

# 全身振动训练促进脑卒中偏瘫患者平衡功能和步行效率的研究

肖悦<sup>1</sup> 许光旭<sup>2</sup> 曹蓉<sup>2</sup> 鲁俊<sup>2</sup> 杨云<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南京医科大学, 南京 210029; <sup>2</sup>南京医科大学第一附属医院康复医学科, 南京 210029

通信作者: 许光旭, Email: xuguangxu1@126.com

**【摘要】** **目的** 观察全身振动训练对脑卒中偏瘫患者平衡功能及步行效率的作用。**方法** 将符合入选条件的 30 例脑卒中患者使用随机数字表法分为对照组 ( $n=15$ ) 与实验组 ( $n=15$ )。对照组接受常规脑卒中康复治疗 (每日 2 次, 每次 30 min, 每周 6 d, 连续训练 2 周) 和假性全身振动治疗 (每日 1 次, 每次共 14 min, 每周 6 d, 连续治疗 2 周); 实验组在接受常规脑卒中康复治疗的基础上, 接受全身振动训练 (振动训练频率 10 Hz, 振幅 4 mm, 每日 1 次, 每次共 14 min, 每周 6 d, 连续治疗 2 周)。分别于治疗前和治疗 2 周后 (治疗后) 对 2 组受试者进行平衡功能评估 (前后和左右偏移能力、患侧单腿站立时间) 和步行效率评估 (10 m 步行试验、3 m 坐站试验)。**结果** 治疗后, 2 组患者前后偏移能力和左右偏移能力、患侧单腿站立时间、10 m 步行试验结果、3 m 坐站试验结果较组内治疗前均显著改善, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。实验组治疗前、后改善幅度即左右偏移能力差值为  $(0.94\pm 0.56)^\circ$ , 患侧单腿站立时间差值为  $(2.51\pm 1.31)$  s, 10 m 步行时间差值为  $(-2.76\pm 1.04)$  s, 3 m 坐站试验差值为  $(-3.58\pm 1.90)$  s, 与对照组比较, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 而前后偏移能力差值与对照组比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。**结论** 全身振动训练可有效地改善脑卒中偏瘫患者的平衡功能和步行效率, 且治疗效果较常规康复治疗更佳。

**【关键词】** 脑卒中; 偏瘫; 全身振动; 平衡; 步行效率

**基金项目:** 南京市科技计划项目 (201715001)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.04.005

## Whole body vibration can improve balance and walking after a stroke

Xiao Yue<sup>1</sup>, Xu Guangxu<sup>2</sup>, Cao Rong<sup>2</sup>, Lu Jun<sup>2</sup>, Yang Yun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nanjing Medical University and <sup>2</sup>Department of Rehabilitation, The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

Corresponding author: Xu Guangxu, Email: xuguangxu1@126.com

**【Abstract】** **Objective** To investigate the effect of whole body vibration (WBV) on balance and walking ability after a stroke. **Methods** Thirty stroke survivors were randomly divided into a control group ( $n=15$ ) and an experimental group ( $n=15$ ). Both groups received 30 minutes of routine rehabilitation training twice a day, 6 days a week for 2 weeks. The experimental group was additionally provided with 14 minutes of 10Hz WBV with an amplitude of 4mm every day during the 2 weeks. Before and after the intervention, balance was quantified using the front-behind inclination angle (F-BIA), the left-right inclination angle (L-RIA) and the single-leg stance time of the hemiplegic side (SSTHS). Walking efficiency was quantified using the 10 metre walk test (10MWT) and the 3 metre timed up-and-go test (3TUG). **Results** There was a significant improvement in all of the measurements in both groups after the intervention, but the improvements in average L-RIA, SSTHS, 10 MWT and 3TUG results in the experimental group were significantly greater than those in the control group. **Conclusions** Supplementing routine therapy with WBV can improve balance and walking ability after a stroke more effectively than routine therapy alone.

