

文章编号:1004-7220(2010)02-0118-06

7~11岁肥胖儿童动态足底压力分布

闫松华, 谭国庆, 刘志成
(首都医科大学 生物医学工程学院, 北京 100069)

摘要: **目的** 通过比较肥胖儿童和正常儿童平地自然行走时的足底压力参数,探讨肥胖对7~11岁儿童动态足底压力带来的影响。**方法** 采用0.5 m footscan® USB平板测试系统(比利时RSscan International公司)对40名7~11岁儿童(肥胖儿童和正常儿童各20名)自然行走时的步态进行测试,数据采用SPSS11.5和EXCEL进行统计处理。**结果** 与正常儿童相比,肥胖儿童自然行走过程中:(1)足支撑阶段显著增长,足蹬伸阶段缩短;(2)跖骨4(M4)和跖骨5(M5)与地面接触的压强峰值和压强峰值出现时间显著增大,且第2趾(T2)~第5趾(T5)以及足中部压强峰值都增大;(3)足弓指数(AI)及足中部和足后部与地面接触的冲量百分比均显著增大;(4)左足在足跟着地阶段、右足在支撑阶段和蹬伸阶段内翻程度增大;另外,肥胖儿童左右足外翻程度明显不同;(5)足轴角明显增大。**结论** 与正常儿童相比:(1)肥胖儿童行走的稳定性较差;(2)肥胖儿童有前脚掌、踝关节和膝关节损伤的趋势;(3)肥胖儿童行走效率较低,易患扁平足;(4)肥胖儿童更容易以八字脚姿态行走。

关键词: 肥胖; 7~11岁儿童; 动态足底压力分布; 自然行走; 步态

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

Research on dynamic plantar pressures distribution of 7 to 11 years obese children

YAN Song-hua, TAN Guo-qing, LIU Zhi-cheng (*Biomedical Engineering School, Capital Medical University, Beijing 100069, China*)

Abstract: Objective To compare the parameters of plantar pressures between the obese children and normal children during walking on the flat ground at normal speed, and to discuss the effect of obesity on dynamic plantar pressures for 7-11 years obese children. **Method** There were 40 volunteer subjects, twenty obese children and twenty normal children between 7 and 11 years of age in this study. Subjects were asked to walk at their own paces on a 10 m walkway with a 0.5 m footscan® plate (footscan® from RSscan International, Olen, Belgium) Sampling at 300 Hz. Data were processed statistically by SPSS11.5 and EXCEL. **Results** Compared to the normal children: 1. the obese children have the longer foot support duration and shorter push-off duration; 2. the peak plantar pressures are larger and appearing time is longer of Metatarsal 4 (M4) and Metatarsal 5 (M5), the peak plantar pressures of Toe 2 (T2) to Toe 5 (T5) on obese children group are higher. 3. AI (arch index) and impulse percentage of mid-foot and heel of obese children group are much larger. 4. Supination extent of the left foot in heel strike phase, supination extent of the right foot in foot-support phase and in push-off phase on obese children group are also larger. In addition, significant difference in pronation extent appeared between left and right foot in obese children group. 5. The footaxis angle of obese children group is obviously larger. **Conclusions** Compared to the normal children: 1. the walking stability of obese children group in this study is weaker. 2. Obese children are vulnerable to injure their foot foresole, ankle joint and knee joint. 3. Obese children endure flat foot more easily. 4. Obese children walk more frequently with outward splayfoot.

Key words: Obese; 7-11years children; Dynamic plantar pressures distribution; Normal walking; Gait

收稿日期:2009-10-23; 修回日期:2010-02-08

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-),博士,副教授,研究方向:生物力学与康复工程学。

通讯作者:刘志成,教授,博士生导师,Tel:(010)83911559,E-mail:zcliu@ccmu.edu.cn。

最近中国学生营养与健康促进会发布的一份报告指出^[1],我国有1200万超重、肥胖的儿童,肥胖儿童已占儿童总数的10%,并正以每年8%的速度递增,肥胖已日渐成为影响儿童健康的普遍问题。

肥胖与大量的健康问题有关,如高血脂、高血压和II型糖尿病^[2]。因为肥胖可以造成骨骼肌肉系统超量负荷,所以它还与骨科疾病相关。有研究揭示肥胖成年人和正常成年人在行走过程中的足底压力^[3]、足的结构^[4]和足的力学^[5]等方面都存在差异。还有报道指出,肥胖成年人在时空参数上有改变,比如,行走速度、频率、步长、支撑期和摆动期都与正常成年人不同^[6,7]。

