

伴前庭症状与不伴前庭症状的脑卒中患者步行与静态站立特征分析

张玥 尹苗苗 李雅晴 王利群 崔立玲 王雅静 巫嘉陵

【摘要】 目的 探讨伴前庭症状与不伴前庭症状的脑卒中患者步行与静态站立特征差异。**方法** 纳入 2020 年 5 月至 2021 年 12 月在天津大学环湖医院行康复治疗 82 例脑卒中患者以及 49 例性别、年龄、受教育程度相匹配的对照者,根据有无前庭症状将脑卒中患者分为前庭症状组(51 例)和无前庭症状组(31 例),采用 7 米步行测试评价步行稳定性,感觉整合平衡测试(CTSIB)评价静态站立平衡稳定性。**结果** 7 米步行测试结果显示,3 组受试者步态空间参数和时间参数,以及躯干冠状面摆动角度、摆动面积、冠状面姿势摆动的均方根差异均具有统计学意义(均 $P = 0.000$)。其中,前庭症状组和无前庭症状组步幅、步速、步频低于对照组(均 $P = 0.000$),双支撑相时间、终末双支撑相时间高于对照组(均 $P = 0.000$);前庭症状组步幅、步速、步频亦低于无前庭症状组(均 $P < 0.05$),双支撑相时间、终末双支撑相时间亦高于无前庭症状组(均 $P = 0.000$);前庭症状组和无前庭症状组躯干冠状面摆动角度(均 $P < 0.01$)、摆动面积(均 $P = 0.000$)和冠状面姿势摆动的均方根(均 $P = 0.000$)大于对照组,且前庭症状组躯干冠状面摆动角度和冠状面姿势摆动的均方根亦大于无前庭症状组(均 $P = 0.000$)。CTSIB 测试结果显示,3 组受试者躯干摆动面积、冠状面和矢状面姿势摆动的均方根差异均具有统计学意义(均 $P = 0.000$)。其中,前庭症状组和无前庭症状组在睁眼稳定面、闭眼稳定面、睁眼平衡软踏、闭眼平衡软踏共 4 种测试条件下,冠状面和矢状面姿势摆动的均方根大于对照组(均 $P < 0.01$);前庭症状组和无前庭症状组在睁眼稳定面、闭眼稳定面、闭眼平衡软踏共 3 种测试条件下,躯干摆动面积大于对照组(均 $P = 0.000$);前庭症状组在睁眼平衡软踏下的躯干摆动面积大于对照组($P = 0.000$),但无前庭症状组小于对照组($P = 0.000$)。**结论** 伴前庭症状的脑卒中患者步行参数较不伴前庭症状的脑卒中患者发生明显改变,可为实施精准化康复治疗提供重要的临床价值。

【关键词】 卒中; 前庭,迷路; 步行; 姿势平衡; 康复

Characteristics of walking and static standing in stroke patients with or without vestibular symptoms

ZHANG Yue¹, YIN Miao-miao¹, LI Ya-qing¹, WANG Li-qun¹, CUI Li-ling¹, WANG Ya-jing², WU Jia-ling²

¹Department of Rehabilitation Medicine, ²Department of Neurology, Tianjin Huanhu Hospital, Tianjin University, Tianjin 300350, China

ZHANG Yue and YIN Miao-miao contributed equally to the article

Corresponding author: WU Jia-ling (Email: wywl2009@hotmail.com)

【Abstract】 Objective To investigate the difference between walking and static standing characteristics in stroke patients with and without vestibular symptoms. **Methods** A total of 82 stroke patients who received rehabilitation treatment in Tianjin Huanhu Hospital, Tianjin University from May 2020 to December 2021, and 49 controls with the matched gender, age and education level were included. The stroke patients were divided into vestibular symptom group ($n = 51$) and vestibular symptomless group

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2022.11.008

基金项目:天津市科技计划项目(项目编号:21JCYBJC00420);天津市医学重点学科(专科)建设项目(项目编号:TJYXZDXK-052B)

作者单位:300350 天津大学环湖医院康复医学科(张玥、尹苗苗、李雅晴、王利群、崔立玲),神经内科(王雅静、巫嘉陵)

