

半掌踝足矫形器与足跟镂空踝足矫形器 对脑卒中患者步态影响的比较

孟哲 廖志平 吴方超 于洋 李昌盛 陶静琰

浙江大学医学院附属邵逸夫医院康复医学科, 杭州 310000

通信作者: 廖志平, Email: 3316068@zju.edu.cn

【摘要】 目的 观察半掌踝足矫形器和足跟镂空踝足矫形器对脑卒中患者步态的影响。**方法** 选取符合标准的脑卒中患者 25 例, 采用步态分析系统分别对 25 例脑卒中后步行功能障碍患者裸足、佩戴半掌踝足矫形器和佩戴足跟镂空踝足矫形器时的步行状态进行分析, 记录三种状态下患者的步速、步频、健侧摆动相、患侧摆动相、跌倒风险和 3 m 起立计时行走时间, 并进行统计学分析。**结果** 受试者佩戴足跟镂空踝足矫形器时的步频为 (86.718 ± 17.947) Hz, 较裸足和佩戴半掌踝足矫形器时均显著加快, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。受试者佩戴足跟镂空踝足矫形器时的步态不对称系数为 (0.086 ± 0.070) , 与裸足时比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。受试者佩戴半掌踝足矫形器和佩戴足跟镂空踝足矫形器时的 3 m 起立计时行走时间较裸足时均显著缩短, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。受试者佩戴半掌踝足矫形器和佩戴足跟镂空踝足矫形器时的跌倒风险均显著低于裸足时, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 且受试者佩戴足跟镂空踝足矫形器时的跌倒风险亦显著低于佩戴半掌踝足矫形器时, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。**结论** 佩戴半掌踝足矫形器和足跟镂空踝足矫形器均可有效纠正脑卒中患者的步态, 降低其跌倒风险, 且佩戴足跟镂空踝足矫形器的优势更加明显。

【关键词】 脑卒中; 踝足矫形器; 步态分析; 跌倒风险

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目青年人才计划 (2019RC196)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.10.008

The effects of a half palm ankle-foot orthosis and a hollow-heel ankle-foot orthosis on the gait of stroke survivors

Meng Zhe, Liao Zhiping, Wu Fangchao, Yu Yang, Li Changsheng, Tao Jingyan

Department of Rehabilitation Medicine, The Sir Run Run Shaw Hospital, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China

Corresponding author: Liao Zhiping, Email: 3316068@zju.edu.cn

【Abstract】 Objective To observe any effect of a half palm ankle-foot orthosis and a hollow-heel ankle-foot orthosis on the gait of stroke survivors. **Methods** The walking of twenty-five stroke survivors was quantified using a gait analysis system. They walked barefoot, wearing a half palm ankle-foot orthosis and wearing a hollow-heel ankle-foot orthosis. Walking speed, step frequency, duration of the swing phase on the healthy and affected sides, risk of falling and Timed Up and Go (TUG) test times were recorded and analyzed. **Results** The average gait frequency when wearing the hollow-heel ankle-foot orthosis was significantly faster than that in the other two conditions. The gait asymmetry coefficient was significantly different when the subjects wore the hollow-heel ankle-foot orthosis compared with walking barefoot. Compared with being barefoot, the average TUG time was significantly shorter when wearing either orthosis and the risk of falling was significantly less. The fall risk was significantly lower when wearing the hollow-heel orthosis compared to the half palm orthosis. **Conclusion** Wearing either ankle-foot orthosis can significantly correct the gait of stroke survivors and lower their risk of falling, with better effect when wearing the hollow-heel ankle-foot orthosis.

【Key words】 Stroke; Ankle foot orthosis; Gait analysis; Fall risk

Funding: A Zhejiang Young Talent Medical Science and Technology Support Project (2019RC196)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.10.008

脑卒中又称脑血管意外(cerebral vascular accident, CVA),是指脑血管病变导致的持续 24 h 以上的脑功能紊乱(通常为局灶性的)或导致死亡的快速发展的临床综合征^[1]。研究表明,2019 年全球新发脑卒中 1220 万例,其中约 655 万人因脑卒中死亡,是全球第二大死因。脑卒中除高发病率、高死亡率外,还会导致肢体功能障碍,具有很高的致残率^[1-2]。步行功能障碍是脑卒中患者的主要问题之一,约 80% 的脑卒中患者伴有步态异常^[3]。目前,广泛应用踝足矫形器(ankle foot orthotics, AFO)来纠正脑卒中患者异常步态^[4-5]。临床上常用的 AFO 可分为半掌 AFO 和足踝镂空 AFO,但目前针对这两款 AFO 临床应用效果的对比研究较少。本研究采用穿戴式传感器步态分析系统评估了脑卒中患者佩戴半掌 AFO 和足踝镂空 AFO 行走过程中的时空、运动学和动力学参数^[6],并对这两款 AFO 对脑卒中患者步态的影响进行了对比研究。

