

三维运动分析系统用于平衡检测的信度与效度研究*

朱晓军¹ 朱 奕² 王 盛² 孟殿怀² 王 彤^{2,3}

摘要

目的:探讨身体节段法三维运动分析在脑卒中偏瘫患者平衡测试中的信度、效度和敏感度,为该检测方式的临床应用提供客观依据。

方法:20例有平衡障碍的脑卒中偏瘫患者(病例组或A组)和20例年龄、身高、体重与之相匹配的健康人(对照组或B组),在两天内分别接受身体节段法三维运动分析系统和Pro-Kine Line平衡反馈仪的测试,每种测试进行2次。对三维运动分析系统的2次结果采用组内相关系数(ICC)检验其重测信度;对三维运动分析系统和平衡反馈仪的测试结果采用Spearman秩相关分析法以检验三维运动分析系统的效度;对两组受试者的三维运动分析系统测试结果采用独立样本 t 检验,以检测三维运动分析系统的敏感度。

结果:①两组受试者坐位及立位下三维运动分析系统各参数的重测信度良好(坐位ICC:A组为0.621—0.979,B组为0.672—0.980;立位ICC:A组为0.653—0.934,B组为0.613—0.974)。②两组受试者的三维运动分析系统与平衡反馈仪相对应的参数之间均有中到高度的相关性(A组:坐位 $r=0.636—0.793$,立位 $r=0.716—0.883$;B组:坐位 $r=0.453—0.700$,立位 $r=0.495—0.628$)。③A组的三维运动分析各项参数与B组比较,差异均有显著性($P<0.05$)。

结论:身体节段法三维运动分析具有较高的信度、效度和敏感度,可以用于脑卒中偏瘫患者的平衡功能检测。

关键词 三维运动分析;平衡功能;平衡反馈测试仪;信度;效度

中图分类号:R743.3,R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2012)-04-315-05

Reliability and validity of a new balance test with three-dimensional motion analysis system/ZHU Xiao-jun, ZHU Yi, WANG Sheng, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2012, 27(4): 315—319

Abstract

Objective: To investigate the reliability, validity and sensitivity of balance test with three-dimensional motion analysis system by segmental method on stroke patients with hemiplegia, and to provide evidence for the clinical application of this balance test.

Method: A total of 20 stroke patients with hemiplegia who had balance disorder (patient group or A group) and 20 health people matched in age, height and weight (control group or B group) took tests with the three-dimensional motion analysis system by segmental method and Pro-Kine Line balance feedback apparatus twice in two days, respectively. The reliability, validity and sensitivity of the tests were analysed.

Result: ①Test-retest reliability in variables of the three-dimensional motion analysis system by segmental method in two groups were fairly good. ②There were moderate to high correlations between each corresponding variables of the three-dimensional motion analysis system and the balance feedback apparatus in two groups. ③There were significant differences between A group and B group in variables of the three-dimensional motion analysis system.

Conclusion: There were good reliability, validity and sensitivity in three-dimensional motion analysis by segmental method, and it can be used to evaluate the balance function in stroke patients with hemiplegia.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, Jiangsu Province Official Hospital, Nanjing, 210024

Key word three-dimensional motion analysis; balance function; balance feedback apparatus; reliability; validity

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2012.04.004

*基金项目:江苏省人民医院康复医学科“兴卫工程”重点学科基金资助项目(KF200922)

1 江苏省省级机关医院康复医学科,南京,210024; 2 江苏省人民医院康复医学科;3 通讯作者

作者简介:朱晓军,女,副主任医师;收稿日期:2011-12-19

脑血管病是一类高发生率、高致残率的疾病,其存活者可能存在平衡功能障碍,会降低患者的活动安全性,严重影响患者的生活能力和生存质量,给患者、家人及社会带来极大负担。三维运动分析系统作为一种新的平衡检测设备,通过身体12节段法为基础的平衡测试方式,可以立体、动态的监测和采集身体重心变化,能够动态、实时观察患者在各种体位、不同功能动作下的平衡状况。目前已有将三维运动分析系统用于对运动员及健康者进行身体节段法精细平衡功能评测研究的报道^[1-3],但尚未见国内使用该系统评估脑损伤患者平衡功能。本文通过测试三维运动分析系统的信度、效度和敏感度,为该系统在国内的临床应用提供客观依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择2009年8月—2010年9月在江苏省人民医院集团康复医学科病房住院的脑卒中偏瘫患者(病例组或A组)共20例,男12例,女8例;年龄33—75岁,平均年龄(53.4±11.5)岁;身高(165.8±6.7)cm;体重(62.93±7.85)kg;病程(7.5±3.1)个月;脑梗死13例,脑出血7例;左侧偏瘫与右侧偏瘫各10例。均为首次发病,经头颅CT或MRI检查明确诊断,符合1995年第四届全国脑血管病会议通过的脑卒中诊断标准;入选患者要求在不使用拐杖或其他助行器的情况下,可以独立步行10m以上。

