

不同大脑半球损伤脑卒中患者双下肢足底压力参数差异分析

https://doi.org/10.12307/2022.887

王耀霆¹, 卢燕¹, 姚佳琴², 杨春花¹, 徐文静¹, 王红雨³

投稿日期: 2021-12-04

采用日期: 2022-01-13

修回日期: 2022-02-10

在线日期: 2022-03-11

中图分类号:

R496; R318; R871

文章编号:

2095-4344(2022)35-05646-06

文献标识码: B

文章快速阅读:

对象:

- △ 11例右脑损伤患者
- △ 15例左脑损伤患者
- △ 12名健康受试者



观察指标:

- (1) 对称指数 SI: 健患侧全足接触面积, 各独立区域的平均及最大压力, 健患侧压力中心摆动轨迹面积及位移;
- (2) 身体压力中心摆动轨迹面积及位移。

分析结果:

- (1) 对比健康组, 左、右脑半球损伤患者的前掌、足跟平均及最大压力 SI 值升高, 且根据大脑损伤侧不同和视觉输入与否, 升高表现部位有所差异;
- (2) 对比健康组, 左脑半球损伤患者的摆动轨迹椭圆面积 SI、左右位移 SI 值明显降低, 且根据视觉输入与否, 降低表现部位有所差异;
- (3) 对比健康组, 左、右脑半球损伤患者在闭眼状态下的身体压力中心摆动轨迹椭圆面积、前后及左右位移幅度明显增大; 右脑半球损伤患者闭眼时前后位移幅度较睁眼时明显变大, 左脑半球损伤患者闭眼时椭圆面积、前后及左右位移幅度较睁眼时明显变大。

文题释义:

大脑半球损伤: 在临床诊断中, 脑卒中类型通常分为脑梗死和脑出血, 根据脑内病灶位置不同亦分为右脑半球侧损伤和左脑半球侧损伤。一般情况下, 因上运动神经元受牵连, 一侧大脑半球损伤患者往往伴随着对侧上、下肢功能障碍, 其中包括平衡功能障碍。

足底压力: 人体在保持静态站立时, 由于自身重力作用, 双足会受到接触地面传来的一个垂直向上的反作用力, 即为足底压力。足底压力设备可以检测人体动力学和运动学参数。一般健康人群左右侧足底压力参数较为对称, 且足底压力中心动态图像变化区域较为集中, 而脑卒中患者往往因患侧下肢功能受损, 左右侧足底压力参数呈现出不对称、压力中心图像显示波动范围较大等特点, 因此, 足底压力可以有效反映该两种人群下肢的受力特点。

摘要

背景: 足底压力可有效评估脑卒中后静态站立平衡功能, 不同大脑半球损伤可能会造成不同的足底压力表现。

目的: 探究不同大脑半球损伤脑卒中患者、健康人群静态站立下足底压力参数的差异性。

方法: 纳入蚌埠医学院第一附属医院收治的11例右脑损伤与15例左脑损伤脑卒中患者, 招募蚌埠医学院第一附属医院及其周边的12名健康受试者, 采用Footwork动态足部测力台检测受试者静态站立时的足底动力学(平均及最大压力对称指数值)及运动学参数(压力中心摆动轨迹, 包括椭圆面积和前后、左右位移, 以及与其对应的对称指数值), 每次持续10 s, 共测量3次, 取平均值。

结果与结论: ①睁眼状态下, 与健康对照组比较, 右脑损伤组前掌平均压力对称指数值升高($P < 0.05$), 左脑损伤组前掌最大压力、足跟平均及最大压力对称指数值升高($P < 0.05$); ②闭眼状态下, 与健康对照组比较, 右脑损伤组前掌平均压力、足跟平均及最大压力对称指数值升高($P < 0.05$, $P < 0.01$); ③与健康对照组比较, 左脑损伤组睁眼状态下的椭圆面积和左右位移对称指数值、闭眼状态下的左右位移对称指数值降低($P < 0.05$, $P < 0.01$); ④与健康对照组对应状态下的指标比较, 左、右脑损伤组闭眼状态下的椭圆面积、前后及左右位移幅度均增大($P < 0.05$, $P < 0.01$); ⑤与睁眼状态下的对应指标比较, 右脑损伤组闭眼状态下的前后位移幅度增大($P < 0.01$), 左脑损伤组闭眼状态下的椭圆面积、前后及左右位移幅度均增大($P < 0.01$); ⑥结果显示, 右或左脑半球损伤的大部分脑卒中患者将体质量压在健侧以维持身体平衡, 患侧前掌和足跟的受力低于健侧; 排除单侧空间忽略因素, 左脑损伤患者患侧在左右平衡控制上弱于健侧, 且静态站立稳定性受视觉信息影响更大。

关键词: 脑卒中; 左右脑; 动力学参数; 运动学参数; 对称指数; 足底压力; 睁眼; 闭眼; 静态平衡

Differential analysis of plantar pressure parameters of lower limbs in stroke patients with different cerebral hemispheric injuries

Wang Yaoting¹, Lu Yan¹, Yao Jiaqin², Yang Chunhua¹, Xu Wenjing¹, Wang Hongyu³

¹Graduate School, ²Nursing College, ³Health Fitness Center, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

Wang Yaoting, Master candidate, Graduate School of Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

Corresponding author: Wang Hongyu, Professor, Master's supervisor, Health Fitness Center of Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

蚌埠医学院, ¹研究生院, ²护理学院, ³健康体适能中心, 安徽省蚌埠市 233030

第一作者: 王耀霆, 女, 1998年生, 河南省安阳市人, 汉族, 蚌埠医学院在读硕士, 主要从事神经系统疾病的运动健康与促进研究。

通讯作者: 王红雨, 教授, 硕士生导师, 蚌埠医学院健康体适能中心, 安徽省蚌埠市 233030

https://orcid.org/0000-0002-6227-0327 (王耀霆)

基金资助: 安徽省教育厅高校科学研究重大项目(SK2020ZD32), 项目负责人: 王红雨; 蚌埠医学院研究生科研创新计划项目

(Byycx21009), 项目负责人: 王耀霆

引用本文: 王耀霆, 卢燕, 姚佳琴, 杨春花, 徐文静, 王红雨. 不同大脑半球损伤脑卒中患者双下肢足底压力参数差异分析 [J].