**【Key words】** Stroke; Hemiplegia; Vibration; Balance; Walking ability

**Funding:** A Nanjing Science and Technology Plan Project (201715001)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.04.005

脑卒中后感觉障碍和肢体运动功能异常是导致患者平衡功能和步行能力降低、跌倒风险增高的常见因素<sup>[1]</sup>。70%的脑卒中患者自医疗机构出院后 6 个月内

曾发生跌倒, 且 30%~80%的脑卒中患者对于跌倒产生了不同程度的恐惧心理<sup>[2-3]</sup>。脑卒中后伴发的平衡功能的下降、运动控制障碍、本体感觉障碍和跌倒恐惧

心理是导致患者移动能力降低、跌倒风险增高的重要因素<sup>[1]</sup>。因此,有效地改善脑卒中患者的平衡功能和步行能力在临床康复治疗中具有重要意义。

目前,临床上改善平衡功能和步行能力的常见手段有平衡相关活动训练、力量训练、步态训练、瑜伽、太极以及运动想象训练等,常见辅助器具包括转移用滑板、瑜伽球、矫形鞋垫等<sup>[4]</sup>。尽管上述手段对脑卒中患者的平衡功能和步行功能均有一定的疗效,但尚未有任何一种治疗手段明确其优越性<sup>[1]</sup>。

全身振动(whole body vibration, WBV)训练是一种利用一定频率及振幅的振动波进行训练的治疗方式,具有方便、易操作的特点。有研究初步表明,WBV训练可改善脑卒中患者的部分运动功能<sup>[5-7]</sup>,但是其对于平衡功能和步行效率作用的相关证据仍然不充分,如有 Meta 分析指出,WBV 训练对脑卒中患者日常生活活动中肌肉力量、平衡功能和步态的作用的效应值较小<sup>[8]</sup>。本研究旨在通过研究 WBV 训练对脑卒中偏瘫患者平衡功能和步行效率的作用,以期 WBV 在临床脑卒中康复中的应用提供相关依据。

## 对象和方法

### 一、研究对象

纳入标准:①经头颅 MRI 或 CT 等相关检查确诊为脑卒中并具有偏瘫体征;②20 岁~80 岁,病情稳定;③无严重认知功能障碍,能够接受指令并配合完成训练;④能够无辅助具下独立站立 2 min,且站立平衡达自动态平衡;⑤可在室内环境下独立直线步行 10 m;⑥所有受试者均被告知治疗方案并签署知情同意书,实验期间不受任何影响肌张力的药物干预。

排除标准:①患高血压病等严重的心血管疾病;②近期发生下肢静脉血栓;③装有心脏起搏器等体内植入物;④近期接受手术且未愈合;⑤患严重认知功能障碍,无法服从指令且配合训练;⑥患严重前庭功能障碍;⑦患帕金森氏病、多发性硬化等神经系统疾病;⑧患类风湿性关节炎、强直性脊柱炎等骨关节疾病;⑨近期接受肉毒毒素注射。

选取 2017 年 11 月至 2018 年 4 月在南京医科大学第一附属医院栖霞康复院区接受住院治疗并符合上述标准的脑卒中偏瘫患者 30 例。根据患者例数拟定 30 个研究序号,使用随机数字表法产生随机数字,将

随机数字为奇数的分入对照组,随机数字为偶数的分入实验组。2 组患者间性别、年龄、身高、体重等一般资料比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),具体数值见表 1。

### 二、治疗方法

对照组给予脑卒中常规康复治疗,包括重心转移能力训练、步行训练等,每日 2 次,每次 30 min,每周训练 6 d,连续训练 2 周。在此基础上对照组还接受假性 WBV 刺激,即受试者站立于关闭的 WBV 平台上完成和实验组相同的指定动作,但并无振动刺激传入,每日 1 次,每次 14 min,每周治疗 6 d,连续治疗 2 周。

实验组在常规康复治疗基础上接受 WBV 训练,参考运动处方的三个阶段原则制定训练计划,即准备阶段(2 min)、训练阶段(10 min)、放松阶段(2 min)。准备阶段,受试者站在 WBV 平台(Wellengang Excellence / Excellence Med, Germany)上,双足与肩同宽,手可扶在设备横梁上,由治疗师将振动频率逐渐调高至 5 Hz,振幅 4 mm;训练阶段,在受试者可耐受的情况下治疗师将振动频率调至 10 Hz,振幅 4 mm,双膝微屈 20°~30°,并在治疗师的保护和指令提示下有节律地向左右轻微移动骨盆进行训练;放松阶段,治疗师将振动频率逐渐调低至 5 Hz,振幅 4 mm,提示受试者恢复自然直立位,并指令提示受试者进行腹式呼吸以放松<sup>[9]</sup>。WBV 训练每日 1 次,每次共 14 min,每周治疗 6 d,连续治疗 2 周。

