

恢复期脑卒中偏瘫患者的动态足底压力观察

李漫霞, 冯小军*

安徽医科大学第二附属医院康复医学科, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年5月19日; 录用日期: 2025年6月13日; 发布日期: 2025年6月19日

摘要

目的: 观察恢复期脑卒中偏瘫患者行走时, 双侧下肢足底压力动态分布的特征。方法: 纳入2023年5月至2024年5月在安徽医科大学第二附属医院康复医学科住院的脑卒中恢复期患者。通过足底压力分析, 比较双侧下肢足底压力占比、压力面积占比、压力Ad值。结果: 与健侧相比, 患者患侧足底T1、M1、M2区压力占比低于健侧, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 患侧足底M5、LH区压力占比高于健侧, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。与健侧相比, 患侧足底M5区受力面积较大, MH、LH区受力面积小, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。健侧全足压力Ad值占比为(56.55 ± 3.8)%, 患侧全足压力Ad值占比为(43.45 ± 3.8)%, 差异有统计学意义($P < 0.001$)。结论: 行走时, 恢复期脑卒中患者下肢负重偏于健侧, 患侧下肢负重移向前足外侧及足跟外侧, 足跟部受力面积减少。

关键词

脑卒中, 偏瘫, 足底压力, 负重

Observation of Dynamic Plantar Pressure in Hemiplegic Patients after Stroke during the Recovery Period

Manxia Li, Xiaojun Feng*

Department of Rehabilitation Medicine, The Second Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: May 19th, 2025; accepted: Jun. 13th, 2025; published: Jun. 19th, 2025

Abstract

Objective: To observe the characteristics of the dynamic distribution of plantar pressure in bilateral lower limbs of hemiplegic patients with stroke during the recovery period when walking. **Methods:**

*通讯作者。

文章引用: 李漫霞, 冯小军. 恢复期脑卒中偏瘫患者的动态足底压力观察[J]. 临床医学进展, 2025, 15(6): 1234-1239.
DOI: 10.12677/acm.2025.1561845

Recovering stroke patients who were hospitalized in the Department of Rehabilitation Medicine of the Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University from May 2023 to May 2024 were included. By plantar pressure analysis, the plantar pressure percentage, pressure area percentage, and pressure Ad value of bilateral lower limbs were compared. Results: Compared with the healthy side, the pressure percentage of plantar T1, M1, and M2 areas on the affected side of the patients was lower than that on the healthy side, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$), and the pressure percentage of plantar M5 and LH areas on the affected side was higher than that on the healthy side, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). Compared with the healthy side, the pressure area of the plantar M5 region of the affected side was larger, and the pressure area of the MH and LH regions was smaller, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The percentage of Ad value of whole foot pressure on the healthy side was $(56.55 \pm 3.8)\%$, and the percentage of Ad value of whole foot pressure on the affected side was $(43.45 \pm 3.8)\%$, and the difference was statistically significant ($P < 0.001$). Conclusion: When walking, the weight bearing of the lower limbs of recovering stroke patients was biased toward the healthy side, and the weight bearing of the lower limbs of the affected side was shifted to the lateral side of the forefoot and the lateral side of the heel, and the area of the heel under pressure was reduced.

Keywords

Stroke, Hemiplegia, Plantar Pressure, Weight-Bearing

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国脑卒中的发生率、发生风险及疾病负担全球第一,且呈现出年轻化趋势[1]。即使经过专业的康复治疗,仍然有超过 30% 的患者丧失了步行能力或面临行走困难[2]。脑卒中偏瘫患者步态对称性与稳定性差,影响全身平衡,跌倒风险高,严重影响患者的生活质量和身心健康[3]。脑卒中进入恢复期及后遗症期,因下肢伸肌肌张力异常升高,患侧下肢呈髋外旋、膝过伸、足内翻、足下垂、趾骨蹬离地面力量下降[4][5],重心移向足跟部及足外侧缘等问题[6],患者的足底压力出现重新分配。足底压力测试能客观反映患者在行走过程中的平衡能力、负重对称性及运动控制模式,是临床上评价患者步态,指导康复训练及康复疗效的一项重要评价指标[7]。

