

负重与振动刺激下的半蹲起踵练习对下肢爆发力的即时影响及其作用机制研究^①

李盈盈^{1,2}, 彭莉¹

1. 西南大学体育学院, 重庆 400715; 2. 西南大学医院, 重庆 400715

摘要: 为分析不同刺激下的半蹲起踵练习对下肢爆发力的影响及其作用机制, 选取8名有训练经历的受试者依次在4种负荷刺激下(无负重, 无振动; 50 Hz 频率振动; 45% 1 RM 负重; 45% 1 RM 负重+50 Hz)进行半蹲起踵练习, 每种负荷训练3 min, 记录负荷刺激过程中下肢肌群的表面肌电活动及负荷刺激结束后受试者即刻的原地纵跳高度。结果显示: 与无负重无振动相比, 50 Hz 频率振动、45% 1 RM 负重、45% 1 RM 负重+50 Hz 负荷刺激下半蹲起踵练习受试者的纵跳高度均有所增加, 差异有统计学意义($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$), 尤其是负重加振动刺激下半蹲起踵练习受试者的纵跳高度增加最为明显; 下肢肌群的肌电表现 EMGrms 值除了半腱肌和胫骨前肌, 50 Hz 频率振动、45% 1 RM 负重、45% 1 RM 负重+50 Hz 负荷刺激下半蹲起踵练习受试者的下肢肌肉表现 EMGrms 值均增加明显, 差异有统计学意义($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$); 负重、振动与负重加振动刺激下半蹲起踵练习后之间的纵跳高度差异不具有统计学意义, 外加负重与外加振动刺激下半蹲起踵练习下肢肌群的肌电表现 EMGrms 值差异不具有统计学意义(除半腱肌外), 负重+振动刺激比外加振动或外加负重显著提高了股直肌、腓肠肌内侧的肌电表现 EMGrms 值。可见负重加振动刺激对提高主动肌的力量和肌肉激活程度效果显著, 但对对抗肌的激活并无优势, 建议在下肢爆发力的训练中重视对对抗肌的训练。

关键词: 全身振动; 半蹲起踵; 下肢爆发力; 短时影响; 表面肌电

中图分类号: G804

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)02-0117-06

负重半蹲起踵或负重半蹲跳是常用的下肢力量练习手段, 是一种克服自身体重及外负荷阻力做功的动力性力量练习方法。半蹲起踵练习时, 在下蹲的过程, 大腿伸肌及小腿后肌群离心收缩被拉长, 肌肉发生预激活, 肌肉—肌腱复合体储存弹性势能, 随后的蹲起过程由于之前的预激活效应及弹性势能的快速释放, 膝关节伸肌群能够发出更大的力量^[1]。长时间的蹲起力量训练使神经—肌肉系统产生适应性变化, 改善肌肉协调性, 提高肌肉代谢能力, 并使下肢肌肉肌纤维增多, 肌肉生理横截面增大从而使下肢肌肉力量增强, 主要表现为下肢纵跳能力提高。全身振动刺激是指受试者双脚站立于振动仪器训练平台上, 全脚掌接触平面接受振动刺激, 是一种新颖的提高体能训练方式, 现有的研究^[2-3]发现全身振动训练对受试者最大力量、力量耐力和快速力量增加较单纯抗阻力量的训练效果明显, 在振动训练方面对不同力量素质的影响中, 对机体爆发力的影响认可度最高, 且认为振动训练在改善受试者的下肢肌肉水平方向和垂直方向爆发力较单纯抗阻训练效果显著^[4]。但是振动结合负重刺激对下肢肌电影响的研究较少, 已有的研究证明振动训练与负重训练的结合是有效的, 因此本研究让受试者在振动仪器上分别进行无负重无振动、负重 45% 1 RM、50 Hz 频率振动、负重 45% 1 RM+50 Hz 频率振动的半蹲起踵练习, 记录不同负荷刺激下半蹲提