对象与方法

一、研究对象

入选标准:①首次发病,符合全国第四届脑血管疾病会议修订的诊断标准^[7],并经颅脑 CT 或 MRI 证实,病情稳定;②单侧肢体瘫痪,Brunnstrom 分期Ⅲ~Ⅳ期,存在步行功能障碍,但在室内可独立步行 > 10 m^[8];③无认知功能障碍,简易智能精神状态检查量表(mini-mental state examination, MMSE)评分 > 20 分,可配合完成实验;④发病后,未佩戴过任何矫形器或其它辅助步行的康复器械;⑤自愿参加本实验,并签署知情同意书。

排除标准:①病情不稳定,有认知和语言障碍;②既往有外伤、骨折、软组织损伤、挛缩、腰痛等所导致的步行功能异常;③双侧偏瘫、小脑病变、脑外伤或其它神经系统疾病;④精神疾病者、危重患者、孕妇、文盲等。

本研究已获得浙江大学医学院附属邵逸夫医院伦理委员会批准,编号:科研 20201013-31。选取 2020 年 11 月至 2021 年 8 月在浙江大学医学院附属邵逸夫医院康复医学科住院且符合上述标准的脑卒中后步行功能障碍患者 25 例,其中男 18 例,女 7 例;平均年龄(55.76 ± 14.87)岁;平均病程(6.48 ± 9.39)个月;平均身高(164.76 ± 5.26)cm;平均体重(65.8 ± 10.5)kg;左侧偏瘫 11 例,右侧偏瘫 14 例;Brunnstrom 分期,Ⅲ期 8 例,Ⅳ期 17 例。

二、研究方法

本研究在浙江大学医学院附属邵逸夫医院下沙院区康复医学科功能评估室进行。评估室内设有带刻度 10 m 的步行通道。本研究采用交叉试验,在小样本、

高度选择的样本中评估即时效应^[9]。

本研究采用的踝足矫形器由研究小组统一提供,选用德国奥托博克公司生产的 50S1 型半掌踝足矫形器(图 1)和韩国欧太克公司生产的 Flex Step 型镂空踝足矫形器(图 2)。测试时由治疗师按流程帮助患者裸足穿戴,确保足跟与 AFO 紧贴,使足部保持适度的背屈和外翻。测试时患者分别随机穿戴两种 AFO 进行测试,以避免两种 AFO 相互作用。所有受试者均于入组当天由主管医生对其进行步态分析和 3 m 起立计时行走试验。



图 1 半掌 AFO



图 2 足跟镂空 AFO

1. 步态分析方法:采用大连产吉步恩 QH-JBE-Y 型步态分析系统。该系统包括可穿戴于大腿、小腿后面的模块和鞋,以及固定在鞋下的惯性微机电系统传感器。传感器采用六轴惯性姿态传感器(陀螺仪+加速度计),用于收集运动信号(为了减少高频噪声干扰和传感器设备产生的安装误差,数据预处理采用高阶

低通滤波器和六面体校准技术,同时基于零点校正算法对累积误差进行校正,最后的步态参数是通过融合加速度和姿势数据获得的)。首先将步态检测系统的传感器固定于受试者腰骶部、左、右大腿中段后侧和左、右小腿中段后侧(图 3),将小腿传感器与步态鞋链接,打开传感器开关。在确保安全的前提下,要求受试者分别以裸足、佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO,最快速地通过 10 m 的走道,同时采用步态分析系统采集并分析 3 种状态下的步态参数。

2. 3 m 起立计时行走试验:让受试者坐在椅子上,然后记录受试者裸足、佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 时,站起来、走 3 m、转身、返回、再坐下所需的时间^[5]。

