

· 临床研究 ·

正常人动态平衡能力测试的信度及效度分析

刘汉良 尤春景 黄晓琳 韩韶华 陈勇 王平

【摘要】目的 对正常人平衡功能进行动态姿势图重复检测,分析各参数间的内在一致性、重测信度及不同测试者间的信度;并与 Berg 平衡量表、功能性前伸测量、起立行走计时测定结果比较,检验其效标效度。方法 2 名测试者应用 Biodex Balance System (BBS) 分别对 40 名正常受试者(18~67 岁)进行 2 次 8 级平台稳定性动态姿势图测试及稳定性测试;同时还应用 Berg 平衡量表、功能性前伸距离及起立行走计时等方法进行检测。结果 研究结果发现年龄因素对所有检测参数均有影响,体重指数对稳定指数及平均方向控制能力有影响。各参数间内部存在一致性($r=0.22\sim0.93$, 均 $P<0.01$), 其重测信度($r=0.70\sim0.99$)及不同测试者间信度($r=0.71\sim0.98$)较佳($ICC=0.88\sim0.99$)。在测试过程中,发现不同跌下次数的受试者其年龄差异和测试结果间差异显著相关($P<0.001$)。BBS 测试数据与 Berg 平衡量表、功能性前伸测量、起立行走计时测评结果有较高的相关性($r=0.72\sim0.86$)。结论 BBS 能反映受试者平衡能力的年龄变化趋势,具有较高的内在一致性、重测信度及不同测试者间的信度,与 Berg 平衡量表、起立行走计时及功能性前伸测量结果具有一致性,可用于平衡功能的定量评定。

【关键词】平衡; 动态姿势图; 信度; 效度

Reliability and validity of data obtained from normal adults by dynamic posturography LIU Han-liang*, YOU Chun-jing, HUANG Xiao-lin, HAN Shao-hua, CHEN Yong, WANG Ping. * Department of Rehabilitation Medicine, No. 3 Hospital of Changsha, Changsha 410015, China

【Abstract】Objective To evaluate the internal consistency, the test-retest and inter-rater reliability of dynamic posturography, and the concurrent validity with the Berg Balance Scale, the Functional Reach and the Timed Up and Go tests. Methods Forty normal adults, aged from 18 to 67 years, were administered with measurements of posturography and limits-of-stability (LOS) by using Biodex Balance System (BBS) at 8th level of the plate stability by 2 raters twice, 3 days apart, and were assessed by using the Berg Balance Scale, the Functional Reach and the Timed Up and Go tests. All the participants' demographic data were collected for statistical analysis. Results Age of the subjects correlated significantly with all the parameters, and the Body Mass Index (BMI) correlated with the stability index (SI) and the direction control (DC). The outcomes between all the parameters presented moderate to high correlation($r=0.22\sim0.93$, $P<0.001$). Intraclass correlation coefficients (ICCs = $0.88\sim0.99$) indicated that there existed high test-retest and the inter-rater reliability($r=0.70\sim0.99$, $0.71\sim0.98$, respectively). The significant difference ($P<0.001$) between the groups divided according to times of failure in the test procedure showed the discriminating validity of BBS. The concurrent validity of the BBS data was also established for SI, LOS-time and DC, which correlated with the Berg Balance Scale, the Functional Reach and the Timed Up and Go tests ($r=0.72\sim0.86$). Conclusion The BBS is sensitive and reliable to show the difference of balance performance among the subjects of different ages, and in concurrent with the Berg balance scale, the Functional reach and the Timed Up and Go tests, and thus, may be an useful tool for quantitative assessment of equilibrium performance.

【Key words】Equilibrium; Dynamic posturography; Reliability; Validity

人体平衡的维持是由多感觉系统输入信息经多水平中枢整合编码出运动指令,由运动系统在时相及空间层次上完成的一种动态过程。因此,准确的平衡功能测定具有重要意义。量表评定具有半定量性质,但属于主观评定;静态姿势图仅能对静态站立时的躯体摆动(body sway)进行轨迹、摆幅、摆速及功率谱分析^[1]。动

态姿势图既可分析不同视觉、足踝本体感觉和前庭感觉条件下的躯体摆动,也可进行外界干扰时的姿势反应分析,还可进行重心移动时的稳定性测试,在欧、美已广泛应用^[1-3]。我们在对年轻人动态平衡能力初步测试的基础上,应用美国 Biodex Balance System (BBS)对成年人平衡功能进行重复检测,并与 Berg 平衡量表、功能性前伸测量、起立行走计时的测试结果进行比较,旨在确定其参数间的内在一致性、重测信度和不同测试者间的信度以及效标效度(concurrent validity)。

