

女青年异常步态行走时的足底压力特征*

霍洪峰¹ 吴艳霞¹ 付丽敏² 赵焕彬^{1,3}

“外八字”(toes out)、“内八字”(toes in) 是常见畸形步态,尤以女青年发病率较高,不仅失去了体型美,行走不力,还会影响生活,对提高学生的体育能力和未来体育人才的培养都会带来不利的影响,“外八字”、“内八字”步态特征以及预防和矫正日益成为体育工作者待解决的问题,也是医学工作者急于解决的难题之一。步态受到人体解剖结构、生理功能、运动控制能力及心理状态等多种因素的影响,可以从一个侧面反映出人的病变特征,通过分析,可以帮助医生科学地进行病因分析和病情诊断、疗效评定、指导患者行走训练^[1-9]。足底压力测量作为当今步态研究中最先进的技术,将开辟运动生物力学新的研究领域,为研究足部的结构、功能和动作控制,足部疾病做出合理的解释^[10-17]。

本研究将利用足底压力测量系统对女大学生“外八字”、“内八字”等异常步态的足底压力特征及步态分析,探讨不同步态的运动特征,为足底压力在各领域的应用研究提供基线数据。

1 对象与方法

采用单一样本设计。

1.1 对象

抽取河北师范大学体校女大学生 40 名为观察对象,无足部畸形和足部外伤史,足踝关节活动正常,步态正常。其基本情况见表 1。所有受试者对实验均知情同意,测试于 2008 年 11 月在河北师范大学体育学院步态分析室完成。

表 1 受试者基本情况比较 ($\bar{x} \pm s$)

性别	数量	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)	BMI(kg/m ²)	鞋号
女	40	20.3±0.6	163.6±2.1	54.0±4.1	20.4±2.1	38±1.2

1.2 方法

应用比利时 RSscan 公司生产的足底压力分布测试平板系统 Footscan insole 进行测试。测量频率为 500Hz,传感器厚度 2.2mm,传感器密度 4 个/cm²。引出厚度 1.5mm,压力范围 1—60N/cm²,最小分辨率为 25g,一致性为±25g。

检测方法:将 Footscan 测力平板平放在地板上,测力平板两边均铺上延长跑道,所有受试者均脱鞋袜,每位受试者分别以正常步态、“外八字”、“内八字”行走,足底压力分布解析系统可获得完整步态周期的足底压力分布图,测试 3 次。

数据采集与分析采用配套软件 footscan 7.0,分析过程将足底分为 10 个区域(图 1,见彩色插页):第 1 趾骨、第 2—5 趾骨、第 1 跖骨、第 2 跖骨、第 3 跖骨、第 4 跖骨、第 5 跖骨、足弓、足跟内侧和足跟外侧。

主要观察指标:足长、时相、冲量。

1.3 统计学分析

采集数据首先应用系统自带的分析软件进行压力分布动态云图显示、压力中心移动曲线计算等操作。所有数据处

理均用 SPSS11.0 软件,用简单描述性统计,结果用均数±标准差表示,样本率的检验用 χ^2 检验。在文献资料研究的基础上,进行分析,得出一些规律性的认识。

2 结果与分析

2.1 三种步态运动时足长分析

人双足交替支撑地面才得以直立行走,支撑阶段是下肢肌肉骨骼系统的最大应力时期,直接承受最大应力的组织器官就是足,行进中的足在足蹬地并离开地面的过程中,负荷通过足跟垫传递到足前部,最终达到足尖。速度、步态不同,足在行走过程中,足的着地方式、着地面积也发生着变化。见表 2,图 1—3(见彩色插页)。

图 1—3 为同一受试者在正常步态、“外八字”、“内八字”三种不同步态行走时足在着地过程中足长的变化图。

图 1 中为受试者在以正常步态行走时,足底受力由足跟先着地再过渡到全足,最后由足前掌蹬离地面,足的后跟部及足的外侧承受较大的足底压力。图 2 为受试者在以“外八字”步态行走时,由足的外侧先着地,到全足着地之后由前足掌蹬离地面,足的第一趾骨及跖骨处受到很大的压力。与正常步态相比,以“外八字”步态行走时,足底受力面中足长减小,左足长由正常步态的 23.7cm 减小到“外八字”步态的 22.3cm,右足长由正常步态的 23.4cm 减小到“外八字”步态的 22.6cm。足的宽度变大,左足宽由正常步态的 6.8cm 加大到“外八字”步态的 7.3cm;右足宽由正常步态的 6.8cm 加大到“外八字”步态的 7.5cm,差异具有显著性意义。

