	中	0.243 ± 0.002	0.321 ± 0.012	167.450 ± 9.004	116.564 ± 5.234 <sup>☆*</sup>
	硬	0.250 ± 0.004 <sup>#</sup>	0.312 ± 0.020	161.955 ± 15.010	113.401 ± 4.224 <sup>#</sup>
全掌着地刻	软	0.248 ± 0.010 <sup>#</sup>	0.254 ± 0.006	138.770 ± 5.709 <sup>☆</sup>	100.293 ± 5.745
	中	0.249 ± 0.003	0.257 ± 0.004	147.877 ± 1.883 <sup>☆*</sup>	107.225 ± 4.199
	硬	0.258 ± 0.003 <sup>#</sup>	0.253 ± 0.005	142.321 ± 5.945 <sup>*</sup>	109.715 ± 7.493
脚跟离地刻	软	0.276 ± 0.009 <sup>☆</sup>	0.231 ± 0.005 <sup>☆</sup>	165.319 ± 1.383 <sup>☆#</sup>	91.159 ± 5.488 <sup>☆#</sup>
	中	0.262 ± 0.007 <sup>☆</sup>	0.234 ± 0.003 <sup>☆</sup>	176.599 ± 2.034 <sup>*</sup>	113.839 ± 3.528 <sup>☆</sup>
	硬	0.269 ± 0.008	0.233 ± 0.003	169.068 ± 1.062 <sup>#*</sup>	111.064 ± 3.421 <sup>#</sup>
脚尖离地刻	软	0.363 ± 0.013 <sup>☆</sup>	0.224 ± 0.002	147.848 ± 4.661	118.661 ± 10.303 <sup>☆</sup>
	中	0.382 ± 0.009 <sup>☆*</sup>	0.229 ± 0.004	156.399 ± 2.790	128.550 ± 11.706 <sup>☆*</sup>
	硬	0.343 ± 0.014 <sup>*</sup>	0.215 ± 0.003	151.404 ± 2.703	116.900 ± 9.356 <sup>*</sup>
摆动中膝角 最小时刻	软	0.461 ± 0.003 <sup>#</sup>	0.276 ± 0.006 <sup>☆</sup>	103.727 ± 2.186 <sup>#</sup>	115.605 ± 5.829 <sup>☆</sup>
	中	0.463 ± 0.005 <sup>*</sup>	0.275 ± 0.004 <sup>☆</sup>	108.740 ± 7.515	128.862 ± 6.534 <sup>☆</sup>
	硬	0.478 ± 0.007 <sup>#*</sup>	0.279 ± 0.015	104.500 ± 14.580 <sup>#</sup>	126.390 ± 4.108
摆动中足尖 最低时刻	软	0.355 ± 0.021 <sup>☆#</sup>	0.261 ± 0.005 <sup>☆</sup>	124.137 ± 3.174 <sup>☆</sup>	107.324 ± 5.565 <sup>☆#</sup>
	中	0.342 ± 0.013 <sup>☆</sup>	0.256 ± 0.004 <sup>☆</sup>	134.680 ± 5.741 <sup>☆*</sup>	116.700 ± 5.8489 <sup>☆</sup>
	硬	0.351 ± 0.023 <sup>#</sup>	0.258 ± 0.005	126.211 ± 13.655 <sup>*</sup>	115.434 ± 3.294 <sup>#</sup>
摆动中膝角 最大时刻	软	0.258 ± 0.009 <sup>#</sup>	0.361 ± 0.011 <sup>#</sup>	162.110 ± 14.10 <sup>☆</sup>	104.660 ± 12.698 <sup>☆</sup>
	中	0.259 ± 0.006	0.362 ± 0.012	174.850 ± 6.168 <sup>☆*</sup>	119.781 ± 10.738 <sup>☆</sup>
	硬	0.264 ± 0.005 <sup>#</sup>	0.351 ± 0.018 <sup>#</sup>	166.360 ± 12.011 <sup>*</sup>	115.197 ± 4.203

