

## · 临床研究 ·

## 便携式步态分析与实验室步态分析时空参数的一致性研究

王盛 伍琦 朱奕 王彤

**【摘要】目的** 探讨便携式步态分析与实验室步态分析时空参数的一致性。**方法** 选取 15 例健康青年人,在同一天内分别进行便携式步态分析(Gait Watch 步态分析)和实验室步态分析(Motion Analysis 三维运动分析),记录其步频、步幅、步速、步长等时空参数,采用组内相关系数(ICC)、Bland-Altman 散点图等方法评定两种步态分析的一致性及差异。**结果** 便携式步态分析两次测量所得的时空参数之间比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ );便携式步态分析两次测量所得时空参数的 ICC 均较高,为 0.80~0.98,重测信度好。通过 Bland-Altman 法一致性检验,两种步态分析所得时空参数间的一致性较好,且步幅、步速、左步长、右步长间的差异具有统计学意义( $P<0.05$ ),超过了最小可测变化(MDC)(步幅=0.05 m、步速=0.12 m/s、左步长=0.03 m、右步长=0.04 m)。**结论** 便携式步态分析与实验室步态分析所得步频、步幅、步速、步长等时空参数的一致性较好,在临床步态评估中均具有重要意义。

**【关键词】** 一致性; 时空参数; 步态分析

**Agreement between portable and laboratory analyses of temporal and spatial gait parameters** Wang Sheng\*, Wu Qi, Zhu Yi, Wang Tong. \* Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, China

Corresponding author: Wang Tong, Email: wangtong60621@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the extent of agreement between measurements of temporal and spatial gait parameters made with portable gait analysis equipment and in the laboratory. **Methods** Fifteen healthy young people submitted to laboratory gait analysis using 3D motion analysis apparatus and then on the same day to analysis using the Gait Watch portable apparatus. Cadence, stride length, walking speed and step length were recorded. Intraclass correlation coefficients (ICCs) and Bland-Altman plots were used to evaluate the agreement between the two gait analyses. **Results** Test-retest comparisons with the Gait Watch apparatus generated ICCs for the temporal and spatial parameters ranging between 0.80 and 0.98, indicating good test-retest reliability. Bland-Altman plots comparing the two measurement systems also showed good agreement. According to paired simple t tests, the stride length, walking speed, and step length assessments with the two systems showed significant differences. All exceeded the minimum detection threshold (stride length=0.05 m, walking speed=0.12 m/s, left step length=0.03 m, right step length=0.04 m). **Conclusions** Measurements of cadence, stride length, walking speed and step length with the two systems yield acceptable agreement, and either can be used in clinical walking assessment.

**【Key words】** Gait parameters; Gait analysis; Gait Watch

在临床工作中,正确辨别步态、准确测量时空参数可帮助预判老年人和神经损伤患者的跌倒风险,对及时监测治疗进度、确定干预方案具有显著意义<sup>[1-2]</sup>。步态分析中,步速是评定患者病损程度的重要指标之一<sup>[3]</sup>。三维步态分析系统拥有多个标记点,可通过视觉运动捕捉系统(optical motion capture system, OMCS)

为步行参数测量提供客观数据,包括关节运动学指标<sup>[4]</sup>和时空参数<sup>[5]</sup>(如步长、步幅、步速等),但该系统的检查费用昂贵,需要特殊的三维摄像仪器辅助,对空间、环境、实验室场地要求严格,测量耗时<sup>[6]</sup>。有研究报道,国内有一种简便易操作的步态分析仪,同样可获得步态的时空参数,其稳定性和重复测量的信度均较好<sup>[7]</sup>。但对其所得参数的准确性还未进行研究。为此,本研究选取健康青年人,采用便携式步态分析仪与实验室三维步态分析仪采集相关时空参数,对其进行相关性分析,旨在明确便携式步态分析仪在实际应用中的可行性,为该项检测技术的临床应用提供理论依据。

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.08.013

基金项目:江苏省医学重点学科-江苏省人民医院康复医学科开放课题(XK201110)

作者单位:210000 南京,江苏省人民医院康复医学科(王盛、朱奕、王彤);南华大学附属第一医院(伍琦)

通信作者:王彤,Email:wangtong60621@163.com

## 资料与方法

### 一、研究对象

选取 15 例健康青年人,所有受试者均无下肢肌肉、骨骼、神经系统疾患,无严重的心脑血管疾病、无影响步行功能的疾病。15 例受试者中,男 8 例、女 7 例;平均年龄( $25.27 \pm 3.69$ )岁;平均身高( $165.93 \pm 8.26$ )cm;平均体重( $59.93 \pm 13.77$ )kg;平均下肢长度( $79.73 \pm 5.47$ )cm。向所有受试者告知本研究的目的、过程及可能对人体造成的影响,并签署知情同意书。