WBV 训练过程中,由经验丰富的物理治疗师对实验组的振动训练进行指导和安全监督,训练时观察受试者反应,如出现关节疼痛、眩晕等不适症状立即停止训练。每次训练结束后监测受试者的心率和血压是否处于正常波动范围。

### 三、评定方法

分别于治疗前和治疗 2 周后(治疗后)对 2 组受试者进行平衡功能和步行效率评估,具体项目如下。

1. 前、后和左、右偏移能力:受试者在治疗师的指导下双足与肩同宽直立于平衡仪(PKB-MANOP-07-EN/ PROKIN Systems 212-252, TecnoBody, Italy)测试平台上,双眼目视前方屏幕,双上肢脱离护栏自然置于身体两侧。采用以目标为导向的评估模式,受试者根据前方屏幕上的正弦型曲线移动身体,系统测得受试者随意控制身体移动过程中测试平台的前、后倾斜角

表 1 2 组患者一般资料

组别	例数	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x}\pm s$ )	身高(cm, $\bar{x}\pm s$ )	体重(kg, $\bar{x}\pm s$ )	偏瘫侧(例)		病程(月, $\bar{x}\pm s$ )	病变性质(例)	
		男	女				左	右		脑梗死	脑出血
对照组	15	9	6	59.13±10.88	165.87±6.00	67.46±8.91	6	9	2.26±1.57	8	7
实验组	15	8	7	60.93±9.98	165.13±6.03	67.46±8.91	7	8	2.63±1.53	8	7

度(front-behind inclination angle, F-BIA)和左、右倾斜角度(left-right inclination angle, L-RIA),测试时间为 2 min,倾斜角度越大表明受试者测试中随意控制身体移动的幅度越大,平衡功能也越好。

2. 患侧单腿站立时间<sup>[10]</sup>:受试者睁眼且无辅助具支撑状态下,双手自然置于身体两侧,记录患侧单腿站立所能维持的最长时间,重复记录 3 次,取平均值;患侧单腿站立所能维持的时间越长,反应平衡功能越佳。

3. 10 m 步行试验(10 Meter-Walk Test, 10MWT)<sup>[11]</sup>:设置一条长 14 m 的直线无障碍步行距离,记录受试者以自然步速步行其中 10 m 所用的时间,重复记录 2 次,取平均值。步行直线距离 10 m 所用的时间越短表示受试者步行速度越快,反即受试者的步行效率越高。

4. 3 m 坐站试验(3 Meter Timed Up-and-Go Test, 3TUG)<sup>[12]</sup>:设置一条长 3 m 的直线无障碍步行距离,记录受试者从坐于一把高约为 45 cm 且有扶手的椅子站起,以自然步速步行距离 3 m 再返回座位坐下所用的时间,重复记录两次,取平均值;完成整个过程所耗时间越短表示步行速度越快、完成体位变换时间越短,即反应受试者的步行效率越高。并参考一项针对中国社区环境居住老年人跌倒风险评估的纵向研究结果<sup>[13]</sup>,设定 15.96 s 为标准,即完成 3 m 坐站试验耗时 >15.96 s 提示受试者在社区环境内步行具有跌倒风险。

#### 四、统计学分析

使用 SPSS 26.0 版统计软件进行数据分析。计数资料(如受试者性别构成等)采用  $\chi^2$  检验;计量资料使用( $\bar{x} \pm s$ )表示,经方差齐性检验后,组内治疗前、后数据比较采用配对样本  $t$  检验,实验组与对照组间数据比较采用独立样本  $t$  检验,评估结果与标准值的比较采用样本均数与总体均数比较的  $t$  检验。检验水准均设定为  $\alpha=0.05$ 。

