

·运动人体科学·

不同频率全身振动训练对老年女性平衡能力、 下肢肌力和位置觉的影响

李静雅¹, 程亮²

(1.四川师范大学 体育学院, 四川 成都 610066; 2.四川省运动技术学院 康复中心, 四川 成都 610041)

摘 要: 探讨相同振幅(3 mm)、不同频率的全身振动训练(WBVT)对老年女性身体姿势控制能力的影响。63 例 60~70 岁健康老年女性, 随机分成年龄、身高和体重相匹配的低频组($n=15$, 10~15 Hz)、中频组($n=16$, 25~30 Hz)、高频组($n=15$, 40~45 Hz)和对照组($n=17$)。采用美国产 Power-Plate 振动平台对振动组进行为期 24 周的 WBVT, 并测试 0 周和 24 周所有受试者的平衡能力、下肢肌力和下肢的本体感觉。结果显示: (1)平衡能力: 低频 WBVT 显著提高了老年受试者的本体代偿能力, 中频和高频显著提高了受试者本体代偿能力、前庭整合能力和左、右方向的动态平衡能力, 且高频改善效果优于低频和中频; (2)下肢肌力: 低频 WBVT 显著提高了老年受试者膝关节伸肌绝对力, 中频和高频显著提高了膝和踝关节伸肌绝对力和爆发力。高频提升膝关节伸肌绝对力优于低频和中频, 对膝关节伸肌爆发力、踝关节伸肌绝对力和爆发力提升效果优于低频。中频提升膝和踝关节伸肌爆发力效果优于低频; (3)下肢运动觉: 低频 WBVT 显著提升了老年受试者膝关节 30°和 60°位置觉, 中频和高频显著提升了膝关节 30°、60°和踝关节 45°位置觉。且高频提升膝关节 30°和 60°位置觉效果优于低频和中频。

关键词: 运动医学; 全身振动训练; 身体姿势控制; 平衡能力; 肌力; 位置觉; 老年女性
中图分类号: G804.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2018)02-0128-07

Effects of whole body vibration training at different frequencies on the balance, lower limb muscle strength and position sense of elderly women

LI Jing-ya¹, CHENG Liang²

(1.School of Physical Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China;

2.Rehabilitation Center, Sichuan Sports Skills Institute, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to probe into the effects of whole-body vibration training (WBVT) at the same amplitude (3mm) but at different frequencies on the body posture control ability of elderly women, the authors divided 63 healthy elderly women aged 60-70 randomly into a low frequency group ($n=15$, 10-15 Hz), a mid frequency group ($n=16$, 25-30 Hz), a high frequency group ($n=15$, 40-45 Hz), and a control group ($n=17$), in which the age, height and weight match. The authors let the vibration groups carry out 24-week WBVT on the Power-Plate vibration platform made in USA, and tested the balance, lower limb muscle strength and lower limb proprioception of all the testees on week 0 and week 24, and revealed the following findings: 1) balance: low frequency WBVT significantly improved the ontic compensation ability of the elderly testees, mid frequency and high frequency WBVT significantly improved the ontic compensation ability, vestibular integration ability as well as left and right dynamic balance of the testees, and high frequency WBVT's improvement effect was better than low frequency and mid frequency WBVT's; 2) lower limb muscle strength: low frequency WBVT significantly improved the absolute power of knee joint extensor of the elderly testees, mid frequency and high frequency WBVT

收稿日期: 2017-07-12

作者简介: 李静雅(1985-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向: 运动与健康促进。E-mail: 459811048@qq.com

significantly improved the absolute power and explosive power of knee and ankle joint extensors; high frequency WBVT's effect of improving the absolute power of knee joint extensor was better than low frequency and mid frequency WBVT's, its effect of improving the explosive power of knee joint extensor, and the absolute power and explosive power of ankle joint extensor, was better than low frequency WBVT's; mid frequency WBVT's effect of improving the explosive power of knee and ankle joint extensors was better than low frequency WBVT's; 3) lower limb movement sense: low frequency WBVT significantly improved the 30° and 60° position sense of knee joint of the elder testees, mid frequency and high frequency WBVT significantly improved the 30° and 60° position sense of knee joint and the 45° position sense of ankle joint, and high frequency WBVT's effect of improving the 30° and 60° position sense of knee joint was better than low frequency and mid frequency WBVT's.

