

不同硬度鞋底对人体步行过程中足底压力中心轨迹的影响

宋雅伟¹ 魏文仪²

摘要

目的:通过对人体穿不同硬度鞋底的鞋行走进行生物力学分析,用力学参数和定量评价方法来评定各种鞋的鞋底功能特性。

方法:用 Instron 材料试验机对鞋底进行力学性能测量,并自行设计成实验用鞋,用 Novel-Pedar 与 Zebris 足底测量系统,对受试者的足底压力指标进行测量,找出穿不同硬度鞋底的鞋在人体长时间步行中,影响足底的力、压强、接触面积等主要动力学参数。

结果:随着鞋底硬度的增加,足底的压力中心从内侧的第一跖骨向外依次移动。足底压力中心轨迹长度与裸足行走时相比,穿中等硬底鞋和硬底鞋行走的轨迹长度都变长,而穿软底鞋行走时的轨迹长度缩短。

结论:硬底鞋对步行的影响最大,软底鞋次之,中等硬底鞋最小。

关键词 鞋底硬度;步态分析;足底压力

中图分类号:G804.61 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2010)-09-0875-04

健身走是目前国际流行的健身运动,因为它锻炼效果明显,又不受时间和场地条件的限制^[1]。运动的普及、物质生活水平的提高,不仅促进了鞋业的发展,也促使人们对足部保健日趋重视,更强调鞋的缓冲减震性能、运动效果,以及防止运动损伤的能力^[2]。本研究对人体穿不同硬度鞋底的鞋行走状况进行生物力学分析,并检测其力学参数。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本测试研究对象为6名志愿者,均为上海体育学院学生,被试者均要求形体匀称,足弓正常,无脊柱、下肢关节损伤史。为便于实验操作,要求脚码基本为41码,体重在62—64kg范围内。实验期间被试者身体健康状况良好,无肌肉疲劳现象,实验前24h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^[3]。

1.2 研究方法

1.2.1 材料力学试验:运用 Instron 材料试验机参照 GB/T 13634-92 硫化橡胶或热塑性橡胶压缩、应力松弛的测定来进行实验。测量鞋的弹性模量、应力松弛,找出能进行步态实验的不同硬度鞋底,并制作成鞋,重量均为103g。

1.2.2 足底压力测试:按照规定动作匀速进行60min,速度为7.2km/h的健身快走。动作要求:头部和躯干应保持正直,目视前方,身体略向前倾,摆臂时肩关节充分放松,小腹微收,

步幅自然而舒适。受试者均参加3d实验,第一天穿软底鞋(a1),第二天穿中等硬底鞋(a2),第三天穿硬底鞋(a3)进行实验。运用 Novel-Pedar 与 Zebris 足底测量系统,对受试者的足底压力指标进行测量^[4]。

1.3 统计学分析

所有数据用 SPSS11.0 统计软件处理,结果用平均数±标准差表示,进行 *t* 检验、双因素方差分析和 Pearson 相关分析,以 *P*<0.01 作为差异显著性水平。

2 结果

2.1 鞋的力学性能测试

在 Instron 自动控制电子万能试验机进行鞋的材料力学实验,鞋试样为实验用三种不同硬度的鞋底后跟(游标卡尺测量试样的原始尺寸,试样尺寸为:长7cm、宽5cm、高1.4—1.5mm),加载试验实验机压头为15.38cm²,载荷通过载荷传感器传递,传感器最大量程为30000N,使用量程为1000N,精度为0.3%。应变通过机器的应变单元传递,试验机具有自动控制应力应变增加速度和使应力应变保持恒定的功能,实验结束后计算机自动输出实验结果。

鞋在加载、卸载过程中都表现出明显的滞后现象。在变形的过程中有熵的改变,有机械能损失,因而不存在唯一状态,这样组织会随加载-卸载循环次数而变化,要多次重复才能达到稳定状态。本实验分别对每个试样反复加卸载5次,

