



TMG 评估振动训练对 CAI 患者的康复效果

高晓娟¹, 侯亚丽¹, 许凯¹, 靳先义¹, 李炎¹, 郭方甫¹, 李文言²

摘要:目的:通过新型的肌肉无创诊断技术--肌肉功能状态分析仪(TMGS),分析振动训练后下肢肌肉的机械收缩状态,评估振动训练的效果和慢性踝关节不稳(CAI)患者恢复过程中下肢肌肉功能状态的变化。方法:招募并筛选出慢性踝关节不稳患者13例,随机分为实验组(振动训练组,7人)和对照组(非振动训练组,6人)。振动训练组下肢功能训练在Power Plate振动台上进行,而对照组的训练在非振动台上进行。训练负荷及时间:持续时间30 min,刺激频率为45 Hz,一周两次,共8周。两组受试者在病情、症状、体征、纳入标准上均无差异。测试指标:采用肌肉状态分析仪(TMGS)测试肌肉的机械收缩指标,主要指标有肌肉收缩时间(Tc)、放松时间(Tr)、径向位移(Dm)。测试肌肉包括腓肠肌内、外侧(GM、GL)和胫骨前肌(TA)。结果:8周的训练后与实验前相比,振动训练组和对照组较实验前Tc都有所增加,但对照组增加的更多,两组较实验前都没有显著性差异。振动训练组GM的Tr时间缩短了12.3%,对照组增加了45.7%,较实验前有显著性差异, $P<0.05$ 。对照组变化的比率较振动训练组也有显著性差异, $P<0.05$,而TA和GL虽有变化,但无显著差异。振动训练组TA的Dm增长13.52%,对照组却缩短了0.25%,但都没有显著性差异。振动训练组GL、GM的Dm分别增长了42.7%、38.4%,较对照组有显著性差异。实验组受试者睁眼单腿站立时间较实验前提高61.2%,差异显著, $P<0.05$ 。对照组睁眼单腿站立时间较实验前提高44.9%,无显著性差异。结论:CAI患者在康复训练过程中,TA、GM和GL的收缩时间和径向位移均增加,而放松时间没有明显的一致性变化,这提示振动训练可以提高CAI患者的肌肉收缩能力。振动训练和常规训练均可以提高CAI患者的平衡能力,但振动训练的效果更显著。TMG可以作为CAI患者康复过程中肌肉功能状态的评估手段。

关键词:慢性踝关节不稳;振动训练;肌肉功能状态测试仪;康复

中图分类号:G804.53 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2018)05-0086-06
DOI:10.12064/ssr.20180512

Evaluation of the Effect of Vibration Training on Rehabilitation of CAI Patients by TMG

GAO Xiaojuan¹, HOU Yali¹, XU Kai¹, JIN Xianyi¹, LI Yan¹, GUO Fangfu¹, LI Wenyan²

(1. School of Physical Education (Main Campus), Zhengzhou University, Zhengzhou Henan, 450001, China; 2. Bone & Joint Rehabilitation, The Fifth Affiliated hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou Henan, 450001, China)

Abstract: Using a new type of muscle noninvasive diagnostic technique-muscle functional state analyzer (TMG) to analyze the mechanical contraction of the lower limb muscles after the vibration training to evaluate the effect of the vibration training and the changes of the functional state of the lower limbs during the recovery of the chronic ankle instability (CAI). Methods: 13 patients' who are Zhengzhou university students with knee injury were recruited as participants. The participants were divided randomly into experimental group which included 7 students, and the control group including six people. Muscles contraction indexes of the lower limb muscles function measured by TMG were: Contraction Time (Tc), Relaxation Time (Tr), and Maximum Radial Displacement

