

· 临床研究 ·

健康青年人步行效率分析——肌肉谐振规律的前驱研究

许光旭 顾绍钦 孟殿怀 王红星 励建安

【摘要】目的 探索正常人体步行谐振的内在规律,寻求理想步态频率下能量应用效率最高的运动状态。**方法** 选择正常青少年男性在校中学生 10 名,身体健康,无任何步行障碍以及各个系统疾病,年龄(16.2 ± 2.0)岁,身高(1.7 ± 0.1)m,体重(56.1 ± 7.0)kg。采用三维步态分析系统获取步态参数,采用遥测气体分析系统测定氧价,作为能量效率的指标。评测状态为自然步行、80% 自然步频(慢速)以及 120% 自然步频(快速)。**结果** 正常男性青少年中学生自然、慢速、快速行走状态下的步频分别为(101.3 ± 8.5)、(80.4 ± 8.5)、(121.1 ± 10.0)步/min,两两比较,差异均有统计学意义;步速分别为(74.9 ± 9.4)、(57.4 ± 7.8)和(86.8 ± 9.3)m/min,慢速与快速步速分别与自然步速两两比较,差异均有统计学意义($P < 0.001$);耗氧量分别为(12.7 ± 4.1)、(17.5 ± 3.8)和(18.1 ± 3.5)ml·min⁻¹·kg⁻¹,慢速与快速步频分别同自然步频比较,耗氧量均出现增加趋势($P < 0.01$);氧价分别为(0.140 ± 0.011)、(0.193 ± 0.049)和(0.192 ± 0.035)ml·m⁻¹·kg⁻¹,慢速与快速步频氧价分别同自然步频氧价比较,均显著升高($P < 0.05$)。**结论** 自然步频的能量效率最高,步频加速或者减慢均使效率降低,提示可能存在肌肉固有谐振规律的作用,值得进一步深入研究。

【关键词】 步行; 生物谐振; 步态分析; 氧价

The effect of bio-resonance on healthy young persons' walking efficiency——A pilot study XU Guang-xu, GU Shao-qin, MENG Dian-huai, WANG Hong-xing, LI Jian-an. Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

Corresponding author: LI Jian-an, Email: lijianan@carm.org.cn

【Abstract】 Objective To explore the effect of bio-resonance on walking efficiency in healthy youths. **Methods** Ten young male participants were involved in this study (age 16 ± 2 years, height 1.73 ± 0.1 m and weight 56.1 ± 7 kg). The time-space data were collected using a motion analysis system, and oxygen cost was measured with a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. Walking at a self-selected, comfortable walking frequency was recorded through three dimensional gait analysis. Each participant walked at 100%, 80% and 120% of their comfortable walking frequency. **Results** The average 100%, 80% and 120% comfortable walking frequencies were 107.60 ± 1.78 , 85.80 ± 7.45 and 128.60 ± 10.46 steps/min, respectively. Oxygen consumption at the three frequencies was significantly different ($P \leq 0.01$), and the oxygen costs were 0.140 ± 0.011 , 0.193 ± 0.049 and 0.192 ± 0.035 ml/m/kg, respectively. Above or below the self-selected pace, oxygen cost increased significantly ($P \leq 0.05$). **Conclusion** There is an inherited bio-resonance in human walking, and walking with this natural rhythm is reflected in the lowest oxygen cost. Any change from the natural walking rhythm may result in increased energy expenditure and decreased efficiency.

【Key words】 Walking; Bio-resonance; Gait analysis; Oxygen cost

谐振是自然界物体必然存在的现象之一,反映物体内在活动和外部运动的周期性规律。物体在与位移大小成正比,并且总是指向平衡位置的力作用下的振动叫谐振^[1]。人体固有频率系由人体系统本身的质量和刚度所决定的频率,是人体神经-肌肉特性和运动特性的表现。生物谐振的运动特征由运动频率和运动

幅度两部分组成^[2]。肌肉在安静状态下有少量肌肉纤维交替性收缩,以维持肌肉张力。谐振状态下的理想运动频率(固有谐振)是人体在最节能状态下完成额定做功的频率,即能量应用效率最高的运动状态^[3]。然而对人体固有谐振与运动功能关系的认识目前仍处于空白,人体运动的谐振规律目前鲜见研究。本研究的目的在于通过分析健康青年人不同步频时的步态参数及耗氧情况,探索正常人体步行谐振的内在规律,寻求理想运动频率下能量应用效率最高的运动状态。

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2009.04.010

基金项目:江苏省科技计划社会发展项目(BS2004042)

作者单位:210029 南京,南京医科大学第一附属医院康复医学科

通信作者:励建安,Email:lijianan@carm.org.cn

对象与方法

一、对象

选取适龄正常青少年男性在校中学生 10 名, 身体健康, 无任何步行障碍以及各个系统疾病, 平均年龄 (16.2 ± 2.0) 岁, 平均身高 (1.7 ± 0.1) m, 平均体重 (56.1 ± 7.0) kg。均能接受运动学步态分析以及气体代谢测定。