作者单位:410015 长沙,长沙市第三医院康复医学科(刘汉良);武汉同济医院康复医学科(尤春景、黄晓琳、韩韶华、陈勇、王平)

资料与方法

一、研究对象

本实验采用双盲随机对照研究,随机选取 50 名在我院康复科研修、实习的医师、治疗师或陪护员作为研究对象。入选标准:经神经系统、肌-骨骼系统及耳鼻喉科病史系统回顾和体格检查无异常发现;无眩晕病史;偶尔但非定期参加体育锻炼;测试前 1 周无影响平衡功能的药物摄入;此前未接触过姿势图仪,也未进行过特殊的平衡训练。本组对象中,有 10 名受试者因故未能完成全部测试,另 40 名完成全部测试的受试者一般资料见表 1。

二、测试方法

1. 动态平衡能力测试:应用 Biodex Balance System (BBS)对本组受试者进行动态平衡能力检测。仪器性能、检测前准备及方法详见产品说明书。仪器设定:测试级别定为 8 级;动态平衡能力测试设定检测时间为 20 s、重复 3 次;稳定性测试(limits of stability, LOS)要求受试者尽可能快且准确地将重心转移到目标处,并保持 2 s,然后返回中心点。检测程序:2 名测试者分别对每一受试者进行 2 次测试,间隔时间 3 d 左右;以抛硬币方式确定受试者测试的次序。如在测试过程中失去平衡则记录为跌下,并重新进行本次测试。检测指标:总体稳定指数(SI)、前后方向稳定指数(PSI)、左右方向稳定指数(MLSI),分别代表站立时总体及在矢状面、额状面上的平均摆动角度;上述稳定指数采样的标准差(SD、APSD、MLSD);完成跟踪 LOS 全部随机目标的时间(LOST);平均方向控制能力(DC)和前、后、右、左、前右、前左、后右、后左 8 个方向上的控制能力(FDC、BDC、RDC、LDC、FRDC、FLDC、BRDC、BLDC),为平均重心点到目标点的直线距离与实际路径长度的比值,用百分数表示。

2. Berg 平衡量表(BS)评定^[4,5]:由另 2 名测试者应用 Berg 平衡量表分别对受试者进行 2 次评定,取 2 次测试总分的平均值作为 Berg 平衡量表得分。

3. 改良起立行走(timed up & go)计时测定(TUGT):由 2 名测试者按照 Gill-Body 等^[6]描述的方法分别对受试者进行 2 次测定。测试时,往返路径长为 6.1 m、宽为 0.61 m,要求受试者尽可能快地从一端的座椅上起身,沿要求的路径向前行走,到达终点后转身,沿规定路径返回并坐回座椅,记录其完成该套动作所需的时间。每次测试包括向左及向右 2 种转身方式。每位受试者共测试 4 次(共有 8 个测试值),取其平均值为 TUGT 值。

4. 改良功能性前伸(functional reach, FR)测量(FRT):由 2 名测试者分别对所有受试者进行改良

FRT。受试者并足站立,其矢状面与墙面(墙面画有距离标记)平行,距墙约 5 cm,双上肢平举,保持身体力线,以踝关节为轴心尽可能向前触及,然后再尽量向后倾斜,分别测量其向前移动(手指)和向后倾斜(肩部)的位移;受试者背墙并足站立,双上肢外展至水平位,保持身体力线,分别向左、右方向尽可能倾斜,测量两侧手指向侧方移动的位移。取每例受试者上述 8 个值的平均值为其 FRT 值。

三、统计学分析

采用 SPSS 11.0 统计软件包进行统计学分析。根据数据类型、变量性质及分析目的分别选用独立样本 *t* 检验、多元线性回归分析、方差分析、相关及偏相关分析等方法, $P < 0.05$ 为差异具有显著性意义。

结 果

一、测试数据与个体特征间的关系

40 例受试者个体特征对其各参数重复测试结果的影响程度不尽一致。如:视觉对稳定指数及其采样标准差有负影响;年龄及体重指数起正作用;LOST 只受年龄因素影响;DC 与年龄、体重指数具有相关性。性别、身高及体重对测试结果的影响无显著性意义($P > 0.10$),稳定指数的回归分析有较高的预测意义($R^2 > 0.85$),DC 的预测意义较弱($R^2 = 0.534$),具体结果见表 2。