对处于生长期的青少年儿童来说,体重过大会影响其骨骼、肌肉及关节的正常发育,最终表现在与正常体重的同龄人步态上的差异。对肥胖儿童的步态分析表明,肥胖儿童与正常儿童时空参数的差异类似于成年人,即:有较长的步态周期^[7]和支撑期、较小的频率^[8,9,13]。Hills等^[8]也报道了在足跟触地阶段肥胖儿童呈现足弓较平的模式。Julie等^[10]分析了肥胖儿童运动过程中的动力学特征,表明与同龄正常体重的儿童相比,肥胖儿童在运动过程中做了较多的功。Dowling等^[13]对肥胖引起儿童足部结构和足底压力的变化做了研究;不过,相当少的研究涉及肥胖对青春期前儿童动态足底压力分布的一系列参数的影响。本研究旨在比较7~11岁肥胖儿童和正常儿童平地自然行走过程中的动态足底压力,以期对肥胖对儿童步态带来的影响提供科学量化的理论参考依据。

1 研究对象与方法

1.1 测试对象

测试对象(见表1)为北京市丰台区玉林小学40名年龄为7~11岁的学生,其中肥胖儿童、正常

表1 测试对象基本情况

Tab.1 Basic characteristics of subjects

指标	肥胖儿童	正常儿童
年龄	10.45 ± 1.15	10.20 ± 0.41
身高/m	10.45 ± 1.15	1.40 ± 0.08
体重/kg	55.25 ± 14.57	33.5 ± 5.73
BMI	25.80 ± 3.14	17.03 ± 1.34

儿童各20名,所有受试者都签署知情同意书。划分标准根据中国儿童肥胖标准筛查,BMI值>21为肥胖(BMI指数=体重(kg)/身高²(m²)),并且所有肥胖儿童受试者的重量占同年龄孩子的第95%以上。所有受试者均无肌肉、骨骼和运动神经方面的疾病。

1.2 实验仪器

本实验应用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(每平方厘米有4个传感器,共有4 096个传感器),由USB数据线 with 计算机的USB口相连。一台笔记本电脑作为平板测试系统的操作平台,相应的配套软件可对数据进行处理。

1.3 研究方法

1.3.1 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,保证符合实验要求。

1.3.2 测试指标 (1)步态分期:本文将一个步态周期中足支撑时期(即足与地面接触过程)分为3个阶段,即足跟着地阶段、足支撑阶段和足蹬伸阶段;(2)足底各区域(见图1)压强峰值及其压强峰值出现时间(压强以N/cm²为单位,时间以占支撑相百分比表示);为了更进一步研究肥胖儿童的足底压力分布情况,将足分为3大部分,即:足前部、足中部、足后部;(3)足底3个区域所受冲量百分比和足弓指数。足底3个区域所受冲量百分比:用各区域在整个足与地面接触阶段的冲量百分比;足弓指数(AI)等于足中部与地面接触面积占足底(除去足趾部分)的百分比。如图2所示,A表示足后部,B表示足中部,C表示足前部。 $AI = B / (A + B + C)$ 。基于足弓指数,可以确定足的3种基本类型:正常足、扁平足或高弓足,以Cavanagh和Rodger(1987)所制订的足弓指数(AI > 0.26为扁平足)为依据。(4)足平衡:本研究中,采用整个足的内外翻程度来评价足的平衡。内外翻的定义分别为:内翻/旋后 = 跟内翻 + 跖屈 + 内收;外翻/旋前 = 跟外翻 + 背屈 + 外展。用参数: $\frac{(M1 + M2 + HM) - (M3 + M4 + M5 + HL)}{M1 + M2 + HM}$ 表

