

文章编号:1004-7220(2010)05-0363-06

## 性别与 BMI 对儿童动态足底压力分布的影响

闫松华<sup>1</sup>, 董 灿<sup>2</sup>, 杨 进<sup>1</sup>, 孙世杰<sup>1</sup>, 刘志成<sup>1</sup>

(1. 首都医科大学 生物医学工程学院, 北京 100069; 2. 中国人民解放军总医院 301 医院, 北京 100853)

**摘要:** **目的** 通过比较肥胖儿童和正常儿童男女平地自然行走时的足底压力分布参数以及考察体重指数 (body mass index, BMI) 与各参数的相关性, 探讨性别和 BMI 对儿童动态足底压力分布的影响。 **方法** 采用 0.5 m footscan<sup>®</sup> USB 平板测试系统 (RSscan International 公司, 比利时) 对 79 名儿童自然行走时的步态进行测试, 数据采用 SPSS16.0 进行统计处理。 **结果** (1) 对于肥胖儿童和正常儿童, 男女之间大部分的足底压力参数均没有显著性差异; (2) 正常男女儿童足中部与地面冲量的百分比以及在 M5、MF 和 HL 等区域的压强峰值出现时间存在显著性差异; (3) BMI 与足支撑分期、足中部与地面冲量百分比、T2-5 压强峰值、HM 和 HL 压强峰值出现时间无显著相关性; (4) BMI 与其余足底压力分布参数均有良好相关性。 **结论** (1) 性别对肥胖儿童动态足底压力分布没有显著影响, 但正常儿童部分动态足底压力分布参数受性别的影响; (2) BMI 大的儿童行走的稳定性差, 行走效率低; (3) BMI 大的儿童行走易疲劳, 易引起踝关节等部位损伤。

**关键词:** 肥胖儿童; 压力分布; 体重指数; 步态分析; 运动学

**中图分类号:** R3 **文献标志码:** A

## Effects of gender and BMI on dynamic plantar pressure distribution in children

YAN Song-hua<sup>1</sup>, DONG Can<sup>2</sup>, YANG Jin<sup>1</sup>, SUN Shi-jie<sup>1</sup>, LIU Zhi-cheng<sup>1</sup> (1. Biomedical Engineering School, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 2. Chinese PLA General Hospital, Hospital 301, Beijing 100853, China)

**Abstract: Objective** To investigate the effects of gender and body mass index (BMI) on dynamic plantar pressure among children by comparing the plantar pressure parameters of obese boys and girls, as well as normal boys and girls when walking at preferred speed on flat ground and reviewing the relativity of children's BMI and these parameters. **Method** 79 children were enrolled in this research to make gait test when walking naturally, using a 0.5m footscan<sup>®</sup> plate system (RSscan International, Belgium). The results were statistically processed and analyzed by SPSS16.0. **Results** (1) There is no significant difference in mostly dynamic plantar pressure parameters between genders for both obese and normal children; (2) There is significant difference in the impulse percentage in mid foot and ground, and appearing time of pressure peak values of several areas including M5, MF and HL for normal children; (3) There is no significant correlation between BMI and foot support duration, impulse percentage between mid foot and ground, pressure peak value of T2-5, appearing time of pressure peak value of HM and HL; (4) BMI and the other plantar pressure distribution indicators are well correlated. **Conclusions** (1) There is no significant difference on dynamic plantar pressure distribution between genders for obese children, but there are effects of genders on partial dynamic plantar pressure distribution parameters for normal children; (2) Children with larger BMI are of worse walking stability and lower efficiency; (3) Children with larger BMI tend to feel fatigue in walking and get injured in ankle joints and other parts of the body more easily.

