



背包对青少年平衡、身体姿势及步态影响的研究进展

王敏, 陆阿明, 张秋霞, 王国栋

摘要: 综述近年来国内外学者对背包影响青少年平衡能力、身体姿势及步态的研究成果。研究认为, 目前学者们对背包影响青少年平衡、身体姿势及步态的研究主要集中在背包不同载荷对其的影响, 对不同负重位置及不同背包方式影响青少年平衡、身体姿势和步态的研究相对较少。而国内学者在背包对以上3方面的影响研究却是少之又少, 提示学者们对此方向可进行深入研究与探讨, 为人们合理背包和防治防止防止背包给人体带来的损伤提供理论支撑。

关键词: 背包; 平衡; 身体姿势; 步态

中图分类号: G804.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2015)02-0008-05

Research on the Influence of Backpack on the Balance, Posture and Gait of the Youngsters

WANG Min, LU A-ming, ZHANG Qiuxia, WANG Guodong

(School of Physical Education, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract: The article discusses the research progress of the influence of backpack on the balance, posture and gait of the youngsters in the recent years. Many researchers have focused their studies on the influence of different backpack loads on the balance, posture and gait, but few attention has been paid to the influence of the different weight-bearing positions and the different ways of backpack carrying on the balance, posture and gait of the youngsters. Moreover, the studies on the effects of backpack on those three aspects are much fewer in China. This phenomenon suggests that more studies can be made in this field so as to provide theoretical support for reasonably carrying backpacks and preventing injuries brought to human body by backpack.

Key Words: backpack; balance; posture; gait

背包在现今人们的日常生活中扮演着重要的角色, 孩子上学、青年旅行、成年人上班、军事行军、野外生存、登山训练等都离不开背包, 但背包对人体的影响却常常被忽视。背包这种负重方式, 从外部施加载荷作用于人体, 改变了人体重心的位置, 为了对抗这种外加阻力的作用, 保持人体平衡及稳定, 人体的步态和身体姿势等必然也会做出相应调整^[1]。人体过长时间背部负重或者负重过重, 则容易导致一系列足部、背部等的损伤问题。因此, 更多的学者开始致力于研究不同载荷负重及不同方式负重对人体带来的影响(包括负重后平衡能力的变化、身体姿势的变化、步态的调整、肌肉活动变化、肺容量变化等方面), 以达到不断调节姿势、减少疲劳、降低损伤风险的目的。目前国外已经大量开展背包对人体平衡能力、身体姿势和步态的生物力学研究, 但是国内的相关研究却相对较少。故本文意在总结国内外学者对背包条件下人体平衡能力、身体姿势和步态变化的研究进展, 为国内的学者深入探讨该领域提供参考依据。

1 背包对青少年平衡能力的影响

平衡能力是人体的一项重要功能, 它是人体根据视觉、前庭觉和本体觉等多感觉输入, 在重心适度移动范围内的各种姿势体位(静态或动态)下负重、调整和维持姿势稳定的能力。平衡的外在表现是各种姿势体位下的负重, 以维持姿势稳定^[2]。

质心是物质的质量中心。人体总质量中心(center of mass, COM)是指人体整体质量分布的加权平均位置^[3]。人与地面接触时, 人体压力中心(center of pressure, COP)表现为人体向地面施加压力的作用点。假设所有人体接触点都在测力台上的话, 压力中心是来自一块测力台的垂直地面反作用力矢量的位置, 而这个位置取决于足部的位置和踝部的肌肉运动^[4-5]。