注: <sup>☆</sup>软底鞋与中等硬底鞋有差异, <sup>#</sup>软底鞋与硬底鞋有差异, <sup>\*</sup>中等硬底鞋与硬底鞋有差异

## 2.2 穿不同鞋对膝角度变化的影响

如图4所示,穿中等硬底鞋的膝角度伸膝最大,屈膝最小。膝角度的变化,根据方差分析可知,在整个步行周期中,在全掌着地刻,软底鞋和另2双鞋有统计学差异;在脚跟离地刻,软底鞋和中等硬底鞋有

统计学差异;而在摆动中膝角最小时刻,3双鞋相互之间都有统计学差异;在摆动中足尖最低时刻,软底鞋和硬底鞋有统计学差异;在摆动中膝角度最大时刻,中等硬底鞋和另2双鞋差异显著。穿软底鞋在脚跟着地刻的膝角度较小,原因是脚跟全部受力,鞋底较软,缓冲较好,对膝关节有较好的保护<sup>[8]</sup>。

根据双因素方差分析,在脚跟着地刻膝关节伸展主要是由股四头肌收缩引起。在摆动中膝角度最大时刻,腓绳肌收缩主要起到一个制动的作用,防止摆动过深。这种收缩一直持续到全掌支撑时期。这个时期,膝角度的变化受时间和鞋类型双因素影响比较明显。如图5所示,在5~10 min时,软底鞋呈下降趋势,另2双鞋都呈上升趋势。10~15 min时软底鞋又呈现上升趋势,与另2双鞋相反。

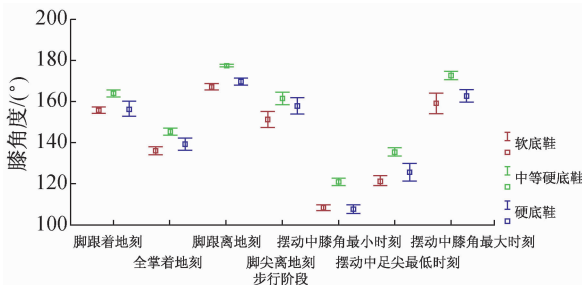


图4 穿不同鞋步行阶段膝角度变化

Fig.4 Changes of knee angle during different gaits by wearing different shoes

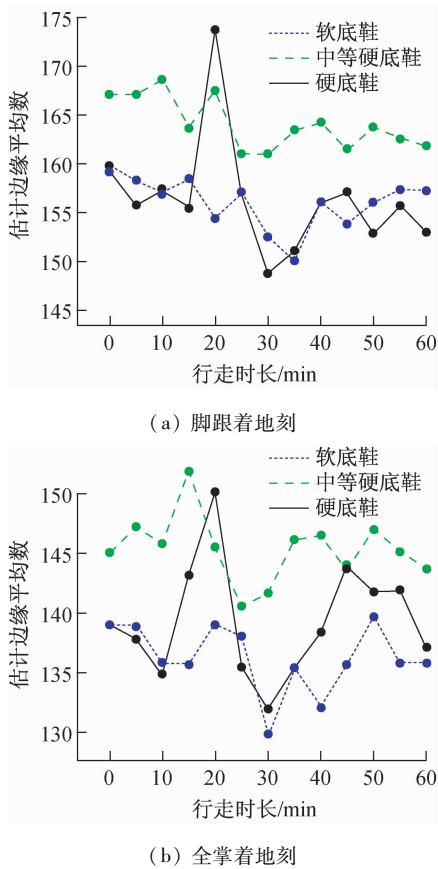


图5 穿不同鞋着地时刻膝角度的时间-鞋交互变化图  
Fig. 5 Knee angle-shoe interactive change at different moment by wearing different shoes (a) At heel strike moment, (b) At whole palm on the ground moment

从脚掌几乎全部接触地面的全掌着地时候,膝呈现弯曲直到完全负体重;最初是“支撑弯曲”,伴随着股四头肌的离心收缩,去控制速度的大小,故全掌着地时刻对膝角度的变化有影响但不明显,主要受时间和鞋类型双因素影响,例如 35 ~ 40 min 时,软底鞋存在明显的膝角度下降趋势。

