

· 临床研究 ·

重心轨迹运动平衡训练和测试的实现及初步观察

邹任玲 胡秀枋 徐秀林 李放 吴毅

【摘要】目的 研究主动控制重心对平衡训练及平衡评估的影响。**方法** 设计重心轨迹运动平衡训练及评估系统,将受试者分别采用静态平衡和重心波浪轨迹运动两种方式进行测试评估。平衡训练的方法是将偏瘫患者在静态平衡和重心波浪轨迹运动两种方式进行训练。**结果** 2 组受试者在静态平衡下,良好重心控制百分比结果相同,在重心轨迹运动站立平衡方式下,受试一组的良好重心控制百分比值均高于受试二组;偏瘫患者训练结果为波浪轨迹训练比静态平衡训练时的偏瘫侧下肢平均用力大,而且偏瘫侧下肢平均用力随着波浪轨迹幅度增大而增大。**结论** 运用波浪方式训练,能有效加强患者的偏瘫侧训练,提高平衡调节能力;运用波浪方式评估,能克服目前静态平衡时无法对患者主动控制重心训练评估的缺点,客观反映出处于同一静态平衡级别受试者主动控制重心和调节下肢的能力。

【关键词】 平衡训练; 平衡功能; 重心轨迹; 压力检测; 康复训练

Active control of the trajectory of the center of gravity in balance training ZOU Ren-ling*, HU Xiu-fang, XU Xiu-lin, LI Fang, WU Yi. * College of Medical Devices and Food, Shanghai University for Science and Technology, Shanghai 200093, China

Corresponding author: WU Yi, Email: wuyi4000@163.com

【Abstract】 Objective To study the impact of active control of the trajectory of the center of gravity on the effectiveness of balance training and balance assessment. **Methods** Two groups of subjects (group 1 30-45 years old, group 2 45-60 years old) were evaluated and trained using both active center of gravity trajectory control and static balance methods. **Results** The percentages of success in controlling the center of gravity were the same when both groups were trained using static balance. Group 1's success percentage was higher than that of group 2 after active center of gravity trajectory training. Their affected lower limbs performed better in wave trace training than after static balance training, and performance improved with increased wave trace amplitude. **Conclusions** Wave tracing can stimulate the lower limbs of patients with active control force and improve their balance. The wave assessment is superior to static assessment, as it can objectively reflect ability in active center of gravity control and adjust the lower limbs of subjects whose static balance ability is at the same level.

【Key words】 Balance training; Balance; Center of gravity trajectory; Pressure measurement; Rehabilitation training

平衡功能是人体的一项重要功能,日常生活活动中的各种动作、站立、行走等活动都依赖有效的平衡作保障。目前存活的脑血管病重残患者约有 320 ~ 400 万,平衡功能障碍是这类患者常见的功能问题之一,严重影响患者的康复和生活质量^[1]。

国内外学者对站立平衡的训练及测试评估已有较多报道^[2-8]。杨明等^[9]对穿戴下肢假肢者的站立平衡

功能进行了测试和定量分析;张盘德等^[10]对脑卒中患者的平衡功能的疗效进行了测试和研究;翟浩瀚等^[11]对偏瘫患者平衡能力进行了测试与训练,并对仪器的效度和敏感性进行了评价。但是上述测试和训练都是患者不主动控制重心运动的过程。而人体的各种动作,尤其在站立、行走过程中包含了主动控制重心运动的过程^[12-13],因此在站立位的平衡测试与训练时进行有效的重心控制训练,并对训练过程的平衡能力进行测试和分析具有重要意义。本研究针对平衡功能障碍患者,设计一套重心沿曲线(以下简称波浪)轨迹运动的平衡训练及测试系统,进行有效的重心控制平衡训练以及平衡能力测试分析。

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.02.019

基金项目:2007 年国家高技术研究发展计划(863 计划)(2007AA022Z48),上海市科委科研计划支撑项目(08440510300)

作者单位:200093 上海,上海理工大学医疗器械与食品学院(邹任玲、胡秀枋、徐秀林);复旦大学附属华山医院康复医学科(李放、吴毅)