Key words: sports medicine; whole body vibration training; body posture control; balance; muscle strength; position sense; elderly women

因衰老导致人体姿势控制能力的下降,增加了老年人跌倒的风险^[1]。Chang 等^[2]的研究显示,随着年龄的增加,老年人的平衡能力、下肢的关节肌力、下肢的本体感觉功能和神经肌肉反应时下降,是易发生跌倒的重要因素。因此,提高老年人上述功能是预防跌倒的重要策略。诸多研究发现,有规律太极拳锻炼^[2-3]、快走^[4]和抗阻训练^[5]等运动方式,能有效提高老年人身体姿势控制能力,但上述运动需受试者自律主动坚持。巴洪冰^[6]和林长地^[7]等的研究认为:有规律的全身振动训练(Whole-Body Vibration Training, WBVT)适合运动功能差或不习惯主动运动的人群。

近期研究认为有规律的 WBVT 对老年人身体姿势控制能力有一定的影响。多数研究认为 WBVT 能改善老年人的下肢关节肌力,Rees 等^[8]认为 8 周的 WBVT(振幅 5~8 mm、频率>26 Hz)能显著提高老年女性的踝关节伸肌力。Bogacrts 等^[9]发现 24 周 WBVT(振幅 2.5~5.0 mm、频率 30~40 Hz)显著提高了老年女性膝关节伸肌力。卢澎涛^[10]认为 24 周低频(10~15 Hz)WBVT 对老年人下肢肌力影响不显著,高频(40~45 Hz)对肌力影响效果优于低频和中频(25~30 Hz);同时, WBVT 对受试者平衡能力改善也有报道,但研究对象主要为中风或偏瘫人群。Van 等^[11]对 23 名慢性中风受试者进行振动刺激(振幅 3 mm、频率 30 Hz),显示提高了静态平衡能力。张国兴等^[12]认为在常规康复治疗基础上附加 WBVT(振幅 3 mm、频率<20 Hz)能显著提高脑卒中患者的平衡和步行能力;另外,个别学者报道了 WBVT 对运动员膝关节位置觉的影响,黄鹏等^[13]对篮球运动员进行 8 周中低

频(30 Hz)和次高频(45 Hz)训练并测试膝关节位置觉,认为次高频改善受试者位置觉效果更明显。

目前 WBVT 对老年人身体姿势控制能力的影响,缺乏系统的研究,表现为测试指标单一,未细化振动频率、未统一振幅等。为此,本研究假设:(1)有规律的 WBVT 对老年人身体姿势控制能力(平衡能力、下肢关节肌力和本体感觉)有积极影响;(2)相同振幅,不同频率的 WBVT 对老年人身体姿势控制能力影响有所不同。拟通过对年龄、身高和体重相匹配的健康老年女性进行不同频率的 WBVT 干预,探讨改善老年人身体姿势控制能力最有效的振动频率区间,为 WBVT 预防老年人摔倒提供借鉴。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

走访四川师范大学周边大型公园及社区,通过粘贴广告和宣传形式募集了有健身意愿的健康老年女性,在实验初期招募了 75 名,有 12 名因身体不适、时间安排不当等原因退出,最终 63 名受试者完成整个实验过程,人员流失率为 16.0%。受试者纳入标准:(1)年龄分布在 60~70 岁;(2)通过了健康体检和问卷;(3)签订了知情同意书。受试者排除标准:(1)有其他健身爱好;(2)足部畸形、步态异常;(3)严重的下肢外伤史;(4)运动障碍、癫痫病或心血管疾病;(5)近 2 年长期服用药物。采用数字“1, 2, 3, 4; 1, 2, 3, 4; 1, 2, 3, 4……”法随机分成年龄、身体和体重相匹配的低频组、中频组、高频组和对照组,受试者基本信息见表 1。

表 1 受试者基本信息($\bar{x} \pm s$)

组别	n/人	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg	BMI/(kg·m ⁻²)	干预时长/周
低频组	15	64.6±3.1	157.2±4.6	58.1±7.1	23.5±4.4	24
中频组	16	64.3±2.7	158.1±5.2	57.5±6.0	23.0±2.5	24
高频组	15	65.1±2.8	157.7±6.6	57.9±5.9	23.3±3.4	24
对照组	17	64.8±4.0	157.4±5.1	58.4±8.2	23.6±3.8	0

