

脑卒中患者姿势控制的感觉系统特征

段林茹, 郑洁皎

(复旦大学附属华东医院 康复医学科, 上海 200040)

摘要:目的 研究脑卒中患者姿势控制的感觉系统特征,分析各感受器对脑卒中患者姿势控制能力的贡献率和利用率。方法 老年脑卒中患者30例(患者组)和健康老年人30例(对照组)采用计算机动态姿势描记系统进行感觉统合测试(sensory organization test, SOT),记录6种条件下的平衡得分、平衡综合分,计算分析视觉、本体感觉、前庭觉在不同站立条件下的贡献率与整体利用率。结果 患者组在闭眼/支撑面稳定($Z = -3.248, P = 0.001$)、视觉干扰/支撑面稳定($Z = -2.829, P = 0.005$)、闭眼/支撑面不稳($Z = -4.283, P = 0$)、视觉干扰/支撑面不稳($Z = -4.074, P = 0$)条件下的平衡分显著低于对照组,平衡综合分显著低于对照组($Z = -4.133, P = 0$)。睁眼/支撑面稳定和闭眼/支撑面稳定测试中,患者组本体感觉占比分别为16.351%、34.942%,对照组本体感觉占比分别为14.307%、18.390%,患者组本体感觉占比始终大于对照组,说明本体感觉对患者组作用大于对照组。同理,视觉对患者组作用大于对照组。不同站立条件下前庭觉的贡献率最低为64.648%,说明维持人体平衡主要因素是前庭觉。患者组本体感觉、视觉、前庭觉的利用率分别为95.092%、72.382%、32.879%,其中本体感觉($Z = -1.984, P = 0.047$)、前庭觉($Z = -4.283, P = 0$)利用率显著低于对照组。结论 脑卒中患者感觉系统的贡献率与利用率下降是脑卒中患者姿势控制障碍的重要因素之一,其中姿势控制贡献率前庭觉最大,其次为本体感觉、视觉。而其姿势控制利用率最大的为本体感觉,其次为视觉、前庭觉。影响脑卒中患者姿势控制能力下降的原因之一为脑卒中患者本体感觉、视觉的感觉信息输入效率下降,以及其本体感觉、前庭觉参与运动输出的部分降低。建议脑卒中患者注重本体感觉、前庭觉的训练以提高其姿势控制能力。

关键词: 脑卒中; 姿势控制; 视觉; 本体感觉; 前庭觉

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.04.020

Sensory System Characteristics of Posture Control in Patients with Stroke

DUAN Linru, ZHENG Jiejiao

(Department of Rehabilitation Medicine, Huadong Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200040, China)

Abstract: Objective To study the sensory system characteristics of posture control in stroke patients, and to analyze the contribution rate and utilization rate of each receptor to postural control ability of stroke patients.

Methods Sensory organization tests (SOT) were conducted on 30 elderly stroke patients (patient group) and 30 healthy elderly patients (control group) with computer dynamic posture tracing system. The balance scores and balance comprehensive score were recorded under 6 conditions, and the contribution rate and overall utilization

收稿日期: 2022-09-26; 修回日期: 2022-11-09

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2020YFC2008700), 上海市卫健委卫生行业临床研究专项青年项目(20194Y0463), 上海康复医学临床医学研究中心(21MC1930200), 上海市科委项目(22Y31900200)

通信作者: 郑洁皎, 主任医师, 教授, E-mail: zjjess@163.com

rate of vision, proprioception, and vestibular sense under different standing conditions were calculated and analyzed. **Results** The balance score of patient group was significantly lower than that of control group under the conditions of closed eyes/stable support surface ($Z = -3.248, P = 0.001$), visual disturbance/stable support surface ($Z = -2.829, P = 0.005$), closed eyes/unstable support surface ($Z = -4.283, P = 0$), and visual disturbance/unstable support surface ($Z = -4.074, P = 0$). The balance comprehensive score was significantly lower than that of the control group ($Z = -4.133, P = 0$). In eyes-open/stable-support and eyes-closed/stable-support tests, the proportion of proprioception in patient group was 16.351% and 34.942%, and 14.307% and 18.390% in control group. The proportion of proprioception in patient group was always greater than that in control group, indicating that proprioception had a greater effect in patient group than that in control group. Similarly, the effect of vision on patient group was greater than that on control group. The lowest contribution rate of vestibular sense under different standing conditions was 64.648%, indicating that the main factor to maintain balance of human body is vestibular sense. The utilization rates of proprioception, vision and vestibular sense in patient group were 95.092%, 72.382%, and 32.879%, respectively. The utilization rate of proprioception ($Z = -1.984, P = 0.047$) and vestibular sense ($Z = -4.283, P = 0$) was significantly lower than that of the control group.

