

身体活动水平与腰背肌疲劳对男性大学生自然步态参数和ASI的影响

程家焰*, 陈洁颖

内蒙古师范大学体育学院, 内蒙古 呼和浩特
Email: 918305745@qq.com

收稿日期: 2021年5月10日; 录用日期: 2021年6月10日; 发布日期: 2021年6月17日

摘要

目的: 了解活动水平和疲劳对成年男性正常步行时下肢的步态参数和各关节的对称性指数的影响。方法: 通过BPAQ问卷选取32名健康青年男性大学生, 16名为积极活动组, 另16名为不积极活动组, 利用红外线光点运动捕捉系统测量受试者在运动跑台上疲劳前后的步态运动数据, 并计算出两侧下肢步行时髋、膝、踝关节的ASI对称性指数。运动重复测量双因素方差分析法检验不同活动水平和疲劳前后对步行时下肢的步态参数和关节对称性程度的影响。结果: 不论是受试者的活动水平, 还是疲劳状态的改变, 对受试者步态时的步长(活动水平 $P = 0.126$, 疲劳 $P = 0.825$)、步宽(活动水平 $P = 0.177$, 疲劳 $P = 0.992$)、步频(活动水平 $P = 0.111$, 疲劳 $P = 0.365$)、步速(活动水平 $P = 0.992$, 疲劳 $P = 0.177$)均无显著性影响。活动水平和疲劳对步行时下肢两侧髋、膝、踝关节的ASI对称性指数指标均无交互作用($P > 0.05$)。但是, 不积极活动受试者的抗疲劳能力比积极活动受试者的要差, 容易产生疲劳感。结论: 不积极活动组与积极活动组的步长、步频、步宽、步速和下肢两侧各关节运动范围ASI均没有明显变化, 说明受试者活动水平的与否都与自然步态特征相近, 行走时的两侧各关节的对称程度无明显差异。即不论是受试者的活动水平, 还是疲劳状态的改变, 都不会影响受试者的步态参数和运动范围ASI, 不存在交互作用。不积极活动受试者的抗疲劳能力比积极活动受试者的要差, 容易产生疲劳感, 且疲劳感觉的程度要更大。

关键词

活动水平, 腰背疲劳, 步态参数, ASI指数

Effect of Physical Activity Level and Lumbar Muscle Fatigue on Natural Gait Parameters and ASI in Male College Students

Jiayan Cheng*, Jieying Chen

*第一作者。

Institute of Physical Education, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia
Email: 918305745@qq.com

Received: May 10th, 2021; accepted: Jun. 10th, 2021; published: Jun. 17th, 2021

Abstract

Objective: To investigate the effects of activity level and fatigue on lower limb gait parameters and the symmetry index of each joint during normal walking in adult male. **Methods:** Selected 32 healthy young male college students through the BPAQ questionnaire, 16 called active groups, the other 16, not active groups, using infrared light spot motion capture system to measure the subjects on the campaign run before and after the fatigue of gait motion data, and calculate the on both sides of the lower limb walking hip, knee, ankle, ASI symmetry index. Exercise repetition measurement two-factor analysis of variance (ANOVA) was used to examine the effects of different activity levels and fatigue on lower limb gait parameters and joint symmetry during walking. **Results:** No matter the activity level of the subjects or the fatigue state change, the step length (activity level $P = 0.126$, fatigue $P = 0.825$), stride width (activity level $P = 0.177$, fatigue $P = 0.992$), stride frequency (activity level $P = 0.111$, fatigue $P = 0.365$), stride speed (activity level $P = 0.992$, fatigue $P = 0.177$) had no significant effect. There was no interaction between activity level and fatigue on ASI symmetry index of both hips, knees and ankles during walking ($P > 0.05$). However, the inactive subjects were less able to resist fatigue than the active subjects and were more likely to feel tired. **Conclusion:** The step length, stride frequency, stride width, stride speed and the motion range ASI of each joint on both sides of the lower extremity were not significantly changed between the inactive group and the active group, indicating that the activity level of the subjects was similar to the characteristics of natural gait, and there was no significant difference in the symmetry degree of each joint on both sides during walking. In other words, no matter the activity level or fatigue state of the subjects, the gait parameters and motion range ASI of the subjects will not be affected, and there is no interaction. The inactive subjects had worse anti-fatigue ability than the active subjects. They tended to feel tired, and the degree of fatigue feeling was greater.