二、测试数据间的一致性分析

本研究发现,各测试结果间有较好的一致性。稳定指数与大部分参数间有中度到高度的相关性,稳定指数与 LOST 及 DC 间呈弱到中度相关,具体结果见表 3。各方向控制能力间及与平均方向控制能力均具有较高的相关性,具体数据见表 4。

三、信度分析

经统计学分析,发现各参数间的重测信度及不同测试者间的测试信度都较佳,大部分 ICC 都在 0.9 以上,具体数据见表 5。

四、效度分析

1. 实证效度分析:根据受试者在平衡测试过程中的跌下次数分组(其中跌下 2 次有 9 例,跌下 3 次有 3 例,跌下 2 次及跌下 3 次的受试者各参数间差异无显著性意义,故合并处理)并进行分析,发现年龄越大的受试者,其跌下次数越多,且不同年龄各组受试者的测试结果间差异都有非常显著性意义($P < 0.001$),具体数据见表 6。

2. 效标效度:本研究发现 SI、LOST 及 DC 分别与 BS、TUGT、FRT 具有较高的相关性($|r|$ 介于 0.72~0.86);采样的标准差与 BS、TUGT 及 FRT 呈弱到中度相关;BS、TUGT 及 FRT 间呈高度相关,具体结果见表 7。

表 1 40 例受试者一般资料比较($\bar{x} \pm s$)

性别	<i>n</i>	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)	体重指数
男	20	40.4 ± 16.7 (18 ~ 67)	169.9 ± 3.8 (162 ~ 181)	62.6 ± 7.3 (47 ~ 75)	21.6 ± 2.25 (16.5 ~ 26.7)
女	20	41.7 ± 17.5 (18 ~ 66)	156.5 ± 4.0 (150 ~ 166) *	50.6 ± 3.8 (44 ~ 59) *	20.7 ± 1.73 (18.1 ~ 24.5)
平均	—	41.5 ± 16.9 (18 ~ 67)	163.1 ± 7.8 (150 ~ 181)	56.6 ± 8.4 (44 ~ 75)	21.2 ± 2.0 (16.5 ~ 26.7)

注:男、女间比较, * $P < 0.05$

表 2 各检测结果与个体特征间的多元线性回归分析

个体特征	SI	APSI	MLSI	SD	APSD	MLSD	LOST	DC
常数(b_0)	0.648	0.409	0.688	0.839	1.106	0.777	60.532	55.962
视觉	-2.233	-1.692	-1.441	-0.666	-0.822	-0.723		
年龄	0.025	0.015	0.020	0.007	0.004	0.008	1.496	-0.274
体重指数	0.114	0.100	0.050					-0.708
R^2	0.897	0.880	0.869	0.679	0.620	0.693	0.696	0.534

注:回归模型——参数 = $b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots$; 回归方法——逐步回归, 如 $P < 0.05$ 保留; 如 $P > 0.10$ 舍弃

表 3 各测试结果间偏相关系数分析

指标	SI	APSI	MLSI	SD	APSD	MLSD	LOST
APSI	0.928 **						
MLSI	0.814 **	0.620 **					
SD	0.530 **	0.421 **	0.471 **				
APSD	0.592 **	0.538 **	0.504 **	0.749 **			
MLSD	0.534 **	0.380 **	0.626 **	0.642 **	0.698 **		
LOST	0.454 **	0.353 **	0.413 **	0.215 *	0.395 **	0.400 **	
DC	-0.395 **	-0.362 **	-0.361 **	-0.209 *	-0.454 **	-0.395 **	-0.633 **

注:控制变量——性别、年龄、身高、体重、体重系数、测试者和测试序次;

* $P < 0.05$, ** $P < 0.001$

表 4 LOS 测试各方向控制能力间的关系

指标	FDC	BDC	RDC	LDC	FRDC	FLDC	BRDC	BLDC
DCB	0.536							
DCR	0.730	0.462						
DCL	0.722	0.446	0.660					
DCFR	0.650	0.726	0.589	0.543				
DCFL	0.671	0.670	0.648	0.609	0.730			
DCBR	0.569	0.466	0.588	0.638	0.619	0.644		
DCBL	0.607	0.541	0.602	0.746	0.551	0.631	0.532	
DC	0.862	0.726	0.882	0.835	0.823	0.856	0.777	0.788

表 5 不同测试者及测试次序间参数的相关性

指 标	SI		APSI		MLSI		SD		APSD		MLSD		LOST	DC
	EO	EC	EO	EC	EO	EC	EO	EC	EO	EC	EO	EC		
重测信度	0.94	0.93	0.88	0.91	0.91	0.87	0.80	0.90	0.70	0.89	0.91	0.87	0.99	0.95
测试者间信度	0.94	0.95	0.91	0.93	0.90	0.88	0.80	0.86	0.73	0.71	0.90	0.88	0.98	0.95
ICC	0.99	0.98	0.97	0.98	0.97	0.96	0.93	0.94	0.90	0.88	0.97	0.96	0.99	0.99

