

· 临床研究 ·

三维运动分析系统在脑卒中偏瘫患者平衡测试中的应用

朱晓军 朱奕 王盛 孟殿怀 王彤

【摘要】 目的 探讨三维运动分析系统身体节段法对脑卒中偏瘫患者平衡功能测试的应用价值。**方法** 对 20 例脑卒中偏瘫患者,进行 Fugl-Meyer 下肢运动功能评定、Brunel 平衡等级量表、Berg 平衡量表和 5 m 起立-步行计时测验;同时采用三维运动分析系统身体节段法,分别进行坐位、立位和步行状态下的平衡功能测试。以 Spearman 秩相关系数对三维运动分析系统参数及运动功能、平衡量表的结果进行相关性分析。**结果** 坐位及立位时,身体重心在水平面的摆动参数与下肢运动功能、平衡功能及步行能力的相关性均有统计学意义($P < 0.05$);步行时,仅身体重心前后向的摆动参数与下肢运动功能、平衡功能及步行能力的相关性有统计学意义($P < 0.05$);垂直方向的摆动参数除在坐位时与 Brunel 平衡等级的相关性有统计学意义($P < 0.05$)外,在其它体位或活动状态时与患者的运动能力和平衡能力的相关性均无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 三维运动分析系统可以立体、动态、实时地监测人体在各种体位和功能动作时的平衡状况,对脑卒中患者的运动能力及平衡功能有一定的预示作用。

【关键词】 脑血管意外; 偏瘫; 平衡功能; 三维运动分析

Clinical application of three dimensional motion analysis for testing the balance of hemiplegic stroke patients ZHU Xiao-jun*, ZHU Yi, WANG Sheng, MENG Dian-huai, WANG Tong. * Department of Medical Rehabilitation, Jiangsu Province Official Hospital, Nanjing 210024, China
Corresponding author: WANG Tong, Email: wangtong60621@yahoo.com.cn

【Abstract】 Objective To investigate the clinical value of a three-dimensional motion analysis system by using the body segmental method for testing the balance of hemiplegic stroke patients. **Methods** Twenty stroke patients with hemiplegia were measured using the lower extremity Fugl-Meyer motor assessment (FMA-L), the Brunel balance assessment (BBA), the Berg balance scale (BBS) and a 5 m timed up-and-go test (5m-TUGT). The three-dimensional motion analysis system using the body segmental method was applied in three positions-sitting, standing and walking. Spearman's rank correlation coefficient was used to determine the extent of correlation between the values measured by the three-dimensional motion analysis system and the FMA-L, BBA, BBS and 5m-TUGT results. **Results** Some motion analysis variables (MSAx, MSVx, MSAy, MSVy and SPxy, SP3-D) are recorded in sitting and standing, while the center of gravity (COG) swing in the horizontal plane and some other variables (MSAx, MSVx and SPxy and SP3-D) are measured while walking. Anterior-posterior COG swing had a high negative correlation with the FMA-L, BBA and BBS scores and a high positive correlations with 5m-TUGT times. But except in sitting, MSAz and MSVz were both uncorrelated with FMA-L, BBA or BBS scores or with 5m-TUGT times. COG swing in the horizontal plane in sitting and standing apparently correlates with lower extremity motor function, balance, and walking ability. However, only the X axis swing parameters of the COG while walking correlated with lower extremity motor function, balance or walking ability. **Conclusions** A three-dimensional motion analysis system using the body segmental method can be used clinically to monitor patients' balance in real time and dynamically in different positions and activities, and it can be used to predict motor function and balance control in hemiplegic stroke patients.

【Key words】 Cerebrovascular accident; Hemiplegia; Balance; Three-dimensional motion analysis

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2012.09.004

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)

作者单位:210024 南京,江苏省省级机关医院康复医学科(朱晓军);江苏省人民医院康复医学科(朱奕、王盛、孟殿怀、王彤)

通信作者:王彤,Email:wangtong60621@yahoo.com.cn

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障碍,会降低患者的活动安全性。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。近年来国外学者将三维步态分析系统拓展用于三维运动平衡分析,作为一种新的动态平衡检测设备,三维运动分析

系统已应用于运动员及老年人平衡功能的研究^[1],但在临床上用于脑卒中患者平衡功能的检测尚少见报道。本研究通过对脑卒中偏瘫患者的三维运动参数与其它平衡测试方式的效度比较,以证实三维运动平衡分析的临床应用价值,旨在为该系统的临床应用提供客观依据。