二、测定方案

分别测定自然行走、慢速以及快速步行状态下的步行效率和步态指标。让测试者充分暴露身体各个主要关节点, 采用红外反光球固定在关节处, 在自由行走步态下进行运动学分析, 得出自然步态的步频; 然后分别得出慢速 (80%) 与快速 (120%) 的步频, 采用节律器标定步频, 受试者按照固定音律节拍行走。重复 2 次, 适应后进行正式测定。测试时佩戴便携式气体代谢测试系统。

三、测定指标

测定步态分析的时间-空间参数: 正常自然步态下步频、80% 正常步频 (慢速) 以及 120% 正常步频 (快速) 下的步行速度、 VO_2 和氧价。

四、步态分析方法

采用美国 Motion Analysis 公司远红外线三维步态分析系统进行步态分析^[4,5]。系统包括 1 台主机、6 台红外摄像机、2 个 Kistler 测力平台、8 导动态表面肌电图。具体步骤为: ①按照人体步态分析光标设定标准安置 22 个标记点; ②步态分析测试走道长 6 m, 每次测试时被测者进行 2 m 适应性行走; ③要求被测试者以自然方式步行, 每个被测者测试 3 次, 然后取平均值作为测量结果; ④分析被测者的运动信息, 建立三维坐标图; ⑤分析处理时间-空间参数、节段性运动参数及肌电活动。



图 1 Cosmed K4b2 便携式气体分析系统

五、步态参数的测定

采用意大利 Cosmed 公司产 K4b2 便携式气体分析系统 (图 1) 测定氧价, 以评定受试者步行效率^[6]。

测定过程如下: ①校正 3-D 运动分析系统, K4b2 系统预热 45 min 后进行标准化气体校正。②测定前, 受试者到达实验室休息 30 min, 佩戴面罩和 K4b2 分析仪, 研究对象以自然方式行走 6 min。行走过程中从第 30 米开始, 每 30 m 标记 1 次, 测定每 25 m 的行走时间和耗氧量 (VO_2); 5.5 min 时标记行走距离和时间, 至 6 min。③每次测定结束时评估受试者的主观体力感觉等级, 维持在 10 ~ 11 级, 如超过此限制则休息 30 min 后重新进行测定, 最多测定 3 次。④存储测试参数并通过遥测传输下载到计算机中。截取患者从 30 s 至 5.5 min 之间的行走距离和 VO_2 , 计算 5 min 的步行速度、步行距离、 VO_2 和氧价 [氧价 ($ml \cdot m^{-1} \cdot kg^{-1}$) = 耗氧量 / (步速 $\times$ 体重)]。

六、统计学分析

应用 SPSS 13.0 版统计分析软件, 所有数据均以 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 呈正态分布且方差齐性。采用方差分析, 多个样本均数间两两比较采用 q 检验, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

一、步频的测定结果

正常男性青少年中学生 100% (自然)、80% (慢速)、120% (快速) 步行状态下的步频分别为 (101.3 ± 8.5)、(80.4 ± 8.5)、(121.1 ± 10.0) 步/min。

二、步频不同时步速、 VO_2 和氧价的比较

慢速、快速步频与自然步频下步速两两比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.01$); 慢速步频与快速步频下的 VO_2 及氧价均明显高于自然步频下 VO_2 及氧价 ($P < 0.01$ 或 0.05)。见表 1。

表 1 步频不同时各项指标的比较 ($\bar{x} \pm s$)

步 频	步速 (m/min)	VO_2 ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)	氧价 ($ml \cdot m^{-1} \cdot kg^{-1}$)
自然步频	74.85 ± 9.39	12.74 ± 4.10	0.140 ± 0.01
慢速步频	57.37 ± 7.79^a	17.47 ± 3.75^a	0.193 ± 0.049^b
快速步频	86.83 ± 9.25^{ac}	18.10 ± 3.46^a	0.192 ± 0.035^b

注: 与自然步频比较, $^aP < 0.01$, $^bP < 0.05$; 与慢速步频比较, $^cP < 0.01$

讨 论

运动学研究表明, 长期运动训练可以产生特异性的训练效应, 即特定动作的训练使该动作的肌肉收缩做功效率提高, 但不能提高该肌肉进行其它运动时的效率^[9]。例如进行短跑、中长跑、长跑运动时, 对运动员的步频与步幅要求均不相同, 不同的项目采取完全不同的训练方式, 训练目的是使运动员用最佳步频与步幅在最节约能量的前提下达到最高速度。这种收缩做功效率的提高很可能是肌肉固有谐振频率的适应性