张玥与尹苗苗对本文有同等贡献

通讯作者:巫嘉陵,Email:wywl2009@hotmail.com

($n = 31$) according to the condition of vestibular symptoms. The walking stability was evaluated by 7-Meter Walking Test, and the stability of static standing balance was evaluated by the Clinical Test of Sensory Interaction and Balance (CTSIB). **Results** The results of the 7-Meter Walking Test showed that there were statistically significant differences in the spatial and temporal parameters of gait, the coronal plane swing angle of trunk, swing area and the root mean square of coronal plane posture swing among 3 groups ($P = 0.000$, for all). The stride length, stride speed and stride frequency of the vestibular symptoms group and the vestibular symptomless group were lower than those of the control group ($P = 0.000$, for all), and the time parameters of the double brace phase time and the terminal double brace phase time were higher than those of the control group ($P = 0.000$, for all). The stride length, stride speed and stride frequency of the vestibular symptoms group were lower than those of vestibular symptomless group ($P < 0.05$, for all), and the time of dual brace phase and terminal dual brace phase were higher than those of vestibular symptomless group ($P = 0.000$, for all). The trunk coronal plane swing angle ($P < 0.01$, for all), swing area ($P = 0.000$, for all) and root mean square of coronal plane posture swing ($P = 0.000$, for all) in vestibular symptoms group and vestibular symptomless group were greater than those in control group. The coronal plane swing angle of trunk and the root mean square of coronal plane posture swing of vestibular symptoms group were also greater than those of vestibular symptomless group ($P = 0.000$, for all). The results of CTSIB showed there were statistically significant differences in trunk swing area, root mean square of coronal and sagittal plane postural swing among 3 groups ($P = 0.000$, for all). In vestibular symptom group and vestibular symptomless group, the root mean square of coronal and sagittal plane postural swing were greater than those of the control group under the 4 test conditions of eyes open on firm, eyes closed of firm, eyes open on foam, eyes closed on foam ($P < 0.01$, for all). In vestibular symptom group and vestibular symptomless group, the trunk swing area was greater than that in control group under 3 test conditions of eyes open on firm, eyes closed on firm and eyes closed on foam ($P = 0.000$, for all). The trunk swing area in vestibular symptom group was greater than that in control group ($P = 0.000$), but less than that in vestibular symptomless group ($P = 0.000$). There was no statistical significance between vestibular symptoms group and vestibular symptomless group under 4 test conditions ($P > 0.05$, for all). **Conclusions** The walking parameters of stroke patients with vestibular symptoms were significantly changed than those of vestibular symptomless, which can provide important clinical value for the implementation of precise rehabilitation treatment.

【Key words】 Stroke; Vestibular, labyrinth; Walking; Postural balance; Rehabilitation

This study was supported by Tianjin Science and Technology Project (No. 21JCYBJC00420), and Tianjin Medical Key Discipline (Specialty) Construction Project (No. TJYXZDXK-052B).

Conflicts of interest: none declared

脑卒中患者具有较高的跌倒风险^[1],步行是日常生活中频率最高的动态活动,保持其稳定性是实现个体独立活动的重要前提。在步行周期的不同阶段,中枢神经系统通过整合视觉、躯体感觉、前庭觉等信息,实时调整姿势,确保步行稳定^[2-3]。前庭系统作为维持身体平衡的重要结构,在行走过程中通过传导与整合头动信号,诱导中枢神经系统产生与头动方向相反的眼动,并引起相应抗重力肌群收缩,从而实现步行稳定。脑卒中尤其是中枢前庭系统受损的患者,较健康人群更易失去直立稳定性^[4];在临床诊疗过程中,由于对前庭眼动异常、视眼动异常、垂直感知及空间定向力障碍等中枢前庭功能障碍识别不足,极易忽视眩晕和头晕等前庭相关症状及其与动静态姿势维持之间的关系^[5-6]。既往研究发现,前庭功能损害与步态参数存在一定相关性,前庭神经炎、听神经瘤、良性阵发性位置性眩晕

(BPPV)等前庭功能损害患者可出现步速降低或步行周期中直立相与摆动相时间变化^[7-8]。椎基底动脉系统供血区梗死患者因涉及中枢前庭结构损伤,可出现典型的前庭相关症状^[9],而颈内动脉系统供血区梗死患者则较少出现前庭症状。目前,关于脑卒中后中枢前庭功能障碍患者直立和步行参数变化的研究鲜有报道,本研究纳入上述两类脑卒中患者,对直立平衡与步行参数进行比较,以探究中枢前庭系统在其中的作用。

对象与方法

一、研究对象

1. 纳入标准 (1)脑卒中诊断符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》^[10]的标准,并经头部 MRI 检查证实。(2)椎基底动脉系统供血区梗死患者符合 Barany 学会前庭疾病国际分类(ICVD)^[11]中前

表 1 不同处理组受试者一般资料的比较

Table 1. Comparison of general data among different groups

观察指标	对照组(n=49)	无前庭症状组(n=31)	前庭症状组(n=51)	统计量值	P 值
性别[例(%)]				1.399	0.497
男性	34(69.39)	25(80.65)	39(76.47)		
女性	15(30.61)	6(19.35)	12(23.53)		
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	52.69 \pm 3.93	53.32 \pm 3.29	52.73 \pm 6.13	0.194	0.824
BMI($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	25.51 \pm 2.83	25.86 \pm 3.20	26.30 \pm 2.77	0.939	0.394
受教育程度($\bar{x} \pm s$, 年)	11.86 \pm 2.26	12.06 \pm 2.26	12.00 \pm 2.08	0.097	0.907
病程($\bar{x} \pm s$, d)		8.87 \pm 1.86	10.12 \pm 1.91	0.113	0.123
NIHSS[M(P_{25} , P_{75}), 评分]		1.00(1.00, 2.00)	2.00(1.00, 2.00)	-1.156	0.248
高血压[例(%)]	26(53.06)	15(48.39)	27(52.94)	0.202	0.904
冠心病[例(%)]	23(46.94)	15(48.39)	19(37.25)	1.346	0.510
糖尿病[例(%)]	27(55.10)	18(58.06)	21(41.18)	2.897	0.235
高脂血症[例(%)]	25(51.02)	15(48.39)	23(45.10)	0.353	0.838
吸烟[例(%)]	20(40.82)	13(41.94)	27(52.94)	1.724	0.422
饮酒[例(%)]	15(30.61)	16(51.61)	25(49.02)	4.764	0.092