Keywords

Activity Level, Low Back Fatigue, Gait Parameters, ASI Index

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着社会的发展, 互联网技术的发展极大地改变了人们的学习方式、工作方式、生活方式, 运动较少和缺乏体育活动已成为现代人的主要状况[1]。世卫组织将 21 世纪的体力活动不足确定为世界上最大的公共卫生问题, 是慢性非传染性疾病的主要杀手, 也是增加非传染性疾病死亡率的第四大危险因素[2]。然而, 肌肉疲劳也严重影响人们的日常生活和行为, 如自然行走, 所以在疲劳状态下, 身体需要调整行走的时间和空间参数, 以保持身体的平衡和稳定[3] [4] [5]。运动疲劳是指组织器官类甚至全身体力消耗后工作能力暂时下降的现象, 是生理学和生物化学中常见的现象[6]。身体活动水平也调节疲劳发展, 积极活动的人比不积极活动的人更具有抗疲劳的能力[7] [8]。步态分析是利用生物力学和治理的概念, 对人

类行走过程中关节和肌肉活动进行运动监测和动态监测, 根据时间、空间、生物力学等提供参数值和相应的曲线[9]。因此, 本研究目的是确定不同活动水平受试者在无肌肉疲劳状态和腰背肌肉疲劳状态对步态特征、下肢各关节对称性指数和疲劳相关指标的影响, 明确肌肉疲劳和身体活动水平情况的效应和交互作用。本研究的有两个研究假设: 1. 身体活动水平和疲劳会影响步态参数的指标; 2. 身体活动水平和疲劳会影响两侧下肢髋、膝、踝关节的 ASI 指数。

2. 研究对象与方法

2.1. 研究对象

本次研究于 2020 年 12 月进行实验测试, 实验室为内蒙古师范大学运动生理学实验室, 并且受试者均为内蒙古师范大学学生, 年龄在 20~30 岁之间, 排除满足以下任一条件的受试者:

- 1) 具有心脏病、颈椎病、心脑血管和神经类等疾病;
- 2) 三个月内腰背部有扭伤或拉伤史;
- 3) 实验前 48 h 内进行过剧烈运动;
- 4) 实验前腰背部有酸痛症状和肌肉紧张等状况;
- 5) 实验前身体有疲劳感。

所有受试者身体健康均自愿参加本次实验测试, 并且充分告知受试者实验过程可能出现的不适, 受试者签署《知情同意书》。通过发放 Baecke 身体活动问卷(BPAQ)最后筛选出 32 名健康男性大学生志愿者。其中 16 名 Baecke 问卷得分 ≥ 7 分, 归为积极活动组; 另 16 名为 Baecke 问卷得分 < 7 分, 归为不积极活动组。BPAQ 问卷是主观, 当然这种问卷靠人的记忆作答, 但也是很能反映真实情况的、简便、效益高的调查问卷, 可测量普通人近一年的身体活动水平[10]。采用独立样本 T 检验方法对研究对象的基本情况进行分析。具体见表 1。

Table 1. List of basic information of research subjects

表 1. 研究对象基本情况一览表

	不积极活动组	积极活动组
年龄(岁)	24.3 \pm 1.7	23.6 \pm 1.5
身高(cm)	179.3 \pm 4.9	179.5 \pm 5.6
体重(kg)	86.2 \pm 16.3	78.7 \pm 9.2
BMI (kg/m ²)	26.8 \pm 4.4	24.5 \pm 3.2
BPAQ 问卷得分	6.2 \pm 0.6*	9.9 \pm 0.9