人体质量中心(COM)和人体压力中心(COP)的变化可以真实地反映人体平衡能力的变化。

收稿日期: 2015-01-08

第一作者简介: 王敏, 女, 在读硕士研究生。主要研究方向: 运动生物力学。

作者单位: 苏州大学体育学院, 江苏苏州 215021



1.1 不同背包载荷对青少年平衡能力的影响

有研究表明,不同重量的背包会引起人体质量中心(COM)的变化。Menz 等^[6]认为,由于背部的负重载荷,导致总体的 COM 位置以及质量都发生了变化,因此,人体必须改变行走的步态以保持平衡,从而适应载荷的施加。人体压力中心(COP)的轨迹长度、包络面积、前后及左右偏移位移和动摇速度等指标均能有效地反映出人体平衡能力的好坏,这些指标的值越小说明平衡能力越好,反之亦然(如图 1、2),图 1 反应受试者的平衡能力相对较差,图 2 反应受试者的平衡能力相对较好。COP 的变化是背包引起的另一个显著性变化。Pau 等^[7]对小孩背包的研究发现,不同背包重量时 COP 在前后方向的变化有显著性差异,且背包越重时 COP 越向前脚掌移动,而 COP 在左右方向的移动则无显著性差异。这表明,过度负重不仅能增加脚不舒适的风险,并且可能导致脚的结构发生改变或者病变。与其研究结果相似的是,有研究针对不同背包负荷[0%、7.5%、10%、12.5%、15% 身体重量(BW)]对脊柱侧弯女生和脊柱正常女生(平均年龄均为 13 岁)的站立姿势和平衡的影响,发现,无论是正常组还是脊柱侧弯组均是背包越重 COP 在前后方向的移动范围越大,脊柱侧弯组在左右方向的平衡远弱于正常组在此方向的平衡,但是背包重量主要是影响前后方向的平衡。这表明背包负重既影响了躯干在矢状面内的平衡,也影响了躯干在冠状面内的平衡^[8]。也有少数学者研究了军用背包对战士平衡能力的影响。Heller 等^[9]对 43 名 18~25 岁的女大学生背 0 kg 和 18.1 kg 的军用背包的静态姿势稳定性作了相关研究,指出同不负重相比,背 18.1 kg 包时 COP 的轨迹长度增加了 64%、左右偏移位移增加了 131%、前后偏移位移增加了 54%、COP 包络面积增加了 229%。这些都表明,背 18.1 kg 的军用背包会导致姿势摇晃增加,平衡能力降低,进而会增加摔倒和受伤的几率。Rugelj 等人^[10-11]的研究结果也显示,背上负重时,COP 的轨迹长度、前后和左右方向的位移、包络面积均随着载荷的增加呈现线性增加。

结合相关研究^[12-14],可以推论,背部负重会增加身体整体的重量,使整个身体的 COM 上移,这将会导致姿势控制的有效性降低,增加姿势摇晃,从而会降低人体的平衡能力。

当人体保持平衡时,COP 就固定在一个相对稳定的位置,而当外界给予人体一定程度负重后,较原先的位置而言,会导致 COP 增加前后左右方向晃动的位移,姿势摇晃增加,从而降低人体的平衡能力。

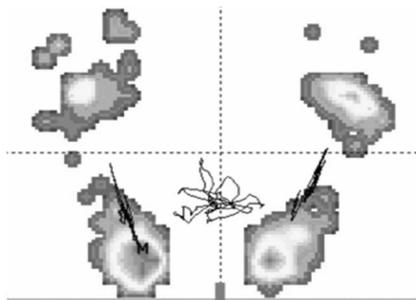


图 1 COP 轨迹长度大

Figure 1 Longer COP Trajectory Length

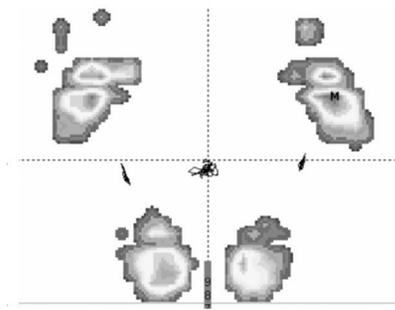


图 2 COP 轨迹长度小

Figure 2 Shorter COP Trajectory Length

1.2 不同背包位置/方式对青少年平衡能力的影响

除研究不同重量负荷之外,也有学者研究了不同背包位置及背包方式对青少年平衡[d1]能力的影响。背包位置/方式不同,COP 相关指标的变化不同。Rugelj 等人^[10-11]研究了在背上负重(背包)和腰上负重(腰夹克)两种不同负重位置分别对姿势稳定性的影响,结果显示,背上负重时 COP 的轨迹长度、前后和左右方向的位移、包络面积均呈现线性增加。但是,腰上负重时 COP 的这些指标却没有发现显著性差异。这说明,负重位置对姿势的稳定性具有显著性影响。不同背包方式同样能够影响人体的平衡能力。Sahli 等^[15]对 14~15 岁的脊柱侧弯青少年背包方式影响平衡的研究认为,双肩背相比较于单侧凸面单肩背而言,COP 的所有参数值明显降低;背包方式和背包重量的交互作用对姿势稳定性(COP 移动范围)有显著性影响。这表明不对称的背包方式和背包重量对姿势稳定性的影响较大。