收稿日期:2018-07-25

基金项目:国家自然科学基金(31471133);中国残疾人联合会研究室资助课题(2016-ZX063)。

第一作者简介:高晓娟,女,讲师。主要研究方向:运动人体科学。E-mail: xiaojuan812@126.com。

作者单位:1.郑州大学体育学院(校本部),河南郑州 450001;2.郑州大学第五附属医院骨关节康复科,河南郑州 450001。



(Dm). The standing time with or without eyes open were also tested. Results: after 8 weeks of training, compared with pre-experiment, the Tc time of experimental group and control group increased, and the control group increased much more. But there was no significant difference compared with pre-experiment. The Tr time of GM in the experimental group was shortened by 12.3%, but increased by 45.7% in the control group, which was significantly different from pre-experiment, $P < 0.05$. The rate of change in the control group was also significantly different from that in the experimental group, $P < 0.05$. Although the time of Tr of TA and GL all have changed, there is no significant difference. The Dm of TA in experimental group increased by 13.52%, while that in control group was shortened by 0.25%, and there was no significant difference. The Dm of GL and GM in the experimental group increased by 42.7% and 38.4% respectively, which was significantly different from the control group. The time of standing on one leg in the experimental group increased by 61.2% compared with pre-experiment, and the difference was significant, $P < 0.05$. The standing time of the control group increased by 44.9% compared with pre-experiment, but there was no significant difference. Conclusion: During the rehabilitation training of CAI patients, the contraction time and radial displacement of TA, GM and GL all increased, while the relaxation time did not show a significant consistent change. This suggests that vibration training can improve muscle contraction in CAI patients. Both vibration training and routine training can improve the balance ability of CAI patients, but the effect of vibration training is more significant. The results of this study indicate that TMG can be used as a means to evaluate the muscle function state during the rehabilitation of CAI patients.

Key Words: chronic ankle instability; vibration training; tensiomyography; rehabilitation

慢性踝关节不稳(Chronic Ankle Instability, CAI)一般是指反复多次的踝关节损伤后所出现的局部疼痛、本体感觉减弱、肌肉力量与控制力下降等^[1]。CAI患者症状多为反复扭伤、经常性疼痛、踝关节打软等^[2]。在踝关节不稳的治疗中,国内采用的传统方法较多,如推拿、针刺、理疗、中药外敷等,国外主要运用物理治疗技术,如矫形支架、贴扎技术等,都获得了良好的效果^[3]。对于CAI患者的康复训练,主要包括踝关节周围肌力训练、本体感觉训练^[4]、渐进性姿势控制训练等,这些训练在短期内可以有效恢复CAI患者的踝关节功能,但是长期效果并不明确^[5]。研究表明,平衡训练、本体感觉训练等能够改善踝关节不稳患者的踝部周围肌肉力量、增强其运动控制能力^[6,7]。

振动训练是通过专门的振动台产生并控制振动刺激,通过机械振动和外在抗阻负荷刺激机体,诱发神经肌肉反射,促进肌肉收缩,同时给予骨骼重复性的应力刺激,进而改善生理机能的训练方法^[8]。早在1936年,Sanders等学者已经将振动方法(Whole Body Vibration Training, WBVT)应用于病人的治疗方案中,且取得了良好的效果^[9]。Nazarov等人首次将振动训练用于运动员的训练中^[10]。振动训练传入中国较晚,但开展得如火如荼。振动训练对人体机能的研究主要集中在以下几个方面:肌肉力量^[11-13]、神经肌肉功能^[14]、平衡能力和慢性病(骨质疏松症、高血压、糖尿病、帕金森和脑卒中)^[15]等方面。梳理文献

发现,振动训练对于CAI患者的相关研究较少,本研究旨在通过振动训练提高CAI患者踝关节周围肌肉的功能和关节的稳定性,为CAI患者的康复训练方法提供实证研究依据。

1 材料与方法

1.1 受试者招募及纳入标准

在郑州大学运动康复实验室招募并筛选下肢功能障碍患者13例,平均身高176.4 cm,平均体重67.08 kg,平均年龄(19.2±1.3)岁。所有受试者随机分为实验组(振动训练组7人),对照组(非振动训练组6人)。随机分组的方法采用随机数表法进行分组,在SPSS19.0软件中随机分组。受试者在年龄、体征和纳入标准上无差异,具有可比性。实验前对患者采取前、后抽屉实验,踝关节内翻应力实验进行筛查。