以上每项测试均完成 3 次,取平均值作为最终参数。测试期间,研究小组成员需全程陪同受试者提供非接触保护,预防其意外跌倒,以确保安全^[10]。

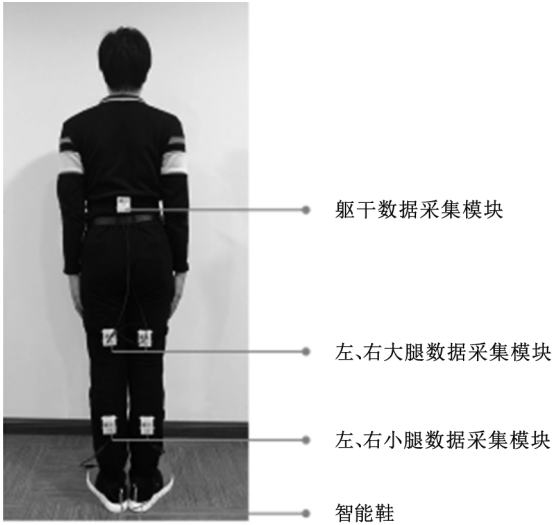


图 3 穿戴传感器示意图

三、观察指标

本研究所需步态参数均由大连产吉步恩 QH-JBE-Y 型步态分析系统采集,包括:①空间参数——平均步速(单位为 m/s);②频域参数——步频(单位为 HZ);③时间参数——步态不对称系数=(患侧摆动相-健侧摆动相)/(患侧摆动相+健侧摆动相)、3 m 起立行走

时间(单位为 s);④综合参数——跌倒风险(单位为%),跌倒风险范围在 0~5%表明基本无跌倒风险即低跌倒风险;5%~10%表明有一定的跌倒风险即中度跌倒风险;10%~20%表明有较高的跌倒风险即较高跌倒风险;20%~100%表明有非常高的跌倒风险即高跌倒风险^[6,11-13]。

四、统计学分析

使用 SPSS 20.0 版统计学软件包对本研究所得数据进行分析,符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,采用配对 *t* 检验,以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

一、空间参数

受试者裸足、佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 时的步速比较,差异均无统计学意义(*P*>0.05),详见表 1。

二、频域参数

受试者佩戴半掌 AFO 时的步频与裸足时比较,差异无统计学意义(*P*>0.05);受试者佩戴足跟镂空 AFO 时的步频较裸足和佩戴半掌 AFO 时均显著加快,差异均有统计学意义(*P*<0.05),详见表 1。

三、时间参数

受试者佩戴半掌 AFO 时的步态不对称系数与裸足时比较,差异无统计学意义(*P*>0.05);受试者佩戴足跟镂空 AFO 时的步态不对称系数与佩戴半掌 AFO 时比较,差异无统计学意义(*P*>0.05),但与裸足时比较,差异有统计学意义(*P*<0.05),详见表 1。

受试者佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 时的 3 m 起立行走时间较裸足时均显著缩短,差异均有统计学意义(*P*<0.05);受试者佩戴足跟镂空 AFO 时的 3 m 起立行走时间与佩戴半掌 AFO 时比较,差异无统计学意义(*P*>0.05),详见表 1。

四、综合参数

受试者佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 时的跌倒风险均显著低于裸足时,差异均有统计学意义(*P*<0.05);且受试者佩戴足跟镂空 AFO 时的跌倒风险亦显著低于佩戴半掌 AFO 时,差异有统计学意义(*P*<0.05),详见表 1。

表 1 受试者裸足、佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 时的步态参数比较(*n*=25, $\bar{x} \pm s$)

状态	步速(m/s)	步频(Hz)	不对称系数	3 m 起立行走时间(s)	跌倒风险(%)
裸足	0.530±0.249	82.468±20.594	0.129±0.084	25.004±10.527	19.356±10.986
佩戴半掌 AFO	0.526±0.220	84.047±17.368	0.101±0.086	22.524±8.956 ^a	17.784±11.027 ^a
佩戴镂空 AFO	0.542±0.227	86.718±17.947 ^{ab}	0.086±0.070 ^a	21.894±8.852 ^a	16.380±11.043 ^{ab}

注:与裸足比较,^a*P*<0.05;与佩戴半掌 AFO 比较,^b*P*<0.05

讨 论

脑卒中患者躯体在失去高位中枢调控后,肢体功能的恢复需基于脑损伤的部分逆转重塑和残余感觉运动功能的补偿来实现^[14-15]。因此,改善步态,减少能耗,提高平衡能力,降低跌倒风险是这类患者的主要康复目标之一^[9,16]。AFO 常用于补偿脑卒中患者步行过程中的摆动期踝背屈不足,促进足廓清,同时为支撑期足着地提供平稳的支撑,抑制小腿三头肌过度兴奋,促进患者重心转移和步行正常化^[5,17]。

