

Master Dissertation

Shandong Institute of P.E. and Sports

**Influence of carrying different weights of school bags on gait
phase and plantar pressure in obese children's stair walking**

Zhang Yaqiang

(Sports Biomechanics)

Supervisor: Professor DeWei Mao

June 2, 2011

学位论文原创性声明



本人郑重声明：所呈交的论文是在我个人在导师指导下独立进行研究所取得的成果。除了文中特别加以标注引用的内容和致谢的地方外，论文中不包含任何其他任何或集体已经发表或撰写过的研究成果，与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：张亚强

导师签名：毛桂伟

学位论文版权使用授权书

本人完全了解山东体育学院有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文，并编入有关数据库。

学位论文作者签名：张亚强

导师签名：毛桂伟

签字日期：2011年6月23日

签字日期：2011年6月23日

目录

摘 要	I
ABSTRACT	III
1 前言	1
1.1 问题的提出	1
1.2 文献综述	1
1.2.1 关于儿童书包重量的研究	1
1.2.2 负重对步态的影响的研究	2
1.2.3 平地行走以及上下楼时足底受力的研究	5
1.2.4 关于肥胖生物力学的研究进展	6
1.3 研究的目的意义	10
1.4 研究的创新点	10
1.5 研究假设	10
2 研究对象及研究方法	11
2.1 研究对象	11
2.2 研究方法	11
2.2.1 实验仪器及摆放	11
2.2.2 实验方案	12
2.2.3 数据收集	13
2.2.4 研究指标	15
2.2.5 数据的统计学处理	16
2.2.6 技术路线	16
3、实验结果	17
3.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时步态的影响	17
3.1.1 不同书包重量对肥胖儿童上楼梯时步态的影响	18
3.1.2 不同书包重量对肥胖儿童下楼梯时步态的影响	18
3.1.3 同一书包重量对肥胖儿童上下楼梯步态影响的比较研究	19
3.2 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时足底受力的影响	21
3.2.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼时垂直压力的影响	22
3.2.2 不同书包重量对肥胖儿童左右方向受力的影响	25
3.2.3 不同书包重量对肥胖儿童前后方向受力的影响	28
4、分析讨论	30
4.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时步态的影响	30
4.1.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时步态的影响	30
4.1.2 同一书包重量对肥胖儿童上下楼梯步态影响的比较研究	31
4.2 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时足底受力的影响	32
4.2.1 垂直方向压力	32
4.2.2 左右方向受力	34
4.2.3 前后方向受力	35
5、结论	35

6、研究局限 36

参考文献 36

摘 要

研究目的：每天都要背负沉重的书包上下楼梯这样的障碍，已经成为肥胖儿童日常生活的一部分。关于正常儿童负重的研究均表明过重的书包会造成儿童的身体姿势、步态、足底压力的异常。以往关于肥胖儿童的研究均是在无负重状态下平地行走的环境中进行的，内容主要涉及肥胖给儿童造成的一些并发症以及日常活动带来的不便。然而关于肥胖儿童背负书包上下楼梯的研究至今仍然是个空白。本次研究的目的是从运动生物力学的角度揭示背负不同重量的书包对于肥胖儿童上下楼梯时的步态特征和足底受力特征的影响，以期能为肥胖儿童这一特殊的人群指出负重过程中可能存在的危险隐患，同时在科学减负这一问题上提供理论指导。

研究方法：在济南市十亩园小学随机选取了 16 名男性肥胖儿童（年龄： 11.19 ± 0.66 岁；身高： 148.85 ± 14.07 cm；体重： 75.26 ± 15.99 kg； 体重指数： 29.78 ± 4.10 kg/m²）作为本次研究的受试者。一台摄像机(sony_1000e)用于采集肥胖儿童背负不同重量书包上下楼梯时的步态参数，同时利用镶嵌于第三和第四楼梯的两台测力台（KISTLER, 9287BA, 9281CA, Siwtzerland），获取肥胖儿童上下楼梯时足底的三维受力数据。实验过程中儿童需要背负自身体重（Body Weight, B.W.）的 0%，10%，15%和 20%重量的双肩背书包上下楼梯，每次上下楼时要求动作流畅、无间断，每个书包重量要求完成三次，每完成一次测试休息一分钟，每完成一种书包重量休息三分钟。实验过程中背负不同书包的顺序要求随机。采用重复性方差分析（Repeated Measure）统计学方法比较儿童同一指标、不同的书包重量之间有无差异。利用 Paired Sample T Test 对同一指标、相同重量上下楼之间的有无差异的检验。（ $P < 0.05$ ）

研究结果：

1、步态参数：上楼时步态周期、双支撑时间百分比和支撑相时间百分比随着重量的增加而增加，摆动相时间百分比随着负重的增加而减少。其中与负重 0%B.W.、10%B.W.、15%B.W. 的重量相比，步态周期在负重 20%B.W. 时出现了显著性的增加；双支撑时间在负重 15%B.W. 时出现了显著性的上升；支撑相时间百分比和摆动相时间百分比在是负重 10%B.W. 时出现了显著性差异。下楼时步态周期、双支撑时间百分比和支撑相时间百分比也是随着重量的增加而增加，摆动相时间百分比随着负重的增加而减少。并且与负重 0%B.W. 的重量相比，步态周期、支撑相时间百分比、摆动相时间百分比、双支

撑时间均是在负重 20%B.W. 时出现显著性差异。当负重相同重量上下楼之间进行步态参数比较时,我们发现四种负重上楼时步态周期百分比均显著高于下楼时的步态周期,上楼时双支撑时间百分比在背负 10%B.W.、15%B.W.、20%B.W. 三个重量的书包时显著高于下楼时的双支撑时间百分比。

2、垂直方向压力:上楼时第一、第二压力峰值和谷值均是随着负重的增加而增大,并且在 10%B.W. 时出现显著性差异;下楼时最大压力峰值(第一压力峰值)随着负重的增加而增大,并且在 10%B.W. 时出现显著性差异。当负重相同重量上下楼之间最大受力进行比较时,我们发现四种负重上楼时最大受力均显著高于下楼时的最大受力。

3、左右方向压力:上楼时四个重量书包之间没有显著性差异,上楼时的最大受力在 0.069—0.075 倍体重之间。下楼时四个重量书包之间没有显著性差异,下楼的最大受力在 0.12—0.13 倍体重之间。下楼时所背负的四个重量的书包的左右方向最大受力均显著高于上楼时左右方向的最大受力。

4、前后方向最大受力,上楼时和下楼时四个重量书包之间没有显著性差异,上楼时的最大受力在 0.12—0.13 倍体重之间,下楼的最大受力在 0.16—0.17 倍体重之间。下楼时所背负的四个重量的书包的前后方向最大受力均显著高于上楼时前后方向的最大受力。

结论:

1、上楼和下楼时,步态周期随着负重的增加而增加,说明随着负重的增加,儿童的行走速度降低。支撑相、双支撑相随着负重的增加而增加,摆动相随着负重的增加而减小,说明随着负重的增加,儿童的稳定性下降,通过增加支撑相时间(减小摆动相时间)来完成。

2、负重 10%体重时已经对肥胖儿童的垂直压力产生了显著性的影响,如果负重过大很可能引起儿童下肢关节的损伤,肌肉的拉伤;四个重量对儿童足底前后和左右方向影响不大;左右方向下楼时的压力大于上楼时的压力,说明下楼时比上楼时更加不稳定;前后方向下楼时的压力也是大于上楼时的压力。这是由于下楼时前脚掌触地引起的,加上较大地面的垂直作用力,很可能引起足底的病变,建议要通过增加鞋的缓冲能力降低伤害。

3、结合负重对肥胖儿童步态参数和足底受力的影响,我们认为肥胖儿童的负重量不应该超过自身体重的 10%。

关键词：负重；爬楼；肥胖儿童；步态；足底压力

ABSTRACT

Ojectives: Both load carriage and stair walking are frequently encountered during the course of normal daily activities for obese children. Previous studies had investigated that exceed heavy school bag would influence children's posture gait and plantar pressure during level walking. Pertaining to obese children are focus on pathology and daily activities inconveniently in unload conditions. However, research on sports biomechanics for obese children load carriage during stair walking is rare so far. To examine the influence of carrying different weights of school bags on gait phase and plantar pressure in obese children's stair walking is this study objectives, in order to know, is there potential risk for obese children when they loading heavy school bag during stair walking, and provide some suggestions for relieve load.

Methodology: Sixteen male students aged 11.19 ± 0.66 years (body weight 75.26 ± 15.99 kg; body height 148.85 ± 14.07 cm; body index 29.78 ± 4.10 kg/m²) were recruited randomly from Shi Mu Yuan elementary school to serve as subjects. A camera (Sony_1000e, Japan) was used to capture gait parameters during children load different weight of school bag climbing stairs, aimed to collect kinetic data, two force plates (KISTLER, 9287BA, 9281CA, Switzerland) were embedded in the third and fourth stair respectively. Four backpack (on both shoulder) with 0%, 10%, 15%, and 20% of the subjects' body weight, were used when they load ascended and descended stairs. Each load ask children to finished 3 times smoothly. Children were asked to take a rest for 1 minute when each trial was finished and when three times trials were taken they can take a rest for five minutes. A repeated ANOVA measurement was performed to compare four difference loads for each dependent variable and the paired samples t-test was used to investigate whether there was a significant difference in each dependent variable between ascended and descended stairs, ($p < 0.05$).

Results:

1. Gait parameters : In ascending the stairs ,the gait cycle duration,double support duration and stance duration were increased along with load increased and swing duration were deduced when load increased.The results showed that the gait cycle duration was significantly increased with 20% body weight when compared to the 0%,10% and10% load conditions .When carrying an backpack with load of 15% body weight or above induced significant increased in the double support duration and carrying an backpack with load of 10% body weight or above induced significant difference in the stance duration and swing duration. In descending the stairs , the gait cycle duration,double support duration and stance duration were increased along with load increased and swing duration were deduced when load increased.The results showed that carrying an backpack with load of 20% body weight or above induced significant difference in the gait cycle duration,double support duration ,stance duration and swing duration when compared to the 0% load condition. When compared to ascent,we found that stair decent showed significantly greater in the gait cycle duration for all conditions than ascent and showed significantly greater in the double support duration in 10、15% and20% conditions.

2. Vertical ground reaction forces: In ascending the stairs ,the first peak,minimum and the second peak were increased along with load increased .The results showed that carrying an backpack with load of 10% body weight or above induced significant increased when compared to the 0% load condition. When carrying the backpack, loads of 10% of body weight or above significantly increased the maximum (first) peak force in decent. When compared to ascent,we found that stair decent showed significantly greater in th maximum peak force for four loads.

3. Medial/Lateral ground reaction forces: Statistical analysis showed that there was no significant in the medial/lateral ground reaction forces for four conditions whatever ascent or decent. In ascending the stairs, the maximum peak force is range from 0.069 time body weight to 0.075. In descending the stairs, the maximum peak force is range from 0.12 time body weight to 0.13. When compared to ascent,we found that stair

decent showed significantly greater in the maximum peak force for four loads.

4. Anterior/Posterior ground reaction forces: The results showed that there was no significant in the anterior/posterior ground reaction forces for four conditions whatever ascent or descent. In ascending the stairs, the maximum peak force is range from 0.12 time body weight to 0.13 time body weight. In descending the stairs, the maximum peak force is range from 0.16 time body weight to 0.17 time body weight. When compared to ascent, we found that stair descent showed significantly greater in the maximum peak force for four loads.

Conclusions:

1. In ascending the stairs and in descending the stairs, the gait cycle duration was increased along with load increased, in other words, the walking velocity was reduced along with load increased. The gait cycle duration, double support duration and stance duration were increased along with load increased and swing duration were deduced when load increased, that is to say, children's stability was decreased as the load increased. In order to keep balance, subjects were forced to compensate by shortening their swing phase or adding their stance phase, which may be an attempt to minimize the duration of unsteady single-limb stance.

2. The results showed that carrying a backpack with load of 10% body weight or above induced significant increased in the vertical ground reaction forces. The increased load carried on the back would bring to the potential risk of lower limb joints muscle fiber damage when the load becomes too great. Statistical analysis showed that there was no significant in the medial/lateral ground reaction forces for four conditions whatever ascent or descent. The same situation for the anterior/posterior ground reaction forces. When compared to ascent, we found that stair descent showed significantly greater in the maximum peak force for four loads. As to the medial/lateral ground reaction forces, we concluded that during descent children showed more instability than ascent. As to the anterior/posterior ground reaction forces, stair descent showed significantly greater in the maximum peak force than stair ascent, just because during descent the forefoot

touchdown ground ,add exceed vertical ground reaction forces, It postulated that obese children are at an increased risk of developing foot pathologies due to increased plantar loads being borne by the small forefoot bones. caution should be exercised in relation to the load carried, , and the use of shoes with proper cushioning ability.

3. Consider gait parameters and plantar pressure ,We concluded that back pack weight should not exceed 10% of body weight in obese boys.