中国组织工程研究, 2022, 26(35):5646-5651.



Abstract

BACKGROUND: Plantar pressure can effectively assess static standing balance function after stroke. Different hemispheric injuries may cause different plantar pressure performance.

OBJECTIVE: To explore the difference in plantar pressure parameters under static standing in stroke patients with different hemispheric injuries and healthy people.

METHODS: A total of 11 stroke patients with right brain injury (RHD group), 15 stroke patients with left brain injury (LHD group), and 12 healthy subjects (healthy group) were selected from the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College. A footwork dynamic foot force platform was used to detect the plantar dynamic (mean and maximum pressure symmetry index and their corresponding asymmetry index values) and kinematic parameters (center of pressure sway trajectories, including ellipse area, anteroposterior and mediolateral displacement, and corresponding symmetry index values) of each subject during static standing. Each measurement lasted for 10 seconds. Three measurements were conducted in total and their mean values were calculated.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Compared with the healthy group, the mean pressure symmetry index of the forefoot in the RHD group, the maximum pressure symmetry index of the forefoot, and the mean and maximum pressure symmetry indexes of the heel in the LHD group were significantly increased under eyes-open conditions ($P < 0.05$). (2) Compared with the healthy group, there was a significant increase in the mean pressure symmetry index of the forefoot and the mean and maximum pressure symmetry indexes of the heel in the RHD ($P < 0.05$) as well as in the maximum pressure symmetry index of the forefoot and the mean and maximum pressure symmetry indexes of the heel in the LHD group ($P < 0.05$, $P < 0.01$) under eyes-closed conditions. (3) The ellipse area and mediolateral displacement symmetry index in the eyes-open state and the mediolateral displacement symmetry index in the eyes-closed state were significantly decreased in the LHD group compared with the healthy group ($P < 0.05$, $P < 0.01$). (4) The ellipse area and anteroposterior and mediolateral displacement amplitudes were significantly increased in the RHD and LHD groups compared with the healthy group under eyes-closed conditions ($P < 0.05$, $P < 0.01$). (5) Compared with the eyes-open conditions, the anteroposterior displacement amplitude was significantly increased in the RHD group under the eyes-closed conditions, and the ellipse area and anteroposterior and mediolateral displacement amplitudes were significantly increased in the LHD group under the eyes-closed conditions ($P < 0.01$). (6) To conclude, most stroke patients with left or right hemispheric injury shift their body mass to the healthy side to maintain the body balance, and the force magnitudes of the forefoot and heel are lower on the affected side than the healthy side. Irrespective of unilateral spatial neglect factors, patients with left hemispheric injury have worse balance control on the affected side than the healthy side, and visual information has a greater influence on their static standing stability.

Key words: stroke; left and right brain; dynamic parameter; kinematic parameter; symmetry index; plantar pressure; eyes open; eyes closed; static balance

Funding: the Major Scientific Research Project of Colleges and Universities of Anhui Provincial Education Department, No. SK2020ZD32 (to WHY); the Postgraduate Research Innovation Program of Bengbu Medical College, No. Byycx21009 (to WYT)

How to cite this article: WANG YT, LU Y, YAO JQ, YANG CH, XU WJ, WANG HY. Differential analysis of plantar pressure parameters of lower limbs in stroke patients with different cerebral hemispheric injuries. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2022;26(35):5646-5651.

0 引言 Introduction

脑卒中是全球第二大常见的死亡原因和主要致残原因^[1]。脑卒中后遗留的肢体运动障碍和功能减退存在直接联系，即下肢力量与平衡控制、步行功能相关，因此下肢运动障碍康复最终目的即运动恢复与行走改善。足底压力可有效评价与神经、外皮和肌肉骨骼系统等相关的多种下肢疾病^[2]，其中可通过检测安静站立平衡控制过程中的健患侧不对称程度来预测脑卒中患者行走过程中的不对称性，从而评估患者的跌倒风险^[3-4]。

脑卒中类型可被划分为右脑半球侧损伤和左脑半球侧损伤，国外已有相关研究证明脑卒中患者自身或与健康人群双足间的足底压力参数存在显著差异^[5-6]。此外，有研究表明右脑损伤患者平衡控制能力较差^[7-8]。然而也有相关研究表明，左脑损伤患者表现出比右脑损伤患者更明显的平衡障碍与功能独立性障碍^[9]。脑卒中后偏瘫患者健患侧的足底压力参数有所不同^[10-12]，但上述研究在文中并未提及是否排除单侧空间忽略这一认知因素，且未针对健患侧足底压力参数分别进行探讨。

因此，此次研究将采用 Footwork 动态足部测力台设备检测右或左脑半球损伤且认知水平相近的脑卒中患者及健康人群双侧足底压力参数，并在睁眼、闭眼两种状态下进行比较，探究不同大脑半球损伤脑卒中患者双下肢足底压力参数的差异以及出现差异的可能原因，分析健患侧下肢各自的贡献占比大小，为脑卒中患者跌倒的预防、评估、治疗提供一定依据。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 对比观察试验，横断面研究，组间比较采用单因素 ANOVA 检验、两独立样本 t 检验、Mann-Whitney U 检验、