Conclusions The decline in contribution and utilization of sensory system in stroke patients is one of the important factors for stroke patients with postural control disorders. Posture control contributes the most to vestibular sense, followed by proprioception and vision. The largest utilization rate of posture control is proprioception, followed by vision and vestibular sense. One of the reasons that affect the decline in posture control ability of stroke patients is the decline in the efficiency of proprioception and visual sensory information input of stroke patients, as well as the partial decrease in proprioception and vestibular sense participating in motor output. It is suggested that stroke patients should pay attention to the training of proprioception and vestibular sense to improve their posture control ability.

Key words: stroke; postural control; vision; proprioception; vestibular sense

姿势控制障碍引发的跌倒问题是健康中国面临的重大挑战之一。脑卒中是最常见的神经系统疾病,脑卒中后患者跌倒率是非脑卒中的1.5~2.1倍^[1],脑卒中后有高达86.1%的患者首发平衡功能障碍^[2]。在脑卒中急性期,14%~65%的患者经历过跌倒,在出院后的6个月内该比例上升至73%^[3]。且脑卒中后跌倒会导致老年人慎行^[4]、骨折^[5]等不良后果,延长了患者住院时间^[6],严重影响患者的生活质量。影响老年人脑卒中后姿势控制的因素很多,包括肌力减退、大脑平衡反射调节、小脑共济失调、感觉障碍、鞋具等^[7-9]。姿势控制的维持需要视觉、本体感觉、前庭觉3个系统共同作用及中枢神经系统复杂的整合作用^[10-11]。脑卒中后大脑高级中枢受损,影响患者感觉功能,这也是影响患者姿势控制能力的原因之一。以往针对脑卒中姿势控制的研究多集中在脑卒中跌倒后的干预^[12-14]、跌倒风险的预测^[15]上,但脑卒中患者姿势控制时感觉系统的研究较少。本文利用精准的计算机动态姿势描记术研究脑卒中患者维持平衡的感觉系

统贡献率与利用率,探究脑卒中患者姿势控制能力特征,从而为针对性训练脑卒中患者感觉功能提供理论依据,更好提高脑卒中患者的姿势控制能力。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2019年1月~2022年7月于复旦大学附属华东医院就诊的脑卒中患者30例(患者组),选择健康人30例(对照组)。参考Simpson等^[1]研究中脑卒中患者与正常老人6 min步行试验距离分别为(275.9±141.8)、(527.8±85.9)m,计算效应量为0.73,本研究采用G*Power 3.1.9.7进行Wilcoxon-Mann-Whitney检验后验分析,显著性水平 $\alpha = 0.05$,纳入30名卒中患者和30名正常老人的统计功效值为0.86。

患者组纳入标准:①符合2014版中国缺血性和出血性脑卒中诊治指南脑梗死或脑出血诊断标准;②年龄≥60岁;③首次发病,既往2周以上曾有脑卒中,偏瘫,下肢肌力III级或以上;

④ Brunnstrom 分期:患侧下肢 III 期或以上,上肢 II 期及以上;⑤ 知情同意;⑥ 无需辅助下能站立 5 min;⑦ 简易精神状态检查量表(mini-mental state examination, MMSE) > 17 分,能配合完成认知及步态评估。排除标准:① 生命体征不稳定;② 严重心、肺、肾、肝等器官疾病;③ 脑部病变前存在肢体功能障碍;④ 其他原因引起的姿势控制异常如小脑疾病、前庭系统疾病、椎体外系异常、视觉异常、听觉异常、周围神经及肌肉骨骼病变等;⑤ 严重的认知障碍、重度抑郁、不能配合认知和平衡评估;⑥ 有金属植入物,如心脏起搏器或人工耳蜗。