示足的内外翻程度。(5)足轴角:指足跟与第2指骨的连线与行走方向的夹角。如图3所示。

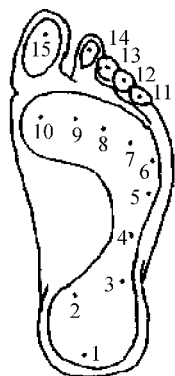


图1 足解剖结构示意图
Fig.1 Foot anatomical structure

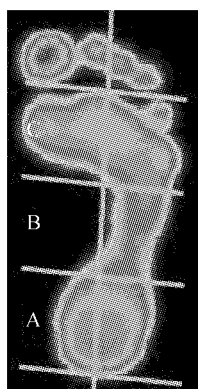


图2 足底三区域划分示意图
Fig.2 Partition of three plantar regions



图3 足轴角示意图
Fig.3 Foot-axis angle 白色虚线所示是行走方向,灰色实线是足跟与第二指骨的连线。

足底区域划分: footscan® USB 系统将足底分为10个解剖部分^[10],对各部位进行支撑时相内的力学分析,具体如下:HL(Heel Lateral):足跟侧部(图

1中1,3);HM(Heel Medial):足跟中部(图1中2);MF(Mid Foot):足中部(图1中4,5);M5(Metatarsal 5):跖骨5(图1中6);M4(Metatarsal 4):跖骨4(图1中7);M3(Metatarsal 3):跖骨3(图1中8);M2(Metatarsal 2):跖骨2(图1中9);M1(Metatarsal 1):跖骨1(图1中10);T2-T5(Toe 2 to Toe 5):第2~5趾(图1中11~14);T1(Toe 1):第1趾(图1中15)。

1.3.2 数据处理 数据处理采用SPSS11.5和Excel2003结合的方法,所有数据均采用均值±标准差的形式表示。各测量参数均值差异的显著性检验使用t检验,肥胖儿童与正常儿童的各项指标比较采用配对t检验。

2 实验结果与讨论

2.1 步态分期

测量结果显示:肥胖儿童和正常儿童足跟着地阶段所占百分比无显著差异性,但是肥胖儿童的足支撑阶段时间比例明显高于正常儿童($P < 0.05$);足蹬伸阶段时间比例明显短于正常儿童($P < 0.05$)。不管是肥胖儿童还是正常儿童,左右足之间在步态分期上均无显著性差异。图4所示是肥胖儿童与正常儿童3个步态分期的比较。

2.2 足底各区域压强峰值及峰值出现时间

由图5可以看出,对于压强峰值,肥胖儿童第2-5跖骨,足中部和足外侧部位的压强峰值明显高于正常儿童($P < 0.01$);肥胖儿童右足的第1指骨($P < 0.01$)明显高于正常儿童($P < 0.05$);左足的第1趾骨、右足的第2~5趾骨明显高于正常儿童($P < 0.05$);对于压强峰值出现时间,肥胖儿童右足第1趾骨、左足第2~5趾骨、左右足第4~5跖骨明显高于正常儿童($P < 0.01$);右足第2~5趾骨压强峰值出现时间明显高于正常儿童($P < 0.05$)。

2.3 足弓指数和足底三部分所受冲量

表2显示:肥胖儿童足弓指数(AI)明显大于正常儿童($P < 0.01$);左足的足中部冲量百分比明显大于正常儿童($P < 0.01$);左、右足的足前部和足中部冲量百分比大于正常儿童($P < 0.05$)。