Two-independent-sample *t* test for comparison of duration, Mann-Whitney *U* test for comparison of NIHSS, one-way ANOVA for comparison of age, BMI and education, and χ^2 test for comparison of others, 病程的比较采用两独立样本的 *t* 检验, NIHSS 评分的比较采用 Mann-Whitney *U* 检验, 年龄、BMI、受教育程度的比较采用单因素方差分析, 其余指标的比较采用 χ^2 检验。BMI, body mass index, 体重指数; NIHSS, National Institutes of Health Stroke Scale, 美国国立卫生研究院卒中量表

庭症状分类标准, 以及不伴前庭症状的颈内动脉系统供血区梗死患者。(3)首次发病。(4)年龄为 30~80 岁。(5)病程 5~14 d。(6)均为右利手。(7)能够在无支撑条件下独立行走 10 m, 且功能性步行力量表(FAC)评分 \geq 3 分。(8)本研究经天津大学环湖医院道德伦理委员会审核批准[审批号:(津环)伦审第(2021-020)号], 所有受试者及其家属对研究项目知情同意并签署知情同意书。

2. 排除标准 (1)双侧或单侧多发病灶脑卒中, 以及经头部 MRA、CTA 或 DSA 等影像学检查证实为颅内、外大血管重度狭窄或动脉夹层。(2)外周前庭功能障碍。(3)具有前庭症状的颈内动脉系统供血区梗死。(4)合并严重心、肺、肝、肾等重要脏器疾病或骨科疾病。(5)复发性脑卒中、颅内肿瘤、脑血管畸形或脑白质高信号(Fazekas 评分 $>$ 1 分)。(6)具有认知功能障碍、偏侧忽略、失语等无法配合完成测试的患者。

3. 一般资料 (1)脑卒中患者: 根据上述纳入与排除标准, 选择 2020 年 5 月至 2021 年 12 月在天津大学环湖医院神经内科住院治疗的脑卒中患者共 82 例, 男性 64 例, 女性 18 例; 年龄 37~60 岁, 平均(52.95 \pm 5.23)岁; 受教育程度为 6~15 年, 平均为(12.02 \pm 2.14)年; 病程 5~14 d, 平均(9.65 \pm 1.98) d;

入院时美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)评分为 0~3 分, 中位值 1.00(1.00, 2.00)分; 既往合并高血压 42 例(51.22%)、冠心病 34 例(41.46%)、糖尿病 39 例(47.56%)、高脂血症 38 例(46.34%), 吸烟 40 例(48.78%)、饮酒 41 例(50%)。根据有无前庭症状分为伴前庭症状组(前庭症状组, 51 例)和不伴前庭症状组(无前庭症状组, 31 例)。(2)正常对照者: 同期从患者家属中招募 49 例前庭功能正常的志愿者作为对照, 均无神经系统疾病或骨科疾病等影响运动功能疾病病史。男性 34 例, 女性 15 例; 年龄为 46~60 岁, 平均(52.69 \pm 3.93)岁; 受教育程度 6~15 年, 平均(11.86 \pm 2.26)年; 既往合并高血压 26 例(53.06%)、冠心病 23 例(46.94%)、糖尿病 27 例(55.10%)、高脂血症 25 例(51.02%), 吸烟 20 例(40.82%)、饮酒 15 例(30.61%)。各组受试者一般资料比较, 差异无统计学意义(均 $P >$ 0.05, 表 1), 均衡可比。

二、研究方法

1. 步态与平衡功能测试 采用 OPAL 可穿戴传感器(美国 APDM 公司)和 Mobility Lab 软件(<https://apdm.com/wearable-sensors/>)对所有受试者进行 7 米步行测试和感觉整合平衡测试(CTSIB), 共计 6 个惯性测量单元, 传感器分别佩戴于胸骨柄、第五腰

椎,以及双侧手腕和足背。(1)7米步行测试:要求受试者以最舒适的步速自然行走 7 m,传感器自动记录步态空间参数(步幅、步速)和时间参数(步频、双支撑相时间、终末双支撑相时间),以及躯干冠状面摆动角度、摆动面积和冠状面姿势摆动的均方根。(2)CTSIB 测试:于安静条件下,要求受试者手臂交叉置于胸前,双足于测试系统标记处,保持直立姿势;听到提示音后尽力保持姿势稳定,依次在睁眼稳定面、闭眼稳定面、睁眼平衡软踏、闭眼平衡软踏共 4 种测试条件下各站立 30 s,每种测试时间间隔为 15 s,传感器自动记录站立过程中躯干摆动面积、冠状面姿势摆动的均方根和矢状面姿势摆动的均方根。

2. 统计分析方法 采用 SPSS 23.0 统计软件进行数据处理与分析。计数资料采用相对数构成比(%)或率(%)表示,行 χ^2 检验。正态性检验采用 Kolmogorov-Smirnov 检验,呈正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用两独立样本的 t 检验;多组间比较采用单因素方差分析,组间两两比较行 LSD- t 检验。呈非正态分布的计量资料以中位数和四分位数间距 [$M(P_{25}, P_{75})$] 表示,两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;多组间比较采用 Kruskal-Wallis 检验(H 检验),组间两两比较行 Mann-Whitney U 检验。以 $P \leq 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