收稿日期:2010-07-07; 修回日期:2010-08-27

基金项目:北京市教育委员会面上项目(KM200810025019)。

作者简介:闫松华(1974-), 副教授, 研究方向:生物力学与康复工程学。

通讯作者:刘志成, 男, 教授, 博士研究生导师, Tel:(010)83911559; E-mail: zcliu@ccmu.edu.cn

**Key words** : Obese children; Pressures distribution; Body mass index(BMI); Gait analysis; Kinematics

肥胖已成为困扰全民健康的一个重要问题,尤其对处于生长发育期的儿童。最近北京市卫生局发布的健康播报显示,北京市2~18岁儿童青少年肥胖率接近10%,还有11%的同龄儿童处于超重状态,极可能发展成为肥胖。而肥胖引起的许多疾病将影响到成年。

国内儿科领域的步态分析处于刚起步阶段,各方面的儿童步态参数均缺乏,医生评估儿童的病理性步态靠传统的目测法,因此对于儿童步态的研究,具有一定的临床意义。最近国内外学者对肥胖儿童与正常儿童在足的结构<sup>[1-2]</sup>、运动学<sup>[3-7]</sup>、动力学<sup>[8-9]</sup>、足底压力分布<sup>[11-13]</sup>、膝关节生物力学<sup>[14]</sup>等方面做了一些研究,但关于性别对步态影响的研究相对较少。Hennig等<sup>[15]</sup>的研究表明,男女学生足底压强峰值和冲量没有显著性差异。郭忠武等<sup>[16]</sup>对健康青年人步态的研究发现两性之间部分步态运动学参数的数值存在显著性差异,并且除个别参数外,这种两性之间的步态运动学参数的差异并不是仅由身高的差异所引起的。周安艳等<sup>[17]</sup>对学龄前男女儿

童的一些步态运动学参数进行了比较,发现无显著差异。而性别对儿童自然行走时足底压力分布的影响,目前尚未见报道。

基于以上情况,本研究旨在探讨男性和女性儿童足底压力分布是否存在差异,并考察体重指数(body mass index, BMI)与足底压力分布的相关性,以期为临床诊断、治疗肥胖儿童下肢疼痛和开具运动处方提供理论和实验依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 测试对象

测试对象为北京市丰台区玉林小学79名年龄为7~11岁的学生,其中肥胖男性儿童29名,肥胖女性儿童11名,正常男性儿童22名,正常女性儿童17名。所有受试者都签署了知情同意书。划分标准根据中国儿童肥胖标准筛查, BMI值>21为肥胖, 16< BMI值<19为正常。所有受试者均无肌肉、骨骼和运动神经方面的疾病。

表1 测试对象基本情况

Tab.1 Basic characteristics of subjects

指标	肥胖男童	肥胖女童	正常男童	正常女童
年龄/yr	9.52 ± 1.84	9.82 ± 1.47	10.09 ± 0.53	10.38 ± 0.74
身高/m	141.64 ± 11.37	144.00 ± 14.94	138.05 ± 7.48	138.47 ± 7.40
体重/kg	48.69 ± 12.40	52.64 ± 17.11	32.18 ± 3.911	32.94 ± 5.26
BMI	23.85 ± 2.76	24.62 ± 3.96	16.84 ± 1.09	17.06 ± 1.18

### 1.2 实验仪器

应用0.5 m footscan® USB平板测试系统对受试者进行测试。测试频率为300 Hz。Footscan® USB平板测试系统包括一个测力平板和相应的配套软件,测力平板面积为40 cm × 50 cm(4个传感器/cm<sup>2</sup>,共有4 096个传感器)。相应的配套软件可得到原始数据,并对其进行初步处理。

### 1.3 测试步骤

要求受试者赤足常速自然行走通过测力板,共6次,其中左右脚各3次踏上测力板。每个人的数据取3次的平均值。在正式测试之前,测试者进行几次练习,以确保能够适应实验环境,符合实验

要求。

### 1.4 测试指标

(1) 支撑期分期:将一个步态周期中的足支撑时期(即足与地面接触过程)分为3个阶段,即足跟着地期、足支撑期和足蹬伸期。

足跟着地期:从足跟刚开始接触平板至其中一跖骨接触平板的时间;

足支撑期:从某一跖骨接触平板至足跟离开平板的时间;

足蹬伸期:从足跟离开平板至全足离开平板的时间;