1.2 研究方法

1) 全身振动训练干预。

采用美国 Power-Plate 振动仪(5 台)对振动组(低频、中频和高频组)进行 WBVT 干预。前人研究显示:人体全身共振频率为 5 Hz,内脏和脊柱共振频率为 8 Hz,头部共振频率为 18 Hz,眼球共振频率高于 60 Hz^[4]。为了避免给受试者带来不适和损伤,本研究振动频率借鉴卢澎涛^[10]和刘北湘^[4],振幅借鉴林长地^[7]和巴洪冰^[6, 15]等的实验方案。振动频率和振幅选择为:低频组(振幅 3 mm, 频率 10~15 Hz)、中频组(振幅 3 mm, 频率 25~30 Hz)、高频组(振幅 3 mm, 频率 40~45 Hz)。由 4 名实验人员进行指导,实验组进行为期 24 周的全身无负重振动训练,每名受试者需在振动平台上完成半蹲、深蹲、提踵和单腿蹲 4 个动作(5 组, 10 次/组,组间休息 20 s),约进行 12 min 的振动干预(每周 3 次,时间安排在 15:00~18:30)。对照组在振动平台关闭状态下完成振动组相同的 4 个动作(组数和次数与实验组相同)。在整个 24 周内,4 组受试者在不改变原先居家生活的状态下(既往无特别的运动爱好)不再增加其他的运动方式,每 4 周有实验人员进行电话回访,记录她们的生活或运动状况。

2) 平衡能力测试。

使用美国 BioDex 平衡仪,在 0 周和 24 周对所有受试者进行静态(站立)和动态(极限稳定)平衡测试。测试过程要求受试者赤脚双脚站立,双手放置身体两侧。

静态平衡测试需完成稳定坚硬平板闭眼站立(ECSS)、海绵垫睁眼站立(Eofs)和海绵垫闭眼站立(ECFS)。3 项测试顺序随机,每项需站立 30 s,间隙 3 min。受试者在测试过程尽量保持身体不移动或晃动,如在 30 s 内有跌倒、睁眼、手扶栏杆或迈步等情况均视为倾倒,需重新测试 1~2 次直至完成实验。衡量指标为身体晃动指数,数值越小说明该受试者静态平衡能力越好。

动态平衡测试,受试者双脚禁止发生移动或屈膝动作,通过改变身体位置来改变人体重心,分别有前、后、左和右 4 个方位的动态测试。随机出现到达每个方位的指令,各方位测试 3 次(间隙 10 s),测试结果以第 3 次为准。衡量指标为完成时间和分数,完成时间越短,总分越高说明该受试者动态平衡能力越好。

3) 膝、踝关节等速肌力测试。

采用德国产 IsoMed 2000 等速测试仪,在 0 周和 24 周对所有受试者双侧膝和踝关节(60°/s、5 次和 180°/s、5 次)进行屈、伸测试。膝关节取坐位,关节活动度为 80°;踝关节取仰卧位,关节活动度为 70°。测试前受试者需进行 10 min 下肢关节的热身,整个测

试过程实验人员对受试者进行言语激励以保证测试数据的可靠。有研究认为针对普通老年人,60°/s 测试反映受试者绝对力,180°/s 测试反映受试者爆发力^[7]。

4) 膝、踝关节位置觉测试。

在受试者进行完等速肌力测试后,保持测试的姿势,对优势侧进行位置觉测试。角速度设为 1°/s。分别让等速仪器动力头自动屈伸运动到预设角度:屈膝 30° 和 60°(膝关节完全伸直位为 0°),踝关节预设角度: -15°(踝关节背屈), 0°(与地面垂直)和 45°(踝关节跖屈)。每运动到一个角度后,仪器动力头角度回到起始位置,再让受试者主动运动到指定的位置(按钮后运动自动停止),并记录实际角度与预设角度的差值,每个角度测试 3 次取平均值。

5) 数据统计。

采用 Spss 19.0 对 4 组受试者测试数据进行平均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)处理。组间分析采用单因素方差分析(One Way-Anova)并事后多重比较(Post-Hoc tests),组内比较采用配对样本 *t* 检验,显著水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果及分析

2.1 平衡能力测试结果

0 周和 24 周 4 组受试者平衡能力测试结果见表 2、表 3。0 周 4 组平衡能力基线数据无显著差异($P>0.05$); 0 周与 24 周组内配对样本 *t* 检验显示:低频组 ECSS 身体晃动指数减小,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$);中频组 ECSS 和 ECFS 身体晃动指数、动态平衡测量时间减小,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$),动态平衡左、右方向得分增加,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$);高频组 ECSS 和 ECFS 身体晃动指数减小,差异具有统计学非常显著性意义($P<0.01$),动态平衡测量时间减小,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$),动态平衡左、右方向得分增加,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$)。

24 周后组间方差分析并事后多重比较显示:高频组 ECSS 身体晃动指数小于低频、中频和对照组,差异具有统计学非常显著性意义($P<0.01$);ECFC 身体晃动指数小于低频和对照组,差异具有统计学非常显著性意义($P<0.01$)、小于中频组,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$);动态平衡测试时间小于对照组,左、右方向得分大于对照组,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$);中频组 ECSS 和 ECFC 身体晃动指数和动态测试时间小于对照组,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$);低频组 ECSS 身体晃动指数小于对照组,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$)。