对照组来自陪诊家属。纳入标准:① 血压、心率处于正常范围;② 无神经系统、骨骼肌肉系统及其他脏器系统疾病史;③ 年龄 ≥ 60 岁;④ 知情同意。排除标准:① 发生过跌倒;② 认知障碍。

结果表明,两组间性别、年龄、身高、体重差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。本研究经复旦大学附属华东医院伦理委员会批准。

表 1 两组一般资料比较

Tab. 1 Comparison of general data between two groups

参数	对照组($n=30$)	患者组($n=30$)	χ^2/t	P
性别	14/16	20/10	0.269	0.462
年龄/岁	66.87±1.457	67.07±1.486	-0.372	0.713
身高/cm	165.73±6.227	168.6±5.654	-1.320	0.198
体重/kg	63.93±7.226	64.87±5.705	-0.393	0.698

注:性别为男/女。

1.2 测试方法

采用 Neuro Com Balance Manager 平衡系统进行感觉统合测试(sensory organization test, SOT)。测试时,受试者穿上安全防护带,站在可移动的力传感的测试板上,校准内踝与跟骨外侧缘,可进行扇形调整,确定足部位置,双臂下垂,平视前方。通过睁眼/闭眼、支撑面稳定/不稳、视觉干扰等因素交互形成视觉、本体感觉、前庭觉相互作用的 6 种环境条件,每种评估条件主要参与的感觉系统见表 2^[16]。每种环境条件各评估 3 次,每次评估 20 s。

1.3 感觉系统对姿势控制的贡献分析

感觉信息输入是引发神经系统脊髓水平反射运动的刺激信息,感觉信息的输入通过本研究中感觉系统的贡献率体现。参考有关研究对姿势平衡

表 2 6 种环境条件与参与的感觉系统

Tab. 2 Six environmental conditions and participating sensory system

测试顺序	站立条件	主要参与感觉系统
SOT1	睁眼/支撑面稳定	视觉、本体觉和前庭觉
SOT2	闭眼/支撑面稳定	本体觉和前庭觉
SOT3	视觉干扰/支撑面稳定	本体感觉和前庭觉
SOT4	睁眼/支撑面不稳	视觉和前庭觉
SOT5	闭眼/支撑面不稳	前庭觉
SOT6	视觉干扰/支撑面不稳	前庭觉

的分析方法^[17]。① 视觉:同样支撑面条件下,闭眼阻断了视觉信息的输入,SOT1-SOT2、SOT4-SOT5 可研究视觉对人体功能的影响。SOT1 与 SOT2 中,(SOT1-SOT2)/(SOT1+SOT2)为本体感觉和前庭觉交互影响下,视觉对平衡功能的影响,计为视觉 1;SOT4 与 SOT5 中,(SOT4-SOT5)/(SOT4+SOT5)为在前庭觉影响下,视觉对平衡功能的影响,计为视觉 2。② 同样视觉条件下,支撑面稳定与不稳影响了本体感觉的输入,SOT1-SOT4、SOT2-SOT5 可研究本体感觉对人体功能的影响。SOT1 与 SOT4 中,(SOT1-SOT4)/(SOT1+SOT4)为视觉和前庭觉的交互影响下,本体感觉对平衡功能的影响,计为本体觉 1;SOT2 与 SOT5 中,(SOT2-SOT5)/(SOT2+SOT5)为在前庭觉的影响下,本体感觉对平衡功能的影响,计为本体觉 2。③ SOT5 条件下阻断视觉输入且打破了干扰本体感觉,仅有前庭觉维持平衡,可视作为前庭觉的作用结果。(SOT1-SOT5)/(SOT1+SOT5)为在前庭觉的影响下,视觉和本体感觉对平衡功能的影响。

1.4 感觉系统的利用率得分

在脊髓水平,感觉信号参与调节神经系统高级别中心的运动输出。感觉信号参与运动输出通过本研究中感觉系统的利用率体现。根据计算机动态姿势描记原理,感觉系统的得分以不同站立条件下平衡分的比值表示,分值越小,则表明对该感觉信息的利用能力越差。具体计算方法为:

$$\text{本体感觉分} = 100 \times \text{SOT2/SOT1}$$

$$\text{视觉感觉分} = 100 \times \text{SOT4/SOT1}$$

$$\text{前庭感觉分} = 100 \times \text{SOT5/SOT1}$$

$$\text{视觉依赖度} = 100 \times (\text{SOT3} + \text{SOT6}) / (\text{SOT2} + \text{SOT5})$$

