

·临床研究·

基于叠加效应的全身振动联合蹲起同步训练对脑卒中患者步行功能的影响*

徐冬艳¹ 王卫宁¹ 梁思捷¹ 刘加鹏¹ 潘力¹ 刘昱¹ 吴毅¹ 朱玉连^{1,2}

摘要

目的:探讨基于叠加效应的全身振动联合蹲起同步训练对脑卒中患者步行功能的影响。

方法:选取复旦大学附属华山医院康复医学科(浦东院区)40例监护或者辅助具下,可以独立步行的脑卒中患者,随机分为全身振动训练组(WBVT组)和对照组,两组均采用常规康复治疗,每天40min。WBVT组在常规康复治疗的基础上增加全身振动联合蹲起同步训练,20min/次/天。对照组在常规康复治疗的基础上增加在全身振动平台上无振动站立,20min/次/天。分别在入组时和干预4周后,采用穿戴式三维步态评估仪对患者步行能力进行评估,使用表面肌电图仪采集患者步行过程中的股直肌和股二头肌长头的肌电信号,并对干预前后的数据进行统计学分析。

结果:经过4周干预,两组的步速和步幅均比治疗前有提高($P<0.05$),且WBVT组均优于对照组($P<0.05$);WBVT组膝关节摆动角度较治疗前有提高($P<0.05$),明显优于对照组;在患侧单支撑相(SS),WBVT组双侧股直肌和股二头肌协同收缩率干预前后均有差异($P<0.05$);在患侧摆动相(SW),两组双侧股直肌和股二头肌协同收缩率干预前后均有差异($P<0.05$),但干预后WBVT组患侧优于对照组($P<0.05$)。

结论:基于叠加效应的全身振动联合有节律的蹲起同步训练能够改善患者步行速度、步幅和下肢肌肉协同收缩率,改善患者步行功能。

关键词 全身振动;蹲起训练;脑卒中;协同收缩率;步行功能

中图分类号:R743.3;R318.0 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2024)-02-0178-07

Effects of whole-body vibration combined with squat-up synchronization training on walking function of stroke patients based on superposition effect/XU Dongyan, WANG Weining, LIANG Sijie, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2024, 39(2): 178—184

Abstract

Objective: To explore the synchronization effect of whole-body vibration therapy combined with squat-up training on ambulation of patients with stroke.

Method: 40 stroke survivors who could walk independently with supervision or assistive devices, were recruited from the Department of Rehabilitation Medicine, Huashan Hospital Affiliated to Fudan University (Pudong Campus) and were randomly divided into the WBVT group and the control group. Both groups received conventional rehabilitation treatment for 40 minutes per day. The WBVT group was given additional whole-body vibration therapy while squat-up training for another 20 minutes a day. The control group added sham stimulation of standing on the vibration platform with no vibration for the same amount of time per day. At the beginning of enrollment and after 4 weeks intervention, participants received two times evaluation by the wearable three-dimensional gait assessment instrument for the function of walking, and the electromyographic signals of the rectus femoris and long head of the biceps femoris were collected by surface electromyography instrument

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.02.005

*基金项目:上海市科学技术委员会资助项目(18411962300);2021年度国家临床重点专科建设项目(Pro20211231084249000238);上海市科学技术委员会2021年度“科技创新行动计划”生物医药科技支撑专项项目(21S31902500)

1 复旦大学附属华山医院康复医学科,上海市,200040;2 通讯作者

第一作者简介:徐冬艳,男,主管治疗师;收稿日期:2023-05-26

and statistical analysis on the data before and after the intervention.