表2 受试者静态平衡能力测试结果($\bar{x} \pm s$)

组别	n/人	ECSS		EOFS		ECFS	
		0周	24周	0周	24周	0周	24周
低频组	15	0.78±0.14	0.68±0.11 ¹⁾³⁾⁶⁾	0.95±0.22	0.90±0.26	2.08±0.62	1.96±0.48 ⁶⁾
中频组	16	0.77±0.17	0.66±0.15 ¹⁾³⁾⁶⁾	0.97±0.20	0.91±0.30	2.10±0.50	1.83±0.35 ¹⁾³⁾⁵⁾
高频组	15	0.79±0.12	0.46±0.13 ²⁾⁴⁾	0.95±0.23	0.88±0.15	2.12±0.46	1.47±0.39 ²⁾⁴⁾
对照组	17	0.76±0.15	0.82±0.17	0.97±0.30	0.93±0.28	2.06±0.55	2.02±0.40

0周与24周组内比较, 1) $P<0.05$, 2) $P<0.01$; 低频、中频和高频组与对照组比较, 3) $P<0.05$, 4) $P<0.01$; 低频和中频组与高频组比较, 5) $P<0.05$, 6) $P<0.01$

表3 受试者动态平衡能力测试结果($\bar{x} \pm s$)

组别	n/人	时间/s		前得分		后得分		左得分		右得分	
		0周	24周	0周	24周	0周	24周	0周	24周	0周	24周
低频组	15	28.4±7.9	26.9±6.0	36.6±13.7	38.2±16.2	48.5±18.2	49.8±16.0	40.0±14.2	43.9±16.4	40.1±12.6	44.3±14.9
中频组	16	28.2±6.8	25.0±7.7 ¹⁾²⁾	37.5±12.9	39.2±18.5	48.9±15.0	50.6±19.3	40.7±15.0	47.9±16.7 ¹⁾	40.1±12.6	47.3±18.9 ¹⁾
高频组	15	29.3±4.7	24.1±3.5 ¹⁾²⁾	37.3±8.8	39.7±6.8	48.2±10.6	51.2±16.5	41.8±12.2	49.7±7.5 ¹⁾²⁾	40.5±10.2	50.6±11.9 ¹⁾²⁾
对照组	17	28.6±6.2	28.5±7.7	36.9±11.4	37.2±10.4	48.5±13.1	49.2±16.9	40.6±15.9	39.9±14.2	40.1±12.6	41.3±11.7

0周与24周组内比较, 1) $P<0.05$; 低频、中频和高频组与对照组比较, 2) $P<0.05$

2.2 下肢肌力测试结果

0周和24周4组受试者下肢肌力测试结果见表4、表5。0周4组下肢肌力基线数据差异无统计学显著意义($P>0.05$)。0周与24周组内配对样本 t 检验显示: 低频组膝关节伸肌绝对力增加, 差异具有统计学显著性意义($P<0.05$); 中频组膝和踝关节伸肌绝对力和爆发力增加, 差异具有统计学显著性意义($P<0.05$); 高频组膝关节伸肌绝对力和爆发力增加, 差异具有统计学非常显著性意义($P<0.01$)、踝关节伸肌绝对力和爆发力增加, 差异具有统计学显著性意义($P<0.05$)。

24周后组间方差分析并事后多重比较显示: 低频组膝关节伸肌绝对力大于对照组, 差异具有统计学显

著性意义($P<0.05$), 中频组膝和踝关节伸肌绝对力和爆发力大于对照组, 差异具有统计学显著性意义($P<0.05$), 高频组膝关节伸肌绝对力和爆发力大于对照组, 差异具有统计学非常显著性意义($P<0.01$)、踝关节伸肌绝对力和爆发力大于对照组, 差异具有统计学显著性意义($P<0.05$); 高频组膝关节伸肌绝对力大于中频组和低频组, 差异具有统计学显著性意义($P<0.05$)、膝关节伸肌爆发力大于低频组, 差异具有统计学非常显著性意义($P<0.01$)、踝关节伸肌绝对力和爆发力大于低频组, 差异具有统计学显著性意义($P<0.05$), 中频组膝和踝关节伸肌爆发力大于低频组, 差异具有统计学显著性意义($P<0.05$)。

表4 受试者膝关节不同角速度峰力矩测试结果($\bar{x} \pm s$)