1.5 统计学分析

应用 SPSS 23.0 对数据进行统计分析,计量资

料以均数±标准差表示,符合正态分布者组间比较采用独立样本 t 检验,不符合正态分布,以 $M(Q_L, Q_U)$ 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。等级资料和计数资料以频数表示,组间比较采用 X^2 检验或 Fisher 确切概率检验。显著水平 $\alpha = 0.05$ 。同时对脑卒中患者与健康人在不同测试条件下的平衡能力进行比较,确定视觉、本体感觉、前庭觉对脑卒中患者平衡能力的影响。

2 结果

2.1 平衡分

患者组在 SOT2、SOT3、SOT5、SOT6 环境下平衡分显著低于对照组 ($P < 0.01$),平衡综合分显著低于对照组 ($P < 0.01$),见表 3。

表 3 不同条件下平衡分与平衡综合分比较

Tab. 3 Comparison of balanced score and balanced comprehensive score under different conditions

组别	对照组 ($n=30$)	患者组 ($n=30$)	Z	P
SOT1	93.89 (92.67,96)	91.221 (89.33,93.33)	-1.779	0.075
SOT2	92.113 (89.67,93.67)	86.955 (88.33,90.33)	-3.248	0.001
SOT3	89.89 (88.67,91)	83.76 (84.67,89)	-2.829	0.005
SOT4	67.553 (55.33,77)	66.555 (66.67,81.67)	-1.255	0.209
SOT5	58.667 (49.69,33)	30.156 (18.67,46.67)	-4.283	0
SOT6	58.887 (53.33,64)	34.023 (15.67,52)	-4.074	0
平衡综合分	72.333 (71,73)	59 (56,69)	-4.133	0

2.2 各感觉系统对姿势控制的影响作用

根据感觉系统对姿势控制的贡献分析,对照组和患者组的各感觉系统对姿势控制的影响作用见表 4。

2.3 不同站立条件下各感觉系统贡献率

根据文献[18]中平衡感受器的作用效果计算公式:

$$x/(100+x)$$

本文采用感觉系统的交互影响结果平均值计算各感觉系统贡献率(见表 5)。

表 4 各感觉系统对姿势控制的影响

Tab. 4 Effects of sensory systems on posture control

影响因素	计算方法	患者组/%	对照组/%
视觉 1	(SOT1-SOT2)/ (SOT1+SOT2)	2.728±0.052	0.958±0.007
视觉 2	(SOT4-SOT5)/ (SOT4+SOT5)	44.94±0.276	14.448±0.057
本体觉 1	(SOT1-SOT4)/ (SOT1+SOT4)	19.547±0.257	16.695±0.064
本体觉 2	(SOT2-SOT5)/ (SOT2+SOT5)	53.708±0.279	22.534±0.071
视觉和 本体感觉	(SOT1-SOT5)/ (SOT1+SOT5)	54.683±0.273	23.425±0.0754

表 5 不同条件下各感觉系统贡献率

Tab. 5 Contribution rates of each sensory system under different conditions

站立条件	组别	视觉/%	本体觉/%	前庭觉/%
SOT1	患者组	2.656	16.351	64.648
	对照组	0.949	14.307	81.021
SOT2	患者组	—	34.942	65.058
	对照组	—	18.390	81.610
SOT4	患者组	31.006	—	68.994
	对照组	12.624	—	87.376
SOT5	患者组	—	—	100
	对照组	—	—	100

2.4 感觉系统利用率得分

对照组和患者组 3 种感觉系统的利用率得分见表 6。患者组较对照组本体感觉得分低,且两组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$),同时患者组前庭觉得分显著低于对照组,且两组间具有非常显著性差异 ($P < 0.01$)。

表 6 3 种感觉系统利用率得分比较

Tab. 6 Comparison of utilization scores for three sensory systems

影响因素	对照组 ($n=30$)	患者组 ($n=30$)	Z	P
视觉	71.865 (59.495,80.208)	72.382 (73.807,88.932)	-1.566	0.117
本体 感觉	98.12 (96.763,100)	95.092 (95.572,98.881)	-1.984	0.047
前庭觉	62.607 (51.042,74.548)	32.879 (20.004,50.005)	-4.283	0
视觉 依赖	98.809 (94.869,102.029)	102.313 (90.435,109.322)	-0.522	0.602