DOI10.3969/j.issn.1001-1242.2010.09.013

1 南京体育学院运动健康科学系,南京,210014; 2 上海体育学院运动科学学院

作者简介:宋雅伟,男,博士,副教授; 收稿日期:2009-09-22

使循环曲线达到平稳。

2.1.1 鞋的弹性模量:将实验鞋底置于实验机底座上,预先将程序设定好,记录方式为应力-时间。本实验以 5mm/min 速度对试样施加预载荷,当载荷达到 600N 时进行卸载,预调处理 5 次。预调处理完成后,再加载至 600N 计算鞋的弹性模量。计算机程序设定从时间 $t(0)$ 开始采集数据,每 0.01s 采集一个数据,历时 425s,试样的弹性模量曲线经计算机进行曲线拟合如图 1 所示。 a_1, a_2, a_3 鞋型的弹性模量(自动杨氏)分析为:1.07819MPa, 2.26656MPa, 8.30659 MPa。由图 1 可见,第一双鞋的弹性模量小于第二双鞋的弹性模量小于第三双鞋的弹性模量,另外,鞋受到交变力作用时会产生滞后现象,上一次受到外力后发生形变在外力去除后还来不及恢复,下一次应力又施加了,以致总有部分弹性储能没有释放出来。这样不断循环,那些未释放的弹性储能都被消耗在体系的自摩擦上,从闭合环上看第一双鞋大于第二双鞋大于第三双鞋,说明第一双鞋的弹性能损耗最大,第三双鞋弹性能损耗最小。

2.1.2 鞋的应力松弛:本实验以 5 mm/min 速度对试样施加预载荷,当载荷达到 300N 时进行卸载,预调处理 5 次。预调处理完成后,加载至 300N 后变速度 50mm/min 加载至 750N 后,使应变保持恒定,计算机程序设定从时间 $t(0)$ 开始采集数据,每 0.01s 采集一个数据,历时 120s。应力随时间的改变不断下降,应力松弛实验曲线经计算机进行曲线拟合,见图 2。

本实验应力松弛最初 20s 变化较大,之后变化缓慢,120s 时应力松弛曲线基本达到平衡。在松弛的初期变化率较快,说明鞋内固有的膨胀压小于局部压力差,随着其固有膨胀压与局部压力差不断减小,因此后期曲线变化平缓,最后达到相对平衡。对于一个线性黏弹体来说,在应变保持不变的情况下,应力随时间的增加而逐渐衰减,第一双鞋的应力随时间的增加而逐渐衰减得最快,第三双鞋的应力随时间的增加而逐渐衰减得最慢。见表 1。

经过以上测试,三双鞋的力学性能是不一样的,我们根据弹性模量的大小、弹性能的损耗以及应力松弛变化的快

慢,可以命名第一双鞋为软底鞋;第二双鞋为中等硬底鞋;第三双鞋为硬底鞋。

2.2 穿不同鞋行走过程中的压力中心变化

三双不同鞋的开始时刻到 60min 的足底压力中心曲线(图中用红色线标出),如图 3—4 所示。

2.2.1 实验前后行走时的足底压力中心角度、长度的变化:和实验前相比,随着鞋底硬度的增加,压力中心从内侧的第一跖骨向外依次移动。

把足底压力中心移动曲线分为 3 个点(见图 5),即足跟着地点、足底压力中心移动曲线突然变化的拐点和足尖离地点;以足跟中点为原点,足跟中点与第二趾的连线为 Y 轴做坐标轴,分别找出这三个点的坐标。横坐标表示行走过程中足底压力中心左右偏移的程度,纵坐标表示行走过程中足底压力中心前后偏移的程度^[5-6]。

压力中心与纵轴夹角,与裸足行走时相比穿三双鞋行走的角度都变小,而且穿中等硬底鞋行走时的角度减小的最明显(表 2)。压力中心与拐点夹角,与裸足行走时相比穿软底鞋和硬底鞋行走的角度均减小,硬底鞋角度减小的最明显,穿中等硬底鞋行走时的角度略微增加。足底压力中心轨迹长度,与裸足行走时相比,穿中等硬底鞋和硬底鞋行走的轨迹长度都变长,而且穿软底鞋行走时的轨迹长度缩短^[7-8]。

2.2.2 实验前后行走时的足底压力中心各点位置的变化:从表 3 可以看出与裸足行走时落地点的坐标相比,穿中等硬底鞋行走时的纵坐标轨迹偏离的比较大,穿软底鞋行走时的横坐标轨迹偏离的比较大;裸足行走时拐点的坐标相比,穿硬底鞋行走时的横坐标轨迹偏离的比较大;裸足行走时脚尖离地点的坐标相比,足尖离地点穿硬底鞋行走时的横坐标、纵坐标的偏离比较大。