Nm

组别	n/人	角速度 60 ^o /s				角速度 180 ^o /s			
		屈		伸		屈		伸	
		0周	24周	0周	24周	0周	24周	0周	24周
低频组	15	24.8±8.5	27.2±7.8	41.3±17.0	50.0±20.1 ¹⁾³⁾⁵⁾	16.3±6.3	16.8±5.8	35.7±15.2	38.2±13.0 ⁶⁾⁷⁾
中频组	16	25.0±6.5	26.9±7.6	42.9±19.3	51.7±16.0 ¹⁾³⁾⁵⁾	15.9±6.8	15.8±3.8	34.2±16.4	45.0±16.4 ¹⁾³⁾
高频组	15	25.2±8.2	28.5±13.6	42.0±16.0	58.2±18.6 ²⁾⁴⁾	16.7±6.8	17.6±8.3	35.3±17.2	49.0±15.9 ²⁾⁴⁾
对照组	17	25.6±7.4	26.2±8.9	41.9±18.6	43.2±22.6	15.9±5.6	16.4±5.0	34.7±18.0	35.6±21.2

0周与24周组内比较, 1) $P<0.05$, 2) $P<0.01$; 低频、中频和高频组与对照组比较, 3) $P<0.05$, 4) $P<0.01$; 低频和中频组与高频组比较, 5) $P<0.05$, 6) $P<0.01$; 低频组与中频组比较, 7) $P<0.05$

表5 受试者踝关节不同角速度峰力矩测试结果($\bar{x} \pm s$)

Nm

组别	n/人	角速度 60 ^o /s				角速度 180 ^o /s			
		屈		伸		屈		伸	
		0周	24周	0周	24周	0周	24周	0周	24周
低频组	15	14.0±3.8	14.2±4.4	33.8±12.6	36.3±14.5 ⁵⁾	10.0±4.0	10.8±4.9	25.5±12.3	26.8±17.1 ⁵⁾⁷⁾
中频组	16	13.5±5.7	14.5±4.3	34.1±13.0	40.4±16.8 ¹⁾³⁾	10.6±3.2	11.3±5.7	26.0±13.0	30.8±11.9 ¹⁾³⁾
高频组	15	13.5±7.2	14.2±3.3	35.0±16.0	42.0±19.1 ¹⁾³⁾	9.9±4.7	11.0±6.8	26.2±10.3	31.5±13.4 ¹⁾³⁾
对照组	17	13.1±4.0	14.2±4.3	33.9±15.7	35.2±15.4	10.1±5.4	10.3±4.7	25.7±11.6	24.8±16.2

0周与24周组内比较, 1) $P<0.05$; 低频、中频和高频组与对照组比较, 3) $P<0.05$; 低频和中频组与高频组比较, 5) $P<0.05$; 低频组与中频组比较, 7) $P<0.05$

2.3 下肢位置觉测试结果

0周和24周4组受试者下肢位置觉测试结果见表6。0周4组下肢位置觉基线数据差异无统计学显著意义($P>0.05$);0周与24周组内配对样本 t 检验显示:低频组膝关节 30° 和 60° 位置觉测试角度减小,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$),中频组膝关节 30° 、 60° 和踝关节 45° 位置觉测试角度减小,差异具有统计学非常显著性意义($P<0.05$),高频组膝关节 30° 和 60° 位置觉测试角度减小,差异具有统计学非常显著性意义($P<0.01$)、踝关节 45° 位置觉测试角度减小,差异具

有统计学显著性意义($P<0.05$)。

24周后组间方差分析并事后多重比较显示:低频组和中频组膝关节 30° 和 60° 位置觉测试角度小于对照组,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$),中频组和高频组踝关节 45° 位置觉测试角度小于对照组,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$),高频组膝关节 30° 和 60° 位置觉测试角度小于对照组,差异具有统计学非常显著性意义($P<0.01$)。高频组膝关节 30° 和 60° 位置觉测试角度小于低频组和中频组,差异具有统计学显著性意义($P<0.05$)。

表6 受试者膝、踝关节位置觉测试结果($\bar{x} \pm s$)

($^\circ$)