通信作者:吴毅,Email: wuyi4000@163.com

资料与方法

一、资料

1. 重心轨迹运动平衡训练及测试系统的实现: 重心轨迹运动平衡训练及测试系统结构设计如图 1 所示, 包括左、右脚踏板组件、传感装置以及调理接口电路、数据采集卡、主控计算机、显示及打印装置等。系统分开设立左、右两个脚踏板的目的是分开测试左右下肢所受的平均压力, 实现分别评估。在左、右脚踏板组件上分别设有 2 个压力传感器, 传感器的安装位置基于 Vukobratovicli 提出的零力矩点理论 (zero moment point, ZMP)^[14], 即 2 个压力传感的中心点与实际足底压力中心点 (center of pressure, COP) 重合, 因此不考虑侧向、前向的倾覆力矩。

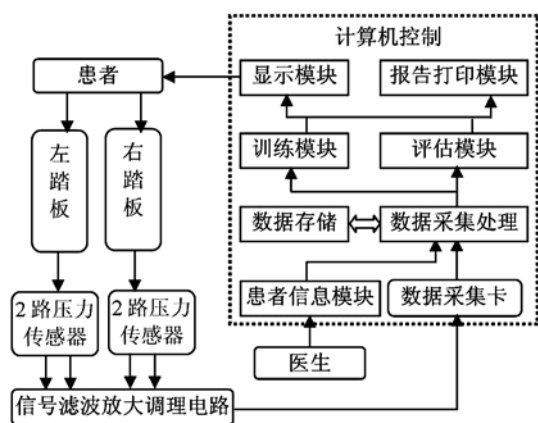


图1 重心轨迹运动平衡训练及测试系统结构图

训练与测试等功能的实现通过踏板压力传感信号的输出, 经滤波放大调理电路进行信号的放大及匹配, 形成 (0~5 V) 标准电压信号输入数据采集卡, 主控计算机实时采集相应的数据, 在软件的功能训练模块中进行数据处理, 计算出患者重心, 绘制出重心运动的轨迹曲线并实时显示反馈至患者。训练及评估模块自动生成以波浪 (正弦波) 形状为模板的理论波浪曲线, 与患者重心运动轨迹曲线同步显示。

患者根据波浪曲线与重心轨迹曲线的重合度, 主动控制下肢用力, 使其重心尽量沿波浪轨迹运动, 进行平衡训练。同时软件系统对左右下肢的平均压力、人体重心偏离百分比等参数进行测试及分析, 实现对患者的平衡功能的评估。

2. 系统软件功能模块及实现: 重心轨迹运动平衡训练及测试系统软件基于 VC++6.0 开发工具编程实现, 包含患者信息模块、训练模块、评估模块、报告生成及打印模块, 各模块独立封装, 共享患者基本信息数据。(1) 本软件设计的训练模块提供不同难度的波浪轨迹训练模式, 其训练软件界面如图 2 所示。左右足

的足底压力经过计算形成坐标点, 在屏幕上设定为一个活动点, 随时间变化形成重心轨迹曲线 (图 2 中 1 所示曲线)。为了使患者实时掌握自己重心的偏离程度, 除中心波浪曲线外, 在中心线 (图 2 中 2 所示曲线) 两侧增 2 根、±10% 曲线 (图 2 中 3 所示曲线), 该值是以患者训练时, 取其最大偏移的 ±10% 作为患者训练的参考。该模块实现下肢平衡康复训练与趣味游戏相结合, 提供反馈互动训练平台。(2) 评估模块用于平衡能力测试, 包括信号采集、数据处理、结果显示等。评估模块实时测试时间内的左右足所受的平均压力及良好重心百分比, 其界面如图 3 所示, 图 3A 中分别表示测试中左右下肢压力大小变化过程, 图 3B 中曲线为重心轨迹曲线以及偏离中心线 ±5%, ±10% 曲线, 右侧显示左右下肢压力平均值和重心偏离百分比, 其中, 良好重心百分比是指重心落在离波浪中心线 ±5% 区域内的时间比。(3) 训练及评估模块的实现方法流程如图 4 所示。系统进行硬件初始化并启动采集卡, 设置波浪轨迹幅度、患者数据文件名和文件保存标志给采集卡类库, 设置电压采样范围, 配置采样通道, 设置采样数据保存地址, 打开患者数据文件。对评估统计变量赋零。记录训练初始时间点, 设定采样时钟并读取当前时间, 绘制 ±10% F_{max} 的参考波浪曲线 (F_{max} 由读入的患者体重确定)。程序中参考波浪图形的生成方法是采用正弦函数自动生成, 波浪曲线幅值的大小由定义变量给定, 变量由界面输入确定。计算波浪中心位置并显示, 读取采集卡所有采样通道数据并分离。计算左、右下肢压力差值并在屏幕上以曲线实时显示左、右下肢压力大小 (供下肢压力评估调用)。