慢性踝关节不稳检测方法:

前抽屉^[16]实验:患者坐位或仰卧位,膝关节屈曲,踝关节跖屈约10°,检查者一手固定患者小腿下部,另一手握足跟,双手用力作逆向前后错动。足向前即为前抽屉实验(测距腓前韧带),足向后即为后抽屉实验(测距腓后韧带)。双踝对比,患侧比健侧大即为阳性。

踝关节内翻应力实验^[17]:踝被动内翻与对侧比较,如果角度增大说明踝外侧韧带断裂,或为踝关节不稳。也可在此位置照踝关节正位X线像,可显示



踝外侧关节间隙变窄。

纳入标准:(1) 有至少一次的踝关节明显损伤,第一次踝关节损伤居里实验室至少已达 12 个月,损伤后有炎性反应,最近一次踝关节损伤距实验时应多于 3 个月;(2)曾有“失控”、反复扭伤和/或“感觉不稳”;

排除标准:患有如下相关疾病的患者不能参加本实验:双下肢无任何一侧手术史、骨折史和其他关节的急性肌肉骨骼损伤,严重的头疼、癫痫、视力模糊或严重的眼部疾病、严重的心肺疾病及安装心脏起搏器、急性椎间盘突出、急性感染、急性血栓、急性软组织损伤、新近骨折及骨折后新近植入金属异物、新近皮肤裂口或伤口、肿瘤、孕期、新植入的宫内节育器、安装脑深部刺激仪或脊髓刺激仪。

1.2 振动训练干预方案

振动训练的方案参照 Hyung-pil J. 和黄鹏等人^[18,19]的实验方案,略有改动。振动训练组和对照组均进行提踵练习、踝关节内外翻练习(将脚套入振动辅助带进行内外翻练习)、下蹲训练、剪蹲训练(患腿在后,置于振动台,前腿做弓步,置于平地)、台阶步、单腿屈膝支撑、交叉半蹲(单腿站于振动台,两腿轮换)的练习,振动训练组在振动训练仪器上完成,对照组在平地上完成。振动训练的负荷^[20]:振动时间为 30 min,刺激频率为 45 Hz,一周两次,共进行 8 周实验。两组均采用相同的训练时间、间歇时间;训练的组数与次数一致。训练后的整理活动均不做特殊的肌肉放松。

为保证训练效果,在正式训练前一周,组织受试者学习训练动作,并进行一周的适应性训练。

1.3 测试仪器及指标

1.3.1 测试仪器

采用肌肉状态分析仪(TMG100,斯洛文尼亚)测试。测试方法按照 TMG 标准化测试模式进行,受试者踝关节保持固定角度,不至于肌肉被动拉长收缩,充分放松肌肉。采用 TMG 仪器上的持续电流刺激被测肌肉,位移测量传感器垂直按压在被测肌肉的表面,两个电极片的中点相距约 4 cm。

1.3.2 测试指标

收缩时间(Contraction time, Tc),即骨骼肌在作等长单收缩过程中,从刺激开始到张力达到最大值时的时间,这体现了骨骼肌的收缩速度和收缩能力。

放松时间(Relaxation time, Tr),即肌肉反应从径向位移的 90%下降到 50%的时间,这与肌肉的恢复能力有直接关系。

径向位移(Displacement, Dm),它由肌腹的径向位移决定,它表示肌肉的僵硬程度或肌张力的大小。

测试的目标肌肉有:内侧腓肠肌(Medial Gastrocnemius, GM), 外侧腓肠肌(Lateral Gastrocnemius, GL), 胫骨前肌(Tibialis Anterior, TA)。

1.4 数理统计方法

实验数据用 SPSS 19.0 统计分析软件进行处理,对数据进行正态分布检验,然后采用 T 检验方法检测组内数据的显著性,测试结果以平均数±标准差($\bar{X} \pm SD$)表示,设 $P < 0.05$ 为显著性水平, $P < 0.01$ 为非常显著性水平。