注: *: 组间有显著性差异, $p < 0.01$ 。

2.2. 实验方法

2.2.1. 实验仪器

采用 LUKOtronic 三维动作捕捉与分析系统(LUKOtronic Motion Analysis System AS100, 奥地利)通过红外摄像单元实现对动作实时三维运动捕捉与分析。主动发红外光的标记点(Infrared Marker) 8 个, 发射角度 $> \pm 90$ 度。h/p/cosmos 专业级运动跑台辅助 LUKOtronic 三维动作捕捉仪来获取实时步态数据。Polar H10 心率带提供准确的实时心率, 身高体重计测量身高和体重以及罗马椅、节拍器等。

2.2.2. 实验方案

受试者穿着轻便的运动服和运动裤。受试者进入实验室, 休息 10 分钟, 解释实验目的和注意事项,

使受试者熟悉实验过程和设备。收集和完整受试者的基本信息并测量基本数据。测量对象的人体工程学参数是：身高、体重、BMI 指数、脚长和优势腿。为了收集受试者准确的自由步态信息，测试前需进行标记点及仪器的功能状态检测，并且受试者在测试前需要正常行走 20 米测试实际步速(m/s)，以实际步速校准跑台速度。实验开始前，受试者进行 3 min 的准备活动。实验室温度 23.8℃，受试者穿运动短裤不会感觉寒冷。本次实验需严格控制实验室光线和紫外线，以及实验设备的校准。准备活动后，在受试者身上进行 8 个主动发光标记点粘贴与固定。固定位置分别为左/右股骨大转子、左/右外侧髁水平、左/右腓骨外踝和左/右根骨位置。

为了令受试者适应运动跑台的步行环境，先进行 2 min 的适应性步行。实验开始后，采集无疲劳状态的步态信息，受试者在运动跑台上步行完整 60 s 的步态数据，以实测步速调整跑台速度。测试过程中随时观察受试者及设备情况，记录并保存有效数据。接着进行腰背肌肉疲劳干预后的步态信息采集，实验前受试者进行自由拉伸练习，主要拉伸腰背部 3 min；30 次慢速腹背运动。进行腰背肌肉疲劳干预至受试者达到肌肉疲劳程度，通过主观疲劳程度量表(Rating of Perceived Exertion, RPE)评定受试者疲劳程度，疲劳干预结束均需记录受试者的心率以及 RPE 得分。疲劳后在 1 min 内对受试者进行主动发光标记点修正后，再进行步态信息的采集。腰背肌肉疲劳干预后的步态信息采集与无疲劳方案的步态信息采集的步骤相同。实验结束后有序卸除受试者身上的仪器，并准备下一个受试者实验测试。

2.2.3. 疲劳测试方法

疲劳状态使用 RPE 量表进行测量。RPE 主观疲劳量表是目前国内外对体育负担进行定量评估的广泛应用方法，其有效性和可靠性可应用于各种项目和体育内容，客观指标相关性高[11]。在疲劳期间，当受试者显示他们因腰肌疼痛或不能按规定运动速度运动(≥ 3 次)或连续运动 30 分钟后不能继续时，实验中达到了所需的疲劳程度，主观疲劳等级分数从 14 分到 16 分不等，即停止疲劳干预。