从以上两方面的研究中不难发现,不仅负荷重量对平衡能力有显著性影响,而且负重方式也对平衡能力有着显著性影响。研究发现,背部负重时,COP 的一些相关指标与无负重条件下相比均有显著性差异,载荷越重对平衡能力的影响越明显,人体姿势在对称性负荷条件下比在非对称性负荷条件下更稳定。

根据相关研究可知^[8,15],非对称性负重时,COP 的前后及左右方向移动距离较对称性负重时显著增加,特别是前后方向的移动距离变化尤为明显。从 COP 位置的变化我们可以推论得出,COP 变化幅度越大,身体姿势控制有效性越低,从而导致身体平衡能力越差。

2 背包对青少年身体姿势的影响

人体在负重条件下,不仅会使人体质量中心及人体压力中心发生改变,而且当载荷达到一定程度后将会改变与人体身体姿势密切相关的关节角度及脊柱曲线。

2.1 不同背包载荷对身体姿势的影响

一定重量的背包会明显改变青少年身体姿势角度,如 Ramprasad 等^[16]对 200 名(12.5±0.5)岁的健康男生背包负重 5%、10%、15%、20%和 25%BW 时对姿势角度的影响研究,研究发现当背包重于 15%BW 时寰枕关节(CV)角度发生显著性变化;当背包重于 10%BW 时颈椎(HON)和



脊柱(HNOT)角度发生显著性变化;当背包重于5%BW时躯干和下肢间的角度发生显著性变化;当背包重量大于15%BW时,所有的姿势角度都会发生变化。而Grimmer等^[17]对250名12~18岁的青少年背3种不同重量(3%、5%、10%BW)的背包对站立姿势的影响进行分析时表明,所有解剖点(头、颈、肩、臀、大腿、膝、踝)的向前位移均随着背包重量的增加呈现线性增大。Chow、Kwok等^[18]也针对不同背包负荷(0%、7.5%、10%、12.5%、15%BW)对脊柱侧弯女生和脊柱正常女生(平均年龄均为13岁)的站立姿势和平衡的影响进行了研究,指出在矢状面上,脊柱侧凸组头部的倾斜度明显大于正常组;背包越重,躯干向右旋转度越大且躯干弯曲度也增大,躯干和骨盆间的弯曲度也越大,头部向躯干的左侧旋转且头部间的弯曲度减小,头部越向后转动向第7颈椎(C7)靠近。表明背包负荷既影响了躯干在矢状面内的平衡也影响了躯干在冠状面内的平衡。

背包后身体倾斜程度的改变最为明显,如Hong、Brueggemann^[19]等对10岁男孩背包负重(0%、10%、15%、20%BW)行走时步态的变化研究,结果显示,与0%BW相比,20%BW负重时躯干明显向前倾,结果提示,10岁小孩背包重量不能超过身体重量的10%BW。而Hong、Cheung^[19]等对11个9~10岁的小学生在背包负重条件下平路行走的步态和姿势进行了实验研究,研究发现相比于0%、10%和15%BW负重,20%BW负重时身体前倾角度发生明显变化,此研究则表明小学生的背包重量不应该超过15%BW。类似地,Singh^[21]等对17名(9.65±1.58)岁的小学生在跑步机上分别负重10%、15%、20%BW行走,获取儿童的姿势变化,分析数据显示,大体呈现出背包越重,身体前倾越严重的趋势。

从以上研究中可见,随着负重载荷的增加,躯干角度会产生显著变化,身体会有更大幅度的前倾,说明背包重量对身体姿势有着显著的影响。

而与以上结论相悖的是,Al-Khabbaz等^[22]对19名(21±3)岁的大学生4种不同重量(0%、10%、15%、20%BW)的背包条件下对身体姿势的影响研究发现,随着负重的增加,身体后倾程度几乎一样,只有20%BW时姿势改变最显著,所以背包重量不应超过20%BW。他们表明身体向后倾的原因可能是当有外加负荷时,腹直肌的反平衡反应不足,导致身体向一个新的补偿性姿势转变。

学者们之间的研究得出一些相互矛盾的结论,分析其原因,可能是因为研究对象的不同以及实验条件的控制方面不同。可见,不同背包载荷对身体姿势的影响还有待广大学者们进一步进行研究论证。

