

· 临床研究 ·

本体感觉定量评定的可靠性初探

胡建平 伊文超 李瑞炎 蒋祥龙 易万龙

【摘要】目的 研究 Tecnobody 康复系统定量评定本体感觉的可靠性。方法 健康人 9 例,其中男 4 例,女 5 例,年龄(22.8 ± 0.68)岁,用 Tecnobody 按系统要求连续评定双足本体感觉 3 次。用重复测量标准误差、简单相关系数、组内相关系数分析每次的耗时(Time)和平均轨迹差(ATE)。结果 Time 重复测量标准误差左右分别为 3.07 ~ 3.83 和 6.65 ~ 8.44,ATE 左右分别为 1.33 ~ 1.97 和 1.39 ~ 1.91;Time 简单相关系数左右分别为 0.919 和 0.62,ATE 左右分别为 0.808 和 0.831;Time 组内相关系数左右分别为 0.893 和 0.639,ATE 左右分别为 0.716 和 0.734。结论 该系统具备较好的可靠性,且评估不必重复多次,但其各参数设置及中国人标准参考值范围仍需进一步探究。

【关键词】本体感觉; 定量评估; 可靠性; 平均轨迹差

A preliminary study of test reliability in quantitative proprioception measurement HU Jian-ping*, YI Wen-chao, LI Rui-yan, JIANG Xiang-long, YI Wan-long. *Nanjing Ruihaibo Medical Rehabilitation Center, Nanjing 210009, China

【Abstract】Objective To study the test-retest reliability in quantitative measurement of proprioception using Tecnobody rehabilitation system. Methods Nine healthy volunteers [4 males, 5 females, averaged age (22.8 ± 0.68) years] participated in three consecutive measurements on both feet by using Tecnobody rehabilitation system for computerized proprioceptive assessment. Standard error of measurement (SEM), correlation coefficient and intra-class correlation coefficient (ICC) obtained from the three consecutive measurements were used to analyze the "Time" used in each measuring session, and the "average track error" (ATE) of the measurements. Results SEM values of "Time" in left foot and right foot were 3.07 ~ 3.83 and 6.65 ~ 8.44 respectively. ATE values in left foot and right foot were 1.33 ~ 1.97 and 1.39 ~ 1.91 respectively. The "Time" and ATE correlation coefficients of left foot / right foot were 0.919/0.62 and 0.808/0.831, respectively. The "Time" ICC values were 0.893/0.639 for left foot / right foot, respectively; and the "ATE" ICC values were 0.716/0.734 for left foot / right foot, respectively. Conclusion The Tecnobody rehabilitation system provided a fairly good reliability in both "relative" and "absolute" values in quantitative evaluation of proprioception in the feet. These data in a larger amount may be useful for setting up variables and the standard values of the local population for reference in proprioceptive rehabilitation.

【Key words】Proprioception; Quantitative assessment; Reliability; Average track error

本体感觉是人类维持姿势及保持平衡的重要组成部分^[1-2],也是影响许多疾病康复效果的重要因素^[3-4]。目前临床大多通过体格检查定性评估其是否存在障碍,定量评估方法较少且复杂^[5-6]。然而,定量评估可为临床工作者提供直观数据,并有利于进行对比分析。

Tecnobody (PK 254P, Italy) 是一款可定量评估本体感觉的康复系统,其核心部分是一系列精密传感器组成的数据采集板。它能探测到斜板上的所有动作,并转换成电子信号,经系统软件处理后,显示出与关节运动密切相关的轨迹曲线(称运动示踪)。系统可根据受测者所描轨迹与理想轨迹之间的关系自动生成定量评估结果和针对性训练方案。Tecnobody 能否提供

可靠的本体感觉评定尚未得到确切证实^[7],而可靠性是临床评定的必备条件^[5];临床应用该系统时,随评定次数增加,结果有所差异,这些差异是否有临床和统计学意义、最佳评定次数是多少等问题尚待证实确定。因此,本研究旨在初步探究 Tecnobody 康复系统定量评估下肢本体感觉的可靠性。

资料与方法

一、研究对象

选取 9 例健康志愿者,其中男 4 例,女 5 例;年龄 20 ~ 27 岁,平均(22.8 ± 0.68)岁。排除骨关节损害、急性软组织损伤、中枢神经系统损伤等有可能导致本体感觉障碍,以及视觉、前庭功能障碍。