2.2.4. 疲劳前、后步态数据的采集

疲劳前、疲劳后 1 min 分别采用 LUKOtronic 三维动作捕捉与分析系统测量受试者的正常步态和疲劳步态特征的数据，测试指标主要包括：

(1) 步长：指的是行走时左脚跟、右脚跟或腿末时，在两点之间的距离上竖直线距离，单位以 cm 表示。

(2) 步宽：指的是在步行过程中左侧下肢和右侧下肢的两脚之间的距离，测量时要以两脚跟的中心点或者也可以是重力点这两点间的水平距离，单位以 cm 表示。

(3) 步频：指的是步行时每分钟所迈的步数，单位以 steps/min 表示。

(4) 步速：指的是单位时间的向前移位，单位以 m/s 表示。

(5) 关节运动范围定义为步态周期内最大和最小角度之差的绝对值。将左右两侧下肢的髋、膝、踝关节运动范围代入对称性指数公式[12] $ASI = \frac{|2(XL - XR)|}{(XL + XR)} * 100\%$ ，求出关节运动范围对称性指数，虽然无法辨别参数大小的方向性，但是数据不受到正负的影响，单纯讨论两侧下肢髋、膝、踝的不对称程度的大小。有研究[13] [14]认为 ASI 值 = 表示两侧对称，而 ASI 值 $\leq 10\%$ 时可认为是比较对称，在可接受范围。

2.2.5. 疲劳方法

本次腰背肌肉疲劳干预方法采用重复的“山羊挺身”躯干屈伸运动[15]，即要求受试者 45°俯卧在罗马椅上，双手交叉在胸前，脚勾在后面的支撑垫上，起始姿势时身体尽可能向前倾，向下弯曲，感受下背部肌肉的拉伸，由节拍器控制“山羊挺身”运动的速度(60 次/min)。在疲劳方案中，受试者需要按照节拍器的节奏有控制地做躯干屈伸运动。

2.3. 统计分析法

采用 Excel 2016 对数据进行初步整理和 IBM SPSS Statistics 26.0 统计软件进行统计学分析, 数据采用平均值 \pm 标准差($M \pm SD$)表示。运用重复测量双因素方差分析方法确定活动水平和疲劳这两个自变量对步态参数的影响, 因变量包括步长、步宽、步频、步速和两侧下肢髋、膝、踝运动范围的对称性指数。对于受试者的人体测量学数据和运动疲劳干预后的心率和 RPE 指标进行独立样本 t 检验, 显著性水平取 0.05, 非常显著性水平取 0.01。最后对所得统计结果进行归纳总结, 并结合相关知识进行理论阐述。

3. 研究结果与分析

3.1. 步态参数指标

本次研究将足跟着地到同侧足跟再次着地定义为一个步态周期。重复测量双因素方差分析结果表明, 步长、步宽、步频和步速数据都显示身体活动水平因素主效应不显著, 说明无论受试者是积极活动还是不积极活动都不会造成步长、步宽、步频和步速有明显变化; 肌肉疲劳因素主效应也不显著, 说明无论受试者是疲劳前还是腰背肌疲劳干预后也都不会对步长、步宽、步频和步速有明显变化。重复测量双因素方差分析结果进一步表明, 不论是受试者的活动水平, 还是疲劳状态的改变, 对受试者步态时的步长(活动水平 $P = 0.126$, 疲劳 $P = 0.825$)、步宽(活动水平 $P = 0.177$, 疲劳 $P = 0.992$)、步频(活动水平 $P = 0.111$, 疲劳 $P = 0.365$)、步速(活动水平 $P = 0.992$, 疲劳 $P = 0.177$)均无显著性影响。活动水平和疲劳对步态参数各指标(表 2)的影响均无交互作用(步长 $P = 0.255$; 步宽 $P = 0.906$; 步频 $P = 0.878$; 步速 $P = 0.771$)。

本次研究的结果不支持本研究的第一个假设, 身体活动水平和疲劳会影响步态参数的指标。不同活动水平和疲劳干预后没有显著改变步行时的步长、步宽、步频和步速基本参数。

Table 2. Gait parameters before and after fatigue in different activity level groups ($M \pm SD$)

表 2. 不同活动水平组别疲劳前后步态参数($M \pm SD$)

