

文章编号:1004-7220(2014)06-0548-06

小学阶段超重/肥胖儿童平地行走的运动学研究

闫松华¹, 周兴龙^{1,2}, 党德华², 梁秀桥³, 张宽¹

(1. 首都医科大学 生物医学工程学院, 临床生物力学应用基础研究北京市重点实验室, 北京 100069;

2. 北京体育大学 运动人体科学学院, 北京 100084; 3. 北京市丰台区玉林小学, 北京 100069)

摘要: **目的** 通过比较小学阶段超重/肥胖儿童和正常儿童平地行走时的运动学参数,探讨超重/肥胖对儿童步态的影响。**方法** 选取40名超重/肥胖儿童(年龄 (9.6 ± 1.72) 岁;身高 (142.16 ± 12.19) cm;身体质量指数(BMI) (24.32 ± 2.96) kg/m²)和50名正常体重儿童(年龄 (10.26 ± 0.72) 岁;身高 (139.0 ± 7.50) cm;BMI (17.08 ± 1.25) kg/m²)为研究对象,受试者赤足以自己感觉舒适的常速自然行走在长10m的跑道,共3次;使用常速摄像机进行平面定点拍摄,采集他们平地自然行走时的图像,通过视讯录像解析系统获得步长、下肢关节角度等运动学指标;数据采用SPSS 16.0进行统计学处理,受试者各项指标左右侧的比较采用配对 t 检验,两组儿童的各项指标比较采用独立样本 t 检验, $P < 0.05$ 表示结果有显著性差异。**结果** (1)对于相对步长,超重/肥胖儿童 (0.44 ± 0.001) 与正常儿童显著不同 (0.45 ± 0.001) ($P < 0.05$)。(2)足跟着地阶段,左髋及左、右膝在矢状面上的角度,超重/肥胖儿童(左髋 $(165.36 \pm 5.29)^\circ$,左膝 $(178.82 \pm 5.51)^\circ$,右膝 $(177.84 \pm 5.25)^\circ$)与正常儿童(左髋 $(161.99 \pm 4.28)^\circ$,左膝 $(174.67 \pm 4.91)^\circ$,右膝 $(174.67 \pm 4.91)^\circ$)显著不同($P < 0.05$);足蹬伸阶段,矢状面上的左踝关节角,超重/肥胖儿童 $(121.73 \pm 8.03)^\circ$ 与正常儿童 $(118.44 \pm 6.70)^\circ$ 显著不同($P < 0.05$)。**结论** 自然行走过程中,超重/肥胖儿童比正常儿童相对步长显著减小;足跟着地阶段,超重/肥胖儿童在矢状面上左髋和左右膝关节角显著大于正常儿童;足蹬伸阶段,超重/肥胖儿童在矢状面上的左踝关节角显著大于正常儿童。这些变化可能会对超重/肥胖儿童的下肢功能造成一定的影响。

关键词: 超重/肥胖儿童;平地行走;步态;运动学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

Kinematic analysis on gait of overweight and obese primary school children during level walking

YAN Song-hua¹, ZHOU Xing-long^{1,2}, DANG De-hua², LIANG Xiu-qiao³, ZHANG Kuan¹

(1. School of Biomedical Engineering, Beijing Key Laboratory of Fundamental Research on Biomechanics in Clinical Application, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 2. Sport Science College, Beijing Sport University, Beijing 100084, China; 3. Yulin Primary School of Fengtai District, Beijing 100069, China)

Abstract: **Objective** To investigate the effects of overweight and obesity on the gait of primary school children by comparing the kinematic parameters between overweight/obese children and normal weight children during level walking. **Methods** Forty overweight/obese children (age: (9.6 ± 1.72) year; height: (142.16 ± 12.19) cm; BMI: (24.32 ± 2.96) kg/m²) and 50 normal weight healthy children (age: (10.26 ± 0.72) year; height: (139.0 ± 7.50) cm; BMI: (17.08 ± 1.25) kg/m²) were recruited as the subjects. All of the subjects completed 3 walking trials at preferred speed along a 10 m walkway with barefoot. A digital video camera was used to record these subjects' level walking images, and their gait parameters, such as step length, stride length and joint angle of the lower extremity, were obtained through Shixun motion analysis system. SPSS 16.0 was used for data analy-

