

· 临床研究 ·

脑卒中患者足底压力与步行能力的相关性分析

岳童 倪朝民 刘孟 陈进 杨洁 尹傲冉 王丽

【摘要】目的 探讨脑卒中后偏瘫患者的足底压力与步行能力(步速)之间的关系。**方法** 选取脑卒中偏瘫患者 30 例作为偏瘫组,与其相匹配的健康中老年人 30 例作为对照组,均采用步态与平衡功能评估系统进行步态检测和分析,获取步速、首次触地期和蹬离期的足底压力峰值、单支撑相压力中心位移(DCOP),并计算上述各项参数的不对称性,用两独立样本 *t* 检验分析比较 2 组各参数的差异,用 Pearson 相关性分析法分析步速与足底压力峰值及 DCOP 之间的相关程度。**结果** ①偏瘫组患者的步速明显慢于对照组[(0.32 ± 0.26) m/s vs (0.82 ± 0.35) m/s, $P < 0.05$];②与对照组相比,偏瘫组双下肢首次触地期的足底压力峰值[患侧(2.26 ± 0.89) kg/cm²,健侧(3.02 ± 0.27) kg/cm²]及患侧下肢蹬离期的足底压力峰值(3.67 ± 1.52) kg/cm²]均明显下降,单支撑相矢状面的 DCOP[患侧(3.24 ± 3.65) cm,健侧(4.18 ± 4.12) cm]亦减小,组间差异均有统计学意义($P < 0.05$);③偏瘫组足蹬离期、首次触地期的足底压力峰值和矢状面 DCOP(DCOP_x)的不对称性均较对照组增大($P < 0.05$),而冠状面 DCOP(DCOP_y)的不对称性与对照组比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);④应用 Pearson 相关分析显示,偏瘫患者的步速与双侧下肢的首次触地期、蹬离期的压力峰值及 DCOP 均呈正相关($r = 0.666 \sim 0.950$, $P < 0.01$)。**结论** 脑卒中偏瘫患者双侧足底压力峰值较健康人均有所下降,步行中的重心转移能力下降,且与步行能力(步速)之间有一定的相关性。

【关键词】 脑卒中; 偏瘫; 步态障碍; 神经性; 足底压力; 步行能力

Correlation between plantar pressure and walking ability in hemiplegic stroke survivors Yue Tong*, Ni Chaomin, Liu Meng, Chen Jin, Yang Jie, Yin Aoran, Wang Li. * Department of Rehabilitation Medicine, Affiliated Provincial Hospital, Anhui Medical University, Hefei 230001, China
Corresponding author: Ni Chaomin, Email: ahslyynchm@163.com

【Abstract】Objective To explore the correlation between plantar pressure and walking function in hemiplegic stroke patients. **Methods** Thirty hemiplegic patients with stroke (a hemiplegic group) and thirty age-matched healthy persons (a control group) were recruited. Gait and balance function training and assessment system (model: AL-600) were used to quantify the walking velocity, peak plantar pressure at heel-strike and push-off periods and displacement of center of pressure (DCOP) of all subjects during walking. The asymmetry of gait was calculated. Two independent sample *t*-test were used to compare the walking velocity, peak plantar pressure and DCOP for the two groups. Pearson correlation coefficients were applied to analyze the correlation between the walking velocity and peak plantar pressure and DCOP. **Results** The walking velocity, the peak plantar pressure at heel-strike and push-off periods and DCOP of the hemiplegic group were significantly lower than the control group. In the hemiplegic group, the asymmetry of peak plantar pressure and DCOP_x significantly increased, while that of DCOP_y became bigger without significant difference. Moreover, the walking capacity of the hemiplegic group was positively correlated with the peak plantar pressure and DCOP. **Conclusion** Among hemiplegic stroke patients, both the peak plantar pressure at heel-strike and push-off periods lower in a way. Their capacity of weight transfer decreases, which is closely related to their walking velocity.