## 结 果

### 一、平衡功能结果比较

治疗前,2 组患者的 F-BIA、L-RIA 和患侧单腿站立时间组间比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。治疗后,2 组患者的 F-BIA、L-RIA 和患侧单腿站立时间较组内治疗前均显著改善,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。治疗后,实验组 L-RIA 和患侧单腿站立时间的治疗前、后差值显著优于对照组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ );实验组 F-BIA 治疗前、后差值与对照组比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),具体数值见表 2。

表 2 2 组患者治疗前、后平衡功能比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	F-BIA(°)	L-RIA(°)	患侧单腿站立时间(s)
实验组				
治疗前	15	0.74±0.60	2.17±1.16	2.09±1.54
治疗后	15	1.12±0.71 <sup>a</sup>	3.11±1.24 <sup>a</sup>	4.60±2.64 <sup>a</sup>
治疗前、后差值	15	0.39±0.26	0.94±0.56	2.51±1.31
对照组				
治疗前	15	0.83±0.71	1.59±0.93	2.07±1.72
治疗后	15	1.09±0.68 <sup>a</sup>	2.11±1.03 <sup>a</sup>	3.05±2.15 <sup>a</sup>
治疗前、后差值	15	0.26±0.18、	0.52±0.23b	0.97±0.87 <sup>b</sup>

注:与组内治疗前比较,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与实验组治疗前、后差值比较,<sup>b</sup> $P<0.05$

### 二、步行效率

治疗前,2 组患者的 10-MWT 和 3TUG 组间比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ );治疗后,2 组患者的 10-MWT 和 3TUG 较组内治疗前均显著改善,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。实验组治疗后 3TUG 与社区环境步行跌倒风险标准 15.96 s 比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),且其 10-MWT 和 3TUG 治疗前、后差值显著优于对照组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),具体数值见表 3。

表 3 2 组患者治疗前、后步行效率比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	10-MWT(s)	3TUG(s)
实验组			
治疗前	15	17.60±4.97	16.77±5.80
治疗后	15	14.83±5.07 <sup>a</sup>	13.19±4.65 <sup>ac</sup>
治疗前、后差值	15	-2.76±1.04	-3.58±1.90
对照组			
治疗前	15	18.01±3.81	17.39±3.70
治疗后	15	16.76±3.45 <sup>a</sup>	16.33±3.74 <sup>a</sup>
治疗前、后差值	15	-1.25±1.40 <sup>b</sup>	-1.05±0.77 <sup>b</sup>

注:与组内治疗前比较,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与实验组治疗前、后差值比较,<sup>b</sup> $P<0.05$ ;与社区环境步行跌倒风险标准 15.96 s 比较,<sup>c</sup> $P<0.05$

## 讨 论

本研究结果显示,在接受 2 周 WBV 训练后,实验组受试者患侧单腿站立时间较组内治疗前延长,随意活动过程中 F-BIA 和 L-RIA 较组内治疗前均增大,且除 F-BIA 的改善幅度外,其余指标改善幅度均大于对照组。该研究结果提示,WBV 训练对于脑卒中患者的平衡功能具有改善作用,且大部分治疗效果优于常规脑卒中康复训练。

WBV 训练是一种借助振动平台向人体传递特定频率及振幅的振动刺激以进行治疗的训练方式<sup>[14]</sup>。WBV 训练的方式多样,借助同一个振动平台,通过完成不同的训练动作,可实现不同的治疗目的。相关研究发现<sup>[15]</sup>发现蹲位下接受 WBV 训练对于脑卒中患者的下肢肌肉力量和姿势控制能力具有改善作用。另有

研究提示<sup>[16]</sup>,坐位下接受 WBV 能够提高脑卒中患者上肢功能。本研究采用的是站立位使受试者膝盖微屈 20°~30°的 WBV 训练方式,振动波通过受试者的双足经由下肢向上传递,对患者的全身,尤其能够对双下肢进行有效的刺激输入,并可有效地避免振动波直接传递到头部而引发的不适感。