2.2 不同背包位置/方式对身体姿势的影响

青少年的身体姿势同样会因背包而发生变化,但与所背包的位置及背包方式有关。Grimmer等^[17]对250名12~18岁的青少年背包,其重心分别位于第7胸椎(T7)、第12胸椎(T12)和第3腰椎(L3)时对站立姿势的影响进行分析时指出,当背包重心在T7时所有的解剖点(头、颈、肩、臀、大腿、膝、踝)均有最大向前位移,此研究表明背包重

心应该在腰或者髋的水平位置上最佳,推翻了“背包应该背在脊柱上方”这一经验法则。而与其结论有些相违背的是,Singh、Koh^[21]等对17名(9.65±1.58)岁的小学生在跑步机上负重行走,获取不同背包位置条件下儿童的姿势变化,分析数据显示,静态条件下,呈现出背包位置在下背部身体前倾最严重;动态条件下两种负重形式无显著性差异,但背包在上背部时出现轻微向前倾的趋势。Negri^[23]等对43名平均年龄在(12.5±0.5)岁的学生进行对称性和非对称性背包负重对姿势的影响进行了研究,研究发现8kg非对称性负重时躯干向前倾,腰椎角度减小;非对称负重时,所有解剖面均发生变化,而对称性负重时则无明显变化。这表明学生背包应避免非对称负重,应该对称性背包。在相关的研究中同样观察到类似现象,Chansirinukor等^[24]指出,背15%BW的双肩包时,颈椎角显著性减小,头前倾程度更大。Pascoe等^[25]研究了10名年龄在11~13岁的青少年以4种方式(无包、单肩书包、双肩包、单肩运动包)背17%BW的书包静止站立状态下的身体姿势变化,结果指出,背单肩包时支撑肩显著性上升,脊柱侧弯,但躯干活动度更大;背双肩包时躯干前倾角更大,但活动度受限。

除了背包后即刻身体姿势会发生变化之外,背包对身体姿势的变化同样存在滞后效应。Hung-Kay等^[26]对14名健康的25~35岁的青年人背包负重行走后对姿势和重新定位能力影响的滞后效应的研究发现,背包行走后取下背包之后躯干姿势和重新定位能力均不能完全恢复;背包过程中,脊柱弯曲有明显的变化,也增加了脊柱重新定位的错误,增加了脊柱损伤的风险。

可见,背包对身体姿势变化及其滞后效应这方面在国外学者的研究中是比较热门的话题,背包对人体姿势到底有着怎样的影响,还需要更多的学者投入研究给出定论。

大量研究显示,背包负重对身体姿势的影响研究主要集中在青少年,而针对中老年人背包对身体姿势影响研究却屈指可数,特别在老年人这一人群上。随着现代社会的逐渐老龄化,为了保证老年人较高的生活质量,研究背包对老年人身体姿势的影响显得尤为重要。

3 背包对青少年步态的影响

众所周知,步态的生物力学分析在人类学、体育学、军事学、宇航学等领域都已有了广泛的研究,但因为人在负重条件下行走的步态研究比较复杂,行走时各种变量相互影响导致人体在背包负重条件下的相关研究却明显不足。不同行走速度、不同负重量、不同负重方式都会成为影响步态模式的重要因素^[27]。国外的相关研究已经表明,不同背包载荷对步态的动作结构会产生较大影响。

3.1 背包对儿童少年步态的影响

步态的质量高低与运动系统所承载的负荷密切相关^[28]。因而,儿童背包后势必会影响其正常步态。现有实验研究资料对儿童背不同重量的书包在跑台行走和平地步行时步态改变进行研究发现,背书包后步态参数出现显著变化,表现为步速减慢、步长减小、双支撑相延长等^[24,29,30]。也有相关学者得出相似结论,如Singh等^[31]对17名(9.65±



1.58)岁的小学生分别负重10%、15%、20%BW时在跑步机上行走,获取不同背包负重位置条件下的时空运动学参数,研究发现,负重条件下的平均步速和平均步频明显小于无负重条件下的平均步速和步频;背包重量为20%BW时的平均步速最小;背包位置在上背部时的平均步频明显少于无负重条件的步频。这说明了20%BW负重条件下行走儿童的步态模式已经发生了变化,因此,通过需要相应的改变来尽量减少儿童步态的不稳定性,并且背包负重不要超过20%BW。而与以上结论相悖的是,相关学者表明儿童的背包重量不应超过身体质量的15%,Hong等^[12]对11名9~10岁的小学生在背包条件下平地行走步态的相关参数进行了实验研究,研究发现步速和步长在2 km之后才有明显变化,而步频随负重大小变化却没有明显变化;但相比于0%、10%和15%BW负重,20%BW负重时身体前倾角度发生明显变化。研究结论提示小学生的背包重量不应超过15%BW。