### 二、测试设备

1. 实验室步态分析:采用美国产 Motion Analysis 三维运动分析系统进行测试<sup>[8]</sup>。该设备具有 6 台红外摄像机组成的红外摄像系统(motion capture camera system),采集频率为 60 ~ 120 Hz,运动分析实验室的长×宽为 10 m×6 m,相机固定于距地面平均高度为 2.2 m 的墙上或三角架上,摄像机可向左、上下调节,视角 > 56°,分辨率 > 1/60 000。系统的定标采用 1 个直角定标架和 1 个长约 0.5 cm 的定标杆,经过主控计算机系统软件处理后,定标杆的长度标准差控制在 0.6 mm 内。

2. 便携式步态分析:采用中国产 Gait Watch 三维步态分析系统进行测试<sup>[9]</sup>。该系统由 7 个传感器和 1 个电脑主机组成,传感器内含加速度计、陀螺仪等惯性测量模块和高性能嵌入式微处理器数据采集处理模块,分别绑定在患者髌骨、双侧股骨外侧、双侧胫骨内侧和双侧脚背处。系统硬件数据的采样频率为 500 Hz,能同步采集患者骨盆、髌、膝、踝各关节在矢状面、冠状面和垂直面的运动数据,并将其通过无线传输技术实时同步到电脑软件中进行步态分析。

### 三、测试方法

测试前,向受试者解释测试过程及注意事项,使患者充分理解并配合。受试者在同一天内分别进行实验室步态分析(Motion Analysis 三维运动分析)和便携式步态分析(Gait Watch 步态分析),记录受试者的步频、步幅、步速及步长。男性受试者在检测时穿短裤,女性受试者检测时穿短裤和背心。所有研究过程由 3 名研究者共同完成,其中 1 名具有 6 年工作经验的康复医师负责三维运动分析系统的定标、采集并分析每例受试者在走道上 16 个步行周期的数据;另 1 名具有 2 年

以上临床工作经验的治疗师负责 Gait Watch 步态分析仪数据的采集;剩余 1 名康复医学专业的研究生负责进行受试者的筛选、评估、入组及沟通等工作。

1. Motion Analysis 三维运动分析:将 26 个红外线反光标记球置于受试者身体的骨性标记点,开启实验室设备,定标完成后,要求受试者在三维运动分析实验室内 6 m 的走道上以自然步速行走。正式测试前,先让受试者在走道上来回行走 4 次,以适应步行环境。

2. Gait Watch 步态分析:在实验室外走廊内进行便携式步态测试,设置长约 12 m 的走道,作为步态测试场所。先进行环境校准,以确定磁场干扰的强弱程度,角度偏差 < 20°,然后进行 7 个传感器的安装、佩戴和定位,最后进行受试者姿态校准,以确保所测数据的精确性。嘱受试者以自然步速行走,连续记录 2 次。正式测试前,受试者需在走道上来回行走 4 次,以适应步行环境。

### 四、统计学分析

采用 SPSS 13.0 版与 MedCalc 12.0 版统计学软件进行数据处理,采用 Bland-Altman 法分析两种步态分析的一致性<sup>[10]</sup>;通过配对 *t* 检验分析两种步态分析之间是否具有显著性差异,计算最小可测变化(minimal detectable change, MDC)<sup>[11]</sup>和组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC),ICC 值在 0.80 ~ 1.00 表示重测信度好,0.60 ~ 0.79 表示重测信度可接受,0.40 ~ 0.59 表示重测信度中等, < 0.40 表示重测信度很差<sup>[12]</sup>。95% 可信区间为 1.96, *P* < 0.05 表示差异有统计学意义。

## 结 果

便携式步态分析两次测量所得的时空参数之间比较,差异无统计学意义(*P* > 0.05);与便携式步态分析比较,除步频外,实验室步态分析所得步幅、步速、右步长、左步长均较低,差异有统计学意义(*P* < 0.05),详见表 1。受试者以自然步速行走时,便携式步态分析两次测量所得时空参数的 ICC 均较高,在 0.80 ~ 0.98,表示重测信度好,详见表 2。经过 Bland-Altman 法一致性检验,发现便携式步态分析与实验室步态分析所得时空参数间的一致性较好,详见表 3、图 1 ~ 5。通过配对 *t* 检验,发现两种方法所得时空参数中步幅、步速、左步长、右步长间的差异具有统计学意义(*P* < 0.05),且超过了 MDC,详见表 4。