收稿日期:2013-12-30; 修回日期:2014-02-20

基金项目:首都医科大学科研基金(自然类)(2013ZR09),北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目(CIT&TCD201404177),北京市教育委员会科技计划重点项目(KZ201310025010),高等学校博士学科点专项科研基金(博导类)(20121107110018)。

通信作者:张宽,教授,博士研究生导师, Tel: (010)83911806; E-mail: kzhang@cmmu.edu.cn。

sis. A paired *t*-test was used to assess differences of all the variables between left side and right side for the subjects. An independent *t*-test was used to assess differences of all the variables between the overweight/obese and normal weight children. Statistical significance was defined as $P < 0.05$. **Results** (1) There were significant differences between overweight/obese children ((0.44 ± 0.001)) and normal weight children ((0.45 ± 0.001)) for relative step length ($P < 0.05$). (2) There were significant differences in left hip and knee joint angle in the frontal plane between overweight/obese children (left hip angle: $(165.36 \pm 5.29)^\circ$, left knee angle: $(178.82 \pm 5.51)^\circ$, right knee angle: $(177.84 \pm 5.25)^\circ$) and normal weight children (left hip angle: $(161.99 \pm 4.28)^\circ$, left knee angle: $(174.67 \pm 4.91)^\circ$, right knee angle: $(174.67 \pm 4.91)^\circ$) during heel-strike phase ($P < 0.05$). Significant differences were found in the left ankle joint angle of the frontal plane during toe-off phase between overweight/obese children ($(121.73 \pm 8.03)^\circ$) and normal weight children ($(118.44 \pm 6.70)^\circ$) ($P < 0.05$). **Conclusions** Relative step length of overweight/obese children was significantly smaller than that of normal weight children during level walking. The left hip and knee joint angle in the frontal plane of overweight/obese children during heel-strike phase were significantly larger than those of normal weight children. The left ankle joint angle in the frontal plane of overweight/obese children during toe-off phase was significantly larger than that of normal weight children. These differences may affect the function of the lower extremity in overweight/obese children.

Key words: Overweight and obese children; Level walking; Gait; Kinematics

近年来,肥胖日渐成为影响儿童健康的普遍问题。全球有 1.55 亿超重肥胖少年儿童,其中 7.7% 集中在中国^[1]。儿童肥胖容易导致糖尿病、高血压,以及肌肉骨骼系统的疾病^[2]。尤其是处于生长发育期的肥胖儿童,长期的肥胖会造成其下肢骨关节的损害,从而反映在步态上。因此,许多学者对超重/肥胖儿童行走时的步态特征,包括运动学特征进行了研究。

对肥胖儿童的步态研究始于 Hills 等^[3]在 1991 年对 20 名平均年龄为 10.5 岁的正常儿童和肥胖儿童的运动学参数进行对比,该研究指出肥胖儿童在步态周期中有较长的双支撑时间,这种不同归因于其在行走过程中“试探性的行走”;肥胖儿童存在高度的不对称性,导致其行走倾向于低效率和笨拙的特点。McGraw 等^[4]研究表明,肥胖儿童在行走中的不稳定性与其过大的体重有关;肥胖儿童双支撑期增加,单支撑期减小。其他研究发现,肥胖儿童与正常儿童的单支撑期、双支撑期和摆动期都显著不同^[5];肥胖儿童比正常儿童有较大的双支撑期和较小的单支撑期^[6];肥胖儿童比正常儿童在快速行进时有较长的摆动期,稳定性下降,双支撑期增加,为保持平衡限制了行进的速度^[7]。李静先等^[8]测试了 26 名超重/肥胖男孩和 27 名正常男孩在 3 种速度下的运动学参数,结果显示肥胖男孩在每个步态周期 3 种速度下均有较长的支撑时间和双支撑时间。张晓栋等^[9]对 9 名肥胖儿童和 11 名正常体儿童进行平地常速行走的运动学分析,结果表明肥胖儿童步态周期、支撑时相百分比、双支撑时相百分比