3.2 背包对青年人步态的影响

青年人背包行走时对其步态同样产生明显变化。Charteris^[13]选择45名青年男性受试者分别背负20%、30%、40%、50%和60%BW,在平地行走40 m,研究结果发现,随着背包载荷的增加,双支撑时间增大趋势明显,步幅有下降趋势,下肢关节角度也随之发生了变化。

从以上研究中可见,目前对于负重条件下步态的时空参数变化,学者们普遍认为,负重条件下行走,当负重达到20%BW时摆动时间会大幅度下降,摆动期最大屈膝幅度减小,这样也同时导致双支撑时间百分比的增加。

4 小结

4.1 背包重量、背包位置及方式均对青少年平衡能力和身体姿势造成一定影响。随着背包载荷的增加,COM和COP的一些相关指标与无负重条件下相比均有显著性差异,载荷越重人体姿势稳定性越低;人体姿势在对称性负荷条件下比在非对称性负荷条件下更稳定。大部分学者认为,随着背包载荷的增加,躯干角度会产生显著变化,身体会有更大幅度的前倾,说明背包重量对身体姿势有着显著的影响;但是也有学者认为,背包条件下身体会向后倾斜,特别是当负重达到身体重量的20%后身体后倾幅度明显增大。学者们之间的研究得出一些相互矛盾的结论,分析其原因,可能是因为研究对象的不同以及实验条件的控制方面不同所致。可见,背包对身体姿势的影响还有待广大学者们进一步进行研究论证。

4.2 目前对于背包条件下行走步态的时空参数的变化,学者们普遍认为,当背包达到身体重量的20%时摆动时间会大幅度下降,摆动期最大屈膝幅度减小,这样也同时导致双支撑时间百分比的增加。

5 问题与展望

国外学者们对背包影响青少年平衡、身体姿势及步态的研究已有较为显著的研究成果,主要集中在不同背包载

荷对其的影响,但是就不同背包方式及不同背包位置对这3方面的影响的研究却相对较少,而针对背包对平衡能力、身体姿势及步态影响的滞后效应的研究更是寥寥无几;另外,到目前为止,学者们大量的研究都集中在背包对青少年平衡能力、身体姿势及步态影响的研究上,却只有少量的学者研究了成年人背包对其的影响,随着现代化生活质量的提高,中老年人背包旅行的现象也日益突现,而针对中老年人背包影响平衡、身体姿势及步态的研究却屈指可数,特别在老年人这一人群上。故这就提示了我国学者可以从以上几点针对背包对人体平衡能力、身体姿势及步态的影响进行进一步探索研究。

参考文献:

- [1] 宋丽华,陈民盛.人体负重行走的生物力学研究及前景[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(41):7771-7774.
- [2] 金挺剑,叶祥明,林坚,等.强化患侧下肢负重训练对脑卒中患者平衡与功能性步行能力的影响[J].中国康复医学杂志,2009,24(11):995-998.
- [3] 赵焕彬,李建设.运动生物力学[M].第三版.北京:高等教育出版社,2008.
- [4] 孟昭莉,元文学,刘海斌,等.压电式测力平台系统输出压力中心参数的实验研究[J].医疗卫生装备,2010,31(4):21-23.
- [5] 李世明,Tanvi Bhatt.人体动态稳定性理论及防跌倒扰动性训练进展[J].体育科学,2011,04:67-74.
- [6] Menz HB, Lord SR, Fitzpatrick RC. (2003). Acceleration patterns of the head and pelvis when walking on level and irregular surfaces. *Gait&Posture*, 18(1):35-46.
- [7] Pau M, Corona F, Leban B, et al. (2011). Effects of backpack carriage on foot - ground relationship in children during upright stance[J]. *Gait&posture*, 33(2):195-199.
- [8] Chow DHK, Kwok MLY, Cheng JCY, et al. (2006). The effect of backpack weight on the standing posture and balance of schoolgirls with adolescent idiopathic scoliosis and normal controls[J]. *Gait&posture*, 24(2):173-181.
- [9] Heller MF, Challis JH, Sharkey NA. (2009). Changes in postural sway as a consequence of wearing a military backpack[J]. *Gait&posture*, 30(1):115-117.
- [10] Rugelj D, Sevsek F. (2009). The influence of load placement on postural sway parameters[C]. *Springer Berlin Heidelberg*, 1821-1824.
- [11] Rugelj D, Sevsek F. (2011). The effect of load mass and its placement on postural sway[J]. *Applied ergonomics*, 42(6):860-866.
- [12] Costello K, Matrangola S, Madigan M. (2012). Independent effects of adding weight and inertia on balance during quiet standing[J]. *Biomedical Engineering Online*, 11(1):20-33.
- [13] Qu X, Nussbaum M. (2009). Effects of external loads on balance control during upright stance: Experimental results and model-based predictions[J]. *Gait&Posture*, 29(1):23-30.
- [14] Rosker J, Markovic G, Sarabon N. (2011). Effects of vertical center of mass redistribution on body sway parameters during quiet standing[J]. *Gait&Posture*, 33(3):452-456.
- [15] Sahli S, Rebai H, Ghroubi S, et al. (2013). The effects of back-