(2) 足底各区域压强峰值及其压强峰值出现时

间(压强以  $N/cm^2$  为单位,时间以占支撑相百分比表示)<sup>[13]</sup>。

(3) 足底 3 个区域(足前部、足中部、足后部)所受冲量百分比<sup>[13]</sup>。

### 1.5 数据处理

数据处理采用 SPSS16.0,所有数据均表示为均值  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm sd$ )。男性儿童和女性儿童的各项指标比较采用独立样本  $t$  检验;用直线相关检验 BMI 与各项指标的相关性。 $P < 0.05$  表示在 0.05 水平上有显著性差异, $P < 0.01$  表示在 0.01 水平上有显著性差异。

## 2 结果

### 2.1 支撑期分期

#### 2.1.1 性别差异

测试结果(见图 1、2)显示:无论肥胖儿童还是正常儿童,男女之间足支撑分期的 3 个阶段均无显著性差异( $P > 0.05$ )。

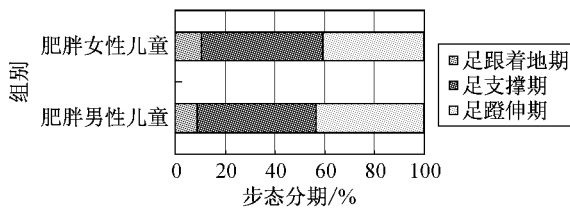


图1 肥胖儿童男女支撑期分期  
 Fig.1 The sub-phase of foot-ground contacting time on obese children

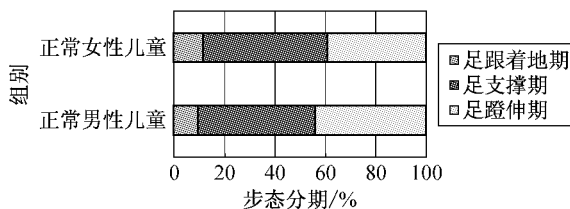


图2 正常儿童男女支撑期分期  
 Fig.2 The sub-phase of foot-ground contacting time on normal children

#### 2.1.2 BMI 与支撑期分期的相关性

由表 2 可知:足跟着地期与足支撑期都与 BMI 呈负相关,但在  $P > 0.05$  水平上不存在显著性;而足支撑期与 BMI 呈正相关,在  $P > 0.05$  水平上也不

存在显著性。

### 2.2 足底各区域压强峰值

#### 2.2.1 性别差异

图 3、4 显示:无论肥胖儿童还是正常儿童,男女之间足底各区域压强峰值均未表现出显著性差异( $P > 0.05$ )。

表 2 BMI 与支撑期分期的相关性

Tab.2 Relativity of BMI and sub-phase of foot-ground contacting time

支撑期分期	BMI 与支撑期的相关性( $r$ )
足跟着地期	-0.122
足支撑期	0.129
足蹬伸期	-0.074

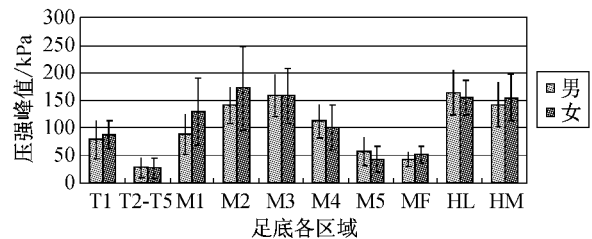


图3 肥胖儿童足底各区域压强峰值  
 Fig.3 Peak pressure value in every plantar region on obese children

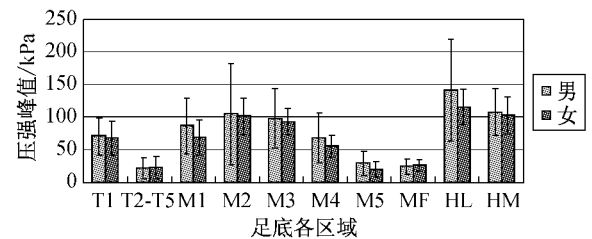


图4 正常儿童足底各区域压强峰值  
 Fig.4 Peak Pressure value in every plantar region on normal children

#### 2.2.2 BMI 与足底各区域压强峰值的相关性

表 3 显示:足底区域除第 2-5 趾骨(T2-5)的压强峰值与 BMI 不显著相关( $P > 0.05$ )外,其它区域的压强峰值与 BMI 均显著正相关( $P < 0.01$ )。