表 1 便携式步态分析与实验室步态分析时空参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

| 项目      | 例数 | 时空参数          |                          |                          |                          |                          |
|---------|----|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|         |    | 步频(step/min)  | 步幅(m)                    | 步速(m/s)                  | 右步长(m)                   | 左步长(m)                   |
| 便携式步态分析 |    |               |                          |                          |                          |                          |
| 第 1 次测量 | 15 | 113.76 ± 8.71 | 1.29 ± 0.14              | 1.23 ± 0.17              | 0.65 ± 0.07              | 0.65 ± 0.07              |
| 第 2 次测量 | 15 | 112.94 ± 7.52 | 1.28 ± 0.14              | 1.19 ± 0.17              | 0.64 ± 0.07              | 0.64 ± 0.07              |
| 实验室步态分析 | 15 | 111.53 ± 9.15 | 1.17 ± 0.10 <sup>a</sup> | 1.07 ± 0.13 <sup>a</sup> | 0.58 ± 0.06 <sup>a</sup> | 0.59 ± 0.05 <sup>a</sup> |

注:与便携式步态分析比较,<sup>a</sup>*P* < 0.05

表 2 便携式步态分析的重测信度

| 时空参数 | ICC  | 95% ICC     |
|------|------|-------------|
| 步频   | 0.80 | 0.49 ~ 0.93 |
| 步幅   | 0.98 | 0.95 ~ 1.00 |
| 步速   | 0.93 | 0.80 ~ 0.98 |
| 右步长  | 0.96 | 0.88 ~ 0.99 |
| 左步长  | 0.97 | 0.92 ~ 0.99 |

表 3 Bland-Altman 法一致性检验 ( $\bar{x} \pm s$ )

| 时空参数 | Bland-Altman 法一致性 |
|------|-------------------|
| 步频   | $1.40 \pm 7.18$   |
| 步幅   | $1.40 \pm 7.18$   |
| 步速   | $1.40 \pm 7.18$   |
| 右步长  | $6.41 \pm 5.62$   |
| 左步长  | $5.47 \pm 6.31$   |

表 4 便携式步态分析与实验室步态分析的 MDC 比较

| 时空参数配对                | MDC               |
|-----------------------|-------------------|
| 便携式步态分析步频-实验室步态分析步频   | 7.83              |
| 便携式步态分析步幅-实验室步态分析步幅   | 0.05 <sup>a</sup> |
| 便携式步态分析步速-实验室步态分析步速   | 0.12 <sup>a</sup> |
| 便携式步态分析右步长-实验室步态分析右步长 | 0.04 <sup>a</sup> |
| 便携式步态分析左步长-实验室步态分析左步长 | 0.03 <sup>a</sup> |