Kruskal-Wallis H 检验等。

1.2 时间及地点 试验于 2021 年 3-10 月在蚌埠医学院第一附属医院康复医学科完成。

1.3 对象 纳入蚌埠医学院第一附属医院康复医学科或神经内科的 26 例脑卒中患者，包括 11 例右脑损伤患者与 15 例左脑损伤患者。在蚌埠医学院第一附属医院及其周边招募 12 名健康受试者。所有受试者及其家属对试验内容悉知并同意签署知情同意书。研究已经蚌埠医学院第一附属医院伦理委员会批准 (批件号: 2021KY046)。

1.3.1 脑卒中患者

纳入标准: ①符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》^[13]界定的脑卒中标准; ②初次发病并伴随单侧肢体障碍 (右脑损伤伴有左侧瘫痪, 左脑损伤伴有右侧瘫痪); ③病况稳定, 病程 ≤ 12 个月; ④患者年龄 40-78 岁; ⑤下肢经 Brunnstrom 评估处于 II - V 期者; ⑥不需任何外界辅助单次可站立 10 s 者; ⑦简易精神状态评价量表 (MMSE) 总分 ≥ 24 分者; ⑧下肢惯用侧为右侧, 且为右利手者; ⑨对研究内容知悉并签署知情同意书者。

排除标准: ①伴有明显认知、听觉或视觉障碍者; ②有严重脏器病变及心肌梗死、未控制高血压等并发症者; ③患有药品也无法控制的精神疾病者; ④下肢缺失或本身存在肌肉骨骼系统疾病者; ⑤合并小脑损伤等者。此外, 右脑损伤组应排除患有单侧空间忽略的患者。

1.3.2 健康受试者

纳入标准: ①无下肢运动性损伤病史者; ②年龄 40-78 岁者; ③不需任何外界辅助单次可站立 10 s 者; ④下肢惯用侧为右侧, 且为右利手者; ⑤对研究内容知悉并签署知情同意书者。

排除标准: ①自行矫正后仍伴有明显听觉或视觉障碍者;

②具有大体可见的下肢畸形(如经过热身仍发生的真性长短腿、拇外翻等)者。

1.4 方法

1.4.1 测量设备 采用苏州好博医疗器械有限公司生产的Footwork动态足部测力台。测力板尺寸为645 mm×520 mm×25 mm,传感器数量共4 096个,采集频率达200 Hz,类型为电容式。

1.4.2 测量过程 选取安静、宽敞且光线充足的房间,将测力板平铺于坚硬地板上。受试者脱掉鞋袜后踩在测力板中央并处于自然站立位,放松且注视正前方2 m处和双眼在同一水平线的红色标志。嘱被测者在测定流程中维持站立稳定,双眼注视正前方。待安静片刻后开始测量(睁眼或闭眼状态下),每次测量持续10 s,不同状态下共测量3次,取平均值,测量间隔给予受试者休息时间。整个过程中受试者不应注视电脑屏幕,以免影响测量数据的准确性。

1.4.3 数据采集和分析 采集人员需选择静态分析方式采集数据,所得数据经配套软件Footwork Pro 5.1.13.1转换分析后,以获取相应的参数图像。将全足划分为3个独立区域:前掌、足弓、足跟,见图1, 2。睁眼和闭眼状态下,需提取的具体数值包括:①健患侧全足接触面积(cm²);②健患侧前掌平均及最大压力(kPa);③健患侧足弓平均及最大压力(kPa);④健患侧足跟平均及最大压力(kPa);⑤健患侧足底压力中心摆动轨迹面积(cm²)及位移(cm);⑥身体压力中心摆动轨迹面积(cm²)及位移(cm)。此外,分别计算每位受试者①②③④⑤的对称指数SI值。

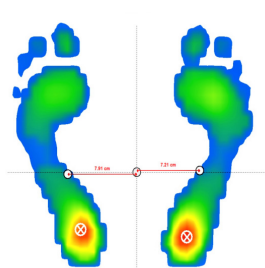
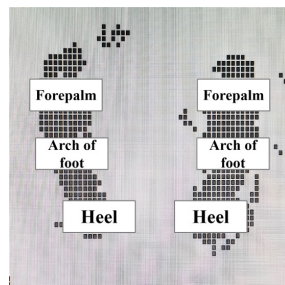


图1 | 足底压力数据采集图像
Figure 1 | Plantar pressure data acquisition images



图注:分前掌(Forepalm)、足弓(Arch of foot)、足跟(Heel)3个区域
图2 | 足底压力区域划分
Figure 2 | Division of plantar pressure areas

1.5 主要观察指标 睁眼和闭眼状态下:①动力学参数:双侧全足接触面积对称指数值、各独立区域的平均及最大压力对称指数值;②运动学参数:双侧足底压力中心摆动轨迹面积及位移对称指数值、身体压力中心摆动轨迹面积及位移。