图 3 为受试者在以“内八字”步态行走时,左足长由正常步态的 23.7cm 减小到“内八字”步态的 22.3cm,右足长由正常步态的 23.4cm 减小到“内八字”步态的 22.6cm。左足宽由正常步态的 6.8cm 减小为内八字步态的 6.2cm,右足宽由正常步态的 6.8cm 减小为“内八字”步态的 6.0cm,足的宽度变窄,差异具有显著性意义。

以“内八字”、“外八字”行走会导致蹬伸时的推进力不是直线向前,而是斜向的,行走方向上的蹬地力较小。作为杠杆的足的长度下降了,因此导致步长的缩短。同时,行走过程中足受力顺序不是沿足纵弓的方向,而是有一定的夹角,因此足弓不能起到减震的作用,也就增加损伤的几率。以“内八字”步态行走时足着地方式为内扣,由于足底受力由足跟到前掌过渡不好,使得足的后跟部及足的第一、二跖骨处受到

* 基金项目:河北省教育厅自然科学项目(2008470)

1 河北师范大学体育学院,石家庄,050016

2 河北体育学院

3 通讯作者

作者简介:霍洪峰,男,硕士,助教

收稿日期:2008-10-06

很大的压力。

2.2 足着地时期时相分析

走是人体周期性水平位移的基本形式,按动作产生的动力学特征来分析,走是通过腿部后蹬与上、下肢摆动相配合而产生前进动力的周期性位移运动。行走过程中,从一侧足跟着地开始到该足跟再次着地构成一个步态周期。对指定的下肢而言,人行走时的步态周期分为两个时期:支撑时期和摆动时期,其中,如图4所示(见彩色插页);支撑时期根据足刚开始着地时相(initial foot contact,IFC)、跖骨刚开始着地时相(initial metatarsal contact,IMC)、趾骨刚开始着地时相(initial forefoot flat contact,IFFC)、足跟离开地面时相(heel off,HO)、趾离地时相(last foot contact,LFC)几个关键时刻,支撑时期又分为着地阶段(initial contact phase,ICP)、前掌接触阶段(foot flat phase,FFCP)、整足接触阶段(foot flat phase,FFP)、离地阶段(foot push off phase,FFPOP)等阶段。见表3—4。

足底各区域的受力阶段以整足百分比表达,以消除各个受试者个体差异所致的误差,即对足底各指标进行归一化处理,从而更准确地反映各个指标的变化。通过足支撑时期各阶段动态足底压力支撑时间分配数据分析,由表3可以看出,三种步态行走时,足底受力基本都由足跟先着地再过渡到全足,最后由足前掌蹬离地面,这是由运动形式决定的。但支撑时期的长短顺序是不相同的。在正常步态行走时,支撑时期时间最长的是整足接触阶段,依次是离地阶段、着地阶段、前掌接触阶段;以“外八字”步态行走时,支撑时期时间最长的是整足接触阶段,依次是离地阶段、前掌接触阶段、着地阶段;以“内八字”步态行走时,支撑时期时间最长的是离地阶段,依次是整足接触阶段、前掌接触阶段、着地阶段。

以“外八字”、“内八字”步态行走着地时相均较正常步态短,在速度及各方面因素相同的情况下行走,每次足着地瞬间到蹬离地面的过程中,人体的动量变化是相同的。根据动量定理:

$$\sum_{i=1}^n \bar{F}_i(t-t_0)=p-p_0 \quad (1)$$

其中 $\sum_{i=1}^n F$ 表示人体所受合力, p_0 和 p 分别表示人体着地瞬间的动量和离地面瞬间的动量,可知,在这段时间内足受到的平均作用力可反映行走着地的缓冲效果,因此,以“外八字”、“内八字”步态行走着地缓冲效果差。压力中心移动轨迹与足底相关区域峰值压力支撑时间相关,整足接触时相的长

短可反映压力中心移动轨迹移动速度的快慢,“外八字”步态行走整足接触时相较正常步态长,着地时间过长(484ms),压力中心过于密集,若长期大负荷刺激第2、3跖骨头处易形成胼胝体;“内八字”步态行走整足接触时相较正常步态短,压力中心移动速度过快且不均匀(平均213ms),表明足中部触地控制不良,同时导致离地时相变长,反映出足前掌蹬伸延迟,过于密集的压力中心也会使前掌处形成胼胝体。