平衡功能的建立依赖于视觉、前庭及躯体感觉的输入。当躯体位置受到干扰时,上述多种感觉输入在脑内进行整合,继而完成相关情况预判和姿势反应以维持进一步动作的稳定性<sup>[17]</sup>。脑卒中患病后,上述感觉输入机制遭受不同程度损伤,偏瘫患者平衡功能及姿势控制能力均下降,进而导致患者日常生活活动能力下降、家庭与社区生活参与度减少。脑卒中患者平衡功能的评估方式多为半定量评估,本研究通过平衡仪系统定量评估了患者移动过程中导致平台偏移角度,所得的评估结果更为客观、精确。

WBV 改善脑卒中患者平衡功能的可能机制如下:振动作为一种强效而持续的感觉刺激输入,可通过肌肉、肌腱及关节囊内的本体感受器提高肌梭出入纤维末梢的兴奋性,影响脊髓前角运动神经元活动节律,改善脑卒中患者运动控制能力;振动刺激还可通过激活大脑运动皮质兴奋性促进受损脑区的神经功能重塑,改善脑卒中患者姿势控制能力<sup>[18-20]</sup>。本课题组前期相关研究亦提示,适当强度的振动刺激能够激活脑卒中患者大脑运动皮质兴奋性<sup>[21]</sup>。本研究所采用的左右交替式振动平台可人为制造短期不平衡界面,使受试者在反复接受振动刺激并左右轻微移动骨盆的过程中体内产生动能积蓄,身体通过快速、不随意的肌肉收缩做功释放该动能积蓄,期间受试者的姿势控制能力和反应能力均得到训练,对于不稳定情况的预判能力得到改善<sup>[22]</sup>。

本研究中,实验组在前后倾斜角上的改善幅度并未较对照组更为显著,即实验组受试者控制身体前后移动能力的提高并未较对照组明显,可能的原因有本实验选用的是左右交替式 WBV 训练仪,即振动平台围绕横向摆动中心轴左右交替运动,给受试者带来左右两侧的刺激输入相对较强,而前后方向的刺激输入相对较弱。刘北湘<sup>[23]</sup>的研究结果提出,不同方向的振动波带来的治疗效果也不同,这与本研究的观点相符。

本研究结果还显示,实验组在接受 2 周 WBV 训练后,受试者 10-MWT 和 3TUG 所耗时间均较训练前缩短,且上述指标改善幅度均大于对照组。此外,2 周训练后,实验组的 3TUG 低于社区环境步行跌倒风险标准。该研究结果提示,WBV 训练对于脑卒中患者的步行效率具有改善作用,且治疗效果优于常规脑卒中康复训练,并能够初步降低脑卒中偏瘫患者跌倒风险。

与本课题组前期研究显示的 WBV 后偏瘫患者的步行时空参数及步行能力即刻提高的结果相符<sup>[24]</sup>。

脑卒中可导致大脑运动皮质和下行皮质脊髓束受损,使肌肉力量下降,且由于脑干下行通路和脊髓内运动网络的抑制解除,脑卒中患者常无法随意活动肢体,表现为异常的协同运动模式并往往同时伴有肢体痉挛。上述变化可导致脑卒中患者原有的步行模式被破坏,其步行速度和稳定性降低、步行距离缩短、步行耐力和体位转换稳定性下降,患者在家庭及社区环境中无法独立安全完成日常生活活动,完成活动自信感降低,加重照顾者的负担<sup>[25]</sup>。

本研究中,WBV 训练提高步行效率的机制可能为振动刺激能够通过调节神经肌肉反射来提高脑卒中患者的运动控制能力和步行能力:①WBV 刺激可通过引起 Ia 传入的突触前抑制和/或突触前末端神经递质耗竭降低异常的脊髓反射兴奋,调节肌肉痉挛状态<sup>[26]</sup>。Kipp 等<sup>[27]</sup>的研究也观察到,脑卒中患者小腿比目鱼肌和腓肠肌 H 反射的波幅在 WBV 训练后均发生显著降低。②振动刺激可调节运动单位的募集,当人体接受振动刺激时,机体通过产生反射性肌肉收缩以“抵抗”振动波来进行调谐作用。在此过程中,运动单位的发放与振动周期产生关联,低募集阈值运动单位的募集阈值增高,高募集运动单位的募集阈值降低,大肌群肌肉收缩的运动单位募集效率提高,肌肉收缩的速率提高,有利于提高肌肉力量,改善运动表现<sup>[28]</sup>。

