

慢跑鞋的足底压强分析与功能评价*

石宏杰¹⁾ 蔡宇辉²⁾ 刘润生²⁾ 王艳菊³⁾

(1)首都体育学院研究生部, 100088, 北京; 2)北京师范大学体育与运动学院, 100875, 北京;

3)北京交通大学附属中学, 100084, 北京)

摘要 采用德国 Novel 公司的 Pedar 鞋垫式(in-sole)足底压力测量系统,对 6 款适合于健身长跑和中长跑运动员训练或公路比赛所穿的慢跑鞋和 1 款体操鞋(模拟赤足状态)进行 3 个速度下的足底压强测量.通过步态周期(T_{GC})、最大地面反作用力(F_{max})、最大足底压强(p_{max})、力量-时间积分值($\int Fdt$)以及压强-时间积分值($\int pdt$)等参数的分析,对各款运动鞋的功能特性进行了初步评价,建立了初步的评价标准.

关键词 慢跑鞋;评价指标;最大足底压强;步态周期;最大地面反作用力

随着运动的普及,健康的关注,参加跑步健身的人越来越多,距离越来越长,也就促使人们在跑步运动中越来越注重运动的效果和防止运动损伤.选择一双适宜的慢跑鞋,无疑是保障健康跑步运动的基础.足是肌肉-骨骼系统的一部分,当跑步运动时它接受和分配身体的负荷,2~3 倍身体的重量分配到组织、鞋和地面,引起损伤的力量也由此而生.另外,地面对运动员足部的支撑时间很短,在这短暂的时间内,地面的反作用力形成力波,传递到地面、鞋、身体组织之间,因练习场地不定,就更增加了对跑鞋的要求^[1].一双好的慢跑鞋应具备:1) 极佳的避震功能,穿着时倍感舒适和安全;2) 具备“回输”功能,能释放吸震时储备的能量使运动员感到省力和轻松;3) 附着力强,运动员易于控制,以便保持正确姿势,避免滑倒.总之,一双理想的运动鞋应具有较佳的调整足底压力平均分布之功能,以提供适当的保护与支撑足部的作用,更甚可提高运动成绩.近年来我国生物力学学者对慢跑鞋的功能进行了有益的探索和研究,但与先进国家相比还较落后.本研究拟在国内外文献资料的基础上利用生物力学手段,结合测量学和计算机辅助技术,对慢跑鞋的功能评价系统进行初步开发,并对一些指标进行量化分析,尝试对评价慢跑鞋功能所需的参数和方法进行探讨和研究.

1 研究方法对象

1.1 实验对象 21 名二级以上中长跑运动员参加了本次实验(2 名为健将,5 名为国家一级),其中,男性 12 名,女性 9 名.受试者的各项参数见表 1.所有受试者在测试前 6 个月内无重大下肢疾病.测试之前,先由施测者说明本研究的目的、研究方法及实验步骤,并告知运动员在自我感觉不能继续实验时要求施测人员终

止实验;在受试者充分了解本研究的实验过程,并进行适应性实验后,测试正式进行.在测试过程中,安排了保护人员,防止意外发生时对运动员造成运动伤害.

表 1 受试者基本资料

| 性别 | 年龄/岁 | 体质量/kg | 身高/cm |
|----|----------|----------|-----------|
| 男 | 21.2±2.3 | 66.8±6.0 | 179.1±3.8 |
| 女 | 20.0±1.3 | 53.9±3.7 | 167.6±4.2 |

1.2 实验方法 在被测试的慢跑鞋中放置足底压强鞋垫,受试者穿戴好测试慢跑鞋和足底压强数据采集盒后,进行系统调零测试.在跑步机上完成 3 个速度(1.5, 3.0, 5.0 $m \cdot s^{-1}$)的测试,每个速度在受试者步幅稳定后采集 10 s 以上的数据.换上另一款慢跑鞋进行相同测试,直到所有被测试的样品全部测试完毕.

