

Reliability of the Electronic Walkway for the Measurement of Temporospatial Parameters of Gait

LIU Zhi^{1,2}, YANG Xianjun^{1,2}, YAO Zhiming^{1,2}, SUN Yining¹, LUNG Chiwen^{1*}

(1. The Key Laboratory of Biomimetic Sensing and Advanced Robot Technology, Institute of Intelligence Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;
2. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: The purpose of this paper was assessing the reliability of the electronic walkway via the walking kinematics parameters. Thirty seven male volunteers between the ages of 21 and 32 years were recruited for this study. All participants in this study were able-bodied individuals. The step length, cadence, and velocity were obtained while walking speed at the self-selected slow, normal, and fast. The results showed that the reliability of the temporospatial gait parameters in the electronic walkway was excellent. It also showed the number of walking trials needed to achieve the reliability coefficient at 0.75 and 0.9 respectively. To achieve the reliability coefficient at 0.9, at least 3 measurement trials should be made while the gait research used the electronic walkway.

Key words: reliability; electronic walkway; self-selected speed; kinematics parameters

EEACC: 7230J; 0170Q

电子步道在步态时空参数测量中的可靠性

刘 志^{1,2}, 杨先军^{1,2}, 姚志明^{1,2}, 孙怡宁¹, 龍希文^{1*}

(1. 安徽省仿生感知与先进机器人技术重点实验室, 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031;
2. 中国科学技术大学自动化系, 合肥 230027)

摘 要: 评估电子步道在步行运动学参数采集中的可靠性。37 名男性志愿者参与到实验中, 年龄在 21 岁到 32 岁之间, 所有受测者都是健康的个体。在实验中, 分别以自选的慢走、正常走和快走三个模式采集步行中的步长、步频和步速。研究结果显示电子步道在测量步态时空参数时具有很高的可靠性, 还展示了可靠系数分别达到 0.75 和 0.9 所需的测试次数。当利用电子步道采集不同速度模式下的步态参数用于实验研究时(可靠系数大于 0.9), 至少需要 3 次测量。

关键词: 可靠性; 电子步道; 自选速度; 运动学参数

中图分类号: TP212.1; G434

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2010)07-0913-05

步行是一个由包括神经、生理感知、骨骼和视觉等多个系统同时配合的连续过程^[1], 步行也是所有运动技巧中最熟练的一种^[2]。因此, 它是目前临床中能采集到的重复性很高的一种运动模式^[2]。足印法是一种古老的采集步行运动学参数的方法, 受测者赤足并在足底涂上黑墨汁后在白纸上行走, 步行时间和距离同时被记录下来并以此计算出步行的运动学参数^[3-4], 操作简单但工作量大。电子步道是国外在采集步态的时间和空间参数时一种流行的测量仪器, 它可靠而且方便, 很多学者已经评估和验证了 GAITRiteRR 电子步道的有效性和可靠性^[5-10]。中科院合肥智能机械研究所运动与健康

信息技术研究中心研发的电子步道已应用于国家田径管理中心和一些省级田径队的跳远和短跑项目中^[11], 但尚未用于步行运动中的运动学参数测量。

任何一台新的仪器, 都应在使用前评估它的可靠性, 尤其用于研究目的^[12-13]。因此, 必须评估电子步道的可靠性, 并给出获得高可靠性所必须的重复测量次数。本文验证了电子步道的可靠性, 为以后使用该电子步道的研究者提供了很好的质量参考。

步行时, 步长、步频和姿态会随步行速度而改变^[2,14,17]。有研究表明, 每个人都有其特有的步行速度, 以该速度行走时消耗的能量最小^[1-2]。因此, 自选速度是评估步行能力的一个很好的指示器^[14]。

虽然可以将步行速度限定在一个常数值,很多学者还是选择在自选速度下进行研究^[14-17]。本文中,我们也要求受测者以自选速度进行实验。

本文有两个目的:考察自选速度下的慢走、正常走和快走模式对步长、步频和步速的影响;考察电子步道的可靠性。

1 方法

1.1 实验对象

37名男性志愿者参与本实验,年龄在21岁到32岁之间,受测者的基本信息如表1所示。所有受测者均没有任何影响步态的下肢疾病,也没有疼痛等可能影响步行的不舒适情况。受测者同时也填写了健康状况调查表,确认是否适合本实验。

表1 受测者的基本信息(N=37)

	均值	(标准差)	最小值	最大值
年龄/y	25.300	(2.100)	21.000	32.000
身高/m	1.709	(0.070)	1.585	1.865
体重/kg	65.800	(8.600)	50.000	87.000

