

# 儿童倒走足底压力的分布特征研究

郝卫亚<sup>\*,1)</sup> 陈 严<sup>\*,†</sup> 胡水清<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>(国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061) <sup>†</sup>(广东省体育科学研究所, 广州 510663)

**摘要** 为探讨倒走锻炼相对于正常向前行走在足底压力分布方面的特征, 对 12 名健康男性小学生正、倒走足底压力分布进行采集. 然后对足底 10 个区的最大压力和冲量进行分析. 结果表明, 儿童正、倒走足底压力分布差异明显. 与正走相比, 倒走时足弓、第 4,5 趾骨区的压力均变为较高压力区域, 而大拇指、第 1,2 趾骨区变为较低压力区域. 该结果提示, 倒走足底压力分布特征可能是倒走所具有的锻炼、康复特殊效果主要原因之一.

**关键词** 儿童, 倒走, 足底压力, 足, 生物力学

## PLANTAR PRESSURE DISTRIBUTIONS OF CHILDREN DURING BACKWARD WALKING

HAO Weiya<sup>\*,1)</sup> CHEN Yan<sup>\*,†</sup> HU Shuiqing<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>(China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China)

<sup>†</sup>(Guangdong Institute of Sport Science, Guangzhou 510663, China)

**Abstract** It was believed that plantar pressure might play an important role in the beneficial effect of backward walking exercise on health. Plantar pressure distributions of 12 healthy boys during normal and backward walking were collected. The sampling rate was 250 Hz. The maximum force, pressure, and impulse of different regions during backward and normal walking were compared. The plantar foot plane is divided into 10 regions, including first, 2nd, 3rd, 4th, 5th metatarsal head (MTH), great toe (GT), lesser toes (LT), midfoot (MF), lateral heel (LH), medial heel (MH). The plantar pressure distributions of normal and backward walking were found significantly different. Compared with normal walking, the loading of the MF, 4th, and 5th MTH during backward walking were significantly greater, whereas those of the first and 2nd MTH were significantly smaller. These results suggest that plantar pressure distributions during backward walking may contribute to the improvement effects of backward walking exercise in fitness and rehabilitation.

**Key words** children, backward walking, plantar pressure, foot, biomechanics

### 引 言

一般情况下, 人类日常生活、劳动和体育锻炼中走和跑都是向前的运动模式, 而向后走、跑的运动较少. 然而, 向后走、跑也是一种较常见的锻炼健身、临床康复的手段. 自上世纪 80 年代, 国外学者开始了对倒走 (backward walking) 对人体生理机能、步态的影响和改变的研究. 研究证实不仅与正常的向前

走 (forward walking), 即正走, 有着完全相反的运动方向, 而且对于下肢肌力锻炼、平衡能力改善、有氧能力提高有着其独特的作用<sup>[1~4]</sup>.

除了对倒走锻炼、康复的特殊效果进行研究外, 人们还研究了倒走的生物力学特征. 对比研究倒走与正走两种不同步态的运动学、下肢肌肉肌电信号 (EMG) 和地面反力 (ground reaction force, GRF), 研究提示倒走运动时下肢和关节角度以及 GRF 随时

2008-03-11 收到第 1 稿, 2008-04-22 收到修改稿.

1) E-mail: haoweiyia@ciss.cn

间变化曲线基本上正走变化的反转<sup>[5]</sup>。然而，如果倒走仅仅是正走的运动反转，什么作用使得倒走具有与正走不同的锻炼和康复效果呢？研究发现，倒走时下肢肌肉的兴奋程度较正走高<sup>[5]</sup>；虽然与正走可能具有相同的神经控制单元，但倒走运动时有关肌肉系统需要重新组织协调<sup>[5]</sup>。

足是人体行走时与外界唯一接触面。因此，无论正走还是倒走，GRF 是人体受到的除重力外的唯一外力。GRF 在足底接触地面时开始作用于人体，到足底离开地面时结束，并且随着时间发生变化。人体行走时，中枢系统依赖于来自下肢的肌肉和皮肤（包括 GRF）的神经感受器的输入信号产生有效的运动与姿态控制模式<sup>[6]</sup>。来自这些感受器的反馈信号为中枢提供了有关身体的负荷、运动和足底压力分布信息，而足底、足指头、趾骨头的感觉信息对调节运动和 / 或维持姿势具有重要作用<sup>[6,7]</sup>。然而，迄今还没有有关儿童倒走时足底压力分布特征的相关研究。