均比正常儿童长,摆动时间比正常儿童短;肥胖儿童的步长/身高比值、步速/身高比值、步频均小于正常儿童,步宽比正常儿童宽;肥胖儿童的髋关节在矢状面上的最大伸角和屈角比正常儿童小,在额状面上的平均外展角大于正常儿童,内收角小于正常儿童;超重/肥胖儿童在一侧脚跟着地时刻,该侧脚掌面与水平面的夹角明显小于正常儿童。

综上所述,目前学者们针对肥胖儿童行走时的运动学研究得到了一些有意义的结果,但存在样本量较少、筛选受试者标准不同等问题,故所得出的规律具有一定的局限性。并且现有文献大多集中在肥胖儿童行走过程中时空参数的研究,结果比较一致,显示肥胖儿童比正常儿童有较长的支撑期和较短的摆动期。有关肥胖儿童在运动中下肢关节角的研究相对比较缺乏,而下肢关节的运动学特征与肥胖易引起儿童下肢关节损伤有密切关系,故肥胖儿童这方面的运动学特征还需要进一步深入研究,从而为探讨肥胖儿童的步态规律积累资料,为临床治疗肥胖引起的下肢关节疾病提供一定的理论依据。

本研究对超重/肥胖儿童自然行走时的运动学特征进行测试,旨在找出超重/肥胖儿童步态的特异性运动学参数,为超重/肥胖儿童的健康干预提供评价指标。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取北京市丰台区玉林小学 7 ~ 11 岁的学生 100 名作为研究对象。由于在数据采集过程中有 10

名超重/肥胖儿童没有完全按照要求进行测试,故剔去他们的数据。即所选的受试者为超重/肥胖儿童40名,正常儿童50名,所有受试者都签署了知情同意书。参考国际上划分儿童超重和肥胖标准的质量指数BMI(将 $BMI \geq$ 第85百分位数定义为超重, $BMI \geq$ 第95百分位数定义为肥胖)和中国儿童超重/肥胖筛查标准^[10],本研究规定: $BMI > 21$ 为肥胖, $19 < BMI < 21$ 为超重, $16 < BMI < 19$ 为正常。所有受试者均无肌肉、骨骼和运动神经方面的疾病。受试者基本情况见表1。

表1 受试者基本情况

Tab. 1 Basic information of the subjects

	超重/肥胖儿童	正常儿童
年龄/岁	9.60 ± 1.72	10.26 ± 0.72
身高/cm	142.16 ± 12.19	10.26 ± 0.72
体重/kg	142.16 ± 12.19	33.68 ± 5.38
BMI/(kg · m ⁻²)	24.32 ± 2.96	17.08 ± 1.25

1.2 实验设备

常速摄像机采用Panasonic NV-GS508,有效像素400万,图像解析软件采用视迅录像解析系统。实验场地由北京市丰台区玉林小学提供,在1间面积约为40 m²的会议室内进行,地面平整。

1.3 实验步骤

要求受试者赤足以自己感觉舒适的常速自然行走在长10 m的跑道,共3次,每个人的数据取3次的平均值。在正式测试之前,受试者进行几次练习,以确保能够适应实验环境,保证符合实验要求。

用一台常速摄像机拍摄每位受试者每次测试时的侧面像。实验前,拍摄一根标尺长度为1 m的刻度尺作为静止像,要求标尺置于受试者的运动平面,与地面垂直,并与测力板平面垂直,为后期处理数据时建立坐标系所用。

1.4 测量参数的含义

应用视迅录像解析系统对数据进行处理,数据处理过程中通过低通滤波对数据进行平滑处理,由以下参数对研究结果进行描述。

(1)步态周期^[11]:行走时,从一侧足跟着地开始至同侧足跟再次着地所经历的时间称为一个步态周期。正常的步态周期可分为支撑相与摆动相2个相位。支撑相指下肢接触地面及承受重力的时间,约