二、本体感觉评定

采用 Tecnobody 康复系统本体感觉评定模块 (ProKin 3.0 版) 对志愿者左右足进行评定。评定过

程:双足分开站立,受测足置于斜板(图 1),输入一般资料,选择“本体感觉评估”页面(图 2),调节阻力缓冲器至系统推荐的“5”档(共 12 档,档数越高,阻力越大),完成该页面参数栏的填写(右侧栏)——记录“左、右足”,参数“Force absorbers”选择“5”,记录足在斜板上的坐标“Axis Points”(一般足跟在 A5 轴上、脚趾尖 A1 轴上及足内侧缘 A3 或 A7 轴上),圈数选默认值“5”;嘱受测者按画面提示以最短的时间(系统默认最长不得超过 120 s)、最佳的路径,通过足部控制斜板运动,完成连续 3 次评估。



图 1 Tecnobody 系统本体感觉评估体位

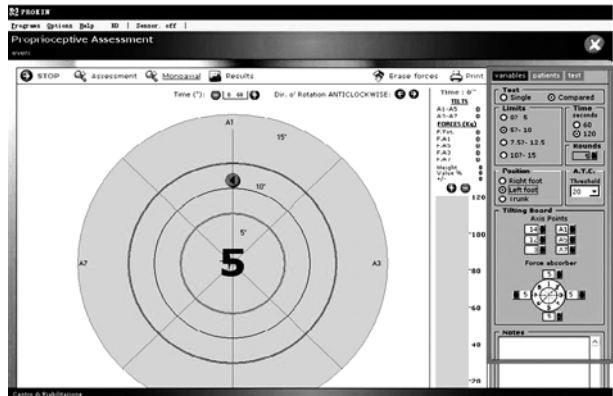


图 2 Tecnobody 系统本体感觉评估页面

三、数据收集

在规定 120 s 内完成评定,电脑以图表形式自动生成结果,记录评估耗时(Time)及平均轨迹误差(average track error,ATE)的数值,以“ATE n”、“Time n”的方式记录,如第 2 次评估结果记为“ATE 2”、“Time 2”。

四、统计分析

SPSS 16.0 统计软件分析 3 次左、右足 Time 和 ATE 测量的可靠性:①配对 *t* 检验分析差异, $P < 0.05$ 认为有统计学意义,计算测量标准误(standard error of

measurement,SEM),估计 2 次测量间差异值超过多少($1.96 \times \sqrt{2} \text{ SEM}$)才说明有统计学意义的改变;②计算简单相关系数(*r*),分析每次测量之间是否存在共变关系(相对可靠性);③双向分类随机效应模型分析组内相关系数(interclass correlation coefficient, ICC),分析 3 次重复测量之间的绝对可靠性^[7-11]。

五、研究流程

首先选取健康志愿者,然后设置参数,按提示连续完成 3 次本体感觉评定后,收集结果,最后进行统计分析。

结 果

一、配对 *t* 检验计算 SEM

以 $\text{SEM}_{(1,2)}$ 、 $\text{SEM}_{(1,3)}$ 、 $\text{SEM}_{(2,3)}$ 分别表示第 1 次与第 2 次、第 1 次与第 3 次、第 2 次与第 3 次测量之间的相关 SEM,对志愿者左右足进行 3 次 Time 和 ATE 评定的 SEM 分析结果见表 1。左足 $\text{Time}_{(2,3)}$ 和 $\text{ATE}_{(1,2)}$ 的 SEM 最大;右足 $\text{Time}_{(1,3)}$ 和 $\text{ATE}_{(1,3)}$ 的 SEM 最大。配对 *t* 检验提示左足 $\text{Time}_{(1,3)}$ 、 $\text{ATE}_{(1,3)}$ 之间差异均有统计学意义($P < 0.05$);而右足仅 $\text{ATE}_{(1,3)}$ 差异有统计学意义($P < 0.05$)。

表 1 左右足 3 次评定 Time 和 ATE 的 SEM 分析

双足	Time			ATE		
	$\text{SEM}_{(1,2)}$	$\text{SEM}_{(1,3)}$	$\text{SEM}_{(2,3)}$	$\text{SEM}_{(1,2)}$	$\text{SEM}_{(1,3)}$	$\text{SEM}_{(2,3)}$
左足	3.35	3.07 ^a	3.83	1.97	1.33 ^a	1.79
右足	6.73	8.44	6.65	1.42	1.91 ^a	1.39

注:经配对 *t* 检验,^a $P < 0.05$

根据公式 $1.96 \times \sqrt{2} \text{ SEM}$ 计算得出,测量 2 次差异 Time 左足 $> 10.6 \text{ s}$,右足 $> 23.4 \text{ s}$;ATE 左足 $> 5.46\%$,右足 $> 5.29\%$ 时提示发生实质性改变可能大。