本研究对 12 名男性 7 岁儿童的正、倒走的足底压力分布指标进行观察，以期探讨正、倒走在足底压力分布方面的差异，为人们理解倒走运动的骨骼 - 肌肉系统神经控制特征及其锻炼和康复特殊效果提供新的科学依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

随机抽取北京市崇文区某小学二年级 12 名男性学生作为本次研究的实验对象，入选对象均为身体健康、无明显生理缺陷且自愿参加本次测试，入选者排除患有对运动有影响的器质性疾病。受试者基本情况如表 1 所示。

表 1 受试者基本情况

受试者 / 位	12
身高 / cm	129.58±6.70
体重 / kg	31.24±5.55
年龄 / 岁	7.25±0.45

### 1.2 测试指标与方法

测量足底 10 个区（大拇指、第 2~5 脚趾、第 1~5 跖骨、足弓部、足跟内侧、足跟外侧）的最大压力（max  $F$ ）、最大压强（max  $P$ ）、冲量（impulse）。足底分区详见图 1。

测试仪器：采用比利时 RSscan 公司产 Footscan 平板式足底压力测试与分析系统。

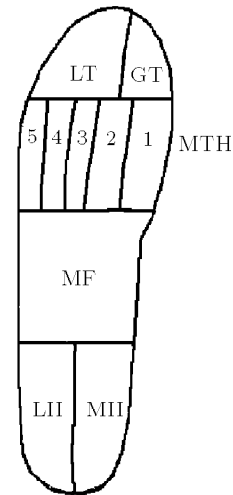


图 1 足底 10 个分区示意图。GT: 大拇指；LT: 第 2~5 脚趾；1~5 MTH: 第 1~5 跖骨；MF: 足弓部；MH: 足跟内侧；LH: 足跟外侧

测试方法：测试与运动图像采集同时进行，长约 1 m 的 Footscan 压力平板与塑胶跑道连为一体，数据采集在受试者未知的情况下进行，以保证受试者数据采集是在完全自然放松的状态下进行。足底压力数据正、倒走各采集 3 次，取 3 次平均值分析，采样频率为 250 Hz。

### 1.3 数据处理

所有数据均由 SPSS11.5 统计软件包进行处理。数值采用平均值 ± 标准差表示，分析差异时采用配对  $t$  检验。  $P < 0.05$  为差异具有显著性，  $P < 0.01$  为差异具有非常显著性。

## 2 研究结果

### 2.1 正、倒走足底最大压力 (max $F$ ) 对比

表 2 中数据显示，正走、倒走足底最大压力差异明显，左足差异具有统计学意义，右足正、倒走差异呈现出与左足相似变化趋势，但未达到统计学差异。正、倒走差异体现为：正走运动时大拇指、第 2~5 脚趾、第 1,2 跖骨、足跟内侧压力明显高于倒走，正走运动时第 4,5 跖骨、足弓部、足跟外侧压力明显低于倒走。

### 2.2 正、倒走足底冲量 (impulse) 对比

如表 3 所示，如同足底最大压力，正、倒走差异明显，左足正、倒走差异具有显著性，而右足差异则不显著，正、倒走足底冲量差异体现为：正走运动时

表2 正、倒走足底最大压力 (max  $F$ ) 比较

单位: N	左			右		
	正走	倒走	$P$	正走	倒走	$P$
GT	39.18±15.12**	13.79±9.23	0.000	30.14±18.12	21.79±15.06	0.12
LT	9.62±11.11*	0.78±2.21	0.018	2.33±3.05	0.43±0.91	0.076
MTH 1	46.47±9.77**	19.18±10.41	0.000	35.17±18.76	28.33±15.18	0.10
MTH 2	45.09±17.50**	23.48±9.91	0.001	39.82±12.77	29.65±17.83	0.12
MTH 3	24.16±10.21	27.11±11.35	0.52	26.07±11.92	26.40±16.76	0.94
MTH 4	15.79±4.13**	29.82±13.68	0.009	20.59±12.39	20.09±13.77	0.89
MTH 5	11.59±4.41**	38.47±29.06	0.008	10.88±8.36	17.19±18.98	0.15
MF	21.71±13.61	45.12±44.44	0.12	29.48±15.19	40.31±38.99	0.35
MH	85.39±36.22	60.97±29.29	0.019	77.31±28.52	57.23±29.04	0.12
LH	64.58±25.67	55.22±33.61	0.12	67.67±23.12	62.06±35.80	0.67

注: \* 为与倒走比较,  $*P < 0.05$ ,  $**P < 0.01$ . GT: 大拇趾; LT: 第2~5脚趾; 1~5MTH: 第1~5跖骨; MF: 足弓部; MH: 足跟内侧; LH: 足跟外侧.