2.2.3 实验前后行走时的足底压力中心速度的变化:足底压力中心速度曲线(图 6)通过与 Zebris 平板数据相对应分析,在摆动中期时,足底压力中心的速度最快;当足底压力达到最大时,足底压力中心的速度接近零;在压力曲线的第一个峰值时,被测试者的行走状态为两脚重合;足跟离地时足底

图 1 鞋的弹性模量

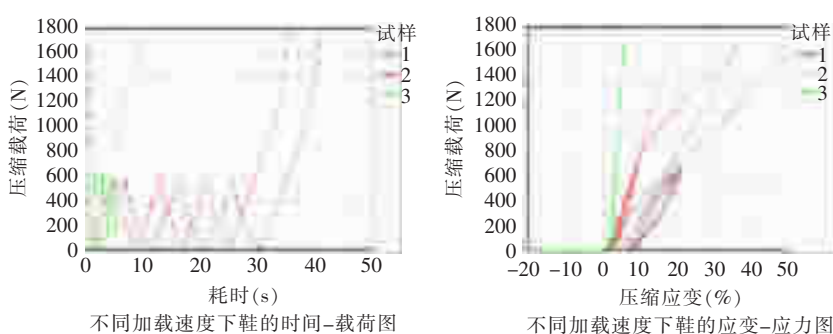
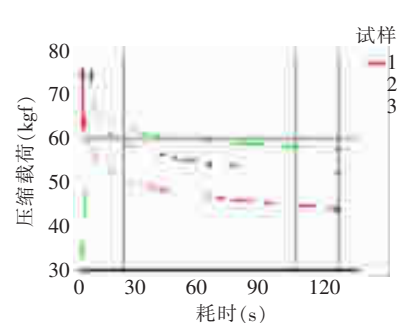


图 2 鞋的应力松弛



压力中心的速度降低直至接近于零;在压强曲线第二个峰值时,足底压力中心的速度增加,而穿硬底鞋足底压力中心速度在全掌着地到足跟离地期变化最为明显,速度此刻降得最低,身体重心的移动速度较慢。从足底压力中心速度曲线上也可以看出穿硬底鞋足底压力中心速度与实验前的差异最大^[9]。

表 2 6 名受试者穿不同鞋实验前后压力中心各角度、长度的变化 ($\bar{x}\pm s$)

参数	实验前	软底鞋	中等硬底鞋	硬底鞋
压力中心与纵轴夹角($^{\circ}$)	39.4±9.83	32.5±17.92	21.75±6.9	33±8.04
压力中心与拐点夹角($^{\circ}$)	141.2±8.79	136.33±10.89	142.5±5	127.5±25
足底压力中心轨迹长度(cm)	24.62±1.33	23.82±1.05	24.75±1.62	24.37±1.67

表 1 加载至 750N 鞋的应力松弛

	F1 (kgf)	F2 (kgf)	F3 (kgf)	力衰减量 (F1-F2)	中间衰减量 (F1-F3)
a3	75.00112	44.37214	46.84964	30.62899	28.15148
a2	75.02050	52.51719	54.71697	22.50331	20.30352
a1	75.00575	57.96554	59.56266	17.04021	15.44309

表 3 6 名受试者穿不同鞋实验前后足底压力轨迹中三点坐标的变化 ($\bar{x}\pm s$,cm)

参数	实验前	软底鞋	中等硬底鞋	硬底鞋
落地点 X	-0.22±0.24	-0.35±0.42	-0.25±0.13	-0.25±0.37
落地点 Y	2.06±0.41	2.67±0.23	2.75±1.1	2.45±0.37
拐点 X	-0.7±0.34	-0.77±0.51	-1.48±0.83	-1.4±0.49
拐点 Y	19.04±1.14	19.81±0.88	18.43±0.79	18.8±1.24
脚尖离地点 X	-1.96±0.43	-1.58±0.76	-1.75±0.95	-1.58±0.79
脚尖离地点 Y	25.38±0.88	25.91±0.94	25.73±0.79	25.52±1.08