1.2 实验仪器

采用中科院合肥智能机械研究所运动与健康信息技术研究中心研发的电子步道作为测量仪器^[11]。电子步道长10 m宽1 m,其有效的测试区域长8 m宽1 m,大量的压力传感器以阵列的方式水平地嵌入在两个塑胶夹层中间,构成压力传感器阵列,每1.25 cm²一个传感器,共64 000个压力传感器。电子步道的系统采样频率是100 Hz,通过CAN卡与一台笔记本电脑连接。当受测者在电子步道上走过时,压力传感器由于受压而闭合,信号采集单元根据压力传感器的闭合情况采集电子步道上的信息,将时间和步点信息同步记录下来并上传到PC机。然后在PC机上利用专门的分析软件计算得到受测者的步长、步频和速度等参数。

实验环境类似一个田径跑道,长14 m宽8 m。测试系统的示意图如图1所示。图中的灰色区域为电子步道,在其起始端和末端各预留了2 m的距离

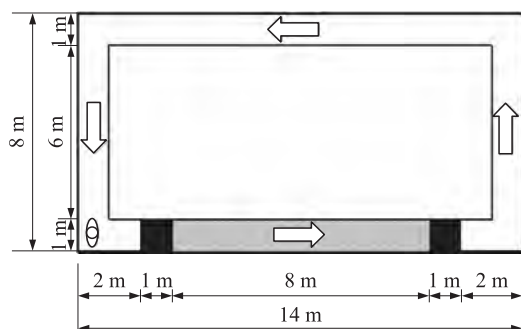


图1 测试系统示意图

以保证受测者能很好的控制自己的速度。

1.3 实验步骤

现场测量每个受测者的身高和体重,并记录其真实年龄。所有受测者被要求正常衣着,赤足参加测试。先进行5 min的热身运动以适应场地环境,之后受测者沿电子步道测试系统逆时针方向绕行,以保证受测者在受测区域内能处在稳定的状态。每个受测者都要求以自选速度下的慢走、正常走和快走三种模式进行测试。测试时,慢走、正常走和快走的顺序是随机的。每种模式下,每个受测者都要求步行10圈,共获得10组测量记录。

1.4 数据处理

步态信息采集完成后,步态的时间和空间参数由预先编制好的软件分析和计算得到。本文考察步态的3个参数:步长、步频和步速。步长是指一只脚的后跟着地点到另一只脚的后跟着地点之间的直线距离。步频是指从一只脚的后跟着地到另一只脚的后跟着地的时间间隔的倒数。步速的是指当前的步长除以时间间隔,即步速等于步长乘以步频。

1.5 统计分析

对步态的三个参数分别进行了方差分析(ANOVA)。因为每个受测者都是在三个自选的速度模式(慢走、正常走和快走)下进行测试的,因此把三个模式作为自变量,选择Post hoc检验方法中的Tukey进行多参数检验。如果方差分析的结果是显著的,则表示该因变量和步行速度是相关的, α 值设为1%。

对电子步道在各个步行速度下可靠性的评估采用组内相关系数(ICC),其置信区间为95%。ICC是衡量和评价观察者间信度(Inter-observer Reliability)和重测信度(Test-retest Reliability)的可靠系数(Reliability Coefficient)指标之一。Shrout和Fleiss建议的ICC基准为:ICC值低于0.4表示可靠性较差,大于0.75表示可靠性良好^[18]。临床和实验研究往往要求更高的可靠性,ICC值要求大于0.9^[12]。本文分析时把可靠系数为0.75和0.9分别作为目标值来考虑。

2 结果

2.1 步行速度的影响

对步态3个参数进行方差分析(ANOVA)的结果如表2所示,P值均小于0.01显示三个参数在三种自选速度模式下都具有显著的统计学差异。其均值和误差分布如图2所示,图中结果也表明,三个参数在三种自选速度模式下均有统计学差异,故在后面的可靠性分析中,必须分别考察三种速度模式下的可靠性。