① 收稿日期: 2018-05-07

基金项目: 西南大学基本科研项目(SWU1809385)。

作者简介: 李盈盈(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事体质健康与运动康复研究。

通信作者: 彭莉, 教授。

踵练习时下肢各肌群表面肌电活动和负荷刺激结束后即刻的纵跳高度,比较不同的外加刺激下半蹲起踵练习对下肢爆发力的影响及其可能机制,试图从肌肉电活动的角度进一步反映振动结合负重刺激下的半蹲起踵练习效果,为下肢爆发力练习的运动训练实践提供理论依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

在告知实验操作流程后,招募到西南大学体育学院田径训练队 8 名健康男性大学生为研究对象(均自愿),受试者签署知情同意书。受试者平均年龄(23.5 ± 2.1)岁,下肢均无关节肌肉损伤、无心血管疾病、无皮肤过敏等振动训练禁忌证。测试在安静环境下进行,受试者在测试 48 h 内不得进行剧烈运动,使机体处于非疲劳状态;室温控制为 $22 \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度控制为 $40\% \sim 60\%$ 。

1.2 研究方法

1.2.1 实验法

1.2.1.1 测试仪器

振动训练仪为台湾期美公司生产,型号 zenPro TVR-5930,振动模式为垂直振动,振幅 2 mm;表面肌电测试采用 JE-TB0 810 八通道表面肌电测试仪,该系统硬件采用前置放大器,本身具有无线波(50/60 Hz)滤波器,采样频率为 1 000 Hz;表面电极片采用上海励图医疗设备有限公司生产的银/氯化银一次性使用电极片;关节角度控制采用关节角度计;同时,采用 Panasonic 数码摄像机(型号为 NV-GS400)通过 USB 线与肌电遥测系统实施同步(30 Hz)采集;杠铃、杠铃片 1 套和秒表 2 块。

1.2.1.2 测试方法

1) 半蹲起踵动作要求及节奏控制。受试者两脚左右开立与肩同宽,双目平视,脚趾向前,下蹲至膝关节角度 120° 后,快速蹲起,蹲起要求髋、膝同时伸展,最后有提踵动作(踝关节跖屈)。采用关节角度计测定并监控运动中被试的关节角度,膝关节角度未达标时口头提醒受试者。受试者通过多次练习熟悉并掌握动作要领后开始正式实验。动作节奏控制是通过预实验,确定半蹲起的动作节奏为 6 s/次(蹲下 3 s,蹲起提踵 3 s),受试者听着节拍器的节律完成半蹲起踵练习。

2) 表面电极片的放置。选取右下肢(优势腿)的股直肌、胫骨前肌、半腱肌和腓肠肌内侧为测试肌群。贴表面电极片前对皮肤进行清洁,刮除汗毛,用砂纸清除皮肤角质,再用体积分数为 75% 的乙醇擦拭消毒,去除皮肤表面油脂。表面电极片安放于肌肉肌腹最高处,顺着肌纤维的走向贴放,两电极片中心点相距 2 cm 采用肌电仪配套绷带对电极和放大器进行固定,避免因振动引起的干扰。

3) 最大静力收缩测试及表面肌电采集^[5]。在最大力量(repeat the maximum force, 1 RM)测试 72 h 后进行最大静力收缩测试,受试者进行 5 min 准备活动后,告知实验流程并安放好表面电极片进行最大静力收缩测试(maximum voluntary contraction, MVC)^[6]。①受试者坐在椅子上,背部紧靠椅背,双脚自然下垂并悬空,双臂自然置于体侧,躯干与大腿成 90° ,大腿与小腿约为 90° ,测试人员在受试者的右脚踝关节上端施加阻力使其尽最大力量伸膝关节,记录股直肌肌电信号;②受试者双手自然放于身体两侧,上身及下肢自然直立站位,用力勾脚尖(背屈),记录胫骨前肌肌电信号;③受试者俯卧于软垫上,双手自然放于身体两侧,右侧膝关节弯曲,小腿与水平面角度约 20° 并尽最大力量屈膝,同时测试人员于右侧踝关节上端施加阻力使其固定对抗屈膝力量,记录半腱肌肌电;④受试者坐在椅子上,背部紧靠椅背,双脚自然下垂并悬空,双臂自然置于体侧,躯干与大腿成 90° ,大腿与小腿约为 180° ,保持踝关节成 90° ,测试人员在受试者脚底下端施加阻力使其固定并让受试者者尽最大力量跖屈,记录腓肠肌内侧肌电信号。测试过程中要求受试者缓慢增加用力,3 s 后达到最大力量并持续 5 s,测试均做 2 次,每次间隔 1 min,取较大值为测试结果。