图 3 002 受试者穿不同鞋行走足底压力中心曲线的变化

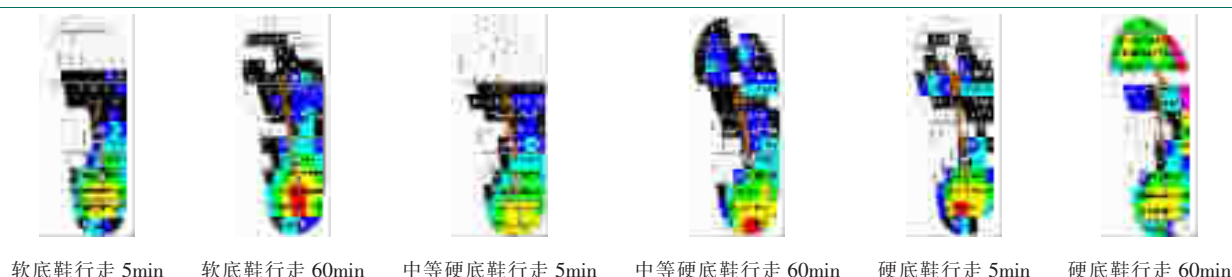
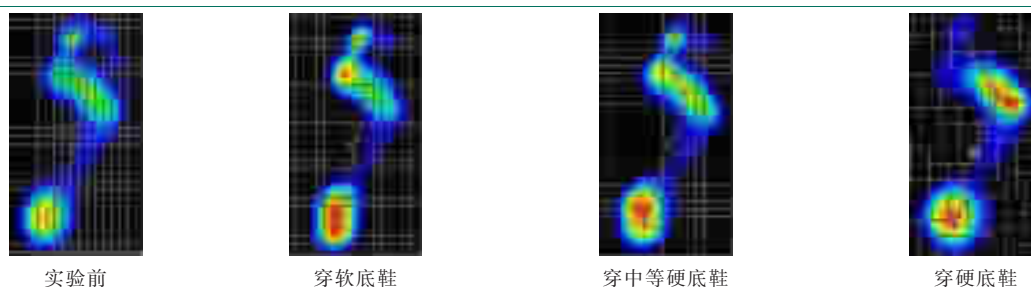


图 4 实验前后单步行走的足底压力中心移动曲线



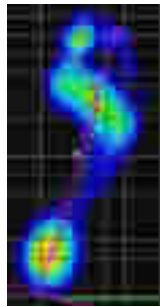
3 讨论

若仅从舒服这个角度看鞋底材料,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,但弹性好的鞋底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。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,所以,地面反作用推动人体前进的力就小了,更易产生疲劳。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,所以对关节保护比较差^[10]。

压力中心移动曲线越长、越靠前,鞋底的弯曲刚度分布

越合理,稳定性越好;曲线太短则说明鞋底中腰过软;曲线后头越平直越不会出现踝关节受损,前头越平直越不会出现足底磨损,所以,压力中心移动曲线两头应尽量平直,增加稳定性。正常的步行运动,需要经过“伸脚”、“运脚”、“着地”三阶段,身体重心伴随步行而移动。重心先是在脚后跟,然后沿着脚的外侧移动到跖趾关节处,再移动至大拇趾的根部,整体趋势就是向前移动,但不是沿着直线进行。所以,压力中心是一个曲线。压力中心的变化与下肢关节周围肌肉的变化及整个身体重心运动相关联。每只脚的压力中心曲线直接反映了踝关节肌肉的神经控制,脚底屈肌、伸肌可以调整身体的压力中心。