对象与方法

一、研究对象

入选标准:①首次发病,均符合 1995 年第四届全国脑血管病会议通过的诊断标准^[2];②经头颅 CT 或 MRI 检查证实;③要求患者在不使用拐杖或其它助行器的情况下,可以独立步行 10 m 以上。

排除标准:①认知障碍或伴有听理解障碍的失语症;②眩晕、耳鸣等前庭功能障碍;③视力或视野障碍;④患有偏侧忽略症;⑤有严重骨科疾病和影响康复训练的并发症;⑥有严重心肺功能疾患或急性疾病者。

选取 2009 年 8 月至 2010 年 9 月在江苏省人民医院集团康复医学科住院且符合上述标准的脑卒中偏瘫患者 20 例,其中男 12 例,女 8 例;年龄 33 ~ 75 岁,平均 (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;左侧偏瘫和右侧偏瘫各 10 例。所有入选患者均签署知情同意书。

二、运动及平衡功能评定方法

1. Fugl-Meyer 运动功能评定 (Fugl-Meyer motor assessment, FMA):是由 Fugl-Meyer 等^[3]在 Brunnstrom 偏瘫评估的基础上发展起来的肢体功能评定,本研究选用下肢 FMA (FMA-L),共 17 项,每项按动作完成的程度分为 0、1 和 2 分,满分 34 分。分值越高,功能越好。

2. Brunel 平衡分级量表 (Brunel balance assessment, BBA):是由布鲁内尔大学 (Brunel University) 设计的一种新型的、专为脑卒中患者度身定制的平衡等级量表^[4],包括坐位平衡、立位平衡和行走功能三大领域 12 个项目,按照由易到难的梯度进行分布,形成难度等级。每一项完成记 1 分,不能完成记 0 分,满分 12 分。该量表具有快速、简便、灵活、敏感的特点。

3. Berg 平衡量表 (Berg balance scale, BBS):是目前国际上脑卒中患者最常用的平衡评价量表^[5],包括 14 个项目,每项按照患者完成质量记 0 ~ 4 分,满分 56 分。BBS 操作简便,已被证实脑卒中患者的评估中具有较好的信度、效度和敏感性。

4. 5 m 起立-行走计时测试 (5 m Timed Up-and-Go test, 5m-TUGT):即测量受试者从座椅上站起、向前以最快最稳的步伐在平地上走 5 m 的距离、转身返回再

坐回座椅所需的时间^[6]。TUGT 是一种快速定量评定功能性步行能力的方法,转身返回前的步行距离可为 3、5 或 10 m^[7];也可以间接反映动态平衡情况,国外已广泛用于脑卒中临床评定和研究中,国内测试研究结果亦证明,此种评定方法在我国脑卒中患者的临床应用中同样具有很高的信度和很好的效度^[8]。

三、三维运动分析系统身体节段法平衡功能检测

1. 实验装置及操作方法:本研究采用的三维运动分析系统系美国运动分析公司开发的三维光学运动捕捉系统,主要由三部分组成,包括 6 台红外数码相机、工作站和运动图像采集软件,是目前通用于人体三维运动分析的图像采集系统之一,具有很高的精度^[1]。根据身体节段法^[9]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红外反光标记 (图 1),受试者置于高分辨力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。

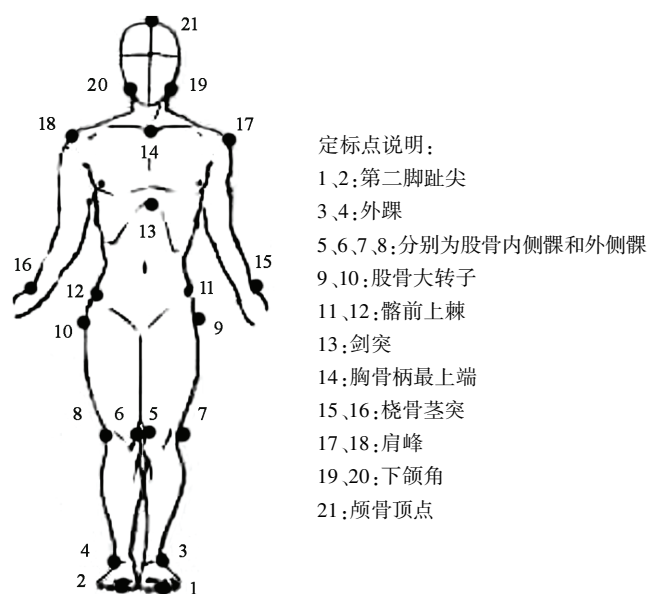


图 1 身体节段法红外反光标记放置点

2. 重心计算方法:参考 Lafond 等^[10]使用的质心 (center of mass, COM) 计算方法以及改良的 Zatsiorsky 和 Seluyanov^[11]的参数标准,以推算身体的质心,其位置等同于重心 (center of gravity, COG),计算公式 (1) 如下:

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

其中 X_{COMi} 为节段中心 X 轴向位置, Y、Z 轴向的计算方法同上, 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^[10]的参数表。最后按公式(2)计算出重心空间位置:

$$\text{COM} = 1/N \sum \text{COM}_i \times m_i \quad (2)$$

其中 m_i 是身体节段的重量, COM_i 是相应节段的中心位置, N 是节段数。

3. 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 1~2 min 后重复一次,每更换一个动作休息 2~3 min。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 1 min;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,双手自然外展 30°~45°。维持站立 1 min;③步行:以平时最放松的姿势在实验室跑道中央来回步行,采集 4~6 个步行周期(约 20~30 m)进行计算。

4. 检测指标:按朱奕等^[1]报道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;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})。前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。朱奕等^[1]发现,MSA 和 SP 在健康者中的灵敏度均较高。

四、统计学分析

采用 SPSS 13.0 版统计软件对数据进行统计分析,分别以 Spearman 秩相关系数对三维运动分析系统参数与 FMA-L、BBA、BBS 及 5m-TUGT 的评定结果进行相关性分析,其中三维运动指标以 2 次检测结果的均数参与相关性分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、坐位时三维运动参数与 BBA、BBS 及 5m-TUGT 的相关性检验

20 例患者坐位时三维运动参数与 BBA、BBS、5m-TUGT 的相关性分析,详见表 1。①与 BBA 相关性比较:所有三维运动指标与 BBA 均呈中度负相关性($P < 0.05$)。②与 BBS 相关性比较:MSA_X、MSV_X、SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 BBS 呈中度负相关性($P < 0.05$);MSA_Y 和 MSV_Y 与 BBS 呈高度负相关性($P < 0.01$);MSA_Z 和

MSV_Z 与 BBS 均无相关性($P > 0.05$)。③与 5m-TUGT 相关性比较:MSA_X 和 MSV_X 与 5m-TUGT 呈中度正相关性($P < 0.05$);MSA_Y、MSV_Y、SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 5m-TUGT 呈高度正相关性($P < 0.01$);MSA_Z 和 MSV_Z 与 BBS 均无相关性($P > 0.05$)。

表 1 坐位时三维运动参数与 BBA、BBS、5m-TUGT 的相关性分析($r, n = 20$)

三维运动参数(坐位)	BBA	BBS	5m-TUGT
MSA _X	-0.515 ^a	-0.485 ^a	0.584 ^a
MSA _Y	-0.527 ^a	-0.715 ^b	0.746 ^b
MSA _Z	-0.545 ^a	-0.099	0.381
MSV _X	-0.515 ^a	-0.485 ^a	0.584 ^a
MSV _Y	-0.527 ^a	-0.715 ^b	0.746 ^b
MSV _Z	-0.545 ^a	-0.099	0.381
SP _{XY}	-0.494 ^a	-0.564 ^a	0.650 ^b
SP _{3-D}	-0.477 ^a	-0.559 ^a	0.641 ^b

注:相关性分析,^a $P < 0.05$,^b $P < 0.01$

二、立位时三维运动参数与 FMA-L、BBA、BBS 及 5m-TUGT 的相关性检验

20 例患者立位时三维运动参数与 FMA-L、BBA、BBS、5m-TUGT 的相关性分析,详见表 2。①与 FMA-L 相关性比较:SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 FMA-L 呈中度负相关性($P < 0.05$);MSA_Y 和 MSV_Y 与 FMA-L 呈高度负相关性($P < 0.01$);MSA_X、MSV_X、MSA_Z 和 MSV_Z 与 FMA-L 均无相关性($P > 0.05$)。②与 BBA 相关性比较:MSA_X、MSV_X、SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 BBA 呈中度负相关性($P < 0.05$);MSA_Y、MSV_Y、MSA_Z 和 MSV_Z 与 BBA 均无相关性($P > 0.05$)。③与 BBS 相关性比较:MSA_Y、MSV_Y、SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 BBS 呈高度负相关性($P < 0.01$);MSA_X、MSV_X、MSA_Z 和 MSV_Z 与 BBS 均无相关性($P > 0.05$)。④与 5m-TUGT 相关性比较:MSA_X、MSV_X、SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 5m-TUGT 呈中度正相关性($P < 0.05$);MSA_Y 和 MSV_Y 与 5m-TUGT 呈高度正相关性($P < 0.01$);MSA_Z 和 MSV_Z 与 5m-TUGT 无相关性($P > 0.05$)。