2.4 足平衡

从表3可知:在足跟着地阶段,肥胖儿童左足内翻程度大于正常儿童($P < 0.05$);在足支撑阶段和足蹬伸阶段,右足内翻程度大于正常儿童($P <$

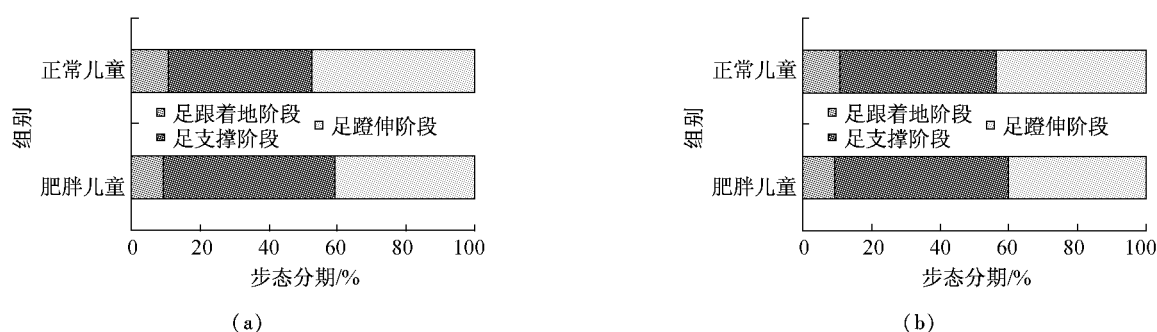
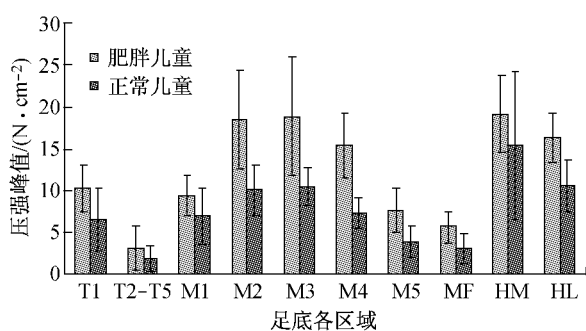
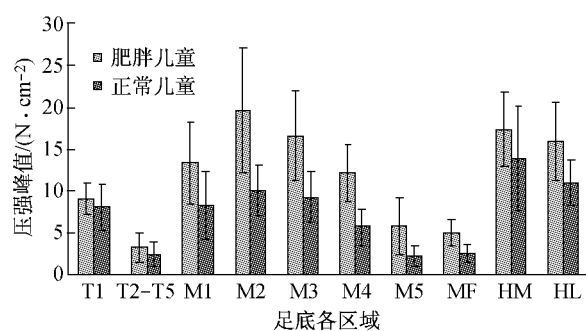


图4 肥胖儿童与正常儿童步态分期比较(a)左足(b)右足

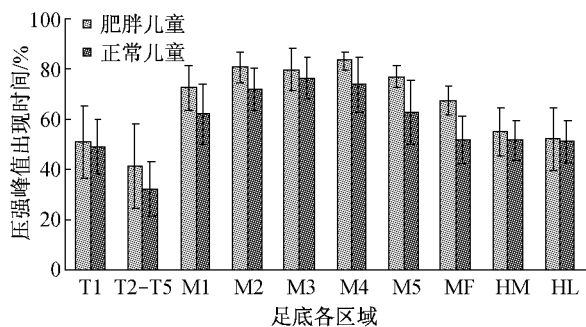
Fig.4 foot-contact timing of every phase in a gait cycle on obese children and normal children. (a) left foot (b) right foot



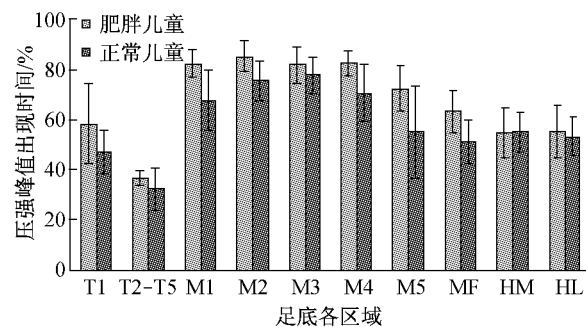
(a)肥胖儿童和正常儿童左足足底各区域压强峰值比较



(b)肥胖儿童和正常儿童右足足底各区域压强峰值比较



(c)肥胖儿童和正常儿童左足足底各区域压强峰值出现时间比较



(d)肥胖儿童和正常儿童右足足底各区域压强峰值出现时间比较

图5 肥胖儿童和正常儿童足底压力峰值及峰值出现时间比较

Fig.5 Comparison of peak pressure and appearing time of peak pressures of every plantar region on obese children and normal children

表2 肥胖儿童和正常儿童足弓指数和冲量比较($\bar{x} \pm sd$)

Tab.2 Comparison of AI and impulse percentage of plantar fore-foot mid-foot and rare foot on obese children and normal children($\bar{x} \pm sd$)

指标	肥胖儿童		正常儿童	
	左足	右足	左足	右足
AI($B/A+B+C$)	0.34 ± 0.08 **	0.24 ± 0.04	0.28 ± 0.03 **	0.24 ± 0.03
Impulse/%				
足前部	19.65 ± 7.03 *	23.87 ± 3.82 *	24.58 ± 4.44 *	27.90 ± 6.38 *
足中部	7.59 ± 4.68 **	5.25 ± 2.15 *	5.23 ± 2.26 **	4.31 ± 1.42 *
足后部	72.78 ± 7.20	70.89 ± 3.60	69.89 ± 5.21	66.92 ± 6.67