2.3 足底各部位的冲量

从表5中可以看出,受试者以正常姿势行走时,足部最大冲量部位在足跟,各部位最大压力由大到小依次为第2跖骨、第1跖骨、第3跖骨、第1趾骨、第4跖骨、第2—5趾骨、足弓、第5跖骨,左右双足的分布规律基本一致;以“外八字”步态行走时,足部最大冲量部位在足跟,各部位最大压力由大到小依次为第2跖骨、第1跖骨、第3跖骨、第4跖骨、第1趾骨、第2—5趾骨、足弓、第5跖骨,左右双足的分布规律基本一致;以“内八字”步态行走时,足部最大冲量部位在足跟,各部位最大压力由大到小依次为第3跖骨、第2跖骨、第1跖骨、足弓、第4跖骨、第1趾骨、第5跖骨、第2—5趾骨,左右双足的分布规律基本一致。受试者以“外八字”步态行走时足跟及前掌第2、3跖骨处的冲量(31.9N·s)远大于在以正常步态时(25.7N·s),差异具有显著性意义;受试者以“内八字”步态行走时,前掌第3跖骨处的冲量(28.6 N·s)大于在以正常步态时(16.1N·s),差异具有显著性意义。

足底的不同分区具有不同的功能,每一分区的压力-时间积分,即冲量,反映了每个分区对总体速度的贡献率。冲量表示力在一定时间内对足底各区域连续作用所产生的积累效应,足底各区域冲量的大小受每个区域的压力值和接触时间两个因素的影响,对足底各区域所受冲量的研究对足部所造成的伤害,同时为非正常步态人群特殊鞋类及个性化鞋垫的设计都具有重要的意义。以“外八字”、“内八字”步态运动与正常步态运动双足各区域冲量分布情况相比,非正常步态人群所受地面反作用力的冲量均大于正常人群足底各区域,当足与地面接触过程中应注意足底压力和作用时间的关系,若足的冲量恒定时,应充分利于足弓等的减震功能,增加足与地面的接触时间,从而减小冲击力值,避免运动损伤。即非正常步态人群鞋的设计应尽可能增大与足的接触面积,进而增加足与地面的接触时间,达到减小冲击力值的目的。

3 结论

表2 三种步态运动时足长

($\bar{x} \pm s$)

	正常步态		“外八字”步态		“内八字”步态	
	左足	右足	左足	右足	左足	右足
足长	23.7±1.6	23.4±1.4	22.3±1.1 ^②	22.6±1.5 ^②	22.6±0.9 ^①	22.7±1.3 ^①
足宽	6.8±0.5	6.8±0.6	7.3±0.7 ^①	7.5±0.8 ^①	6.2±0.6 ^①	6.0±0.4 ^①

①与正常步态相比 $P<0.05$, ②与正常步态相比 $P<0.01$

表3 不同步态时足底各区域受力时相

($\bar{x} \pm s$, $n=30$, %)

	正常步态		“外八字”步态		“内八字”步态	
	左足	右足	左足	右足	左足	右足
着地阶段	63±6.7	56±4.7	24±3.9	40±5.9	36±3.5	48±5.3
前掌接触阶段	34±3.4	47±6.5	63±4.4	48±6.2	228±23.9	135±43.1
整足接触阶段	314±43.1	312±35.1	459±42.9	484±53.3	213±32.1	253±23.2
离地阶段	297±25.4	259±35.7	287±23.4	278±23.1	299±24.5	303±52.6
支撑期	706±78.3	675±51.3	833±91.3	849±59.2	730±47.6	738±90.1

表4 不同步态时足底各区域占支撑期的百分比

($\bar{x} \pm s$, n=30, %)

	正常步态		“外八字”步态		“内八字”步态	
	左足	右足	左足	右足	左足	右足
着地阶段	8.9±0.7	8.3±0.5	2.9±0.4 ^②	4.7±0.3 ^②	4.9±0.5 ^②	6.5±0.9 ^②
前掌接触阶段	4.8±0.4	6.9±0.7	7.6±0.3 ^①	5.6±0.6	31.2±3.5 ^②	18.3±4.3 ^②
整足接触阶段	44.5±2.3	46.4±3.2	55.1±6.4 ^①	57.0±7.1 ^①	29.2±4.2 ^①	34.2±3.9 ^①
离地阶段	42.1±5.1	38.2±5.7	34.4±3.6 ^①	32.8±4.8 ^①	40.9±5.2 ^①	41.0±3.1 ^①
支撑期	100	100	100	100	100	100

与正常步态相比:① $P<0.05$;② $P<0.01$

表5 不同步态时双足足底各区域所受冲量情况

($\bar{x} \pm s$, n=30, N·s)