1.3 实验仪器与设备 实验所用足底压强采集系统为德国 Novel 公司的 Emed-pedar 鞋垫式足底压强测量系统.数据采集频率为 100 s^{-1} ,备有不同型号的鞋垫以符合受试者的足部大小.在美国 Trackmaster 公司生产的 TM500 跑步机上进行实验,其速度控制误差在 2%之内^[2].测试速度 v 定为 1.5, 3.0, 5.0 $m \cdot s^{-1}$ 3 个速度,分别对国内外 6 个品牌的慢跑鞋编号(A~F)以及体操鞋(模拟赤足状态)进行了测试.测试得到的数据用 Excel 2003 和 SPSS12.0 进行分析研究.

1.4 数据处理 将每位受试者的数据从 Pedar 系统中取出保存为 ASC 格式的文件,在 Excel 2003 中选取右脚的步态资料,除非受试者右脚的步态呈现不稳定状态,则选用左脚的步态资料,去除头尾各 2 步的数据资料,再从中选取步态稳定且较一致的 3 步步态数据.若受试者的步态未达到足够的稳定度时(步频不稳或压强线过度分散),其数据即删除不用.对剩余受试者的步态资料进行计算、整理,得到每一位受试者每步的

全足最大地面反作用力(F_{max})、最大足底压强(p_{max})、最大地面反作用力倍体重值(w_{TW})、力量-时间积分值($\int Fdt$)、压强-时间积分值($\int pdt$)以及步态周期(T_{GC}). 并对上述参数利用 SPSS 12.0 软件进行单因子方差分析(ANOVA), 以比较不同慢跑鞋在不同速度下的差异性.

2 结果与分析

2.1 T_{GC} T_{GC} 是指在行走时, 当左(右)足跟着地至左(右)足跟再次着地之间的时间^[3]. Norkin 等^[4]指出, T_{GC} 包括站立期(stance phase)和摆动期(swing phase). 本研究主要是对运动鞋的功能进行检测和评价, 故只对站立期进行研究. T_{GC} 的时间长短能在一定

程度上反映运动鞋所具有着地时的缓冲功能和蹬伸时的助力功能, 以及运动鞋储能、释能作用. 测量结果显示, 在 3 种速度下各款运动鞋 T_{GC} 值分别为 $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时(1.01 ± 0.03) s, $3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时(0.7 ± 0.02) s, $5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时(0.63 ± 0.03) s, 经 ANOVA 分析, 在相同速度下, 各运动鞋之间的 T_{GC} 差异不显著, 结果见表 2.

不同速度下 T_{GC} 差异不显著的原因可能为: 1) 鞋垫本身的弹性和跑步机履带的松软削弱了穿着体操鞋与穿着运动鞋在 T_{GC} 方面的差异; 2) 人体足部自身结构(如肌腱, 韧带等)的调节作用致使人体在运动过程中能自动调节和适应外部环境的变化. T_{GC} 的差异不显著, 并不能说明穿着体操鞋与穿着运动鞋之间, 甚至是各运动鞋之间不存在差异.

表 2 不同速度下各运动鞋的步态周期 T_{GC} 及其方差分析

| $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ | 慢跑鞋 A | 慢跑鞋 B | 慢跑鞋 C | 慢跑鞋 D | 慢跑鞋 E | 慢跑鞋 F | 体操鞋 | ANOVA |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|
| 1.5 | 1.03 | 0.97 | 1.01 | 1.06 | 1.05 | 1.00 | 0.98 | $P=0.584$ |
| 3.0 | 0.73 | 0.68 | 0.70 | 0.71 | 0.71 | 0.69 | 0.69 | $P=0.236$ |
| 5.0 | 0.65 | 0.58 | 0.61 | 0.65 | 0.62 | 0.65 | 0.62 | $P=0.616$ |

2.2 F_{max} 在 T_{GC} 中脚与地面接触时, 脚给予地面一个作用力, 因而地面也产生一个相对应的反作用力给足部, 此即为地面反作用力. 在行走或跑步时, 人体足部必须承受来自地面的反作用力, 而后利用此力而产生运动, 故此力极为重要. 图 1 显示了 3 种速度下各运动鞋的 F_{max} . 从图中可以看出, 随着 v 的增大, F_{max} 也越大, 而且穿着体操鞋时的 F_{max} 相对穿着慢跑鞋时明显要大, 经 ANOVA 分析, 运动鞋与体操鞋在各速度下 P 均为 0.001, 差异非常显著; 去除体操鞋, 各运动鞋之间差异也很显著, 分别为: $P=0.002(1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})$, $P=0.015(3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})$, $P=0.008(5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})$.