Key words:Load carriage Stair walking Obese children Gait phase Plantar pressure

1 前言

1.1 问题的提出

随着经济的发展, 社会竞争日趋激烈, 使得当今儿童学习任务加大。书包过重问题已经引起了世界范围内家长和社会的高度关注^[1-4]。据报道, 澳大利亚儿童书包的平均重量是 5.3 千克, 接近儿童体重的 10%^[5]。美国小学生的书包重量相当于 17% B.W.^[3]。香港儿童的平均书包重量相当于他们 20.2% B.W.^[6]。德国学生背负的书包重量超过他们体重的 20%, 最重时达到学生体重的 18.2%^[7]。马军^[8]等人调查了北京中小学生的书包重量, 统计发现学生背负重量平均为 4.2 kg, 平均为学生 11.1% B.W.。小学生正处于生长发育的关键阶段, 许多研究发现过重的书包背负会对儿童的生长发育造成众多不利影响, 例如过重的书包会引起脊柱异常、背部肌肉酸疼和麻木^[9-14]。以上研究大多是关于平地负重行走和跑台负重行走的研究, 只有 Hong^[11] 和苏明亮^[12] 的关于正常儿童负重研究是在楼梯上进行的。他们的对正常儿童爬楼梯的研究主要是身体姿势、步态方面和足底的垂直受力。肥胖儿童作为一个特殊人群在世界范围内已经越来越多^[15]。肥胖本身就是一个长期负重的状态, 然而和正常儿童一样, 肥胖儿童每天也要经历背着沉重的书包上学这样的必修课。有研究证实^[16] 肥胖儿童的活动能力较正常儿童有所下降。对于上下楼这样的日常活动对肥胖儿童来说无疑会变得困难^[17]。关于肥胖儿童背负不同重量的书包上下楼梯时对其步态和足底受力有何影响, 至今仍然是一个空白。本文试图研究肥胖儿童背负自身不同重量的双肩背书包上下楼梯时对其步态和足底受力的影响。

1.2 文献综述

1.2.1 关于儿童书包重量的研究

1979年Sander等人研究发现德国学生背负的书包重量超过他们体重的18.2%, 背负最重的时候达到学生体重的20%^[7]。

1988年香港儿童与发展协会调查发现香港学生背负的书包重量大约是学生体重的20.2%, 他们研究的812名学生中有45名学生出现了脊柱畸形。进一步研究发现, 脊柱畸形的45名学生的书包平均重量为4.74kg, 高于总体样本的均值4.61kg, 所以

他们认为脊柱畸形与书包的重量有关^[6]。

1997年Pascoe^[3]等人对平均年龄为11.3岁的美国学生的研究指出,美国学生的书包重量平均为7.7千克,约占他们体重的17%。在研究的三种类型的书包中(单肩背包、双肩背包、单肩运动包)发现单肩书包会引起承重肩的显著性提高同时伴有脊柱向同侧的弯曲。他们发现肌肉酸痛、背痛、四肢麻木、肩痛等症状均与过重的书包重量有关。在Troussier^[9]和Johnson^[10]的研究中也得出了一致的结论。

根据Grimmer^[5]等人的研究,在澳大利亚他们的儿童背负的平均书包重量为5.3kg,大约占儿童体重的10%,Grimmer等人认为脊柱病症与负重关系密切。2001年马军^[18]等人以6-14岁儿童少年为研究对象,采用运动负荷实验,测定儿童少年最大耗氧量、最大心率以及不同负荷运动实验中耗氧量、心率、能量消耗等变化,并观察负荷运动实验中儿童主观感觉及出汗情况。依据心率、耗氧量及负重状态下儿童主观感觉、出汗情况等指标,参照成人的一些标准,提出儿童少年适宜负重量的上限范围为自身体重的8%-10%。随后马军^[8]等人对北京市1208名6-14岁中小學生,进行学生问卷和家长问卷的调查,并测量学生日常背负书包的重量。结果发现学生背负重量平均为4.2 kg,占学生体重的百分比平均为11.1%。在背负书包往返学校时,53.1%的小学生和86.0%的中学生有累的感觉,并有出汗、肩膀酸痛、腰部酸痛、后背疼痛、颈部酸痛等现象出现。他们认为中小學生背负重量过重,对学生的正常发育会产生不利影响。

2003年李静先^[19]等人利用运动跑台研究了15名10岁左右儿童负重自身体重10%,15%,20%的书包躯干倾角和呼吸系统的反应,结果发现负重负荷与躯干倾角以及呼吸频率正相关,他们建议学生的书包重量不应超过儿童体重的10%。

1.2.2 负重对步态的影响的研究

Hong和Brueggemann^[20]对15名男性儿童(年龄 10.31 ± 0.26 岁,体重 33.53 ± 2.64 kg,身高 141.86 ± 3.77 cm)背负自身体重0%,10%,15%,20%的双肩背包在运动跑台上以1.1m/s的步速行走20分钟,利用三维摄像的方法分析儿童的步态随负重增加时的变化。结果显示,负重20%体重的书包时,步态指标中的双支撑时间百分比、支撑相时间百分比,与背负0%B.W.比较时出现显著性增加,而摆动相时间出现显著性减少。他们认为增加在背部的负重提高了整个人体的重心,使得儿童行走时更加不稳定,迫使儿童通过减短单腿支撑的时间来维持平衡。

Ghori^[21]等人的研究发现在跑台上以等速度负重20%, 30%, 40%, 50%体重的重量时,双支撑时间随着负重的增加出现显著性增加,摆动相时间随着负重的增加出现显著性降低。

武明^[22]对五名男性在校研究生(年龄 26.2 ± 3.9 岁, 62.8 ± 10.9 kg, 身高 170.6 ± 4.7 cm)背部分别负重6kg、12kg、25kg时的步态进行了研究并分析了人体负重后的补偿效应。研究表明,负重后人体的平均步速明显降低,步长变化不明显。武明等人认为负重后的补偿策略与受试者的肌肉强度密切相关,同样的负重受试者的肌肉强度越大,负重对其步态特征的影响越小。人体对负重的补偿反应主要是由髋关节、膝关节以及躯干的摆动来完成,踝关节的贡献相对较小。背部负重后,总质心偏离人体的原质心位置上移,这个时候可以借助髋关节与膝关节的弯曲可以使总质心下移来减少足跟触地时对下肢关节的冲击以及上传至大脑的冲击。

Tarkeshwar Singh^[23]等人对17名(年龄 9.65 ± 1.58 岁, 身高 134.41 ± 11.01 厘米, 体重 31.09 ± 7.01 千克)在跑台分别以高位背负与低位背负的方式背负10%、15%、20%的重量以自身感觉舒适的步速行走六分钟,对第6分钟后10秒的时空参数进行了分析。结果发现,低位与高位负重20%体重时较无负重时步速显著性降低,同时低位负重20%体重时与负重10%体重时也出现了显著性差异。同时发现低位负重步速比高位负重降低的更明显,但没有显著性差异。Tarkeshwar Singh等人的研究结论与Wang^[24]等人对未经过专业训练的成年人的研究结果一致。然而与Charteris^[25]等人关于经常运动的成年人的研究结果不同,Charteris等人的研究发现,步速随着负重的增加逐渐减少,但是直到负重60%体重时仍然没有出现差异。因此Tarkeshwar Singh等人认为负重对儿童和未经过专业训练的成年人步速的影响是一致的。关于双支撑时间百分比这一指标,Tarkeshwar Singh等人的研究与Hong和Brueggemann^[26]的研究结果一致,在负重20%体重时,与无负重比较,双支撑时间百分比出现了显著性增加。Tarkeshwar Singh等人发现步长没有随着负重的增加发生显著性变化,他们的研究与Kinoshita^[26]等人的对成年人负重对步长的研究一致,在Kinoshita等人的研究中20%与40%体重的背负重量均没有引起步长的变化。然而Pascoe^[3]等人的研究发现,即使负重17%体重的重量也会引起步长的显著性降低。

LaFiandra^[27]等人研究14名在校大学生与研究生在跑台上负重40%自身重量,

以 0.2m/s 的速度为间隔,测试了 0.6-1.6m/s 的 6 种速度,分析负重和行走速度对躯干协调与步态参数的影响,结果发现与无负重比较,负重 40%时骨盆与胸部的横向转动显著性减小,步长显著性减小,步频显著性增加。LaFiandra 等人认为人体负重时为了保持速度,需要通过增加髋关节的伸展程度或者通过增加步频来弥补骨盆转动幅度减小对速度的影响。

Hong^[1]等人鞋垫系统对 13 名男性儿童(年龄 12.21 ± 0.98 岁, 体重 47.12 ± 9.69 kg;身高 159.66 ± 9.67 cm) 背负 0%, 10%, 15%和 20%的四个书包重量以及单肩背、双肩背的两种不同背负方式,上下楼时的步态特征进行了研究。研究发现,上楼时背负 15%B.W. 的双肩背包会引起支撑相和双支撑时相的显著性增加,而背负 10%B.W. 的单肩背包会引起这种变化。说明单肩背包对步态的时间参数比双肩背包更敏感。下楼时背负 20%B.W. 的两种背包,与 0%B.W. 比较均会引起支撑相和双支撑时相的显著性增加。

2003年Hong^[28]等人对23名9-10岁的儿童背负0%, 10%, 15%, 20%体重的双肩背包平地行走时的步态时间参数, 躯干倾角, 躯干摆动范围进行了测试。研究发现负重20%体重的书包时会引起脊柱的显著性前倾, 然而对于步态的参数变化没有统计学意义。这与Kinoshita^[26]所认为的人体负重后习惯采用短步长低步速的理论相悖。然而Nottrodt^[29]等人认为当人体负重达到人体的负重极限时, 才会采用降低行走速度, 减短步长和增加步频的行走方式, Hong等人认为, 20%的负重并没有达到人体生理的负重极限, 受试者为减少能量的消耗, 会采用能量消耗最小的习惯性步速行走。步态的时间参数方面, 也没有发现显著性差异, 这与Hong^[20]等人在跑台上的研究并不一致, Hong等人认为, 在跑台上步态的时间参数的变化与行走速度是等速度有关。

Li^[30]等人对 6 岁和 12 岁的两组儿童负重自身体重的 0%, 10%, 15%, 20%的书包在跑台行走时的躯干倾角进行了分析, 结果发现随着负重的增加两组儿童的躯干倾角均随之增加, 在 15%自身体重量时出现显著性增加。当比较两组儿童的躯干倾角活动范围时, 他们发现 12 岁儿童的躯干活动范围显著大于 6 岁组儿童。说明年龄因素对负重时的躯干活动范围有影响。

Riener^[17]等人对 10 名健康男性(年龄 28.8 ± 2.9 岁, 体重 82.2 ± 8.5 kg;身高 1.79 ± 0.05 m)上下 3 种坡度(24° , 30° , 42°) 楼梯时的步态参数进行了研究, 结果发现站立相时间在支撑时间的 59.6—63.7%之间, 上楼时支撑相时

间随着楼梯坡度的增加而增加,下楼时支撑相时间随着楼梯坡度的增加而降低。步态周期只有上楼时随着楼梯坡度的增加而延长,下楼时没有显著性差异,然而上楼梯的步态周期均显著高于下楼时的步态周期。

1.2.3 平地行走以及上下楼时足底受力的研究

孟昭莉^[31]等人利用Footscan足底压力步态分析系统测试了10名儿童(年龄: 8.9 ± 1.2 岁;体重 30.5 ± 8.9 kg;身高 136.6 ± 10.3 cm)背负2kg和4kg重量行走时动态足底压力分布进行分析。结果表明,学龄儿童背负4 kg书包行走时,足底第二、三跖趾关节处峰值压力增大,支撑时间延长;压力中心变化曲线呈横向摆动偏大趋势,足中部控制不良需要肢体参与维持平衡;随着背负重量的增加足支撑各阶段的比例加大,造成下肢伤害的可能性增高,说明儿童长期负重行走对足及下肢肌肉负荷较大,足掌跖趾区相应部位易形成胼胝体,将会影响儿童足弓正常发育。

Hong^[1]等人鞋垫系统对13名男性儿童(年龄 12.21 ± 0.98 岁,体重 47.12 ± 9.69 kg;身高 159.66 ± 9.67 cm)背负0%,10%,15%和20%的四个书包重量以及单肩背、双肩背的两种不同背负方式上下楼时的足底垂直受力进行了研究。研究发现,上楼时背负15%B.W.及以上的双肩背包会引起最大压力峰值即第二压力峰值的显著性增加,而背负10%B.W.的单肩背包时会引起这种变化。说明压力峰值这一指标对背负方式很敏感。

Stacoff^[32]等人利用测力台对3个年龄段的人群(青年人:33.7岁;中年人63.6岁;老年人:76.5岁)在平地行走以及在3个不同坡度楼梯上下楼时的地面反作用力进行了研究。研究结果表明,压力曲线的变化方面:上楼时的压力曲线和平地行走的压力曲线接近,只是第二峰值压力比第一峰值大;下楼时典型的双峰曲线消失,先是出现具有波动较大的第一峰值,然后出现较小的第二峰或是没有第二峰值的出现,通常是压力曲线随着楼梯坡度的增加波动性随着增加。压力变化方面:从平地行走走到上楼梯地面反作用力的变化不明显,当平地与下楼比较时,3种坡度楼梯的第一压力峰值均大于平地行走的,当上楼与下楼地面反作用力比较时发现,下楼的第一峰值大于上楼的第一峰值,而第二压力峰值下楼的要小于上楼时的,楼梯的坡度对地面反作用力的影响不显著;年轻人无论是平地、上楼还是下楼的地面反作用力均大于中年组和老年组,而中年组和老年组之间没有显著性差异,原因与年轻人的行走速度快有关。

Riener^[17]等人对10名健康男性(年龄 28.8 ± 2.9 岁, 体重 82.2 ± 8.5 kg; 身高 1.79 ± 0.05 m)上下三种坡度(24° , 30° , 42°)的楼梯地面反作用力进行了研究, 结果发现前后方向的反作用力受楼梯坡度的影响较小, 前后方向的最大反作用力出现在支撑相的早期, 然而反作用力值并不大; 受楼梯坡度影响最大的是下楼时垂直方向的受力, 最大楼梯坡度的垂直方向反作用力高于最小楼梯坡度垂直方向反作用力的14.8%。

1.2.4 关于肥胖生物力学的研究进展

肥胖是指当摄入热能多于机体消耗, 致使体内脂肪组织过多堆积而体重超过正常值^[33]。根据世界卫生组织2000年的报告, 目前全球儿童超重率接近10%, 肥胖率为2%~3%; 欧美发达国家儿童超重率高达20%~30%, 肥胖率为5%~15%^[34]。肥胖的判定标准较多, 主要有身高标准体重法(weight-for-height)、体重指数法(body mass index, BMI)、皮褶厚度(skinfold thickness)、体脂含量测量(total adiposity measurement)。采用较多的是体重指数法, 2002年2月, WHO西太平洋地区肥胖症特别工作组提出了亚洲成人体重分级的建议: BMI <18.5 为低体重, 18.5~22.9为正常, ≥ 23 为超重。其中, 23.0~24.9为危险性增加, 25.0~29.9为I度肥胖(中度), ≥ 30.0 为II度肥胖(严重)。以下关于肥胖儿童的生物力学研究均是以体重指数法为判定肥胖的标准。

Riddiford^[35]等人利用纸上足印技术对62名肥胖儿童和62名青春期前非肥胖儿童的足印角度与Chippaux-Smirak指数进行了计算, 结果发现肥胖儿童与正常儿童比较足印角度显著性偏小(肥胖: 左脚 $38.14 \pm 14.77^\circ$, 右脚 $37.63 \pm 14.00^\circ$, 非肥胖: 左脚 $46.90 \pm 11.40^\circ$, 右脚 $46.07 \pm 10.91^\circ$), Chippaux-Smirak指数显著性偏大(肥胖: 左脚 $36.30\% \pm 14.36\%$, 右脚 $36.82\% \pm 13.97\%$; 非肥胖: 左脚 20.62 ± 12.92 , 右脚 23.35 ± 12.42), Riddiford等人认为过重的体重会对青春期前儿童的足结构产生显著性影响, 如果过重的体重得不到控制, 很可能引起脚底的病变。Bordin^[36]等对243名8~10岁学生足部形态学的研究结果发现, 在正常体重儿童中, 扁平足的发生率是16.4%, 超重和肥胖儿童为27.3%, 这样的结果也支持了Riddiford等人的推论。

Hills^[37]等人对10名肥胖儿童和10名正常儿童, 利用两台摄像机对其以三种步速(正常速度; 慢速: 90%正常速度; 快速: 130%正常速度)径行走10米路径时