在健康受试者中,非优势侧代表患侧,优势侧代表健侧。

$$SI = \frac{\text{健侧(非瘫痪肢体)值}}{\text{健侧值} + \text{患侧(瘫痪肢体)值}}$$

对称指数SI值范围为0-1,该比值无单位。“SI=0.5”表示健、患侧肢体的参数值相等(即完全对称);若对称指

数值大于0.5,则该观察指标的健侧值大于患侧值,健侧对双下肢平衡的参与贡献度较大,反之较小。

1.6 统计学分析 所有数据均采用SPSS 26.0软件处理。表格中采用非参数检验的数据均以中位数(四分位间距) $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示,采用参数检验的数据若受上述表示影响,则均表示为 $M(P_{25}, P_{75})$,否则均表示为 $\bar{x} \pm s$ 。①参数检验:2组间符合正态分布及方差齐性的计量资料采用两独立样本t检验;3组间符合正态分布及方差齐性的计量资料采用单因素ANOVA检验,事后两两比较采用Bonferroni法;组内数据符合正态分布的计量资料采用配对样本t检验。②非参数检验:2组间非正态分布或非方差齐性的计量资料采用Mann-Whitney U检验;3组间非正态分布或非方差齐性的计量资料采用Kruskal-Wallis H检验,两两比较采用Bonferroni法校正调整显著性值;组内数据非正态分布的计量资料采用Wilcoxon符号秩检验。③计数资料均采用卡方检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。该文统计学方法已经蚌埠医学院生物统计学专家审核。

1.7 出版规范 该研究遵守《非随机对照临床试验研究报告指南》(TREND声明)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入26例脑卒中患者、12名健康受试者,所有对象受试过程中依从性较好,均无意外事件发生,全部进入结果分析。

2.2 试验分组流程 见图3。

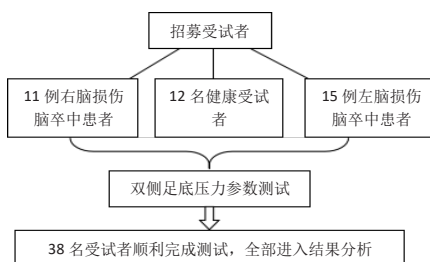


图3 | 试验分组流程图

Figure 3 | Flow chart of patient assignment

2.3 各组受试者基线资料比较 3组受试者在性别、年龄、简易精神状态评价量表评分、身高、体质量、类型、病程、Brunnstrom分期方面比较差异均无显著性意义($P > 0.05$),体质量指数比较差异有显著性意义($P < 0.05$),见表1。

2.4 各组动力学参数对称指数值的对比 见表2。

与健康对照组对应状态下的指标比较,右脑损伤组睁眼状态下的前掌平均压力对称指数值升高($P < 0.05$),闭眼状态下前掌平均压力、足跟平均及最大压力对称指数值均升高($P < 0.05$)。与健康对照组对应状态下的指标比较,左脑损伤组睁眼状态下的前掌最大压力、足跟平均及最大压力对称指数值明显升高($P < 0.05, P < 0.01$),在闭眼状态下的前掌最大压力、足跟平均及最大压力对称指数值明显升高($P < 0.05, P < 0.01$)。与睁眼状态下的对应指标比较,右脑损伤组和左脑

表 1 | 各组受试者一般资料比较

Table 1 | Comparison of general data of the subjects

项目	右脑损伤组 (n=11)	左脑损伤组 (n=15)	健康对照组 (n=12)	P 值
男 / 女 (n)	8/3	13/2	6/6	0.127
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	62.73±8.73	55.47±9.70	56.42±9.57	0.137
MMSE 得分 ($\bar{x} \pm s$, 分)	26.55±1.92	27.53±1.51		0.154
身高 ($\bar{x} \pm s$, m)	1.69±0.06	1.70±0.07	1.67±0.07	0.529
体质量 ($\bar{x} \pm s$, kg)	64.45±7.78	68.00±10.64	72.25±10.79	0.185
体质量指数 ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	22.65±2.46	23.35±2.68	25.69±2.63	0.019
梗死 / 出血 (n)	6/5	9/6		1.000
病程 [M(P ₂₅ , P ₇₅), d]	110.00(53.00, 136.00)	34.00(21.00, 133.00)		0.287
Brunnstrom 分期 (II / III / IV / V, n)	2/3/5/1	3/8/3/1		0.514

表注: MMSE 为简易精神状态评价量表

表 2 | 睁眼和闭眼状态下各组受试者动力学参数的对比

[M(P₂₅, P₇₅), 对称指数值]

Table 2 | Comparison of dynamic parameters among groups under eyes-open and eyes-closed conditions

项目	睁眼状态下					
	右脑损伤组 (n=11)	左脑损伤组 (n=15)	健康对照组 (n=12)	F/H 值	P 值	
接触面积	0.51(0.49, 0.54)	0.50(0.48, 0.54)	0.52(0.49, 0.54)	0.10	0.902	
前掌平均压力	0.57(0.46, 0.69) ^a	0.52(0.47, 0.64)	0.48(0.44, 0.51)	7.17	0.028	
前掌最大压力	0.56(0.51, 0.65)	0.57(0.49, 0.67) ^a	0.48(0.43, 0.50)	4.89	0.013	
足弓平均压力	0.61(0.41, 0.63)	0.59(0.43, 0.90)	0.52(0.48, 0.55)	1.87	0.392	
足弓最大压力	0.56(0.52, 0.64)	0.57(0.43, 0.78)	0.51(0.49, 0.57)	1.72	0.423	
足跟平均压力	0.60(0.48, 0.78)	0.61(0.55, 0.76) ^a	0.50(0.48, 0.52)	9.11	0.011	
足跟最大压力	0.60(0.44, 0.80)	0.61(0.55, 0.75) ^a	0.49(0.45, 0.53)	8.59	0.014	