著, 这有可能是因为: 1) 鞋底过薄, 在实验中, 受试者也普遍有此反映; 2) 鞋底材质过软, 慢跑鞋 F 和慢跑鞋 C 也呈现此种特征. 情形比较好的是慢跑鞋 D 和慢跑鞋 E, 在各种速度下, F_{max} 与体操鞋的差异均显著(慢跑鞋 D 在 $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时除外).

表 3 各运动鞋与体操鞋进行独立样本 T 检验结果

| $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ | 1.5 | 3.0 | 5.0 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| 慢跑鞋 A-体操鞋 | 0.013 | 0.178 | 0.168 |
| 慢跑鞋 B-体操鞋 | 0.919 | 0.280 | 0.459 |
| 慢跑鞋 C-体操鞋 | 0.015 | 0.840 | 0.525 |
| 慢跑鞋 D-体操鞋 | 0.024 | 0.200 | 0.033 |
| 慢跑鞋 E-体操鞋 | 0.006 | 0.024 | 0.040 |
| 慢跑鞋 F-体操鞋 | 0.202 | 0.301 | 0.819 |

2.3 F_{max} 倍体重值 F_{max} 倍体重值是 F_{max} 的一个相对值, 能更直观地反应人体运动中承受的地面反作用力大小, 从表 4 中不难看出, 运动 v 越大, 人体要承受的 F_{max} 也就明显增大, 同时也看出, 鞋的作用也在此得以充分显示, 为人体足部提供了很好的保护功能, 但是, 由于人体个体差异性的存在, 使得个别受试者 F_{max} 的倍体重值显得非常的大, 甚至比穿体操鞋时的还大, 如, 慢跑鞋 B 和 C, 其最大值达到了 3.36. 这在一定程度上说明人体运动中的多因素性, 只凭一两个指标很难充分了解运动的本质.

2.4 p_{max} p_{max} 之数值是各分区中所有传感器测得之力与各传感器的面积相除后所得到的最大值. Rodgers^[5]指出足底压强测量显示出若在足部某一位置, 承受过大压强时, 即易产生过度使用伤害. Roy^[6]

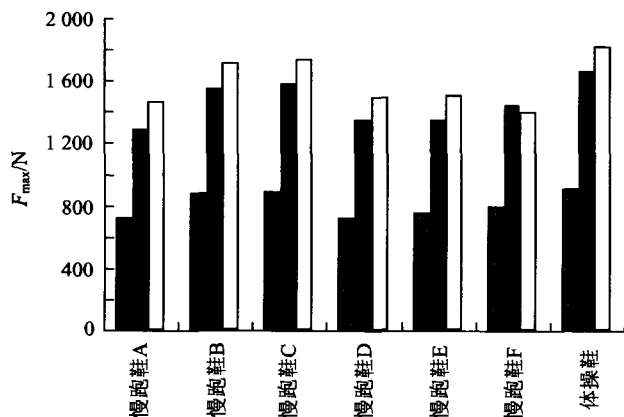


图 1 不同速度各运动鞋的 F_{max} 比较图

■ $v=1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; ■ $v=3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; □ $v=5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

将各运动鞋与体操鞋进行独立样本 T 检验(见表 3), 发现慢跑鞋 A 在低速运动($1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)中, 其 F_{max} 与体操鞋差异显著, 而随着 v 的增大, 其差异变得不显

表 4 不同速度下各运动鞋的 F_{max} 倍体重值

| $v/(m \cdot s^{-1})$ | 慢跑鞋 A | | 慢跑鞋 B | | 慢跑鞋 C | | 慢跑鞋 D | | 慢跑鞋 E | | 慢跑鞋 F | | 体操鞋 | |
|----------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| | 平均值 | 最大值 | 平均值 | 最大值 | 平均值 | 最大值 | 平均值 | 最大值 | 平均值 | 最大值 | 平均值 | 最大值 | 平均值 | 最大值 |
| 1.5 | 1.05 | 1.24 | 1.28 | 1.74 | 1.30 | 1.64 | 1.05 | 1.25 | 1.10 | 1.34 | 1.15 | 1.32 | 1.33 | 1.72 |
| 3.0 | 1.88 | 2.14 | 2.26 | 2.83 | 2.30 | 2.85 | 1.97 | 2.22 | 1.97 | 2.20 | 2.11 | 2.25 | 2.43 | 2.81 |
| 5.0 | 2.13 | 2.40 | 2.50 | 3.36 | 2.54 | 3.17 | 2.18 | 2.42 | 2.19 | 2.42 | 2.05 | 2.34 | 2.66 | 3.16 |