组别	n/人	膝关节						踝关节			
		30°		60°		-15°		0°		45°	
		0周	24周	0周	24周	0周	24周	0周	24周	0周	24周
低频组	15	5.40±1.90	4.10±1.44 ¹³⁾	6.27±1.86	5.72±1.90 ¹³⁾	4.06±1.31	3.73±1.40	2.55±1.31	2.47±1.26	2.60±1.14	2.28±1.16
中频组	16	5.32±1.66	4.05±1.36 ¹³⁾	6.36±1.75	5.62±1.65 ¹³⁾	4.00±1.37	3.70±1.36	2.60±1.26	2.40±1.13	2.55±1.16	2.17±1.22 ¹³⁾
高频组	15	5.32±1.42	3.53±0.88 ²⁴⁾	6.30±1.97	5.10±2.01 ²⁴⁾	4.03±1.27	3.71±1.31	2.62±1.37	2.38±1.22	2.57±1.09	2.01±0.64 ¹³⁾
对照组	17	5.51±1.80	4.90±1.32	6.25±1.64	6.22±1.81	4.10±1.30	3.89±1.55	2.58±1.22	2.49±1.02	2.53±1.10	2.46±1.13

0周与24周组内比较 1) $P<0.05$, 2) $P<0.01$; 低频、中频和高频组与对照组比较 3) $P<0.05$, 4) $P<0.01$

3 讨论

3.1 平衡能力

本研究衡量WBVT对老年受试者平衡能力的影响,采用了BioDex平衡仪,分别从静态和动态平衡两方面进行剖析。静态指标:当受试者闭眼站立在稳定平面(ECSS)时,主要依赖本体信息传入维持稳定姿势,身体晃动指数越大,说明本体代偿能力越差。而受试者睁眼站立在海绵垫上(ECFS)时,主要依赖视觉信息传入维持稳定姿势,身体晃动指数越大,说明视觉代偿能力越差。另外,受试者当闭眼站立在海绵垫上(ECFS)时,维持稳定姿势主要依赖前庭系统的整合,身体晃动指数越大,说明前庭整合能力越差^[16]。动态指标:当受试者在双脚不离地的状态下,通过身体移动将光标尽可能快的移动到发光圆点处,其得分越高,表明在该方向上的动态平衡能力越好。

本研究从WBVT改善老年人静态平衡机制出发,结果显示:低频WBVT显著减小了老年受试者的闭眼站立在稳定平面时身体晃动指数(提高了本体代偿能力),中频和高频显著减小了闭眼站立在稳定平面时身体晃动指数(提高了本体代偿能力)、闭眼站立在海绵垫上时身体晃动指数(提高了前庭整合能力),且高频效果优于低频和中频。值得注意的是,无论以什么频率的干预对老年受试者睁眼站立在海绵垫上身体晃动指数影响不显著,说明WBVT对受试者视觉代偿能力影响不大,究其原因,Chang等^[2]认为在静态站立中,

开眼比闭眼时对下肢非对称负荷更小,而下肢负荷的非对称性可作为与年龄相关的平衡能力下降的早期诊断指标。另外,视觉对修正老年人头部、躯干的位置十分重要,通过身体姿势的调整影响人体平衡。我们认为WBVT并不能训练受试者的视觉能力。前人研究定期的WBVT对老年人平衡能力的影响,采用了单脚开、闭眼站立时间、压力中心移动距离等静态平衡指标,随着WBVT干预时间的增加,效果也不同。Garland等^[17]认为4周WBVT(30Hz)能减小轻度中风的老年人闭眼压力中心的晃动距离。Van等^[11]认为8周WBVT(30 Hz)能显著提高慢性中风老年人的单脚开眼、闭眼站立时间和压力中心移动速度。刘洋^[18]将WBVT(30~45 Hz)提升至16周,认为能显著改善老年女性的静态平衡能力,表现为提高了单脚开、闭眼站立时间,降低了闭眼压力中心的最大移动距离等。

事实上,老年人在日常生活中需进行大量的活动。因此,动态平衡能力的改善更值得关注。研究认为,老年人左、右方向是不经常活动的区域,在发生跌倒的统计中,有23%概率是侧向滑到(左、右方向),容易造成髌部的骨折^[19],林长地^[7]认为前、后方向是老年人经常活动的区域(行走、上下楼梯等),因此不易改善左、右方向的平衡能力,发现30~40 Hz的WBVT对老年女性左、右方向平衡能力改善效果最显著,与本研究的中频和高频组结果一致。一系列研究支持了此观点,Hiroshige等^[20]发现4周WBVT(30 Hz)能降低

老年受试者左、右方向压力中心移动距离;吴方芳^[21]认为振动训练能显著降低老年人压力中心的左、右晃动幅度。本研究进一步拓展了上述研究,认为中频和低频组显著提高老年人左、右方向的动态平衡能力,且高频效果优于低频和中频。而低频组虽有变化但差异无统计学显著性意义,推测可能与振动刺激强度不够有关。