的正面与矢状面进行拍摄。结果显示,在三种步速下,肥胖儿童与正常儿童比较,表现出较长的步态周期以及较长的站立相时间;较慢的步频以及较慢的相对速度;在三种步速下,肥胖儿童表现出步态的不对称性,肥胖儿童的右下肢的步长均大于左下肢的步长;肥胖儿童的步宽也大于正常儿童。Hills 和Parker同时分析了三种速度下髌、膝、踝关节在矢状面内的活动情况,结果发现,肥胖儿童和正常儿童的三大关节角度在同一种速度行走时的变化形式是相似的,然而当比较三种步行速度的改变所引起关节角度的改变时,发现肥胖儿童不同速度下同一时刻关节角度的差别较大,也就是说肥胖儿童必须通过较大程度的改变关节角度来完成速度的改变。

Fregly^[38]等人在为筛选飞行员制订标准时,探讨了除前庭功能外可能影响平衡的因素。他们将临床平衡测试结果与形态测量学指标进行了相关分析,研究发现有10个指标与平衡能力相关,其中腹围、内胚层体型和体重3个指标相关性最高。他们认为身体的尺寸和形态对姿势稳定性有极大的影响,原因是超重人群进行重心转移的能力差。

McGraw^[16]等人利用三维测力台和摄像分析了8-10岁的10名肥胖儿童和10名正常体重的儿童的姿势稳定性与步态。步态分析了三种步速下步态的不同,姿势稳定性分析时以睁眼、闭眼和视觉干扰作为干预。结果发现,在三种步速下肥胖儿童双支撑时间,支撑相时间显著性高于正常儿童,摆动相时间显著低于正常儿童;在前后方向上,各种视力状态下,前后足站立,肥胖组COP在前后方向上表现出更大的能量消耗和更大的位移均方根。在左右方向上,肥胖儿童COP表现出了比在前后方向上更大的不稳定性。肥胖儿童在各种视力条件下,在双足并拢状态下,COP在左右方向上的能量消耗和位移的均方根,在闭眼和视力干扰条件下也呈现出更大的数值。McGraw等人的研究证明,肥胖儿童在各种站立状态下,在前后、左右方向上均表现出了姿势控制的不稳定性,在左右方向上表现得更为明显。他们认为,肥胖儿童的这种姿势控制的不稳定性将会影响其日常活动并影响其参与活动的兴趣和自信心,使其日常热量消耗处于较低水平,造成恶性循环,从而进一步影响其姿势控制系统。McGraw等人认为肥胖儿童自身较大的身体形态和较重的体重有关,而不应是姿势控制系统功能减弱造成的。

Dowling^[39]等人对10名肥胖儿童和10名正常儿童的静态和动态足底压力进行了研究,结果表明,在静止站立情况下,肥胖儿童有一个较大足底接地面积和较

高的压强；行走时，肥胖儿童同样有一个较大足底接地面积，然而足底压力除了脚趾以外各个部位压力值均大于正常儿童，尤其是在中足和前足第二至第五跖趾关节压强明显高于正常儿童。Dowling等人认为肥胖儿童的足底受力会引起儿童的足部不适，很可能引起脚前掌的病变以及足中部内侧弓的下陷。后来Dowling^[40]等人测试了13名肥胖儿童和13名正常儿童的最大压力和最大接触面积。发现两个指标，肥胖儿童均显著高于正常儿童的。但是当比较整个足的受力分布到整个足的触地面积的时候，两组的差异并不明显。值得注意的是，当把整个足分为前足和后足的时候，与正常儿童比较，肥胖儿童的前足受力显著性高于后足的受力。

Mickle^[41]等对肥胖儿童步行过程中足底压力的研究与上述研究结果一致，结果显示在步行过程中肥胖儿童有较大的足底接地面积，其全足、前足、中足和足跟部位压力值较正常儿童均增加；同时肥胖儿童在中足部位的压强、压力时间积分和压强时间积分明显高于正常对照组。肥胖儿童在中足部位压强的增加可能更易使这一部位的骨骼和肌肉、软组织损伤。

Hills^[42]等人以10名肥胖和4名正常体重的青春期前儿童为研究对象。分析了三种步速情况下行走的运动特征。结果发现与正常儿童比较，肥胖儿童表现出较长的步态周期、站立相时间以及较慢的步频和相对步速。并且发现肥胖儿童步长和相对步长均是右腿的值大，说明肥胖儿童的不对称性。在三种步速下，肥胖儿童在慢速行走时，稳定性最差。

张晓栋^[43]等人2008年采用三维摄像同步测试的方法，对9名肥胖儿童和11名正常体重儿童平地常速行走进行了步态特征的比较。结果发现，步态时相方面，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。表明肥胖儿童行走时步态存在不稳定因素，肥胖儿童通过延长支撑时间来增加行走的稳定性；肥胖儿童的相对步长、相对步速、步频均小于正常儿童，步宽比正常儿童宽。反映出肥胖儿童行走比正常儿童缓慢的特点；关节角度方面，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，表明肥胖儿童由于多余的脂肪堆积，妨碍了髋关节的屈伸和内收幅度。同时发现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，可以推测肥胖儿童行走时不是采用由脚底着地到足中部触地的模式。

王琳^[44]等人专门针对BMI小于30 kg/m²的青春期前儿童进行了步态和姿势

控制的研究,以 27 名 7-12 岁肥胖儿童 (BMI 为 $25.14 \pm 3.51 \text{ kg/m}^2$) 和体重正常儿童 26 名 (BMI 为 $16.28 \pm 1.45 \text{ kg/m}^2$) 为研究对象。采用平面动作解析方法分析受试者在正常、较慢和较快三种步频条件下的步态以及利用足底压力中心转移评价受试者在不同视力条件(睁眼和闭眼)和不同站立姿势(双脚站立和双脚前后站立)时的姿势控制变化。结果显示,肥胖儿童行走时具有较长的步行周期、较低的步频和相对较慢的步速;在快与慢两种步速时,肥胖儿童的站立期和双支撑期在一个步态周期中的比例均明显增加,而摆动相比比例减少;在闭眼双脚站立情况下,肥胖儿童在左右方向上的位移变异量和转移范围均较正常儿童明显增加,压力中心(COP)转移面积明显增大;在闭眼前后脚站立情况下,肥胖儿童在左右方向上的位移变异量增加,COP 转移面积增大。他们认为与正常体重儿童比较,肥胖儿童的步态和姿势控制发生了明显变化。在视力被屏蔽时,左右方向上肥胖儿童与正常儿童比较 COP 位移变异量和转移范围变化更为明显,说明肥胖儿童更依赖视觉系统维持姿势稳定性。

Katch和Coworkers^[45]测试了10名男性肥胖儿童和13名女性肥胖儿童以四种不同的步速(1.16、1.57、1.78和2.21 m/s)行走,结果发现能量的代谢随着速度的增加而增加。Katch等人认为,虽然能量代谢随着速度的增加而增加,在其他人群也是如此,但是单纯从生物力学角度来说,肥胖儿童代谢率的提高与躯干前倾和重心的上移有关。Maffeis^[46]等对此问题也做了研究,他们解释肥胖儿童较之正常体重儿童在行走和跑步时过多的能量消耗是由于他们超重的身体运动状态引起的,而不是肥胖儿童的新陈代谢出现了问题。

高建磊^[47]等人采用 Kistler 三维测力台对 9 名肥胖儿童和 11 名正常体重儿童进行平地常速行走的力学特征做了比较分析研究。结果发现在垂直方向压力的第一峰值和第二峰值,两组差异不显著;出现峰值的两个时刻两组差异显著,肥胖儿童的第一峰值明显大于正常儿童,而第二峰值却明显比正常儿童小;比较谷值及出现的时间,两组差异不显著;在前后方向受力方面,两组差异不显著;在额状轴上的受力较小,基本对称。在支撑时相的前 50%,有一由内向外的“摇晃”,在支撑时相的后 50%,另有一次先向外后向内的“摇晃”。出现两次峰值和三次谷值数值均较小,平均值在 0.013--0.076BM 之间。经检验,均显示出差异性,肥胖儿童的数值大于正常儿童。

闫松华^[48]等人以 8 名肥胖儿童(年龄 10.8 ± 1.1 岁, BMI $27.8 \pm 4.0 \text{ kg/m}^2$)和

8 名正常儿童(年龄 10.1 ± 1.9 岁, BMI $15.2 \pm 1.6 \text{ kg/m}^2$) 为对象, 采用二维常速摄像和 footscan 平板测试系统相结合, 对两组对象平地自然行走时的步态进行比较分析。结果发现肥胖儿童平均步速低于正常儿童, 但无统计学意义。相对步速显著低于正常儿童。肥胖儿童的平均步长大于正常儿童, 但无统计学意义, 然而相对步长却显著低于正常儿童。步频显著低于正常组。说明肥胖儿童需要较低的步速和较短的步长来获得更加稳定的步态; 肥胖儿童的支撑相和双支撑时间百分比显著低于正常儿童, 摆动相显著低于正常儿童。研究者认为肥胖儿童的双支撑百分比长于正常儿童, 与其步速较低有关。较慢的步速和较长的支撑时间会使肥胖儿童行走时表现出拖沓的步态; 两组儿童膝关节角度和踝关节角度参数均在正常范围内, 且在步态周期中变化趋势一致, 然而在足尖离地时刻膝关节角度显著小于正常儿童膝关节角度, 这使得肥胖儿童在离地过程中难以获得较大的加速度, 也可以说肥胖儿童在行走过程中牺牲了一定的加速度以达到其稳定性的需要; 肥胖儿童在足跟外侧处的受力大于正常儿童, 而足跟内侧处却相反, 且在足跟处压力峰值的出现有时间上的延迟性, 说明肥胖儿童在触地阶段的足稳定性差, 这种情况长期作用易引起足内翻以致损害踝关节; 肥胖儿童在第三、四趾骨处压力峰值较之正常儿童大且其峰值出现时间均有不同程度的延迟, 这就使肥胖儿童的跖骨承受较大力的时间过长, 尤其是细小的第 2-5 跖骨在这样力的作用下极易造成骨折或引起足部溃疡等。

1.3 研究的目的意义

1.3.1 揭示不同重量书包对肥胖儿童上下楼梯时平衡能力的影响。

1.3.2 揭示不同重量书包对肥胖儿童上下楼梯时生长发育、下肢关节的影响。

1.3.3 探讨适合儿童生长发育的书包重量的上限范围, 为孩子合理减轻书包重量提供科学依据。

1.4 研究的创新点

1.4.1 首次运用生物力学手段研究负重爬楼对肥胖儿童步态、足底受力影响。

1.4.2 本次研究使用的测力台可以对肥胖儿童负重爬楼的足底三维受力进行分析。

1.5 研究假设

研究结合前人所做的众多研究提出如下假设：

- 1.5.1 肥胖儿童的稳定性会随着重量的增加而下降，行走速度会降低；
- 1.5.2 肥胖儿童的足底压力上楼与下楼之间会存在差异；
- 1.5.3 肥胖儿童经常背负超过自身体重 10%的书包会影响肥胖儿童的生物力学特征。

2 研究对象及研究方法

2.1 研究对象

在济南市十亩园小学随机选取了16名男性（消除性别间可能存在的差异）肥胖儿童作为本次研究的受试者。实验前所有小学生及家长均被告知本次研究的所有细节，并签写了告知同意书。所有受试者体重指数均大于25千克/米²[49、50]均没有骨骼发育、神经系统、异常步态、心脏病等症状并且半年内没有住院史。基本情况如下表2-1：

表2-1 受试者基本情况

参 数	平均值±标准差
年龄（year）	11.19±0.66
身高（cm）	148.85±14.07
体重/kg	75.26±15.99
体重指数（kg/m2）	29.78±4.10

2.2 研究方法

2.2.1 实验仪器及摆放

（1）模拟楼梯及嵌入在楼梯台阶的测力台

如图 2-1 所示：实验使用的楼梯是根据当今公共场所普遍使用的楼梯参数，由厚度为 1 厘米的钢板构造而成，楼梯共有 6 个台阶，和一个平台。台阶参数长、

宽、高分别为 150cm、30cm、17cm，坡度为 29.5 度^{【32】}。楼梯采用双侧可插扶手设计(实验时左侧安置 1m 高的扶手，右外侧没有安装，但有专门的工作人员进行保护)在楼梯的第三和第四个台阶，镶嵌两块测力台^{【51】}(KISTLER, 9287BA, 9281CA, Switzerland)用于获取上下楼梯时足底的三维受力，(垂直轴方向，向下为正值；额状轴方向，上楼时受试者身体的左方向为正，下楼时右方向为正；矢状轴方向，上楼时运动方向为正，下楼时运动方向为负)。

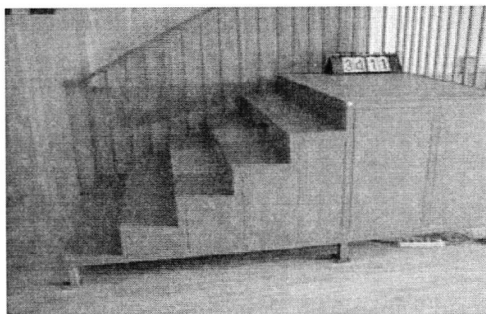


图 2-1 模拟楼梯及嵌入在楼梯台阶的测力台

(2) 摄像机一台

在第 3、4 阶楼梯的正右侧 5m 处放置一台 sony 摄像机 (sony_1000e)，摄像机设置快门时间为 1/250 秒，拍摄频率为 50Hz。摄像机三角架高度设置为 140cm，约为 10 岁男孩站在第 3 阶楼梯时身体重心的高度。用于拍摄上下楼梯时的受试者矢状面的运动。

(3) 电脑一台：与测力台相连接，实时采集与储存数据。

(4) 双肩背书包：当地小学生普遍使用的双肩背书包，书包位置固定在受试者腰的位置^{【1】}。

(5) 电子弹簧秤：用于精确称量书包的重量（精度 0.02kg, 称量范围 0-20kg）。

(6) 身高体重计、统一的衣服和鞋子等。

2.2.2 实验方案

(1) 组织参加测试的受试者了解本实验的目的意义、整个测试流程、以及实验过程中的注意事项，待受试者了解后签写同意书。

(2) 由专门的工作人员为受试者测量身高、称取体重(本次实验是在暑期进行的，受试者穿着的衣服均为统一的运动 T 恤，短裤，保证了体重称量的可靠性。)记录数据并据此计算四组书包的重量。本次实验背负的四个书包重量为受试者自身体

重的 0%体重（作为对照组）、10%体重、15%体重、20%体重。

（3）为了减小书包的适应效应，书包的背负顺序要随机抽取。确定背负顺序后，由专人为受试者准备相应重量的书包，书包内的填充物为小学生日常书包中的书、衣服、水壶（控制水壶里的水量精确书包的重量）等。

（4）正式测试之前，先让受试者上下楼梯试走几次以便熟悉测试环境，然后受试者背负随机选取的书包坐在发令线后（楼梯前 5m 处用黑色宽胶标示）的椅子上等待工作人员的口令。