跌倒的发生不仅与运动控制能力有关,也与个体的认知功能和心理状态有关,且各因素间相互作用、相互影响。一项将 WBV 训练应用于社区环境居住老年人的研究显示<sup>[29]</sup>,WBV 训练后老年人跌倒风险降低,且跌倒恐惧心理减轻,受试者自述独立完成各项日常生活活动如洗澡、从柜子中取物、接电话等的自信心明显提高。因此,本研究中 WBV 训练后社区环境步行跌倒风险的降低亦可能与受试者的心理状态变化有关。

本研究的不足之处在于研究例数较少,疗程设计偏短。在后续研究中,将对振动频率及振幅进行分组,延长治疗周期,且对不同方向振动波的训练效果差异以及 WBV 对跌倒风险的意义进行进一步明确和研究,并将使用相关量表对患者跌倒恐惧心理进行评估,以为脑卒中偏瘫患者的康复治疗提供更具可行性、效果更佳的 WBV 训练方案。

综上所述,WBV 训练能够有效地改善脑卒中偏瘫患者平衡功能和步行效率,且治疗效果较常规训练具有优越性。

## 参 考 文 献

[1] Winstein CJ, Stein J, Arena R, et al. Guidelines for adult stroke re-

- habilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association [J]. *Stroke*, 2016, 47 (6): e98-e169. DOI: 10.1161/STR.000000000000098.
- [2] 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. DOI: 10.1161/STROKEAHA.109.570390.
- [3] Andersson AG, Kamwendo K, Appelros P. Fear of falling in stroke patients; relationship with previous falls and functional characteristics [J]. *Int J Rehabil Res*, 2008, 31(3): 261-264. DOI: 10.1097/MRR.0b013e3282fba390.
- [4] Lubetzky-Vilnai A, Kartir D. The effect of balance training on balance performance in individuals poststroke: a systematic review [J]. *J Neurol Phys Ther*, 2010, 34(3): 127-137. DOI: 10.1097/NPT.0b013e3181ef764d.
- [5] Liao LR, Huang M, Lam FM, et al. Effects of whole-body vibration therapy on body functions and structures, activity, and participation poststroke: a systematic review [J]. *Phys Ther*, 2014, 94(9): 1232-1251. DOI: 10.2522/ptj.20130366.
- [6] Huang D, Yang Z, Wang Z, et al. The macroscopic and microscopic effect of low-frequency whole-body vibration after cerebral ischemia in rats [J]. *Metab Brain Dis*, 2018, 33(1): 15-25. DOI: 10.1007/s11011-017-0113-2.
- [7] Liao LR, Pang MYC. Effect of Whole-Body Vibration on neuromuscular activation of leg muscles during dynamic exercises in individuals with stroke [J]. *J Strength Cond Res*, 2017, 31(7): 1954-1962. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001761.
- [8] Yang X, Wang P, Liu C, et al. The effect of whole body vibration on balance, gait performance and mobility in people with stroke: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Rehabil*, 2015, 29(7): 627-638. DOI: 10.1177/0269215514552829.
- [9] Guo C, Mi X, Liu S, et al. Whole body vibration training improves walking performance of stroke patients with knee hyperextension: a randomized controlled pilot study [J]. *CNS Neurol Disord Drug Targets*, 2015, 14(9): 1110-1115. DOI: 10.2174/187152731566615111124937.
- [10] Flansbjerg UB, Blom J, Brogårdh C. The reproducibility of Berg Balance Scale and the Single-leg Stance in chronic stroke and the relationship between the two tests [J]. *PM R*, 2012, 4(3): 165-170. DOI: 10.1016/j.pmrj.2011.11.004.
- [11] van Loo MA, Moseley AM, Bosman JM, et al. Test-retest reliability of walking speed, step length and step width measurement after traumatic brain injury: a pilot study [J]. *Brain Inj*, 2004, 18(10): 1041-1048. DOI: 10.1080/02699050410001672314.
- [12] van Meulen FB, Weenk D, van Asseldonk EH, et al. Analysis of balance during functional walking in stroke survivors [J]. *PLoS One*, 2016, 11(11): e0166789. DOI: 10.1371/journal.pone.0166789.
- [13] Kang L, Han P, Wang J, et al. Timed Up and Go Test can predict recurrent falls: a longitudinal study of the community-dwelling elderly in China [J]. *Clin Interv Aging*, 2017, 12: 2009-2016. DOI: 10.2147/CIA.S138287.