Result: After 4 weeks intervention, the stride speed and stride length of both groups improved significantly ($P<0.05$), while the WBVT group was better than the control group ($P<0.05$). The swing angle of knee (flexion or extension) in the WBVT group improved significantly after intervention compared with the control group. At the single leg support phase (SS) of affected side, the differences were found in the synergistic contraction rate of the rectus femoris and biceps femoris in the bilateral lower extremity of the WBVT group after the intervention ($P<0.05$). At the swing phase (SW) of affected side, the differences were found in the synergistic contraction rate of the rectus femoris and biceps femoris in the bilateral lower extremity between the two groups before and after the intervention ($P<0.05$), but the affected side of the WBVT group was better than that the control group after intervention ($P<0.05$).

Conclusion: Whole-body vibration therapy combined with rhythmic squat-up synchronous training can improve the stride speed, stride length and synergistic contraction rate of lower limb muscles for better ambulation of patients with stroke.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, Huashan Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai, 200040

Key word whole body vibration; squat-up training; stroke; synergistic contraction rate; walking function

脑卒中是一种具有高致残率、复发率和死亡率的脑血管疾病^[1],中国面临着世界上最大的脑卒中防治的挑战,其已经成为中国第三大死因疾病^[2]。下肢运动功能障碍在脑卒中患者中很常见,通常由神经连通障碍引起^[3],其中大部分患者因运动功能障碍导致长期活动不利,尽管患者能够回归家庭,但是仍遗留步行功能受限^[4]。患者因患侧肌力减退、肌张力增高、肌肉收缩不协调等症状引起肢体异常运动模式的出现^[5],表现为典型的“划圈步态”,即“偏瘫步态”^[6]。步行功能障碍是脑卒中患者影响日常生活活动能力最严重的功能障碍,是脑卒中康复的难题,也是脑卒中患者的康复目标之一。

全身振动训练(whole-body vibration training, WBVT)是一种利用一定频率的物理机械反复垂直上下振动产生的频率和幅度相结合的共振原理,作用于人体某一部位或某一体位,对人体神经肌肉进行发射反馈,结合个体不同的运动辅助或者康复要求,让个体“骨骼-肌肉-神经”产生不同的应激反应,从而刺激产生骨骼肌出现应力反应,引起局部或者全身肌肉主动或者抗拒收缩,刺激身体神经系统出现刺激性反射和兴奋^[7-8]。最初主要应用于运动员的训练和恢复,近年来,逐渐应用到脑卒中患者的康复中,主要用于姿势控制、降低肌张力和肌力改善等^[9-10]。但是目前站立振动多以患者某一特定静态姿势振动为主要训练方式,缺乏生态学效应,振动过

程中联合主动运动的研究尚少。本研究的目的是观察全身垂直振动联合有节律的蹲起同步训练对脑卒中患者步行功能的临床疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究选取2021年10月—2023年6月于复旦大学附属华山医院康复医学科(浦东院区)住院的脑卒中患者40例,符合《中国脑血管疾病分类2015》诊断标准,经颅脑MRI检查或CT检查被确诊为脑梗死、脑栓塞、脑出血^[11]。本研究已获得复旦大学附属华山医院伦理委员会批准,批件号是(2018)临审第(398)号。

纳入标准:①生命体征平稳,神志清楚,愿意本人或其直系亲属代签知情同意书;②3个月≤病程≤1年,存在下肢运动功能障碍,患侧下肢Brunnstrom分期≥Ⅲ期;辅助下可以完成下蹲站起,监护或辅助器具下可独立步行10m以上;无下肢肌肉和关节疼痛及受伤史;③年龄:40—75岁;④MMSE≥27分,无认知功能障碍。

排除标准:①意识不清;存在严重认知、言语、视力、听力障碍或精神障碍等影响检查及治疗,不能配合检查及治疗;②躯干和四肢有金属植入物等;③合并心、肝、肾和造血系统等严重原发性疾病;④有心脏起搏器、房颤和心动过缓或者过速的患者。