占整个步态周期的60%,摆动相指足离开地面向前迈步到再次落地之间的时间,约占整个步态周期的40%。在本研究中,还将支撑相分为足跟着地期、全足支撑期和足蹬伸期,来观察这3个时相下肢关节角度的变化。

(2)步长^[10]:在一个步态周期中,一侧足跟着地至迈步后对侧足跟着地之间的距离。

(3)相对步长:步长除以身高的比值。

(4)跨步长^[10]:在一个步态周期中,一侧足跟着地至该侧足跟再次着地之间的距离。

(5)相对跨步长:跨步长除以身高的比值。

(6)步速:步行的平均速度。

(7)双支撑时间:在一个步态周期中,双足支撑所用的时间。

(8)单支撑时间:在一个步态周期中,单足支撑所用的时间。

(9)摆动时间:在一个步态周期中,足离开地面向前迈步至再次落地之间的时间。

(10)足跟着地期:从足跟刚开始接触平板至其中一跖骨接触地面的时间。

(11)全足支撑期:从某一跖骨接触地面至足跟离开地面的时间。

(12)足蹬伸期:从足跟离开地面至全足离开地面的时间。

在生物力学研究中,对于一些角度有其相对较常规的定义,本文为研究方便,将矢状面内下肢各关节角度定义为:

(1)髋关节角:肩关节转动中心与髋关节转动中心的连线与髋关节转动中心与膝关节转动中心的连线之间的夹角。

(2)膝关节角:髋关节转动中心和膝关节转动中心的连线与膝关节转动中心和踝关节转动中心连线之间的夹角。

(3)踝关节角:膝关节转动中心和踝关节转动中心连线与踝关节转动中心和足第2跖骨连线的夹角。

1.5 数据处理

采用SPSS 16.0进行统计分析,所有数据均采用均值±标准差的形式表示。受试者各项指标左右侧的比较采用配对 t 检验,超重/肥胖儿童与正常儿童的各测量参数均值差异的显著性检验比较采用独立样本 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有显著性。

2 结果

2.1 步长、步速和步态周期参数

对正常儿童和超重/肥胖儿童组所有时空参数

表2 超重/肥胖儿童和正常儿童步态周期参数比较 (* $P < 0.05$)

Tab.2 Comparison of gait cycle parameters between overweight/obese children and normal weight children

	超重/肥胖儿童($n=40$)		正常儿童($n=50$)		P 值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
单步长/m	0.63 ± 0.020	0.62 ± 0.004	0.63 ± 0.004	0.63 ± 0.004	0.868	0.601
相对单步长	0.44 ± 0.003	0.44 ± 0.001 *	0.45 ± 0.001	0.45 ± 0.001 *	0.319	0.050 *
跨步长/m	1.26 ± 0.050	1.24 ± 0.020	1.25 ± 0.010	1.26 ± 0.010	0.772	0.463
相对跨步长	0.88 ± 0.010	0.88 ± 0.003 *	0.90 ± 0.004	0.91 ± 0.004 *	0.321	0.020 *
步速/($m \cdot s^{-1}$)	1.26 ± 0.040	1.28 ± 0.060	1.29 ± 0.020	1.27 ± 0.020	0.407	0.709
双支撑时间/s	0.22 ± 0.003	0.21 ± 0.002	0.20 ± 0.001	0.21 ± 0.001	0.080	0.891
单支撑时间/s	0.40 ± 0.040	0.40 ± 0.002	0.39 ± 0.000 4	0.40 ± 0.001	0.099	0.633
摆动时间/s	0.38 ± 0.030	0.37 ± 0.002	0.38 ± 0.000 5	0.39 ± 0.001	0.602	0.064

的左右侧行配对 t 检验,结果显示没有显著性差异。与正常儿童相比,超重/肥胖儿童的相对单步长和相对跨步长都显著减小(见表2、图1)。

2.2 关节角度

对正常儿童和超重/肥胖儿童组所有角度指标的左右侧进行配对 t 检验,结果显示没有显著性差异。超重/肥胖儿童与正常体重儿童相比,在足跟着地期,左侧髋关节和双侧膝关节在矢状面内的角度存在显著差异;在全足支撑期,右侧髋关节角和膝关节角呈显著差异。而在足尖离地期(足蹬伸期),右侧踝关节角度显著不同。图2显示了受试者下肢各关节在支撑期3个时相的变化趋势,超重/肥胖儿童组和正常儿童组各关节角度在整个支撑期的变化趋势相似。在3个时相,超重/肥胖儿童比正常儿童的下肢关节角度都显著增大(见表3)。