表 2 步长、步频和步速三个参数的方差分析(ANOVA)结果

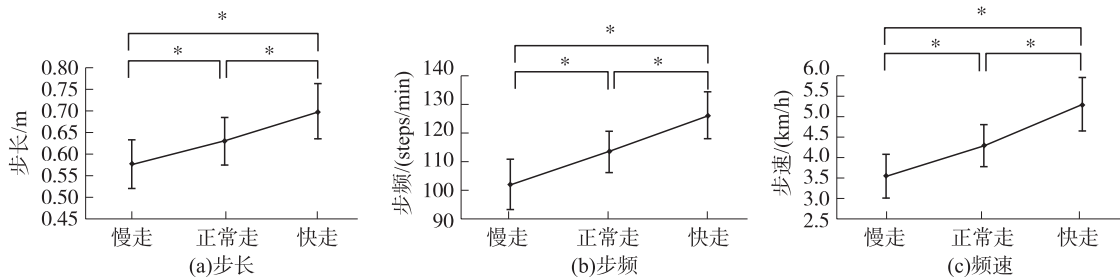
	慢走(37人)	正常走(37人)	快走(37人)	慢走 - 正常走 快走 - 正常走 慢走 - 快走			
	均值 ± 方差	均值 ± 方差	均值 ± 方差	p	p	p	p
步长/m	0.577 ± 0.057	0.631 ± 0.056	0.699 ± 0.063	0.000 *	0.000 *	0.000 *	0.000 *
步频/(steps · min ⁻¹)	102.2 ± 8.7	113.6 ± 7.4	126.3 ± 8.2	0.000 *	0.000 *	0.000 *	0.000 *
步速/(km · h ⁻¹)	3.548 ± 0.539	4.301 ± 0.513	5.306 ± 0.652	0.000 *	0.000 *	0.000 *	0.000 *

* 表示在 α 为 0.01 的双侧检验中具有统计学差异。

2.2 可靠性

每个速度模式下均计算了 2 次测量到 10 次测量的可靠系数,其值和变化趋势如图 3 所示。表 3 中的数据是对图 3 中的 ICC 值分别要达到 0.75 和 0.9 所需

测量次数的统计结果。显而易见,为了满足 ICC 值为 0.75,慢走、正常走和快走模式下均只需要 2 次测量;而为了满足 ICC 值为 0.9,慢走模式下至少需要 3 次测量,正常走和快走模式下至少需要 2 次测量。



* 表示在 α 为 0.01 的双侧检验中具有显著差异

图 2 均值和误差线分布图

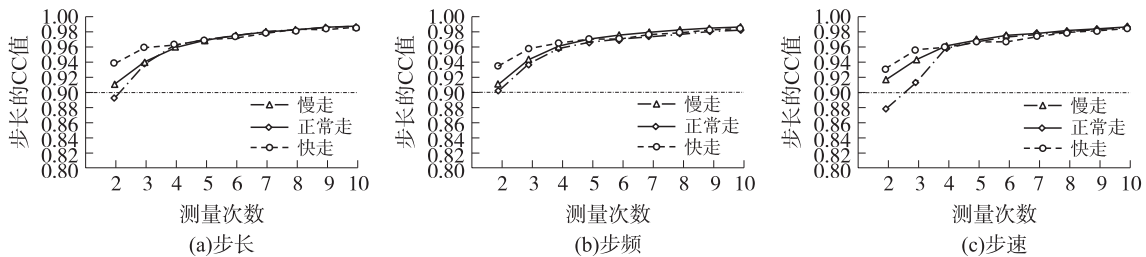


图 3 三个自选速度模式下,2 次测量到 10 次测量的 ICC 值分布和变化趋势图。

表 3 ICC 值分别达到 0.75 和 0.9 所需要的测量次数

可靠性	0.75			0.9		
	慢走	正常走	快走	慢走	正常走	快走
步长(次数)	2	2	2	3	2	2
步频(次数)	2	2	2	2	2	2
步速(次数)	2	2	2	3	2	2

3 讨论

本文研究获得的步态参数和已有研究结果(都是自选速度步行模式)的对比如表 4 所示。由对比可以看出,步长和步速都较以前的研究结果要小,但是这与也亚洲人种为实验对象的 Chiu 的研究结果吻合,他限定速度 3、4 和 5 km/h 分别为慢走、正常走和快走^[1]。显然,不同人种的结果会不一样^[19]。另外,我们要求受测者赤足在电子步道上接受测量,这可能也是导致步长相对较小的原因之一。

从对 3 个步态参数的方差分析(ANOVA)结果可知(如表 2 和图 2 所示),步长、步频和步速在三种自选速度模式下均具有显著的统计差异。本文得出步态参数随步行速度变化的结果和以前的研究结果也是一致的^[2,14,17]。