剔除标准:①不符合纳入标准而被误纳入的病

例;②数据不完整的病例;③正在参加影响本研究结果评价的其他临床试验;④治疗过程继发其他疾病或下肢出现疼痛等不适症状,无法继续治疗。

脱落条件:①依从性差,不能完成基本疗程者;②研究者认为继续进行试验可能会对受试者造成损害者;③患者本人不愿意继续参与研究。

采用随机数字表法,将患者分为WBVT组和对照组,每组20例。全部病例干预结束后,WBVT组有2个病例出现膝关节疼痛,未完成治疗而脱落,对照组1个病例提前出院,未完成4周治疗而脱落。最终有37例患者完成全部评估和干预,其中WBVT组18例,对照组19例。两组的性别、年龄、病程等一般资料均无显著性差异($P>0.05$),具有可比性,见表1。

表1 两组一般资料比较

组别	例数	性别		偏瘫侧		年龄 (岁)	病程 (月)	发病类型	
		男	女	左	右			脑梗死	脑出血
WBVT组	18	10	8	6	12	58.32±6.24	7.42±1.54	11	7
对照组	19	11	8	7	12	55.58±7.66	7.42±1.74	13	6
P值		0.812		0.723		0.862	0.853	0.646	

1.2 研究方法

两组患者均采用常规康复治疗。另外,WBVT组在常规康复治疗的基础上,增加每天20min的全身振动联合蹲起同步训练;对照组在常规康复治疗的基础上,增加每天20min全身振动平台上站立训练。评估和治疗均由有经验的物理治疗师进行操作,对受试者设盲。

1.3 干预方法

常规康复治疗方案:采用3M物理治疗(手法治疗和运动疗法),主要包括神经促进技术、运动再学习技术、肌力训练、牵伸和姿势控制训练(步行动作学习和平衡训练)等。

全身振动联合蹲起同步训练方案:全身振动训练使用设备是BodyGreen(中国台湾),型号是i-vib5060(站立位),训练参数为:频率20Hz,振幅2mm。患者站在全身振动平台上,在设备启动和蹲起动作开始之前,治疗师确认患者患侧手是否可以独立抓住设备扶手。若不可,治疗师需辅助患者抓住全身振动平台的扶手,必要时,采用弹性绷带进行缠绕,将患侧手固定在振动平台的扶手上,治疗师全程在旁给予监督和保护。训练流程分为三个阶段:

第1阶段:在治疗师的指令引导下,进行5min的静态站立垂直振动适应训练(膝关节微屈5°—10°);第2阶段:在治疗师的保护和指令下,患者双下肢同时下蹲(膝关节屈曲60°左右),维持5s,然后恢复站立并维持5s,反复进行,持续时间为10min,训练过程中,蹲起姿势应保持在中立位,避免重心偏向健侧。若训练过程中,患者感到疲劳而无法耐受时,则按下设备暂停键休息,待疲劳缓解后继续重复蹲起动作;第3阶段:患者在起立状态下进行5min垂直振动,姿势同第1阶段适应性训练。在整个训练过程中,如果患者感觉头晕目眩,则立即停止治疗。直立振动过程均保持膝关节微屈5°—10°,不引起头部明显振动为宜。

1.4 评估方法

三维步态分析:采用穿戴式全身三维步态与运动分析系统(DC-G-200,江苏德长)进行步态参数采集,该系统主要通过可穿戴无线运动传感器捕捉人体在步行过程中各个关节点在空间中的运动轨迹,通过模型分析的方式对人体进行三维重建和模型分析,还原整个步行过程,从而获得人体步行时的各种运动学参数,如站立时间、摆动时间、步长、步频、步速、步宽、跨步均匀度等步行参数。评估分为三个步骤:第1步:设备校准,患者穿戴好设备后,进行站立、半蹲、双臂水平外展和前平举等动作校准,确保各传感器连接正常;第2步:行走测试,嘱患者沿着地面的10m步道匀速步行,治疗师或家属给予安全保护。第3步:采集数据,包括步频、步速、步长、步行周期、足偏角、步态轨迹、关节摆动角度等,选取步速、步频和膝关节摆动角度等指标数据,进行干预前后的统计学分析。