表 2 立位时三维运动参数与 FMA-L、BBA、BBS、5m-TUGT 的相关性分析($r, n = 20$)

三维运动参数(立位)	FMA-L	BBA	BBS	5m-TUGT
MSA _X	-0.183	-0.577 ^a	-0.111	0.573 ^a
MSA _Y	-0.645 ^b	-0.405	-0.705 ^b	0.817 ^b
MSA _Z	0.169	-0.395	-0.239	0.025
MSV _X	-0.183	-0.577 ^a	-0.111	0.573 ^a
MSV _Y	-0.645 ^b	-0.405	-0.705 ^b	0.817 ^b
MSV _Z	0.169	-0.395	-0.239	0.025
SP _{XY}	-0.566 ^a	-0.519 ^a	-0.726 ^b	0.559 ^a
SP _{3-D}	-0.571 ^a	-0.531 ^a	-0.832 ^b	0.540 ^a

注:相关性分析,^a $P < 0.05$,^b $P < 0.01$

三、步行时三维运动参数与 FMA-L、BBA、BBS 及 5m-TUGT 的相关性检验

20 例患者步行时三维运动参数与 FMA-L、BBA、BBS、5m-TUGT 的相关性分析,详见表 3。①与 FMA-L 相关性比较:MSA_X 和 MSV_X 与 FMA-L 呈高度负相关性($P < 0.01$);SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 FMA-L 呈中度负相关性($P < 0.05$);MSA_Y、MSV_Y、MSA_Z 和 MSV_Z 与 FMA-L 均无相关性($P > 0.05$)。②与 BBA 相关性比较:MSA_X 和 MSV_X 与 BBA 呈高度负相关性($P < 0.01$);SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 BBA 呈中度负相关性($P < 0.05$);MSA_Y、MSV_Y、MSA_Z 和 MSV_Z 与 BBA 均无相关性($P > 0.05$)。③与 BBS 相关性比较:MSA_X、MSV_X、SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 BBS 呈中度负相关性($P < 0.05$);MSA_Y、MSV_Y、MSA_Z 和 MSV_Z 与 BBS 均无相关性($P > 0.05$)。④与 5m-TUGT 相关性比较:MSA_X 和 MSV_X 与 5m-TUGT 呈高度正相关性($P < 0.01$);SP_{XY} 和 SP_{3-D} 与 5m-TUGT 呈中度正相关性($P < 0.05$);MSA_Y、MSV_Y、MSA_Z 和 MSV_Z 与 5m-TUGT 均无相关性($P > 0.05$)。

表 3 步行时三维运动参数与 FMA-L、BBA、BBS、5m-TUGT 的相关性分析($r, n = 20$)

三维运动参数(步行)	FMA-L	BBA	BBS	5m-TUGT
MSA _X	-0.710 ^a	-0.709 ^a	-0.548 ^b	0.660 ^a
MSA _Y	-0.097	-0.098	-0.160	0.050
MSA _Z	-0.018	-0.289	-0.285	0.111
MSV _X	-0.710 ^a	-0.709 ^a	-0.548 ^b	0.660 ^a
MSV _Y	-0.097	-0.098	-0.160	0.050
MSV _Z	-0.018	-0.289	-0.285	0.111
SP _{XY}	-0.542 ^b	-0.556 ^b	-0.612 ^b	0.561 ^b
SP _{3-D}	-0.542 ^b	-0.556 ^b	-0.612 ^b	0.561 ^b

注:相关性分析,^a $P < 0.01$,^b $P < 0.05$

讨 论

人体的平衡分为静态平衡(指人体处于某种特定姿势,如坐位或站立位时控制身体重心的能力)和动态平衡,后者包括自动态平衡(即人体在进行各种自主运动时重新获得稳定状态的能力)和他动态平衡(指人体在外力推动作用下调整姿势,恢复稳定状态的过程)。正常人体的平衡调节依赖于中枢神经系统对来自感觉系统的信息做出及时、正确的分析判断以及组织运动计划,并通过不同肌肉的协调性运动以减小身体的摇摆,维持身体重心在支撑面之上。平衡功能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,而平衡障碍是脑卒中患者最常见的功能问题之一,严重影响患者步行能力、ADL 能力和生活质量。