指出 p_{max} 往往和前足病变有极高的相关性。

从图 2 中不难看出, v 增大, p_{max} 有越大的趋势。经 ANOVA 分析, 如表 5 所示, 各鞋(包括体操鞋)以及各运动鞋(不包括体操鞋)之间的差异都很显著(3 $m \cdot s^{-1}$ 时, 各运动鞋之间的 p_{max} 差异不显著), 对 p_{max} 做进一步的 T 检验(表 6)知, 慢跑鞋 A, D, E 在 3 种 v 下的 p_{max} 与体操鞋的差异均很显著, 而慢跑鞋 C, B 和 F 在 3 种 v 下的 p_{max} 则与体操鞋的差异不显著。后三者和穿着体操鞋一样, 产生较大的足底压强。

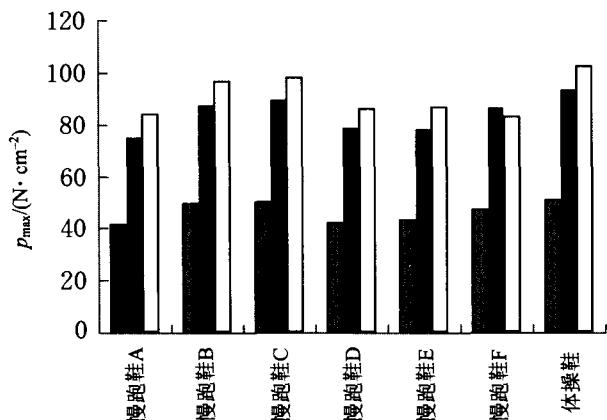


图 2 不同速度下全足的最大足底压强 p_{max}

■ $v=1.5 m \cdot s^{-1}$; ■ $v=3.0 m \cdot s^{-1}$; □ $v=5.0 m \cdot s^{-1}$.

表 5 各鞋之间的 p_{max} 单因子方差(ANOVA)分析结果

| $v/(m \cdot s^{-1})$ | ANOVA(包括体操鞋) | ANOVA(不包括体操鞋) |
|----------------------|--------------|---------------|
| 1.5 | 0.027 | 0.028 |
| 3.0 | 0.033 | 0.083 |
| 5.0 | 0.003 | 0.019 |

表 6 各运动鞋与体操鞋不同速度下 p_{max} 的 T 检验结果

| $v/(m \cdot s^{-1})$ | 1.5 | 3.0 | 5.0 |
|----------------------|-------|-------|-------|
| 慢跑鞋 A-体操鞋 | 0.009 | 0.002 | 0.002 |
| 慢跑鞋 B-体操鞋 | 0.605 | 0.202 | 0.238 |
| 慢跑鞋 C-体操鞋 | 0.852 | 0.344 | 0.340 |
| 慢跑鞋 D-体操鞋 | 0.011 | 0.011 | 0.005 |
| 慢跑鞋 E-体操鞋 | 0.039 | 0.008 | 0.007 |
| 慢跑鞋 F-体操鞋 | 0.468 | 0.389 | 0.024 |

2.5 $\int Fdt$ 足部承受的能量与足部病变有很大关系, 为了解足部所承受的能量, 必须了解步态中的作用力及足部变形量, 但不论是走步还是跑步, 我们很难得到足底变形量, 因此只能以力量来预测足部所承受的能量, 也就是以足底与地面接触过程中的力量与时间的积分值($\int Fdt$)来预测^[7]。如图 3 所示, 在 1.5 $m \cdot s^{-1}$

下, 慢跑鞋 C 和 F 的 $\int Fdt$ 较高(分别为 363.6 和 370 $N \cdot s$); 而在 3.0 和 5.0 $m \cdot s^{-1}$ 的速度下, 则是体操鞋的 $\int Fdt$ (分别为 257.8, 249.7 $N \cdot s$)较高, 特别是在 5.0 $m \cdot s^{-1}$ 时更突出。