表面肌电图评估(surface electromyography, sEMG):表面肌电图是通过在皮肤表面放置电极,从而记录邻近神经肌肉系统活动时的生物电信号的测定方法。本试验采用的是无线表面肌电系统(BTS FREEEMG300,意大利),将佩戴于患者身上的无线表面电极于电脑通过无线连接,具有携带方便、精度高、遥测距离远等特点。可以协助完成患者的功能诊断,鉴别运动障碍、剩余潜能、代偿策略以及实现评估。其组件包括:无线表面肌电电极、终端(笔记本电脑)、USB接收器、充电器、交换机和可移

动的高清摄像头。测试参数:采样频率 1000Hz;测试范围 $\pm 6000\mu\text{V}$;滤波器范围 8—500Hz;输入阻抗 20G Ω ;噪声 $<1\mu\text{V}$;采用 16 通道。

测试分为三步:第 1 步,表面肌电电极粘贴前准备:准备一次性使用表面电极片(Ag/AgCl 电极)若干,暴露患者双下肢皮肤,用细砂片对待测肌肉肌腹处进行轻柔打磨,并使用 75%酒精消毒清洁打磨处以增加无线表面肌电电极片的粘附力;如果患者区域毛发较多,必要时进行区域刮毛,以降低阻抗。第 2 步:安装电极片和电极:准备工作完成后,开始粘贴电极片,并将无线表面肌电电极安装到电极片上,并用弹性皮肤膜固定。第 3 步:开始检测和数据处理:打开设备,患者沿步道步行,步行至 10m 标记处,停止并转身,待测试者再次发出口令后,继续沿步道步行 10m 至出发点后,停止,完成检测。使用内置的下肢肌肉采集分析模板,对干预前后步态周期中的股直肌(rectus femoris, RF)和股二头肌(biceps femoris, BF)的平均肌电值(average surface electromyography, AEMG)变化和它们之间的共同收缩比情况进行对比分析,实现数据批量处理。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 22.0 统计软件进行统计分析,使用 Kolmogorov-Smirnov 试验进行正性检验。计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示,使用 t 检验和方差分析进行差异性分析,显著性水平定为 $P=0.05$ 。

2 结果

2.1 步态参数对比分析

4 周干预前后,两组受试者步速、步幅和膝关节摆动角度的变化,见表 2。两组组间各时间点的指标进行单因素方差分析和独立样本 t 检验,组内各时间点数据进行单因素重复测量方差分析和配对 t 检验,结果显示:步速方面,WBVT 组和对照组治疗前组间无显著性差异,治疗 4 周后,两组与治疗前相比均有显著性差异($P=0.000$),WBVT 组优于对照组($P=0.006$);步幅方面,WBVT 组和对照组治疗前组间无显著性差异,治疗 4 周后,两组与治疗前相比均有显著性差异($P=0.000$),WBVT 组优于对照组($P=0.024$);膝关节摆动角度方面,WBVT 组和对照组治疗前组间无显著性差异,治疗 4 周后,WBVT 组与治

疗前相比有显著性差异($P=0.000$),对照组与治疗前相比无显著性意义($P=0.052$),WBVT 组明显优于对照组($P=0.000$)。

2.2 股直肌和股二头肌的协同收缩率

4 周干预前后,两组患者在不同步态时相股直肌和股二头肌协同收缩率的变化,如表 3 所示。在患侧第一支撑相(DS1)和第二支撑相(DS2),两组股直肌和股二头肌协同收缩率无明显差别;在患侧单支撑相(SS),WBVT 组和对照组双侧干预前后均有显著性意义($P=0.023$)($P=0.000$),两组组间比较患侧干预后有显著性意义($P=0.008$);在摆动相(SW),WBVT 组干预前双侧之间比较有显著性意义($P=0.000$),干预后双侧之间也有显著性意义($P=0.006$),患侧干预前后有显著性意义($P=0.015$);对照组干预前双侧之间有显著性意义($P=0.000$),干预后双侧之间也有显著性意义($P=0.000$),两组患侧干