- pack load and carrying method on the balance of adolescent idiopathic scoliosis subjects[J].*The Spine Journal*, 13(12):1835-1842.
- [16] Ramprasad M, Alias J, Raghuvveer AK. (2010). Effect of backpack weight on postural angles in preadolescent children[J].*Indian pediatrics*, 47(7):575-580.
- [17] Grimmer K, Dansie B, Milanese S, et al. (2002). Adolescent standing postural response to backpack loads: a randomized controlled experimental study[J].*BMC Musculoskeletal Disorders*, 3(1): 10.
- [18] Chow DHK, Kwok MLY, Cheng JCY, et al. (2006). The effect of backpack weight on the standing posture and balance of schoolgirls with adolescent idiopathic scoliosis and normal controls[J].*Gait&posture*, 24(2):173-181.
- [19] Hong Y, Brueggemann GP. (2000). Changes in gait patterns in 10-year-old boys with increasing loads when walking on a treadmill[J].*Gait&posture*, 11(3):254-259.
- [20] Hong Y, Cheung CK. (2003). Gait and posture responses to backpack load during level walking in children[J].*Gait&posture*, 17(1):28-33.
- [21] Singh T, Koh M. (2009). Effects of backpack load position on spatiotemporal parameters and trunk forward lean[J].*Gait&posture*, 29(1):49-53.
- [22] Al-Khabbaz YSSM, Shimada T, Hasegawa M. (2008). The effect of backpack heaviness on trunk-lower extremity muscle activities and trunk posture[J].*Gait&posture*, 28(2):297-302.
- [23] Negrini S, Negrini A. (2007). Postural effects of symmetrical and asymmetrical loads on the spines of schoolchildren[J].*Scoliosis*, 2(8):1-7.
- [24] CHANSIRINUKOR W, WILSON D, GRIMMER K, et al. (2001). Effects of backpack on student: Measurement of cervical and shoulder posture[J].*Aust J Physiothe*, 47(2):110-116.
- [25] PASCOE DD, PASCOE DE, WANG YT, et al. (1997). Influence of carrying book bags on gait cycle and posture of youths[J].*Ergonomics*, 40(6):631-641.
- [26] Hung-Kay Chow D, Kit-Fong Hin C, Ou D, et al. (2011). Carry-over effects of backpack carriage on trunk posture and repositioning ability[J].*International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(5):530-535.
- [27] Cappellini G, Ivanenko YP, Poppele RE, et al. (2006). Motor patterns in human walking and running.[J].*Journal Of Neurophysiology*, 95(6):3426-3437.
- [28] CAPPOZZO A. Gait analysis methodology[J].*Hum Mov Sci*, 1984,3(1-2):27-50.
- [29] HONG YL, BRUEGGEMANN GP. (2000). Changes in gait pattern in 10-year-old boys with increased loads when walking on a treadmill[J].*Gait Posture*, 11(3):254-259.
- [30] SINGH T, KOH M. (2009). Effects of backpack load position on spatiotemporal parameters and trunk forward lean[J].*Gait Posture*, 29(1):49-53.
- [31] Singh T, Koh M. (2009). Effects of backpack load position on spatiotemporal parameters and trunk forward lean[J].*Gait&posture*, 29(1):49-53.
- [32] Hong Y, Cheung CK. (2003). Gait and posture responses to backpack load during level walking in children[J].*Gait&posture*, 17(1):28-33.
- [33] Charteris J. (1998). Comparison of the effects of backpack loading and of walking speed on foot-floor contact patterns[J].*Ergonomics*, 41(12):1792-1809.

(责任编辑:何聪)