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

0.05);另外,在蹬伸阶段,肥胖儿童左右足的外翻程度存在显著性差异($P < 0.01$)。

表3 肥胖儿童和正常儿童足平衡参数比较($\bar{x} \pm sd$)

Tab.3 Comparison of foot balance parameters on obese children and normal children($\bar{x} \pm sd$)

时相	肥胖儿童(测试组)		正常儿童(对照组)	
	左足	右足	左足	右足
最大值				
足跟着地阶段	14.22 ± 6.18	14.20 ± 8.67	22.72 ± 13.25	20.60 ± 14.95
足支撑阶段	8.32 ± 6.46	14.51 ± 9.64	21.37 ± 7.63	23.48 ± 11.84
足蹬伸阶段	11.49 ± 7.02 **	25.46 ± 16.73 **	19.76 ± 15.66 **	42.55 ± 18.42 **
最小值				
足跟着地阶段	-5.31 ± 7.58 *	-3.15 ± 6.31	-3.67 ± 6.65 *	-5.51 ± 7.55
足支撑阶段	-14.96 ± 11.06	-12.31 ± 11.36 *	-21.31 ± 14.71	-7.97 ± 13.44 *
足蹬伸阶段	-21.64 ± 10.53	-15.20 ± 9.14 *	-23.79 ± 18.84	-8.76 ± 9.62 *

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$;正值表示足外翻,负值表示足内翻

2.5 足轴角

实验结果表明:肥胖儿童的足轴角明显大于正常儿童,见表4。

表4 肥胖儿童和正常儿童足轴角比较(单位:度)

Tab.4 Comparison of footaxis angle on obese children and normal children(unit: degree)

	肥胖儿童(测试组)		正常儿童(对照组)	
	左足	右足	左足	右足
足轴角	19.10 ± 12.30 *	16.08 ± 7.04 *	6.90 ± 6.21 *	8.13 ± 4.71

* $P < 0.05$

3 讨论

行走是一种周期性运动,行走时一侧足跟着地至足跟再次着地称为一个步态周期。一个步态周期可分为支撑期和摆动期,本文将支撑期分为足跟着地阶段、足支撑阶段以及足蹬伸阶段。正常情况下,在整个支撑期阶段中,足跟着地阶段大约占前15%,15%~55%则归属于足支撑阶段,足蹬伸阶段在55%~100%。各阶段的时间长短决定了行走时的稳定性以及蹬伸能力。人在自然行走过程中,稳定性减小表现在足支撑期延长、蹬伸期缩短,正如本研究中,正常儿童3个阶段的比例基本上在正常的范围,肥胖儿童的足跟着地阶段也在正常范围,但是有较长的足支撑期和较短的足蹬伸期,这预示着肥

胖儿童为了走路比较安全,延长了支撑时间。因此,肥胖儿童在足与地面接触期间表现出的有别于正常儿童的这种变化,表明肥胖儿童自然行走时的稳定性下降。Hills 和 Parker^[8]及 Ben McGraw^[9]的研究都显示,肥胖儿童比正常儿童有较长的支撑期和双支撑期;肖丹丹等^[12]的研究也显示同样的结果;虽然他们的研究指的是一个步态周期中的支撑期,与本研究所指的足支撑期有不同之处。可是表现出的相似的行走模式还是具有可比性的,同样说明了肥胖儿童行走的稳定性较差。

本研究中肥胖儿童足底第4~5跖骨部位的压强峰值和压强峰值出现时间都大于正常儿童,这些参数的变化近似于 Hills 和 Parker 报道的结果^[8]。这些变化有可能导致这些区域的损伤和足的内翻趋势,如果这种情况长期发生,将容易引起踝关节受伤。除此之外,肥胖儿童比正常儿童较高的第2到第5趾骨压强峰值和较长的压强峰值出现时间更容易引起趾骨溃疡甚至骨折。这些现象表明肥胖儿童步行过程中足底受力集中于外侧,稳定性较差,行走效率较低。

由于肥胖儿童体重过大,足的纵弓经受着相对大的压力,这将导致足弓降低,Hills 和 Parker^[8]也报道肥胖成年人有较平的足模式,可见,肥胖儿童与肥胖成年人在这方面有着相同的变化。由于肥胖儿童比正常儿童的足弓平,故更容易感到疲劳。本研