比较并判断 Z 所在的区间 (其中 $Z = \frac{F_{\text{差}} - F_{\text{波浪}}}{F_{\text{max}}}$, F_差 表示左、右下肢压力差, F_{波浪} 表示波浪中心线幅值对应的压力), 相应的统计变量 (±5%、±10%、其他) 加 1。再次记录当前时间点; 判断训练时间是否到, 若训练测试时间未到, 实时更新界面, 继续读采样通道数据; 若训练测试时间到, 计算每个区间百分比的值并显示, 关闭采样时钟和数据采集卡; 将采集的数据写入患者数据文件并保存。

二、方法

利用本系统对年龄为 30~60 岁之间的 12 名正常人进行平衡功能测试 (正常人在站立位平衡测试时的评价指标是重心动摇轨迹所涉及的区域为 A 区向心性^[9])。将受试的 12 人按年龄分为受试一组 (年龄 30~45 岁) 和受试二组 (年龄 45~60 岁), 每组 6 人。分别采用静态平衡和重心波浪轨迹运动两种方式进行测试, 波浪轨迹运动方式又分为小、中、大三种不同波浪幅值。测试开始, 让受试者按规定位置分别踩在左右

脚踏板上(使左右脚踏板处于同一水平面上),两手自然垂放,双眼水平正视前方 1 m 处显示反馈装置,根据反馈曲线,实时调节重心,至测试结束。

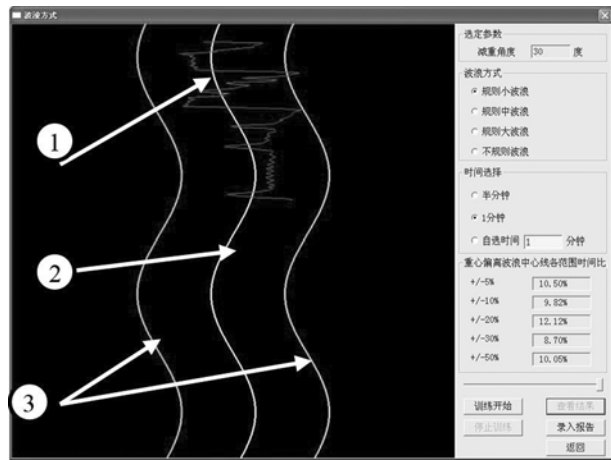


图 2 重心波浪轨迹运动训练功能界面

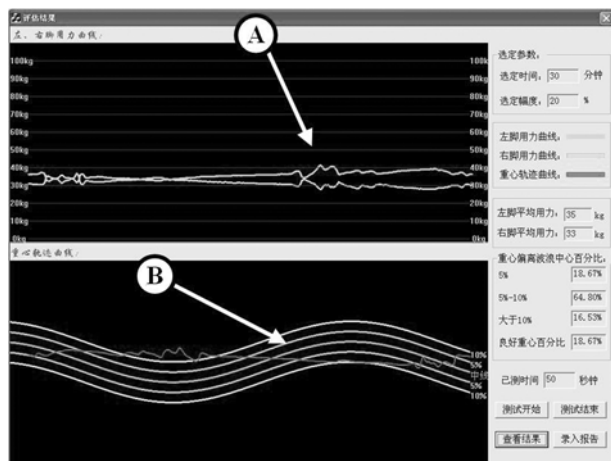


图 3 重心波浪轨迹运动测试评估功能界面

结 果

一、静态平衡及不同幅值重心轨迹运动站立平衡的测试评估结果

测试时间为 60 s,每个受试者共测试 3 次,取其平均值,并对测试数据进行统计分析,表 1 为测试者在静态平衡和重心波浪轨迹运动方式的测试结果。

表 1 静态平衡和波浪轨迹运动方式测试结果

组 别	重心控制 百分比(%)	静态平衡 (%)	重心轨迹运动平衡(%)		
			小波浪	中波浪	大波浪
受试一组	±5	90 ± 2	76 ± 3	55 ± 4	35 ± 3
	±5 ~ 10	7 ± 1	22 ± 2	37 ± 4	32 ± 4
	> 10	3 ± 1	2 ± 1	8 ± 1	33 ± 4
受试二组	±5	90 ± 2	73 ± 4	50 ± 3	28 ± 2
	±5 ~ 10	7 ± 1	23 ± 2	35 ± 2	34 ± 2
	> 10	3 ± 1	4 ± 1	14 ± 2	36 ± 3