偏瘫是脑卒中患者最常见的肢体功能障碍[8],卒中偏瘫患者的行走时足底压力异常主要表现为双足各区的足底压力异常、触地顺序异常,COP 轨迹异常等问题。目前针对恢复期卒中患者行走时的足底压力研究较少。本研究旨在通过对脑卒中患者的动态足底压力评估,观察恢复期卒中患者的行走时健侧与健侧的下肢压力负荷差异,为恢复期卒中患者的康复治疗提供理论依据。

2. 资料与对象

2.1. 对象

选取 2023 年 5 月至 2024 年 5 月在安徽医科大学第二附属医院康复医学科住院的脑卒中恢复期患者。本研究已通过安徽医科大学第二附属医院临床研究伦理委员会批准(审批号: YX2024-097F1)。研究在取得患者或其监护人的知情签字同意后进行。

纳入标准: (1) 符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》和《中国脑出血诊治指南(2014)》缺血

性和出血性卒中的诊断标准, CT 或磁共振成像(MRI)证实为脑卒中; (2) 患者年龄介于 18~75 岁之间; (3) 病程(≥ 1 个月, ≤ 1 年); (4) 认知水平正常(简易智能精神状态检查量表(MMSE) > 21 分), 能够理解并配合完成测试。

排除标准: (1) 下肢骨关节、肌肉疾病, 糖尿病足等影响足底压力测试情况; (2) 严重认知障碍等导致无法配合者; (3) 其他神经系统疾病。

2.2. 方法

采用中国科学院合肥物质科学研究院运动与健康信息技术研究室研发的 ByGait-G6060-5 压感步态测试仪分析, 收集患者行走时的动态足底压力参数。

2.2.1. 测试前准备

实验室安静, 灯光明亮, 告知患者测试注意事项。嘱患者洗净双足, 裸足并充分暴露踝关节足, 站立于离测试板起始端 2 m 处位置。在正式接受测试前患者保持安静且放松的状态进行预测试 1 次, 该次测试记录不计入测试结果。所有测试由同一位培训合格的康复医师完成。

2.2.2. 测试方法

患者站在离测试板开始处 2 m 位置, 听从电脑语音提示, 向测试板以日常步行姿势行走, 完全通过测试板为止的过程作为一次测试完成。行走过程不能使用任何辅具, 均需独立行走, 行走时目视前方, 自然摆动双臂, 在测试板上不作刻意停留。每 1 次测试后, 患者可以适当休息调整。

2.2.3. 足底压力分区

足底压力分区基于解剖学将足底划分为 10 个区域: 踇趾(T1), 第二至第五脚趾(T2), 第一跖骨(M1), 第二跖骨(M2), 第三跖骨(M3), 第四跖骨(M4), 第五跖骨(M5), 足后跟内侧(MH), 足后跟外侧(LH), 足底中部(MF)。系统测定各区的压力占比和压力面积占比, 压力占比或数值越大, 表示压力越大, 负重越多。Ad 值占比为一侧足底压力 Ad 值与双侧足底压力 Ad 值之和的比值。

2.3. 统计分析

使用 SPSS27.0 软件进行数据分析。计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示, 使用 Kolmogorov-Smirnov 进行正态性检验, 符合正态分布采用配对 t 检验, 偏态分布采用 Wilcoxon 秩和检验。P < 0.05 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 一般资料

本研究总共纳入 30 名脑卒中患者, 其中男性 15 例(75%), 女性 5 例(25%); 平均年龄(50.75 ± 11.99)岁; BMI (25.10 ± 2.48), 病程(3.5 ± 2.5)月; 左侧偏瘫 9 例(45%), 右侧偏瘫 11 例(55%); 缺血性卒中 16 例(80%), 出血性卒中 4 例(20%)。