### 2.3 足底各区域压强峰值出现的时间

#### 2.3.1 性别差异

正常儿童在 M5、MF 和 HM 等区域的压强峰值

表3 BMI与足底各区域压强峰值的相关性

Tab.3 Correlation of BMI and peak pressure in every plantar region

足底各区域	压强峰值与BMI的相关性(r值)
T1	0.402
T2-5	0.101*
M1	0.310
M2	0.492
M3	0.714
M4	0.632
M5	0.582
MF	0.611
HL	0.344
HM	0.330

\*表示:  $P > 0.05$

出现时间男女之间表现出显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 而肥胖儿童男女之间足底各区域压强峰值出现时间无显著性差异 ( $P > 0.05$ ) (见图5、6)。

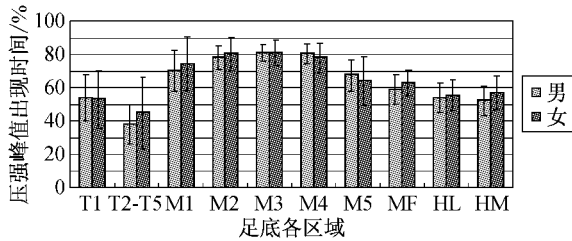


图5 肥胖儿童足底各区域压强峰值出现的时间  
Fig.5 Appearing time of peak pressure value in every region on obese children

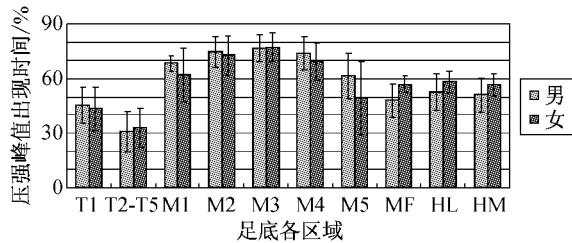


图6 正常儿童足底各区域压强峰值出现的时间  
Fig.6 Appearing time of peak pressure value in every region on normal children

2.3.2 BMI与足底各区域压强峰值出现时间的相关性

除足中部(MF)和足跟外侧(HL)区域的压强峰

值出现时间与BMI不显著相关外,其余区域压强峰值出现时间与BMI都呈显著正相关 ( $P < 0.01$ ) (见表4)。

表4 BMI与足底各区域压强峰值出现时间的相关性

Tab.4 Correlation of BMI and appearing time of peak pressure in every plantar region

足底各区域	压强峰值出现时间与BMI的相关性(r值)
T1	0.351
T2-5	0.321
M1	0.293
M2	0.327
M3	0.374
M4	0.516
M5	0.429
MF	0.136*
HL	0.076*
HM	0.481

\*表示  $P > 0.05$

2.4 足底3区域与地面所受冲量百分比

2.4.1 性别差异

测试结果(见图7)显示:正常儿童足中部与地面冲量百分比男女之间有显著性差异,并且男孩大于女孩 ( $P < 0.05$ ); 而无论肥胖儿童还是正常儿童男女足前部和足后部与地面冲量百分比均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

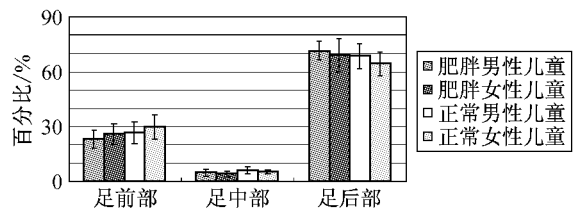


图7 足底3区域与地面冲量百分比  
Fig.7 Impulse percentage between three plantar regions and ground

2.4.2 BMI与足底3区域和地面冲量百分比的相关性

表5显示足前部与地面冲量百分比和BMI显著负相关 ( $P < 0.01$ ), 足后部与地面冲量百分比和BMI显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 而足中部与地面冲量

百分比与 BMI 呈正相关,但相关性不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 5 BMI 与足底 3 区域和地面冲量百分比的相关性

Tab.5 Correlation of BMI and impulse percentage in three plantar regions and ground