（5）由操作连接测力台电脑的工作人员发出“准备”口令，当听到“准备”口令后，由一名工作人员提示受试者起身准备并检查书包的背负位置是否合适。操作摄像机的工作人员检查摄像机正常工作后，发出“开始”口令。此时受试者以平时习惯的速度开始上楼梯，走到楼梯顶部的平台后触摸一下楼梯扶手后立即转身下楼，在起始线后休息，期间测力台与录像数据被采集与储存。每个重量上楼梯要求动作流畅，无间断行走三次每次测试结束受试者休息 1 分钟，完成每个重量休息 5 分钟。期间若有咳嗽、笑、说话、转颈等任何可能影响测试结果的动作以及足底没有全部接触测力台的测试，视为无效测试，结果分析时剔除^[41]。

2.2.3 数据收集

2.2.3.1 步态数据收集

将整个实验过程拍摄的影片，利用绘声绘影软件将影片转换为使能被运动学分析软件（Ariel Performance Analysis System, APAS）读取的 AVI (Audio/Video Interleave) 格式。利用 APAS 软件中的 Trim 程序对影片进行分割。如图 2-2 所示，本次步态分析的影片为一个完整的步态周期，即上楼时，自前脚（右脚）刚踏上第二个楼梯始，至同一脚刚踏上第四个楼梯止，下楼时自前脚（右脚）刚踏上第二个楼梯始，至同一脚刚踏上第四个楼梯止。（以重量分组，每个重量提取有效的三次，即四个重量乘以三次等于每个受试者的整个测试的视频。）



图 2-2 一个完整的步态周期示意图

2.2.3.1.1 步态数据的计算

本次实验设定的摄像机的拍摄频率为 50 赫兹/秒,即每帧为 0.02 秒。步态周期的各个时相时间参数就等于帧数乘以 0.02. 例如整个步态周期共 n 帧,那么整个步态周期的时间为 n 乘以 0.02。

2.2.3.2 足底受力数据的收集

2.2.3.2.1 数据收集

利用 kistler 公司提供 Bioware3.0 软件对测力台数据进行采集,采集时间为 10s ; 采集频率为 1008HZ。根据每个受试者的编号,对采集的数据进行命名。

2.2.3.2.2 数据提取

如图 2-3 所示,打开 Bioware 软件后,选择本次研究分析的三个指标, F_x 、 F_y 、 F_z ,即足底的左右、前后和上下受力。同时选择 all device(9278BA 装在第三个台阶、9281CA 装在第四个台阶)。利用 Bioproc2 软件对数据进行百分化处理,频率为 1008 赫兹。为了消除体重对足底压力的影响,所有数据均要除以自身的体重,即用体重的倍数表示。

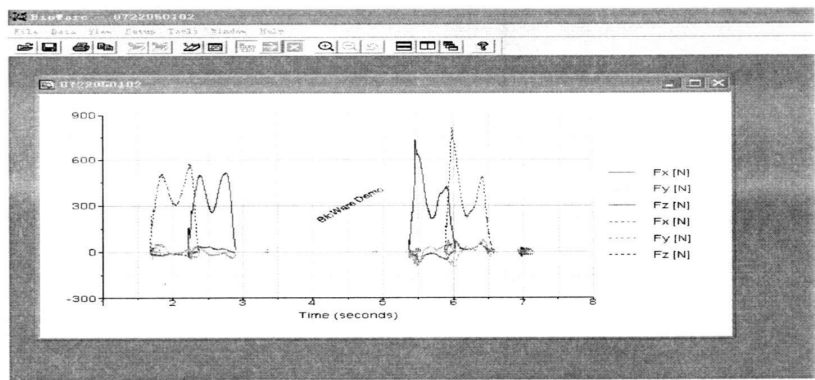


图 2-3 足底压力数据的提取

2.2.4 研究指标

2.2.4.1 步态参数

- (1) 一个完整的步循环所用的时间
- (2) 双脚支撑时间百分比
- (3) 单脚支撑时间百分比
- (4) 支撑相时间百分比
- (5) 摆动性时间百分比

2.2.4.2 足底受力指标

- (1) 足底垂直压力的第一峰值以及达到第一峰值的时间
- (2) 足底垂直压力的谷值以及达到谷值的时间
- (3) 足底垂直压力的第二峰值以及达到第二峰值的时间
- (4) 足底垂直压力曲线
- (5) 足底前后方向压力曲线
- (6) 足底前后受力的最大值
- (7) 足底左右方向压力曲线
- (8) 足底左右方向最大值

(9) 足底前后方向压力曲线

(10) 足底前后方向最大受力

2.2.5 数据的统计学处理

为了使所得数据更加可靠,我们将每组书包重量采集的三次数据,求平均后合为一次。本研究所有研究的指标都将以平均值和标准差的形式被列出。数据统计分析处理分为三步进行:第一步利用配对样本 T 检验 (Paired Sample T Test) 检验上下楼梯时受试者的左右腿动力学参数有无差异。若无差异,把左右腿的数据合并求平均值。若有差异,选取较大值进行分析。第二步上下楼梯的每个指标均使用重复测量设计的方差分析 (Repeated ANOVA) 来检测背负 4 种不同重量书包之间有无差异。第三步,对同一重量的同一指标的上下楼的数据,利用 Paired Sample T Test 检验上下楼之间有无差异。采用 $P < 0.05$ 作为差异显著性水平。

2.2.6 技术路线

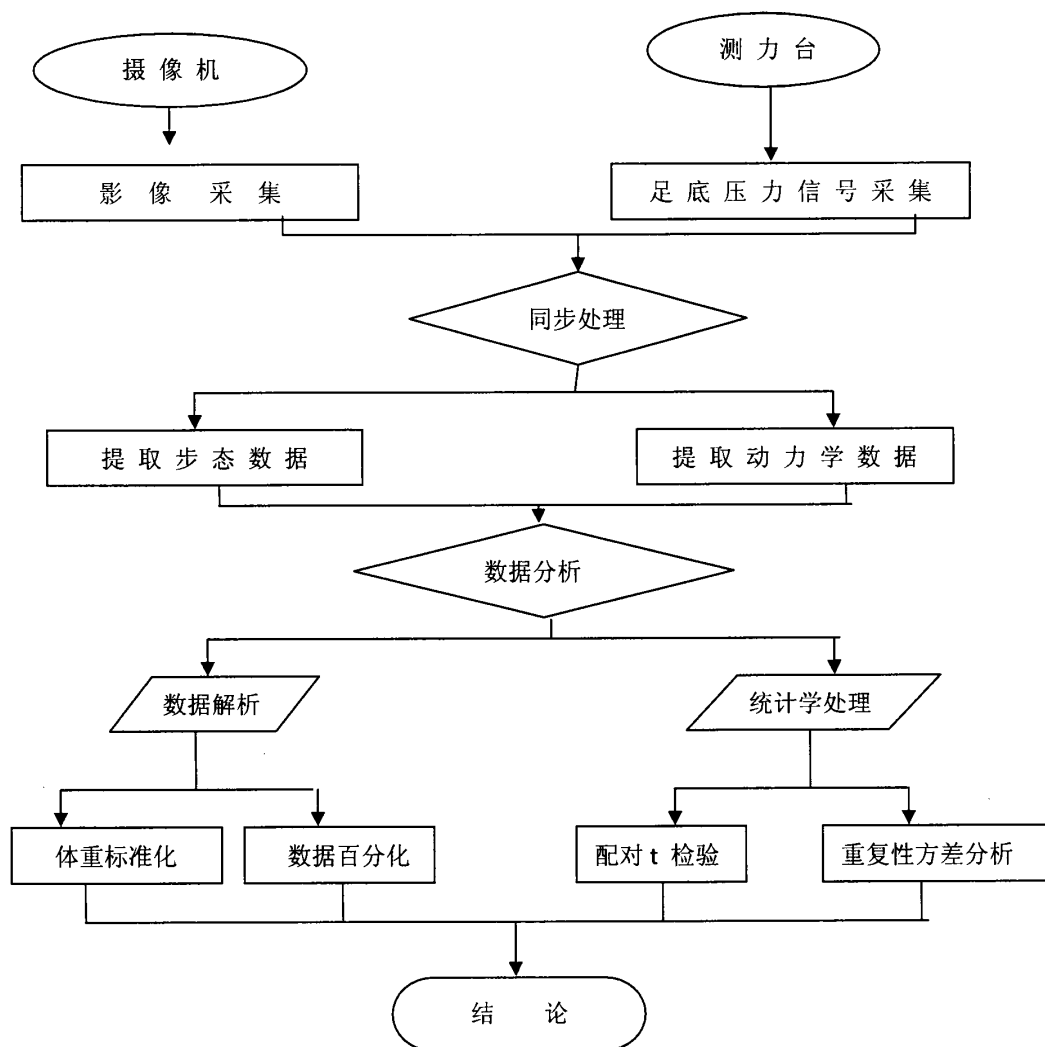


图 2-4

技术路线

3、实验结果

本次实验结果均是由平均值和标准差表示，步态周期的时间参数方面，是以优势脚作为分析（完成踢球动作时，习惯性先踢球的那只脚即为优势脚）。足底受力经过Paired Sample T Test，发现右脚值大，所以我们选择右脚进行分析。

3.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时步态的影响

在本次研究中步态周期是指上楼时，自前脚（右脚）刚踏上第二个楼梯开始，至同一脚刚踏上第四个楼梯结束^{【52】}。一个步态周期又分为站立相（一侧脚着地的

时间, 即从该侧足跟着地到该侧足尖离地间的时间) 和摆动相(一侧足没有与地面接触的时间)^[53]。在一个步态周期中, 两只脚同时接触地面的时期为双支撑期。一个步态周期中存在着两个双支撑期, 在本次的研究中双支撑时间指的是两个双支撑时间的和^[44]。需要说明的是本次实验的研究结果, 除了步态周期的是直接计算得出外, 步态周期的各个分期表示均是用分期时间除以步态周期时间, 即用步态周期%来表示。

3. 1. 1 不同书包重量对肥胖儿童上楼梯时步态的影响

由表 3-1 不难看出肥胖儿童在背负四个重量书包上楼梯时, 步态的时间参数, 包括步态周期时间、支撑相、摆动相、双支撑时间较 0%BW 的书包重量时均发生了变化, 步态周期时间、支撑相、双支撑时间随着重量的增加而增加, 摆动相随着重量的增加而较小。具有统计学意义的变化是, 步态周期时间随着负重的增加而延长, 在负重 20%BW 的书包重量时与 0%, 10%, 15%均出现了显著性差异; 支撑相以及摆动相所占的步态周期百分比, 与 0%BW 相比, 在 10%BW 时就出现了显著性差异, 并且摆动相所占的步态周期百分比, 在负重 20%BW 时, 与 10%BW 的负重相比, 也出现了显著性差异; 与 0%BW, 10%BW 比较, 双支撑相在 15%BW 时出现了显著性差异, 并且负重 20%BW 时, 与 15%BW 的负重也出现了显著性差异。根据上面的分析不难看出, 负重 10%BW 时, 已经对肥胖儿童的步态产生了影响。

表 3-1 不同书包重量对肥胖儿童上楼梯时步态的影响

	0%B. W.	10% B. W	15% B. W	20% B. W
步态周期 (s)	1.16±0.93	1.17±1.30	1.99±0.13	1.26±0.15 ^{abc}
支撑相 (步态周期%)	65.87±1.23	66.66±0.95 ^a	67.27±1.81 ^a	67.23±2.15 ^a
摆动相 (步态周期%)	34.13±1.23	33.34±0.95 ^a	32.73±1.81 ^a	32.50±1.67 ^{ab}
双支撑相 (步态周期%)	30.38±3.70	31.87±2.18	33.34±3.52 ^{ab}	37.30±3.59 ^{abc}

注: ^a p<0.05vs. 0%B.W.; ^b p<0.05vs. 10%B.W. ; ^c p<0.05vs. 15%B.W.

3. 1. 2 不同书包重量对肥胖儿童下楼梯时步态的影响

由表3-2不难看出肥胖儿童在背负四个重量书包上楼梯时，步态的时间参数，包括步态周期时间、支撑相、摆动相、双支撑时间均是随着负重的变化而变化。值得注意的是，较0%BW的书包重量时相比。所有的参数只是在20%BW时才出现。其中支撑相以及摆动相所占的步态周期百分比，只与0%BW相比出现了显著性差异。而步态周期除了与0%BW负重出现了显著性差异以外，与10%BW的负重也出现了显著性变化。双支撑时间方面负重20%BW时与0%BW, 10%BW, 15%BW的负重相比均出现了显著性变化。

表3-2 不同书包重量对肥胖儿童下楼梯时步态的影响

	0%bw	10%bw	15%bw	20%bw
步态周期（s）	1.00±0.09	1.01±0.15	1.07±0.17	1.11±0.20 ^{ab}
支撑相（%）	65.19±1.34	66.07±2.10	65.69±2.61	66.62±2.36 ^a
摆动相（%）	34.81±1.34	33.93±2.10	34.65±2.07	33.38±2.37 ^a
双支撑相（%）	28.33±2.51	29.32±2.97	28.86±2.58	34.03±4.30 ^{abc}

注;1) ^a p<0.05vs. 0%B.W.; ^b p<0.05vs. 10%B.W. ; ^c p<0.05vs. 15%B.W.

3.1.3 同一书包重量对肥胖儿童上下楼梯步态影响的比较研究

本次实验对肥胖儿童上下楼梯所有指标的比较研究，均是针对相同重量，相同指标之间的比较，不涉及重量之间的比较。

3.1.3.1 上下楼步态周期比较

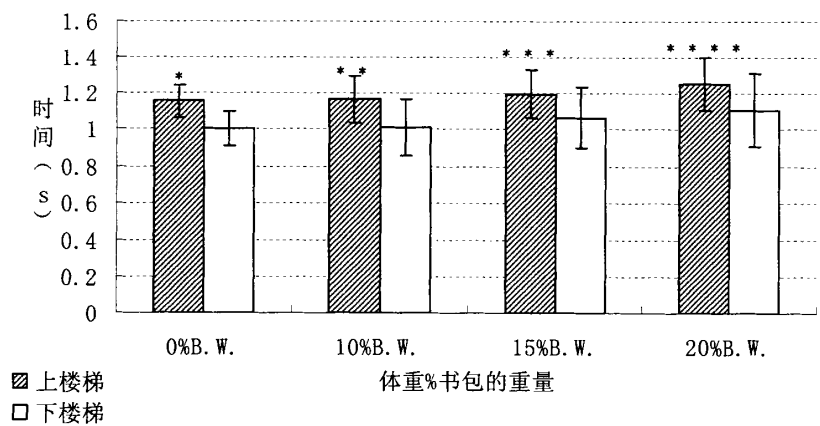


图 3-1 上楼与下楼的步态周期每个重量之间的比较

注： * 0%BW上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$, * * 10%BW上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$.
 * * * 15%BW上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$, * * * * 20%BW上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$.