项目	闭眼状态下					
	右脑损伤组 (n=11)	左脑损伤组 (n=15)	健康对照组 (n=12)	F/H 值	P 值	
接触面积	0.53(0.49, 0.59)	0.49(0.48, 0.54)	0.52(0.50, 0.53)	3.33	0.189	
前掌平均压力	0.58(0.51, 0.67) ^a	0.55(0.48, 0.62)	0.50(0.46, 0.53) ^a	6.74	0.034	
前掌最大压力	0.53(0.49, 0.66)	0.56(0.50, 0.65) ^a	0.48(0.44, 0.51) ^c	7.42	0.025	
足弓平均压力	0.61(0.53, 0.80)	0.55(0.49, 0.91)	0.53(0.48, 0.56)	6.77	0.092	
足弓最大压力	0.58(0.48, 0.67)	0.49(0.45, 0.71)	0.51(0.47, 0.57)	1.96	0.376	
足跟平均压力	0.61(0.52, 0.84) ^a	0.58(0.53, 0.75) ^a	0.49(0.48, 0.51)	10.62	0.005	
足跟最大压力	0.62(0.46, 0.71) ^a	0.60(0.54, 0.75) ^b	0.50(0.45, 0.52)	10.03	0.007	

表注: 经 Bonferrioni 法校正, 与健康对照组对应状态下的指标比较, ^aP < 0.05, ^bP < 0.01; 与健康对照组睁眼状态下对应指标比较, ^cP < 0.05, ^dP < 0.01

损伤组闭眼状态下时所有动力学参数对称指数值无明显变化 (P > 0.05), 健康对照组闭眼状态下的前掌平均及最大压力对称指数值明显增大 (P < 0.05, P < 0.01)。

2.5 各组受试者运动学参数对称指数值的对比 见表 3。

表 3 | 睁眼和闭眼状态下各组受试者运动学参数对比

[M(P₂₅, P₇₅), 对称指数值]

Table 3 | Comparison of kinematic parameters among groups under eyes-open and eyes-closed conditions

项目	睁眼状态下					
	右脑损伤组 (n=11)	左脑损伤组 (n=15)	健康对照组 (n=12)	F/H 值	P 值	
椭圆面积	0.57(0.32, 0.77)	0.37(0.18, 0.61) ^a	0.75(0.53, 0.78)	7.71	0.021	
前后位移	0.60(0.39, 0.63)	0.48(0.42, 0.61)	0.54(0.50, 0.59)	0.61	0.736	
左右位移	0.47(0.41, 0.68)	0.36(0.22, 0.50) ^b	0.69(0.57, 0.74)	6.34	0.004	

项目	闭眼状态下					
	右脑损伤组 (n=11)	左脑损伤组 (n=15)	健康对照组 (n=12)	F/H 值	P 值	
椭圆面积	0.67(0.45, 0.85)	0.50(0.22, 0.72)	0.63(0.49, 0.74)	3.68	0.159	
前后位移	0.65(0.41, 0.74)	0.58(0.44, 0.69)	0.54(0.42, 0.61)	0.74	0.482	
左右位移	0.55(0.45, 0.67)	0.37(0.26, 0.54) ^b	0.61(0.57, 0.68)	12.55	0.002	

表注: 经 Bonferrioni 法校正, 与健康对照组对应状态下的指标比较, ^aP < 0.05, ^bP < 0.01

与健康对照组对应状态下的指标比较, 左脑损伤组睁眼状态下的椭圆面积、左右位移对称指数值明显降低 (P < 0.05, P < 0.01), 闭眼状态下的左右位移对称指数值明显降低 (P < 0.01)。与健康对照组对应状态下的指标比较, 右脑损伤组睁眼及闭眼状态下的所有运动学参数对称指数值无明显变化 (P > 0.05)。与睁眼状态下的对应指标比较, 3 组闭眼状态下的所有运动学参数对称指数值均无明显变化 (P > 0.05)。

2.6 各组受试者身体压力中心摆动轨迹的对比 见表 4。

表 4 | 睁眼和闭眼状态下各组受试者身体压力中心摆动轨迹的对比

[M(P₂₅, P₇₅)]

Table 4 | Comparison of center of pressure sway trajectories among three groups under eyes-open and eyes-closed conditions

项目	睁眼状态下					
	右脑损伤组 (n=11)	左脑损伤组 (n=15)	健康对照组 (n=12)	F/H 值	P 值	
椭圆面积 (cm ²)	2.11(0.53, 4.15)	2.11(0.80, 2.81)	0.77(0.50, 1.42)	5.24	0.073	
前后位移 (cm)	1.21(0.76, 1.61)	1.14(0.62, 1.47)	0.66(0.61, 0.91)	6.33	0.042	
左右位移 (cm)	2.22(0.88, 3.25)	2.18(1.27, 2.69)	1.43(1.01, 1.83)	2.05	0.144	

项目	闭眼状态下					
	右脑损伤组 (n=11)	左脑损伤组 (n=15)	健康对照组 (n=12)	F/H 值	P 值	
椭圆面积 (cm ²)	2.77(0.96, 5.19) ^b	3.33(1.80, 4.49) ^{bc}	0.76(0.53, 0.84)	17.60	0.000	
前后位移 (cm)	1.64(0.96, 2.02) ^{bc}	1.71(0.97, 1.99) ^{bc}	0.65(0.61, 0.77)	17.18	0.000	
左右位移 (cm)	2.15(1.26, 3.58) ^a	2.57(1.77, 3.00) ^{bc}	1.28(0.88, 1.43)	16.95	0.000	

表注: 经 Bonferrioni 法校正, 与健康对照组对应状态下的指标比较, ^aP < 0.05, ^bP < 0.01; 与同组内睁眼状态下的对应指标比较, ^cP < 0.01