### 2.3 穿不同鞋对脚后跟高度的影响

脚后跟高度的变化,根据方差分析可知,在行走周期的各个时相中穿不同鞋都有统计学差异。硬底鞋在脚尖离地刻突然降低,在脚跟着地刻、全掌着地刻和摆动中膝角最大时刻,都是软底鞋和硬底鞋具有统计学差异;而在脚尖离地刻、摆动中膝角最小时刻和摆动中足尖最低时刻,都是软底鞋和其他 2 双鞋存在统计学差异;在脚尖离地刻,是中等硬底鞋与其他 2 双鞋存在统计学差异。

如图 6 所示,在整个周期中,穿软底鞋的脚后跟

高度明显低于硬底鞋,而在 5 ~ 10 min 时,软底鞋是上升的,其他 2 双鞋都是下降的。在 15 ~ 20 min 时,软底鞋是下降的,其他 2 双鞋存在明显的上升趋势。根据双因素方差分析,随时间的变化脚后跟高度逐渐降低,主要是由于疲劳导致肌肉力量下降。在鞋类型方面的影响,由于鞋底硬度不同,穿 3 双鞋所表现出的脚后跟高度也不同,但只有软底鞋和硬底鞋存在统计学差异。

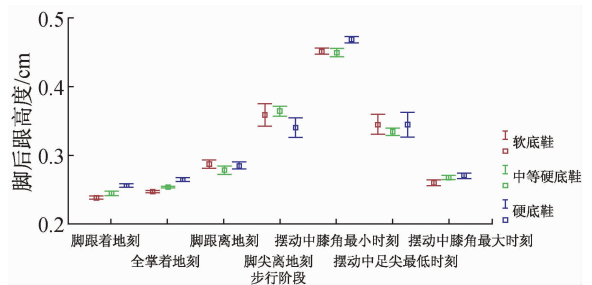


图6 穿不同鞋步行阶段脚后跟高度变化  
Fig. 6 Changes of heel height during different gaits by wearing different shoes

在摆动中膝角最大时刻,脚后跟高度受时间的影响不大,主要是受鞋类型的影响,表现出不同的趋势,而最显著的是硬底鞋。在 15 ~ 20 min 时,其他 2 双鞋上升趋势明显,硬底鞋下降。在 20 ~ 25 min 时,硬底鞋保持不变,其他 2 双鞋有显著的下降趋势。在 50 ~ 55 min 时,硬底鞋出现稍微的上升,其他 2 双鞋下降(见图 7)。

### 2.4 穿不同鞋对脚尖高度的影响

脚尖离地刻高度的变化,根据数据分析,在行走周期中只在全掌着地刻无统计学意义。在脚跟着地刻,穿中等硬底鞋脚尖离地刻的高度和其他 2 双鞋明显不同;在脚跟离地刻,硬底鞋和其他 2 双鞋存在统计学差异;而在摆动中膝角最小时刻和摆动中足尖最低时刻,穿软底鞋的脚尖高度和中等硬底鞋明显不同;在摆动中膝角最大时刻,硬底鞋和软底鞋有统计学差异。总体看来,硬底鞋的脚尖高度变化最大(见图 8)。

总体来说,脚尖高度随时间的变化有下降趋势,穿硬底鞋脚尖高度变化明显,但 3 双鞋之间都存在明显差异。在 5 ~ 10 min 时,软底鞋与硬底鞋脚尖高度上升,中等硬底鞋脚尖高度下降。在 25 ~ 30 min 时,中等硬底鞋脚尖高度降低,其他 2 双鞋上