表 2 干预前后步态参数对比分析 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	干预前	干预 4 周后	P 值
步速(cm/s)				
WBVT 组	18	45.54 $\pm$ 6.35	60.26 $\pm$ 5.42	0.000
对照组	19	46.31 $\pm$ 5.22	58.33 $\pm$ 5.63	0.000
P 值		0.692	0.006	
步幅(cm)				
WBVT 组	18	41.43 $\pm$ 3.22	51.45 $\pm$ 3.87	0.000
对照组	19	41.66 $\pm$ 5.76	49.32 $\pm$ 2.25	0.000
P 值		0.843	0.024	
膝关节摆动角度($^{\circ}$)				
WBVT 组	18	24.79 $\pm$ 5.36	31.46 $\pm$ 4.52	0.000
对照组	19	25.31 $\pm$ 4.35	27.44 $\pm$ 7.53	0.052
P 值		0.685	0.000	

表 3 两组不同时相股直肌和股二头肌的协同收缩率变化 ($\bar{x}\pm s, \%$)

组别及时相	干预前		干预 4 周后	
	健侧	患侧	健侧	患侧
WBVT 组				
DS1	45.63 $\pm$ 8.97	43.42 $\pm$ 9.63	46.33 $\pm$ 5.64	46.51 $\pm$ 8.95
SS	46.56 $\pm$ 7.96 ^②	44.58 $\pm$ 7.46 ^②	53.42 $\pm$ 6.52 ^②	53.24 $\pm$ 7.56 ^{②③}
DS2	46.85 $\pm$ 8.08	48.67 $\pm$ 7.41	45.87 $\pm$ 6.57	48.65 $\pm$ 8.66
SW	40.36 $\pm$ 8.55 ^①	58.66 $\pm$ 9.02 ^{①②}	42.06 $\pm$ 7.65 ^①	53.56 $\pm$ 8.63 ^{①②③}
对照组				
DS1	47.52 $\pm$ 7.47	46.37 $\pm$ 6.59	58.65 $\pm$ 6.52	44.52 $\pm$ 7.43
SS	48.31 $\pm$ 6.94	47.43 $\pm$ 6.55	46.63 $\pm$ 8.47	45.62 $\pm$ 7.55 ^③
DS2	48.48 $\pm$ 8.52	47.46 $\pm$ 7.52	47.85 $\pm$ 6.32 ^①	48.55 $\pm$ 7.73 ^①
SW	43.35 $\pm$ 7.26 ^①	55.42 $\pm$ 6.31 ^①	46.22 $\pm$ 7.54 ^①	57.42 $\pm$ 6.68 ^{①③}

注:①组内健患侧差异有显著性;②组内干预前后差异有显著性;③同时时间点同侧组间差异有显著性。股直肌和股二头肌的协同收缩率=AEMG 股直肌/(AEMG 股直肌+AEMG 股二头肌) $\times 100\%$ 。

预后具有显著性意义($P=0.017$)。

3 讨论

脑卒中患者在恢复期仍存在肌张力异常的功能障碍,运动时表现为动态肌张力增高,导致双侧肢体不能协调运动^[12],引发步行功能产生异常。因此,改善脑卒中患者步行功能,一直是康复医学持续关注和研究的问题。早期研究发现,全身振动训练能对下肢关节产生挤压,能提高关节周围本体感受器的敏感性^[13],促进躯干和下肢肌群的收缩,改善步行中姿势控制能力;但因训练过程需要持续保持用力且多为健康人群,对于脑卒中患者而言,既往训练方案容易造成疲劳,患者无法长期坚持,效果有限,因此,改良的全身振动训练方式不断被研究并应用到脑卒中患者的康复治疗中。本研究采用全身振动联合有节律的蹲起同步训练,不仅可以通过间歇性全身振动,来有效维持患者的体力,增加患者的耐受度和保证训练的可持续性的同时,另外,同步的蹲起屈伸运动能够提高患者下肢的屈伸控制能力,在既往单一静态姿势的基础上,探寻两种动态训练的叠加效应对步行能力的影响。