表3 正、倒走足底冲量 (impulse) 比较

单位: N <sub>s</sub>	左			右		
	正走	倒走	$P$	正走	倒走	$P$
GT	6.68±2.79**	2.58±2.30	0.001	4.31±3.20	5.52±6.96	0.51
LT	1.65±2.85	0.17±0.47	0.098	0.27±0.46	0.05±0.11	0.15
MTH 1	10.80±3.21**	4.41±3.39	0.001	8.11±5.53	7.65±7.70	0.77
MTH 2	12.36±6.96**	5.73±2.88	0.007	9.78±4.37	8.52±7.44	0.52
MTH 3	6.10±3.49	6.85±2.52	0.42	6.08±3.86	7.60±5.77	0.29
MTH 4	3.13±1.06**	8.03±4.38	0.002	4.40±3.83	5.62±4.77	0.26
MTH 5	1.94±1.12*	11.52±14.38	0.037	2.00±2.08	4.13±5.60	0.16
MF	2.55±1.69*	11.37±11.93	0.023	3.72±2.17	8.56±9.17	0.068
MH	12.11±5.08	13.64±8.47	0.40	12.63±8.39	14.41±11.10	0.68
LH	9.25±4.50	11.10±7.99	0.31	10.94±7.87	14.84±11.66	0.38

注: \* 为与倒走比较,  $*P < 0.05$ ,  $**P < 0.01$ . GT: 大拇趾; LT: 第2~5脚趾; 1~5MTH: 第1~5跖骨; MF: 足弓部; MH: 足跟内侧; LH: 足跟外侧.

大拇趾、第2~5脚趾、第1,2跖骨高于倒走, 正走运动时第4,5跖骨、足弓部、足跟内、外侧低于倒走.

### 3 讨论

人体行走包括了躯干和肢体运动, 重心转移和足的支撑作用等, 这几个方面同时进行, 紧密配合. 无论是正走运动还是倒走运动, 身体的躯干、肢体等环节都不断摆动, 要保持身体的稳定移动, 必须维持支撑面与重心的动态平衡, 这个过程需要运动器官、神经中枢的密切配合与调节. 足在行走中具有3个重要的生物力学作用: 适应地面情况并且保持人体平衡; 支撑身体重量并且缓冲行走时的地面冲击;

产生向前运动, 传递推进力<sup>[4,5,8]</sup>. 足底压力分布特征对足履行这些生理功能具有重要作用.

本研究结果表明, 儿童正、倒走足底压力差异显著. 正走运动时, 足底呈现出两个较高压力区: 足跟区(内、外侧)和足前区(大拇趾、第1,2跖骨); 但是, 倒走运动时最大压力集中在足跟内、外侧、足弓部.

正常的行走步态(正走)周期从一侧足跟着地开始, 到同侧足跟再次着地结束, 然后开始下一个周期, 如此循环往复, 实现向前的运动. 正走运动足底压力的一个高压力区一个出现在触地时刻, 即在足跟部位, 此期为足跟单独落地期, 足跟触地承担了大

部分来自体重的压力, 使得该部位压力明显增大; 第 2 个高压区出现在离地前夕, 即前脚掌第 1,2 跖骨头处, 步态周期结束时足跟先行离地, 此时接触地面的部位仅为前脚掌, 而大拇趾是完成蹬地的关键部位, 故此刻足底压力前移, 出现第 2 个高压区. 而在全脚落地期, 此期压力分布均匀, 因此出现各部压力都不会显著增高. 正走时足底压力动态变化与步态周期的变化是完全吻合的. 也从侧面证实了, 该年龄段的儿童的步态特征已接近成人水平, 纠正了幼儿期为维持身体平衡而出现的前脚掌、足跟单独触地期短, 全脚触地期长的特点.