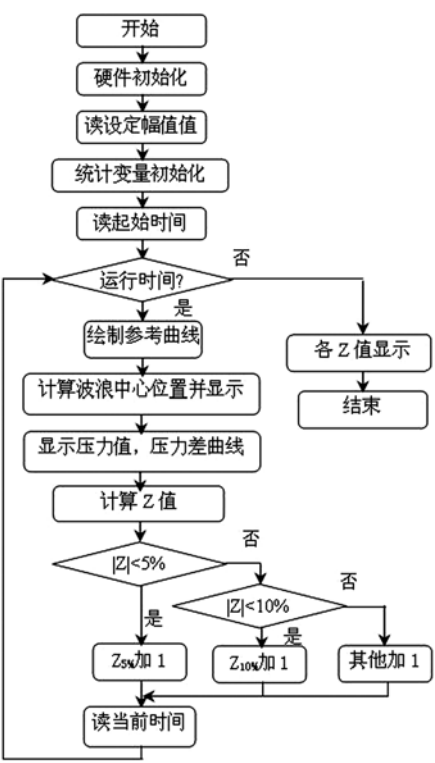


图 4 波浪轨迹运动训练及评估实现流程

二、偏瘫患者下肢平均压力测试结果

利用本系统对一例 53 岁、男性右侧偏瘫患者进行静态平衡训练及各种波浪幅值训练(偏瘫患者站立位时的评价指标是重心动摇轨迹所涉及的区域为前后型^[11]),共 10 次,每次训练 30 min,对其右下肢(偏瘫侧)的平均压力进行分析。图 5 为测试结果,曲线上各点表示 10 次不同幅度波浪训练时间内右下肢平均压力数值,直线为静态平衡训练时患侧的压力。

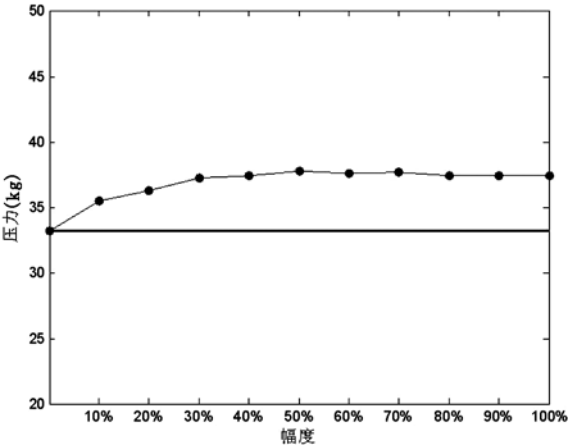


图 5 偏瘫患者右下肢压力测试结果

讨 论

一、静态平衡与重心轨迹运动站立平衡的测试表 1 结果分析表明:①在静态平衡及重心轨迹运

动站立平衡测试中,同组受试者在重心轨迹运动站立平衡时重心偏离 $\pm 5\%$ 的百分比均比静态平衡小,说明重心轨迹运动站立平衡方式与静态平衡相比,对受试者控制下肢用力平衡、主动调节能力的要求较高。二组受试者在静态平衡下,良好重心控制百分比相同,但是在重心轨迹运动站立平衡方式测试时,受试一组的良好重心控制百分比均高于受试二组,说明如果受试者静态平衡能力相同,可利用重心轨迹运动站立平衡方式进一步判断受试者的平衡能力。该方法更能科学客观反映出处于同一静态平衡级别主动的控制重心和调节下肢的能力。②不同幅值重心轨迹运动站立平衡测试中,同组受试者随着波浪轨迹幅值增大,良好重心控制百分比下降,说明波浪轨迹幅值越大,受试者重心控制难度增加,因此可以通过调节重心轨迹幅值来调节平衡训练的难度。受试一组与受试二组的良好重心控制百分比的差值随着波浪幅值增大而增大,即在小波浪时为 3% (76% ~ 73%),中波浪时为 4% (55% ~ 51%),大波浪时为 5% (35% ~ 30%),可见,随着波浪幅值增大,两者的平衡能力差距增大,说明利用波浪幅值大小可进一步细分受试者的平衡能力:当小波浪幅值不能对患者平衡能力进行区别时,可以使用中波浪,当中波浪幅值还是不能对受试者平衡能力进行区别时,再使用大波浪细分。