	疲劳前		疲劳后	
	积极	不积极	积极	不积极
步长(cm)	60.56 \pm 5.01	62.55 \pm 3.48	60.26 \pm 5.33	62.99 \pm 4.52
步宽(cm)	9.81 \pm 2.77	9.86 \pm 2.08	10.32 \pm 3.14	10.29 \pm 2.43
步频(steps/min)	110.02 \pm 22.46	96.62 \pm 24.69	107.94 \pm 24.19	95.13 \pm 21.07
步速(m/s)	1.14 \pm 0.11	1.18 \pm 0.85	1.14 \pm 0.12	1.18 \pm 0.83

3.2. 步态下肢各关节对称性指标

本研究分析不同活动水平组别在疲劳前后两侧下肢髋、膝、踝关节运动范围, 即步态周期内最大和最小角度之差的绝对值。取相关数据代入 ASI 对称性指数公式中, 数据(表 3)包括髋关节矢状面屈(+)/伸(-)、膝关节矢状面屈(+)/伸(-)、踝关节矢状面背伸(+)/跖屈(-)、髋关节冠状面内收(+)/外展(-)、膝关节冠状面外翻(+)/内翻(-)、踝关节冠状面内翻(+)/外翻(-)、足偏角水平面外旋(+)/内旋(-)。

重复测量双因素方差分析结果表明, ASI 指数数据都显示身体活动水平因素主效应不显著, 说明无论受试者是积极活动还是不积极活动都不会造成 ASI 指数有明显变化; 肌肉疲劳因素主效应也不显著, 说明无论受试者是疲劳前还是腰背肌疲劳干预后也都不会对 ASI 指数有明显变化。方差分析结果进一步表明, 不论是受试者的活动水平, 还是疲劳状态的改变, 对受试者步态时的髋关节矢状面屈(+)/伸(-) (活动水平 $P = 0.498$, 疲劳 $P = 0.738$)、膝关节矢状面屈(+)/伸(-) (活动水平 $P = 0.087$, 疲劳 $P = 0.087$)、

Table 3. ASI index of each joint in gait before and after fatigue at different activity levels (M ± SD)
表 3. 不同活动水平疲劳前后步态各关节的 ASI 指数(M ± SD)

	疲劳前		疲劳后	
	不积极	积极	不积极	积极
髋关节矢状面屈(+)/伸(-)	0.015 ± 0.014	0.022 ± 0.014	0.020 ± 0.018	0.019 ± 0.014
膝关节矢状面屈(+)/伸(-)	0.018 ± 0.013	0.029 ± 0.028	0.024 ± 0.021	0.039 ± 0.033
踝关节矢状面背伸(+)/跖屈(-)	0.126 ± 0.077	0.136 ± 0.127	0.134 ± 0.143	0.121 ± 0.102
髋关节冠状面内收(+)/外展(-)	0.125 ± 0.122	0.171 ± 0.186	0.126 ± 0.123	0.180 ± 0.121
膝关节冠状面外翻(+)/内翻(-)	0.141 ± 0.103	0.220 ± 0.185	0.133 ± 0.089	0.219 ± 0.184
踝关节冠状面内翻(+)/外翻(-)	0.117 ± 0.109	0.131 ± 0.104	0.141 ± 0.098	0.129 ± 0.118
足偏角水平面外旋(+)/内旋(-)	0.104 ± 0.059	0.102 ± 0.062	0.175 ± 0.132	0.104 ± 0.071

踝关节矢状面背伸(+)/跖屈(-) (活动水平 $P = 0.966$, 疲劳 $P = 0.908$)、髋关节冠状面内收(+)/外展(-) (活动水平 $P = 0.273$, 疲劳 $P = 0.810$)、膝关节冠状面外翻(+)/内翻(-) (活动水平 $P = 0.088$, 疲劳 $P = 0.829$)、踝关节冠状面内翻(+)/外翻(-) (活动水平 $P = 0.963$, 疲劳 $P = 0.673$)、足偏角水平面外旋(+)/内旋(-) (活动水平 $P = 0.118$, 疲劳 $P = 0.093$)均无显著性影响。活动水平和疲劳对步行时下肢两侧髋、膝、踝关节的 ASI 指数指标均无交互作用($P > 0.05$)。