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,平衡功能的常用评估方法主要包括传统

观察法(如 Romberg 检查法)、量表评分法(如 Berg 平衡量表)和仪器测试法(如平衡反馈仪)等。观察法简便易行,但不够精确和客观;量表法主观性较强,容易受评测人员动机的影响造成结果的不准确。BBA 和 BBS 是目前临床常用的脑卒中康复评定的平衡量表,而 FMA 和 TUGT 则是用于脑卒中患者运动功能评估的量表,与患者的平衡功能密切相关。

三维运动分析系统是一种新的平衡检测设备,通过运用红外线高感度专用摄像机采集安放在人体不同节段的红外线反光标记点的运动轨迹,可以立体、动态地监测和采集身体重心变化,动态、实时地观察人体在各种体位和不同功能动作下的平衡状况,对平衡功能障碍可以起到一定的预示作用,其信度和效度已获得证实^[1,10,12]。它不仅用于健康人群平衡的研究,而且已经广泛运用于筛查有跌倒风险的人群以及研究老年人上下楼梯、过障碍物的运动特点等方面^[13-15],但目前它用于对脑卒中患者平衡的研究报道较为少见。

躯干的稳定性是保持各种运动状态下平衡能力的必要条件,脑卒中患者的坐位平衡与躯干的控制能力密切相关,主要通过躯干侧屈肌、腹肌、腰肌的反应性收缩以调整重心来实现^[16],因此坐位时重心的摆动往往在前后和左右方向上较大,而垂直方向上较小。Verheyden 等^[17]发现,脑卒中患者的躯干控制能力与平衡、步行功能密切相关。本研究显示,坐位时三维运动分析系统 X 轴和 Y 轴的摆动水平与平衡功能和步行能力呈负相关性,即患者身体重心向前后或左右的摆动幅度越大、摆动速度越快、摆动路径越长,则患者的平衡功能和步行能力越差。

人体在站立时除了要具有良好的躯干控制能力外,还需要双下肢的均衡负重能力、正常的本体感觉,并能够通过踝关节的轻微调节以保持立位平衡^[18]。本研究发现,脑卒中患者立位时的身体重心在水平面、尤其是左右方向上的摆动水平与下肢运动功能、平衡功能及步行能力呈负相关性,即患者的下肢运动功能越差,则站立时身体重心左右向或前后向的摆动幅度越大、摆动速度越快、摆动路径越长,而患者的平衡功能和步行能力也越差。这与脑卒中患者的感觉运动成分不足和对恰当的感觉输入信号的选择能力降低,以及偏瘫侧下肢肌张力异常、肌力降低、本体感觉障碍和异常的运动模式,导致患侧下肢负重能力下降、踝关节调节控制能力减低有关,因此,脑卒中偏瘫患者向患侧跌倒居多^[19]。

据测定,正常人体的重心解剖位置一般在第三骶骨椎体上缘前方 7 cm 处^[20]。近年提出的一种新的三维运动平衡检测方式——骶骨定标法^[9],是将单一标记物放置于骶骨上缘中点,与两侧髂后上棘形成倒置

的等腰三角形。该方式由于只需要检测一个标记点的运动轨迹,因此较为简易。经比较,骶骨定标法与身体节段法获得的重心位置具有良好的一致性^[21],说明骨盆的运动对于重心的摆动水平起到关键性的作用。健康人步行时为了减少能量消耗,身体各部位要尽量维持正常范围的运动,减少身体重心的移动;而脑卒中患者会因躯干、髋、膝关节的伸展能力和支撑能力不足而出现骨盆、躯干旋转的现象^[22]。本研究发现,脑卒中偏瘫患者步行时,身体重心前后向的摆动水平与下肢运动功能、平衡功能和步行能力呈负相关性,即患者下肢运动功能和平衡能力越差,则重心前后向的摆动幅度越大、摆动速度越快、摆动路径越长,而步行功能也越差。但重心的左右向和垂直向的摆动水平与上述运动功能无相关性。徐光青等^[23]研究发现,脑卒中偏瘫患者步行时会发生大范围的异常骨盆前后倾斜运动(为健康人群的 2 倍以上),但骨盆左右倾斜运动范围基本正常,躯体的垂直运动范围较小(小于正常人群的 2/3)。Tyson 等^[24]的研究也显示脑卒中患者的步行能力与躯体垂直运动无关。