排除标准:①认知障碍或意识障碍,不能接受动作性指令者;②眩晕、耳鸣等前庭功能障碍者;③视力或视野障碍患者;④偏侧忽略症患者;⑤有严重骨科疾病和影响康复训练的并发症者;⑥有严重心肺功能疾患或急性疾病者。同时选择性别、年龄、身高、体重与之相匹配的健康人(对照组或B组)20例作为对照,两组受试者一般资料见表1,组间各指标差异无显著性($P>0.05$)。

1.2 评价工具及检测方法

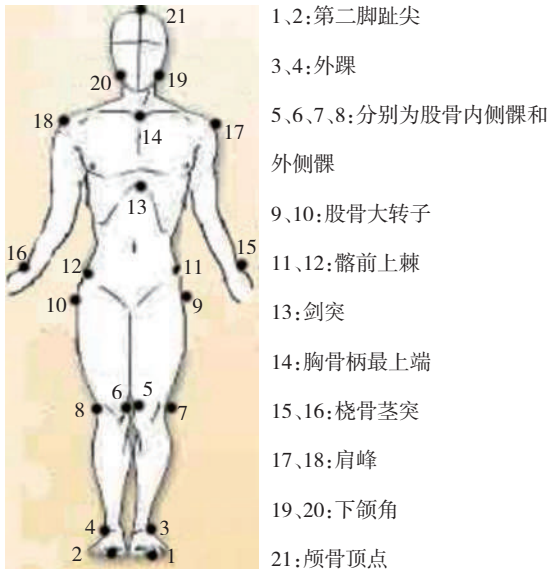
1.2.1 三维运动分析系统:本研究采用的三维运动分析系统(Eagle digital system, motion analysis corporation, USA)系美国运动分析公司开发的三维光学运动捕捉系统。根据身体节段法^[2]将受试者身体分为12个节段,在每个节段的起始端和终末端放置

表1 两组测试对象一般资料 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	性别	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)
A组	12	男	51.8±11.8	170.3±3.8	66.75±6.53
A组	8	女	55.6±11.4	158.9±3.1	57.19±6.13
B组	12	男	52.2±9.5	170.5±3.7	67.92±8.45
B组	8	女	55.8±9.9	155.4±5.2	57.25±7.91

红外反光标记(图1),受试者置于高分辨率红外数码相机聚焦中心,通过各台摄像机所获取的各个标记点不同方位的图像数据经过工作站的处理后,得到各个标记点在运动过程中的各个时刻的三维空间坐标,用以测算人体各节段在不同状态下的位移信息。

图1 身体节段法红外反光标记放置点



重心计算方法:参考Lafond等^[1]使用的质心(center of mass, COM)计算方法以及改良的Zatsiorsky-Seluyanov参数标准^[4],以推算身体的质心,其位置等同于重心(center of gravity, COG)。

$$X_{COMi} = (X_D) (\% COM) + (X_P) (1 - \% COM) = (X_P) + (\%COM)(X_D - X_P)$$

其中 X_{COMi} 为节段中心X方向位置,Y、Z计算方法同上, X_P 为肢体近端定标点位置, X_D 为肢体远端定标点位置, $\%COM$ 为COM的位置百分率,是每个身体节段的固定参数,具体参见Lafond等^[1]的参数表。最后计算出重心空间位置,即

$$COM = 1/N \sum COMi \times mi$$

其中M是体重,mi是身体节段的重量,COMi是相应节段的中心位置,N是节段数。

测试体位:分别测试受试者的坐位、双足站和步行等3个动作,每个动作间隔1—2min后重复1次,每更换一个动作休息2—3min。

①坐位:将无靠背、无扶手、高度可调的方椅置于三维运动分析系统的压力平台上,受试者坐位下目视前方,双手交叉握拳、伸肘、肩前屈45°,双足底与压力板接触、与肩同宽,屈膝90°—100°,维持坐位1min。②双足站立:受试者站在压力板中央,双腿分开与肩同宽,睁眼站立,双手自然侧举30°—45°。维持站立1min。