本次研究的结果不支持本研究的第二个假设, 身体活动水平和疲劳会影响两侧下肢髋、膝、踝关节的 ASI 指数。不同活动水平和疲劳干预后没有显著改变步行时两侧下肢髋、膝、踝关节的 ASI 指数。如果对称性越高, 那么 ASI 指数的值越接近零。Lathrop-Lambach RL 等人[16]对上百名健康受试者进行步行活动观察, 超过半数受试者的髋关节和膝关节伸展及内收力矩峰值都呈现不对称的结果。从此看来, 实际上正常的“健康”人的步态是不对称的。从本研究中数据显示受试者下肢髋、膝和踝关节的不对称进一步论证了上述的观点。

3.3. 疲劳相关指标

不同活动水平的人, 他们对于疲劳的身体状态也不同的。因为当肌肉处于疲劳状态下, 承受的运动量和运动负荷会有很大程度下的下滑, 运动机能也随之下降, 身体各个方面会表现出来的生理学和生物力学的改变。本次研究疲劳的相关指标如下: 表 4。

Table 4. Comparative analysis of related indexes of low back fatigue between inactive group and active group (M ± SD)
表 4. 不积极组与积极组腰背疲劳相关指标对比分析(M ± SD)

组别	安静心率(beat/min)	腰背疲劳心率(beat/min)	腰背达到疲劳时间(S)	腰背疲劳 RPE
不积极	89.19 ± 10.42	128.69 ± 14.48*	78.88 ± 27.82	15.25 ± 1.53*
积极	83.25 ± 8.52	119.25 ± 10.84	112.75 ± 16.27*	13.81 ± 1.33

注: *: 组间有显著差异($P < 0.05$)。

独立样本 t 检验结果表明, 不积极活动组与积极活动组的安静心率($P = 0.088 > 0.05$)无显著差异; 然而腰背疲劳心率($P = 0.045 < 0.05$)有显著差异, 不积极活动组的腰背疲劳心率要高于积极运动组。在进行腰背疲劳运动方案时, 不积极活动组与积极活动组达到疲劳时间的具有显著差异($P = 0.000 < 0.01$), 积极活动组腰背达到疲劳的时间明显要比不积极活动组要长; 不积极活动组与积极活动组的 RPE 评分也具有

显著差异($P = 0.008 < 0.01$), 不积极活动组的 RPE 评分高于积极活动组。

殷凤扬[17]在双手头上前掷实心球专项力量训练方法探析中的背部力量训练方法关于使用“山羊挺身”可充分训练刺激到下背部肌肉群, 为动作初始阶段提供支撑以及参与动作发力, 还能带动动作速度。“山羊挺身”诱导的疲劳比短时间高强度诱导方案需要更长的肌肉恢复时间。“山羊挺身”诱导是动态条件下低强度肌肉力量收缩, 整个运动过程涉及到肌肉耐力, 与最大肌肉力量无关, 根据 Linnamo V [18]等人研究表明, 低强度力量的恢复由于外界疲劳的影响而在很长一段时间内减弱, 而高强度的恢复则如最大肌肉力量的收缩。

4. 结论

(1) 不积极活动组与积极活动组的步长、步频、步宽、步速和下肢两侧各关节运动范围 ASI 均没有明显变化, 说明受试者活动水平的与否则都与自然步态特征相近, 行走时的两侧各关节的对称程度无明显差异。即不论是受试者的活动水平, 还是疲劳状态的改变, 都不会影响受试者的步态参数和运动范围 ASI, 不存在交互作用。