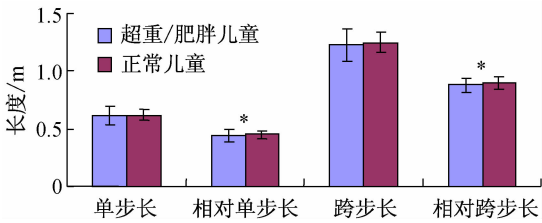


图1 超重/肥胖儿童和正常儿童在一个步态周期中步长、相对步长、跨步长和相对跨步长比较 (* $P < 0.05$)

Fig. 1 Comparison of step length, relative step length, stride length and relative stride length between overweight/obese children and normal weight children

表3 不同步态分期超重/肥胖儿童和正常儿童下肢关节角度比较 (* $P < 0.05$)

Tab.3 Comparison of joint angle of lower extremity in different gait phase between overweight/obese children and normal weight children

		超重/肥胖儿童($n=40$)		正常儿童($n=50$)		P 值	
		左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
足跟着地期	髋关节角/°	165.36 ± 5.29 *	164.47 ± 5.70	161.99 ± 4.28 *	162.77 ± 4.36	0.002 *	0.129
	膝关节角/(°)	178.82 ± 5.51 *	177.84 ± 5.25 *	174.18 ± 5.28 *	174.67 ± 4.91 *	0.000 1 *	0.050 *
	踝关节角/(°)	105.77 ± 5.14	105.69 ± 4.48	104.85 ± 3.84	104.95 ± 4.16	0.351	0.433
全足支撑期	髋关节角/(°)	168.65 ± 6.09	169.16 ± 6.07 *	166.85 ± 5.24	166.55 ± 4.82 *	0.139	0.031 *
	膝关节角/(°)	168.11 ± 6.60	169.30 ± 6.04 *	165.68 ± 6.87	166.06 ± 6.96 *	0.100	0.020 *
	踝关节角/(°)	111.64 ± 5.15	113.14 ± 4.29	110.07 ± 4.58	112.00 ± 4.55	0.144	0.228
足蹬伸期	髋关节角/(°)	190.88 ± 6.67	190.87 ± 6.09	190.34 ± 7.10	196.62 ± 4.67	0.713	0.149
	膝关节角/(°)	145.93 ± 6.60	143.95 ± 8.94	145.21 ± 8.38	145.18 ± 6.63	0.652	0.478
	踝关节角/(°)	120.79 ± 8.01	121.73 ± 8.03 *	120.39 ± 6.62	118.44 ± 6.70 *	0.800	0.041 *

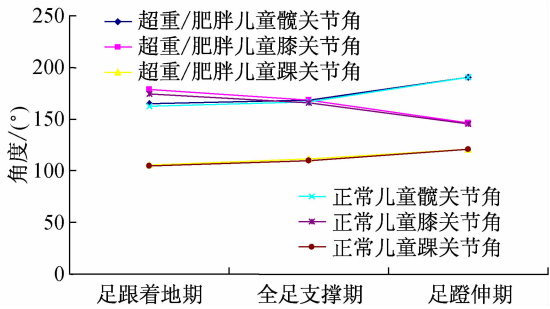


图2 超重/肥胖儿童和正常儿童在支撑期3个时相下肢关节角度的变化曲线

Fig.2 Changes of joint angle of lower extremity during the three support phases between overweight/obese children and normal weight children