本研究结果显示,脑卒中患者佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 时的步速较裸足时略有增加,但差异无统计学意义($P>0.05$),这可能是由于本研究中的脑卒中患者均为第一次佩戴 AFO,其对 AFO 未能完全适应,且患者因患侧的下肢肌力和本体感觉减退致使其踝部控制能力差,从而导致本研究中患者的步速未见明显差异。本研究中,脑卒中患者佩戴足跟镂空 AFO 时的步频显著优于佩戴半掌 AFO 和裸足时,差异均有统计学意义($P<0.05$)。步速和步频都是反映人们步行能力的重要指标,脑卒中患者常因患侧下肢伸肌的张力增高,致使其平衡和步行稳定性下降,增加跌倒风险^[11]。研究表明,脑卒中后步行功能障碍患者的步行状态常表现为患侧下肢摆动时足廓清不充分,患侧下肢支撑时重心转移不流畅,导致其在步行中动、势能转换受阻(正常人步行时单支撑相重心最高势能最大,双支撑相重心最低动能最大)、能耗增加、步速缓慢和步频降低^[10]。研究证实,AFO 可改善脑卒中后步行功能障碍患者的平衡和步行功能^[5,17]。本研究中,患者佩戴镂空 AFO 时的步频优于佩戴半掌 AFO 时,这与 Chia 等^[18]的研究结果相近,本课题组认为,这是由于 2 种 AFO 的材质不同,镂空 AFO 比半掌 AFO 更加短小,质量也更轻,便于患者的患侧完成下肢摆动相,且 AFO 足跟镂空的设计有助于支撑初期为患者提供更好的感觉输入。

步态不对称系数一定程度上可以说明患者步行时健、患侧下肢的不对称程度,是反映步态稳定性的重要指标,即当步态不对称系数越接近于 0 则步态越对称,步行也越稳定^[6,12,16]。本研究结果显示,佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 均可减小步态不对称系数,其中佩戴镂空 AFO 状态下的步态不对称系数最小,且与裸足比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。本课题组认为,该结果是因为镂空 AFO 可为患侧支撑提供更多的本体感觉反馈,而本体感觉反馈有助于身体对外部环境做出更准确的肌肉收缩时间和幅度响应,减少姿势摆动,进而改善步态对称性^[18]。

3 m 起立行走常试验用于评估受试者涉及速度、

效力和动态平衡的功能活动,便于观察其整体的移动功能^[5,6,13,19]。本研究结果显示,受试者佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 时的 3 m 起立行走时间较裸足时均显著缩短,差异均有统计学意义($P<0.05$),但其佩戴足跟镂空 AFO 时的 3 m 起立行走时间与佩戴半掌 AFO 时比较,差异却无统计学意义($P>0.05$)。本课题组认为,该结果是由于两种 AFO 均可在患者坐站转移、转身过程中为其患侧下肢提供稳定的支持所致^[4,20-21]。

跌倒是老年人面临的普遍威胁,而脑卒中后的异常运动模式会增加患者的跌倒风险,其跌倒的发生率为 37%~73%^[21-22]。Wong 等^[22]的研究也指出,跌倒会导致患者骨折、擦伤、心里阴影,甚至脑外伤或死亡,严重影响患者的功能恢复。本课题组认为,半掌 AFO 和足跟镂空 AFO 均可改善脑卒中患者步行时的踝关节稳定性不对称系数和患侧支撑相时间,并增加其踝关节稳定性,从而起到了降低跌倒风险的作用^[4,21]。因此本研究结果显示,佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 均可降低脑卒中患者的跌倒风险;而佩戴足跟镂空 AFO 的跌倒风险相较于佩戴半掌 AFO 更低,其原因可能与镂空 AFO 较半掌 AFO 更加短小、轻便,可减轻受试者步行时的自重和干扰,以及镂空 AFO 可为患者提供更好的感觉输入有关。

综上所述,佩戴半掌 AFO 和佩戴足跟镂空 AFO 均可有效纠正脑卒中后步行功能障碍患者的步态,降低其跌倒风险,进一步提高患者的运动功能,且佩戴足跟镂空 AFO 的优势更加明显。

参 考 文 献

- [1] GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019 [J]. *Lancet Neurol*, 2021, 20 (10): 795–820. DOI: 10.1016/S1474-4422(21)00252-0.
- [2] Gorelick PB. The global burden of stroke: persistent and disabling [J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18 (5): 417–418. DOI: 10.1016/S1474-4422(19)30030-4.
- [3] Mun B, Kim T, Lee J, et al. Comparison of gait aspects according to FES stimulation position applied to stroke patients [J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26 (4): 563–566. DOI: 10.1589/jpts.26.563.
- [4] Gomez-Vargas D, Ballen-Moreno F, Barria P, et al. The actuation system of the ankle exoskeleton T-Flex: first use experimental validation in people with stroke [J]. *Brain Sci*, 2021, 11 (4): 412. DOI: 10.3390/brainsci11040412.
- [5] De Paula GV, da Silva TR, de Souza JT, et al. Effect of ankle-foot orthosis on functional mobility and dynamic balance of patients after stroke: Study protocol for a randomized controlled clinical trial [J]. *Medicine*, 2019, 98 (39). DOI: 10.1097/MD.00000000000017317.
- [6] Bernhard FP, Sartor J, Bettecken K, et al. Wearables for gait and balance assessment in the neurological ward—study design and first