二、简单相关系数

以 $r_{(1,2)}$ 、 $r_{(1,3)}$ 、 $r_{(2,3)}$ 分别表示第 1 次与第 2 次、第 1 次与第 3 次、第 2 次与第 3 次测量之间的相关系数,志愿者左右足 3 次 Time 和 ATE 评定的简单相关系数分析结果见表 2。按 $r > 0.75$ 为可靠性好、 $0.40 \leq r \leq 0.75$ 为可靠性较好、 $r < 0.40$ 为可靠性差的评价标准^[9],该仪器测量本体感觉总体的可靠性较好,但右足 $\text{Time}_{(1,3)}$ 相关性差,无统计学意义($P = 0.297$);Time 和 ATE 间存在负相关($r = -0.799, P < 0.01$)。

表 2 左右足 3 次评定 Time 和 ATE 的简单相关系数分析

双足	Time			平均值 <i>r</i>
	$r_{(1,2)}$	$r_{(1,3)}$	$r_{(2,3)}$	
左足	0.925 ^a	0.937 ^a	0.895 ^a	0.919 ^a
右足	0.739 ^a	0.405	0.742 ^a	0.628 ^a
双足	ATE			平均值 <i>r</i>
	$r_{(1,2)}$	$r_{(1,3)}$	$r_{(2,3)}$	
左足	0.764 ^a	0.851 ^a	0.810 ^a	0.808 ^a
右足	0.869 ^a	0.734 ^a	0.891 ^a	0.831 ^a

注:^a表示相关关系成立($P < 0.05$)

三、组内相关系数及 95% 置信区间

3 次本体感觉测量左右足组内相关系数均大于 0.5, Time 的可靠性右足比左足差, ATE 基本相同。结果见表 3。

表 3 左右足 3 次评定 Time 和 ATE 的组内相关系数

双足	Time		ATE	
	ICC	95% CI	ICC	95% CI
左足	0.893 ^a	0.718 ~ 0.972	0.716 ^a	0.381 ~ 0.918
右足	0.630 ^a	0.256 ~ 0.887	0.734 ^a	0.411 ~ 0.924

注:^a 表示组内相关系数有统计学意义($P < 0.01$)

讨 论

一、研究背景

本体感觉主要包括关节位置的静态感知能力、关节运动的感知能力(关节运动或者加速度的感知)、反射回应和肌张力调节回路的传出能力^[12-13]。前两者反映本体感觉的传入活动能力,后者反映传出活动能力。本体感觉感受器分布于韧带、关节囊、肌腱、肌肉、皮肤、关节软骨和其他一些关节内结构。据 Freeman 等^[14]分类,其主要分为 2 类:一类是快适应机械感受器,如帕西尼小体;一类是慢适应机械感受器,如鲁非尼末梢、高尔基腱器官、游离神经末梢、肌梭。快适应机械感受器对位置改变敏感,主要传递关节运动感觉,在几毫秒的连续刺激下,它们的释放速率会减弱甚至消失;慢适应机械感受器在特定关节角度可受最大限度刺激,主要传递关节位置觉和位置的改变。本体感觉是维持身体稳定性的重要组成部分^[12],临床常用关节位置觉、运动觉和振动觉检查定性评估其是否存在障碍;也有少量研究,使用可探知的被动活动阈值(the threshold to detection of passive motion, TDPM)^[5-6]定量评估关节运动觉,但程序复杂。

Tecnobody 是意大利产本体感觉及稳定性评估系统,利用身体远端连续的不稳定激活关节周围的本体感觉感受器^[14],并通过视觉反馈辅助重建正常本体感觉,随时进行定量评估,以便周期性地观察评定结果和疗效。该系统不仅提供总体评估结果,还可细致分析足部在哪个或哪些具体空间问题最严重,并生成相对应的训练处方。系统以 8 象限环形图的形式反馈给我们,每个象限代表足在某个空间内的活动情况。图形由 4 条直线将圆均分成 8 个区域,顺时针方向轴线定义为 A1 ~ A8,区域定义为 S1 ~ S8(图 2)。足部前后方向(屈伸)的运动沿 A1 ~ A5 方向,左右方向(内外翻)的运动沿 A3 ~ A7 方向。画圈评估时,系统会提供理想描述路线即中央蓝色轨迹(图 2)和描述范围即内圈粉色轨迹和外圈红色轨迹之间;评估结束后,根据患者所描轨迹的分布,系统即自动生成 ATE 及每个象限