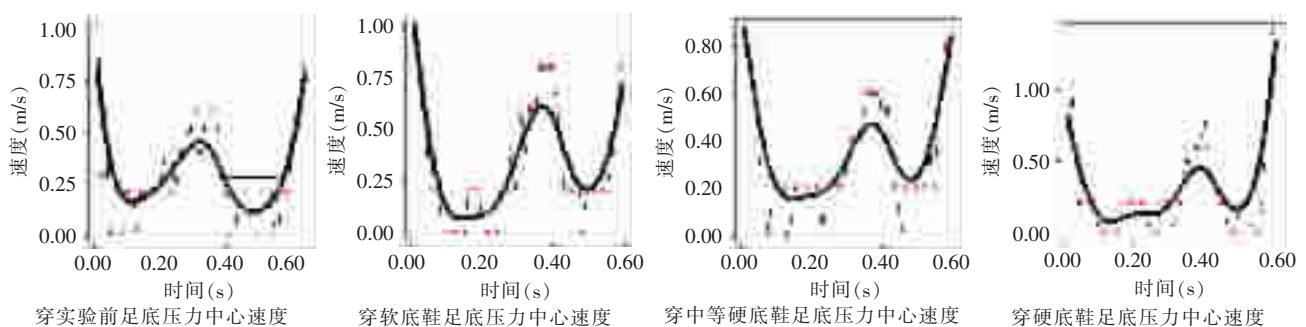
图5 足底压力中心移动曲线示意图



压力中心轨迹揭示足运动稳定性。运动刚开始的5min,足底压力中心的长度就表现为软底鞋最长,压力中心移动曲线长且靠前,足底压力中心在足跟着地后逐渐移到第2跖骨,最舒适;在第60min时有折返且长度进一步变短;中等硬底鞋的压力中心曲线的长度缩短最少;硬底鞋的压力中心曲线的长度缩短最大,走到最后最不适^[11]。

压力中心与纵轴夹角与裸足行走时相比穿3双鞋行走的角度都变小,而且穿中等硬底鞋行走时的角度减小的最明显;压力中心与拐点夹角,与裸足行走时相比穿软底鞋和硬底鞋行走的角度均减小,硬底鞋角度减小的最明显,穿中等硬底鞋行走时的角度略微增加;足底压力中心轨迹长度,与

图6 实验前后行走过程中足底压力中心速度



裸足行走时相比穿中等硬底鞋和硬底鞋行走的轨迹长度都变长,而且穿软底鞋行走时的轨迹长度缩短。

由于穿软底鞋能够吸收更多地面带来的冲击力,穿着舒适,在行走路程不是很长的情况下(一般性散步),可以考虑选择穿着。穿中等硬底鞋给人体的运动负荷刺激最适宜,人体适应能力较强,宜在进行长时间运动时穿着。在要求步行速度较快、时间不是很长的情况下,可以考虑选择穿着硬底鞋。所以,依据健身目的不同应该有针对性地选择合适的鞋,如果需要减肥的应该选择软底鞋、登山运动选择中等硬底鞋,防止踝关节损伤,竞技速度类的选择硬底鞋^[12]。

参考文献

- [1] 许樟荣,敬华.糖尿病足国际临床指南[M].北京:人民军医出版社,2002.31—45.
- [2] 赵吉凤,刘永斌.脊髓不完全损伤患者的步态分析[J].中国康复医学杂志,1999,11(1):31—32.
- [3] Miliron MJ, Cavanagh PR. Sagittal plane kinematics of the lower extremity during distance running [J]. Biomechanics of Distance Running, 1990, 65—105.
- [4] Hennig EM, Milani TL. In-shoe pressure distribution for

running in various types of foot-wear [J]. Journal of Applied Biomechanics, 1995, 11: 229—310.

- [5] 陈晓祖,媛媛.军用鞋靴足底压力的舒适性测试分析[J].中国个体防护装备,2006,1(1):8—11.
- [6] 张敬德,郝智秀,张宇,等.鞋跟高度对地面反力和鞋底压力中心的影响[J].中国康复医学杂志,2007,22(3):241—243.
- [7] 潘国建.足弓的测量及其分析[J].中国康复医学杂志,2005, (10):759—760.
- [8] 金德闻,张培玉,王人成,等.膝上假肢使用者步态对称性分析[J].中国康复医学杂志,1997,12(3):112—115.
- [9] 耿春亚,马军.关于正常青年人步态垂直方向力的检测与统计分析[J].航天医学与医学工程,2003,05:364—367.
- [10] 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,2006,7:500—503.
- [11] Wit BD, Clereq DD, Aerts P. Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running [J]. Biomech, 2000, 33: 269.
- [12] Clark TE, Frederick EC, Hamill CL. The effects of shoe design parameters on rearfoot control in running [J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 1998, 15: 376—381.