注:EO——闭眼, EC——睁眼

表 6 不同跌下次数的受试者在睁眼时其测试结果间的比较($\bar{x} \pm s$)

跌下次数	年龄	SI	APSI	MLSI	SD	APSD	MLSD	LOST	DC
0 ($n=17$)	25.18 ± 6.24	1.37 ± 0.22	1.13 ± 0.20	0.81 ± 0.16	0.31 ± 0.17	0.33 ± 0.17	0.26 ± 0.14	94.7 ± 7.3	35.3 ± 5.8
1 ($n=11$)	46.82 ± 9.22	2.04 ± 0.26	1.60 ± 0.21	1.25 ± 0.19	0.51 ± 0.11 *	0.48 ± 0.16	0.37 ± 0.13	130.4 ± 18.1	28.1 ± 4.6
≥2 ($n=12$)	59.83 ± 7.39	2.38 ± 0.28	1.83 ± 0.23	1.51 ± 0.18	0.56 ± 0.09 *	0.59 ± 0.14	0.58 ± 0.15	155.1 ± 19.8	22.8 ± 4.3

注:与跌下次数为 1 的受试者比较, * $P > 0.05$, 其余组间数据比较, 均 $P < 0.01$

表 7 各受试者在睁眼时各参数与 BS、TUGT 及 FRT 间的相关性分析

指标	SI	APSI	MLSI	SD	APSD	MLSD	LOST	DC
BS	-0.81 *	-0.76 *	-0.82 *	-0.56 *	-0.61 *	-0.66 *	-0.79 *	0.73 *
TUGT	0.86 *	0.81 *	0.86 *	0.60 *	0.64 *	0.64 *	0.84 *	-0.78 *
FRT	-0.84 *	-0.79 *	-0.85 *	-0.26 [△]	-0.58 *	-0.63 *	-0.83 *	0.72 *

注: * $P < 0.001$, [△] $P < 0.01$; $r_{(BS/TUGT)} = -0.92$, $r_{(BS/FRT)} = 0.90$, $r_{(TUGT/FRT)} = -0.88$

讨 论

人类的平衡功能控制依赖于视觉、本体感觉及前庭系统的信息输入, 经多级神经中枢整合并与以前储

存在神经系统内的模型比较后编码出姿势控制指令, 经前庭脊髓通路和皮层脊髓束传出冲动, 通过 γ 和 α 神经纤维调节相应肌肉的紧张性及舒缩动作。因此, 平衡姿势的维持是一个伴有冲动紧张性发放的动态过程。平衡是人脑高级功能的一个重要子系统, 其功能测试受药物、身心功能状态(如疲劳、紧张、皮层觉醒水平等)、前庭神经系统的功能适应及累加反应等多种因素影响^[7]。不同个体间日常生活差异可引起其运动学习模式及姿势控制模式不一致, 导致各种感觉对姿势控制的贡献率不同; 而且不同的任务及环境也可改变平衡控制的生物力学及信息处理需求^[8]。

武明等^[9]应用仿真技术分析人体动力学稳定区域与肢体动力学特征间的能量关系,结果发现踝关节肌肉力矩的减弱会导致稳定区域明显减小。我们在测试过程中发现,体重指数对测试结果有一定影响,可能与增大平台倾斜的力矩有关,进一步证实了肌肉力矩亦是影响受试者平衡能力的一个重要因素。

平衡功能测定一直是临床医学的薄弱环节及难点之一。目前,量表评定由于其具有成本低、可操作性强等优点而在临床上广泛应用。其中信度较高、效度较好的有 Berg 平衡量表 (Berg Balance Scale)、Tineti 量表 (Performance-Oriented Assessment of Mobility)、“起立-行走”计时测试 (Timed Up and Go Test) 和功能性前伸 (Functional Reach) 测量^[1,4-6] 等等。在本研究中,我们发现 BS、TUGT 和 FRT 间的相关系数为 0.90 左右,进一步证实了它们之间的一致性。但量表评定多属于主观评定,容易受测试者及受试者的动机影响,且大多存在“天花板效应”(ceiling effect),因此不能完全满足科研、临床医学特殊方面(如运动医学和神经科学的辅助鉴别诊断和评定)及其它特殊场合(如司法、保险和劳动鉴定、航空航海专业人员选拔等)的需要。在这种背景下,随着计算机技术的进步,Nashner 和 Black 在美国航空航天局及美国卫生研究院的支持下,历经 15 年开发出动态姿势图技术,并逐步得以广泛应用^[2,3]。