2 研究结果

2.1 振动训练对肌肉 Tc 的影响

肌肉 Tc 是指肌肉从受到刺激到产生肌肉最大径向位移所用总时间的 10%~90%。8 周训练后,振动训练组和对照组较 Tc 的变化结果如表 1。

从表 1 可以看出,振动训练组和对照组较实验前 Tc 都有所增加,但对照组增加的更多,两组较实验前都没有显著性差异。振动训练组 TA 的 Tc 时间增加了 6.3%, 对照组 TA 的 Tc 较实验前增加了 14.2%。振动训练组 GL 的 Tc 时间增加了 16.8%, 对照组 Tc 时间增加了 28.6%。振动训练组 GM 的 Tc 时间增加了 14.3%, 对照组增加了 28%。

表 1 实验前、后踝关节肌肉 Tc 的变化(单位 ms)

Table I Contraction Time before and after Experiment (ms)

测试肌肉	振动训练组		对照组	
	实验前	实验后	实验前	实验后
TA	19.37	20.58	27.86	23.89
GL	32.35	37.8	30.15	38.78
GM	22.19	25.38	22.82	29.21

2.2 振动训练对肌肉 Tr 的影响

Tr 是指下降曲线的 90% 到 50%, 提供了相关疲劳程度的信息。8 周训练后,振动训练组和对照组训练前 Tr 的变化结果如表 2。

表 2 实验前、后踝关节肌肉 Tr 的变化(单位:ms)

Table II Relaxation Time before and after Experiment(ms)

测试肌肉	振动训练组		对照组	
	实验前	实验后	实验前	实验后
TA	50.64	47.27	50.07	47.98
GL	47.93	51.9	52.51	47.61
GM	61.36	53.82	39.31	57.29*

注:*表示实验后较实验前有显著性差异, $P < 0.05$ 。



从上表中可以计算得出,通过8周的训练实验前后的比较,实验组GM的Tr时间缩短了12.3%,对照组增加了45.7%,较实验前有显著性差异, $P < 0.05$ 。而TA和GL虽有变化,但无显著差异。

2.3 振动训练对下肢肌肉 Dm 的影响

肌肉的最大 Dm 表示肌肉接受刺激过程中横向移动的最大数值。8周训练后,振动训练组和对照组较训练前 Dm 的变化结果如表 3。

表 3 实验前、后踝关节肌肉 Dm 的变化(单位:mm)
Table III Displacement before and after Experiment(mm)

测试 肌肉	振动训练组		对照组	
	实验前	实验后	实验前	实验后
TA	3.18	3.61	3.9	3.89
GL	3.37	4.81*	5.28	5.51
GM	2.04	2.56	2.81	4.28*

注:*表示实验后较实验前有显著性差异, $P < 0.05$ 。

从表 3 中可以看出,通过8周的训练实验前后的比较,实验组TA的Dm增加了13.5%,对照组TA的Dm减少了0.3%,但并无显著差异。实验组GL的Dm增加了42.7%,差异显著, $p < 0.05$ 。对照组GM的Dm增加了52.31%,差异显著, $P < 0.05$ 。

2.4 振动训练对 CAI 患者平衡能力的影响

振动训练能够触发人体的感受器,通过触觉压觉、本体感觉及前庭感觉的信号输入,调节不同肌肉或肌群间的协调能力,增加运动单位的募集,同时增加躯体的空间位置觉和运动觉,引起身体的适应性改变和神经肌肉的兴奋性改变,而人体姿势控制平衡主要是靠感觉系统(如视觉、前庭感觉)、运动系统和中枢整合来维持。在现有研究中,全身振动训练对人体平衡能力的影响测试的静态指标是单腿站立(睁眼、闭眼)时间。睁眼单腿站立测试结果如表 4。