图 3-1 是步态周期上下楼时每个重量之间的比较，本次实验设计中 0%BW, 10%BW, 15%BW, 20%B.W 的四个重量书包均是上楼时每个重量的书包对步态周期的影响比下楼时影响显著，表现为上楼的步态周期的时间显著高于下楼的步态周期， $p<0.05$ 。

3.1.3.2 上楼和下楼支撑相之间、支撑相之间的比较

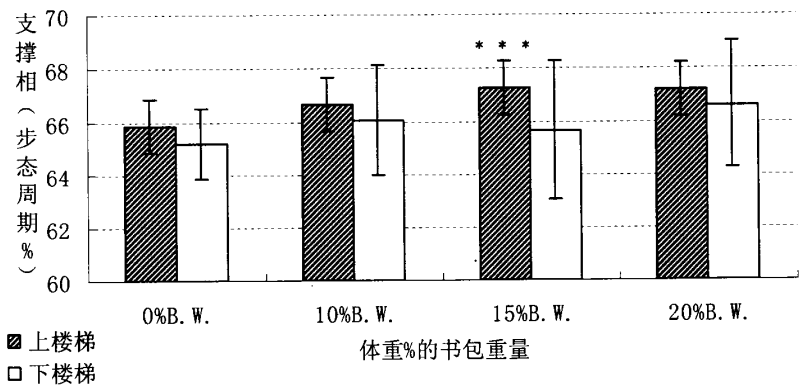


图 3-2 上楼与下楼的支撑相时间百分比每个重量之间的比较

注： * * * 15%BW 上楼梯 vs 下楼梯 $p<0.05$

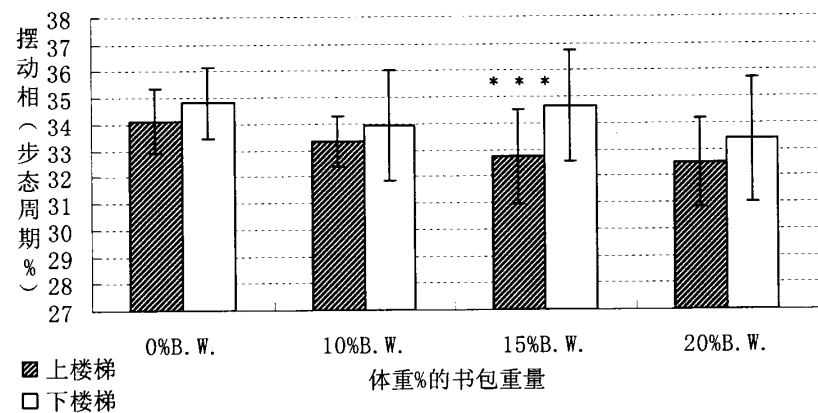


图 3-3 上楼与下楼的摆动相时间百分比每个重量之间的比较

注：***15%BW 上楼梯 vs 下楼梯 $p<0.05$

图3-2，是支撑相时间百分比，上楼和下楼每个重量之间的比较。图3-3，是摆动相时间百分比，上下楼时每个重量之间的比较。虽然背负每个重量的书包上楼时，支撑相时间百分比的值大于下楼时的值，摆动相时间百分比的值均大于下楼时的摆动相时间百分比的值，但是只有在15%BW的书包重量时两个指标出现了显著性差异， $p<0.05$ 。

3.1.3.3 上下楼双支撑相比较

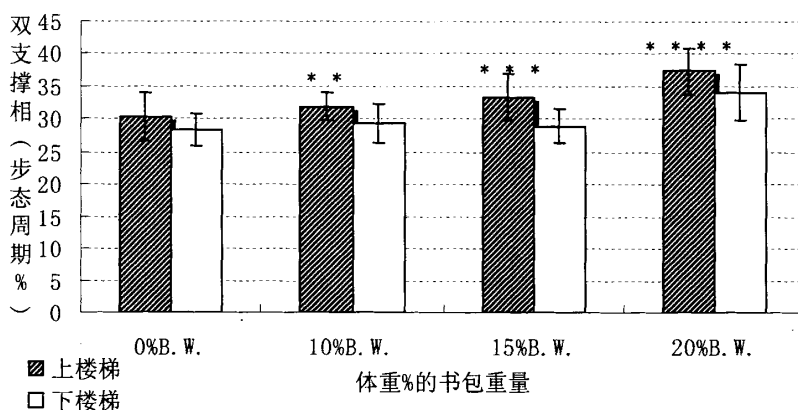


图 3-4 上楼与下楼的双支撑时相时间百分比每个重量之间的比较

注：**10%BW上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$ 。***15%BW上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$,

****20%BW上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$ 。

图3-4是双支撑相时间百分比上下楼时每个重量之间的比较。本次实验研究的双支撑时间百分比是一个步态周期中，两个双支撑时间百分比之和。背负的四种重量的书包均是上楼时的双支撑时间百分比高于下楼时的双支撑时间百分比，但是背负0%BW的书包重量时，上下楼之间没有统计学差异。背负10%BW, 15%BW, 20%B.W重量的书包时，上下楼之间有统计学差异， $p<0.05$ 。

3.2 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时足底受力的影响

经过配对 T 检验，我们发现右脚的力值明显大于左脚的力值，所以分析时我们选取了右脚进行分析，另外为了消除个体体重之间的差异对造成足底压力的影响，本次研究所分析的均是以体重的倍数 (B.W.) 为单位；支撑时间是指支撑相百分化时间，来消除各受试者行走速度的不同导致的误差；对于前后和方向的受

力出现负值的情况，为了统计学比较的方便，本次试验中前后和左右方向的最大受力是经过先平方再开方的运算获得的。

3.2.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼时垂直压力的影响

3.2.1.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼时垂直压力的影响

由表 3-3 可以看出，压力方面：随着负重的增加而增加，第一峰值压力由负重 0%B.W. 时 1.06 ± 0.07 倍体重增加到负重 20%B.W. 的 1.14 ± 0.05 倍体重；谷值由负重 0%B.W. 时的 0.66 ± 0.06 倍体重增加到重 20%B.W. 的 0.84 ± 0.07 倍体重；第二峰值压力由负重 0%B.W. 时的 1.22 ± 0.11 增加到负重 20%B.W. 的 1.36 ± 0.15 倍体重。与背负 0%B.W. 重量的书包比较，第一压力峰值、谷值、第二压力峰值在 10%B.W. 时均出现了显著性差异，第一峰值压力、谷值在 15%B.W. 时与背负 10%B.W. 重量的书包比较，也出现了显著性差异；并且与背负 15%B.W. 重量的书包比较，谷值在 20%B.W. 时出现了显著性差异。时间方面：达到第一压力峰值时间，在背负 15%B.W. 与 20%B.W. 的书包时与背负 0%B.W. 和 10%B.W. 均出现了显著性差异；四个重量到达谷值时间均没有出现显著性差异；背负 15%B.W. 和 20%B.W. 的书包达到第二压力峰值支撑时间与 0%B.W. 比较出现了显著性差异。

表 3-3 不同书包重量对肥胖儿童上楼梯时足底垂直受力的影响

	0%B.W.	10%B.W.	15%B.W.	20%B.W.
第一峰值压力	1.06 ± 0.07	1.10 ± 0.07^a	1.13 ± 0.07^{ab}	1.14 ± 0.05^{ab}
达到第一峰值的时间	27 ± 2.88	26.93 ± 2.15	29.33 ± 2.53^{ab}	29.13 ± 3.50^{ab}
谷值	0.66 ± 0.06	0.73 ± 0.09^a	0.78 ± 0.08^{ab}	0.84 ± 0.07^{abc}
达到谷值时间	53.27 ± 3.86	53.67 ± 3.20	53.6 ± 3.14	53.67 ± 2.74
第二峰值压力	1.22 ± 0.11	1.34 ± 0.15^a	1.35 ± 0.16^a	1.36 ± 0.15^a
达到第二峰值时间	79.67 ± 1.80	78.93 ± 1.49	78.4 ± 2.13^a	78.07 ± 2.60^a

注：^a $p<0.05$ vs. 0%B.W., ^b $p<0.05$ vs. 10%B.W. , ^c $p<0.05$ vs. 15%B.W.

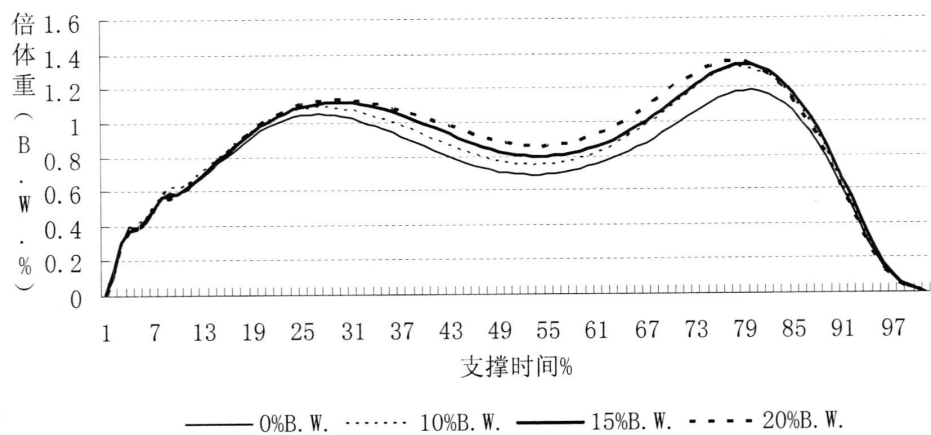


图 3-4 上楼时背负四个书包重量的垂直压力曲线图

图 3-4 是肥胖儿童背负四个不同重量书包上楼时足底垂直压力的变化曲线，四条曲线均近似“M”型，即呈现出双峰一谷的曲线，第二峰值明显大于与第一峰值。

3.2.1.2 不同书包重量对肥胖儿童下楼时垂直压力的影响

由表 3-4 可以看出，第一峰值压力由负重 0%B.W. 时 1.62 ± 0.18 倍体重增加到负重 20%B.W. 的 1.80 ± 0.23 倍体重与背负 0%B.W. 重量的书包比较，下楼时背负的 10%B.W, 15%B.W, 20%B.W 的三个重量的书包均出现了显著性变化。而四个重量的时间指标方面没有显著性差异。

表 3-4 不同书包重量对肥胖儿童下楼梯时足底垂直受力的影响

	0%B.W.	10%B.W.	15%B.W.	20%B.W.
第一峰值倍体重	1.62±0.18	1.78±0.20 ^a	1.8±0.20 ^a	1.80±0.23 ^a
第一峰值支撑时间%	18.93±4.71	17.93±3.67	17.80±3.65	19.47±3.23

注：^ap<0.05vs. 0%B.W.

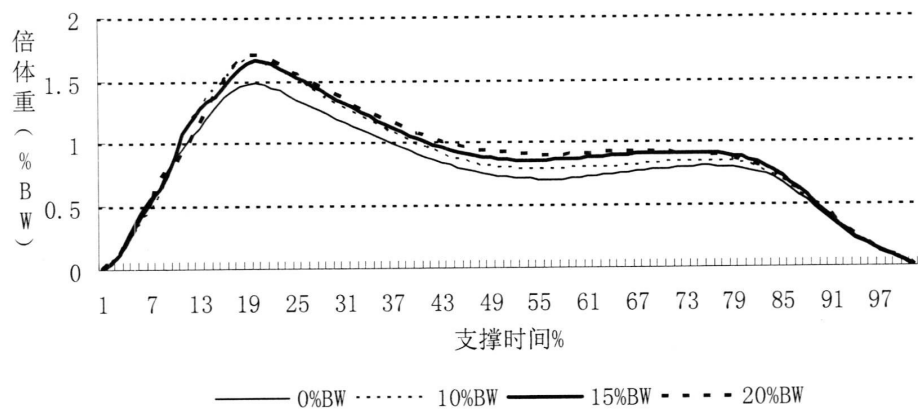


图 3-5 下楼时背负四种书包重量的垂直压力曲线图

图 3-5 是肥胖儿童背负四个不同重量书包下楼时足底垂直压力的变化曲线，不难看出，下楼时足底的垂直压力曲线不再是典型的双峰曲线。第一压力峰值明显大于第二压力峰值，谷值和第二压力峰值不明显甚至消失。

3.2.1.3 相同书包重量对肥胖儿童上下楼时垂直压力最大峰值的比较

由于上楼时，第一压力峰值小于第二压力峰值，所以我们进行上下楼峰值压力比较的时候，选择了下楼时的最大峰值，即第一压力峰值和上楼的最大峰值，即第二压力峰值进行比较。

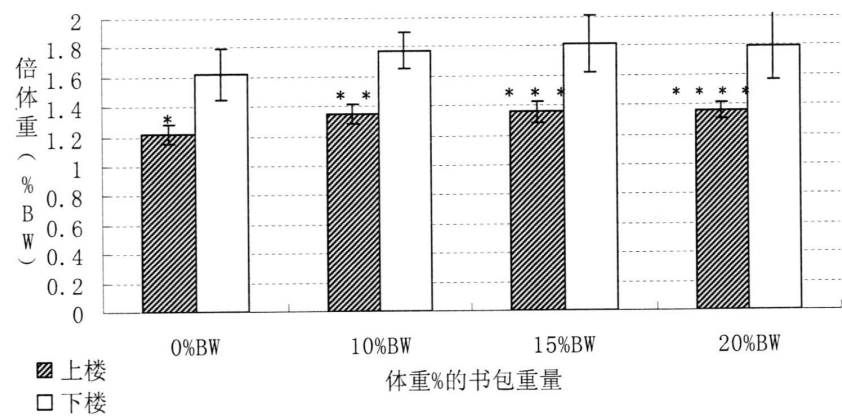


图 3-6 上楼与下楼的最大压力峰值每个重量之间的比较

注： * 0%BW 上楼梯 vs 下楼梯 $p<0.05$, * * 10%BW 上楼梯 vs 下楼梯 $p<0.05$.
* * * 15%BW 上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$, * * * * 20%BW上楼梯vs下楼梯 $p<0.05$.