检测指标:按朱奕等^[3]报道中的方法计算身体重心在前后(X轴)、左右(Y轴)和垂直(Z轴)方向上的摆动参数。

①平均摆动幅度(mean sway amplitude,MSA):是身体重心在各个时刻的位置与平均位置差的绝对值的平均值,包括前后(MSA_x)、左右(MSA_y)和上下(MSA_z)三个轴向。②平均摆动速度(mean sway velocity,MSV):是身体重心在单位时间内某一轴向上的平均摆动幅度。上述两项指标反映了姿势的细微调节及脊髓对姿势的反射调节,可进行自我感受性姿势控制的评价,控制能力减弱时,数值增大。③平均摆动路径(sway path,SP):为身体摆动时重心在每一个时刻与前一时刻距离的平均值,包括水平面SP(SP_{xy})和三维SP(SP_{3-D})。朱奕等发现MSA和SP在健康者中的灵敏度均较高^[3]。

1.2.2 平衡反馈仪:本研究采用Pro-Kine Line 254 P(PK 254P,意大利Tecnobody公司)平衡反馈仪作为三维运动分析系统的效标尺度以进行效度的研究。

测试体位:分别测试受试者在坐位及双足站立位下的平衡功能,每种体位保持30s,重复两遍,中间间隔1—2min;每更换一个动作休息2—3min。①坐位:将平衡板置于坐台上,调整坐台高度,使受试者坐位下足底与地面接触,双足与肩同宽,屈膝90°—100°;调整受试者臀部位置,使股骨大转子位于平衡板A3A5轴上;受试者挺胸抬头、目视前方,双手交叉握拳、伸肘、肩前屈45°。②站立位:以A1A5为中心轴左右对称站立,双足内侧缘相距

10cm,双侧足弓最高点位于A3A5轴上;受试者挺胸抬头平视前方,双上肢自然垂于身体两侧。

检测指标:根据国内外作者报道及其临床意义,本研究主要分析以下压力中心(center of pressure, COP)参数:①重心分布(mean balance):反映身体偏移情况;②摆动轨迹长(sway path,SP):反映身体重心动摇大小的幅度;③摆动面积(sway area,SA):指身体重心摆动轨迹所包绕的面积,反映身体重心动摇大小的幅度;④前后及左右平均摆动速度(mean sway velocity,MSV):反映身体的稳定性。平衡仪测试指标越高,提示平衡功能越差。

1.3 统计学分析

采用SPSS13.0对结果进行分析:①采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)对各种动作下前后两次的三维运动分析系统测试数据进行重测信度检验;②采用Spearman秩相关系数(*r*)对坐位和立位下三维运动分析系统及平衡反馈仪的评定结果进行相关性分析,以检验三维运动分析系统的效度;③采用独立样本*t*检验对病例组和健康组三维运动分析系统的测试结果进行比较,以检验三维运动分析系统的敏感度。

2 结果

2.1 三维运动分析系统的信度检验

见表2。病例组(A组)坐位下MSA、MSV和SP的ICC值为0.621—0.979,立位ICC值为0.653—0.933;对照组(B组)坐位下上述三个指标的ICC值为0.672—0.980,立位ICC值为0.613—0.974(均 $P < 0.01$)。说明三维运动分析系统具有良好的重测信度。

2.2 三维运动分析系统的效度检验

见表3。三维运动分析系统的各项参数与平衡反馈仪相应指标的*r*值:病例组(A组)坐位下为0.636—0.793,立位下为0.716—0.883;对照组(B组)坐位下为0.453—0.700,立位下为0.495—0.628;两组*r*值均呈中度—高度正相关。

2.3 三维运动分析系统的敏感度检验

见表4。坐位及立位下,病例组(A组)各轴向的三维运动分析参数(MSA、MSV及SP)均高于对照组(B组),且有显著性差异($P < 0.05$)。

表2 两组受试者在不同动作下三维运动分析系统的重测信度检验(ICC)

	MSA			MSV			SP	
	X轴	Y轴	Z轴	X轴	Y轴	Z轴	SPxy	SP3-D
A组								
坐位	0.640	0.906	0.979	0.621	0.904	0.962	0.631	0.820
立位	0.653	0.933	0.887	0.914	0.934	0.867	0.822	0.813
B组								
坐位	0.713	0.906	0.980	0.704	0.672	0.926	0.743	0.856
立位	0.613	0.831	0.972	0.686	0.800	0.974	0.729	0.713

ICC值均 $P < 0.01$

表3 三维运动分析系统与平衡反馈仪相应参数之间的相关性 (r)