足底 3 区域	与地面冲量百分比和 BMI 的相关性( $r$ )
足前部	-0.299
足中部	0.147
足后部	0.299

### 3 讨论

本研究中,肥胖和正常男女儿童支撑期分期的 3 个阶段都没有表现出显著性差异,说明性别不影响儿童的行走模式。这点与周安艳等<sup>[17]</sup>人所做的研究相似,其研究表明正常学龄前男女儿童在步行周期、步频、步态的对称性等步态参数上没有明显差异。综合这些研究可见,处于生长发育期的儿童,其行走模式基本上不受性别的影响。

足跟在人行走过程中起着缓冲作用,足跟压强峰值出现时间越晚表明起到的缓冲作用越好。本研究中,正常男孩足跟部压强峰值出现时间的值显著小于女孩,说明男孩在行走中足跟起到的缓冲作用较小,因此受到地面较大的反作用力;第 5 跖骨(M5)的压强峰值出现时间的值男孩显著大于女孩,反映出男孩在足蹬伸过程中更容易出现足的内翻,从而更容易导致足踝部的损伤。而对于肥胖儿童,第 5 跖骨和足跟部压强峰值出现时间无显著性差异,说明可能随着体重的增加,女孩和男孩的步态在支撑期逐渐趋于一致。

冲量是力在时间上的积累,即力对时间的积分。正常男孩足后部缓冲作用小,也会导致足中部在行走中受到地面更大的反作用力,这证明了为何本研究中正常男女儿童在足中部冲量百分比上存在的差异。而有研究<sup>[18]</sup>指出冲量的差异可能是因为男生和女生在行走中重心的起伏上存在差异,由于女性重心起伏较小所以地面对其反作用力较低,因此使得冲量较低,显著区别于男性。可见虽然具体影响因素还有待进一步研究,但两个研究都表明女孩受到地面的冲击较小。

整体而言,随着体重指数 BMI 的变化,BMI 与

足支撑分期没有显著的相关性,但总体的趋势符合闫松华等<sup>[13]</sup>人的研究,即肥胖儿童在行走中其足支撑期较正常儿童长,而足蹬伸期和足跟着地期较正常儿童短;说明肥胖儿童在行走中稳定性要比正常儿童差,为了增加稳定性而进行的调整。同样表明肥胖儿童比正常儿童行走效率低。BMI 与足底各区域压力分布参数存在显著相关性,随着 BMI 的增大,肥胖儿童足底各区域压强峰值大于正常儿童,峰值出现的时间小于正常儿童,这导致肥胖儿童足底承受更大的冲击,足弓承受较大压力,导致足弓降低,这些变化在短期内,将使 BMI 越大的儿童足底受力越不均,行走中越容易疲劳,最终导致步态模式的改变;而从长远来看,这种步态模式的改变,可能会导致儿童患足底相关部位的疾病和下肢关节的损伤。

### 4 结论

从以上研究可以得到以下结论:

- (1) 性别对肥胖儿童动态足底压力分布没有显著影响,但正常儿童部分动态足底压力分布参数受性别的影响;
- (2) BMI 大的儿童行走的稳定性差,行走效率低;
- (3) BMI 大的儿童行走易疲劳,易引起踝关节等部位的损伤。

### 参考文献:

- [1] Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. The feet of overweight and obese young children;are they flat or fat? [J]. *Obesity*,2006,14(11):1949-1953.
- [2] Villarroya MA, Esquivel JM, Tomás C, et al. Foot structure in overweight and obese children[J]. *Int J Pediatr Obes*, 2008,3(1):39-45.
- [3] Morrison, Brian Durward, Gordon Watt, Malcolm Donaldson. Does body mass affect the spatio-temporal parameters of children's gait? [J]. *Abstracts/Gait & Posture*, 2009;S1-S15.
- [4] Morrison SC, Durward BR, Watt GF, et al. The influence of body mass on the temporal parameters of peripubescent gait[J]. *Gait & Posture*, 2008,27:719-721.
- [5] Colne' P, Frelut ML, Pe'res G, et al. Postural control in obese adolescents assessed by limits of stability and gait