部位	左脚足底受力			右脚足底受力		
	正常步态	“外八字”步态	“内八字”步态	正常步态	“外八字”步态	“内八字”步态
Toe 1	8.6±1.4	9.1±1.8	4.8±1.3	9.5±2.1	14.0±2.9	2.4±0.5 ^①
Toe 2—5	2.4±0.3	0.7±0.5	4.1±0.7	7.5±1.9	6.2±1.0	2.9±0.6
Meta 1	18.9±2.9	23.5±4.9 ^①	11.7±3.1 ^①	17.8±3.6	21.1±3.2	6.3±1.5 ^①
Meta 2	25.7±4.8	31.9±7.4 ^②	27±9.6	33.1±6.4	38.2±7.5 ^②	23.1±6.4 ^②
Meta 3	16.1±3.1	27.8±6.3 ^②	28.6±11.6 ^②	31.3±2.8	14.4±4.3 ^②	36.2±9.3 ^②
Meta 4	5.4±1.9	10.7±2.9	9.5±2.6	11.0±2.7	3.8±0.8	7.5±1.8
Meta 5	1.7±0.8	4.4±1.0	4.3±0.6	1.9±0.5	1.3±0.2	4.2±0.6
Midfoot	2.4±0.2	1.0±0.4	11.0±3.2	2.5±0.7	5.8±0.6	9.0±0.2
Heel Medial	35.6±6.9	42.4±9.2 ^②	25.7±7.5	23.7±3.6	60.1±10.5 ^②	31.8±4.8
Heel Lateral	31.6±5.4	30.2±6.3	29.8±8.0	17.6±2.9	45.2±5.3 ^①	34.4±8.7 ^①

与正常步态相比:① $P<0.05$;② $P<0.01$

本实验应用高频足底压力测量系统,对女青年不同步态的足底压力特征进行分析,探讨两种畸形步态与正常步态的动力学特征,测序结果表明,畸形步态表现的力学特征可为步态矫正及矫形运动鞋的设计提供基础的数据参考。

参考文献

- [1] 周华. 优秀中长跑运动员途中跑的步态和足底压力分布特征的研究[D]. 山东体育学院.2007.
- [2] 郭胜. 世界优秀男子 400M 运动员步态变化对速度结构的影响[D]. 东北师范大学.2006.
- [3] 胡雪艳, 恽晓平, 郭忠武. 正常成人步态特征研究[J]. 中国康复理论与实践, 2006,12(10): 855—857.
- [4] 朱晓兰, 赵芳, 周兴龙. 老年人步态特征的分析及其评价系统的初步建立[J]. 北京体育大学学报, 2006,29(2):201—203.
- [5] Cobb J, Claremont DJ. Transducers for foot pressure measurement: survey of recent development [J]. Med Biol Eng Comput, 1995,33(6): 525—533.
- [6] Devita P, Hortobanyi T, Barrier J. Gait biomechanics are not normal after anterior cruciate ligament reconstruction and accelerated rehabilitation [J]. Med Sci Sports Exerc, 1998, 30(10):1481—1488.
- [7] 李伟, 汪宗保, 李国平, 等. 膝关节骨性关节炎患者步态运动学参数的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(1):11—13.
- [8] 李峰, 李珩, 文静, 等. 基于步态分析的击剑运动员膝损伤原因探讨[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(3): 254—255.
- [9] 江晓峰, 胡雪艳. 偏瘫步态膝关节角度分析 [J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(10): 918—920.
- [10] 李建设, 王立平. 足底压力测量技术在生物力学研究中的应用与进展[J]. 北京体育大学学报, 2005,28(2):191—192.
- [11] Chau T. A review of analytical techniques for gait data. Part 1: fuzzy, statistical and fractal methods [J]. Gait and Posture, 2001, 13(1): 49—66.
- [12] Hosein R, Lord M. A study of in-shoe plantar shear in normals[J]. Clin Biomech, 2000, 15: 46—53.
- [13] Weng-Pin Chen. Stress distribution of the foot during mid-stance to push-off in barefoot gait: a 3-D finite element analysis[J]. Clinical Biomechanics, 2001, 16: 614—620.
- [14] Holtzer R, Verghese J, Xue X, et al. Cognitive processes related to gait velocity results from the Einstein aging study[J]. Neurophysiology, 2006,(20):215—223.
- [15] Forner-Cordero A, Koopman HJ, van der Helm FC. Inverse dynamics calculations during gait with restricted ground reaction force information from pressure insoles [J]. Gait Posture,2006,(23):189—199.
- [16] 李海, 周安艳, 黄东峰, 等. 痉挛型脑瘫儿童步行时的动态足底压力特征[J]. 中国康复医学杂志,2007, 22(1): 44—47.
- [17] 徐晴岩, 周大伟, 李立峰, 等. 使用硅胶足垫分解足底压力的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(8): 736—738.