3 讨论

姿势平衡需要视觉系统、本体感觉系统和前庭觉系统相互协调完成。视觉、本体觉和前庭感受器感受加速度及外界环境变化,并提供感觉信息上传。大脑皮层、脑干、小脑及网状结构等中枢神经系统对感觉信息进行整合,通过大脑运动编程,完成目标肌群收缩、姿势反射、维持平衡等运动输出。

感觉信息在运动控制中有多种功能,既是发生于脊髓水平的反射运动的刺激源,也调节产生于脊髓信号发生器的运动输出,以及来自于高级中枢系统的指令输出,通过上行传导通路以更加复杂的方式参与对动作的感知和控制。由于感觉信息在神经最低到最高上行的过程中被逐级处理,高级中枢能选择性地调节低级中枢的信息,使得感觉信息的贡献率与利用率并不相同。而脑卒中患者由于中枢神经系统受损,其姿势控制的调节作用与感觉系统的利用情况影响着患者的姿势控制能力。

本文通过对老年脑卒中患者与健康老年人分别进行 SOT 分析发现,与健康老年人相比,脑卒中患者整体的平衡得分与 SOT2、SOT3、SOT5、SOT6 环境下的平衡得分均显著降低。该结果表明,脑卒中患者的姿势控制能力弱于同龄健康人,环境条件越复杂,卒中患者姿势挑战越大,姿势控制能力越差,这与前期研究一致^[19]。

感觉系统的加权会随着环境和任务的改变而发生变化^[20]。因此,不同环境条件下各感觉系统对姿势控制的影响作用不同。患者前庭觉在维持姿势平衡过程中的贡献率始终最大,其次为本体感觉、视觉,前庭觉在 SOT1、SOT2、SOT4、SOT5 条件下分别达 64.648%、65.058%、68.994%、100%,起最重要作用。且脑卒中患者在不同环境条件下的前庭觉贡献率占比相近,健康老年人同理。这可能与前庭系统根据头的重力方位为人体提供真实外界信息有关^[21]。但与对照组相比,脑卒中患者前庭觉贡献率始终小于健康老年人,说明在调节人体平衡过程中,脑卒中患者相较于健康人未有效应用前庭觉系统参与运动输出。

在 SOT1 和 SOT2 条件下,卒中患者本体感觉占比始终大于健康老年人,说明在调节平衡中,本体感觉对脑卒中患者的作用大于健康老年人。在

SOT1 和 SOT4 条件下,卒中患者视觉占比始终大于健康老年人,说明在调节平衡中,视觉对脑卒中患者的作用大于健康老年人,但有研究表明,视觉症状的发生在椎基底动脉系统卒中患者中更为常见,并伴有视力下降和视错觉^[22]。本文未统计卒中损伤部位对视觉的影响,研究可能存有部分偏移。在 SOT1 和 SOT4 条件中,本体感觉的破坏使得脑卒中患者视觉贡献率提高 28.35%,而健康人视觉贡献率仅提高 11.675%,本体感觉的破坏使得视觉因素对脑卒中患者平衡能力的调节影响大于健康人,说明影响脑卒中患者平衡能力的因素之一为视觉功能下降,贡献效率降低。在 SOT1 和 SOT2 条件中,视觉传输的关闭使得脑卒中患者本体感觉贡献率提高 18.591%,而健康人本体感觉贡献率仅提高 4.083%,视觉系统缺乏使得本体觉因素对脑卒中患者平衡能力的调节影响大于健康人,说明影响脑卒中患者平衡能力的因素之一为本体感觉功能下降,贡献效率降低。脑卒中患者本体感觉、视觉信息输入效率下降是影响其姿势控制能力下降的原因之一。且脑卒中患者在缺乏/减少视觉和本体感觉其中一种感觉输入时,对剩余感觉系统的贡献需求更高于正常人。脑卒中患者的一种感觉不能提供关于身体位置的最佳信息时,此感觉系统作为方向性来源的权重就会减少,其他更精确性的感觉权重就会增加。本文结果提示,在脑卒中患者平衡功能训练中,如视觉或本体感觉受损,训练患者的感觉系统代偿功能同样重要。