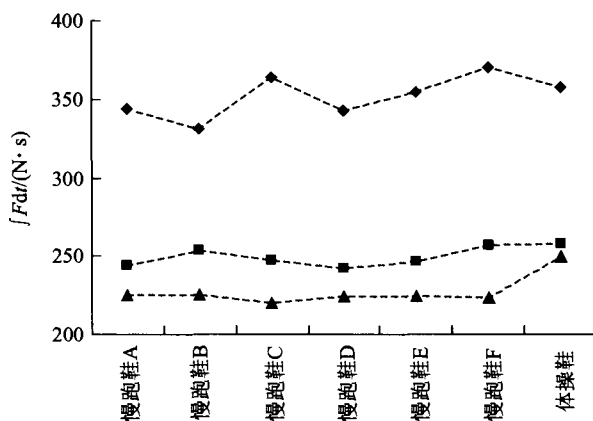


图 3 不同速度下穿着不同鞋具时的力量-时间积分 $\int Fdt$ 值

◆ $v=1.5 m \cdot s^{-1}$; ■ $v=3.0 m \cdot s^{-1}$; ▲ $v=5.0 m \cdot s^{-1}$.

慢跑鞋 D 和 E 则在 3 种速度下的 $\int Fdt$ 值相对都低。但各鞋之间的差异并不是很大, ANOVA 分析结果显示, 它们之间的差异不存在显著关系(1.5 $m \cdot s^{-1}$ 时 $P=0.553$, 3.0 $m \cdot s^{-1}$ 时 $P=0.978$, 5.0 $m \cdot s^{-1}$ 时 $P=0.759$)。

$\int Fdt$ 值, F 和 t 皆为变量, 结合 F_{max} 值和 T_{GC} 可知, 慢跑鞋 B 在 3 种速度下的 F_{max} 较大, 特别是在 1.5 $m \cdot s^{-1}$ 的速度时, 而其 $\int Fdt$ 值在此速度下却相对较低, 由于前面在分析 T_{GC} 时已知, 各鞋的 T_{GC} 不呈差异显著性, 也就可以看出慢跑鞋 B 受力不均衡, 步态中足底压强起伏较大, 从而导致了此种结果。

2.6 $\int pdt$ 足底局部过高压强的产生才是造成足部结构出现问题或造成伤害的主要原因, 除了考虑 p_{max} 值外, 亦须衡量足底与地面接触时间的差异效应^[8]。因此, 探讨 $\int pdt$ 值亦有其重要性。其值的计算方法为足底压强 p 对时间 t 的积分(见图 4), p 及 t 皆为变量。

参考图 4, 在步行状态下(1.5 $m \cdot s^{-1}$), 慢跑鞋 C, F 和体操鞋均显示出较大的 $\int pdt$, 特别是慢跑鞋 C, 其值达到了 23.7 $N \cdot s \cdot cm^{-2}$ 。与其他指标结合分析, 慢跑鞋 C 和 F 在步行状态下, 无论是 p_{max} , F_{max} , 还是 $\int Fdt$ 值, 都处于一个相对较高的区域, 这也表明了慢跑鞋 C 在低速运动中是不能很好地发挥运动鞋应具有的功能。

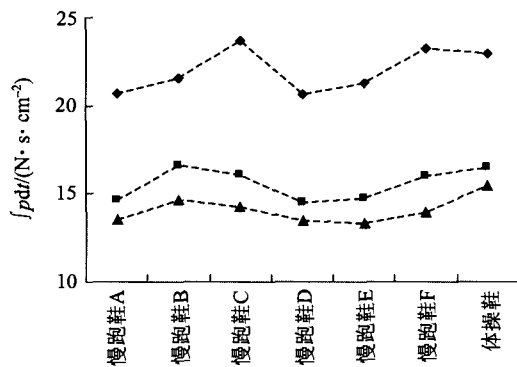


图4 不同速度下穿着不同鞋具时的
压强-时间积分 $\int p dt$ 值

◆ $v=1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; ■ $v=3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; ▲ $v=5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