(2) 不积极活动受试者的抗疲劳能力比积极活动受试者的要差, 容易产生疲劳感, 且疲劳感觉的程度要更大。

参考文献

- [1] 温英英, 王云涛. 不同静坐时间人群身体成分特征及体育锻炼的影响分析[J]. 体育科技, 2020, 41(5): 19-21.
- [2] 乔玉成, 王卫军. 全球人口体力活动不足的概况及特征[J]. 体育科学, 2015, 35(8): 8-15.
- [3] Helbostad, J.L., Leirfall, S., Moe-Nilssen, R. and Sletvold, O. (2007) Physical Fatigue Affects Gait Characteristics in Older Persons. *Journals of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, **62**, 1010-1015. <https://doi.org/10.1093/gerona/62.9.1010>
- [4] Parijat, P. and Lockhart, T.E. (2008) Effects of Quadriceps Fatigue on the Biomechanics of Gait and Slip Propensity. *Gait & Posture*, **28**, 568-573. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.04.001>
- [5] Niang, A.E. and McFadyen, B.J. (2005) Effects of Physical Activity Level on Unobstructed and Obstructed Walking in Young Male Adults. *Gait & Posture*, **22**, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.07.003>
- [6] 周剑. 运动性疲劳产生的原因及消除方法[J]. 中学课程辅导(教师通讯), 2019(18): 150.
- [7] Katsiaras, A., Newman, A.B., Kriska, A., Brach, J., Krishnaswami, S., Feingold, E., et al. (2005) Skeletal Muscle Fatigue, Strength, and Quality in the Elderly: The Health ABC Study. *Journal of Applied Physiology*, **99**, 210-216. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01276.2004>
- [8] Viner, R.M., Clark, C., Taylor, S.J., Bhui, K., Klineberg, E., Head, J., et al. (2008) Longitudinal Risk Factors for Persistent Fatigue in Adolescents. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, **162**, 469-475. <https://doi.org/10.1001/archpedi.162.5.469>
- [9] 孟庆华, 鲍春雨, 陈超, 徐倩漪. 男性青年踝关节外侧副韧带损伤后行走步态分析[J]. 医用生物力学, 2014, 29(4): 65-71.
- [10] Baecke, J.A., Burema, J. and Frijters, J.E. (1982) A Short Questionnaire for the Measurement of Habitual Physical Activity in Epidemiological Studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **36**, 936-942. <https://doi.org/10.1093/ajcn/36.5.936>
- [11] 杨圣韬, 尹晓峰, 高炳宏. 应用主观疲劳量表量化运动负荷的研究进展[J]. 体育科研, 2019, 40(5): 85-94.
- [12] Wang, Y. and Watanabe, K. (2012) Limb Dominance Related to the Variability and Symmetry of the Vertical Ground Reaction Force and Center of Pressure. *Journal of Applied Biomechanics*, **28**, 473-478. <https://doi.org/10.1123/jab.28.4.473>
- [13] 黄灵燕. 太极拳干预对老年膝关节关节炎患者临床康复效果及步态生物力学的影响[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海体育学院, 2015.
- [14] 耿春亚, 马军, 郭忠武, 丁辉, 丁海曙. 关于正常青年人步态竖直方向力的检测与统计分析[J]. 航天医学与医学工程, 2003(5): 364-367.
- [15] 孙奇, 崔雪原. 背部练习(二) [J]. 羽毛球, 2014(10): 104-105.

-
- [16] Lathrop-Lambach, R.L., Asay, J.L., Jamison, S.T., Pan, X., Schmitt, L.C., Blazek, K., Siston, R.A., Andriacchi, T.P. and Chaudhari, A.M. (2014) Evidence for Joint Moment Asymmetry in Healthy Populations during Gait. *Gait & Posture*, **40**, 526-531. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.06.010>
- [17] 殷凤扬. 双手头上前掷实心球专项力量训练方法探析[J]. 田径, 2021(4): 40-41.
- [18] Linnamo, V., Häkkinen, K. and Komi, P.V. (1998) Neuromuscular Fatigue and Recovery in Maximal Compared to Explosive Strength Loading. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **77**, 176-181. <https://doi.org/10.1007/s004210050317>