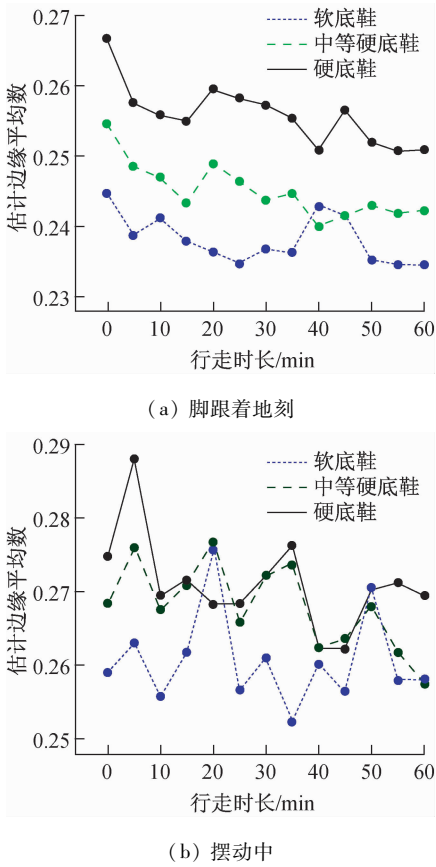


图7 穿不同鞋膝角最大时刻脚后跟高度的时间-鞋交互变化图  
Fig.7 Heel height-shoe interactive change at the maximum knee joint by wearing different shoes (a) At heel strike moment, (b) During arm swing

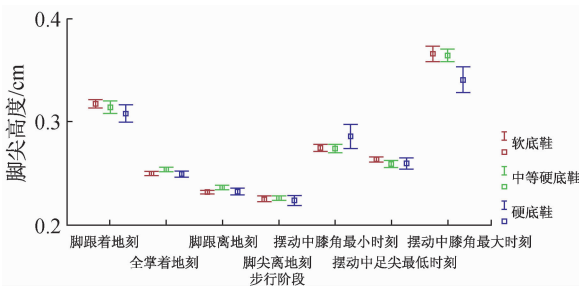


图8 穿不同鞋步行阶段脚尖高度变化  
Fig.8 Changes of toe height during different gaits by wearing different shoes

升。在30~35 min时,软底鞋脚尖高度下降而中等硬底鞋上升,硬底鞋保持不变。在摆动中足尖最低时刻、脚尖离地时刻和脚跟着地时刻,脚尖高度受鞋类型的影响较大,同时也受时间和鞋类型双因素的交互影响。

脚跟离地时刻,中等硬底鞋和其他2双鞋存在明显差异:在0~5 min时,中等硬底鞋脚尖高度上升,其他2双下降明显。在5~10 min时,中等硬底鞋脚尖高度下降,其他2双鞋上升。在25~30 min时,中等硬底鞋脚尖高度上升显著。而之后5 min,中等硬底鞋脚尖高度开始降低,其他2双鞋上升(见图9)。

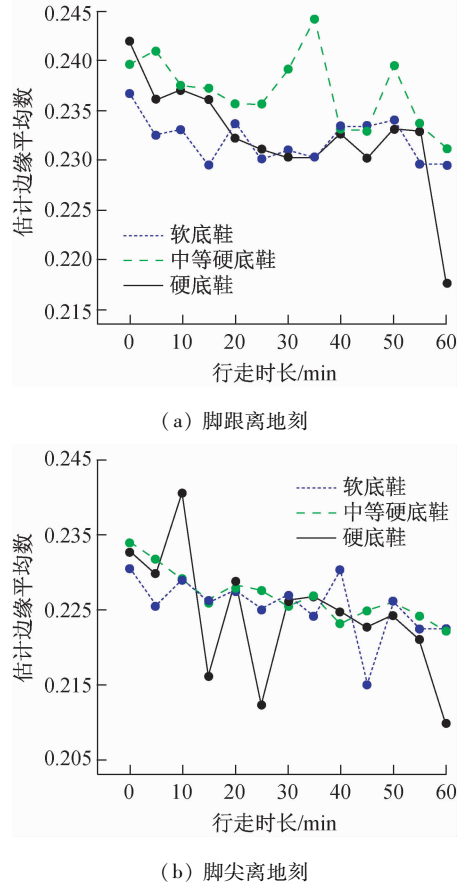


图9 穿不同鞋脚跟离地时刻与脚尖离地时刻脚尖高度的时间-鞋交互变化图  
Fig.9 Toe height-shoe interactive change at different moment by wearing different shoes (a) At heel off the ground moment, (b) At toe off the ground moment

