

· 康复医学工程 ·

足底振动刺激对人体平衡能力影响的实验测试系统的研究*

吴方芳¹ 王人成¹ 金德闻¹ 水户部一孝² 吉村 昇²

摘要 目的:建立一种研究足底振动对人体平衡控制能力影响的实验测试平台。方法:将振子加在足底加以振动刺激,利用三维位置跟踪系统检测人体的运动参数,通过对采集的数据进行计算和分析来评估振动刺激对人体平衡能力的影响。利用该测试实验平台对6名老年人及8名年轻人进行了平衡能力测试和评估。结果与结论:微弱的振动刺激,能够改善人体静态平衡控制能力。本测试实验平台为进行足底噪声振动刺激与人体平衡能力关系的研究提供了一种有效的测试与分析手段。

关键词 振动刺激平台;三维运动跟踪系统;平衡能力;振动

中图分类号:R496,R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2007)-12-1090-03

Research on detecting and analyzing system for study the effect of foot bottom vibration excitement with the balance control ability of human /WU Fangfang,WANG Rencheng, JIN Dewen,et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2007, 22(12):1090—1092

Abstract Objective: To develop a detecting and analyzing system, for study the effect of foot bottom vibration excitement with the balance control ability in human. **Method:** Putting the vibrator at foot bottom sensory function area for vibration incitement, and using the FASTRAK System to detect the human body's movement parameters. The effect of vibration incitement in human were evaluated for body's balance control ability by calculating and analyzing acquisitioned data from the experiment. **Result:** By using this system, we tested and analyzed the balance control ability of 6 healthy elderly and 8 young volunteers. The pilot study result shows that imperceptible vibration incitement, when applied to the feet, can enhance the balance control performance of human body. **Conclusion:** Our experiment system can provide an effective detecting and analyzing method for study the effect of foot bottom vibration incitement with balance control ability of human.

Author's address Division of Intelligent and Biomechanical System, State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing, 100084

Key words vibration incitement platform;3-space FASTRAK System;balance ability;vibration

平衡控制能力是一项非常重要的身体功能,随着年龄的增长该功能逐渐下降。严重的会引起跌倒而发生外伤、骨折等意外事故,不仅影响了正常生活,同时增加医疗费用,构成社会财政方面的负担^[1]。据统计,每年65岁以上的老年人中有20%—40%因失去平衡而摔倒^[2-3]。如何提高老年人的平衡控制能力,减少意外事故发生,成为近年来学者们研究的课题。研究表明,身体感觉信息是影响老年人平衡控制能力及摔倒的重要感觉器官,微弱的振动信号(电刺激或机械刺激)可以提高人体的感觉灵敏度,改善人体平衡控制能力^[4-5]。本研究根据人体平衡控制机制,以立位平衡控制为主,设计一套提高人体平衡控制能力的检测与分析系统,并利用该系统对6名老年人及8名年轻人进行了测试与评估,分析了足底振动刺激对老年人平衡能力的影响,验证了该系统的实用性。

1 系统组成

系统组成如图1所示,硬件部分由振动刺激装置,3维位置跟踪传感器,检测控制和计算用计算机,可调式稳压电源构成。

振动刺激装置作用于受试者足底,是由6个振子分别镶嵌在一块平板上,根据人体站立时脚的位置,每只脚型镶嵌3个振子,其中足底振子位置如图①所示,根据人体前庭器官足底反射区及振动信号分布情况,将频率可调的振子分别镶在足底A、B、C三个位置上,该振子采用扁平超薄型马达

* 基金项目:中国博士后科学基金项目(20060390480),教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

1 清华大学摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室,北京,100084

2 日本秋田大学资源工学部

作者简介:吴方芳,女,博士后

收稿日期:2006-12-04

(FM34F, 由 T.P.C 公司制造), 马达标准转数为 13000r/min, 标准电流 100mA, 振动量 $17.6\text{m/s}^2(\text{G})$ 。振子的大小如局部图②所示, 振子频率分析采用音谱分析方法(利用 Audacity 软件), 分析结果如图 2 所示。振子频率大小通过可调式稳压电源调节电压大小改变。根据分析结果电压为 1.5V 时, 振子频率为 100Hz, 电压为 3.5V 时, 振子频率为 200Hz。另外, 根据受试者脚大小的不同, 我们采用振子可移动方式, 其中 B 处固定, A, C 可以在前后左右方向可调, 以保证不同受试者足底振子位置相同。

三维位置跟踪系统(3SPACE), 是采用 Polhemus 公司制造的运动位置跟踪器, 系统原理如图 3 所示。该跟踪系统是利用磁场感应原理, 主线圈, 传感器线圈分别设在 3 维直交线圈内, 从主线圈内发出脉冲磁场, 测量传感器分别对脉冲信号进行处理, 通过分析软件, 能够很精确地计算出微型接收器在空间移动时所处的方位。该系统可以多点跟踪, 可获取 3 维坐标和回转角(Roll, Azimuth, Elecation)数据, 是头部跟踪、手臂追踪、生物力学分析等方面的理想检测设备。测量精度为: 位置 0.8mm RMS, 角度为 0.15RMS, 测量范围在 76cm 的半球内。