要求受试者两脚左右开立与肩同宽,双目平视,脚趾向前,下蹲至膝关节角度 120° 后,快速蹲起,蹲起要求髋、膝同时伸展,最后有提踵动作(踝关节跖屈)。采用关节角度计测定并监控运动中被试关节角度,用于口头提醒受试者。受试者通过多次练习熟悉并掌握动作要领后开始正式实验。告知动作要领后并贴放好表面电极片,受试者依序进行无负重无振动、45% 1 RM 负重、50 Hz 频率振动、45% 1 RM 负重 + 50 Hz 频率振动刺激下半蹲起踵练习时的下肢肌肉表面肌电采集。每种负荷刺激持续 3 min(每组 1 min,

进行 3 组), 负荷刺激间至少间隔 2 h 以上(确保机体在非疲劳状态下进行动作练习)。

4) 原地纵跳高度测试. 每种负荷刺激下的半蹲起踵练习结束后, 受试者立即进行原地纵跳高度测试. 测试动作如下: 受试者双脚自然开立, 与肩同宽, 脚前掌内扣, 调整好呼吸, 双臂打开自然举高, 然后身体后仰将身体充分打开后, 做预摆、蹬地、跳起动作, 达到最高点时, 用提前准备好的手中指触墙体标尺的最高点, 落地时注意做好缓冲和身体平稳的动作. 跳 3 次, 记录纵跳高度最好成绩。

5) 表面肌电的获取、处理及分析. 采用 BIOFORCEN 系统软件进行. 为保证数据的准确性, 受试者每种负荷刺激持续 3 min(每组 1 min, 进行 3 组), 中间间隔 2 h 以上(确保受试者疲劳恢复). 观察 3 组肌电图的正弦波发现, 大多数受试者的第 2 组正弦波受外界影响程度较另外 2 组更小, 因此选取第 2 组的数据进行处理分析. 根据同步录像, 选取第 2 组的第 2 次蹲下到第 9 次半蹲起踵末的 24 s 过程中的肌电图进行分析(因为第一组机体还在适应中, 得到的数据可能受其他因素影响). 根据同步录像, 选取第 2 组的第 2 次蹲下到第 9 次半蹲起踵末的 24 s 的肌电图进行分析, 用肌电仪配套分析软件对原始肌电数据进行整流、滤波、平滑和标准化处理. 以每种刺激下的肌电指标均方根振幅除以最大静力收缩肌电数据再乘以 100 为 EMGrms 的标准化结果, 表示为 EMGrms(%MVC)。

1.2.2 数理统计法

所有数据采用 Spss19.0 进行统计学分析, 数据经检验存在正态分布并具有方差齐性. 组间差异采用单因素方差分析和 LSD 多重比较, 显著性水平定义为 $p<0.05$ 。

2 研究结果

研究发现(表 1), 与无负重无振动相比, 附加不同的刺激(50 Hz 振动、45% 1 RM 负重、45% 1 RM 负重+50 Hz)半蹲起踵练习均能提高受试者的纵跳高度, 差异有统计学意义($p<0.05$ 或者 $p<0.01$), 其中负重+振动刺激提升纵跳高度最多. 同时, 外加刺激的(50 Hz 振动、45% 1 RM 负重、负重+振动)下肢肌群肌电表现 EMGrms 值也均高于无负重无振动组(除单纯振动组的半腱肌、胫骨前肌外), 差异有统计学意义($p<0.05$ 或者 $p<0.01$)。