的轨迹误差,并提供对应的渐进性康复训练处方。如此一来,治疗师可按系统提示(也可自行设计处方)为患者进行个性化针对性康复训练。因系统可提供视觉及声音提示,故无需过多解释每次的运动方向、顺序等,只须让受测者按屏幕所示轨迹进行描述即可。

但目前关于该系统可靠性的研究尚未见系列报道^[7],而可靠性又是临床评定的必备条件^[5],临床应用中的问题也对决策造成困扰,因此本研究尝试探究 Tecnobody 定量评估的可靠性。

二、研究方法

1. 连续评估 3 次的方法:Richard 等^[15]提出最准确的可重复性研究设计,2 次测试时间的间隔宜短不宜长,因为间隔时间越短,不受控制的外界影响因素越少。因可靠性研究需要至少评估 2 次,而有研究建议使用该系统宜评估 3 次取平均值^[7],故本研究采取无间隔时间评估 3 次的方式。

2. 选取 Time 和 ATE 为指标:评估结束系统将自动生成 Time 和 ATE。ATE = (患者所描轨迹长度 - 理想轨迹长度) ÷ 理想轨迹长度 × 100%。研究之所以选择 Time 和 ATE 两项为指标,而不只是 ATE,是因 Felicetti 等^[7]的研究曾选取 Time 和 ATE 为指标,且作者日常使用时也观察到 ATE 受 Time 影响。这一点也在本试验中得以验证:ATE 与 Time 之间存在负相关($r = -0.799, P < 0.01$)。因此测试中笔者要求受测对象在规定时间内尽可能快且好地完成轨迹的描画,最终结果以 Time 和 ATE 两项综合考虑。在相同 Time 内,ATE 小的,本体感觉好;反之亦然。若 Time 不同但均在 120 s 内,ATE 小的较好,故检验其可靠性笔者选取 Time 和 ATE 两项指标。

3. 基于以下假定模型的统计分析:每次评定所得结果,其值可分为 2 项,一项为常量,即反映测定参数真实水平的值;一项为变量,会随机改变,即评定结果误差的产生原因。它受多种因素影响,如描述过程中受测者的精神集中程度、外界环境变化等。通常将此随机变量视为正态分布,用 SEM 来估计,其值越小,重复测量效果越好^[7-8];它还可判断 2 次测量间差值变化范围在多少之内($1.96 \times \sqrt{2} \text{ SEM}$)可认为是随机变量影响(超过此范围则说明存在实质性变化的可能性大)^[7]。而在系统稳定的前提下,同一健康个体前后 2 次测量间不应该出现超过此范围的差距。故差距若超过此范围,或是由于系统不稳定,或是测量者自身状况发生改变。

Portney 和 Watkins^[8]指出简单相关系数可以分析 2 次测量间的相对可靠性,因为它只能确定两者之间是否存在共变关系,而无法判断一致性,其结合 SEM 可分析测量的绝对可靠性,或直接使用 ICC 分析,ICC

的 95% 置信区间范围越小,可靠性越好。

三、结果分析

SEM 分析中,左足 Time 测量误差数值总体比右足小($P=0.028$),说明左足重复测量时间的可靠性比右足好,而 ATE 测量误差左右之间差异无统计学意义($P=0.761$)。结合右足 3 次所用时间逐步变小的趋势,可以认为右足 3 次评估在 ATE 基本不变的情况下,每次所用时间逐步减少。考虑到与受测者习惯性使用右侧肢体有关,故对左右侧 Time 的差异行统计分析,显示其并无统计学意义($P=0.057$),这可能与本研究样本量较小有关。ATE 值误差产生的原因除上述影响 Time 的因素外,还可能与受测者的集中程度有关。受测者均为 30 岁以下青年,要在约 6 min 的时间内重复做相同的动作易产生烦躁,因此会越做越快,描述的质量较正常情况会有所下降。王雪强等^[16]研究健康老年人两侧踝关节本体感觉时亦表明左侧优于右侧,与本研究初步测量结果一致。

由 SEM 估计的随机误差大小也可以得出(排除差异有统计学意义的数据),在 ATE 基本不变的前提下,右足 2 次所耗时间差异大于 23.4 s 说明可能发生实质性变化,左足只需大于 10.6 s,表明右足描述耗时波动性较大,即在一定程度内提高速度,右足可很好的控制运动轨迹,不影响最终 ATE 结果,可能与惯用侧有关。