软件功能包括数据采集与处理、数据保存、图形显示、特征参数计算、统计分析等。软件用 Matlab 编写, 由软件程序控制三维跟踪系统, 可获取受试者头部、肩部、腰部摇摆数据。测量流程为: 程序启动, 待机 5s, 然后进行初期设定, 受试者站立在振动信号平台, 开始测量身体各部位摇摆变化, 测量 60s, 测量结束后对数据进行校对、记录、存盘。

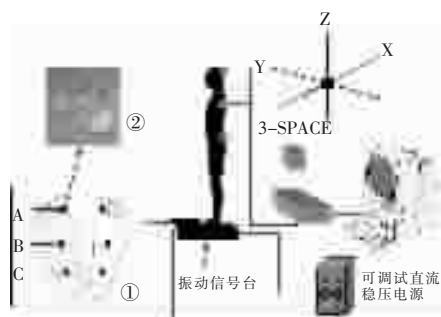


图 1 检测与分析系统

2 测量方法

受试者裸足站在振动平台上, 面向 Y 轴, 右侧朝向 X 轴。姿态放松, 双脚对准平台上的振子位置。为防止受到主观意识的影响, 不告知受试者本实验目的。在受试者头部、肩部、腰部固定 3 个位置传感器, 以获取身体摇摆数据。测量条件为闭眼双脚站立

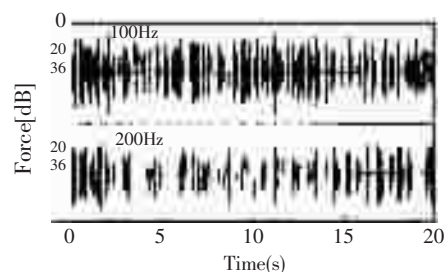


图 2 振子振动波形

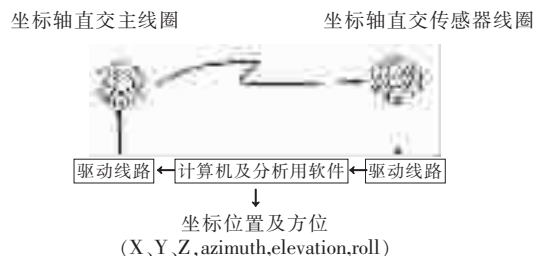


图 3 三维位置跟踪系统原理

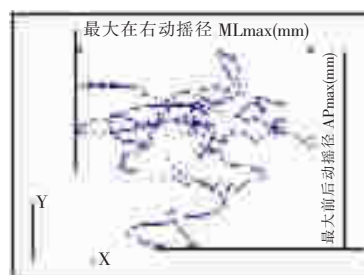


图 4 肩部摇摆轨迹图

无振动刺激和有振动刺激, 振动频率为 100Hz 和 200Hz。为了防止受试者受固定测量顺序和振动频率影响, 每次测量条件顺序不同。受试者根据身体状况, 测量 1 个流程, 可以休息。测量中, 为了防止外部噪音对平衡控制的干扰, 受试者佩戴隔音耳机。

3 分析方法

人体静态平衡能力的评估方法和评估指标, 多数研究者采用 COP(center of pressure)方式测量身体重心动摇轨迹长(LNG), 前后、左右方向的最大动摆径(DX、DY), X、Y 轴重心偏移(MX、MY)及包络面积(AREA)等多达 15 个平衡能力评估参数^[6]。本系统采用 3 维位置跟踪系统, 获取受试者身体头、肩、腰 3 部位 X、Y、Z 方向身体摇摆数据, 通过计算各部位移动轨迹总距离 L (mm), 最大前后动摆径 APmax (mm), 最大左右动摆径 MLmax (mm), 身体移动包络面积 Swept area (mm²) 4 个主要参数, 比较足底加振动后, 身体各部位参量的变化, 分析足底振动刺激对人体平衡控制能力的影响。本实验统计分析, 均采用独立二样本 t 检验方法, 危险率 $P=0.05$ 。

3.1 X-Y 移动轨迹曲线

由于本系统数据采集是利用三维位置跟踪系统,可以直接获取3维坐标,根据测量位置不同,可以分析各部位摇摆情况。图4为身体摇摆轨迹图,身体正前方指向Y轴。右侧指向X轴。根据获取的数据,可以算出最大前后动摇径 AP_{max} ,最大左右动摇径 ML_{max} 。

动摇轨迹的总长度由(1)式计算。

$$L = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2} \quad (1)$$

式中 n 为采样点数量。 X 、 Y 方向长度由(2)式计算。

$$L_x = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2}, L_y = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(y_i - y_{i+1})^2}, L_z = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(z_i - z_{i+1})^2} \quad (2)$$

X 、 Y 方向上的最大动摇径由(3)式计算。

$$AP_{max} = x_{max} - x_{min}, ML_{max} = y_{max} - y_{min} \quad (3)$$

3.2 轨迹包络面积

本系统采用连通域搜索算法计算包络面积^[8]:轨迹在以 AP_{max} 、 ML_{max} 为边长的矩形区域内(面积记为 S_1),以黑色作为显示图像的底色,并标记曲线颜色的RGB值。以矩形左上角为起点开始搜索轨迹