表 4 实验前后睁闭眼单腿平衡站立的变化

Table IV Time of Standing time with Closed-eyes before and after Experiment

平衡能力	实验组		对照组	
	实验前	实验后	实验前	实验后
睁眼站立时间/s	75.16	121.16*	54.83	79.50
闭眼站立时间/s	13.75	18.14	12.75	15.47

注:*表示实验后较实验前有显著性差异, $P < 0.05$ 。

从表 4 中可以看出,实验组受试者睁眼单腿站立时间提高 61.2%,差异显著, $P < 0.05$ 。对照组睁眼单腿站立时间提高 44.9%。实验组增长百分比比较对照组提高 16.3%;闭眼单腿站立时间提高 31.9%,对照组闭眼单腿站立时间提高 21.3%,闭眼单腿站立

实验组提高百分比比对照组高 10.6%。

3 分析讨论

为了进一步了解振动训练对 CAI 患者踝关节周围肌肉功能的影响,采取新型的无创肌肉功能诊断系统 TMG 来进行评估。TMG 系统通过传感器给肌肉一个机械刺激,肌肉受到刺激产生收缩,数字位移传感器可以测量肌肉收缩过程中的生物力学变化,如最大 Dm、Tc、Td、Ts、Tr5 个参数^[21],以此评测肌肉的功能状态。本研究选取了肌肉的径向位 Dm、Tc、Tr 作为评价指标。Dm 表示肌肉接受刺激过程中横向移动的最大数值,表示了肌肉的僵硬或是肌张力的大小。Tc 指肌肉受刺激后到产生肌肉最大径向位移所用时间的 10%到 90%。Tr 指肌肉放松下降曲线的 90%到 50%,这与肌肉的疲劳程度有关^[22,23]。对于 CAI 患者来说,肌肉的功能状态决定患者踝关节的稳定性和灵活性。传统研究肌肉功能状态主要关注的是肌肉内部结构及组织化学的变化,而肌肉收缩过程中相关特性的变化尚无太多研究。

本研究测试 GM、GL、TA 的肌肉功能状态。振动训练组和对照组较实验前各肌肉的 Tc 都有所增加,振动训练组增加的更多,但是没有显著性变化。本研究中 Tc 的变化情况与训练方案有关系。在本研究的振动训练模型中,所有的训练动作速度较慢,可能主要刺激慢肌参与运动,因此慢肌的收缩功能的体积都会增强。虽然振动训练能够募集更多的肌纤维参与收缩,但募集的慢肌纤维较多,而 TMG 测试肌肉 Tc 是以收缩最慢的肌肉的 Tc 为测试的最终结果的。这与 Sierra-Guzmán R. 等人的研究不同,他们的研究发现振动训练并没有明显改变慢性踝关节不稳患者的胫骨前肌、腓骨长肌和腓骨短肌的肌电活动,但肌肉的反应时有明显的缩短^[24],这一点与李文言的研究^[25]也有所不同,该研究发现振动训练对肌肉的反应时没有明显的变化。

本研究观察到振动训练组所有肌肉的 Tr 都缩短,肌肉 Tr 加快。Tr 时间缩短,说明踝关节疼痛患者下肢肌肉的放松能力增强,或抗疲劳能力增强。由此,推断振动训练可以提高肌肉的放松能力。对照组肌肉的放松时间有缩短也有延长,且幅度变化较大,没有一致性变化。这与朱文斐等人的研究是一致的,他们的研究采用 30 Hz 的振动频率对掌长肌进行振动放松,明显观察到目标肌肉疲劳后的电变化和肌肉力量都有缓解和恢复^[26]。关于振动训练对骨骼肌疲劳恢复能力的提高,可能与振动训练可以改善目标肌肉的局部血液循环有关。骨骼肌在振动过程中,