3.2. 健侧与患侧足底压力占比比较

行走时, 患者患侧足底 T1、M1、M2 区压力占比低于健侧, 差异有统计学意义(P < 0.05)。患侧足底 M5、LH 区压力占比高于健侧, 差异有统计学意义(P < 0.05), 见表 1。

3.3. 健侧与患侧压力面积占比比较

与健侧相比, 患侧足底 M5 区受力面积较大, MH、LH 区受力面积小, 差异有统计学意义(P < 0.05), 见表 2。

3.4. 健侧与患侧足底压力 Ad 值比较

健侧总体压力 Ad 值占比为 $(56.55 \pm 0.03)\%$, 患侧压力 Ad 值占比为 $(43.45 \pm 0.03)\%$, 差异有统计学意义($P < 0.001$)。患者健患侧前足、中足、足跟压力 Ad 值占比未见显著差异($P > 0.05$), 见表 3。

Table 1. Comparison of the proportion of plantar pressure on both sides (%)

表 1. 双侧足底各分区压力占比比较(%)

分区	健侧	患侧	t 值	P 值
T1	6.67 ± 1.92	4.82 ± 1.74	3.381	0.003
T2	5.317 ± 1.588	4.39 ± 2.302	1.685	0.108
M1	10.04 ± 2.438	7.86 ± 3.06	2.378	0.028
M2	7.428 ± 1.898	6.154 ± 1.285	2.344	0.030
M3	8.07 ± 1.237	7.535 ± 1.4	1.281	0.215
M4	7.563 ± 1.374	8.578 ± 2.45	-1.641	0.117
M5	4.321 ± 1.07	5.049 ± 1.904	-2.273	0.034
MH	20.57 ± 3.837	21.86 ± 4.517	-0.97	0.344
LH	15.03 ± 2.146	17.25 ± 2.913	-2.280	0.01
MF	14.97 ± 4.511	16.18 ± 5.186	-0.707	0.487

Table 2. Comparison of pressure area on the soles of both feet (cm^2)

表 2. 双侧压力面积占比比较(cm^2)

分区	健侧	患侧	t 值	P 值
T1	7.797 ± 4.349	7.845 ± 1.722	-0.078	0.938
T2	7.855 ± 4.349	8.674 ± 3.79	0.841	0.41
M1	11.34 ± 3.111	10.92 ± 1.922	0.52	0.608
M2	7.621 ± 2.176	6.857 ± 1.107	1.373	0.185
M3	8.426 ± 1.465	8.471 ± 0.948	-0.11	0.913
M4	8.557 ± 1.85	9.249 ± 1.104	-1.592	0.127
M5	5.522 ± 1.835	6.495 ± 1.117	-2.268	0.035
MH	20.09 ± 3.996	16.7 ± 1.981	3.989	<0.001
LH	15.05 ± 1.855	13.78 ± 1.622	2.612	0.017
MF	19.61 ± 8.245	22.62 ± 4.395	-1.748	0.09

Table 3. Comparison of Ad values of plantar pressure

表 3. 双侧足底压力 Ad 值比较

	健侧/%	患侧/%	t 值	P 值
整体负重	56.50 ± 7.7	43.45 ± 3.8	5.405	<0.001
前足	56.55 ± 7.7	50.8 ± 10.9	1.464	0.159
中足	15.3 ± 5.5	17.0 ± 5.9	0.866	0.397
后足	28.1 ± 9.2	32.3 ± 11.2	0.976	0.341

4. 讨论

足底压力是指人体在站立或行走时, 在自身重力的作用下, 地面或鞋子对足底产生反作用力, 用传感器技术可检测并记录该作用力, 用于评估人体在维持静态及动态的下肢生物力学分析。脑卒中患者由于下肢伸肌痉挛和关节挛缩等因素, 踝背伸及跖屈受限, 常表现为足内翻和足下垂。不仅如此, 脑卒中患者偏瘫侧肢体感觉障碍, 本体感觉受损等[9], 常导致患者无法正确感知足底位置, 影响脑卒中患者偏瘫侧下肢负重及足底压力分布。