【Key words】 Stroke; Hemiplegia; Gait disorders; Neurologic; Plantar pressure; Walking capacity

脑卒中后,患侧下肢负重能力下降、各关节运动协调障碍导致步态异常,患者日常生活和活动范围受到很大影响^[1],恢复和改善步行能力是患者及其家属最

主要的目标之一^[2]。通过观察和查阅相关文献发现,偏瘫患者步行过程中的足底压力异于健康人,但与步行能力的关系如何尚不明了。本研究主要探讨脑卒中偏瘫患者步行过程中足底压力峰值的改变及其与步行能力(步速)之间的关系,旨在为偏瘫患者步行能力的临床评估提供依据。

资料与方法

一、研究对象及分组

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2015.05.008

作者单位:230001 合肥,安徽医科大学附属安徽省立医院康复医学科(岳童、倪朝民、刘孟、陈进、王丽);安徽省第二人民医院康复科(杨洁);亳州市人民医院康复医学科(尹傲冉)

通信作者:倪朝民,Email:ahslyynchm@163.com

入选标准:①符合 1995 年全国第 4 届脑血管疾病会议制订的脑卒中诊断标准^[3],经头颅 CT 或 MRI 检查证实;②首次发病且伴有单侧偏瘫;③监护下可独立步行 10 m,能完成各项评测;④发病前为右利手;⑤签署知情同意书。

排除标准:①近期双侧或单侧下肢有手术、外伤、感染、骨肿瘤、风湿性关节炎等病史或症状者,先天性畸形如足外翻、高弓足、蹼外翻等;②有严重的心、肺、肝、肾功能不全;③严重的认知障碍,简易智力状态检查量表^[4]评分 ≤ 24 分,不能配合完成实验者;④既往有精神疾病或长期使用镇静剂者;⑤其它神经系统疾病,尤其是前庭或小脑的功能障碍;⑥单侧忽略、严重本体感觉减退等并发症;⑦偏瘫侧下肢肌张力异常增高者,改良的 Ashworth 分级^[5] ≥ 2 级。

选取 2013 年 6 月至 2014 年 7 月在我科行康复治疗且符合上述标准的脑卒中偏瘫患者 30 例,其中男 21 例,女 9 例;脑出血 19 例,脑梗死 11 例;左侧偏瘫 18 例,右侧偏瘫 12 例;平均病程 (3.03 ± 1.23) 个月。另选取年龄、身高、体重与偏瘫组相匹配的健康中老年人 30 例作为对照组,对照组均为右利手,无平衡功能障碍、无下肢疾患或其它影响步行的疾患,签署知情同意书。2 组的一般资料经统计学分析比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。详见表 1。

表 1 偏瘫组与对照组一般资料的比较

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	平均身高 (cm, $\bar{x} \pm s$)	平均体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)
		男	女			
偏瘫组	30	21	9	47.56 ± 5.93	169.88 ± 4.28	61.44 ± 4.34
对照组	30	18	12	48.17 ± 9.88	170.88 ± 5.17	63.88 ± 8.15

二、实验方法

1. 仪器设备:采用安徽埃力智能科技有限公司提供的步态与平衡功能评估系统(AL-600 型)。该系统由 4 块压力板($500 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$)、计算机及分析评估软件等组成,其原理基于分布式阵列压强传感器原理,当患者与分布式阵列压强传感器接触后,数据采集单元通过对其受力信号进行模拟放大、高频采样、滤波处理并转化为可识别的 16 进制数字信号,再以 Ethernet 通讯方式将数据传给上位机检测系统,检测系统将受力数据转换为压强值后再根据传感器受力大小对其进行足压力印迹图谱、作用点轨迹、3D 虚拟场景显示。