能,其原因既可能是鞋底材料选择上的问题,也可能是鞋楦形状的问题,需进一步研究,但通过上述几个指标的综合分析,我们已经了解到它确实存在问题。

而在跑步运动中($3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的速度),慢跑鞋B、F和体操鞋有较高的 $\int p dt$ 值,表明慢跑鞋B在进行较高速度的运动,与其进行低速运动时表现有一定的区别,不宜长时间穿着慢跑鞋B进行高速运动。相对于其他运动鞋来说,慢跑鞋F不论在低速还是高速,均存在一定问题,穿着慢跑鞋F运动时需加以注意。

3 结论与建议

1) 在各种 v 下, F_{\max} 、 p_{\max} 等指标随着 v 的增加而增加,而 $\int F dt$ 和 $\int p dt$ 则由于随着 v 的增加,因 T_{GC} 减小的缘故而不断减小。

2) 各慢跑鞋间的 T_{GC} 不存在显著差异, F_{\max} 倍体重值也不能得出有利于分析慢跑鞋间功能差异的有效指标。

3) 通过对 F_{\max} 、 p_{\max} 、 $\int F dt$ 和 $\int p dt$ 的综合分析可以对各慢跑鞋的功能进行初步评价,并可通过以上4个指标建立慢跑鞋功能评价的初步标准。

4) 不同运动鞋其性能存在较大差异,且因运动速度不同,也会表现出不同的功能状态。特别是在长时间的运动中,如何减缓地面对人体的冲击,防止运动损伤,在蹬伸时给予足部更大的支持力,增加运动舒适性,提高运动成绩,都是制鞋厂商需要不断研究的课题。

本研究对运动鞋的评价还处于初级阶段,而且只能发现运动鞋在运动中是否存在问题,而导致这些问题的具体原因,还需要进一步对鞋底材料、鞋楦形状等进行深入研究。另外,增加研究的参数,细化研究的区域,也是深入了解慢跑鞋功能机制的一种渠道。

4 参考文献

- [1] 彼德森, 胡声宇编译. 特殊区域的运动损伤[J]. 国外体育科学, 1998(2/3):72
- [2] 林逸录. 国内男青年走与跑之足底压力分析[J]. 国立体育学院论坛, 1999,10(1): 189
- [3] 郑秀媛, 侯曼, 忻鼎亮, 等. 现代运动生物力学[M]. 北京:国防工业出版社, 2002:399
- [4] Norkin C C, Levangie P K. A Comprehensive Analysis [J]. Joint Structure & Function, 1992:448
- [5] Rodgers M M. Dynamic biomechanics of the normal foot and ankle during walking and running [J]. Physical Therapy, 1988, 68(12):1822
- [6] Roy K J. Force, pressure and motion measurements in the foot: current concepts [J]. Clinical Podiatric Medical Surgery, 1988, 5:491
- [7] 詹益坤, 李淑贞, 赵令怡, 等. 正常青年人之足底压力分析[J]. 中华物理杂志, 1997, 22:81
- [8] Sneyers C J L, Lysens R, Feys H, et al. Influence of malalignment of feet on the plantar pressure pattern in running [J]. Foot & Ankle, 1995, 16:624
- [9] Kernozek T W, LaMort E E, Dancisak M J. Reliability of an in-shoe pressure measurement system during treadmill walking [J]. Foot and Ankle, 1996, 17(4):204

INITIAL DEVELOPMENT OF EVALUATING JOGGING SHOES

Shi Hongjie¹⁾ Cai Yuhui²⁾ Liu Runsheng²⁾ Wang Yanju³⁾

(1)Department of Graduate, Capital Institute of Physical Education, 100088, Beijing, China; 2)School of P. E. and Sports Science, Beijing Normal Universtiy, 100875, Beijing, China; 3)Middle School Attached to Northern Jiaotong University, 100084, Beijing, China)

Abstract The research measures the plantar pressure of six pairs of jogging shoes and gym shoes of different styles (to simulate barefoot state) at three different speeds with the Pedar in-sole plantar pressure measure system of a Germany company, Novel. By the parametric analysis of gait cycle (T_{GC}), maximum force (F_{\max}), peak plantar pressure (p_{\max}), force-time integral ($\int F dt$) and pressure-time integral ($\int p dt$) etc., the research makes a pilot evaluation on the functions of the different styles of sports shoes and establishes a primary evaluation standard.

Key words jogging shoe; evaluation; p_{\max} ; T_{GC} ; F_{\max}