与健康对照组对应状态下的指标比较, 右脑损伤组闭眼状态下身体压力中心摆动轨迹的椭圆面积、前后及左右位移幅度明显增大 (P < 0.05, P < 0.01), 左脑损伤组闭眼状态下身体压力中心摆动轨迹的椭圆面积、前后及左右位移幅度明显增大 (P < 0.01)。与睁眼状态下的对应指标比较, 右脑损伤组闭眼状态下的前后位移幅度明显变大 (P < 0.01), 左脑损伤组闭眼状态下身体压力中心摆动轨迹的椭圆面积、前后及左右位移幅度明显变大 (P < 0.01)。

3 讨论 Discussion

导致平衡功能缺陷的原因包括运动障碍、感觉缺失、知觉缺陷或空间认知改变等。参与特定调节身体平衡回路的大脑皮质主要有初级运动皮质、前额叶皮质和辅助运动区^[8, 14]。NIAM 等^[15]使用足底压力探究发现, 脑卒中患者安静站立时睁眼、闭眼状态下足底压力中心摆动轨迹与临床平衡量表之间存在相关性。有研究表明, 偏瘫患者安静站立时的足底压力参数与步态时空参数如步行速度、单支撑相比例、步长等显著相关, 并可有效预测亚急性期偏瘫患者在恢复期的整体步态功能^[16]。对称指数常用作反映双下肢足底压力参数的对称程度, 比单独分析下肢健侧或患侧情况要更能评估肢体相对的贡献程度^[3]。HENDRICKSON 等^[3]的研究发现, 患肢负重贡献度降低与步态不对称程度增加相关。压力中心被定义为身体合力作用点, 是评价身体平衡能力的一个重要指标, 其摆动轨迹所包络的椭圆面积、身体前后及左右方向上的摆动幅度可定量分析脑卒中后偏瘫患者的姿势稳定水平^[12, 17-18]。

脑卒中后一侧肢体瘫痪可由右脑半球损伤或左脑半球损伤所致。右脑在维持安静平衡稳定方面具有突出地位,其更多地参与了压力中心摆动轨迹的精确控制,在右脑损伤后患者常发生视觉空间障碍、注意力障碍和情绪障碍^[6, 8, 19-20]。左脑为优势半球,其初级皮质运动区(M1)的感觉-运动数据处理通过与大脑其他部分更广泛和更密集的连接网络进行,且左侧皮质脊髓系统兴奋性较高,连接更密集的左侧运动网络,可能对恢复过程具有一定优势。同时左半球具有更深的中央沟,则有更高质量的运动表现^[21-22],左脑损伤除可影响患者语言功能外,还可影响肢体目标性运用。国外有研究证实左、右大脑半球在维持身体姿势平衡中扮演着分工不同的角色^[22],国内虽已有相关研究表明脑卒中患者与健康人群的足底压力存在差异,但仍未有相关文献将大脑不同半球分开探究^[23-24]。右脑损伤和左脑损伤后的临床表现、功能障碍及恢复模式存在一定差异,可能分别以不同的代偿方式影响患者下肢运动功能,因此,有必要分别探究不同大脑半球损伤脑卒中患者与健康人群之间足底压力参数的差异。

3.1 不同半球损伤脑卒中患者动力学参数对称指数值探讨分析 对称指数可反映下肢负重不对称程度。相比健康对照组,睁眼时,右脑损伤组前掌平均压力对称指数值明显升高($P < 0.05$),左脑损伤组前掌最大压力、足跟平均及最大压力对称指数值均明显升高($P < 0.05$);闭眼时,右脑损伤组前掌平均压力、足跟平均及最大压力对称指数值明显升高($P < 0.05$),左脑损伤组前掌最大压力、足跟平均及最大压力对称指数值均明显升高($P < 0.05$, $P < 0.01$)。一般情况下,脑卒中后偏瘫患者非瘫痪侧肢体负重较多,从此次研究结果来看,2个脑卒中亚组间动力学参数对称指数比较差异并无显著性意义,而右脑损伤患者在睁眼状态下的前掌最大压力、足跟平均及最大压力对称指数值,闭眼状态下的前掌最大压力对称指数值升高幅度略小于左脑损伤组患者,因此右脑损伤患者患侧前掌和足跟负重略多于左脑损伤患者患侧,前掌和足跟成为左脑损伤患者双侧下肢负重最不对称的部位。健侧前掌和足跟峰值压力的出现可能与健侧下肢在负重过程中更强的肌肉收缩有关,这被视为一种增加健侧躯体感觉输入和肌肉输出并促进维持直立姿势的适应性策略。脑卒中后患者站立时患侧募集的腓肠肌单位扩大,这将进一步使患者站立控制受损加重,在受到外界扰动瞬间患者将丧失快速而强烈的肌肉反应以恢复平衡稳定^[8, 12, 25-27]。

有文献表明,相比左脑损伤患者,右脑损伤患者体质量在双下肢间的转移能力变差,其体质量较为集中在患侧下肢^[28],这与此次研究结果一致,由于右脑半球在损伤后,同侧受损皮质将获得周围皮质更多募集帮助,患侧功能可能得到同侧大脑皮质的一部分支持,因此使得此次结果出现一定差异^[29-30]。另一方面,倾斜综合征是一种常发生在右脑损伤脑卒中患者中的疾病,其表现为患者将体质量移向患侧并主动抵抗尝试将姿势纠正为直立,这种不对称的站立位可能与持续的垂直错误感知相关,并通常在脑卒中恢复的早期

阶段消退,但仍可能在脑卒中后3-6个月持续存在。此次研究中,右脑损伤组患者无法被确定是否以往患有倾斜综合征,这可能会导致患者一开始过多的将身体质量偏向患侧,并在恢复过程中形成惯性状态,与健康人群将负重较多地压在非优势侧这一情况保持一致,从而造成结果差异无显著性意义^[5, 31]。患者在康复过程中不断锻炼学习,并注入更多注意力,有数据显示约12%的脑卒中患者患肢负重显著高于健肢^[10],这可能是右脑损伤组和左脑损伤组之间数据差异不显著的潜在原因之一。