三维运动分析系统是目前国际上最先进的生物力学研究和评估体系之一,身体节段法被认为是重心检测最为精确的实验室研究方法^[9],已逐渐运用于人体运动功能的定量分析和精细平衡功能的评测,该方法可以客观反映人体在功能活动中的平衡功能状态,有着极其广阔的临床应用空间,对深入开展平衡功能研究具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 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. 中华物理医学与康复杂志,2007,29:623-626.
- [2] 中华神经科学会,中华神经外科学会. 各类脑血管疾病诊断要点. 中华神经科杂志,1996,29:379-380.
- [3] Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties. Neurorehabil Neural Repair,2002,16:232-240.
- [4] 肖灵君,罗子芮,廖丽贞,等. Brunel 平衡量表在脑卒中偏瘫患者中的效度和反应度研究. 中国康复医学杂志,2009,24:26-29.
- [5] 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.
- [6] Morris R, Harwood RH, Baker R, et al. A comparison of different balance tests in the prediction of falls in older women with vertebral fractures: a cohort study. Age Ageing,2007,36:78-83.
- [7] Podsiadlo D, Richardson S. The Timed "Up and GO". A test of basic functional mobility for frail elderly persons. J Am Geriatr Soc,1991,39:142-148.
- [8] 李敏,瓮长水,毕素清,等. 计时“起立-行走”测验评估脑卒中患者功能性步行能力的信度和同时效度. 中国临床康复,2004,8:6819-6821.
- [9] Gullstrand L, Halvorsen K, Tinmark F, et al. Measurements of vertical displacement in running, a methodological comparison. Gait Posture,2009,30:71-75.
- [10] Lafond D, Duarte M, Prince F. Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment. J Biomech,2004,37:1421-1426.
- [11] Zatsiorsky VM, Seluyanov VN. The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body. Biomechanics, 1983, (8-B): 1152-1159.
- [12] Kejonen P, Kauranen K. Reliability and validity of standing balance measurements with a motion analysis system. Physiotherapy,2002,88:25-32.
- [13] Granata KP, Lockhart TE. Dynamic stability differences in fall-prone and healthy adults. J Electromyogr Kinesiol,2008,18:172-178.
- [14] Mian OS, Thom JM, Narici MV, et al. Kinematics of stair descent in young and older adults and the impact of exercise training. Gait Posture,2007,25:9-17.
- [15] Liu J, Lockhart TE. Age-related joint moment characteristics during normal gait and successful reactive-recover from unexpected slip perturbations. Gait Posture,2009,30:276-281.
- [16] 瓮长水,高怀民,徐军,等. 急性脑卒中偏瘫患者初诊时坐位姿势保持能力对判断功能预后的价值. 中华物理医学与康复杂志,2002,24:40-42.
- [17] Verheyden G, Vereeck L, Truijen S, et al. Trunk performance after stroke and the relationship with balance, gait and functional ability. Clin Rehabil,2006,20:451-458.
- [18] Horak FB. Posture orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls. Age Ageing,2006,35:ii7-iii11.
- [19] Mackintosh SF, Hill K, Dodd KJ, et al. Falls and injury prevention should be part of every stroke rehabilitation plan. Clin Rehabil,2005,19:441-451.
- [20] 陈芳. 途中跑中人体重心高度对速度的影响. 上海体育学院学报,1999,23:49-50.
- [21] 朱奕,朱晓军,孟殿怀,等. 三维运动分析系统在健康人平衡功能质心检测中三种方法一致性的比较. 中国康复医学杂志,2012,27:216-222.
- [22] Chou SW, Wong AM, Leong CP, et al. Postural control during sit-to stand and gait in stroke patients. Am J Phys Med Rehabil,2003,82:42-47.
- [23] 徐光青,兰月,毛玉璐,等. 脑卒中患者躯体运动偏瘫模式的三维运动学评价. 中国康复医学杂志,2009,24:893-895.
- [24] Tyson SF. Trunk kinematics in hemiplegic gait and the effect of walking aids. Clin Rehabil,1999,13:295-300.

(修回日期:2012-08-20)

(本文编辑:汪 玲)