2. 实验过程:实验在 1 个相对安静的空旷场地进行,受试者在实验开始前充分休息 15 min 左右,脱去鞋袜从缓冲步道上开始以正常步速在压力板上步行 4 次。每 2 次间隔休息 1~2 min,最终采用后 3 次数据的均值作为测量结果。通过步道时均有 1 个实验人员负责监护,无肢体接触及言语诱导,仅予受试者心理上

疏导,每次测试的试验者均为同一组人员。

三、观察指标

从计算机软件分析结果中提取步速、双下肢在蹬离期和首次触地期的足底压力峰值、单腿支撑相压力中心位移(displacement of center of pressure, DCOP),并通过 Excel 表格计算上述各参数的不对称性,其中 DCOP 包括在矢状面的位移(DCOP_x)和冠状面的位移(DCOP_y)。偏瘫组的不对称性按“SI = 患侧/健侧”计算,对照组的不对称性按“SI = 左侧/右侧”计算。当比值为 1 时,说明双下肢之间为完全对称,而偏离 1 越远说明对称性越差^[6]。

四、统计学方法

使用 SPSS 17.0 版统计软件处理所有数据,计量资料用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示。2 组研究对象的一般资料、足底压力峰值及 DCOP 的差异采用 t 检验,偏瘫组的足底压力与步速的相关性分析采用 Pearson 相关性分析; t 检验和 Pearson 相关性分析均采用双侧检验,本研究相关性划分标准: $|r| < 0.4$ 为低度线性相关; $0.4 \leq |r| < 0.6$ 为中度线性相关; $0.6 \leq |r| < 1$ 为高度线性相关,设定检验水准 $P = 0.05$ 。

结 果

一、2 组受试者双侧下肢的足底压力峰值及 DCOP 比较

偏瘫组和对照组的步速分别为 $(0.32 \pm 0.26) \text{ m/s}$ 和 $(0.82 \pm 0.35) \text{ m/s}$,偏瘫组的步速明显慢于对照组($P < 0.05$);偏瘫组双侧下肢首次触地期的压力峰值及 DCOP_x 均较对照组减小($P < 0.05$);患侧下肢足蹬离期的压力峰值亦较对照组下降,而健侧下肢蹬离期的压力峰值以及双侧 DCOP_y 与对照组相比,差异均无统计学意义($P > 0.05$),详见表 2。

表 2 2 组双侧下肢的足底压力峰值及 DCOP 比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	足底压力峰(kg/cm ²)		DCOP(cm)	
		触地期	蹬离期	DCOP _x	DCOP _y
偏瘫组					
患侧	30	2.26 ± 0.89 ^a	3.67 ± 1.52 ^a	3.24 ± 3.65 ^a	0.84 ± 1.06
健侧	30	3.02 ± 0.27 ^a	4.60 ± 1.57	4.18 ± 4.12 ^a	1.00 ± 0.94
对照组					
左侧	30	4.12 ± 1.33	5.40 ± 1.33	9.66 ± 2.52	1.05 ± 0.85
右侧	30	3.95 ± 1.47	5.36 ± 1.70	10.34 ± 1.75	1.02 ± 0.68

注:与对照组左侧比较,^a $P < 0.05$

二、2 组步行时足底压力峰值及 DCOP 的不对称性比较

与对照组相比,偏瘫组的足蹬离期和首次触地期压力峰值及 DCOP_x 的不对称性增大,差异有统计学意义($P < 0.05$);而偏瘫组 DCOP_y 的不对称性与对照组比较,差异并无统计学意义($P > 0.05$)。详见表 3。

表 3 2 组步行时足底压力峰值及 DCOP 的不对称性比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	足底压力峰的不对称性		DCOP 的不对称性	
		触地期	蹬离期	DCOPx	DCOPy
偏瘫组	30	0.76 ± 0.12 ^a	0.79 ± 0.15 ^a	0.67 ± 0.23 ^a	0.86 ± 1.05
对照组	30	1.12 ± 0.37	0.98 ± 0.15	0.93 ± 0.19	1.03 ± 0.22