内部的毛细血管开放的会更多,局部的血液循环加快,能源物质供给更充足,因此肌肉的粘滞性会下降,收缩能力和柔韧性得到了提高^[27]。同时,本研究还发现 8 周训练后,振动训练组和对照组的最大 Dm 较实验前有比较明显的变化。除 VL 和 TA 没有明显的增加外,对照组和振动训练组其他肌肉的 Dm 均有所增加,且对照组增加的幅度明显大于振动训练组。Dm 过大,有可能是因为在训练过程中肌肉放松不足而引起僵硬导致的。振动训练组 Dm 增加的较小,可能与振动训练具有促进疲劳恢复、放松肌肉这一因素有关。

8 周的训练实验组和对照组睁眼单腿站立时间相比实验前都有很大的提高,平衡能力都得到了增强。实验组和对照组闭眼单腿站立时间也有很大的提高,睁眼站立平衡能力提高幅度大于闭眼平衡能力,这可能是视觉参与的效果。Brenda 等人的研究发现,振动训练可以改善大卡车司机的站立平衡^[28]。Van 等人对中风老年人进行振动训练发现,这些患者的睁闭眼时间,以及对身体的动作速度的平衡控制能力有显著提高^[29]。闫泽宇的研究发现振动训练能够提高本体感觉且高频率(45 Hz)进行振动训练的效果比低频率 30 Hz 好^[30]。振动训练对机体平衡能力的影响可能是因为改善了机体的本体感觉和协调性,由于振动训练本身的振动刺激,增加了机体受力的不稳定性,因此需要调动更多的神经肌肉来参与、维持运动。

4 结论

从本研究的结果得出以下结论:CAI 患者在康复训练过程中,TA、GM 和 GL 的收缩时间和径向位移均增加,而放松时间没有明显的一致性变化。这提示振动训练可以提高 CAI 患者的肌肉收缩能力。振动训练和常规训练均可以提高 CAI 患者的平衡能力,但振动训练的效果更显著。TMG 可以作为 CAI 患者康复过程中肌肉功能状态的评估手段和技术指标。

参考文献:

- [1] Sammarco G. J., Diraimondo C. V. Surgical treatment of lateral ankle instability syndrome J. Am. J. Sports Med., 1988, 16(5):501-511.
- [2] Mizel M. S., Hecht P. J., Marymont J. V., et al. Evaluation and treatment of chronic ankle pain[J]. Instr. Course Lect., 2004, 53:311-321.
- [3] 武勇,龚晓峰.《足踝运动医学》简介[J].骨科临床与研究

杂志,2017,2(01):16.

- [4] Rivera M. J., Winkelmann Z. K., Powden C. J., et al. Proprioceptive training for the prevention of ankle sprains: an evidence-based review[J]. Athl. Train., 2017, 52(11): 1065-1067.
- [5] Kim E., Choi H., Cha J. H., et al. Effects of Neuromuscular Training on the Rear-foot Angle Kinematics in Elite Women Field Hockey Players with Chronic Ankle Instability[J]. Sports Sci. Med., 2017, 16(1):137-146.
- [6] Minoonejad H., Karimizadeh A. M., Rajabi R., et al. Hop Stabilization Training Improves Neuromuscular Control in Collegiate Basketball Players with Chronic Ankle Instability: A Randomized Controlled Trial[J]. Sport Rehabil., 2018, 28:1-25.
- [7] Hale S. A., Hertel J., Olmstel-Kramer L. C. The effect of a 4-week comprehensive rehabilitation program on postural control and lower extremity function in individuals with chronic ankle instability[J]. Orthop. Sports phys. Ther., 2007, 37(6):303-311.
- [8] Oberste M., Großheinrich N., Wunram H. L., et al. Effects of a 6-week, whole-body vibration strength-training on depression symptoms, endocrinological and neurobiological parameters in adolescent inpatients experiencing a major depressive episode (the "Balancing Vibrations Study"): study protocol for a randomized placebo-controlled trial [J]. Trials., 2018, 19(1):347.
- [9] Sanders C. E. Cardiovascular and peripheral vascular diseases: treatment by a motorized oscillating bed [J]. JAMA, 1936, 106(11):916-918.
- [10] Nazarov V., Spivak G. Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method [J]. Australian Journal of Biological Sciences, 1985, 25 (2).
- [11] Lau R. W., Liao L. R., Yu F., et al. The effects of whole bodyvibration therapy on bone mineral density and leg musclestrength in older adults: a systematic review and-meta-analysis [J]. Clin. Rehabil., 2011, 25(11):975-988.
- [12] Roelants M., Delecluse C., Verschueren S. M. Whole-body-vibration training increases knee-extensionstrength and speed of movement in older women[J]. J. Am. Geriatr. Soc., 2004, 52(6):901-8.
- [13] Maeda N., Urabe Y., Sasadai J., et al. Effect of Whole-Body-Vibration Training on Trunk-Muscle Strength and Physical Performance in Healthy Adults: Preliminary Results of a Randomized Controlled Trial[J]. J. Sport Rehabil., 2016, 25(4):357-363.
- [14] Osugi T., Iwamoto J., Yamazaki M., et al. Effect of a-combination of whole body vibration exercise and squat-