图 3-6 肥胖儿童背负相同书包重量上下楼时垂直压力最大峰值之间的比较统计学分析得出，下楼时每个重量的压力峰值均比上楼大，表现为下楼的压力峰值显著高于上楼的压力峰值， $p<0.05$ 。结合表 3-3 和表 3-4 可知，我们比较的上楼时的第二压力峰值和下楼时的第一压力峰值均是在负重 10%B.W. 时出现了显著性的增加。我们进一步研究发现，负重 10%B.W. 时下楼时的最大垂直压力 (1.78 ± 0.20) 是无负重下楼时 (1.62 ± 0.18) 的 1.10 倍，是背负相同重量上楼时 (1.34 ± 0.15) 的 1.33 倍，是无负重上楼时 (1.22 ± 0.11) 的 1.46 倍。

3.2.2 不同书包重量对肥胖儿童左右方向受力的影响

3.2.2. 1 不同书包重量对肥胖儿童上楼左右方向受力的影响

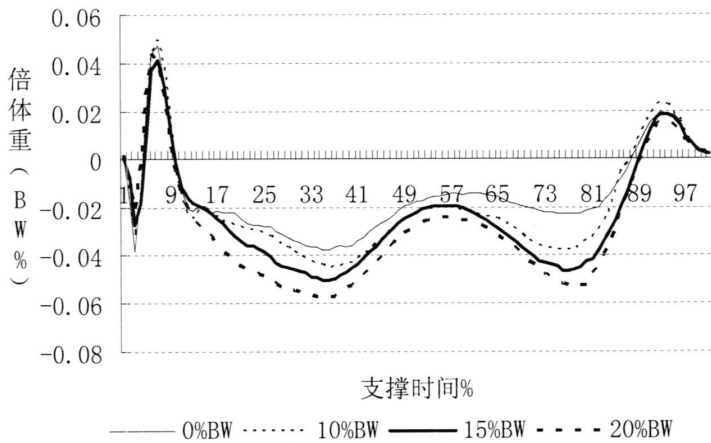


图 3-7 上楼时背负四个不同重量书包足底左右方向受力曲线

图 3-7 是肥胖儿童背负四个不同重量书包右脚上楼时足底左右受力的变化曲线，在支撑阶段的初期出现了先向外后向内的左右晃动，四个重量的曲线在这个阶段几乎重合。在支撑时间的 35% 左右出现一次波峰，在支撑时间的 50% 左右出现一次波谷，支撑时间的 75% 左右再次出现波峰。

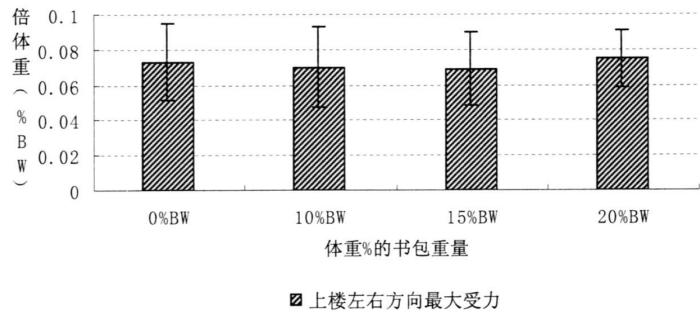


图 3-8 上楼时背负四个不同重量书包足底左右方向最大受力

图 3-8 是上楼时足底左右方向的最大受力，经过统计学分析，四个书包重量之间并没有显著性差异。所背负的 0%BW, 10%BW, 5%BW, 20%B.W 的四个重量书包的左右方向最大值依次为 $0.073 \pm 0.022BW$, $0.070 \pm 0.023BW$, $0.069 \pm 0.021BW$, $0.075 \pm 0.016BW$ 。

3.2.2.2 不同书包重量对肥胖儿童下楼左右方向受力的影响

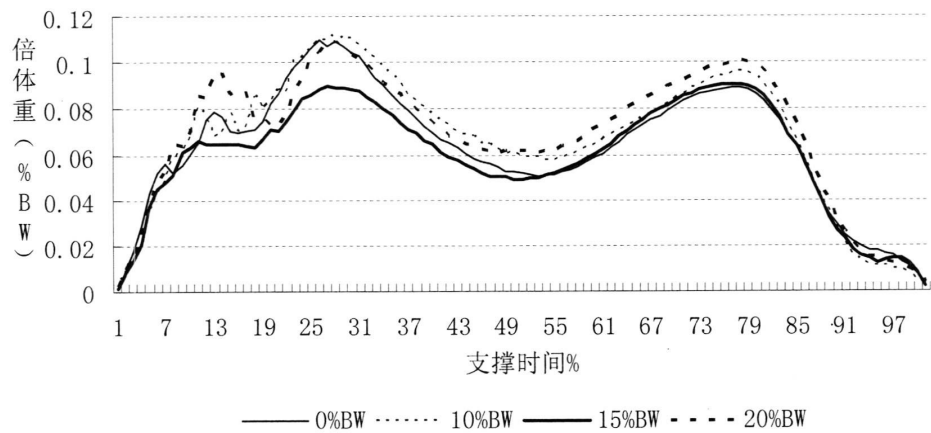


图 3-9 下楼时背负四个不同重量书包足底左右方向受力曲线

图 3-9 是肥胖儿童背负四个不同重量书包下楼时足底左右受力的变化曲线，整个曲线由三个波峰和两个波谷构成。第一峰值和第一个谷值出现在支撑阶段的初期，第二峰值大约在支撑时间的 27%左右，第二个谷值大约在支撑时间的 50%左右，第二峰值出现在支撑时间的 80%左右。无论峰值还是谷值均是负重越大，力值越大。

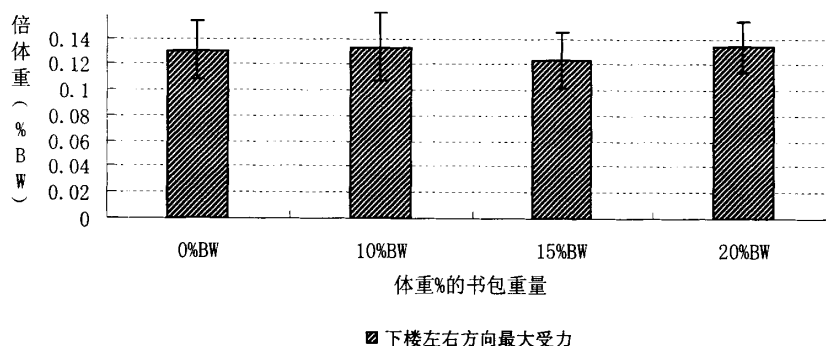


图3-10 下楼时背负四个不同重量书包足底左右方向最大受力

图 3-10 是下楼时足底左右方向的最大受力，经过统计学分析，四个书包重量之间并没有显著性差异。所背负的 0%BW, 10%BW, 15%BW, 20%B.W 的四个重量书包的左右方向最大值依次为 $0.130 \pm 0.023BW$, $0.133 \pm 0.026BW$, $0.120 \pm 0.021BW$, $0.130 \pm 0.019BW$ 。

3.2.2.3 不同书包重量对肥胖儿童上下楼左右方向受力的比较

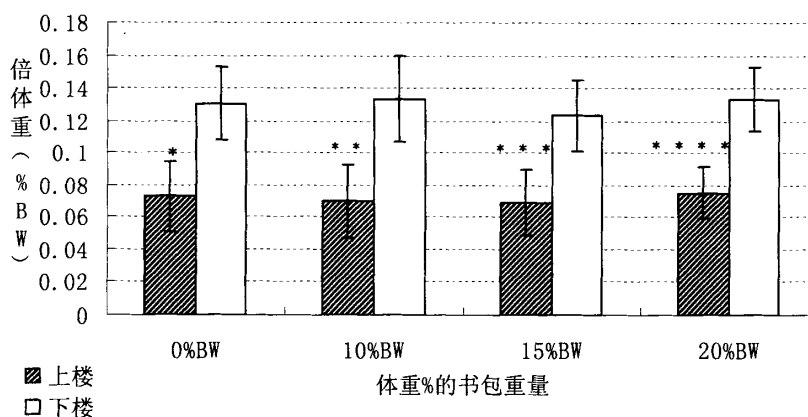


图3-11 上楼与下楼的左右方向最大受力每个重量之间的比较

注：* 0%BW上楼梯vs下楼梯 $p < 0.05$, * 10%BW上楼梯vs下楼梯 $p < 0.05$.

* * * 15%BW上楼梯vs下楼梯 $p < 0.05$, * * * * 20%BW上楼梯vs下楼梯 $p < 0.05$.

图 3-11 是相同重量的书包上下楼之间左右方向最大受力的比较，经过统计学分析，所背负是四个重量的书包中的每个书包上楼时的足底左右方向最大受力均小于下楼的足底左右方向的最大受力。

3.2.3 不同书包重量对肥胖儿童前后方向受力的影响

3.2.3.1 不同书包重量对肥胖儿童上楼前后方向受力的影响

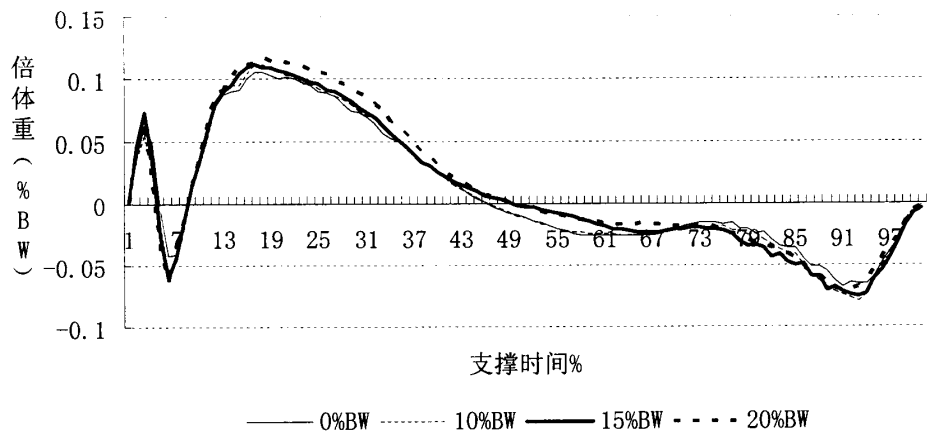


图 3-12 上楼时背负四个不同重量书包足底前后方向受力曲线

图 3-12 是肥胖儿童背负四个不同重量书包上楼时足底前后受力的变化曲线，在支撑腿触地瞬间出现了一次先向前接着向后的分力，四个重量在这个阶段几乎重合。大约在支撑时间的 17% 左右出现了向前的最大分力，在支撑时间的 50% 时，前后方向的分力接近零，到达支撑时间的 90% 左右时出现向后方向的最大分力。

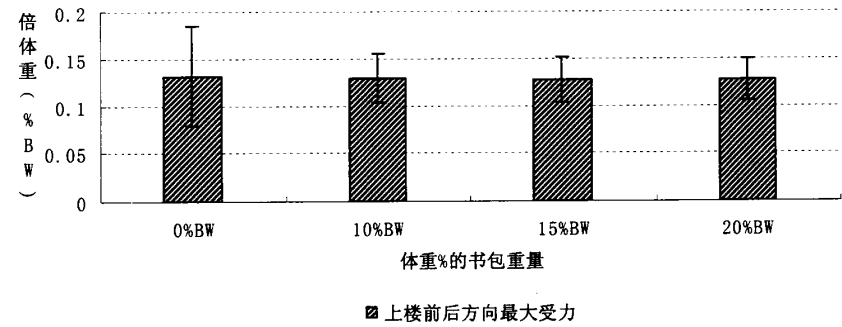


图3-13 上楼时背负四个不同重量书包足底左右方向最大受力

图3-13是肥胖儿童上楼时前后最大受力四个重量的书包之间的比较。经过统计学分析，四个四个重量之间并没有显著性差异，所背负的0%BW, 10%BW, 15%BW, 20%B.W 的四个重量书包的左右方向最大值依次为 $0.132 \pm 0.053BW$, $0.129 \pm 0.026BW$, $0.127 \pm 0.024BW$, $0.127 \pm 0.023BW$ 。

3.2.3.2 不同书包重量对肥胖儿童下楼前后方向受力的影响

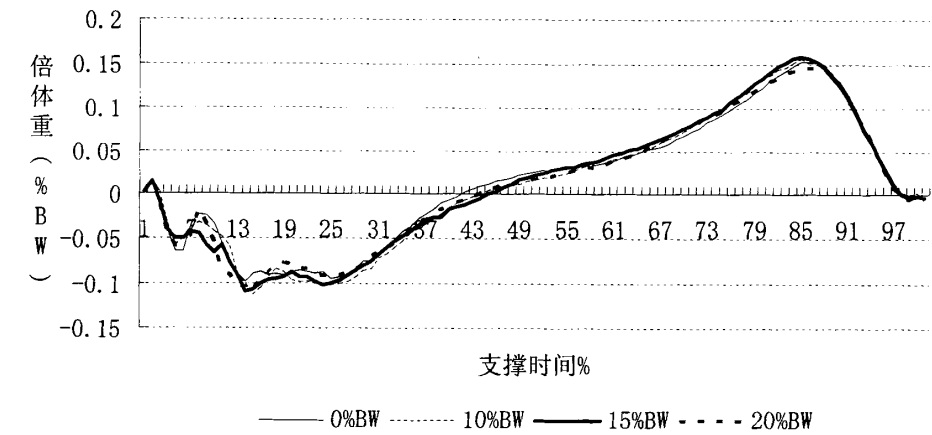


图 3-14 下楼时背负四个不同重量书包足底前后方向受力曲线

图3-14是肥胖儿童背负四个不同重量书包下楼时足底前后受力的变化曲线。支撑时间的前45%出现了向前的分力，根据测力台的摆放位置，下楼时人体运动的方向为负方向，所以出现了负值。在支撑时间的45%左右前后分力为零，大约在支撑的85%左右出现向后的最大分力。四个重量的压力曲线几乎重合。

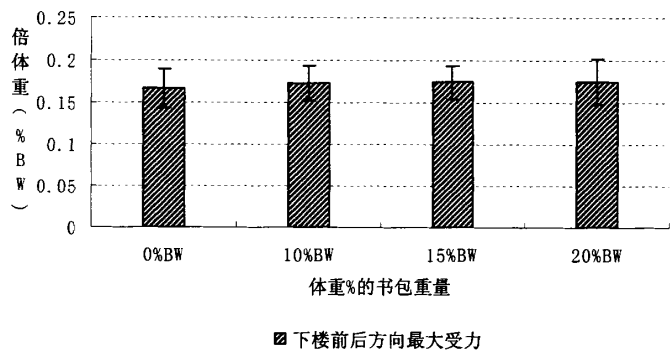


图3-15 下楼时背负四个不同重量书包足底左右方向最大受力

图3-15是肥胖儿童上楼时前后最大压力四个重量的书包之间的比较。经过统计学分析，四个重量之间并没有显著性差异，所背负的0%BW, 10%BW, 15%BW, 20%B.W 的四个重量书包的左右方向最大值依次为 $0.167 \pm 0.022BW$, $0.173 \pm 0.020BW$, $0.174 \pm 0.020BW$, $0.175 \pm 0.028BW$ 。