LSD 两两检验也发现, 外加负重、振动与负重加振动刺激的半蹲起踵练习后各组的纵跳高度差异无统计学意义, 但各组练习时的下肢肌群肌电 EMGrms 有一定差别. 总的来看, 除半腱肌外, 外加负重刺激和振动刺激下的半蹲起踵练习时下肢肌肉 EMGrms 差异无统计学意义; 除半腱肌和胫骨前肌外, 负重加振动组的 EMGrms 高于外加负重或外加振动组, 差异有统计学意义($p<0.05$ 或者 $p<0.01$)。

表 1 不同刺激条件下半蹲起踵练习后的纵跳高度和各肌群 EMGrms 对比分析($n=8$)

条件	纵跳高度/cm	股直肌	半腱肌	胫骨前肌	腓肠肌
无负重无振动(a)	39.6±13.2	18.5±4.7	13.6±3.6	10.5±4.0	21.0±5.0
45% 1 RM 负重(b)	44.9±13.6	27.5±5.7	15.2±7.9	14.1±4.4	38.3±4.7
50 Hz 振动(c)	45.0±13.4	23.9±5.3	18.5±6.9	18.9±7.2	28.8±4.6
负重+振动(d)	45.8±15.4	34.7±4.3	21.9±4.4	21.1±8.3	54.2±16.48
单因素方差分析	$F=0.29$	$F=12.82$	$F=6.34$	$F=8.78$	$F=16.86$
	$p=0.83$	$p=0.00$	$p=0.00$	$p=0.00$	$p=0.00$
LSD 两两检验	ab* ac* ad**	ab* ac** ad** bc	ab* ac ad**	ab* ac ad**	ab* ac** ad**
	bc cd bd	cd** bd*	bc cd** bd	bc* cd* bd	bc cd** bd**

注: * $p<0.05$, ** $p<0.01$ 。

3 分析讨论

原地纵跳动作是人体在中枢神经系统控制下, 依靠身体各环节协调配合, 发挥下肢肌群的最大爆发力, 以达到最佳纵向起跳效果的技术动作^[7]. 本研究发现, 外加振动、负重或振动加负重负荷刺激下半蹲起踵练习均显著提高了受试者的纵跳高度, 说明外加刺激的半蹲起踵练习增加了下肢肌肉的爆发力. 刘卉等^[8]实验结果显示, 振动刺激训练对受试者的下蹲跳成绩提高明显; Rittwrge 等^[9]发现, 部分受试者的纵跳高度在振动训练后显著提高; 任满迎等^[10]研究发现, 垂直振动模式 45 Hz 频率振动刺激下受试者蹲跳和

下蹲跳的训练效果显著高于 30 Hz. 不同的频率振动刺激和振动模式组合训练对纵跳成绩的影响是不同的, 可能是每位受试者的最佳振动频率不同, 振动训练对受试者的纵跳高度影响结果不同.

外加负重、振动或负重加振动复合刺激下的半蹲起踵练习也增加了下肢肌肉肌电 EMGrms 值. 肌电 EMGrms 值即肌电的均方根振幅, 又被称为放电有效值, 常用来描述一段时间内肌电的平均变化特征及肌肉激活程度, 被认为与运动单位的募集数量、肌纤维兴奋节律的同步化、估计肌肉产生的肌力大小以及生理节律有关^[11-13]. 这可能是外加刺激下半蹲起踵练习提高受试者的纵跳高度的原因之一.