本研究通过足底压力分析系统, 重点观察脑卒中偏瘫患者的动力学特征, 检测足底负荷分布和接触面积变化等关键参数, 研究对象均为单侧肢体功能障碍的脑卒中后偏瘫患者。在本研究中, 偏瘫患者步行时跖趾、第一跖骨、第二跖骨压力较健侧减少, 而第五跖骨及足跟外侧压力较健侧增加, 并且患侧整体负重较健侧减小, 这与既往的研究结果一致[10], 脑卒中患者双下肢足底压力分布不对称, 健肢较患肢称重更多[11]。步行时, 患者患足跖趾、前足掌内侧负重减少, 足外侧缘负重增加。有研究得出, 李晓亚[12]等研究得出痉挛期患者静态和动态患侧足跟内侧和外侧的足底压力均低于健侧, 第 2~5 脚趾足底压力也低于健侧。

在本研究中, 脑卒中患者患肢第五跖骨压力面积增大, 而足跟内侧与足跟外侧压力面积均减少, 尤其是足后跟内侧的减少尤其显著。患足的外侧缘接触面积增加, 提示偏瘫侧足内翻和内侧纵弓塌陷[13]。

本研究中偏瘫患者主要是患侧前足的压力占比降低, 然而前足外侧及足跟外侧的压力增加; 足跟内侧的接触面积显著减小, 提示了恢复期偏瘫患者足内翻的病理改变。脑卒中后偏瘫患者足内翻主要表现为行走时患侧足趾屈曲, 在支撑期足底压力可能无法转移至前足内侧致使压力集中于前足外侧[14]。因此步行支撑相时足底前外侧缘异常负重, 尤其是第五跖骨基底部, 同时伴有踝关节不稳, 这种异常生物力学模式会导致患者出现负重区疼痛症状, 显著降低步行稳定性和速度[15]。

Rogers [16]等对后遗症期偏瘫患者进行足底压力检测, 得出足底压力的大小排序是前足 > 足趾 > 足跟 > 中足。与我们的研究有相似, 偏瘫患者健患侧以前足压力占比最高, 中足占比最少。金娜英等[17]研究发现患侧足底压力在跖趾、第 2~5 脚趾、第 1 跖骨的峰值压力、峰值压强、冲量均显著增加, 足跟内侧与外侧区的冲量, 第 2~5 脚趾、中足的触地面积也明显增加。该项研究表明, 脑卒中偏瘫患者为了维持步行的稳定性, 健侧进行功能性代偿。

本研究存在一些局限性, 如研究的样本量较小, 仅进行了脑卒中恢复期患者的足底压力观察, 偏瘫患者的恢复有多个阶段, 未来应继续扩大样本量, 对不同恢复阶段的患者进行分析。足底压力仅能提供患者支撑相的数据, 不能对步态周期的摆动相等进行观察, 可结合表面肌电技术等, 有助于从神经肌肉层面进行足底压力分析, 提供更为可靠的理论依据。

参考文献

- [1] Ma, Q., Li, R., Wang, L., Yin, P., Wang, Y., Yan, C., *et al.* (2021) Temporal Trend and Attributable Risk Factors of Stroke Burden in China, 1990-2019: An Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Public Health*, **6**, e897-e906. [https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(21\)00228-0](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(21)00228-0)
- [2] Wu, S., Wu, B., Liu, M., Chen, Z., Wang, W., Anderson, C.S., *et al.* (2019) Stroke in China: Advances and Challenges in Epidemiology, Prevention, and Management. *The Lancet Neurology*, **18**, 394-405. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(18\)30500-3](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(18)30500-3)
- [3] Bao, T., Gao, J., Wang, J., Chen, Y., Xu, F., Qiao, G., *et al.* (2023) A Global Bibliometric and Visualized Analysis of Gait Analysis and Artificial Intelligence Research from 1992 to 2022. *Frontiers in Robotics and AI*, **10**, Article 1265543. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1265543>
- [4] Lee, N.K., Kwon, J.W., Son, S.M., Nam, S.H., Choi, Y.W. and Kim, C.S. (2013) Changes of Plantar Pressure Distributions Following Open and Closed Kinetic Chain Exercise in Patients with Stroke. *NeuroRehabilitation*, **32**, 385-390. <https://doi.org/10.3233/nre-130859>