注:与对照组比较,^a $P < 0.01$

三、偏瘫组步速与足底压力峰值及 DCOP 的相关性分析

应用 Pearson 相关分析显示,偏瘫患者双侧下肢的首次触地期、蹬离期的压力峰值与其步速均呈正相关($r = 0.666 \sim 0.846, P < 0.01$),单腿支撑相的 DCOPx 与 DCOPy 亦与其步速呈正相关($r = 0.801 \sim 0.950, P < 0.01$)。详见表 4。

表 4 偏瘫组步行足底压力及 DCOP 与步速的相关性比较 ($n = 30$)

偏瘫组下肢	足底压力与步速的相关性 r		DCOP 与步速的相关性 r	
	首次触地期	蹬离期	DCOPx	DCOPy
患侧	0.666	0.846	0.950	0.886
健侧	0.752	0.804	0.865	0.801

讨 论

稳定、对称、低能耗步行需双下肢正常感觉和运动功能的协调配合。脑卒中后,上运动神经元受损导致下运动神经元的活动功能失去控制,下运动神经元支配的肌肉或肌群协调作用亦随之丧失,从而引发运动功能障碍^[7]。下肢运动障碍表现为步态异常,临床表现为步速减慢、步长减小、患侧下肢站立相缩短、摆动相延长等^[8]。本研究采用步态与平衡功能评估系统采集受试对象的步行印迹,通过软件计算得到步速和步态的动力学参数。步速是评估脑卒中后偏瘫患者步行能力的一项可靠指标^[9]。相关研究认为,脑卒中偏瘫患者的最大步速与正常步速正相关,且两者均可反映偏瘫患者的步行能力^[10-11]。因此,本研究出于安全考虑选用正常步速作为衡量偏瘫患者步行能力的参数。

健康成人步行时,双下肢交替、均匀负重,足底压力曲线呈双驼峰状,足压力峰值分别出现于首次触地期和足蹬离期,且足蹬离期压力峰值较大^[12-14]。其中首次触地期是指一侧足跟落地的瞬间,足跟离地期(蹬离期)是指下肢主动加速蹬离地面的阶段,足跟抬起的瞬间;步行中,蹬离期与首次触地期的足底压力为体质量和下肢摆动的加速度形成的冲力之和。本研究结果显示,偏瘫患者步行时,双足首次触地期与患足蹬离期的压力峰值下降,健足蹬离期的压力峰值与健康人无明显差异;而偏瘫患者患足在首次触地期和蹬离期两个时期的压力峰值均下降,

说明患侧下肢运动能力下降,原因可能是相关肌力下降和协调能力障碍^[15];健足在首次触地期压力峰值减小的原因考虑有 2 个方面:①偏瘫患者的健侧下肢并非真正意义上的“健肢”^[16];②患侧下肢对健侧的限制,患侧下肢负重能力降低及髋后伸障碍导致健侧下肢摆动期的时间及距离均减小^[17]。以上情况导致健侧下肢摆动期加速度减小、压力峰值下降。

有研究认为,DCOP 可反映脑卒中偏瘫患者的功能状况和运动控制水平^[18]。本研究结果显示,偏瘫患者双侧下肢单腿支撑期矢状面的 DCOP 均减小($P < 0.05$),提示偏瘫患者的重心转移能力下降,与有关研究结果一致^[18]。