本研究结果发现, 外加负重、振动或负重加振动负荷刺激下的半蹲起踵练习时, 股直肌、半腱肌、胫骨前肌和腓肠肌的 EMGrms 值较无外加刺激增加明显, 说明负重或振动刺激可以改善下肢肌群肌肉的激活程度. 振动训练可以通过改变膝关节的角度来缓冲垂直冲击力对人体的作用, 尤其是对下肢力量要求较高的运动, 运动过程中对大腿、小腿肌群产生很强的冲击力和反复的牵拉动作, 产生周期性拉长—收缩循环, 但是对肌肉的刺激频率较慢, 持续时间较短^[14-15]. 而振动刺激不仅增加了肌梭兴奋, 还减少了对腱器的抑制. 振动刺激作用于肌肉和肌腱引起肌肉的不随意收缩产生兴奋, 使 Y-神经元活动加强, 增加了肌梭敏感性和反应能力, 引起表面肌电振幅增加^[16-18]. 负重加振动复合刺激下股直肌和腓肠肌的 EMGrms 值比外加振动和外加负重升高明显, 振动结合负重刺激下半蹲起踵练习提高机体力量主要通过 2 个途径: 一是通过负重刺激, 激活浅层大肌群的运动单位使机体适应从而形成肌肉肥大^[19]; 二是通过振动刺激发展核心区域肌群、深层的稳定肌和小肌群以及神经支配肌肉能力^[20]. 2 种刺激的有机结合发出强直张力能形成强有力的神经反射冲动^[21], 使大小、快慢运动单位同时被激活, 相比单纯性外加负重练习的先启动慢运动单位和小运动单位、后启动快运动单位和大运动单位激活原则^[22-23], 2 种刺激的有机结合可能各取所长而避其短. 袁艳等^[17]认为可能因为振动刺激增加了加速度, 负重增加了质量, 从生物力学的角度出发, 力等于加速度与质量的乘积, 负重附加振动刺激一起作用下身体的阻力增加, 下肢肌群需要有更大的力量对抗阻力, 肌电的增加说明股直肌、腓肠肌激活更好, 产生的力量更大.

半蹲起踵练习时, 半腱肌是股直肌的对抗肌, 胫骨前肌是腓肠肌的对抗肌, 而对抗肌肌肉力量差, 肌肉力量发展的不均衡可能会造成肌肉拉伤甚至运动成绩停滞不前等现象^[17]. 本研究结果发现, 负重或振动刺激下的半蹲起踵练习, 股直肌和腓肠肌的 EMGrms 值比无外加刺激时显著提高, 说明主动肌的收缩力量增加明显, 与此同时, 外加刺激时半腱肌和胫骨前肌的 EMGrms 值也增加明显, 说明外加刺激下的半蹲起踵练习在提高主动肌力量同时还能使各肌肉协调发展, 这也可能是外加刺激提高纵跳高度的原因之一. 因为原地纵跳的起跳特点是依靠身体的团缩和快速伸展动作以获得腾起初速度, 肌肉收缩力量的提高对增强起跳效果具有显著意义. 而协调性是人体各肌群的协调配合, 是外部肢体环节动作协调的根本原因, 下肢各肌群的协调配合才能使人体重心达到最大垂直加速度, 也使人体重心在起跳时处于最佳初始位置^[24]. 有研究^[25-26]发现, 附加 22~50 Hz 全身振动刺激会引起外周神经发放神经冲动的强度、频率及同步化增加, 导致运动神经元去极化增加, 改变了运动单位的募集形式, 可能是振动刺激提前募集了高阈值兴奋的运动单位, 表面肌电信号增加. 袁艳等^[17]通过肌电观察分析也显示, 在垂直振动模式及振幅为 2 mm 的条件下, 附加 50 Hz 频率振动刺激时显著增加了股二头肌和半腱肌的 EMGrms 值, 提高了主动肌和对抗肌的激活程度; 张园园等^[27]研究发现, 频率在 30~50 Hz 的振动刺激对胫骨前肌和腓肠肌的影响最大, 说明 30~50 Hz 频率振动刺激是激活胫骨前肌和腓肠肌较好的选择; Cardinale 等^[21]研究发现, 在振幅 10 mm, 振动时间 60 s, 30 Hz 频率振动刺激对股外侧肌的 EMGrms 显著高于其他频率振动刺激. 振幅越大, 振动时间越长, Ia 类神经纤维的传入兴奋性降低, 这类肌纤维收缩减弱, 导致运动神经元同步化减弱, 运动单位收缩效率降低, 表面肌电信号减弱. 不同的振动模式、振动频率、振幅、振动时间可能会引起肌肉的激活程度不同. 本研究结果表明, 不论是否负重, 频率为 50 Hz 振动刺激的半蹲起踵运动, 均显著提高了股直肌、半腱肌、胫骨前肌和腓肠肌内侧的激活程度, 可以为全身振动训练频率的选取提供参考. 负重、振动和负重加振动复合刺激下半蹲起踵练习时下肢各肌肉的 EMGrms 虽有差异, 负重加振动复合刺激下股直肌和腓肠肌的 EMGrms 值较外加振动和外加负重提高明显, 但半腱肌和胫骨前肌的 EMGrms 值组间并无差异, 说明复合刺激更能增加主动肌的激活程度, 对对抗肌的激活并无优势, 这可能是外加刺激各组受试者的纵跳高度并无显著差异的原因, 同时也提示下肢爆发力训练中不能忽视对抗肌力量的训练. 此外, 除了下肢肌