-
- [5] Gremeaux, V., Laroche, D., Joussain, C., Espagnac, C., Morisset, C., Tordi, N., *et al.* (2013) Is It Possible to Individualize Intensity of Eccentric Cycling Exercise from Perceived Exertion on Concentric Test? *Canadian Journal of Cardiology*, **29**, S325-S326. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2013.07.550>
- [6] Cenni, F., Giannini, S., Belvedere, C., Romagnoli, M., Berti, L., Pieri, M., *et al.* (2012) Fluoroscopic and Gait Analyses for the Assessment of the Functional Performance of an Original Total Ankle Replacement. *Journal of Foot and Ankle Research*, **5**, O34. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-5-s1-o34>
- [7] 胡楠, 卢茜, 毕胜. 脑卒中偏瘫患者足底压力特征分析[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(2): 238-240.
- [8] Vandermeeren, Y., Yeganeh Doost, M., Herman, B., Denis, A., Sapin, J., Galinski, D., *et al.* (2021) Bimanual Motor Skill Learning and Robotic Assistance for Chronic Hemiparetic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Neural Regeneration Research*, **16**, 1566-1573. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.301030>
- [9] Yang, J.K., Ahn, N.E., Kim, D.H. and Kim, D.Y. (2014) Plantar Pressure Distribution during Robotic-Assisted Gait in Post-Stroke Hemiplegic Patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*, **38**, 145-152. <https://doi.org/10.5535/arm.2014.38.2.145>
- [10] Adegoke, B.O.A., Olaniyi, O. and Akosile, C.O. (2012) Weight Bearing Asymmetry and Functional Ambulation Performance in Stroke Survivors. *Global Journal of Health Science*, **4**, 87-94. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v4n2p87>
- [11] Bensoussan, L., Mesure, S., Viton, J. and Delarque, A. (2006) Kinematic and Kinetic Asymmetries in Hemiplegic Patients' Gait Initiation Patterns. *Journal of Rehabilitation Medicine*, **38**, 287-294. <https://doi.org/10.1080/16501970600694859>
- [12] 李晓亚, 张芝梅, 王山岭, 等. 脑卒中偏瘫痉挛期患者足底压力与平衡功能的相关性分析[J]. 中国康复, 2022, 37(9): 532-536.
- [13] Hillier, S. and Lai, M.S. (2009) Insole Plantar Pressure Measurement during Quiet Stance Post Stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*, **16**, 189-195. <https://doi.org/10.1310/tsr1603-189>
- [14] Liu, S., Yu, H., Wang, Z. and Dai, P. (2023) Correlation Analysis of Balance Function with Plantar Pressure Distribution and Gait Parameters in Patients with Cerebral Infarction in the Basal Ganglia Region. *Frontiers in Neuroscience*, **17**, Article 1099843. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1099843>
- [15] 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(7): 500-503.
- [16] Rogers, A., Morrison, S.C., Gorst, T., Paton, J., Freeman, J., Marsden, J., *et al.* (2020) Repeatability of Plantar Pressure Assessment during Barefoot Walking in People with Stroke. *Journal of Foot and Ankle Research*, **13**, 39. <https://doi.org/10.1186/s13047-020-00407-x>
- [17] 金娜英, 吴家宝, 李玉月, 等. 基于 RSSCAN 步态系统的脑梗死偏瘫患者步态分析[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(23): 3609-3615.