包络线以外的连通区域(面积记为 S_2),当被访问的点为黑色时则为可以通过的区域,反之则为不能通过的区域。顺次访问每一个点,将每个点出发的路径都找出来就可得到整个连通区域,则包络面积为 S_1 和 S_2 的差。

4 应用举例

利用本系统对老年人和年轻人平衡能力进行了测试和评估,并分析足底振动刺激对平衡控制能力的影响。受试者是来自老年人长寿协会的6名志愿者,其中61—78岁之间男性4名,女性2名老年精神健康者。平均年龄为 68 ± 6.9 岁,体重指数(BMI)为 $18.42 \sim 22.98 \text{ kg/m}^2$,测量当天没有晕眩,腿疼等症状。年轻受试者为20—22岁成年男性6名和成年女性2名自愿者,BMI为 $18.59 \sim 22.39 \text{ kg/m}^2$ 。

实验结果见表1。表1给出年轻受试者和老年受试者在3种测试条件下肩部位位置的4个主要评估参数数值。由此可以分析老年人和年轻人足底振动刺激后对平衡控制能力所产生的影响。

表1 全部受试者在3种测试条件下肩部4个主要评估参数测试结果

受试者	闭眼			P值	
	无振动	100Hz	200Hz	0HzVs.100Hz	0HzVs.200Hz
左右摆径(mm)					
8名年轻人	25.12±6.5	18.69±3.67	17.51±2.55	0.006	0.0008
6名老年人	32.28±6.15	29.38±7.10	26.32±2.26	0.246	0.006
前后摆径(mm)					
8名年轻人	13.97±5.45	11.56±3.24	11.13±2.99	0.131	0.066
6名老年人	15.34±5.52	16.69±7.67	13.25±7.94	0.515	0.265
移动轨迹总长(mm)					
8名年轻人	194.97±18.98	187.49±27.74	176.12±21.90	0.358	0.007
6名老年人	253.15±23.68	234.37±24.75	246.59±19.12	0.012	0.811
轨迹包络面积(mm ²)					
8名年轻人	155.46±72.84	120.46±47.42	101.38±55.41	0.045	0.009
6名老年人	167.12±42.83	155.1±13.58	130.73±10.38	0.453	0.041

足底加振动后,年轻人在加振频率为100Hz时,各项参数虽有减少,但无显著性差异;而在200Hz情况下,比无振动时各参量数值有明显减少($P < 0.05$)。老年人在4个评价参数中,左右摆径($P = 0.006$)及移动包罗面积($P < 0.008$)、移动轨迹总长($P = 0.04$)(振动频率为100Hz)有明显的改善,而前后摆径($P = 0.264$)并没有得到明显的改善。由此表明,足底加振后,对老年人平衡控制能力有一定的改善作用。从加振频率分析各评估参量变化趋势,振子频率在200Hz情况下的改善程度好于100Hz,明确了振子频率对平衡能力控制的影响。为今后优化设计平衡能力训练装置,提供实验依据。

本研究建立一种研究足底振动对人体平衡控制能力影响的实验测试平台。利用该平台不仅可以精确地测量人体各部位平衡参数,分析人体静态立位状态下身体姿态摆动情况,同时通过足底振动刺激提高了老年人平衡控制能力,为今后开发老年人平

衡训练装置,及将本装置应用于平衡功能障碍者进行平衡能力训练,打下了实验基础并提供了有效的测试与分析手段。

参考文献

- [1] Englander F, Hodson TJ, Terregrossa RA. Economic dimensions of slip and fall injuries [J]. Journal of Forensic Sciences, 1996, 41(5): 733—746.
- [2] Prudham D, Evans JG. Factors associated with falls in the elderly: A community study [J]. Age and Aging, 1981, 24(10): 141—46.
- [3] Perry BC. Falls among the aged living in a high-rise apartment [J]. Journal of Family Practice, 1982, 14(6): 1069—1073.
- [4] Wen Liu, Lewis A. Lipsitz, Montero-Odasso, et al. noise-enhanced vibrotactile sensitivity in older adults, patients with stroke, and patients with diabetic neuropathy [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2002, 83(2): 171—176.
- [5] Gravelle DC, Laughton CA, Dhruv NT, et al. Noise-enhanced balance control in older adults [J]. Somatosensory Systems, 2002, 13(15): 1853—1856.
- [6] Priplata A, Niemi J, Salen M, et al. Noise-enhanced human balance control [J]. Phys Rev Lett, 2002, 89(23): 238101.
- [7] 邓晓楠, 王人成. 人体动态和静态地面反力检测系统的研制 [J]. 中国康复医学杂志, 2006, 21(11): 1019—1022.
- [8] 好川哲平. 重心動揺を用いた静的動的立位バランスの変化, バイオメディカル“ファジイ”システム学会, 2004, 1: 85—89.