群的力量及协调性会影响纵跳高度外,核心肌的收缩及稳定^[28]、整个身体的协调作用也非常关键重要.袁艳等^[2]也研究发现,30% 1 RM轻负荷刺激负重与45 Hz振动刺激对小腿的激活效果相近,认为处于机体康复中不适合进行负重的锻炼者可以用振动训练代替轻负荷刺激(30% 1 RM)负荷训练.本研究结果也提示,振动、负重以及振动加负重3种刺激手段均可作为原地纵跳训练时的附加手段,可依据不同情况和条件选用不同刺激,如果条件许可,可以选用全身振动刺激代替负重刺激进行半蹲起踵练习,或负重加振动的复合刺激代替单一的刺激方式.

4 结 论

负重、振动和振动加负重刺激下的半蹲起踵练习均能显著提高受试者的纵跳高度和下肢肌群的肌电EMGrms值,说明外加刺激下半蹲起踵练习能明显提高受试者的下肢爆发力,负重、振动和振动加负重刺激下半蹲起踵练习可能通过提高股直肌、半腱肌、胫骨前肌、腓肠肌内侧的肌肉激活程度,提高完成原地纵跳动作的主动肌收缩力量同时同步化发展对抗肌肌肉力量,从而提高下肢爆发力及增加原地纵跳高度.负重加振动的复合刺激更能增加主动肌的激活程度和力量,但在提升对抗肌的激活程度上与单一刺激相比并无优势,提示在下肢爆发力的训练上不要忽略对对抗肌力量的训练.

参考文献:

- [1] 刘宇,林政东.两种不同牵张幅度深跳动作的生物力学要素和肌电现象之分析[C/OL]//中国体育科学学会运动生物力学分会.第十届全国运动生物力学学术交流大会论文汇编.石家庄:2002中国体育科学学会运动生物力学分会, <http://kns.cnki.net/KOMS/det ail/det ail. aspx?>.
- [2] 袁艳,吴贻刚,苏彦炬,等.不同频率振动刺激和负重条件下半蹲运动中小腿肌群表面肌电活动特征研究[J].天津体育学院学报,2012,27(4):287-291.
- [3] 董德龙,王卫星,梁建平.振动、核心及功能性力量训练的认识[J].北京体育大学学报,2010,33(5):105-109.
- [4] 徐国龙.两种振动训练形式与传统抗阻训练对下肢爆发力影响的比较研究[D].北京:北京体育大学,2014.
- [5] 丁佳宁.最大力量1 RM的测试方案[EB/OL]. [2017-12-28](2018-03-15). http://blog.sina.com.cn/s/blog_64911ebe0100qnub.html.
- [6] 李玉章.表面肌电在体育中的应用[M].上海:复旦大学出版社,2015.
- [7] 刘学贞,李世民.纵跳理论研究进展[J].北京体育大学学报,2004,27(1):65-70.
- [8] 凤翔云,刘卉.不同频率振动训练对下肢爆发力和柔韧性的即时影响研究[J].体育科学,2010,30(12):71-76.
- [9] RITTWEGER J, BELLER G, FELSENBURG D. Acute Physiological Effects of Exhaustive Whole-Body Vibration Exercise in Man[J]. Clinical Physiology, 2000, 20(2): 134-142.
- [10] 任满迎,闫琪,刘颖.不同频率全身振动刺激对运动员下肢肌群力量训练效果的对比研究[J].体育科学,2008,28(12):39-43,68.
- [11] 罗炯.自行车骑行过程中频率及生理节律对下肢肌电的影响研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2010,35(1):192-196.
- [12] 李玉章.表面肌电在体育中的应用[M].上海:复旦大学出版社,2015.
- [13] 曲峰.运动员表面肌电信号与分形[M].北京:北京体育大学出版社,2008.
- [14] 武丽平.不同负重杠铃下蹲对纵跳成绩的短时影响[D].西安:西安体育学院,2014.
- [15] 李玉章.不同振动模式中小腿肌肉的诱发激活特征比较研究[J].天津体育学院学报,2010,25(4):336-339.
- [16] 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.
- [17] 袁艳,吴贻刚,苏彦炬,等.振动频率和负荷重量对半蹲起大腿肌群表面肌电活动的影响[J].体育科学,2012,32(10):64-68,97.
- [18] MESTER J, SPITZENFEIL P, SCHWARZER J, et al. Biological Reaction to Vibration-Implications for Sport[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 1999, 2(23): 211-226.
- [19] 赵丙军.国外力量训练研究知识网络的结构及演化特征[D].上海:上海体育学院,2013.
- [20] COCHRANE D J. The Acute Effect of Direct Vibration on Muscular Power Performance in Master Athletes[J]. International Journal of Sports Medicine, 2016, 37(2): 144-148.