3.2.3.3不同书包重量对肥胖儿童上下楼前后方向受力的比较

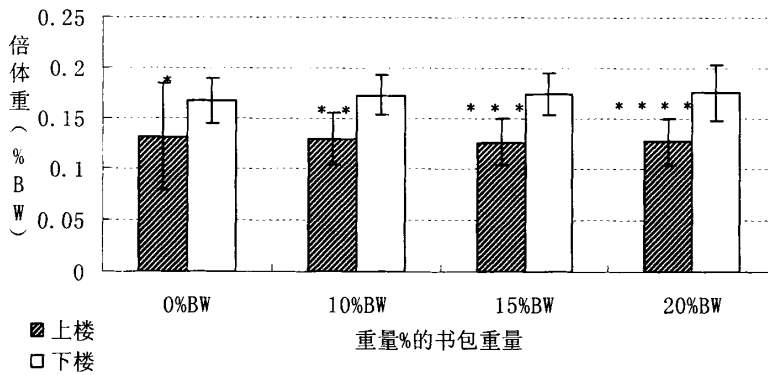


图3-16 上楼与下楼的前后方向最大受力每个重量之间的比较

图3-16是相同重量的书包上下楼之间前后方向最大受力的比较，经过统计学分析，所背负是四个重量的书包中的每个书包上楼时的足底前后方向最大受力均小于下楼的足底前后方向的最大受力。

4、分析讨论

4. 1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时步态的影响

4. 1. 1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时步态的影响

步态周期方面：无论上楼还是下楼时步态周期的时间均是随着负重的增加而增加。有研究认为，在平地负重行走时，当受试者不被限定行走速度时，受试者往往采取降低步速和步长以及加快步频的行走方式，因为这种行走方式可以减少能量的消耗。然而本实验中，由于楼梯固定尺寸对人体的限制，速度的降低是通过增加步态周期表现出来的^[26、29]。钱竟光^[53]等人认为人体行走时步速越快，地面反作用力越高。当下肢承重能力降低时可以通过降低步速，以减轻下肢的承重负荷。儿童步态周期随着负重的增加而延长，可能与肥胖儿童下肢的能力下降有关。本文研究发现上楼时步态周期在负重20%B.W.时出现了显著性的增加，这个结果与Hong^[1]、Riener^[17]和苏明亮^[2]关于正常儿童负重上楼的研究并不一致，在他们的研究中，步态周期并没有出现显著性的变化。下楼时也是在负重20%B.W.时步态周期均出现了显著性的增加，这个结论与Hong的结果吻合。2008年张晓栋和肖丹丹^[43]做了关于肥胖儿童与正常儿童平地常速行走步态特征的比较研究。肥胖组的步态周期为 0.98 ± 0.04 ，正常组的步态周期为 0.92 ± 0.03 。通过与他们的比较，可以看出在我们的研究中，无论上楼还是下楼的步态周期均长于肥胖儿童和正常儿童

平地行走的步态周期时长。

支撑相与摆动相方面：本次研究发现上楼时支撑相时间随着负重的增加而增加，而摆动相随着负重的增加而减少，支撑相和摆动相时间均是在10%BW时出现了显著性差异，Hong的正常儿童负重上楼研究中在15%时出现显著性差异，而在苏明亮的研究中未出现差异。下楼时本文的研究结果是负20%B.W. 时支撑相时间出现显著性的增加，Hong与苏明亮的研究中，支撑相时间虽然有随着负重的增加而增加的趋势，但是没有出现显著性差异。Hong认为加载在背部的负重，提高了整个运动系统的重心，降低了平衡系统的稳定性，儿童被迫通过增长站立相时间或是减少摆动性时间调整步态方式来维持平衡。孟昭莉^[31]等人认为随着背负重量的增加出现足支撑各阶段的比例加大，造成下肢伤害的可能性增高，说明儿童长期负重行走对足及下肢肌肉负荷较大，足掌跖趾区相应部位易形成胼胝体，将会影响儿童足弓正常发育。

双支撑方面：本研究发现上楼时双支撑时间随着负重的增加而增加，在15%BW时出现显著性差异。这个结果与Hong^[1]和苏明亮^[2]的研究结果一致。肥胖儿童下楼时在20%BW时出现了显著性差异，和苏明亮的正常儿童得出的结果一致，而在Hong的研究中，下楼时仍是负重10%B.W. 时出现显著性差异。双支撑所占步态周期的比例可以用来评价行走时的稳定性，双支撑期比例的增加表明肥胖儿童步行时稳定性下降。Hills和McaGraw^[16、37、42]等人的研究认为肥胖儿童步行过程中姿势的稳定性是因过重的体重和较大的体型而起，与姿势控制系统的下降没有多大关系。双脚同时触地比单支撑触地的整个人体机械应力要小，因此双支撑时间的增加是为了尽可能的减少整个人体系统的机械应力。

4.1.2 同一书包重量对肥胖儿童上下楼梯步态影响的比较研究

本次研究中，上楼与下楼时的步态周期均是随着负重的增加而增加，并且均是在20%BW时出现显著性差异，然而对上下楼时每个重量步态周期的比较发现，上楼的步态周期的时间均显著高于下楼的步态周期， $p < 0.05$ 。在Riener^[17]等人的研究中也得出的这样的结论，Riener的研究因素是楼梯的坡度，他们发现在每个楼梯坡度均是上楼的步态周期显著高于下楼的步态周期。我们认为上楼时儿童要克服重力做功，而下楼时由于惯性可能是导致上楼步态周期大于步态周期的原因。虽然上楼时支撑相时间，四个重量均大于下楼支撑相时间，摆动相时间上楼的四

个重量均小于下楼时的摆动相时间,然而只有背负 15%BW 重量的书包时,上楼的支撑相和摆动相时间与下楼时比较才有显著性差异,我们认同 David^[54]的观点,出现这种结果的研究可能是由于在 15%书包重量与 20%书包重量之间有一个阈值,一旦超过这个阈值,儿童步态对负重的反应就不敏感了。

4.2 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时足底受力的影响

4.2.1 垂直方向压力

4.2.1.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼时垂直压力的影响

本文研究发现上楼时的垂直压力无论是第一峰值压力、谷值还是第二峰值压力均是随着负重的增加而增大,在负重 10%B.W. 时出现了显著性增加。下楼时我们只分析了第一压力峰值,因为据前人^[55、56]的研究证实下楼时由于前脚掌触地时间短,第一峰值能够反映地面对足底冲击的本质。我们研究发现下楼时的第一压力峰值也是随着负重的增加而增大,在负重 10%B.W. 时出现了显著性增加。我们的研究结果与苏明亮^[2]等人的研究结果一致,而 Hong^[1]的研究结果是上楼时第一压力峰值是在负重 10%B.W. 时出现了显著性增加,第二压力峰值是在负重 15%B.W. 时出现了显著性增加,下楼时第一压力峰值是在负重 15%B.W. 时出现了显著性增加,第二压力峰值是在负重 20%B.W. 时出现了显著性增加。

上楼时的足底垂直压力曲线呈现出两个波峰一个波谷的特征,但是第二峰值明显大于第一峰值,这是因为第一峰值发生在脚刚刚触地的阶段,随着脚逐渐放平压力分布到全足出现了所谓的波谷,第二峰值压力是由于脚的蹬离引起的,在足的蹬离阶段踝关节产生很大的能量。尽管第一压力峰值要小于第二压力峰值,但是单支撑会引起身体同侧膝关节的很大的应力。McFadyen^[55]等人认为第一峰值的出现,对侧脚开始摆动,此时人体整个运动系统的重量全部落在了支撑腿上,会导致髋关节,膝关节,踝关节的弯曲。他们发现第一峰值的出现与膝关节在落地阶段伸肌的活动关系密切,股四头肌活动占主动,广阔的侧面肌群也参与其中。Costigan^[57]等人证实了上楼时膝关节承受的内部负荷,上楼时支撑相时期引起了膝关节的弯曲,为了维持转动平衡,膝关节伸肌活动来对抗转动,远近端的接触力高达体重的3-6倍,膝关节前后侧的剪切力上楼时也要比平地行走时的高。上楼与平地行走的最大差异是上楼时髌骨和股骨的接触面的压力是平地行走的8倍。另

外, Riener^[17]证实人体正常上楼时承受的冲击负荷是平地行走的1.8倍。这仅是无负重爬楼, 可想而知, 负重爬楼时人体的缓冲能力不足以对抗这样的负荷, 必然会对神经骨骼系统, 特别是膝关节造成损害。下楼时典型的双峰曲线消失了, 第一压力峰值出现后, 随后出现的是“小尾巴”, 也就是说第二峰值压力不明显甚至消失。在Stacoff^[32]等人的研究中也证实了这一点。

4.2.1.2 同一书包重量对肥胖儿童上下楼梯垂直压力影响的比较研究

通过上文分析我们得出上楼的第一压力峰值要小于第二压力峰值, 所以当我们比较同一书包重量上下楼时对足底压力有无影响时, 上楼的最大压力峰值即第二压力峰值与下楼时的第一压力峰值更有意义。经过统计学处理我们发现的是下楼时每个重量的压力峰值均比上楼大, 表现为下楼的压力峰值显著高于上楼的压力峰值, $p < 0.05$ 。

Loy^[58]研究发现正常下楼梯时对足底受力造成的冲击波约为上楼梯时的1.3倍, 为水平行走时的2.5倍。Riener^[17]等报道称无负重状态下下楼梯时足底垂直压力峰值要明显高于上楼梯和水平行走时, 他们均证实了我们的观点。

McFadyen^[55]等人认为, 上楼时是把肌肉产生的能量转换为重力势能, 肌肉产生最大能量的时期是脚蹬离地面时, 这时候上楼的地面反作用力大于下楼的地面反作用力; 下楼时是重力势能被肌肉所吸收, 这个过程出现在摆动相阶段需要把重力势能转换为动能。最后所有的动能随着脚的触地被吸收, 表现为在触地期下楼的地面反作用力明显高于上楼触地时的地面反作用力。Riener^[17]等人认为上楼时的触地阶段, 大约支撑相的14—20%, 髋关节和膝关节产生很大的能量, 在蹬离阶段, 大约支撑相的58%, 踝关节产生很大的能量, 这个阶段中膝关节和髋关节几乎不产生能量。下楼时脚触地之后, 踝关节要吸收很大的能量, 这时候膝关节和踝关节都是伸展的, 然而这个阶段人体的缓冲能力不足以吸收如此高的能量, 需要下肢的三个关节共同分担。在领先腿踝关节吸收能量之前, 对侧腿的膝关节已经开始吸收能量, 随后依次是领先腿的踝关节、髋关节、膝关节吸收能量, 最后是对侧腿的踝关节和髋关节完成整个步态周期能量的吸收。这个阶段对抗肌肉要做离心收缩, 如果行走速度和负重过大时会造成肌肉拉伤的危险。同样Lieber^[59]等人的研究也支持这样的观点。为了增加下楼时的缓冲能力, 儿童要经常运动和穿着减震能力较好的运动鞋。

4.2.2 左右方向受力

4.2.2.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼时左右方向受力的影响

上楼时，支撑腿由摆动相转入支撑时相的初期，即右脚刚刚触地时存在一个短时间的左右晃动，此时受到来自此阶段双脚处于支撑状态的初期。随着对侧脚的蹬离，支撑腿足底的压力重心向外侧转移，负重越大转移的越明显，当对侧腿蹬离地面的瞬间第一个峰值，此时第一个双支撑阶段结束。随着对侧脚进入摆动状态，支撑腿的压力重心由外侧向内侧转移，此时右脚基本放平，右腿基本伸直，随着对侧腿的着地再次进入双支撑阶段，此时受力较小。随后是支撑腿的蹬离，人体重心再次向脚外侧转移，大约在支撑时间的 75%左右达到第二个峰值，随着支撑脚的离地压力消失。

下楼时，是由支撑腿的前脚掌外侧先触地，出现了向外的分力，随着前脚掌的全部触地，向外的分力减小，这个过程形成第一个波峰和波谷。当对侧腿开始蹬伸时人体重心向支撑腿转移，再次出现了向外分力的增加，对侧腿蹬离地面的瞬间向外的分力达到最大值，此时第一个双支撑阶段结束。随后的对侧腿的继续前摆使向外的压力逐渐减小，当对侧腿落地时向外的分力降到最小，形成了第二个波峰和波谷。接下来支撑腿的蹬伸形成了第三个波峰，伴随着支撑腿的离地，压力消失。

在我们的研究中，肥胖儿童负重上下楼时左右方向的受力并没有随着负重的增加而发生显著性的变化，表明负重不会对足底左右方向的受力产生影响。上楼和下楼最大值出现在双支撑阶段结束，对侧腿进入摆动相的时刻，这个阶段随着对侧腿的抬高准备迈向下一个台阶，人体的重心向支撑腿转移。过多的压力转向了足的外侧，如果这种情况长期存在会容易引起足的内翻从而损伤踝关节。

4.2.2.2 同一书包重量对肥胖儿童上下楼梯左右方向受力影响的比较研究

当相同重量的书包上下楼之间左右方向最大受力比较时，我们发现所背负是四个重量的书包中的每个书包上楼时的足底左右方向最大受力均小于下楼的足底左右方向的最大受力。上楼时所背负的 0%BW, 10%BW, 5%BW, 20%B.W 的四个重量书包的左右方向最大值依次为 $0.073 \pm 0.022BW$, $0.070 \pm 0.023BW$, $0.069 \pm 0.021BW$, $0.075 \pm 0.016BW$ ，而下楼时依次为 $0.130 \pm 0.023BW$, $0.133 \pm 0.026BW$,

$0.120 \pm 0.021\text{BW}$, $0.130 \pm 0.019\text{BW}$ 。说明下楼时比上楼时的左右方向的稳定性更差,我们认为下楼比上楼时更容易引起肥胖儿童的意外跌掉和关节的损伤。

4.2.3 前后方向受力

4.2.3.1 不同书包重量对肥胖儿童上下楼梯时前后方向受力的影响

上楼时在刚刚触地的瞬间出现了先向前接着向后的分力,这可能与上楼时脚触地方式有关。在对侧腿的蹬伸过程中,支撑腿有一个制动的过程,分力的方向向前,当身体重心逐渐过渡到支撑腿的支撑面时,向前的分力逐渐减少。支撑时间的后50%时支撑腿的蹬离阶段,脚的蹬离产生一个向后的分力,当支撑腿蹬离地面时向后的分力消失。

从视频分析可以看出,下楼时是支撑腿的前脚掌触地,形成向前的分力,并随着对侧腿蹬离地面的推动,向前的分力增加。当身体重心逐渐过渡到支撑腿的支撑面时,向前的分力逐渐消失。支撑时间的后半段是支撑腿的蹬离阶段,脚的蹬离产生一个向后的分力,当支撑腿蹬离地面时向后的分力消失。

我们同样发现上下楼所背负的四个书包重量均没有对肥胖儿童前后方向受力产生显著性影响,从前后方向的受力曲线不难发现,四个重量的受力曲线几乎重合,说明负重对肥胖儿童前后方向受力影响不大。结合视频我们发现上楼时前后方向的最大受力出现了支撑腿的触地阶段,下楼时前后方向的最大受力出现了右脚的蹬离地面的阶段。