究还显示:在行走过程中,肥胖儿童足前部和足中部所受冲量百分比较大,这将使得足的前脚掌受伤的几率更大。因此,肥胖儿童在平时的行走和运动中,应该多休息,防止运动过度,造成足底相关部位和下肢关节的损伤,可以给他们穿经过科学测试而设计的鞋或鞋垫来减少受伤的几率和预防损伤,当然减肥是势在必行的。

足的内外翻反映了足平衡的情况。在本研究中,与正常儿童相比,肥胖儿童倾向于过度内翻。足的过度内翻导致弓形腿和小腿绕胫骨内侧结节旋转,从而损害了膝关节内侧,使得在蹬伸期,作用在地面上的力减小,这降低了行走的效率。另外,在蹬伸阶段左右足外翻程度的不同可能引起肥胖儿童步态的不平衡。产生足部内外翻的原因很有可能是肥胖导致了足部和下肢关节周围肌肉发育不平衡,从而造成了行走时足部的内外翻转。

在本研究中,肥胖儿童组的足轴角大于正常儿童组,这说明肥胖儿童在行走过程中的支撑面较大,原因可能是肥胖儿童通过增大支撑面积来提高行走的增加稳定性,另一方面,这样更容易引起足的内翻。从肥胖儿童足底受力不均匀和足轴角较大,我们可以判断肥胖儿童更容易发生内翻。这些结果与本研究肥胖儿童对足平衡的研究中,足过度内翻的结果一致。

综上所述,从短期来看,儿童肥胖可能导致步态模式的改变,足底受力不均匀;而从长期来看,步态模式的改变可能增加儿童在成人期间关节损伤的可能。

4 结论

从本文研究结果,可以得到以下结论:(1)肥胖儿童行走的稳定性比正常儿童差;(2)肥胖儿童有前脚掌、踝关节和膝关节内侧损伤的趋势。(3)肥胖儿童更容易患扁平足;(4)肥胖儿童更容易以八字脚姿态行走。

致谢 感谢北京市教委项目的支持,并感谢参与测试的北京市丰台区玉林小学的学生和给予作者很大

支持的玉林小学的老师们。

参考文献:

- [1] 李小伟. 青少年肥胖易致慢性病[N]. 中国教育报(第1版), 2009-05-19.
- [2] Must A, Spadano J, Coakley EH, et al. The disease burden associated with overweight and obesity [J]. JAMA, 1999, 282:1523-1529.
- [3] Hills AP, Henning EM, McDonald M, et al. Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis [J]. Int J Obes Relat Metab Disord, 2001, 25:1674-1679.
- [4] Riddiford-Harland DL, Steele JR, Storlien LH. Does obesity influence foot structure in prepubescent children? [J]. Int J Obes Relat Metab Disord, 2000, 24:541-544.
- [5] Messier SP, Davies AB, Moore DT, et al. Severe obesity: effects on foot mechanics during walking [J]. Foot Ankle Int, 1994, 15:29-34.
- [6] Spyropoulos P, Pisciotto JC, Pavlou KN, et al. Biomechanical gait analysed in obese men [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1991, 72:1065-1070.
- [7] DeVita P, Hortoba'gyi T. Obesity is not associated with increased knee joint torque and power during level walking [J]. J Biomech, 2003, 36:1355-1362.
- [8] Hills AP, Parker AW. Gait characteristics of obese children [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1991, 72:403-407.
- [9] McGraw B, McClenaghan BA, Williams HG, et al. Gait and postural stability in obese and non-obese prepubertal boys [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2000, 81:484-489.
- [10] Julie Nantel, Martin Brochu, Francois Prince. Locomotor Strategies in Obese and Non-obese Children [J]. OBESITY, 2006, 14(10):1789-1794.
- [11] Anneleen De Cock. The Use and Interpretation of Plantar Pressure Measurements during Running [M]. Belgium; Department of Movement and Sport Sciences, 2006:41.
- [12] 肖丹丹,危小焰,刘俊伟. 肥胖儿童与正常儿童行走步态特征的三维分析 [C]//2002年全国运动医学学术会议论文摘要汇编, 2002:142.
- [13] Dowling AM, Steele JR, Baur LA. Does obesity influence foot structure and plantar pressure patterns in prepubescent children [J]. International Journal of Obesity, 2001, 25:845-852.