三维分析参数	MSAx	MSAy	MSVx	MSVy	SPxy	SP3-D	SPxy	SP3-D
平衡仪参数	重心分布(X轴)	重心分布(Y轴)	MSVx	MSVy	SP	SP	SA	SA
A组								
坐位	0.697 ^①	0.793 ^②	0.759 ^①	0.677 ^①	0.636 ^①	0.721 ^①	0.652 ^①	0.677 ^①
立位	0.733 ^①	0.733 ^①	0.735 ^①	0.716 ^①	0.783 ^①	0.783 ^①	0.883 ^②	0.883 ^②
B组								
坐位	0.566 ^②	0.493 ^①	0.559 ^①	0.519 ^①	0.532 ^①	0.495 ^①	0.700 ^②	0.453 ^①
立位	0.584 ^②	0.496 ^①	0.524 ^①	0.495 ^①	0.505 ^①	0.516 ^①	0.628 ^②	0.516 ^①

① $P < 0.05$, ② $P < 0.01$

表4 病例组与健康组坐位和立位三维运动分析系统参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

	MSA(mm)			MSV(mm/s)			SP(mm)	
	X轴	Y轴	Z轴	X轴	Y轴	Z轴	SPxy	SP3-D
坐位								
A组	1.97 ± 0.93 ^②	1.29 ± 0.29 ^①	5.33 ± 1.18 ^②	0.036 ± 0.021 ^②	0.021 ± 0.010 ^①	0.068 ± 0.012 ^②	0.05 ± 0.02 ^②	0.06 ± 0.03 ^②
B组	1.16 ± 0.49	0.56 ± 0.09	0.82 ± 0.37	0.021 ± 0.008	0.008 ± 0.004	0.013 ± 0.006	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.01
立位								
A组	4.68 ± 1.72 ^②	4.13 ± 2.62 ^②	8.41 ± 6.90 ^②	0.078 ± 0.028 ^②	0.093 ± 0.025 ^①	0.148 ± 0.107 ^②	0.11 ± 0.04 ^②	0.12 ± 0.05 ^②
B组	3.41 ± 0.92	1.45 ± 0.78	0.84 ± 0.50	0.056 ± 0.017	0.024 ± 0.013	0.014 ± 0.008	0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.02

与B组比较:① $P < 0.05$, ② $P < 0.01$

3 讨论

平衡功能是指人体不论处在何种位置、运动或受到外力推动时,自动地调整姿势并维持所需姿势的能力,是人体维持正常体位及完成各项日常生活活动(activity of daily living, ADL)的基本保证,对于步行功能尤其重要,一般分为静态平衡(人体在无外力作用下维持某种固定姿势的过程)、自动态平衡(人体在无外力作用下从一种姿势调整到另外一种姿势的过程)和他动态平衡(人体在外力作用下调整姿势的过程)三种状态。

临床上对平衡功能的评定主要包括传统观察法、量表评定法和平衡测试仪评定法。传统观察法应用简便,是临床常用的平衡检查方法,但较粗略和主观,缺乏量化,灵敏性低,只能作为平衡障碍的筛选手段。量表评定法有十余种之多,可以对患者在不同体位或动作状态下的平衡功能进行半定量评

分,并辨识平衡中最受影响的部分以进一步拟定治疗计划,目前在国内外被广泛使用,但主观性较强,容易受评测人员动机的影响造成结果的不准确。上述两种检测方式的精确程度都不够。

平衡测试仪包括静态平衡仪和动态平衡仪,是通过计算机描记压力投影与时间关系的曲线,反映无法用肉眼观察到的身体摇摆,并通过对姿势图中摇摆轨迹、摆幅、摆速及功率谱的分析,使平衡功能检测定量化、客观化。在前期研究中^[9],我们发现该平衡仪具有较好的重测信度和标准效度、区分效度。但由于平衡仪实际测定的是人体对压力板压力的反作用力的情况,主要反映人体平衡参数在水平方向上的变化,而对于垂直方向参数则无法检测;同时,由于压力板面积较小,范围局限,而无法检测受试者运动状态下的平衡功能。