本文发现,维持人体平衡过程中视觉、本体感觉、前庭觉的作用效果累加并不是简单的 3 种感觉系统占比之和。在 SOT1 条件下,脑卒中患者的视觉、本体感觉、前庭觉贡献率分别为 2.656%、16.351%、64.648%,三者之和为 83.655%,表明老年卒中患者在维持平衡过程中各感受器存在代偿作用。健康老年人的 3 种感觉系统贡献率之和为 96.277%,健康老年人在维持平衡过程中同样存在一定的代偿作用,但较卒中患者小。

本文同时计算了感觉系统的利用率。结果发现,脑卒中患者感觉系统利用率最大为本体感觉,其次为视觉、前庭觉。本体感觉和前庭觉利用率较健康老年人低,且具有统计学差异。卒中患者视觉依赖较健康老年人强,与前期研究一致^[23]。在整体

维持平衡的过程中感觉系统的利用率影响人体大脑感觉统合,影响人体姿势控制过程。3种感觉系统中,脑卒中患者前庭觉贡献率始终最大,但其利用率却最小,而与健康人前庭觉利用率相比具有非常显著性差异。本体感觉利用率最高达95.092%,但本体感觉的利用率仍显著低于健康人。视觉利用率次之为72.382%,但与健康人没有统计学差异。说明脑卒中患者前庭觉信息输入最多,但其参与运动输出的部分过低,是导致卒中患者姿势控制不稳的重要因素。脑卒中患者进行体位转移、站立、行走等日常生活活动时,任务是自发的,视觉输入对姿势控制的相对重要性会减少,对本体感觉输入的依赖会增加,但脑卒中患者本体感觉的利用率虽最高,但仍达不到健康老年人利用率水平,也是不可忽略的方面。Thompson等^[24]研究指出,降低跌倒风险的关键是人体能够有效利用感觉传入信息,并以针对性的视觉和本体感觉训练改善了老年人和卒中患者的平衡功能。本文提示,脑卒中患者提高姿势控制的训练后续应着重于前庭觉和本体感觉的有效应用。

本文通过分析脑卒中患者姿势控制能力特征,为脑卒中患者诊疗提供一定的理论依据。本研究中存在站立条件闭眼可以使视觉通道阻止的情况,但支撑面不稳定并不能使本体感觉的信息输入真正地完全去除^[25],对本体感觉的结果有一定影响。今后可以进一步增加样本量,继续深入研究复杂条件下的姿势控制特征。

4 结论

脑卒中患者感觉系统的贡献率与利用率下降是其姿势控制障碍的重要因素之一,其中姿势控制贡献率前庭觉最大,其次为本体感觉、视觉。而其姿势控制利用率最大的为本体感觉,其次为视觉、前庭觉。影响脑卒中患者姿势控制能力下降的原因之一为脑卒中患者本体感觉、视觉的感觉信息输入效率下降,以及其本体感觉、前庭觉参与运动输出的部分降低。建议脑卒中患者注重本体感觉、前庭觉的训练,以提高其姿势控制能力。

参考文献:

- [1] SIMPSON LA, MILLER WC, ENG JJ. Effect of stroke on fall rate, location and predictors: A prospective comparison of older adults with and without stroke [J]. *PLoS One*, 2011, 6(4): e19431.
- [2] WALKER ER, HYNSTROM AS, SCHMIT BD. Influence of visual feedback on dynamic balance control in chronic stroke survivors [J]. *J Biomech*, 2016, 49(5): 698-703.
- [3] BATCHELOR F, HILL K, MACKINTOSH S, et al. What works in falls prevention after stroke? A systematic review and meta-analysis [J]. *Stroke*, 2010, 41(8): 1715-1722.
- [4] GOH HT, NADARAJAH M, HAMZAH NB, et al. Falls and fear of falling after stroke: A case-control study [J]. *PM R*, 2016, 8(12): 1173-1180.
- [5] POUWELS S, LALMOHAMED A, LEUFKENS B, et al. Risk of hip /femur fracture after stroke: A population-based case-control study [J]. *Stroke*, 2009, 40(10): 3281-3285.
- [6] COX R, BUCKHOLTZ B, BRADAS C, et al. Risk factors for falls among hospitalized acute post-ischemic stroke patients [J]. *J Neurosci Nurs*, 2017, 49(6): 355-360.
- [7] KANG N, LEE RD, LEE JH, et al. Functional balance and postural control improvements in patients with stroke after noninvasive brain stimulation: A meta-analysis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2020, 101(1): 141-153.
- [8] ABIT KOCAMAN A, AYDOĞAN ARSLAN S, UĞURLU K, et al. Validity and reliability of the 3-meter backward walk test in individuals with stroke [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2021, 30(1): 105462.
- [9] 汤运启, 梁佩瑶, 李新月, 等. 鞋具对老年人身体稳定性影响的系统综述[J]. *医用生物力学*, 2022, 37(4): 759-765.
- [9] TANG YQ, LIANG PY, LI XY, et al. Effects of footwear on the stability of older adults: A systematic review [J]. *J Med Biomech*, 2022, 37(4): 759-765.
- [10] 段林茹, 郑洁皎, 方旭昊, 等. 特发性正常压力脑积水患者平衡稳定性特征[J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27(7): 751-754.
- [11] SCHMUCKLER MA, TANG A. Multisensory factors in postural control: Varieties of visual and haptic effects [J]. *Gait Posture*, 2019, 71: 87-91.
- [12] 罗雯怡, 唐妍敏. 脑卒中后跌倒风险评估及综合干预专家共识[J]. *临床内科杂志*, 2022, 39(1): 63-68.
- [13] 丰有燕, 郑洁皎. 双任务训练在脑卒中患者平衡功能康复中的应用[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2022, 44(6): 556-559.
- [14] 陈秀恩, 郑洁皎, 朱婷, 等. 认知功能与姿势控制联合训练对老年脑卒中患者平衡功能和日常生活活动能力的影响 [J]. *老年医学与保健*, 2021, 27(3): 559-563.
- [15] 游永豪, 邵梦霓, 胡燕杰, 等. 基于步态特征的老年人跌倒风险预警模型[J]. *医用生物力学*, 2020, 35(4): 489-495.
- [15] YOU YH, SHAO MN, HU YJ, et al. Early warning model of fall risk for the elderly based on gait characteristics [J].

- J Med Biomech, 2020, 35(4): 489-495.
- [16] 付奕, 窦祖林, 丘卫红, 等. 脑卒中患者姿势控制能力的量化评价[J]. 中国康复医学杂志, 2010, 25(10): 947-952.
- [17] 纪仲秋, 张静, 姜桂萍, 等. 老年男性与青年男性静态平衡能力的差异性研究[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(6): 648-655.
- [18] 郭丽敏, 迟放鲁. 姿势平衡中的感觉相互作用[J]. 上海医学, 2003(4): 258-261.
- [19] OLIVEIRA CB, MEDEIROS ÍR, GRETERS MG, *et al.* Abnormal sensory integration affects balance control in hemiparetic patients within the first year after stroke[J]. Clinics, 2011, 66(12): 2043-2048.
- [20] CHIBA R, TAKAKUSAKI K, OTA J, *et al.* Human upright posture control models based on multi sensory inputs in fast and slow dynamics[J]. Neurosci Res, 2016, 104: 96-104.
- [21] YEH JR, LO MT, CHANG FL, *et al.* Complexity of human postural control in subjects with unilateral peripheral vestibular hypofunction [J]. Gait Posture, 2014, 40(4): 581-586.
- [22] PIMENTEL BN, FILHA VAVDS. Evaluation of vestibular and oculomotor functions in individuals with dizziness after stroke [J]. Arq Neuropsiquiatr, 2019, 77(1): 25-32.
- [23] TREGGER I, MIZRACHI N, MELZER I. Open-loop and closed-loop control of posture: Stabilogram-diffusion analysis of center-of-pressure trajectories among people with stroke [J]. J Clin Neurosci, 2020, 78: 313-316.
- [24] THOMPSON LA, SAVADKOOHI M, DE PAIVA GV, *et al.* Sensory integration training improves balance in older individuals [J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2020: 3811-3814.
- [25] 刘波, 孔维佳, 邹宇. 应用海绵垫干扰本体觉分析正常人姿势平衡中的感觉整合作用[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2007(4): 162-165.