### 2.5 穿不同鞋对踝角度变化的影响

穿软底鞋的踝角度最小,根据方差分析可知,踝在整个步行周期中,仅有全掌着地刻无统计学意义。在脚跟着地刻,穿3双鞋相互之间的踝角度都存在统计学差异;在脚跟离地刻、脚尖离地刻和摆动中膝角最小时刻,穿硬底鞋和其他2双鞋踝角度存在统计学差异;在摆动中足尖最低时刻和摆动中膝角最

大时刻,软底鞋和中等硬底鞋存在统计学差异(见图10)。

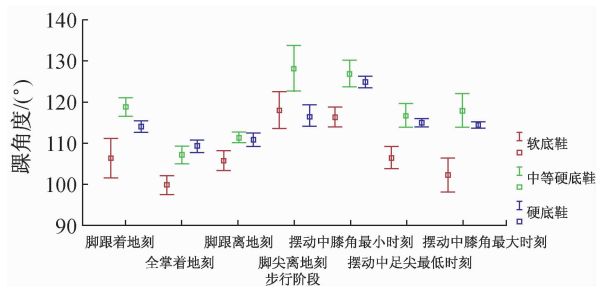


图10 穿不同鞋步行阶段踝角度变化

Fig. 10 Changes of ankle angle during different gaits by wearing different shoes

在全掌着地刻,踝角度变化受时间和鞋类型的双因素影响较明显。在0~5 min时,中等硬底鞋踝角度呈下降趋势,其他2双鞋上升。在25~30 min时,中等硬底鞋上升显著,软底鞋下降明显,而硬底鞋保持不变。在35~40 min时,与25~30 min的趋势基本相同。由于长时间步行导致的疲劳,从脚尖过渡到全掌的时间就比较长(见图11(a))。

在脚跟离地刻,时间和鞋类型双因素对踝关节影响相当显著。在10~15 min时,硬底鞋踝角度上升明显,其他2双鞋呈下降趋势。在40~45 min时,硬底鞋上升,中等硬底鞋保持不变,软底鞋一直下降到结束。在55~60 min时,硬底鞋又出现一个反弹上升,而中等硬底鞋降低(见图11(b))。

## 2.6 穿不同鞋对脚跟和脚尖高度的关系

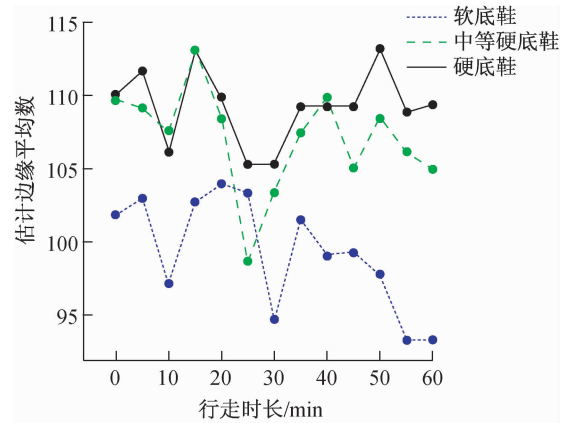
通过双因素方差分析,发现只有脚尖和脚跟高度、膝角和踝角与时间及鞋底硬度的交互关系最大,由此,针对以上4个变量再具体分析。