注: MDC 比较, <sup>a</sup> $P < 0.05$

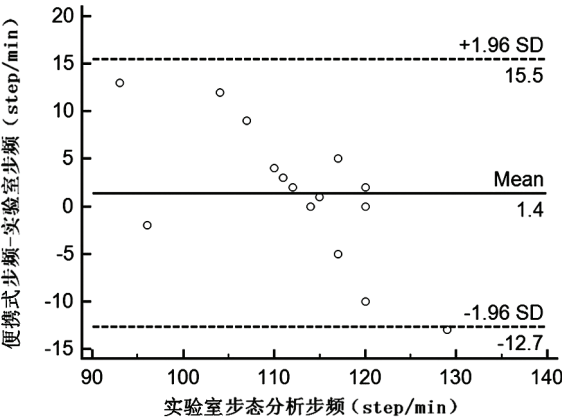


图 1 步频的 Bland-Altman 散点图

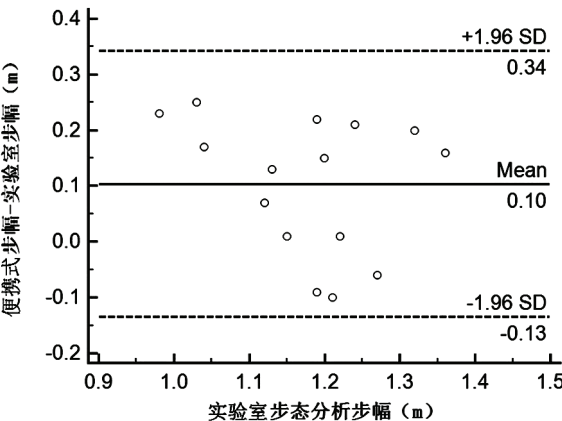


图 2 步幅的 Bland-Altman 散点图

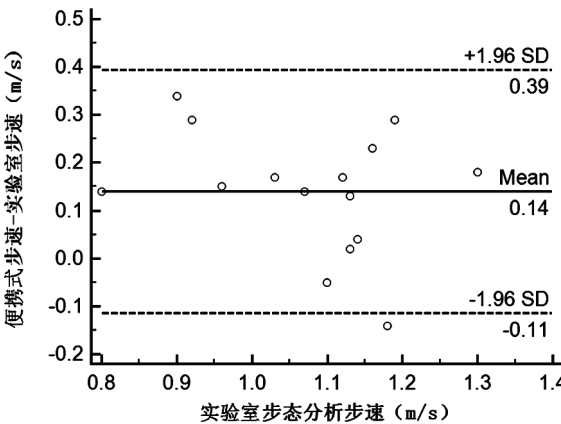


图 3 步速的 Bland-Altman 散点图

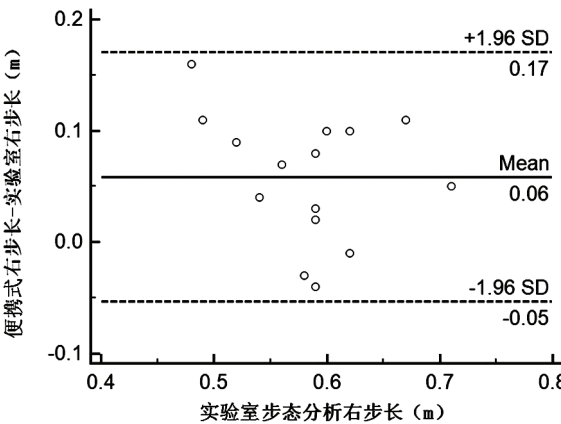


图 4 右步长的 Bland-Altman 散点图

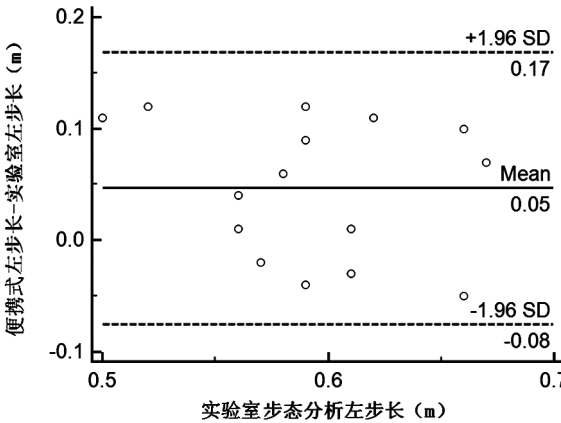


图 5 左步长的 Bland-Altman 散点图

## 讨 论

临床上,自然步速是评定人体行走功能的良好指标之一<sup>[13-15]</sup>。步行功能会随着损伤或疼痛加重而下降,也会随着功能恢复而提高。有研究指出,步行功能与步态周期参数(步速等)相关,可作为筛查老年人平衡与移动性功能障碍的敏感指标之一<sup>[16-17]</sup>。

与实验室步态分析所用的三维步态分析系统相比,便携式步态分析仪操作简单、价格低廉。为了验证其临床应用的可行性,需先评测该系统的稳定性,即重

复测量的一致性 & 准确性。经过统计学检测,发现 Gait Watch 步态分析仪时空参数中步频、步幅、步速及步长的重测信度较好,ICC 为 0.80 ~ 1.00,说明 Gait Watch 步态分析仪的测量稳定性较好。通常情况下,大多数研究采用测量方法间的差异值来反映一致性是否良好,故本研究选用 Bland-Altman 法<sup>[18]</sup>中的 95% 一致性限度来检验两种步态分析的一致性。便携式步态分析与实验室步态分析所得步频差异可产生 7.96 step/min 的最大误差范围(95% CI 为 -2.58 ~ 5.38 step/min),其差异均值为 1.40 step/min,未超过 MDC,而两种方法所得步幅差异可产生 0.13 m 的最大误差范围(95% CI 为 0.04 ~ 0.17m),差异均值为 0.1 m;步速差异可产生 0.14 m/s 的最大误差范围(95% CI 为 0.07 ~ 0.21 m/s),差异均值为 0.14 m/s,其步幅和步速差异均超过了 MDC。在步幅、步速及步长等时空参数方面,两种步态分析方法存在差异,推测可能与以下原因有关:①从研究设计的角度考虑,便携式步态分析及三维运动分析的传感器应同时佩戴在受试者的身体上,从而同步测定数据,以避免误差,但两种测定方法所要求的检测环境不同,所以差异难以避免;②三维步态分析作为步态分析的金标准,主要依赖于 OMCS,测定时一般要求不少于 4 ~ 6 台摄像机,而红外线摄像机越多,其可测的空间范围越大;测试时配置有 6 台摄像机,且需在固定空间内完成测试,随意增加测试走道的长度会引起摄像机的捕捉脱漏,导致数据采集不充分;三维步态分析的走道长度约为 6 m,而 Gait Watch 分析系统的走道长度约为 12 m,在预期实验时,本研究将 22 个标记和 7 个传感器同时佩戴于受试者身体上,结果发现摄像机无法完成所有标记点的捕捉,导致数据不能有效采集;③便携式步态分析的走道为 12 m,测试空间较为开阔,有可能使受试者的时空参数略大于实验室环境内的测量值,导致差异产生;④本研究所得的时空参数均是以 1 个步行周期为标准,三维步态分析系统在测量数据时,需在虚拟模型中人工校正足跟离地和足跟着地,而便携式步态分析可自动识别肢体内传感器的角度变化,两种方法间存在一定的测量差异。