此外,足底压力负重不对称性不是身体不平衡的主要原因,该特性的出现并非只是由于患侧下肢肌力较弱无法承受大量体质量,更有可能是一种有效的机体代偿策略^[12, 26]。即使存在双下肢负重不对称性,脑卒中患者仍更倾向于一种自我调整的适应性平衡状态,而动力学参数能否真正反映脑卒中患者平衡功能,还有待进一步深入研究。

3.2 不同半球损伤脑卒中患者运动学参数对称指数值与整体运动学参数探讨分析 压力中心摆动轨迹是所有运动学参数中最为全面的评价指标。有文献证实,右侧大脑中动脉区域内的脑损伤对脑卒中患者内外侧(代表压力中心摆动轨迹左右位移)姿势稳定有消极影响,在慢性右侧大脑中动脉梗死患者中,其运动能力更依赖于大脑中动脉区域外非梗死区域内的灰质体积补偿^[29, 32]。在此次纳入的脑卒中患者中,右脑损伤组有4例大脑中动脉损伤梗死患者(1例不详),左脑损伤组有7例大脑中动脉损伤梗死患者(2例不详),在两组患者中分别占比36%和47%。另一项研究表明,左侧大脑中动脉梗死患者比右侧大脑中动脉梗死患者发生率更高,且左脑损伤患者病情更严重,结果更差^[33]。此次研究结果显示,左脑损伤组患者足底压力中心摆动轨迹位移幅度在左右方向上更加不对称,其患侧下肢的不稳定程度高于健侧,这可能与患者注意力有关,一般情况下患者会刻意保持患侧负重,但当注意力被外界因素分散时,又会将重力自然压在健侧下肢,从而导致了患侧的不稳,此时患者将优先选择控制姿势稳定而非均匀的体质量分布。健侧下肢产生的踝关节力矩比体质量均匀分布更能有效地控制质量中心,并且在闭眼时这种体质量不对称现象会变得更加明显,虽然会导致姿势摆动增加,但同样是一种平衡适应性策略^[25-26, 34]。与健康对照组相同状态下的对应指标相比,右脑损伤组和左脑损伤组的身体压力中心摆动轨迹面积、前后左右方向位移明显增大,可以看出当健侧下肢无法有效代偿因患侧不稳所导致的身体失衡时,会最终导致患者整体姿势不稳,因此每侧下肢对参与平衡都很重要。

此次研究未发现左、右大脑半球损伤患者之间的显著差异,其原因可能为:①纳入患者初始损伤程度或病程长短不一;②样本量较小;③统计学方法选取不同,不同大脑半球损伤患者分别以不同的方式代偿了平衡控制缺陷。此外,此次研究为控制与结果明显相关联的可能变量,排除了患有单侧忽略的右脑损伤患者,这是与其他相关研究纳入标准所不

同的地方。上述提示,在临床上应更加重视脑卒中患者双下肢共同康复训练,这样既有利于患者保持站立姿势,又能有效缩短患者的功能恢复周期,并防止跌倒等危险事件的发生。

3.3 结论 总之,右或左脑半球损伤的大部分脑卒中患者将体质量压在健侧以维持身体平衡,患侧前掌和足跟的受力低于健侧;排除单侧空间忽略因素,左半球损伤患者患侧在左右平衡控制上弱于健侧,且静态站立稳定性受视觉信息影响更大。因此,在临床实践中应重视脑卒中患者患侧前掌及足跟的受力大小、左脑损伤患者患侧左右平衡控制的强弱程度。此外,闭眼状态下的康复锻炼也应得到重视,以改善患者下肢负重不对称性和平衡控制缺陷为具体目标,并根据不同大脑半球损伤脑卒中患者平衡特点给予个性化指导。

3.4 研究的不足与展望 研究也存在一定不足之处,如样本量较小、个体间存在个性化差异等,因此未来应加大样本量进行此类研究,并探寻与之相关的因素。

致谢: 感谢蚌埠医学院第一附属医院所有参与该项研究的医护人员;感谢苏州好博医疗器械有限公司提供的足底压力设备。

作者贡献: 王耀霆负责方案设计;王耀霆、卢燕、杨春花负责方案实施;王耀霆、姚佳琴负责数据收集和整理;徐文静、王红雨负责技术指导。

利益冲突: 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] CAMPBELL BCV, KHATRI P. Stroke. *Lancet*. 2020;396(10244):129-142.
- [2] SHARIFIFAR S, SHUSTER JJ, BISHOP MD. Adding electrical stimulation during standard rehabilitation after stroke to improve motor function. A systematic review and meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2018; 61(5):339-344.
- [3] HENDRICKSON J, PATTERSON KK, INNESS EL, et al. Relationship between asymmetry of quiet standing balance control and walking post-stroke. *Gait Posture*. 2014;39(1):177-181.
- [4] EHRHARDT A, HOSTETTLER P, WIDMER L, et al. Fall-related functional impairments in patients with neurological gait disorder. *Sci Rep*. 2020; 10(1):21120.
- [5] MARTINS EF, DE ARAUJO BP, DE MENEZES LT, et al. Is it correct to always consider weight-bearing asymmetrically distributed in individuals with hemiparesis? *Physiother Theory Pract*. 2011;27(8):566-571.
- [6] SPINAZZOLA L, CUBELLI R, DELLA SS. Impairments of trunk movements following left or right hemisphere lesions: dissociation between apraxic errors and postural instability. *Brain*. 2003;126(Pt 12): 2656-2666.
- [7] RUSU L, PAUN E, MARIN MI, et al. Plantar Pressure and Contact Area Measurement of Foot Abnormalities in Stroke Rehabilitation. *Brain Sci*. 2021;11(9):1213.
- [8] FERNANDES CA, COELHO DB, MARTINELLI AR, et al. Right cerebral hemisphere specialization for quiet and perturbed body balance control: Evidence from unilateral stroke. *Hum Mov Sci*. 2018;57:374-387.
- [9] CHEN LC, CHENG PT, HU AL, et al. Balance evaluation in hemiplegic stroke patients. *Chang Gung Med J*. 2000;23(6):339-347.
- [10] MANSFIELD A, DANIELS CJ, ZETTEL JL, et al. Determinants and consequences for standing balance of spontaneous weight-bearing on the paretic side among individuals with chronic stroke. *Gait Posture*. 2013;38(3):428-432.