三维运动分析系统可以对受试者进行立体、动

态的监测和采集数据^[6]。压力平台是利用地面对足底压力的反作用力来检测身体重心的相对运动,主要用于测量身体内力及姿势控制系统恢复平衡的力量,但无法测量身体重心在空间的相对位置;由于足底在步行时必须离开地面,因此,压力平板也无法检测步行状态下的身体重心。而节段测量法是采用运动捕捉系统追踪放置于身体不同节段上的标记点,然后依据积分常数对整个身体运动以及重力加速度进行的精确测量,被认为是现今最精确的方法^[7]。目前国际上已将三维运动分析系统用于对运动员进行身体节段法精细平衡功能评测研究,其特点在于能测试较长时间段内的平衡功能参数,结果比压力平台法精确^[2,8]。本课题组在前期研究中,采用Zatsiorsky参数对10位健康受试者分别测试了睁、闭眼状态下的单足站立姿势,发现身体重心参数MSA和SP的灵敏度较高^[3]。

ICC是衡量和评价重测信度(test-retest reliability)的指标之一,其值介于0—1之间,一般认为 $ICC > 0.75$ 为信度“佳”, $ICC < 0.40$ 则信度“差”,介于两者之间为良好^[9]。本研究发现,脑卒中偏瘫患者坐位和立位下三维运动分析系统的三个指标在各轴向的ICC值为0.621—0.979,对照组坐位及立位下的ICC值为0.613—0.980,说明身体节段法三维运动分析对于脑卒中患者或健康人都具有良好的重测信度。

效度即有效性,反映测量工具的准确程度,常采用Spearman秩相关系数来表示效度系数。效度系数越高,说明测量工具的准确性也越高。本研究以Pro-Kine Line 254 P平衡反馈仪作为效标,发现脑卒中偏瘫患者坐位及立位下三维运动分析系统的各参数效度在0.636—0.883,健康对照组的效度在0.453—0.700,能较准确地反映脑卒中患者或健康人在不同体位下的平衡功能。

在对脑卒中偏瘫患者和健康人的三维运动分析系统参数进行比较后发现,脑卒中偏瘫患者各项参数均高于健康人,说明三维运动分析系统能反映人体在三维空间内的平衡稳定性,能有效地鉴别平衡功能障碍。本研究发现三维运动分析系统的检测敏感性要高于平衡反馈仪,后者在病例组坐位下MS-

V_x 、SP、SA与对照组有显著性意义(分别为 $t=2.762$, $P < 0.05$; $t=3.252$, $P < 0.01$; $t=4.568$, $P < 0.01$),立位下重心分布的X轴、 MSV_x 、 MSV_y 、SP和SA与对照组有显著性意义(分别为 $t=2.325$, $P < 0.05$; $t=3.422$, $P < 0.01$; $t=3.503$, $P < 0.01$; $t=3.316$, $P < 0.01$; $t=2.776$, $P < 0.05$)。

4 结论

身体节段法三维运动分析系统能够动态、实时地观察受试者在不同体位下的平衡变化,具有良好的信度、效度和敏感度,可以用于脑卒中患者平衡功能的评估。

参考文献

- [1] Lafond D, Duarte M, Prince F. Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment [J]. J Biomech, 2004, 37: 1421—1426.
- [2] Samer SH, Deborah W, Robin DC, et al. Simultaneous measurement of body center of pressure and center of gravity during upright stance Part I: Methods [J]. Gait Posture, 1996, 4: 1—10.
- [3] 朱奕, 王彤, 孟殿怀, 等. 三维运动分析系统在平衡功能测试中的可行性研究 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2007, 29: 623—626.
- [4] 吕维加, 苏品, 洪友廉. 国外五种人体惯性参数的实测研究 [M]. 北京: 人民体育出版社, 1999: 185—201.
- [5] 王盛, 杨菊, 朱奕, 等. 平衡反馈训练仪用于脑损伤偏瘫患者静态平衡测试的信度与效度研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2011, 11: 1035—1038.
- [6] Warrick McKinnon, Craig Hartford, Luca Di Zio, et al. The agreement between reaction-board measurements and kinematic estimation of adult male human whole body centre of mass location during running [J]. Physiol Meas, 2004, 25: 1339—1354.
- [7] Lee HK, Cho SP, You JH, et al. The concurrent validity of the body center of mass in accelerometer measurement [C]. In: Proc. of the 29th annual int. Conference of the IEEE EMBS, Cité internationale, 2007: 659—661.
- [8] Samer SH, Deborah W, Robin DC, et al. Simultaneous measurement of body center of pressure and center of gravity during upright stance. Part II: amplitude and frequency data [J]. Gait Posture, 1996, 4: 11—20.
- [9] 周宇豪, 许金芳, 贺佳. 诊断试验一致性评价中几种方法的比较及应用 [J]. 中国卫生统计, 2011, 28: 40—46.