- initiation[J]. *Gait & Posture*, 2008,28:164-169.
- [6] Jing Xian Li, Lin Wang, Dong Qing Xu. Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal children[J]. *Journal of Biomechanics*, 2007,40:S2.
- [7] 张晓栋,肖丹丹. 肥胖儿童与正常儿童行走步态特征的运动学分析[J]. 北京体育大学学报,2008,31(12):1651-1654.
- [8] Sarah PS, Michael RS, Ryan TT, *et al.* Effects of pediatric obesity on joint kinematics and kinetics during 2 walking cadences[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2009,90:2146-2154.
- [9] Julie Nantel, Martin Brochu and Françoise Prince. Locomotor strategies in obese and non-obese children[J]. *Obesity*, 2006,14(10):1789-1794.
- [10] 王琳,徐冬青,李静先. 中国青春期前男性肥胖儿童步态和姿势控制变化[J]. 中国运动医学杂志,2008,27(2):179-183.
- [11] Dowling AM, Steele JR, Baur LA. What are the effects of obesity in children on plantar pressure distributions? [J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2004, 28(11):1514-1519.
- [12] Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. Does excess mass affect plantar pressure in young children? [J]. *Int J Pediatr Obes*, 2006, (3):183-188.
- [13] 闫松华,谭国庆,刘志成. 7-11岁肥胖儿童动态足底压力分布的生物力学研究[J]. 医用生物力学,2010,25(2):118-123.
- [14] Gushue DL, Houck J, Lerner AL. Effect of childhood obesity on three dimensional knee joint biomechanics during walking[J]. *J Pediatr Orthop*, 2005,25(6):763-768.
- [15] Hennig EM, Staats A, Rosenbaum D. Plantar pressure distribution patterns of young school children in comparison to adults[J]. *Foot Ankle*, 1994,15(1):35-40.
- [16] 郭忠武,王广志,丁辉,等. 正常青年人步态运动学参数的研究[J]. 中国康复理论与实践,2002,8(9):532-534.
- [17] 周安艳,李海,黄东峰,等. 视频压力式步态分析系统对正常学龄前儿童的步态分析[J]. 中国临床康复,2005,9(30):115-117.
- [18] 耿春亚,郭忠武,马军,等. 关于正常青年人步态竖直方向力的检测与统计分析[J]. 航天医学与医学工程,2003,16(5):364-367.

(上接第356页)

- [4] Niklason Laura E, Langer Robert S. Advances in tissue engineering of blood vessels and other tissues [J]. *Transplant Immunology*, 1997, 5: 303-306.
- [5] Hoerstrupa Simon P, Zund Gregor, Sodian Ralf, *et al.* Tissue engineering of small caliber vascular grafts [J]. *European Journal of Cardiothoracic Surgery*, 2001, 20: 164-169.
- [6] 李宏,许志成,崔磊,等. 血管生物反应器的研究与应用[J]. 上海第二医科大学学报,2004,24(4):319-320.
- [7] 张志雄,奚廷斐,王迎军,等. 小口径组织工程血管生物反应器的制造[J]. 北京生物医学工程,2008,27(4):404-408.
- [8] 樊瑜波,邹远文,李晋川,等. 一种近生理脉动流环境动脉血管组织工程反应器[P]. 中国专利:CN200710304557.4,2008-08-20.
- [9] Liu Tianqing, Li Xiangqin, Sun Xiangyu, *et al.* Analysis on forces and movement of cultivated particles in a rotating wall vessel bioreactor [J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2004, 18: 97-104.
- [10] Cherry RS, Eleftherios TP. Physical mechanisms of cell damage in microcarrier cell culture bioreactors [J]. *Biotechnology and bioengineering*, 1988,32(8):1001-1014.
- [11] 覃素华,潘君,吴科达,等. 成梯度增加的流体流动剪切力促进明胶基底上人脐静脉内皮细胞粘附[J]. 中国生物工程杂志,2004,24(11):80-82.
- [12] 李利芳,王安才. 具有梯度的流体切应力促进血管内皮细胞增殖[J]. 医用生物力学,2008,23(4):266-269.
- [13] 刘艳春,姜宗来,刘波,等. 低切应力对体外培养动脉的平滑肌细胞增殖和凋亡的影响[J]. 医用生物力学,2002,17(4):198-202.