- [11] BAKALKIN G, NOSOVA O, SARKISYAN D, et al. Unilateral traumatic brain injury of the left and right hemisphere produces the left hindlimb response in rats. *Exp Brain Res*. 2021;239(7):2221-2232.
- [12] TALIS VL, KAZENNIKOV OV. Effects of body turn on postural sway during symmetrical and asymmetrical standing. *Exp Brain Res*. 2019; 237(9):2231-2237.
- [13] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. *中华神经科杂志*, 2019,52(9):710-715.
- [14] TASSEEL-PONCHE S, YELNIK AP, BONAN IV. Motor strategies of postural control after hemispheric stroke. *Neurophysiol Clin*. 2015; 45(4-5):327-333.
- [15] NIAM S, CHEUNG W, SULLIVAN PE, et al. Balance and physical impairments after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(10): 1227-1233.
- [16] CHOI H, KIM WS. Anterior-posterior displacement of center of pressure measured by insole foot pressure measurement system in subacute recovery stage of post-stroke hemiplegia. *Technol Health Care*. 2018;26(4):649-657.
- [17] HILLIER S, LAI MS. Insole plantar pressure measurement during quiet stance post stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2009;16(3):189-195.
- [18] 魏孟田,及化娟,李立. 足底压力测试技术在不同人群中的应用 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010,14(50):9425-9428.
- [19] GÜNTÜRKÜN O, STRÖCKENS F, OCKLENBURG S. Brain Lateralization: A Comparative Perspective. *Physiol Rev*. 2020;100(3):1019-1063.
- [20] HEILMAN KM, BOWERS D, VALENSTEIN E, et al. The right hemisphere: neuropsychological functions. *J Neurosurg*. 1986;64(5):693-704.
- [21] FRENKEL-TOLEDO S, FRIDBERG G, OFIR S, et al. Lesion location impact on functional recovery of the hemiparetic upper limb. *PLoS One*. 2019;14(7):e0219738.
- [22] FRENKEL-TOLEDO S, OFIR-GEVA S, MANSANO L, et al. Stroke Lesion Impact on Lower Limb Function. *Front Hum Neurosci*. 2021;15:592975.
- [23] 林强,陈武德,郑煜欣,等. 基于足底压力下睁闭眼对静态平衡功能的影响 [J]. *康复学报*, 2021,31(1):17-23.
- [24] 林强,郑煜欣,廖婉晨,等. 脑卒中患者静态平衡的足底压力分析 [J]. *中国康复理论与实践*, 2021,27(3):290-296.
- [25] PEREIRA LC, BOTELHO AC, MARTINS EF. Relationships between body symmetry during weight-bearing and functional reach among chronic hemiparetic patients. *Rev Bras Fisioter*. 2010;14(3):229-266.
- [26] ROERDINK M, GEURTS AC, DE HAART M, et al. On the relative contribution of the paretic leg to the control of posture after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2009;23(3):267-274.
- [27] VIEIRA TM, LEMOS T, OLIVEIRA LAS, et al. Postural Muscle Unit Plasticity in Stroke Survivors: Altered Distribution of Gastrocnemius' Action Potentials. *Front Neurol*. 2019;10:686.
- [28] ISHII F, MATSUKAWA N, HORIBA M, et al. Impaired ability to shift weight onto the non-paretic leg in right-cortical brain-damaged patients. *Clin Neurol Neurosurg*. 2010;112(5):406-412.
- [29] MANI S, MUTHA PK, PRZYBYLA A, et al. Contralateral motor deficits after unilateral stroke reflect hemisphere-specific control mechanisms. *Brain*. 2013;136(Pt 4):1288-1303.
- [30] VIDAL AC, BANCA P, PASCOAL AG, et al. Bilateral versus ipsilesional cortico-subcortical activity patterns in stroke show hemispheric dependence. *Int J Stroke*. 2018;1747493018767164.
- [31] DIETERICH M, BRANDT T. Global orientation in space and the lateralization of brain functions. *Curr Opin Neurol*. 2018;31(1):96-104.
- [32] CHEN IH, NOVAK V, MANOR B. Infarct hemisphere and noninfarcted brain volumes affect locomotor performance following stroke. *Neurology*. 2014;82(10):828-834.
- [33] HEDNA VS, BODHIT AN, ANSARI S, et al. Hemispheric differences in ischemic stroke: is left-hemisphere stroke more common? *J Clin Neurol*. 2013;9(2):97-102.
- [34] HUGUES A, DI MARCO J, RIBAUT S, et al. Limited evidence of physical therapy on balance after stroke: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2019;14(8):e0221700.

(责任编辑: GW, ZN, ZJP)