- results of a prospective cross-sectional feasibility study with 384 inpatients[J]. BMC Neurol, 2018, 18(1): 1-8. DOI: 10.1186/s12883-018-1111-7.
- [7] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管病诊断要点. 中华神经科杂志, 1996, 29(6): 379-380.
- [8] Liu YC, Yang YR, Tsai YA, et al. Cognitive and motor dual task gait training improve dual task gait performance after stroke—a randomized controlled pilot trial[J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 4070. DOI: 10.1038/s41598-017-04165-y.
- [9] Tyson SF, Sadeghi-Demneh E, Nester CJ. A systematic review and meta-analysis of the effect of an ankle-foot orthosis on gait biomechanics after stroke[J]. Clin Rehabil, 2013, 27(10): 879-891. DOI: 10.1177/0269215513486497
- [10] Nolan KJ, Yarossi M. Weight transfer analysis in adults with hemiplegia using ankle foot orthosis[J]. Prosthet Orthot Int, 2011, 35(1): 45-53. DOI: 10.1177/0309364610393061
- [11] Verghese J, Holtzer R, Lipton RB, et al. Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults[J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2009, 64(8): 896-901. DOI: 10.1093/gerona/glep033
- [12] Taylor ME, Delbaere K, Mikolaizak AS, et al. Gait parameter risk factors for falls under simple and dual task conditions in cognitively impaired older people[J]. Gait Posture, 2013, 37(1): 126-130. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.06.024
- [13] Van Schooten KS, Pijnappels M, Rispens SM, et al. Ambulatory fall-risk assessment: amount and quality of daily-life gait predict falls in older adults[J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2015, 70(5): 608-615. DOI: 10.1093/gerona/glu225
- [14] Prenton S, Hollands KL, Kenney LP, et al. Functional electrical stimulation and ankle foot orthoses provide equivalent therapeutic effects on foot drop: a meta-analysis providing direction for future research[J]. J Rehabil Med, 2018, 50(2): 129-139. DOI: 10.2340/16501977-2289
- [15] Nudo RJ. Recovery after brain injury: mechanisms and principles[J]. Front Hum Neurosci, 2013, 7: 887. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00887
- [16] Teasell RW, McRae MP, Foley N, et al. Physical and functional correlations of ankle-foot orthosis use in the rehabilitation of stroke patients[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82(8): 1047-1049. DOI: 10.1053/apmr.2001.25078
- [17] Little VL, Perry LA, Mercado MWV, et al. Gait asymmetry pattern following stroke determines acute response to locomotor task[J]. Gait Posture, 2020, 77: 300-307. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.02.016
- [18] Chia FSF, Kuys S, Low Choy N. Sensory retraining of the leg after stroke: systematic review and meta-analysis[J]. Clin Rehabil, 2019, 33(6): 964-979. DOI: 10.1177/0269215519836461
- [19] Bower K, Thilarajah S, Pua YH, et al. Dynamic balance and instrumented gait variables are independent predictors of falls following stroke[J]. J Neuroeng Rehabil, 2019, 16(1): 1-9. DOI: 10.1186/s12984-018-0478-4.
- [20] Franceschini M, Massucci M, Ferrari L, et al. Effects of an ankle-foot orthosis on spatiotemporal parameters and energy cost of hemiparetic gait[J]. Clin Rehabil, 2003, 17(4): 368-372. DOI: 10.1191/0269215503cr622oa.
- [21] Gök H, Küçükdeveci A, Altinkaynak H, et al. Effects of ankle-foot orthoses on hemiparetic gait[J]. Clin Rehabil, 2003, 17(2): 137-139. DOI: 10.1191/0269215503cr605oa.
- [22] Wong JS, Brooks D, Inness EL, et al. The impact of falls on motor and cognitive recovery after discharge from in-patient stroke rehabilitation[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2016, 25(7): 1613-1621. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2016.03.017.

(修回日期: 2022-07-20)

(本文编辑: 阮仕衡)