通过脚尖与脚跟高度图可知,穿硬底鞋的差异最大,主要表现在摆动中膝角最大时刻脚尖高度与脚跟高度较其他2双鞋降低明显(见图12)。

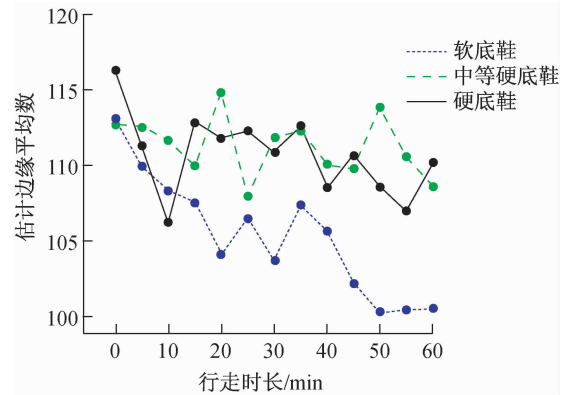
## 2.7 穿不同鞋对膝角和踝角的关系

踝关节在穿软底鞋时,起脚慢,要靠踝关节的推动前进(腓肠肌工作活动加大),软底鞋在足尖离地时刻跖屈最大。

在足跟离地到足尖离地刻,穿软底鞋膝角度接近170°,中等硬底鞋为180°,硬底鞋则是介于两者之间,其变化原理基本与全掌着地刻相同。



(a) 全掌着地刻



(b) 脚跟离地刻

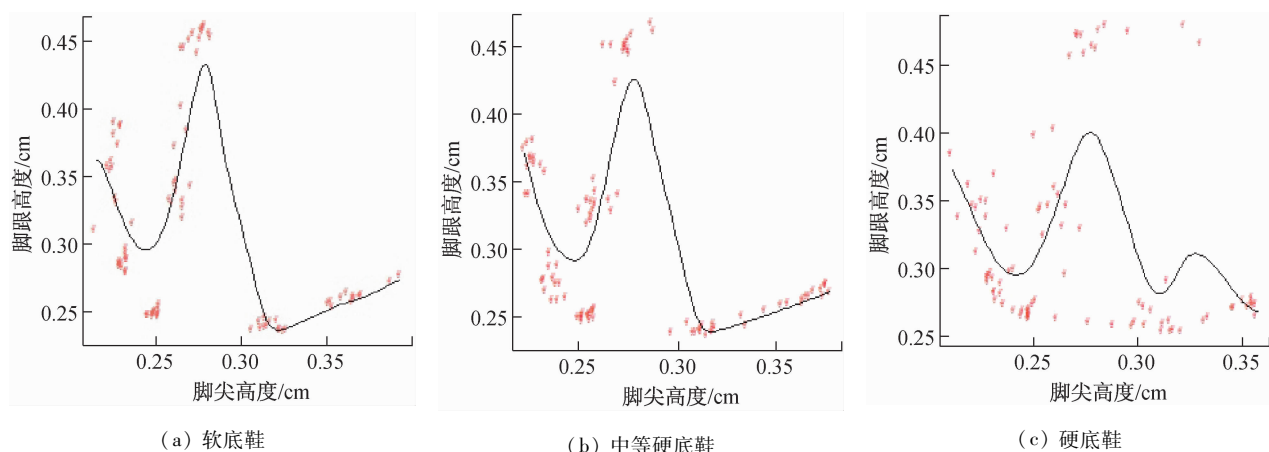
图11 穿不同鞋踝角度的时间-鞋交互变化图

Fig. 11 Ankle angle-shoes interactive change at different moment by wearing different shoes (a) At whole palm on the ground moment, (b) At heel off the ground moment

在足尖离地到加速摆动之间,踝角的峰值在3双鞋之间存在较大差异,主要表现为硬底鞋踝角度峰值的后移,推测穿硬的鞋子冲量比较大,用力较小,折叠较快,即腿的摆动幅度较快,步幅较小,大腿摆动较快,幅度较小,故穿硬底鞋的踝角峰值会后移。而膝角度的大小变化主要由受试者所穿鞋的适应性与舒适性决定。从摆动中膝角最小时刻到足尖最低时刻,穿硬底鞋与软底鞋膝角度的变化接近110°,而中等硬底鞋则稍大于120°(见图13)。