3.2 下肢肌力

Chang^[2]的研究显示:随着人们年龄增加,肌肉组织的流失,表现为肌力和运动功能的衰退,增加了跌倒的风险。研究认为相比传统力量训练,WBVT能刺激受试者更多的感受器、激活更多的 α 运动神经元,强化了肌纤维募集的能力,促进神经递质的分泌、刺激肌腱进而改善肌力^[6, 7, 10]。

本研究显示:低频WBVT显著增加了老年受试者膝关节伸肌绝对力,中频和低频显著提高了膝和踝关节伸肌绝对力和爆发力。高频提升膝关节伸肌绝对力效果优于低频和中频,对膝关节伸肌爆发力、踝关节伸肌绝对力和爆发力提升效果优于低频。中频提升膝和踝关节伸肌爆发力效果优于低频,说明随着振动频率增加改善老年受试者下肢肌力效果越好。任满迎^[22]的研究显示,WBVT对受试者的负荷由振幅、频率和附加负荷组成,频率决定了肌群所受的加速度力,振幅决定了肌群所受的离心力,附加负荷(本研究的附加负荷为老年人自身体重)决定了肌群的紧张度。当振幅和附加负荷一定的前提下,振动频率的增加对受试者肌群刺激越大。本研究也持相同的观点,值得注意的是,本研究低频组对受试者膝关节伸肌绝对力有明显提升,这与卢澎涛^[10]的研究不一致,推测可能与受试者个体差异有关。

另外,本研究振动组(低频、中频和高频)膝和踝关节屈肌绝对力和爆发力虽有提升但无显著变化,其中膝关节肌力变化与Bogacrts等^[9]的研究(30~40 Hz)一致,该作者认为24周WBVT显著增加了老年女性膝关节伸肌力,而屈肌无显著变化,但与卢澎涛的高频组(40~45 Hz)的结果不一致(显著增加了膝关节屈肌力);踝关节肌力变化与Rees等^[8]的一致,认为8周的WBVT(>26 Hz, 2.5 mm)显著增加了老年女性的踝伸肌力,而屈肌力变化不显著。不一致的原因,可能与振幅、受试者个体差异以及附加负荷的不同有关。

本研究认为不同频率的WBVT干预,对提升老年人下肢肌力预防跌倒有积极作用。

3.3 下肢位置觉

本体感觉能影响到人体关节的稳定性和灵活性,是人体高效完成运动动作、保持平衡、避免运动损伤

的基础^[2]。目前衡量人体本体感觉测试分为运动觉和位置觉^[2]。其中运动觉采用 $0.3(^{\circ})/s$ 的等速(消除关节和设备的自重)移动,让受试者感知关节的移动。而位置觉采用较小的($\leq 1(^{\circ})/s$)等速移动,让受试者感知关节移动的空间位置。鉴于实验条件的限制,本研究未能测试运动觉(设备未能达到 $0.3(^{\circ})/s$ 的运动速度),因此分析受试者膝和踝关节不同角度的位置觉变化。

本研究进一步拓展了前人的研究,结果显示:低频WBVT显著提升了老年受试者膝关节 30° 和 60° 位置觉,中频和低频显著提升了膝关节 30° 、 60° 和踝关节 45° 位置觉。且高频提升膝关节 30° 和 60° 位置觉效果优于低频和中频,说明振动组(低频、中频和高频)的膝关节在屈曲位置、中高频组踝关节在跖屈位置,受到持续适宜的拉伸刺激,肌腱、腱梭的高尔基体等受到刺激产生记忆效应较为明显。本研究要求受试者在振动平台上完成半蹲、深蹲、提踵和单腿蹲动作,需要受试者反复屈、伸膝和踝关节,参考对照组下肢位置觉无显著变化,说明附加振动训练能进一步激活关节内及周围的本体感受器,进而促进了本体感觉信息在神经通路中的传递,而这种效应随着振动频率的增加效果越明显。但本研究存在局限性,未能进一步扩大样本,对身体姿势控制能力评价缺少下肢的神经反应时,本体感觉评价未增加运动觉的测试,不同振幅对结果有何影响?将是后续的研究方向。

上述分析可得如下结论:

(1)平衡能力:低频WBVT显著提高了老年受试者的本体代偿能力,中频和低频显著提高了本体代偿能力、前庭整合能力和左右方向的动态平衡能力,且高频效果优于低频和中频。

(2)下肢肌力:低频WBVT显著增加了老年受试者膝关节伸肌绝对力,中频和低频显著增加了膝和踝关节伸肌绝对力和爆发力。高频提升膝关节伸肌绝对力效果优于低频和中频,对膝关节伸肌爆发力、踝关节伸肌绝对力和爆发力提升效果优于低频。中频提升膝和踝关节伸肌爆发力效果优于低频。