脑卒中患者因偏瘫侧肢体活动不利,在运动过程中,膝关节周围肌群收缩不协调,导致膝关节稳定性下降,分离运动不充分,屈曲和伸展状态不完全^[14],多出现膝关节过伸和屈曲不足的情况。在运动过程中,股四头肌和小腿三头肌肌张力会升高,表现为膝关节屈曲和踝关节背屈受限,步行时呈足下垂内翻状态,容易导致患者支撑相接触面积减小,平衡功能下降,从而增加步行过程中的跌倒风险^[15]。研究表明,全身振动训练能够提高下肢肌群的肌力,调节下肢肌群的肌张力,使患者在运动控制中表现更佳^[16-17]。在改善肌张力方面,Miyara等^[18]利用F波探讨全身振动训练对脑卒中患者偏瘫侧下肢痉挛状态的影响,发现F波参数、MAS评分和P-ROM显著改善,20min后仍低于基线水平,健侧F波参数无明显变化,表明全身振动训练能够改善下肢痉挛情况,从而提高步行功能。基础研究表明,长期全身振动训练对缺血性脑卒中显示出较为明显的肌力和协调性的改善,炎症标志物和梗死体积显著减少,脑源性神经营养因子显著增加,能够促进神经的修

复^[19-20]。全身振动训练目前已经从肌力、肌张力、神经修复等方面进行了多项研究,同时其结合不同姿势的训练也有大量研究^[21-24],表示全身振动联合不同运动方式对脑卒中患者的运动功能和神经促进有改善作用。

本研究下肢肌肉协调收缩的评估,采用了最新的同步无线表面肌电技术,可以在患者进行训练的任务中,同步进行表面肌电信号采集,较既往研究具有很强时效性和同步性,能够实时反映患者下肢肌肉的协同收缩能力。通过三维步态和表面肌电分析发现,全身振动联合有节律的蹲起同步训练能够改善脑卒中患者的步速、步幅、膝关节摆动角度以及在不同时相的股直肌和股二头肌的协同收缩比,提示该方案能够改善下肢肌群的协调收缩能力,从而提高步行功能。这可能是因为股直肌和股二头肌是一对拮抗肌,胫骨前肌和小腿三头肌也是互为拮抗,它们之间的相互协调能够促进完成正常的步态活动。与Uhm等^[25]通过全身振动结合程序化的姿势控制训练,改善脑卒中患者下肢肌肉活动和皮质激活情况的研究结果一致。而Huang等^[26]通过不同频率的全身振动以及三种不同的运动方式对脑卒中患者进行训练,发现在运动中加入WBVT可以显著增加慢性脑卒中患者双侧的内侧腓肠肌、胫前肌和内侧腓绳肌的肌肉激活,这可能是本研究中股直肌和股二头肌的协同收缩率在单支撑阶段和摆动相具有显著性意义的主要原因。同时,其发现WBVT在慢性卒中患者以反射亢进为主的痉挛性肌张力增高中有即时调节作用,可促进肌内血流灌注增加^[27],这可能与改善下肢肌张力和运动能力密切相关。近年来,通过激活大脑皮质的干预来验证全身振动训练对脑卒中患者步态功能以及肌张力控制改善的研究越来越多,提示全身振动训练能够调节大脑皮质兴奋性,改善慢性脑卒中患者的步态功能^[3,28-29]。但也有研究发现,全身振动训练只能对脑卒中患者平衡功能和移动能力产生即刻效应,不能产生持久效果^[30]。根据本研究的统计结果,我们认为相较于某一特定姿势的静止状态全身振动训练而言,有节律性的蹲起同步训练,不仅可以模拟步行过程中,摆动相的动态屈髋屈膝动作,也可以通过下蹲进行下肢负重闭链训练,进而改善步行过程中的支撑能力,增加屈髋屈