以上静态平衡及重心轨迹运动站立平衡的测试数据分析表明,重心轨迹运动站立平衡方式测试及定性分析可以作为一种新的测试人体平衡能力的手段和方法,该方法能更进一步反映受试者大脑平衡调节能力以及下肢用力控制能力,能对测试者的平衡能力进行进一步细分。较好地克服了静态平衡时无法对患者主动控制重心训练与评估的缺点。该方法有较高的有效度和敏感性,能客观、实时地反映患者的训练康复程度,具有较好的临床应用价值。但是关于各种疾病的定性分析、患者各阶段的康复状况的定性分析,有待进一步结合临床诊断进行研究。

二、偏瘫患者下肢平均压力测试

由图 5 可知,波浪轨迹训练比静态平衡训练时的右下肢平均用力大,而且患者右侧下肢平均用力随着波浪轨迹幅度增大而增大,表明运用波浪方式训练能

使患者根据病况有效施加足底压力以快速提高训练效果。能通过调整波浪的幅度来改变训练的难度,增加偏瘫侧的训练强度,调动了患者大脑调节平衡的能力,适合不同康复进程。

参 考 文 献

- [1] 卓大宏. 中国康复医学. 北京:华夏出版社,2003:757-980.
- [2] Orr R, Raymond J, Fiatarone Singh M. Efficacy of progressive resistance training on balance performance in older adults: a systematic review of randomized controlled trials. *Sports Med*, 2008, 38: 317-343.
- [3] Liu-Ambrose T, Nagamatsu LS, Graf P, et al. Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. *Arch Intern Med*, 2010, 170: 170-178.
- [4] Allet L, Armand S, de Bie RA, et al. The gait and balance of patients with diabetes can be improved: a randomised controlled trial. *Diabetologia*, 2010, 53: 458-466.
- [5] Giagazoglou P, Amiridis IG, Zafeiridis A, et al. Static balance control and lower limb strength in blind and sighted women. *Eur J Appl Physiol*, 2009, 107: 571-579.
- [6] Geldhof E, Cardon G, De Bourdeaudhuij I, et al. Static and dynamic standing balance: test-retest reliability and reference values in 9 to 10 year old children. *Eur J Pediatr*, 2006, 165: 779-786.
- [7] Madureira MM, Takayama L, Gallinaro AL, et al. Balance training program is highly effective in improving functional status and reducing the risk of falls in elderly women with osteoporosis: a randomized controlled trial. *Osteoporos Int*, 2007, 18: 419-425.
- [8] 戴昕,马廷惠,赵光辉,等. 智障儿童下肢力量与平衡能力的关系. 首都体育学院学报, 2008, 20: 74-86.
- [9] 杨明,恽晓平,李伟垣,等. 穿戴下肢假肢者站立平衡功能的定量评定. 中华物理医学与康复杂志, 2003, 25: 298-301.
- [10] 张盘德,刘翠华,皮周凯,等. 应用平衡功能检测训练系统改善脑卒中患者平衡功能的疗效观察, 中华物理医学与康复杂志, 2005, 27: 530-535.
- [11] 翟浩瀚,王玉龙,陈惠德,等. 应用平衡测试训练系统测量平衡功能的效度和敏感性. 中国临床康复, 2005, 9: 1-3.
- [12] Nashner LM. Handbook of balance function testing. Louis USA: St Louis Inc, 1993: 280-307.
- [13] 恽晓平. 平衡检测系统在康复医学中的应用. 引进国外医药技术与设备, 1998, 4: 113-116.
- [14] 林玎玎,刘莉,赵建东,等. 双足步行机器人的 ZMP-COP 检测及研究. 机器人, 2004, 26: 368-379.

(修回日期:2010-11-16)

(本文编辑:松 明)

欢迎订阅《中华物理医学与康复杂志》