不对称性是反映偏瘫患者功能恢复的一个重要指标,大多数不对称性研究主要是针对步行中时空参数^[19]。步行时空参数是偏瘫患者步态最直接的反映,而动力学不对称性可揭示偏瘫步态产生的原因。有研究表明,动力学的不对称性常伴随着时间的不对称,而与距离不对称(步宽、步长)无关^[20]。本研究结果显示,脑卒中偏瘫患者步行时足蹬离期和首次触地期的压力峰值的不对称性增大,提示偏瘫患者压力峰值下降仍以患侧为主;与对照组相比,患者足底 DCOP 在矢状面的不对称性增大,而在冠状面并无差异,这与相关研究结果^[18,21]一致。有研究表明,DCOP 的不对称性与足底压力动态分布有关,主要是由于健侧下肢蹬离期的延迟使得中期支撑相延长;另外,还与患侧下肢跖屈肌张力增高^[23]导致患侧下肢以全足模式触地^[22]有关。

本研究结果显示,双下肢首次触地期和蹬离期的压力峰值及单腿支撑相的 DCOP 均与步速呈正相关($P < 0.01$),表明足底压力峰值及 DCOP 可反映偏瘫患者步行能力改善的情况,说明提高双足首次触地期和蹬离期的压力峰值及单腿支撑期的 DCOP 可提高偏瘫患者的步速,改善步行能力。

综上所述,脑卒中偏瘫患者步行中的足底压力峰值较健康人减小,不对称性增大,双侧足底压力峰值和 DCOP 与步行能力呈正相关,适当提高双足站立相的压力峰值有助于改善步行能力。目前,国内针对脑卒中偏瘫患者步行时动态足底压力测定的研究尚不多,本研究证明,足底压力峰值与压力中心可作为预测偏瘫患者运动功能的参考指标,未来研究可进一步探究足底压力分区与步速的关系。

参 考 文 献

- [1] 伍琦,王彤,麦海云,等,住院康复脑卒中偏瘫患者出院后功能转归的回顾性分析[J]. 中华物理医学与康复杂志,2013,35(11): 855-858.

- [2] Chen CY, Hong PW, Chen CL, et al. Ground reaction force patterns in stroke patients with various degrees of motor recovery determined by plantar dynamic analysis[J]. Chang Gung Med J, 2007, 30(1): 62-71.
- [3] 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[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6): 379-380.
- [4] 徐光青, 兰月, 毛玉路, 等. 影响脑卒中偏瘫患者步行能力的三维运动学因素分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2010, 32(9): 673-675.
- [5] 倪朝民. 脑卒中的临床康复[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2013: 99-100.
- [6] Patterson KK, Gage WH, Brooks D, et al. Evaluation of gait symmetry after stroke: a comparison of current methods and recommendations for standardization[J]. Gait Posture, 2010, 31(2): 241-246.
- [7] 汪士松. 综合康复治疗对脑卒中偏瘫患者下肢功能障碍的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2008, 30(1): 42-43.
- [8] Harris-Love ML, Forrester LW, Macko RF, et al. Hemiparetic gait parameters in overground versus treadmill walking[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2001, 15(2): 105-112.
- [9] Hutin E, Pradon D, Barbier F, et al. Walking velocity and lower limb coordination in hemiparesis[J]. Gait Posture, 2012, 36(2): 205-211.
- [10] Kollen B, Kwakkel G, Lindeman E. Hemiplegic gait after stroke: is measurement of maximum speed required[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2006, 87(3): 358-363.
- [11] Beaman CB, Peterson CL, Neptune RR, et al. Differences in self-selected and fastest-comfortable walking in post-stroke hemiparetic persons[J]. Gait Posture, 2010, 31(3): 311-316.
- [12] Yang JK, Ahn NE, Kim DH, et al. Plantar pressure distribution during robotic-assisted gait in post-stroke hemiplegic patients[J]. Ann Rehabil Med, 2014, 38(2): 145-152.
- [13] Patterson KK, Mansfield A, Biasin L, et al. Longitudinal changes in poststroke spatiotemporal gait asymmetry over inpatient rehabilitation[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2015, 29(2): 153-162.
- [14] 杨洁, 倪朝民, 尹傲冉, 等. 脑卒中偏瘫患者足底压力与步行时期的相关性[J]. 安徽医科大学学报, 2014, 49(4): 533-539.
- [15] 毛玉路, 李乐, 陈正宏, 等. 脑卒中患者步行能力与下肢三维运动学及动力学相关性分析[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(5): 442-447.
- [16] 宋建霞, 倪朝民, 张科, 等. 脑卒中偏瘫患者非瘫痪侧下肢与正常人下肢本体感觉比较[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(1): 28-31.
- [17] Potdevin FJ, Femery VG, Decatoire A, et al. Using effect size to quantify plantar pressure asymmetry of gait of nondisabled adults and patients with hemiparesis[J]. J Rehabil Res Dev, 2007, 44(3): 347-354.
- [18] Mizelle C, Rodgers M, Forrester L. Bilateral foot center of pressure measures predict hemiparetic gait velocity[J]. Gait Posture, 2006, 24(3): 356-363.
- [19] 尹傲冉, 倪朝民, 杨洁, 等. 脑卒中偏瘫患者步态的不对称性与平衡功能的相关性研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2014, 36(3): 190-193.
- [20] Morita S, Yamamoto H, Furuya K. Gait analysis of hemiplegic patients by measurement of ground reaction force[J]. Scand J Rehabil Med, 1995, 27(1): 37-42.
- [21] Chisholm AE, Perry SD, McIlroy WE. Inter-limb centre of pressure symmetry during gait among stroke survivors[J]. Gait Posture, 2011, 33(2): 238-243.
- [22] Gaviria M, Angeli MD, Chavet P, et al. Plantar dynamics of hemiplegic gait: a methodological approach[J]. Gait Posture, 1996, 4(4): 297-305.
- [23] Hsu AL, Tang PF, Jan MH. Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2003, 84(8): 1185-1193.