7 米步行测试结果显示,3 组受试者步态空间参数和时间参数差异具有统计学意义(均 $P = 0.000$, 表 2)。其中,前庭症状组和无前庭症状组步态空间参数之步幅、步速,时间参数之步频低于对照组(均 $P = 0.000$),时间参数之双支撑相时间、终末双支撑相时间高于对照组(均 $P = 0.000$);前庭症状组步幅、步速、步频亦低于无前庭症状组(均 $P < 0.05$),双支撑相时间、终末双支撑相时间亦高于无前庭症状组(均 $P = 0.000$, 表 3)。

7 米步行测试结果显示,3 组受试者躯干冠状面摆动角度、摆动面积和冠状面姿势摆动的均方根差异亦具有统计学意义(均 $P = 0.000$, 表 4)。其中,前庭症状组和无前庭症状组躯干冠状面摆动角度(均 $P < 0.01$)、摆动面积(均 $P = 0.000$)和冠状面姿势摆动的均方根(均 $P = 0.000$)大于对照组,前庭症状组躯干冠状面摆动角度和冠状面姿势摆动的均方根

亦大于无前庭症状组(均 $P = 0.000$, 表 5)。

CTSIB 测试结果显示,在 4 种测试条件下 3 组受试者躯干摆动面积、冠状面姿势摆动的均方根、矢状面姿势摆动的均方根差异均具有统计学意义(均 $P = 0.000$, 表 6~8)。其中,前庭症状组和无前庭症状组在睁眼稳定面、闭眼稳定面、睁眼平衡软踏、闭眼平衡软踏共 4 种测试条件下,冠状面和矢状面姿势摆动的均方根均大于对照组(均 $P < 0.01$),在睁眼稳定面、闭眼稳定面、闭眼平衡软踏共 3 种测试条件下,躯干摆动面积大于对照组(均 $P = 0.000$);前庭症状组在睁眼平衡软踏下的躯干摆动面积大于对照组($P = 0.000$),但无前庭症状组小于对照组($P = 0.000$);而前庭症状组与无前庭症状组在 4 种测试条件下差异无统计学意义(均 $P > 0.05$, 表 9)。

讨 论

脑卒中是全球范围内发病率、病死率、病残率和复发率均较高的脑血管病。据国家卫生健康委员会脑卒中防治工程委员会报告,2019 年因脑卒中住院的人数高达 310 万人次,且患病率随年龄的增长逐渐增加,其中重症脑卒中患者病死率约为 35%,脑卒中后偏瘫、语言及认知功能障碍发生率高达 70%,严重影响日常生活活动能力(ADL)^[12]。脑卒中后平衡障碍和步行能力降低是影响患者自理能力和生活质量的主要因素,因此平衡及步行能力的恢复成为脑卒中患者康复治疗主要目的。

前庭系统对于维持人体姿势和步行稳定具有重要意义,前庭感受器由在三维空间中感知头部旋转加速度的三对半规管(前半规管、后半规管和水平半规管),以及两个共同感知线性加速度的耳石器官(椭圆囊和球囊)构成。其中,半规管在行走过程中主要感受角加速度信号,维持注视稳定、姿势反应及空间定向;耳石器官主要感受线性加速度信号,维持头部在重力方向上的正确感知,并控制步速^[13-15]。前庭感受器感知躯体空间位置的变化,经前庭神经将刺激信息传入脑干前庭神经核,与视觉和本体觉等其他感觉信息整合、加工后,经多条神经传导通路投射至皮质及皮质下结构、小脑、脑干等脑区,从而维持眼动、控制姿势平衡和空间定向导航^[16],当前庭系统信息整合与反馈控制回路损伤时,即可出现姿势不稳和步态异常^[17]。

椎基底动脉系统主要供血脑干、小脑、丘脑和枕叶等脑区。小脑的小脑小结、小脑小舌、扁桃体

表 2 不同处理组受试者 7 米步行测试步态参数的比较

Table 2. Comparison of gait parameters in 7-Meter Walking Test among different groups

组别	例数	空间参数($\bar{x} \pm s$)		时间参数		
		步幅(m)	步速(m/s)	步频 [$M(P_{25}, P_{75})$, 步/min]	双支撑相时间($\bar{x} \pm s$, %GCT)	终末双支撑相时间($\bar{x} \pm s$, %GCT)
对照组(1)	49	1.24 ± 0.20	1.20 ± 0.20	114.00(109.00, 120.00)	17.63 ± 3.19	8.58 ± 1.41
无前庭症状组(2)	31	0.98 ± 0.18	0.82 ± 0.22	101.00(92.50, 105.00)	24.74 ± 5.58	12.66 ± 1.77
前庭症状组(3)	51	0.84 ± 0.17	0.71 ± 0.19	93.00(90.00, 98.00)	30.09 ± 3.64	16.26 ± 2.75
F 或 χ^2 值		60.431	81.938	78.571	119.471	165.966
P 值		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Kruskal-Wallis test (H test) for comparison of stride frequency, and one-way ANOVA for comparison of others, 步频的比较采用 Kruskal-Wallis 检验(H 检验), 其余指标的比较采用单因素方差分析。GCT, gait cycle time, 步行周期时间