图 3 显示出,测量次数越多可靠性越高,但慢走模式下步速的可靠性例外,即 3 次测量的可靠性等于 4 次测量的可靠性,这有可能是自选速度的慢走模式不能完全控制在一个稳定的状态。尽管测试系统像一个环形的运动场,允许受测者在每个模式下不停顿的测量,但是受测者在每一圈还是会有不一样的稳定状态。在 Kernozek 的研究中也有类似的情况出现过,3 步的可靠性高于 4 步的可靠性^[13]。图 3 还显示出每个参数(步长、步频和步速)在自选的速度模式下,速度越快,可靠性越高,即快走的可靠性高于正常走的可靠性,而正常走的可靠性高于

慢走的可靠性。由图 3 也可以看出,正常走较其他两个模式的可靠性曲线要平滑得多,这有可能是正常走模式下的步频和下肢的本征步频一致^[2],从而调整较小。

表 4 当前研究结果和前人研究结果对比

作者	年龄	模式	步速(km/h)	步频(step/min)	步长(m)
Bilney et al., 2003 (Walkway)	40.5 ± 17.2 (13 males, 12 females)	慢走	3.996 ± 0.612	100.2 ± 8.5	0.670 ± 0.075
		正常走	5.292 ± 0.648	114.9 ± 6.5	0.765 ± 0.075
		快走	6.876 ± 0.936	132.6 ± 10.4	0.865 ± 0.090
Van Uden et al, 2004 (Walkway)	34 (12 males, 9 females)	慢走	-	-	-
		正常走	5.112 ± 0.720		0.778 ± 0.085
		快走	6.372 ± 0.612		0.869 ± 0.080
Menz et al, 2004 (Walkway)	28.5 ± 4.8 (12 males, 18 females)	正常走	5.184	114.48	0.773 (L) 0.771 (R)
Webster et al, 2005 (Walkway)	66.5 (5 males, 5 females)	慢走	-	-	-
		正常走	5.112 ± 0.720	118.3 ± 9.4	0.712 ± 0.086 0.723 ± 0.102
		快走	6.372 ± 0.720	135.7 ± 11.0	0.783 ± 0.120 0.794 ± 0.115
Chiu & Wang, 2005 (Force plate)	24.8 (15 males, 15 females)	慢走	3	101.0	-
		正常走	4	118.1	-
		快走	5	131.8	-
Present study, 2009 (Walkway)	25.3 ± 2.1 (37 males)	慢走	3.548 ± 0.539	102.2 ± 8.7	0.577 ± 0.057
		正常走	4.301 ± 0.513	113.6 ± 7.4	0.631 ± 0.056
		快走	5.306 ± 0.652	126.3 ± 8.2	0.699 ± 0.063

自选速度的正常走和快走模式下,步长、步频和步速的两次测量均具有高可靠性(ICC > 0.9),该结果和前人研究 GAITRite[®]电子步道可靠性的结果是一致的(均研究了自选速度的正常走和快走模式,每个模式下步长、步频和步速三个参数两次测量的 ICC 值均大于 0.9)^[6,9-10],而且比 Menz 只考虑正常走模式下的研究结果要好(ICC 为 0.83 到 0.92 之间)^[7]。表 3 给出了 ICC 值达到 0.75 和 0.9 所需要的测量次数,慢走模式下的步长和步速具有较差的可靠性,它需要 2 次测量来达到 ICC 值为 0.75,需要 3 次测量来达到 0.9,这是可以接受的。在 Hughes 的研究中,EMED F 压力测量系统需要 10 次测量来达到研究所需的高可靠性^[12];在 Kernozek 的研究中,置于鞋中的足底压力测量系统至少需要 8 次测量来达到研究的高可靠性要求^[13]。在本文的研究中,至少需要 3 次测量才能保证在不同的速度模式下都能满足研究的高可靠性要求(ICC > 0.9)。

本文将为其他研究者提供很好的参考,不足之处是受测者都是成年男性。Menz 的研究表明,GAI-

TRite[®]电子步道对年青人和老年人的测量结果没有显著的统计学差异,即受测者的年龄不会影响评估电子步道的可靠性^[7]。在 Chiu 的研究中,尽管在正常走时性别对步频没有显著影响,女性倾向于增加步长来达到预定的速度^[11],即男性和女性在步长上有不同的可靠性,但是在步频和步速上是一致的。因此,我们以后的工作将进一步研究受测对象的性别选择对验证电子步道可靠性是否有影响。

4 结论

本文验证了电子步道在采集步行时空参数时具有高可靠性,将对以后使用本仪器的研究者提供很好的参考。不同的速度模式将影响步长、步频和步速的可靠性。本文中,自选速度下的慢走、正常走和快走模式均具有很高的可靠性。将电子步道用于步行测试的实验研究中时,最少需要 3 次测量才能满足不同速度模式下的高可靠性要求。