3 讨论

行走是一种周期性运动,是人体日常生活中重复最多的一种整体性运动^[12]。对行走时的步态进行分析,有助于了解不同人群的步态规律。步态的运动学分析,主要是行走过程中对观察到的运动进行描述,包括步长、步速和时间,以及身体各部分和各关节的位置、角度等。关节角度指在某一解剖学平面内相邻两个身体环节之间的角度。在大部分的步态分析中,关节的研究通常只针对髋、膝、踝3个下肢关节。由于髋关节和踝关节是球窝关节,故它们可以在3个平面内分别产生屈伸(或踝关节的蹠屈和背伸)、内收外展、内旋外旋的运动;而膝关节则是典型的铰链关节,只能在矢状面内做伸展和弯曲的运动。通常,步态分析是从矢状面内对行走过程进行分析^[13],而本研究讨论超重/肥胖对儿童这3个下肢关节在矢状面内角度的影响。

超重/肥胖儿童的步长和跨步长略小于正常体重儿童,但两者没有显著性差异。以往的研究^[14-15]已经证实,单步长与身高显著相关。在本研究中,超重/肥胖儿童与正常儿童相比,身高并没有显著性差异。而消除身高对步长的影响后,超重/肥胖儿童的相对步长和相对跨步长显著小于正常体重儿童,该结果与文献^[16]中的研究结果相似。超重/肥胖儿童比正常体重儿童有较长的双支撑时间^[4-8,17]和摆动时间^[7],较短的单支撑时间^[4-8],超重/肥胖儿童在正常行走过程中比正常体重儿童有较短的摆动时间^[9,18]。超重/肥胖儿童的双支撑时间、单支撑时间

和摆动时间与正常体重儿童均无显著差异,只是有双支撑时间和单支撑时间增大、摆动时间减小的趋势,这可能与选取超重/肥胖儿童的标准以及运动学参数采集所用设备不同等因素有关。本文将超重和肥胖儿童合起来作为实验组,与正常儿童相比,步态周期变化趋势不明显,推测是实验组和对照组肥胖程度差别相对较小导致。在今后的研究中,将把超重儿童和肥胖儿童分开,研究体重导致儿童运动时步态的变化特征。

在足跟着地期,超重/肥胖儿童在矢状面内的左侧髋关节角和双侧膝关节角显著大于正常儿童,该结果类似于文献^[18]中的研究结果,说明超重/肥胖儿童比正常体重儿童在足跟着地时保持较小的屈髋和屈膝,而倾向于较大的伸髋和伸膝,致使肥胖儿童在开始着地期有较小的缓冲,故可能导致肥胖儿童较差的稳定性。在全足支撑期,超重/肥胖儿童在矢状面内的右侧髋关节角和膝关节角也显著大于正常儿童,该结果与文献^[18-20]中的研究结果类似。分析其原因,可能是超重/肥胖儿童保持比较小的屈膝是为了补偿膝关节伸肌的虚弱,或者是伸膝肌在支撑期较低的有效性使得膝关节有较大的外展。在支撑期,相对伸展的膝关节也可能是补偿膝关节结构的不稳定性^[18]。而在足尖离地期(足蹬伸期),超重/肥胖儿童在矢状面内的右侧踝关节角度显著大于正常儿童,即有较大的足背伸和较小的足蹠屈,这与文献^[18,21]中的研究结果相似,说明与正常儿童相比,超重/肥胖儿童在蹬伸期踝关节蹬伸不够充分。肥胖儿童在蹬伸期有较小的蹠屈力矩^[18-20],推测是蹠屈肌相对虚弱造成。而在本研究中没有考察下肢各关节力矩。

肥胖儿童与正常儿童相比,行走时的一些运动学参数存在显著差异,而超重儿童的研究相对比较少。本文将超重和肥胖儿童作为一组与正常儿童相比,得出了与以前研究相似的结论,可见超重儿童已经显示出与正常体重儿童在步态上的差异,故对肥胖儿童进行早期发现和预防,对于儿童的健康起着至关重要的作用。