表 3 不同处理组受试者 7 米步行测试步态参数的两两比较

Table 3. Pairwise comparison of gait parameters in 7-Meter Walking Test among different groups

组间两两比	步幅		步速		步频		双支撑相时间		终末双支撑相时间	
	t 值	P 值	t 值	P 值	Z 值	P 值	t 值	P 值	t 值	P 值
(1) : (2)	5.904	0.000	8.280	0.000	-5.726	0.000	-6.456	0.000	-11.412	0.000
(1) : (3)	10.897	0.000	12.785	0.000	-8.318	0.000	-18.177	0.000	-17.648	0.000
(2) : (3)	3.479	0.001	2.293	0.024	-3.120	0.002	-4.757	0.000	-7.207	0.000

表 4 不同处理组受试者 7 米步行测试躯干参数的比较 [$M(P_{25}, P_{75})$]

Table 4. Comparison of trunk parameters in 7-Meter Walking Test among different groups [$M(P_{25}, P_{75})$]

组别	例数	躯干摆动角度($^{\circ}$)		躯干摆动面积 (m^2/s^4)	姿势摆动的均方根(m/s^2)	
		冠状面	矢状面		冠状面	矢状面
对照组(1)	49	4.68(3.84, 5.51)	5.36(4.13, 6.49)	0.05(0.03, 0.07)	0.03(0.03, 0.04)	0.08(0.07, 0.11)
无前庭症状组(2)	31	5.53(4.70, 6.75)	5.53(4.44, 6.00)	0.09(0.04, 0.17)	0.05(0.04, 0.07)	0.09(0.07, 0.14)
前庭症状组(3)	51	7.41(5.37, 8.95)	5.22(4.10, 6.49)	0.11(0.04, 0.17)	0.09(0.06, 0.10)	0.09(0.07, 0.17)
χ^2 值		40.794	0.478	21.334	74.935	2.388
P 值		0.000	0.787	0.000	0.000	0.303

表 5 不同处理组受试者 7 米步行测试躯干参数的两两比较

Table 5. Pairwise comparison of trunk parameters in 7-Meter Walking Test among different groups

组间两两比	躯干冠状面摆动角度		躯干摆动面积		冠状面姿势摆动的均方根	
	Z 值	P 值	Z 值	P 值	Z 值	P 值
(1) : (2)	-2.755	0.006	-3.634	0.000	-5.249	0.000
(1) : (3)	-6.113	0.000	-4.158	0.000	-4.909	0.000
(2) : (3)	-3.510	0.000	0.053	0.958	-3.897	0.000

及小脑绒球部是重要的中枢前庭结构,且脑干延髓背侧、脑桥被盖与中脑顶盖等脑区分布有支配眼动与姿势平衡的神经整合中枢及神经传导束,上述脑区受损均可导致眩晕、姿势不稳等前庭症状,因此椎基底动脉系统供血区梗死患者常伴眩晕及行走不稳等平衡障碍^[18]。既往研究发现,具有眩晕症状和异常动态视敏度(DVA)的头晕患者虽无外周前庭系统器质性病变与功能损害,但步态测试却呈现时间和空间参数异常,且步态异常情况类似外周前

庭功能障碍患者^[19],推测这些无前庭系统器质性病变患者出现前庭症状可能是由中枢神经系统多感觉信息整合障碍所致。由此可见,中枢神经系统对于维持姿势稳定和步态平衡亦具有重要作用。

人体保持直立稳定是一种静态稳定需求,个体为维持直立稳定需要自身多感觉整合机制共同作用^[20]。Peterka 和 Loughlin^[21]对 12 例健康志愿者直立位时多感觉权重调整过程进行研究,发现受试者无论处于视野扰动还是直立支撑面被干扰的条件

表 6 不同处理组受试者 CTSIB 测试之躯干摆动面积的比较 [$M(P_{25}, P_{75}), m^2/s^4$]

Table 6. Comparison of swing area of CTSIB parameters among different groups [$M(P_{25}, P_{75}), m^2/s^4$]

组别	例数	E0	E1	E2	E3
对照组(1)	49	0.02(0.01,0.04)	0.02(0.02,0.03)	0.09(0.06,0.13)	0.15(0.09,0.24)
无前庭症状组(2)	31	0.06(0.04,0.13)	0.06(0.03,0.10)	0.06(0.04,0.08)	0.40(0.23,0.55)
前庭症状组(3)	51	0.06(0.03,0.11)	0.05(0.03,0.11)	0.25(0.12,0.57)	0.41(0.24,0.97)
χ^2 值		32.544	35.196	37.963	43.613
P值		0.000	0.000	0.000	0.000

E0, eyes open on firm, 睁眼稳定面; E1, eyes closed on firm, 闭眼稳定面; E2, eyes open on foam, 睁眼平衡软踏; E3, eyes closed on foam, 闭眼平衡软踏。The same for Table 7-9

表 7 不同处理组受试者 CTSIB 测试之冠状面姿势摆动的均方根的比较 [$M(P_{25}, P_{75}), m/s^2$]