参考文献:

- [1] Chiu MC, Wang MJ. The Effect of Gait Speed and Gender on Per-

- ceived Exertion, Muscle, Activity, Joint Motion of Lower Extremity, Ground Reaction Force and Heart Rate During Normal Walking [J]. *Gait Posture*, 2007, 25: 385-392. J
- [2] Jordan K, Challis JH, Newell KM, et al. Walking Speed Influences on Gait Cycle Variability [J]. *Gait Posture*, 2007, 26: 128-134.
- [3] Jasuja OP, Manjula. Estimation of Stature From Footstep Length [J]. *Forensic Sci Int*, 1993, 61: 1-5.
- [4] Jasuja OP, Harbhajan S, Anupama K, et al. Estimation of Stature From Stride Length While Walking Fast [J]. *Forensic Sci Int*, 1997, 86: 181-186.
- [5] Dusing SC, Thorpe DE. A Normative Sample of Temporal and Spatial Gait Parameters in Children Using the GAITRite Electronic Walkway [J]. *Gait Posture*, 2007, 25: 135-139.
- [6] Bilney B, Morris M, Webster K, et al. Concurrent Related Validity of the GAITRite Walkway System for Quantification of the Spatial and Temporal Parameters of Gait [J]. *Gait Posture*, 2003, 17: 68-74.
- [7] Menz HB, Latt MD, Tiedemann A, et al. Reliability of the GAITRite Walkway System for the Quantification of Temporo-Spatial Parameters of Gait in Young and Older People [J]. *Gait Posture*, 2004, 20: 20-25.
- [8] Thorpe DE, Dusing SC, Moore CG, et al. Repeatability of Temporo-spatial Gait Measures in Children Using the GAITRite Electronic Walkway [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, 86: 2342-2346.
- [9] Uden CJT, Besser MP. Test-Retest Reliability of Temporal and Spatial Gait Characteristics Measured with an Instrumented Walkway System (GAITRite) [J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2004, 5: 13-16.
- [10] Webster KE, Wittwer JE, Feller JA, et al. Validity of the GAITRite Walkway System for the Measurement of Averaged and Individual Step Parameters of Gait [J]. *Gait Posture*, 2005, 22: 317-321.
- [11] 撤涛,杨先军,马祖长,等. 基于数字跑道的田径训练信息采集和反馈系统的设计与实现 [J]. *体育科学*, 2008, 28(9): 70-73.
- [12] Hughes J, Pratt L, Linge K, et al. Reliability of Pressure Measurements: the EMED F system [J]. *Clin Biomech*, 1991, 6(1): 14-18.
- [13] Kermozeck TW, Lamott EE, Dancesak MJ, et al. Reliability of an In-Shoe Pressure Measurement System During Treadmill Walking [J]. *Foot Ankle Int*, 1996, 17(4): 204-209.
- [14] Rosenbaum D, Hautmann S, Gold M, et al. Effects of Walking Speed on Plantar Pressure Patterns and Hindfoot Angular Motion [J]. *Gait Posture*, 1994, 2(3): 191-197.
- [15] Plasschaert F, Jones K, Forward M, et al. Energy Cost of Walking: Solving the Paradox of Steady State in the Presence of Variable Walking Speed [J]. *Gait Posture*, 2009, 29: 311-316.
- [16] Teixeira-Salmela LF, Nadeau S, Milot MH, et al. Effects of Cadence on Energy Generation and Absorption at Lower Extremity Joints During Gait [J]. *Clin Biomech*, 2008, 23: 769-778.
- [17] Stansfield BW, Hillman SJ, Hazlewood ME, et al. Regression Analysis of Gait Parameters with Speed in Normal Children Walking at Self-Selected Speeds [J]. *Gait Posture*, 2006, 23: 288-294.
- [18] Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass Correlation: Uses in Assessing Rater Reliability [J]. *Psychol Bull*, 1979, 86(2): 420-428.
- [19] Braun S, Basquin L, Mery C. Some Remarks on the Contour of the Normal Foot [J]. *Rev Rheum Mal Osteoartic*, 1980, 47(2): 127-133.



刘志(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向为生物生理信息获取与特征分析, zhiliu@mail.ustc.edu.cn;



龍希文(1972-),男,1995年毕业于大叶工学院工业设计系获学士学位,1997年毕业于大同工学院工业设计所获硕士学位,2008年毕业于阳明大学医学工程所获博士学位。2009年起在中科院合肥智能机械所工作至今,博士后。主要研究方向为传感器技术与步态分析, dragon1234@gmail.com。