膝角度和摆动幅度。有研究利用全身振动训练对脑卒中患者跨越障碍物以及爬楼梯的影响,发现WB-VT可改善慢性脑卒中患者的爬楼梯速度和跨越障碍能力,从更高维度证明其对步行功能具有改善作用^[31]。有研究表明全身振动过程,通过机械波不断传递给下肢的肌肉、关节、肌腱等本体感受器丰富的区域,而有节律的蹲起运动对于脑卒中患者下肢运动控制有明显改善的作用,不仅仅提高患者的下肢肌肉力量,同时能够改善患者的肌肉协调收缩能力^[32]。因此,我们认为脑卒中患者步行功能的恢复,需要缓解下肢运动过程中的痉挛问题,重新获得下肢伸肌和屈肌的有效协调收缩,才能使患者步行功能进一步提高。

综上所述,基于叠加效应的全身振动联合有节律的蹲起同步训练能够改善脑卒中患者步行过程的下肢肌肉收缩协调性,进而提高步行能力。但是本研究仍存在不足,需要进一步验证不同频率下有节律的蹲起训练对步行过程肌肉协调收缩和本体感觉的影响,基于单纯振动组如何设计,将在后续课题中进一步研究。

参考文献

- [1] Tsao C, Aday A, Almarzooq Z, et al. Heart disease and stroke statistics- 2022 update: a report from the American heart association[J]. *Circulation*, 2022,145(8): e153—e639.
- [2] Wang YJ, Li ZX, Gu HQ, et al. China stroke statistics: an update on the 2019 report from the national center for healthcare quality management in neurological diseases, China national clinical research center for neurological diseases, the Chinese stroke association, national center for chronic and non-communicable disease control and prevention, Chinese center for disease control and prevention and institute for global neuroscience and stroke collaborations[J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2022,7(5): 415—450.
- [3] Zhang M, Wei J, Wu X. Effects of whole-body vibration training on lower limb motor function and neural plasticity in patients with stroke: protocol for a randomised controlled clinical trial[J]. *BMJ Open*, 2022,12(6): e060796.
- [4] 陈源, 张继荣. 脑卒中患者步行功能障碍的康复现状[J]. *中国康复*, 2017,32(1): 70—73.
- [5] Gorst T, Rogers A, Morrison S, et al. The prevalence, distribution, and functional importance of lower limb somatosensory impairments in chronic stroke survivors: a cross sectional observational study[J]. *Disability and Rehabilitation*, 2019,41(20): 2443—2450.
- [6] Balaban B, Tok F. Gait disturbances in patients with stroke[J]. *PM R*, 2014,6(7):635—642.
- [7] Piatin VF, Shirolapov IV, Nikitin OL. Vibrational physical exercises as the rehabilitation in gerontology[J]. *Adv Gerontol*, 2009,22(2): 337—342.
- [8] del Pozo-Cruz B, Adsuar JC, Parraca JA, et al. Using whole-body vibration training in patients affected with common neurological diseases: a systematic literature review[J]. *J Altern Complement Med*, 2012,18(1): 29—41.
- [9] Marin PJ, Ferrero CM, Menendez H, et al. Effects of whole-body vibration on muscle architecture, muscle strength, and balance in stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2013,92(10): 881—888.
- [10] Pang MY, Lau RW, Yip SP. The effects of whole-body vibration therapy on bone turnover, muscle strength, motor function, and spasticity in chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2013,49(4): 439—450.
- [11] 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. 中国脑血管疾病分类2015[J]. *中华神经科杂志*, 2017,50(3): 168—171.
- [12] Chan KS, Liu CW, Chen TW, et al. Effects of a single session of whole body vibration on ankle plantarflexion spasticity and gait performance in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. *Clin Rehabil*, 2012,26(12): 1087—1095.
- [13] van Nes IJ, Latour H, Schils F, et al. Long-term effects of 6-week whole-body vibration on balance recovery and activities of daily living in the postacute phase of stroke: a randomized, controlled trial[J]. *Stroke*, 2006, 37(9): 2331—2335.
- [14] Liao LR, Lam FM, Pang MY, et al. Leg muscle activity during whole-body vibration in individuals with chronic stroke[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014,46(3): 537—545.
- [15] Silva AT, Dias MP, Calixto R Jr, et al. Acute effects of whole-body vibration on the motor function of patients with stroke: a randomized clinical trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2014,93(4): 310—319.