(3)下肢运动觉:低频WBVT显著提升了老年受试者膝关节 30° 和 60° 位置觉,中频和低频显著提升了膝关节 30° 、 60° 和踝关节 45° 位置觉。且高频提升膝关节 30° 和 60° 位置觉效果优于低频和中频。

(4)老年人进行全身振动训练应避免易引起人体器官共振的频率区间,40~45 Hz的WBVT对提高老年人身体姿势控制能力、预防跌倒有积极意义。

参考文献:

[1] 常书婉,周继和,洪友康,等.长期太极拳练习对

- 老年女性平衡能力的影响[J]. 成都体育学院学报, 2014, 40(4): 42-47.
- [2] CHANG S W, ZHOU J H, HONG Y L, et al. Effects of 24-week Tai Chi exercise on the knee and ankle proprioception of older women[J]. *Research in Sports Medicine*, 2016, 24(1): 84-93.
- [3] CHENG L, CHANG S W, LI J X, et al. Effects of different periods of Tai Chi exercise on the kinesthesia of the lower limb joints of elderly women[J]. *Research in Sports Medicine*, 2017, 25(4): 462-469.
- [4] 刘建宇, 向家俊, 魏星临, 等. 广场舞对绝经后妇女骨密度、血清雌激素及平衡能力的影响[J]. *中国体育科技*, 2014, 50(2): 78-82.
- [5] HUOVINEN V, IVASKA K K, KIVIRANTA R, et al. Bone mineral density is increased after a 16-week resistance training intervention in elderly women with decreased muscle strength[J]. *Eur J Endocrinol*, 2016, 175(6): 571-582.
- [6] 巴洪冰, 程亮. 高频全身振动训练及停练后对老年女性骨密度的影响[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2017, 23(4): 428-430.
- [7] 林长地, 程亮, 林晔. 全身振动训练对老年女性平衡能力和下肢关节肌力的影响[J]. *首都体育学院学报*, 2015, 27(6): 572-576.
- [8] REES S S, MURPHY A J, WATSFORD M L. Effects of whole-body vibration exercise on lower extremity muscle strength and power in an older population[J]. *A randomized clinical trial. Physical Therapy*, 2008, 88(4): 462-470.
- [9] BOGAERTS A C, DELECLUSE C, CLAESSENS A L, et al. Effects of whole body vibration training on cardiorespiratory fitness and muscle strength in older individuals[J]. *Age and Aging*, 2009, 38(4): 448-454.
- [10] 卢澎涛. 不同频率全身振动训练对老年女性骨密度及下肢肌力的影响[J]. *山东体育学院学报*, 2016, 32(6): 89-94.
- [11] VAN Nes I J, GEURTS A C, HENDRICKS H T, et al. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence[J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2004, 83(11): 867-873.
- [12] 张国兴, 刘四文. 全身振动训练对脑卒中患者平衡及步行能力的影响[J]. *中国康复*, 2011, 18(6): 418-420.
- [13] 黄鹏, 王安利. 不同频率振动训练对膝关节位置觉影响的实验研究[J]. *北京体育大学学报*, 2012, 35(11): 40-45.
- [14] 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.
- [15] 巴洪冰, 程亮. 全身振动训练对老年女性骨密度的影响[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2016, 22(3): 340-342.
- [16] 李旭龙, 纪仲秋. 太极拳和健美操锻炼对大学生静态平衡能力的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2013, 32(7): 591-595.
- [17] GARLAND S J, WILLEMS D A, IVANOVA T D, et al. Recovery of standing balance and functional mobility after stroke[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84(12): 1753-1759.
- [18] 刘洋, 周军, 尤桂杰, 等. 全身振动对绝经后妇女平衡能力的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2009, 24(1): 20-22.
- [19] 高纪明, 王少君, 徐冬青. 侧向稳定性与老年人跌倒研究进展[J]. *中国老年学杂志*, 2010, 30(17): 2540-2542.
- [20] HIROSHIGE K, MAHBUB M H, HARADA N. Effects of whole-body vibration on postural balance and proprioception in healthy young and elderly subjects: a randomized cross-over study[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2014, 54(2): 216-224.
- [21] 吴方芳, 王人成, 金德闻, 等. 足底振动刺激对人体平衡能力影响的实验测试系统的研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2007, 22(12): 1090-1092.
- [22] 任满迎, 赵煥彬, 刘颖, 等. 振动力量训练即时效应与结构性效应的研究进展[J]. *体育科学*, 2006, 26(7): 63-66.