## 3 讨论

步行的控制十分复杂,包括中枢命令、身体平衡和协调控制,涉及足、踝、膝、髌、躯干、颈、肩、臂的肌肉和关节协同运动,任何环节的失调都可能影响步



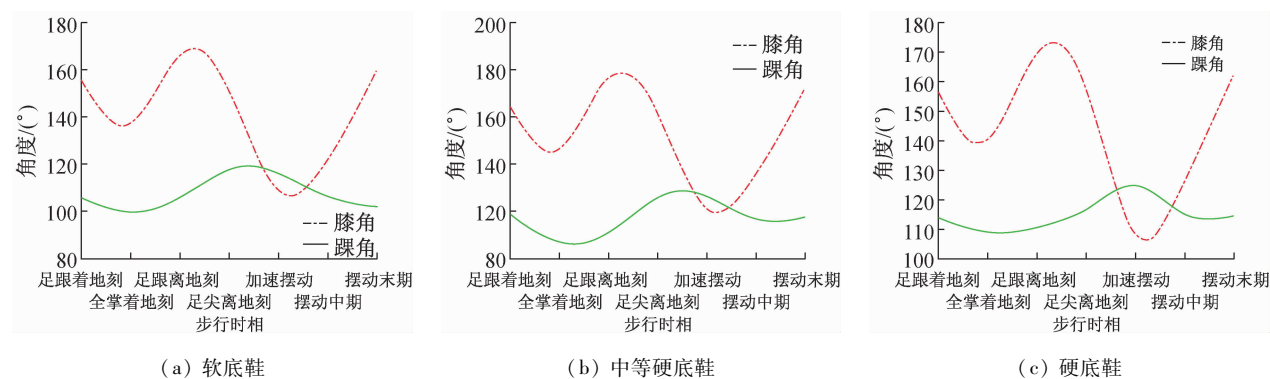
(a) 软底鞋

(b) 中等硬底鞋

(c) 硬底鞋

图 12 穿不同鞋步行脚尖与脚跟高度关系图

Fig. 12 Toe and heel height diagram by wearing different shoes (a) Soft-soled shoes, (b) Medium hardness shoes, (c) Hard-soled shoes



(a) 软底鞋

(b) 中等硬底鞋

(c) 硬底鞋

图 13 穿不同鞋步行膝角和踝角关系图

Fig. 13 Knee and ankle angle diagram by wearing different shoes (a) Soft-soled shoes, (b) Medium hardness shoes, (c) Hard-soled shoes

态<sup>[9]</sup>。因此,步行是一个精确而复杂的运动过程。穿软底鞋的步态周期比其他鞋的步态周期增加,小腿前摆角度最小,后摆角度最大;踝关节角度最小,全掌着地期与脚跟离地期踝关节角度均降低,时间-鞋交互影响对软底鞋最明显;内踝与足背高度有明显降低;脚跟相比其他鞋受力较小,足弓内、外侧以及跖骨 3 个区域,在行走过程中脚尖部分受力较为明显。这与穿软底鞋足底接触面积最大、外侧力偏大有关。

摆动周期的稳定主要表现为肢体支撑—摆动交替<sup>[10]</sup>。其中,髌关节伸展是促进肢体由支撑期向摆动期转变的重要信号。这主要是屈肌兴奋性冲动通过中间神经元抑制伸肌活动,屈肌兴奋完成后伸肌的神经兴奋释放,引起伸肌活动,从而在步行动作启动后产生自发性屈肌-伸肌交替兴奋<sup>[11]</sup>。不同的鞋

底硬度穿着表现为穿中等硬底鞋大腿前摆角度最小、后摆角度最大;膝关节伸膝角度最大,屈膝角度最小;踝关节角度最大;穿硬底鞋的大腿前摆角度最大、后摆角度最小;穿中等硬底鞋的步行时相相对稳定<sup>[12]</sup>。

鞋底材料若仅仅从舒服这个角度看,软质地比硬质地好。弹性好的鞋底在运动中有更多的能量回归,但并不一定能给人的双脚在运动中提供更充足的动力。软底能够吸收更多地面带来的冲击力。但是太软的鞋底,会产生所谓的浮行运动<sup>[13-14]</sup>。脚蹬地时就会把作用于地面的力吸收了很大一部分用于自身的形变,故地面反作用推动人体前进的力减小,时间一长,会产生累的感觉。硬质材料制成的鞋底接触面积比较小,足弓不易塌陷,压强变化比较大,多余的能量消耗减少,因为蹬伸比较充分,感觉比较



省力。硬质材料制成的鞋底比软质材料制成的鞋底所产生的冲击力大,对关节缓冲比较差,故对关节保护比较差<sup>[15-16]</sup>。

#### 4 结论与建议

软底鞋更适合短时间慢速行走,对踝关节保护最差,中等硬底鞋对下肢运动学参数的影响程度最小,硬底鞋适合短时间快速行走。

本研究建议:

(1) 穿着软底鞋感觉舒适,但是易引起疲劳,在行走路程不是很长的情况下(一般性散步),可以考虑选择。

(2) 中等硬底鞋对人体的步态参数影响最小,适合长距离行走。

(3) 穿着硬底鞋走路轻快,但是足底受的冲击力较大,在要求步行速度较快但时间不是很长的情况下,可以考虑选择。

#### 参考文献:

- [1] 励建安, 孟殿怀. 步态分析的临床应用[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(7): 500-503.
- [2] Tsai YJ, Powers CM. Increase shoe sole hardness results in compensatory changes in the utilized coefficient of friction during walking [J]. *Gait Posture*, 2009, 30(3): 303-306.
- [3] Perry SD, Radtke A, Goodwin CR. Influence of footwear midsole material hardness on dynamic balance control during unexpected gait termination [J]. *Gait Posture*, 2007, 25(1): 94-98.
- [4] 吴剑, 李建设. 人行行走时步态的生物力学研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 2002, 21(3): 305-307.
- [5] 周有礼. 妊娠妇女步态的动力学分析[J]. 医用生物力学, 2001, 16(2): 65-69.  
Zhou YL. The kinetic analysis of gait for pregnant women [J]. *J Med Biomech*, 2001, 16(2): 65-69.
- [6] 钱竞光, 宋雅伟. 步行动作的生物力学原理及其步态分析[J]. 南京体育学院学报: 自然科学版, 2006, 5(4): 1-7.
- [7] 施宝兴, 魏文仪. 逆向动力学计算方法及提高计算精度的探讨[J]. 南京体育学院学报: 自然科学版, 2003, 2(2): 6-12.
- [8] Menant JC, Perry SD, Steele JR, *et al.* Effects of shoe characteristics on dynamic stability when walking on even and uneven surfaces in young and older people [J]. *Arch Phy Med Rehabil*, 2008, 89(10): 1970-1976.
- [9] Gardner LI Jr, Dziados JE, Jones BH, *et al.* Prevention of lower extremity stress fractures: A controlled trial of a shock absorbent insole [J]. *Am J Public Health*, 1988, 78(12): 1563-1567.
- [10] Withnall R, Eastaugh J, Freemantle N. Do shock absorbing insoles in recruits undertaking high levels of physical activity reduce lower limb injury? A randomized controlled trial [J]. *J R Soc Med*, 2006, 99(1): 32-37.
- [11] 韦启航. 人体步态分析系统-足底压力测量系统的研制[J]. 中国生物医学工程学报, 2000, 1(19): 32-40.
- [12] Perry JE, Hall JO, Davis BL. Simultaneous measurement of plantar pressure and shear force diabetic individuals [J]. *Gait Posture*, 2002, 15(1): 101-107.
- [13] Gravante G, Russo G, Pomara F, *et al.* Comparison of ground forces between obese and control young adults during quiet standing on a platform [J]. *Clin Biomech*, 2003, 18(8): 780-782.
- [14] Dowling AM, Steele JR, Baur LA. Does obesity influence foot structure and plantar pressure patterns in prepubescent children [J]. *Inter J Obesity*, 2001, 25(6): 845-852.
- [15] 夏江, 杨云峰, 俞光荣. 成人获得性可复性平足的生物力学研究进展[J]. 医用生物力学, 2012, 27(1): 109-114.  
Xia J, Yang YF, Yu GR. Advances in biomechanical studies of flexible adult-acquired flatfoot deformity [J]. *J Med Biomech*, 2012, 27(1): 109-114.
- [16] 李云婷, 陶凯, 王冬梅. 足底软组织硬化对足部生物力学性能影响的三维有限元分析[J]. 医用生物力学, 2009, 24(3): 169-173.  
Li YT, Tao K, Wang DM. Effects of stiffness of plantar soft tissue on foot biomechanical behavior: A 3D finite element analysis [J]. *J Med Biomech*, 2009, 24(3): 169-173.