改变。运动谐振提高最大运动能力的机制可能是:①肌肉组织可以利用振动间期进行能量代谢;②谐振的反复积累产生动能积蓄,在特定的时期释放,从而产生最大收缩做功。理想化的运动应该符合肌肉活动的固有谐振频率,通过谐振不断蓄积能量,并在特定运动动作时爆发,达到最大的肌肉功能和能量释放,提高人体最大运动能力^[10]。在人体身高、体重不变的情况下,步行频率是固有存在的,它与步行速度直接相关。刻意改变步行频率,会破坏原有的谐振节律,额外增加人体能量的消耗。加快步频会使肌肉收缩明显增加,耗氧增高,能量代谢上升;而步频减慢时,人体肌肉收缩会出现额外的控制节律的肌肉做功,必然增加能量消耗。本研究结果表明,在不同步频条件下,步速、 VO_2 和氧价均发生显著变化,无论加快还是减慢步频均可导致能量消耗增加。

肌肉生物谐振表现为特定频率的节律性肌肉收缩,人体步行是大脑皮质对步行的控制处于自动化状态下的行为。所有哺乳动物步行运动模式的共同特征是:肢体屈伸肌规律性交替的阵发性活动。有证据表明,四足动物脊髓神经网络可产生缺乏感觉反馈的屈伸运动神经元节律性运动^[11]。这些网络称为中枢模式发生器(central pattern generators)。另外,减重步行平板训练已被证实对部分脊髓损伤患者改善步行有效。虽然脊髓中枢对步行控制的机制还不明确,但是中枢模式发生器的存在是肯定的。脊髓控制下固有频率的步行是屈伸运动神经元的节律性运动,通过外周神经产生肌肉的最佳收缩,达到运动谐振状态。

衡量步行效率的方法有经皮冠状动脉介入法(percutaneous coronary intervention, PCI)和氧价测定等^[12,13]。我们进行氧价的测定时采用 K4b2 便携式气体分析系统,对呼出的气体直接进行分析获得 VO_2 ,通过 VO_2 和步速计算出氧价,这是一种直接测量的方法。K4b2 便携式气体分析系统与其它代谢分析系统有着高度的一致性,其可重复性已被证实,而且和传统的道格拉斯气袋测定法同样灵敏,还具有方便携带的优点^[6]。

人体固有谐振规律的研究是探讨最大运动能力的重要基础,为进一步研究神经-肌肉疾病的运动功能障碍奠定了基础。若固有谐振是制定运动训练方案的基本要素之一,那么采用谐振运动方法进行训练就能改善和提高人体运动功能障碍^[14,15]。从运动训练的角度,如果明确了特定运动项目的固有神经-肌肉谐振规律,就可能据此分析运动员动作的合理性,并通过针对

性的训练,提高运动成绩。

本研究样本量较少,今后希望能扩大样本,深入研究不同类型的肌肉瘫痪患者步行规律。

总之,正常自然步态下 VO_2 与氧价最低,步行效率最佳。慢速与快速步行时 VO_2 与氧价均显著增加,说明干扰或打乱步行节律将导致能耗增加,使步行效率下降,提示可能存在肌肉固有谐振规律的作用,值得进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] Gammaitoni L, Hanggi P, Jung P, et al. Stochastic resonance. *Rev Modern Phys*, 1998, 709:223-287.
- [2] 陈勇. 温情音乐与运动同步共振疗法最适合过劳人群. *中国组织工程研究与临床康复*, 2007, 11:10632-10635.
- [3] Mattsson E. Energy cost of level walking. *Scand J Rehabil Med*, 1989, 23:1-45.
- [4] 励建安, 孟殿怀. 步态分析的临床应用. *中华物理医学与康复杂志*, 2006, 28:500-503.
- [5] 孙嘉利, 唐丹, 钟世镇. 三维步态分析的研究与应用. *中国组织工程研究与临床康复*, 2007, 11:944-948.
- [6] Bowen TR, Cooley SR. A method for normalization of oxygen cost and consumption in normal children while walking. *J Pediatr Orthop*, 199, 18:589-593.
- [7] 吴莉莉, 惠国华, 潘敏, 等. 生物医学领域中随机共振的理论及应用研究. *国际生物医学工程杂志*, 2007, 30:86-90.
- [8] Hiilloskorpi HK, Pasanen ME, Fogellholm MG. Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels. *Int J Sports Med*, 2003, 24:332-336.
- [9] Utter AC, Robertson RJ. Validation of the Adult OMNI Scale of Perceived Exertion for Walking/Running Exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36:1776-1780.
- [10] Bereket S. Effects of anthropometric parameters and stride frequency on estimation of energy cost of walking. *J Sports Med Phys Fitness*, 2005, 45:152-16.
- [11] Fouad K, Pearson K. Restoring walking after spinal cord injury. *Prog Neurobiol*, 2004, 73:107-126.
- [12] McLaughlin JE, King GA, Howley ET, et al. Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *Int J Sports Med*, 2001, 22:280-284.
- [13] Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, et al. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *Sci Med Sport*, 2004, 7:11-22.
- [14] Waters R, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture*, 1999, 9:207-231.
- [15] Nollet F, Beelen A. Submaximal exercise capacity and maximal power output in polio subjects. *Arch Phys Med Rehabil*, 2001, 82:1678-1685.

(收稿日期:2008-08-29)

(本文编辑:吴 倩)