Table 7. Comparison of root mean square of coronal postural swing of CTSIB among different groups [$M(P_{25}, P_{75}), m/s^2$]

组别	例数	E0	E1	E2	E3
对照组(1)	49	0.02(0.02,0.02)	0.02(0.02,0.02)	0.06(0.04,0.08)	0.07(0.06,0.10)
无前庭症状组(2)	31	0.04(0.03,0.06)	0.03(0.02,0.05)	0.08(0.06,0.13)	0.12(0.08,0.16)
前庭症状组(3)	51	0.03(0.02,0.05)	0.03(0.02,0.05)	0.10(0.07,0.16)	0.14(0.09,0.21)
χ^2 值		37.354	41.180	33.073	34.935
P值		0.000	0.000	0.000	0.000

表 8 不同处理组受试者 CTSIB 测试之矢状面姿势摆动的均方根的比较 [$M(P_{25}, P_{75}), m/s^2$]

Table 8. Comparison of root mean square of sagittal postural swing of CTSIB among different groups [$M(P_{25}, P_{75}), m/s^2$]

组别	例数	E0	E1	E2	E3
对照组(1)	49	0.02(0.01,0.03)	0.07(0.05,0.09)	0.09(0.07,0.12)	0.11(0.09,0.16)
无前庭症状组(2)	31	0.04(0.03,0.06)	0.10(0.08,0.15)	0.12(0.09,0.19)	0.18(0.14,0.23)
前庭症状组(3)	51	0.04(0.03,0.09)	0.09(0.06,0.14)	0.13(0.10,0.18)	0.19(0.15,0.28)
χ^2 值		40.119	16.996	22.013	30.624
P值		0.000	0.000	0.000	0.000

表 9 不同处理组受试者 CTSIB 测试参数的两两比较

Table 9. Pairwise comparison of CTSIB parameters among different groups

组间两两比	E0		E1		E2		E3	
	Z值	P值	Z值	P值	Z值	P值	Z值	P值
躯干摆动面积								
(1):(2)	-4.686	0.000	-5.294	0.000	-4.632	0.000	-5.037	0.000
(1):(3)	-4.985	0.000	-4.754	0.000	-5.647	0.000	-5.958	0.000
(2):(3)	-0.292	0.771	-1.062	0.288	-0.870	0.384	-1.420	0.156
冠状面姿势摆动的均方根								
(1):(2)	-4.933	0.000	-5.220	0.000	-4.049	0.000	-4.113	0.000
(1):(3)	-5.382	0.000	-5.654	0.000	-5.368	0.000	-5.509	0.000
(2):(3)	0.698	0.485	-0.110	0.912	-1.305	0.192	-1.544	0.122
矢状面姿势摆动的均方根								
(1):(2)	-5.254	0.000	-4.079	0.000	-3.200	0.001	-4.183	0.000
(1):(3)	-5.513	0.000	-2.665	0.008	-4.520	0.000	-5.051	0.000
(2):(3)	-0.210	0.833	-1.477	0.140	-0.435	0.663	-0.861	0.389

下,均表现出对前庭信息的依赖性增加,这是由于当视觉和(或)躯体感觉不利于维持平衡的情况下,

大脑会自动分析并选择相对可靠的前庭信息^[22]。有研究显示,前庭系统损害的脑卒中患者在维持直

立位时,虽然具备调整自身重心的能力,但其稳定性较健康人差,且更依赖视觉系统信息以维持姿势稳定^[23]。本研究 CTSIB 测试结果显示,前庭症状组患者在睁眼稳定面、闭眼稳定面、睁眼平衡软踏、闭眼平衡软踏共 4 种测试条件下直立平衡控制能力均较对照组差;而无前庭症状的脑卒中患者可能由于肌力降低且存在运动障碍,因此即使在无前庭症状的情况下,仍可出现直立平衡控制能力低于对照组的情况。本研究前庭症状组与无前庭症状组在上述 4 种条件下的直立平衡相关参数均无显著差异,其原因可能为:(1)入组时已排除存在深浅感觉障碍的病例,因此即使是存在前庭症状的脑卒中患者,在维持直立平衡时其大脑也同样可进行本体感觉、视觉、前庭觉的再权重分析,此时前庭信息的可靠程度较低,为此调动本体感觉与视觉系统信息辅助维持直立平衡。(2)虽然闭眼直立于平衡软踏时弱化了视觉,高度挑战躯体感觉系统,但是 CTSIB 测试的 4 种测试均属于静态平衡测试,无外力干扰。(3)测试过程中所采用的平衡软踏软硬度尚不足以造成躯体显著晃动,无法刺激前庭感受器,且入组患者均不存在感觉系统异常,具备足够的抗自身重力的直立能力。