倒走步态(倒走)周期从一侧足尖着地开始, 同侧足尖再次着地结束, 然后开始下一个周期, 如此循环往复, 实现向后的运动. 足底压力只出现一个较高压区, 即足跟离地时刻. 此时仅足跟区域接触地面, 足跟需要用力蹬地, 实现身体加速向前向上运动. 倒走运动时, 除足跟区域外其余各部位足底压力分布均较为均匀. 对比数据(表 2, 表 3)可以发现, 倒走时足底各部位压力较正走更为均匀. 这是由于倒走为了达到更高的平衡能力要求, 增加了全脚触地时间, 使得足底各部压力更为均匀, 这也缓解了步行对特殊部位, 如足跟、第 2 跖骨头等的反复冲击. 另外足底各部压力分布较为均匀, 对足的各部位肌肉、韧带都可以得到锻炼, 尤其对于正处于生长发育期的儿童更有益处.

实验研究证实人体的重心运动轴线在足底压力图上恰恰与解剖上的足内侧纵弓相吻合, 人体的重心始终运行在负重主力线之内; 正常的重心运动轴线在跟部和第 1,2,3 跖骨头的范围内<sup>[9]</sup>. 从本研究结果可以看出, 倒走时足底压力中心往足外侧移动, 第 4,5 跖骨头的压力峰值(表 2)甚至超过了第 1,2,3 跖骨头. 另外, 从表 2, 表 3 中可以看出, 尽管左、右足在正走和倒走运动时足底压力变化呈现相同的变化趋势, 但是仅左足正走和倒走运动的足底压力分布差异具有统计学意义. 出现这种差异的原因有待进一步深入研究探讨. 我们认为, 这种差异可能由左、右足优势差异造成的.

总之, 本研究发现儿童正走、倒走足底压力分布差异明显, 倒走时最大压力集中在足跟内、外侧, 足弓部. 该结果提示, 倒走锻炼时与日常正走锻炼不同的足底压力分布引起锻炼者下肢(包括足部)的骨骼-肌肉系统神经控制的不同反应, 同时这种不同的足底压力分布可能是倒走所具有的锻炼、康复特殊效果主要原因之一.

## 参 考 文 献

- 1 Terblanche E, Page C, Kroff J, et al. The effect of backward locomotion training on the body composition and cardiorespiratory fitness of young women. *Int J Sports Med*, 2005, 26(3): 214~219
- 2 Masumoto K, Takasuqi Si, Hotta N, et al. A comparison of muscle activity and heart rate response during backward and forward walking on an underwater treadmill. *Gait Posture*, 2007, 25(2): 222-228
- 3 Yang YR, Yen JG, Wang RY, et al. Gait outcomes after additional backward walking training in patients with stroke: A randomized controlled trial. *Clin Rehabil*, 2005, 19(3): 264~273
- 4 陈严. 男性儿童倒走的运动生物力学特征研究及其对平衡能力的影响. [硕士学位论文]. 北京: 国家体育科学研究所, 2007 (Chen Yan. Biomechanical characteristics of backward walking of boys and its effect on equilibrium. [Master Thesis]. Beijing: China Institute of Sport Science, 2007 (in Chinese))
- 5 Grasso R, Bianchi L, Lacquaniti F. Motor patterns for human gait: Backward versus forward locomotion. *J Neurophysiol*, 1998, 80(4): 1868~1885
- 6 Mao DW, Li JX, Hong Y. The duration and plantar pressure distribution during one-leg stance in Tai Chi exercise. *Clinical Biomechanics*, 2006, 21(6): 640~645
- 7 Nurse MA, Nigg BM. The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clinical Biomechanics*, 2001, 16(9): 719~727
- 8 Halleman A, De Clercq D, Van Dongen S, et al. Changes in foot-function parameters during the first 5 months after the onset of independent walking: a longitudinal follow-up study. *Gait Posture*, 2006, 23(2): 142~148
- 9 毛宾尧, 贾学文, 郑菲蓉等. 行走和站立时足底应力分布研究. *中国矫形外科杂志*, 2002, 10(12): 1211~1213 (Mao Binyao, Jia Xuewen, Zheng Feirong, et al. Research on the human foot pressure distribution of walking and standing. *Orthopedic Journal of China*, 2002, 10(12): 1211~1213 (in Chinese))