- [16] Huang M, Liao LR, Pang MY. Effects of whole body vibration on muscle spasticity for people with central nervous system disorders: a systematic review[J]. *Clin Rehabil*, 2017,31(1): 23—33.
- [17] 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.
- [18] Miyara K, Matsumoto S, Uema T, et al. Effect of whole body vibration on spasticity in hemiplegic legs of patients with stroke[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2018,25(2): 90—95.
- [19] 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.
- [20] Raval AP, Schatz M, Bhattacharya P, et al. Whole body vibration therapy after ischemia reduces brain damage in reproductively senescent female rats[J]. *Int J Mol Sci*, 2018, 19(9):2749.
- [21] Coupe M, Yuan M, Demiot C, et al. Low-magnitude whole body vibration with resistive exercise as a counter-measure against cardiovascular deconditioning after 60 days of head-down bed rest[J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2011,301(6): R1748—1754.
- [22] 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.
- [23] Lee JS, Kim CY, Kim HD. Short-term effects of whole-body vibration combined with task-related training on upper extremity function, spasticity, and grip strength in subjects with poststroke hemiplegia: a pilot randomized controlled trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2016, 95 (8) : 608—617.
- [24] Choi W, Han D, Kim J, et al. Whole-body vibration combined with treadmill training improves walking performance in post-stroke patients: a randomized controlled trial [J]. *Med Sci Monit*, 2017,23: 4918—4925.
- [25] Uhm YH, Yang DJ. The effects of whole body vibration combined computerized postural control training on the lower extremity muscle activity and cerebral cortex activity in stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2018,30(2): 300—303.
- [26] Huang M, Pang MYC. Muscle activity and vibration transmissibility during whole-body vibration in chronic stroke[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2019,29(6): 816—825.
- [27] Huang M, Miller T, Ying M, et al. Whole-body vibration modulates leg muscle reflex and blood perfusion among people with chronic stroke: a randomized controlled crossover trial[J]. *Sci Rep*, 2020,10(1): 1473.
- [28] Lee A, Kim H, Kim J, et al. Modulating effects of whole-body vibration on cortical activity and gait function in chronic stroke patients[J]. *Brain Neurorehabil*, 2020,13 (2): e12.
- [29] Miyara K, Kawamura K, Matsumoto S, et al. Acute changes in cortical activation during active ankle movement after whole-body vibration for spasticity in hemiplegic legs of stroke patients: a functional near-infrared spectroscopy study[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2020,27(1): 67—74.
- [30] Yang F, Butler AJ. Efficacy of controlled whole-body vibration training on improving fall risk factors in stroke survivors: a meta-analysis[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2020,34(4): 275—288.
- [31] Ahmed Burq HSI, Karimi H, Ahmad A, et al. Effect of whole-body vibration on obstacle clearance and stair negotiation time in chronic stroke patients; a randomized controlled trial[J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2021,27: 698—704.
- [32] Lee DK, Kim JS, Kim TH, et al. Comparison of the electromyographic activity of the tibialis anterior and gastrocnemius in stroke patients and healthy subjects during squat exercise[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015,27(1): 247—249.