步行过程中自身或外界通常会出现干扰,在正常生理状态下,人体通过前庭系统提供的头动信号快速做出反应,该过程具有时相依赖性特点,且需要协调不同肌群^[3,24]。步态周期是对步行最直观的描述,主要包括支撑相和摆动相两方面,其中双下肢支撑相的最后 100 毫秒内要完成的主动迈步和足位置准确放置决策,是保证步行稳定的重要因素,该决策主要通过前庭系统处理,此时大脑需要整合接收到的前庭信息综合判断身体是否发生相对于支撑面的移动,该过程即前庭系统对下肢控制的时相依赖性^[25]。本研究结果显示,前庭症状组双支撑相时间及终末双支撑相时间均长于无前庭症状组和对照组,可能由于前庭功能损害导致前庭信息整合障碍,因此无法在终末双支撑相时间内对姿势调整做出准确判断。研究显示,外周前庭功能障碍患者步行可呈现步速慢、步频低与步基宽的特点,该变化有利于增加自身稳定性^[26-27]。当以较宽的基底距离行走时,由前庭信号变化所诱发的肌肉活动和地面反作用力也相应减少,可使身体维持冠状面的相对稳定,无需更多的前庭神经作用介入其中^[28];而以相对较窄的基底距离行走时,对前庭信息处理

需求更高,也因此需要付出更多的努力以维持平衡稳定^[29-30]。然而,帕金森病、多发性硬化(MS)等神经系统疾病患者步态也可呈现宽基底的特点,该指标缺乏一定的特异性,故本研究未将步基作为评价指标。

行走过程中躯干稳定性对于平衡控制十分重要,同时身体各节段间的对线也对身体垂直状态的评估与调整起重要作用,促进下肢移动做出合适的改变,该过程主要受前庭信息影响^[31]。本研究 7 米步行测试结果显示,前庭症状组和无前庭症状组躯干冠状面摆动角度与姿势摆动的均方根均大于对照组,而 3 组在矢状面上的差异无统计学意义,与既往研究结果相一致^[32]。前庭系统对躯体冠状面的稳定作用主要通过控制骨盆移动调整双足位置实现^[33],属于主动控制,相对于冠状面而言,躯体矢状面上的稳定维持大部分是被动驱动,因此在矢状面上对前庭系统所受干扰的纠正性基本缺失^[34]。推测本研究前庭症状组前庭系统损害导致的前庭信息利用与整合障碍,在步行中出现冠状面上的控制能力降低。

本研究存在以下局限性:(1)本研究样本量较小,可能存在选择偏倚。(2)测试过程中步行方式较少。(3)步行稳定由多感觉整合、神经调控、生物力学等多方面共同决定,本研究观察指标较单一。未来尚待进一步扩大样本量,增加双任务行走、转弯及跨越障碍物行走等测试方式,纳入目标肌群的肌电活动、地反力等观察指标,并采用更多的评价方法以明确前庭系统在维持人体动静态平衡中的作用和意义。

综上所述,具有前庭症状的脑卒中患者与无前庭症状的脑卒中患者步行周期中的步态时间和空间参数,以及躯干相关参数具有明显差异,为制定脑卒中康复治疗策略制定提供新的角度,同时对于实施精准康复治疗具有重要价值。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Campbell GB, Matthews JT. An integrative review of factors associated with falls during post-stroke rehabilitation[J]. J Nurs Scholarsh, 2010, 42:395-404.
- [2] van Emmerik REA, Ducharme SW, Amado AC, Hamill J. Comparing dynamical systems concepts and techniques for biomechanical analysis[J]. J Sport Health Sci, 2016, 5:3-13.
- [3] Mehdizadeh S. The largest Lyapunov exponent of gait in young and elderly individuals: a systematic review[J]. Gait Posture, 2018, 60:241-250.