标准动态姿势图包括感觉整合测试 (sensory organization test, SOT)、运动控制测试 (motor control test, MCT) 及稳定性测试 (limits of stability, LOS)^[1,3], 分别测试其静态平衡、他动态平衡和自动态平衡能力。国外常用的仪器有 Balance Master、Equitest、Balance Performance Monitor 等,但由于价格昂贵,特别是前两者,故限制了其在国内的应用。BBS 是标准动态姿势图的简化版本,取消了 MCT,增加了对本体感觉的输入控制(测试级别),性价比较高。其 SOT 包括睁眼并视觉反馈和闭眼时不同平台稳定性条件下的躯体摆幅(稳定指数,以摆动角度表示)测定,相当于标准 SOT 的 4,5 两种条件;LOS 测试也可在不同平台稳定性条件下进行。BBS 在骨科、运动医学康复及跌倒预测方面已得到广泛应用,既可用于评定,也可用于训练^[10,11]。

信度高、效度好是编制量表、设计检测设备及检测程序的基本要求。不同测试者及不同测试时间的观察偏倚、仪器本身的精确度都会影响测试结果的信度,测试程序是否标准化也对信度有重要影响^[10,11]。我们在测试过程中发现,SOT 参数间、各方向控制能力间有较高的一致性,而 SOT 与 LOS 间呈弱到中度

相关,验证了马文龙等^[8]的结论,即 SOT 与 LOS 对生物力学和信息处理的需求不同。但所有参数的重测信度及不同测试者间的重测信度都很高,与文献报道一致^[10-12],说明测试的程序合理。另外,测试结果也与样本的一致性较高有关,本组样本大部分为医务人员,对测试程序的理解比较透彻,这在一定程度上强化了结果的一致性。效度的判定需与“金标准”比较,但“金标准”也是相对的,测试结果显示不同跌下次数的受试者其测试数据间存在显著性差异,且表现出明显的年龄界限,与公认效度较好的 Berg 量表、TUGT 及 FRT 存在高度相关性。

综上所述,Biodex Balance System 能敏感地反映出受试者平衡能力随年龄变化的趋势,具有较高的内在一致性、重测信度及不同测试者间的重测信度,与 Berg 量表、TUGT 及 FRT 等具有一致性,可用于平衡功能的定量评定。

参 考 文 献

- 1 金冬梅,燕铁斌. 平衡功能临床评定研究进展. 中华物理医学与康复杂志,2002,24:187-189.
- 2 Black FO, Paloski WH. Computerized dynamic posturography: what have we learned from space? Otolaryngol Head Neck Surg, 1998, 118:45-51.
- 3 刘汉良. 动态姿势图的临床应用进展(综述). 国外医学物理医学与康复学分册, 2002, 22:148-153.
- 4 金冬梅,燕铁斌. Berg 平衡量表及其临床应用. 中国康复理论与实践, 2002, 8:155-157.
- 5 Berg K, Wood-Dauphinee S, Williams JL. The balance scale: reliability assessment with elderly residents and patients with an acute stroke. Scand J Rehab Med, 1995, 27:27-36.
- 6 Gill-Body KM, Beninato M, Krebs DE. Relationship among balance impairments, functional performance, and disability in people with peripheral vestibular hypofunction. Phys Ther, 2000, 8:748-758.
- 7 于立身, 主编. 前庭功能检查技术. 北京:人民军医出版社, 1994. 13, 41-42.
- 8 马文龙,洪军. 平衡评定的理论思考. 国外医学物理医学与康复学分册, 2002, 22:159.
- 9 武明,季林红,金德闻,等. 基于能量的人体动力学平衡评价指标的仿真研究. 清华大学学报(自然科学版), 2002, 42:168-171.
- 10 Hinman MR. Factors affecting reliability of the Biodex Balance System: a summary of four studies. J Sport Rehab, 2000, 18:240-252.
- 11 Schmitz KJ. Intertester and intratester reliability of a dynamic balance protocol using the Biodex Stability System. J Sport Rehab, 1998, 16: 95-101.
- 12 Clark S, Rose DJ, Fujimoto K. Generalizability of the limits of stability test in the evaluation of dynamic balance among older adults. Arch Phys Med Rehabil, 1997, 78:1078-1084.

(修回日期:2007-08-15)

(本文编辑:易 浩)