- [14] Chang SF, Lin PC, Yang RS, et al. The preliminary effect of whole-body vibration intervention on improving the skeletal muscle mass index, physical fitness, and quality of life among older people with sarcopenia [J]. *BMC Geriatr*, 2018, 18(1): 17. DOI: 10.1186/s12877-018-0712-8.
- [15] Tankisheva E, Bogaerts A, Boonen S, et al. Effects of intensive whole-body vibration training on muscle strength and balance in adults with chronic stroke: a randomized controlled pilot study [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014, 95(3): 439-446. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.09.009.
- [16] Boo JA, Moon SH, Lee SM, et al. Effect of whole-body vibration exercise in a sitting position prior to therapy on muscle tone and upper extremity function in stroke patients [J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(2): 558-562. DOI: 10.1589/jpts.28.558.
- [17] Sandrini G, Homberg V, Saltuari L, et al. Advanced technologies for the rehabilitation of gait and balance disorders [M]. Berlin: Springer, 2018: 1-23. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72736-3>.
- [18] Mouchnino L, Blouin J. When standing on a moving support, cutaneous inputs provide sufficient information to plan the anticipatory postural adjustments for gait initiation [J]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e55081. DOI: 10.1371/journal.pone.0055081.
- [19] Mildren RL, Strzalkowski ND, Bent LR. Foot sole skin vibration perceptual thresholds are elevated in a standing posture compared to sitting [J]. *Gait Posture*, 2016, 43(1): 87-92. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2015.10.027.
- [20] Lapole T, Temesi J, Arnal PJ, et al. Modulation of soleus corticospinal excitability during Achilles tendon vibration [J]. *Exp Brain Res*, 2015, 233(9): 2655-2662. DOI: 10.1007/s00221-015-4336-3.
- [21] 甘兆丹, 许光旭, 殷稚飞, 等. 局部振动对脑梗死运动皮质的即刻与延迟效应 [J]. *中国康复医学杂志*, 2017, 32(8): 890-894. DOI: 1001-1242(2017)-08-0890-05.
- [22] Jepsen DB, Thomsen K, Hansen S, et al. Effect of whole-body vibration exercise in preventing falls and fractures: a systematic review and meta-analysis [J]. *BMJ Open*, 2017, 7(12): e018342. DOI: 10.1136/bmjopen-2017-018342.
- [23] 刘北湘. 振动波方向、频率对振动训练的影响 [J]. *武汉体育学院学报*, 2011, 45(6): 83-87. DOI: 000.520X(2011)06-0083-05.
- [24] 朱娟, 许光旭, 张文通, 等. 全身振动刺激对脑卒中偏瘫患者步行效率的影响 [J]. *中国康复*, 2014(6): 430-432. DOI: 10.3870/zgkf.2014.06.010.
- [25] Li S, Francisco GE, Zhou P. Post-stroke hemiplegic gait: new perspective and insights [J]. *Front Physiol*, 2018, 9(9): 1021. DOI: 10.3389/fphys.2018.01021.
- [26] Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man [J]. *Clin Physiol*, 2000, 20(2): 134-142. DOI: 10.1046/j.1365-2281.2000.00238.x.
- [27] Kipp K, Johnson ST, Doeringer JR, et al. Spinal reflex excitability and homosynaptic depression after a bout of whole-body vibration [J]. *Muscle Nerve*, 2011, 43(2): 259-262. DOI: 10.1002/mus.21844.
- [28] Pollock RD, Woledge RC, Martin FC, et al. Effects of whole body vibration on motor unit recruitment and threshold [J]. *J Appl Physiol*, 2012, 112(3): 388-395. DOI: 10.1152/jappphysiol.01223.2010.
- [29] Yang F, King GA, Dillon L, et al. Controlled whole-body vibration training reduces risk of falls among community-dwelling older adults [J]. *J Biomech*, 2015, 48(12): 3206-3212. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2015.06.029.