简单相关分析中,除右足 Time_(1,3)之间不存在相关关系之外($P=0.297$),其余均存在相关关系;结合配对 t 检验,左足 Time_(1,3)、ATE_(1,3)以及右足 ATE_(1,3)的差异有统计学意义,除表明右足耗时波动大与惯用侧有关外,还提示可能与学习因素有关系,即短时间内的连续测量也会产生学习效果。由于每个人的学习能力不同,因此不宜采用 3 次测量取均值的方式记录结果。

组内相关分析结果与上述结果一致,均表明该系统具备较好的可靠性。ICC 值均 >0.5 ,说明测量误差和其它随机误差小于不可控制的随机误差^[9]。Time 右足可靠性较差原因也可能与惯用侧和/或学习因素有关。

本研究中还发现,通常重复 3 次评定本体感觉每次有所不同并有逐次提高的趋势(或是耗时减少,或是 ATE 值减小);结合本研究结果得出以下观点:在可靠性有所保证的前提下,评估过程可不必重复,这既节省了时间,减少了受测者不必要的体能消耗,又解决了在 3 次评估结果不同的情况下如何取舍的问题。然而每次评估 5 次画圈要在 120 s 内完成也尚缺乏理论根据,仍需进一步探究。

四、结论

因 TecnoBody 在国内尚未普及应用,系统各项预设参数合理性仍需进一步验证,而本文样本量较小,无法准确对每项参数给予相应评估,故本体感觉定量测

量系统尚需进一步研究:①中国人完成一次评估的 5 次画圈 Time 的正常值范围;②中国人 ATE 正常参考值范围;③Time 及 ATE 随年龄的变化关系;④Hewett 等^[17]曾报道本体感觉存在性别差异,是否有必要将各参数性别化。

总之,TecnoBody 本体感觉定量测量系统具备较好的可靠性,使用该仪器评估本体感觉可不必重复多次,但其各项参数设置及中国人标准参考值范围仍需进一步探究。

参 考 文 献

- [1] Jancová J. Measure the balance control system review. Acta Medica, 2008,51:129-137.
- [2] Thomas M, Thomas R. Interaction of vestibular, somatosensory and visual signals for postural control and motion perception under terrestrial and microgravity conditions-a conceptual model. Brain Res Rev, 1998,28:118-135.
- [3] Prosperini L,Leonardi L,de Carli P,et al. Visuo-proprioceptive training reduces risk of falls in patients with multiple sclerosis. Mult Scler, 2010,16:491-499.
- [4] Mohammadi F. Comparison of 3 preventive methods to reduce the recurrence of ankle inversion sprains in male soccer players. Am J Sports Med, 2007,35:922-926.
- [5] Ageberg E, Flenhagen J, Ljung J. Test-retest reliability of knee kinesi- thesis in healthy adults. BMC Musculoskeletal Disorders, 2007,8:57.
- [6] Boerboom AL, Huizinga MR, Kaan WA, et al. Validation of a method to measure the proprioception of the knee. Gait Posture, 2008,28:610-614.
- [7] Felicetti G, Chiappano G, Molino A, et al. Preliminary study on the validity of an instrumental method of evaluating proprioception in patients undergoing total knee arthroplasty. Eur Med Phys, 2003,39: 87-94.
- [8] Portney LG, Watkins MP. Foundations of clinical research: applications to practice. 2nd ed. NJ: Prentice Hall, 1999:337.
- [9] 孙振球. 医学统计学. 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 2005:766-769.
- [10] Lexell JE, Downham DY. How to assess the reliability of measurements in rehabilitation. Am J Phys Med Rehabil, 2005,84:719-723.
- [11] Rousson V, Gasser T, Seifert B. Assessing intrarater, interrater and test-retest reliability of continuous measurements. Stat Med, 2002,21: 3431-3446.
- [12] Grigg P. Peripheral-neural mechanisms in proprioception. Sport Rehabil, 1994,3:2-17.
- [13] Tyldesling B, Greve JJ. Muscles nerves and movement: kinesiology in daily living Boston. Blackwell Scientific Publications, 1989:268-284.
- [14] Freeman MA, Dean MR, Hanham IW. The etiology and prevention of functional instability of the foot. J Bone Joint Surg Br, 1965,47:678-685.
- [15] Gajdosik RL, Bohannon RW. Clinical measurement of range of motion: review of goniometry emphasizing reliability and validity. Phys Ther, 1987,67:1867-1872.
- [16] 王雪强, 俞卓伟, 刘静, 等. 老年人两侧踝关节本体感觉及其与肌力的相关性研究. 中国康复医学杂志, 2011, 26:623-626.
- [17] Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, et al. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: a prospective study. Am J Sports Med, 1999,27:699-706.

(修回日期:2011-12-28)

(本文编辑:汪 玲)