4.2.3.2 同一书包重量对肥胖儿童上下楼梯左右方向受力影响的比较研究

当相同重量的书包上下楼之间前后方向最大压力比较时,我们发现所背负是四个重量的书包中的每个书包上楼时的足底前后方向最大压力均小于下楼的足底前后方向的最大压力。上楼时所背负的 0BW , 10BW , 5BW , 20BW 的四个重量书包的左右方向最大值依次为 $0.132 \pm 0.053\text{BW}$, $0.129 \pm 0.026\text{BW}$, $0.127 \pm 0.024\text{BW}$, $0.127 \pm 0.023\text{BW}$, 而下楼时依次为 $0.167 \pm 0.022\text{BW}$, $0.173 \pm 0.020\text{BW}$, $0.174 \pm 0.02\text{BW}$, $0.175 \pm 0.028\text{BW}$ 。由于下楼时是脚前掌先触地,先前的分力大多集中到了脚前掌。久而久之很可能会在儿童的足底产生胼胝体。

5、结论

5.1上楼和下楼时,步态周期随着负重的增加而增加,说明随着负重的增加,儿童的行走速度降低。支撑相、双支撑相随着负重的增加而增加,摆动相随着负重的增加而减小,说明随着负重的增加,儿童的稳定性下降,通过增加支撑相时间(减小摆动相时间)来完成。

5.2负重10%B.W时已经对肥胖儿童的垂直压力产生了显著性的影响,如果负重过大很可能引起儿童下肢关节的损伤,肌肉的拉伤;四个重量对儿童足底前后和左右方向影响不大;左右方向下楼时的压力大于上楼时的压力,说明下楼时比上楼时更加不稳定;前后方向下楼时的压力也是大于上楼时的压力。这是由于下楼时前脚掌触地引起的,加上较大地面的垂直作用力,很可能引起足底的病变,建议要通过增加鞋的缓冲能力降低伤害。

5.3 结合负重对肥胖儿童步态参数和足底受力的影响,我们认为肥胖儿童的负重量不应该超过自身体重的 10%。

6、研究局限

本研究仅采用二维摄像分析系统来采集儿童背负不同重量书包上下楼梯时步态指标。今后的研究中可以利用三维摄像技术分析儿童背负不同重量书包上下楼梯时各个关节角度的指标。

参考文献

- 1、 Hong Y, Li JX. Influence of load and carrying methods on gait phase and ground reactions in children's stair walking. *Gait Posture*. 2005. 22(1):63-638.
- 2、 苏明亮. 不同书包重量对儿童上下楼梯时身体姿势、步态及足底受力的影响 Aug; [D]: 山东体育学院硕士(毕业)学位论文, 2009.
- 3、 Pascoe DD, Pascoe DE, Wang YT, et al. Influence of carrying book bags on gait cycle and posture of youths. *Ergonomics*, 1997. 40(6):631-641
- 4、 Simbruner G, Fleischhacker E, Huemer C, et al. The school child carrying heavy burdens. *Padiatr Padol*, 1990. 25(5):327-333
- 5、 Grimmer KA, Williams MT, Gill T. The associations between adolescent head-on-neck posture, backpack weight, and anthropometric features. *Spine* 1999. 24(21):2262-2267
- 6、 HKSCD. The weight of school bags and its relation to spinal deformity. Hong Kong

- Society for Child Health and Development, The Department of Orthopaedic Surgery, University of Hong Kong, The Duchess of Kent Children's Hospital 1988.
- 7、 Sander M. Weight of school bags in a Freiburg elementary school: recommendations to parents and teachers. *Offentliche Gesundheitswesen* 1979. 41:251 - 253.
 - 8、 马 军, 朱 虹, 王海俊等 .北京市部分中小學生背負書包情況調查. *中國公共衛生* [J] 2002. 22 (1): 26-27.
 - 9、 Troussier B, Davoine P, De Gaudemaris R, et al. Back pain in school children a study among 1178 pupils. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 1994;26:143-146.
 - 10、 Johnson RF, Knapik JJ. Symptoms during load carrying effects of mass and load distribution during a 20-km road march. *Perceptual and Motor Skills* 1995;81:331-338.
 - 11、]K. Grimmer and M. Williams, Gender-age environmental as-sociates of adolescent low back pain, *Appl Ergon* 2000 .31: 343 - 360.
 - 12、 S. R. Iyer, Backpacks and musculoskeletal pain: do children with idiopathic scoliosis face a greater risk? *J Sch Health* 2002. 72 :270 - 271.
 - 13、 S. Negrini, R. Carabalona, R. Pinochi, R. Malengo and P. Sibilla, Backpack and back pain in school children: is there a direct relationship? *J Bone Joint Surg Br* 1998. 80-B :247.
 - 14、 B. Troussier, P. Davoine, R. de Gaudemaris, J. Fauconnier and X. Phelip, Back pain in school children: A study among 1178 pupils, *Scand J Rehabil Med* 1994. 26 :143 - 146.
 - 15、 中國肥胖問題工作組. 中國學齡兒童青少年超重、肥胖篩查體重指數值分類標準. *中華流行病學雜誌*. [J] 2004. 25:97 — 102.
 - 16、 McGraw B, McClenaghan BA, Williams HG, et al. Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys.
 - 17、 Riener R, Rabuffetti M, Frigo C. Stair ascent and descent at different inclinations. *Gait Posture* 2002. 15:32 - 44.
 - 18、 馬軍, 朱虹, 黃永波, 等. 兒童少年双肩背負重量適宜值上限範圍的研究. *中國公共衛生* [J] 2001. 22 (3): 218-220.
 - 19、 Jing Xian Li, Youlian Hong, Paul D. Robinson The effect of load carriage on movement kinematics and respiratory parameters in children during walking *European Journal of Applied Physiology* 2003. 90: 35-43.
 - 20、 Hong Y, Brueggemann GP. Changes of gait pattern in 10 years old children during

- treadmill walking with increasing loads. *Gait and Posture* 2000. 11:254-259.
- 21、Ghori GMU, Luckwill RG. Responses of the lower limb to load carrying in walking man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1985. 54:145-150.
- 22、武明, 季林红, 金德闻等. 人体背部负重对于步态特征的影响及其相互补偿策略的实验研究. *生物医学工程学杂志* [J]. 2003. 20 (4): 574-579.
- 23、Tarkeshwar Singh, Michael Koh. Effects of backpack load position on spatiotemporal parameters and trunk forward lean. *Gait & Posture* 2009. 29:49 - 53.
- 24、Wang YT, Pascoe DD, Weimar W. Evaluation of book backpack load during walking. *Ergonomics* 2001. 44(9):858 - 69.
- 26、Charteris J. Comparison of the effects of backpack loading and of walking speed on foot-floor contact patterns. *Ergonomics* 1998;41(12):1792 - 809.
- [26]Kinoshita H. Effects of different loads and carrying systems on selected biomechanical parameters describing walking gait. *Ergonomics* 1985. 28(9):1347 - 62.
- 27、M. LaFiandra, R.C. Wagenaar, K.G. Holta et al .How do load carriage and walking speed influence trunk coordination and stride parameters? *Journal of Biomechanics* 2003. 36 (8) 87 - 95.
- 28、]Hong Y, Cheung CK. Gait and posture responses to backpack load during level walking in children *Gait Posture*. 2003 .17(1):28-33.
- 29、Nottrodt JW, Manley P. Acceptable loads and locomotor patterns selected in different carriage methods. *Ergonomics* 1989. 32(8):945-957.
- 30、Jing Xian Li , Youlian Hong. Age difference in trunk kinematics during walking with difference backpack weights in 6 to 12 year old children.
- 31、孟昭莉, 元文学. 学龄儿童背负不同重量行走时足底压力分布研究 *生物医学工程学杂志* [J] . 2008:25(4):852-855.
- 32、Alex Stacoff (Alex Stacoff , Christian Diezi , Gerhard Luder , et al. Ground reaction forces on stairs:effects of stair inclination and age. *Gait and Posture* 2005. 21 :24 - 38.
- 33、Carrow JS. Obesity and diseases. London:Churchill Livingstone. 1988. 1-6.
- 34、Martorell R, Kettel L, Hughes ML, et al. Overweight and obesity in preschool children from developing countries. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2000. 24:959-967.

- 35、DL Riddiford-Harland, JR Steele, LH Storlien, Does obesity influence foot structure in prepubescent children? *International Journal of Obesity* 2000 .24: 541-544.
- 36、 Bordin D, De Giorgi G, Mazzocco G, et al. Flat and cavus foot, indexes of obesity and overweight in population of primary school children. *Minerva Pediatr*, 2001. 53(1):7-13.
- 37、 Hills AP, Parker AW. Gait characteristics of obese children. *Arch Phys Med Rehabil*, 1991. 72(6):403-407.
- 38、 Fregly AR, Oberman A, Graybiel A. Thousand aviator study: nonvestibular contributions to postural equilibrium functions. *Aerosp Med*, 1968, 39(1):33-37.
- 39、 Dowling AM, Steele JR, Baur LA. What are the effects of obesity in children on plantar pressure distributions? *International Journal of Obesity* (2004) 28, 1514 - 1519.
- 40、 Dowling AM, Steele JR, Baur LA. Does obesity influence foot structure and plantar pressures in prepubescent children? *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001; 25: 845 - 852.
- 41、 Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. Does excess mass affect plantar pressure in young children? *Int J Pediatr Obes*, 2006, (3):183-188.
- 42、 Hills AP, Parker AW. Locomotor characteristics of obese children. *Child Care Health Dev*, 1992. 18(1):29-34.
- 43、 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. 2008. 31(12):1651-1654.
- 44、 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. *中国运动医学杂志*, 2008. 27 (2): 179-183.
- 45、 Katch V, Becque MD, Marks C, Moorehead C, et al. Oxygen uptake and energy output during walking of obese male and female adolescents. *Am J Clin Nutr* 1988. 76:-16.
- 46、 Maffies C, Schutz Y, Schena F, Zaffanello M, Pinelli L , Energy expenditure during walking and running in obese and nonobese prepubertal children , *J Pediatr* 1993. 123:193 - 199.
- 47、 高建磊, 肖丹丹, 李红艳. 肥胖儿童与正常儿童行走步态特征的力学分析[J] 505
- 48、 闫松华, 谢楠, 刘志成. 肥胖儿童平地自然行走时的步态研究. *中国运动医学杂志*. 2007. 26(3):286-290.
- 49、 中国肥胖问题工作组. 中国学龄儿童青少年超重、肥胖筛查体重指数值分类标准 [J]. *中华流行病学杂志*, 2004. 25 (2): 97-102.
- 50、 World Health Organisation. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation on Obesity). WHO: Geneva, 1997.
- 51、 Kathryn A. Christina , Peter R. et al. Ground reaction forces and frictional demands

- during stair descent: effects of age and illumination. *Gait and Posture* J. 2002. 15:153 - 158.
- 52、 Anastasia Protopapadaki , Wendy I. Drechsler Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals *Clinical Biomechanics* 2007. 22 : 203 - 210.
- 53、钱竟光, 宋雅伟, 叶强等. 步行动作的生物力学原理及其步态分析. *南京体育学院学报*, 2006. 5 (24): 1-7.
- 54、 Tilbury Davis DC, Hooper RH. The kinetic and kinematic effects of increasing load carriage upon the lower limb. *Human Movement Science*. 1999. 18:693-700.
- 55、 McFadyen BJ, Winter DA. An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent. *J Biomech* 1988. 21:733 - 44.
- 56、 Zachazewski JE, Riley PO. Biomechanical analysis of body mass transfer during stair ascent and descent of healthy subjects. *J Rehabil Res Dev* 1993. 30:411 - 2.
- 57、 Costigan PA, Deluzio KJ, Wyss UP. Knee and hip kinetics during normal stair climbing. *Gait Posture* 2002;16:31 - 7.
- 58、 Loy DJ, Voloshin AS. Biomechanics of stair walking and jumping. *J Sports Sci* 1991. 9:137 - 49.
- 59、 Lieber RL. *Skeletal muscle: structure and function, implications for rehabilitation and sports medicine*. Baltimore, MA: Williams and Wilkins. 1992.

致 谢

值此论文完成之际，谨向我尊敬的导师毛德伟教授致以诚挚的谢意和崇高的敬意。三年来导师坦荡磊落的胸怀，无私的奉献精神，渊博的专业知识，严谨的治学态度，精益求精的工作作风，诲人不倦的高尚师德令我终生受益，不仅教会了我治学更使我懂得怎么做人。

感谢山东省科研中心贾刚老师在论文开题以及阶段性论文汇报中给予的宝贵建议和支帮助。

感谢我的师兄宋祺鹏、孙威、苏明亮，师姐张翠在实验设计中提供的宝贵经验，论文撰写中指点迷津，使论文完成过程中事半功倍。

感谢我的同学杨晓君、岳东升、王金光在实验过程中给予的全力的支持，使得我的实验如期开始并保质保量的顺利完成。

感谢我的师弟孙颖慧、吴昊、丁争业、朱卫嵩，师妹谭田田在数据提取过程中给予的大力帮助，为我论文尽早的完成争取了时间。

感谢我的舍友刘敏学、杜少纯，是他们给我创造了一个温馨的生活和学习环境。

感谢三年来与我朝夕相处的同学们，我们一起度过的美好时光将成为我一生中珍惜的回忆。

感谢山东体育学院研究生部的所有老师三年以来对我学习、生活和工作地关心与帮助。最后，感谢我的父母，他们赋予我整个身心和生命，我的每一点进步都凝聚父母的倾力支持。

附件

受试者同意书

您已经被邀请参加本研究计划。本研究的目的是研究儿童背负不同重量书包上下楼梯对儿童步态和足底压力影响。

资料背景

整个测试过程约半个小时，您只须参与一次的测试。

您将会被要求换上我们提供的衣服和鞋袜，接下来您将随机背负 0%BW、10%BW、15% BW、20% BW 四个重量的书包上下楼梯，每个重量走三遍（每走完一个重量休息 3 分钟）。本次实验中将有 20 名受试者共同与您参加。

风险评估

本研究过程中没有潜在身体上的风险，例如肌肉酸疼及疲劳。

研究效益

您将会得知背负多重的书包上下楼梯不会对您步态和足底压力产生不利影响。您的参与将会帮助了解背负不同重量书包对儿童上下楼梯对儿童步态和足底压力影响。

隐私保障及保险安排

您将会获得一个号码来记录你的个人及研究数据，这些数据都不会使用您的姓名。这些数据会被加以密码保护并储存在主要研究人员的计算机内。

参加者姓名

参与条款

您的参与属于自愿性质，您可以拒绝参与而不会有任何惩罚。如果您决定参与，您可以在任何时间退出而不会有任何惩罚。如果您在收集数据前退出本研究，您的资料将会退还给您或销毁。

同意书

我已经阅读及明白以上的内容。我已收到这份文件的副本。我同意参加这个研究计划。

参与人签署_____

日期_____

监护人签署_____

研究人员签署_____

日期_____

攻读学位期间发表论文

[1] 张亚强. 不同重量的书包对肥胖儿童上楼时身体姿势、步态的影响. [C]. 第十四届全国运动生物力学学术交流大会. 2010: 469-471.