- [21] CARDINALE M, BOSCO C. The Use of Vibration as an Exercise Intervention[J]. Exercise and Sport Sciences Reviews, 2003, 31(1): 3—7.
- [22] 宋佩成, 李玉章. 振动训练法研究进展 [J]. 体育科研, 2010, 31(2): 78—82.
- [23] 徐国龙. 两种振动训练形式与传统抗阻训练对下肢爆发力影响的比较研究 [D]. 北京: 北京体育大学, 2014.
- [24] 王宝成. 起跳过程肌肉工作特点探讨 [J]. 西安体育学院学报, 1987(1): 24—27.
- [25] 袁 艳. 负重振动力量训练的神经肌肉适应特征及其机制研究 [D]. 上海: 上海体育学院, 2013.
- [26] MARTIN B J, PARK H S. Analysis of the Tonic Vibration Reflex: Influence of Vibration Variables on Motor Unit Synchronization and Fatigue [J]. European Journal of Applied Physiology, 1997, 75(6): 504—511.
- [27] 张园园, 潘化平, 许光旭, 等. 不同振动条件下的正常人体下肢肌肉表面肌电分析 [J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(12): 1093—1096, 1145.
- [28] 冉 彬, 刘 斌. 核心力量训练对体育高考生身体素质项目成绩的影响研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(4): 146—150.

On Immediate Effect and Mechanism of Lower Limb Explosive Force After Half Squat Heel Exercises Stimulated by Load and/or Vibration

LI Ying-ying^{1,2}, PENG Li¹

1. School of Sports Science and Physical Education, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Southwest University Hospital, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to analyze the effect and mechanism of half-squat heel exercises under different stimulation on lower limb explosive force, 8 subjects have been studied with training experience experienced half-squat heel exercises under non-load and non-vibration, vibration of 50Hz frequency, 45% 1RM load, 45% 1RM load plus 50Hz vibration respectively. 3 minutes of training were performed in each group. The height of the vertical jump was significantly increased in stimulated groups, especially under the stimulation of load plus vibration ($p < 0.05$ or $p < 0.01$). The EMGrms value of the lower limb muscle was significantly increased except for the tendons and tibial anterior muscles ($p < 0.05$ or $p < 0.01$). There was no significant difference in the vertical jump height among load, vibration and load plus vibration group, and no significant difference in EMGrms(except half tendons) of the lower extremities with load and vibration group. The electromyographic value of EMGrms was significantly increased in loading plus vibration group. The effect of load plus vibration stimulation on strength of active muscle is significant, but it has no advantage on resistance muscle.

Key words: whole body vibration; half squat heel; lower extremity explosive force; short-term effects; surface electromyography

责任编辑 胡 杨 崔玉洁