综上所述,便携式步态分析与实验室步态分析所得步频、步幅、步速、步长等时空参数的一致性较好。与实验室三维步态分析系统比较,Gait Watch 简易步态分析仪具有操作简单、对测试场地无特殊要求等优点,在步态的测试评估中具有重要意义,值得临床推广、应用。

## 参 考 文 献

[1] Dobbs RJ, Charlett A, Bowes SG, et al. Is this walk normal[J]. Age

Ageing, 1993, 22(1): 27-30.

- [2] 励建安,孟殿怀. 步态分析的临床应用[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(7): 500-503.
- [3] Shinkai S, Watanabe S, Kumagai S, et al. Walking speed as a good predictor for the onset of functional dependence in a Japanese rural community population[J]. Age Ageing, 2000, 29(5): 441-446.
- [4] Miller DJ, Stergiou N, Kurz MJ. An improved surrogate method for detecting the presence of chaos in gait[J]. J Biomech, 2006, 39(15): 2873-2876.
- [5] Alice N, Fabienne C, Anne-Marie W, et al. Does freezing in Parkinson's disease change limb coordination[J]. J Neurol, 2007, 254(9): 1268-1277.
- [6] Toro B, Nester CJ, Farren PC. The status of gait assessment among physiotherapists in the United Kingdom[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2003, 84(12): 1878-1884.
- [7] 伦亿禧,王强,张永祥. 功能性电刺激与踝足矫形器改善脑卒中偏瘫患者步行功能的疗效对比[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2014, 36(5): 357-360.
- [8] 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[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(3): 216-222.
- [9] 姜文文,谭志梅,燕铁斌. 功能性电刺激对脑卒中后患者步行的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2012, 34(11): 868-870.
- [10] 王盛,朱晓军,朱奕,等. 骶骨定标法检测脑卒中偏瘫患者平衡功能的信度及效度分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2013, 35(4): 273-277.
- [11] Youdas JW, Hollman JH, Aalbers MJ, et al. Agreement between the GAITRite walkway system and a stopwatch-footfall count method for measurement of temporal and spatial gait parameters[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2006, 87(12): 1648-1652.
- [12] Srebnik DS, Uehara E, Smukler M, et al. Psychometric properties and utility of the problem severity summary for adults with serious mental illness[J]. Psychiatr Serv, 2002, 53(8): 1010-1017.
- [13] Cutlip RG, Mancinelli C, Huber F, et al. Evaluation of an instrumented walkway for measurement of the kinematic parameters of gait[J]. Gait Posture, 2000, 12(2): 134-138.
- [14] McDonough A L, Batavia M, Chen FC, et al. The validity and reliability of the GAITRite system's measurements: a preliminary evaluation[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82(3): 419-425.
- [15] Roth EJ, Merbitz C, Mroczek K, et al. Hemiplegic gait. Relationships between walking speed and other temporal parameters[J]. Am J Phys Med Rehabil, 1997, 76(2): 128-133.
- [16] Andriacchi TP, Ogle JA, Galante JO. Walking speed as a basis for normal and abnormal gait measurements[J]. J Biomech, 1977, 10(4): 261-268.
- [17] Harada N, Chiu V, Damron-Rodriguez JA, et al. Screening for balance and mobility impairment in elderly individuals living in residential care facilities[J]. Phys Ther, 1995, 75(6): 462-469.
- [18] 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(1): 40-42.

(修回日期:2014-07-30)

(本文编辑:凌 琛)