- [4] Jandaghi S, Tahan N, Akbarzadeh Baghban A, Zoghi M. Stroke patients showed improvements in balance in response to visual restriction exercise[J]. *Phys Ther Res*, 2021, 24:211-217.
- [5] Mitsutake T, Chuda Y, Oka S, Hirata H, Matsuo T, Horikawa E. The control of postural stability during standing is decreased in stroke patients during active head rotation[J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26:1799-1801.
- [6] Mitsutake T, Imura T, Tanaka R. The effects of vestibular rehabilitation on gait performance in patients with stroke: asystematic review of randomized controlled trials[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2020, 29:105214.
- [7] Chae SW, Song JJ, Kim WS. Change of gait after unilateral vestibular neuritis: a prospective longitudinal observation study [J]. *Sci Rep*, 2021, 11:21579.
- [8] Grove CR, Whitney SL, Pyle GM, Heiderscheit BC. Instrumented gait analysis to identify persistent deficits in gait stability in adults with chronic vestibular loss [J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2021, 147:729-738.
- [9] Krishnan K, Bassilious K, Eriksen E, Bath PM, Sprigg N, Brækken SK, Ihle-Hansen H, Horn MA, Sandset EC. Posterior circulation stroke diagnosis using HINTS in patients presenting with acute vestibular syndrome: a systematic review [J]. *Eur Stroke J*, 2019, 4:233-239.
- [10] Neurology Branch, Chinese Medical Association; Cerebral Vascular Diseases Group, Neurology Branch, Chinese Medical Association. Diagnostic criteria of cerebrovascular diseases in China (version 2019)[J]. *Zhonghua Shen Jing Ke Za Zhi*, 2019, 52:710-715.[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, 52:710-715.]
- [11] Bisdorff A, Von Brevern M, Lempert T, Newman-Toker DE. Classification of vestibular symptoms: towards an international classification of vestibular disorders[J]. *J Vestib Res*, 2009, 19: 1-13.
- [12] Report on Stroke Prevention and Treatment in China Writing Group. Brief report on stroke prevention and treatment in China, 2019[J]. *Zhongguo Nao Xue Guan Bing Za Zhi*, 2020, 17:272-281.[《中国脑卒中防治报告》编写组. 《中国脑卒中防治报告 2019》概要[J]. *中国脑血管病杂志*, 2020, 17:272-281.]
- [13] Halmágyi GM, Curthoys IS. Vestibular contributions to the Romberg test: testing semicircular canal and otolith function[J]. *Eur J Neurol*, 2021, 28:3211-3219.
- [14] Fayat R, Delgado Betancourt V, Goyallon T, Petremann M, Liaudet P, Descosy V, Reveret L, Dugué GP. Inertial measurement of head tilt in rodents: principles and applications to vestibular research[J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21:6318.
- [15] Goldberg JM, Cullen KE. Vestibular control of the head: possible functions of the vestibulocollic reflex [J]. *Exp Brain Res*, 2011, 210:331-345.
- [16] Cullen KE. The vestibular system: multimodal integration and encoding of self-motion for motor control [J]. *Trends Neurosci*, 2012, 35:185-196.
- [17] Snijders AH, van de Warrenburg BP, Giladi N, Bloem BR. Neurological gait disorders in elderly people: clinical approach and classification[J]. *Lancet Neurol*, 2007, 6:63-74.
- [18] Sommer P, Posekany A, Serles W, Marko M, Scharer S, Fertl E, Ferrari J, Lang W, Vosko M, Szabo S, Kiechl S, Knoflach M, Greisenegger S; Austrian Stroke Unit Registry Collaborators. Is functional outcome different in posterior and anterior circulation stroke[J]? *Stroke*, 2018, 49:2728-2732.
- [19] Davalos-Bichara M, Zuniga MG, Agrawal Y, Carey JP, Schubert MC. Forward and backward locomotion in individuals with dizziness[J]. *Gait Posture*, 2014, 40:499-503.
- [20] Ballardini G, Florio V, Canessa A, Carlini G, Morasso P, Casadio M. Vibrotactile feedback for improving standing balance [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2020, 8:94.
- [21] Peterka RJ, Loughlin PJ. Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control[J]. *J Neurophysiol*, 2004, 91:410-423.
- [22] Asan AS, McIntosh JR, Carmel JB. Targeting sensory and motor integration for recovery of movement after CNS injury[J]. *Front Neurosci*, 2022, 15:791824.
- [23] Tomita Y, Turpin NA, Piscitelli D, Feldman AG, Levin MF. Stability of reaching during standing in stroke [J]. *J Neurophysiol*, 2020, 123:1756-1765.
- [24] Buisseret F, Dehouck V, Boulanger N, Henry G, Piccinin F, White O, Dierck F. Adiabatic invariant of center-of-mass motion during walking as a dynamical stability constraint on stride interval variability and predictability[J]. *Biology (Basel)*, 2022, 11:1334.
- [25] Piccolo C, Bakkum A, Marigold DS. Subthreshold stochastic vestibular stimulation affects balance-challenged standing and walking[J]. *PLoS One*, 2020, 15:e0231334.
- [26] Coelho AR, Fontes RC, Moraes R, Barros CGC, de Abreu DCC. Effects of the use of anchor systems in the rehabilitation of dynamic balance and gait in individuals with chronic dizziness of peripheral vestibular origin: a single-blinded, randomized, controlled clinical trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2020, 101: 249-257.
- [27] Herrensens N, Saeys W, Vereeck L, Meijer K, van de Berg R, VanRompae V, McCrum C, Hallemans A. An exploratory investigation on spatiotemporal parameters, margins of stability, and their interaction in bilateral vestibulopathy [J]. *Sci Rep*, 2021, 11:6427.
- [28] Magnani RM, Bruijn SM, van Dieën JH, Forbes PA. Stabilization demands of walking modulate the vestibular contributions to gait[J]. *Sci Rep*, 2021, 11:13736.
- [29] Perry JA, Srinivasan M. Walking with wider steps changes foot placement control, increases kinematic variability and does not improve linear stability[J]. *R Soc Open Sci*, 2017, 4:160627.
- [30] Arvin M, Mazaheri M, Hoozemans MJM, Pijnappels M, Burger BJ, Verschueren SMP, van Dieën JH. Effects of narrow base gait on mediolateral balance control in young and older adults [J]. *J Biomech*, 2016, 49:1264-1267.
- [31] Akay T, Murray AJ. Relative contribution of proprioceptive and vestibular sensory systems to locomotion: opportunities for discovery in the age of molecular science [J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22:1467.
- [32] Nam D, Ahn B. Gait analysis accuracy difference with different dimensions of flexible capacitance sensors [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21:5299.
- [33] Dakin CJ, Inglis JT, Chua R, Blouin JS. Muscle-specific modulation of vestibular reflexes with increased locomotor velocity and cadence[J]. *J Neurophysiol*, 2013, 110:86-94.
- [34] Shih HS, Gordon J, Kulig K. Trunk control during gait: walking with wide and narrow step widths present distinct challenges [J]. *J Biomech*, 2021, 114:110135.

(收稿日期:2022-11-23)

(本文编辑:柏钰)