(修回日期: 2015-01-13)

(本文编辑: 汪 玲)

· 消息 ·

新书推荐

《假肢与矫形器临床应用》由第三军医大学西南医院武继祥副教授主编。该书分为假肢和矫形器两部分共 11 章, 内容丰富, 涵盖面广。该书完全面向临床, 将临床需求与假肢矫形器的应用有机结合, 实用性强。强调了假肢和矫形器装配过程中开展功能康复的重要性, 强调了假肢和矫形器应用的生物力学原理与知识。本书图文并茂, 可操作性强。以临床应用为目标, 将临床医疗需求与假肢矫形器有机结合起来, 适用于骨科、神经外科、神经内科、创伤科、烧伤科、儿科、整形科、老年科和内分泌科等临床学科医生、康复科医生和治疗师、假肢矫形器制作和装配从业人员阅读。全书 772 千字, 600 多幅图, 480 页, 定价 155 元, 由人民卫生出版社出版。

《烧伤康复学》由第三军医大学西南医院吴宗耀教授主编, 由境内外康复医学科、烧伤科、整形外科的著名专家参编。全书分为烧伤的社会学、烧伤的外科学、烧伤康复原理原则、烧伤康复治疗技术等 4 部分共 30 章, 涵盖广泛, 内容新颖。该书理论阐述比较深入, 操作原则也比较具体。该书将烧伤的社会学与医学相结合, 适合于烧伤外科和烧伤康复科临床医生、治疗师、烧伤相关管理人员、社会工作者和烧伤患者阅读, 也适于普通康复医学工作者参考。全书 836 千字, 定价 149 元, 由人民卫生出版社出版。

《康复医学科临床速查掌中宝》由第三军医大学西南医院刘宏亮教授、武继祥副教授主编。该书全面系统介绍了康复医学的基础知识以及处理要点, 对深奥的理论学说和复杂的机制原理较少涉及, 对比较少用的技术操作仅给予简单阐述或予以省略。适合于从事康复的医务工作者, 尤其是低年资住院医师、研究生、治疗师和基层临床医务工作者阅读。全书 395 千字, 定价 53 元, 由军事医学科学出版社出版。

2015 年 5 月