本文的局限在于没有对受试者进行三维运动捕捉,并且仅仅关注了儿童行走这一种运动模式,这在将来的研究中都将涉及,进而为提高肥胖儿童的身体健康提供科学依据。

4 结语

与正常体重儿童相比,自然行走过程中,超重/肥胖儿童步态的一些运动学参数显著不同。超重/肥胖儿童比正常儿童相对步长显著减小;足跟着地阶段,超重/肥胖儿童在矢状面上左髋和左右膝关节角显著大于正常儿童;足蹬伸阶段,超重/肥胖儿童在矢状面上的左踝关节角显著大于正常儿童,这些变化可能会对超重/肥胖儿童下肢的功能造成一定的影响。

致谢: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] 魏雅宁, 侯晓菊. 儿童肥胖 8 岁始, 小学要积极锻炼[EB/OL]. [http://health. people. com. cn/GB/14767532. html](http://health.people.com.cn/GB/14767532.html), 2011-05-30.
- [2] 闫松华, 谭国庆, 刘志成. 7~11 岁肥胖儿童动态足底压力分布[J]. 医用生物力学, 2010, 25(2): 24-29.
Yan SH, Tan GQ, Liu ZC. Research on dynamic plantar pressures distribution of 7 to 11 years obese children [J]. J Med Biomech, 2010, 25(2): 24-29.
- [3] Hills AP, Parker AW. Gait characteristics of obese children [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1991, 72(5): 403-407.
- [4] McGraw B, McClenaghan BA, Williams HG, et al. Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2000, 81(4): 484-499.
- [5] Morrison S, Durward B, Watt G, et al. Does body mass affect the spatio-temporal parameters of children's gait [J]. Gait Posture, 2009, 30(S2): 112-113.
- [6] 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(4): 719-721.
- [7] Colné P, Frelut ML, Pérès G, et al. Postural control in obese adolescents assessed by limits of stability and gait initiation [J]. Gait Posture, 2008, 28(1): 164-169.
- [8] Li JX, Wang L, Xu DQ. Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal children [J]. J Biomech, 2007, 40(S2): S522.
- [9] 张晓栋, 肖丹丹. 超重/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.
- [10] 中国超重/肥胖问题工作组. 中国学龄儿童青少年超重、超重/肥胖筛查体重指数分类标准[J]. 中华流行病学杂志, 2004, 25(2): 97-102.
- [11] 王岚, 王婷, 王劲松, 等. 人体步态规律测量分析与研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(6): 589-593.
- [12] 宋雅伟, 滕津汝, 张曦元. 不同硬度鞋底对下肢步行运动学的影响[J]. 医用生物力学, 2013, 28(4): 388-396.
Song YW, Teng JR, Zhang XY. Effects of soles with different hardness on human lower extremity kinematics during walking [J]. J Med Biomech, 2013, 28(4): 388-396.
- [13] 李凯, 元文学, 孟昭莉. 儿童步态的研究进展[J]. 体育科学, 2009, 29(10): 72-75.
- [14] Bobet J, Norman RW. Effects of load placement on back muscle activity in load carriage [J]. Eur J Appl Physiol, 1984, 53(1): 71-75.
- [15] James R. A review of lower limb overuse injuries during basic military training [J]. Mil Med, 1993, 158(6): 410-415.
- [16] 张少伟. 7 岁超重/肥胖男孩正常行走步态的生物力学研究[J]. 沈阳体育学院学报, 2012, 31(4): 76-78.
- [17] Dufek JS, Currie RL, Gouws PL, et al. Effects of overweight and obesity on walking characteristics in adolescents [J]. Hum Mov Sci, 2012, 31(4): 897-906.
- [18] McMillan AG, Pulver AM, Collier DN, et al. Sagittal and frontal plane joint mechanics throughout the stance phase of walking in adolescents who are obese [J]. Gait Posture, 2010, 32(2): 263-268.
- [19] Gushue DL, Houck J, Lerner AL. Effects of childhood obesity on three-dimensional knee joint biomechanics during walking [J]. J Pediatr Orthop, 2005, 25(6): 763-768.
- [20] DeVita P, Hortobagyi T. Obesity is not associated with increased knee joint torque and power during level walking [J]. J Biomech, 2003, 36(9): 1355-1362.
- [21] Spyropoulos P, Pisciotta JC, Pavlou KN, et al. Biomechanical gait analysis in obese men [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1991, 72(13): 1065-1070.