- training on body balance, musclepower, and walking ability in the elderly[J]. *Ther. Clin. Risk Manag. J.*, 2014, 10(1):131-138.
- [15] 谭景旺,吴雪萍.全身振动训练对老年人下肢功能和慢性疾病影响的研究与进展[J].*中国组织工程研究*,2017, 21(8):1288-1293.
- [16] 李世和.踝关节外侧副韧带损伤与踝关节不稳[J].*中国运动医学杂志*,1996,1:282-1385.
- [17] 曲绵域,于长隆.实用运动医学(第四版)[M].北京:北京大学医学出版社,2003.
- [18] Hyung-pil J., Kysha H., Christopher K., et al. Whole Body Vibration Effect on Time-to-Boundary Measures in Persons with Chronic Ankle Instability [J]. *Medicina&Science in Sports&Exercise.*, 2014, 46(5):319.
- [19] 黄鹏,吕倩楠,陈子嫣,等.下肢振动训练对功能性踝关节不稳定的影响效果研究[J].*当代体育科技*,2016,6(1): 10-13.
- [20] 李玉章.全身振动训练的理论与实践[M].上海:上海第二军医大学出版社,2010.
- [21] 赵华伟,戴剑松.TMG非侵入测量技术及其在运动科学应用中的研究综述[J].*南京体育学院学报(自然科学版)*, 2015,14(5):54-58.
- [22] Krizaj D., Simunic B., Zagar T. Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly[J]. *Electromyogr Kinesiol.*, 2008, 18(4):645-651.
- [23] Dahmane R., Valencic V., Knez N., et al. Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response [J]. *Med. Bio. Eng. Comput.*, 2001, 39(1):51-56.
- [24] Sierra-Guzmán R., Jiménez J. F., Ramírez C., et al. Effects of synchronous whole body vibration training on a soft, unstable surface in athletes with chronic ankle instability[J].*Int. J. Sports Med.*, 2017, 38(6):447-455.
- [25] 李文言.振动训练对膝关节损伤患者下肢功能状态的影响[D].郑州大学,2017.
- [26] 朱文斐,曹建民,包大鹏.振动放松缓解骨骼肌运动性疲劳即时效果研究[J].*北京体育大学学报*,2012,35(2):50-53.
- [27] 欧阳秀雄,湛超军.振动训练同振幅不同频率与振动时间对血流量变化的研究[J].*北京体育大学学报*,2008,31(7):929-931.
- [28] Brenda R. S., Christian L., Alain D., et al. A laboratory study to quantify the biomechanical responses to whole-body vibration: The influence on balance, reflex response, muscular activity and fatigue[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2008, 38: 626-639.
- [29] Van-Nes I. J. W., Geurts A. C. H., Hendricks H. T., et al. Short-Term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence[J]. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 2004, 83(11): 867-73.
- [30] 闫泽宇.不同频率振动训练对运动员膝关节本体感觉的即时性影响[J].*文体用品与科技*, 2014, 12:152.

(责任编辑:刘畅)