



振动训练法研究进展

宋佩成, 李玉章

摘要: 全身振动训练法作为一种新兴的训练手段, 在国外众多领域得到广泛开展, 国内也开始了初步的运用与研究。本文以文献研究为主, 通过对国内外在振动训练作用效果及其影响因素等进行总结、归纳, 以期为今后实施研究和运用振动训练提供参考。

关键词: 全身振动训练; 研究进展; 综述

中图分类号: G808.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2010)02-0078-05

Study on Vibration Training Method

SONG Pei-cheng, LI Yu-zhang

(Shanghai Institute of P.E., Shanghai 200438, China)

Abstract: Whole body vibration training method, as a new means of training, has been developed widely in many fields in foreign countries. Preliminary application and study are being carried out in China. Based mainly on literature study, the article sums up the effects and the relative factors of the vibration training at home and abroad so as to provide reference for vibration training study and application in future.

Key words: whole body vibration training method; study development; overview

全身振动训练法作为一种新兴的肌肉力量训练方法, 提高中枢神经系统之间的协调性发展, 使屈伸肌的最大力量、爆发力和协调性、柔韧性等得到同时协调地发展, 在国外众多领域得到广泛开展, 例如: 在竞技体育、整形外科、康复治疗等领域。本文以文献资料研究为主, 收集了与全身振动训练理论及其训练效果相关的 7 个方面内容, 从积极性效果和否定效果正反两方面展开讨论, 为科学认识和正确运用振动训练法提供理论指导和实践参考。

1 研究方法

本文主要采用文献资料法, 利用学院图书馆电子资源数据库和国际电子资源数据库, 如: CNKI、Pubmed 等网络电子期刊和 Internet 网络工具, 以 Vibration Training、whole body vibration、全身振动训练等为检索词, 检索了 100 余篇相关文献, 以及参阅了 SRT、POWER PLATER 等仪器的使用操作手册。

2 结果与讨论

2.1 振动训练的概念及分类

2.1.1 振动训练的概念

全身振动 (Whole-Body Vibration Training, WBVT) 是用作描述在振动平台上执行练习的术语。全身振动训练 (WBVT) 是通过一种放置于地面上的专门振动台 (可供双脚或单脚站立、双手支撑或坐姿) 的振动, 使其产生的冲击性振动刺激通过肢体传递到肌群上, 进而提高主动肌的激活程度并增加了高阈值运动单位的活性, 引起参与运动单位以高频率放电, 而达到神经肌肉系统兴奋性提高的训练效果。

最初的振动训练法形式简单, 由俄罗斯的体操教练员 Nasarov 与科学家 Spivak 于 1987 年首次将振动式的刺激和阻

力训练结合应用到体操运动员, 结果发现可明显增加肌力和伸展性^[1], 于是将这种训练方式称为振动式训练或振动练习 (Vibration Training or Vibration Exercises)^[2]。此后的大多数相关研究聚焦在由振动引起的肌梭激活作用 (Bongiovanni, et al. 1990; de Gail, et al. 1966; Marsden, et al. 1969) 和肌肉性能改变 (Bosco, et al. 1998a; Bosco, et al. 1998b; Bosco, et al. 2000; Torvinen, et al. 2002a; Torvinen, et al. 2002b; Torvinen, et al. 2003; Delecluse, et al. 2003; Roelants, et al. 2004a; Roelants, et al. 2004b; Verschueren, et al. 2004)。

2.1.2 振动训练的分类

振动训练依据实施方法的不同可分为以下两种:

直接刺激法: 在实施时, 将振动器直接放置在肌腹或肌腱的位置上, 而振动器的固定方式则是通过手握或是橡皮带的固定。早在 20 世纪 60 年代, 便有学者利用一种小型圆桶状的振动器 (vibrator), 放置于肌腹或肌腱上以诱发身体的张力性振动反射^[3], 例如: Hagbarth 与 Eklund (1966) 对偏瘫患者进行振动刺激, 发现振动刺激能激活肌肉的本体感受器, 反射性地引起不随意收缩的肌肉产生收缩, 电生理学上把这种反射定义为强直振动反射 (Tonic vibration reflex, TVR)。目前, 市场上的很多消除疲劳的振动产品也是以此为原理的。

间接刺激法: 则是将振动器放置在欲训练肌群的远程, 振动波通过身体的传递到达拟训练的肌群上, 例如站在一个上下振动的平台上做蹲姿动作, 这种全身式的振动训练对股四头肌来说就是一种间接训练。这种全身性振动训练仪, 是一种放置于地面上, 可供双脚或单脚站立而达到振动全身的振动器。目前各种振动训练器多属此类, 例如: Nemes Bosco system (意大利)、Power-Plate (美国)、Galileo-900/2000 (德国)、Pneu-Vibe Pro, 等等。但是, 这些

收稿日期: 2010-01-22

基金项目: 上海市教委重点资助项目 (061Z001), 上海市教委重点学科建设资助项目 (J51001)

第一作者简介: 宋佩成, 男, 讲师, 硕士。主要研究方向: 运动训练学。

作者单位: 1. 上海体育学院体育教育训练学院, 上海 200438



产品的振动模式均以或上下垂直振动或以中间轴为转轴的上下摆动式的单维振动产品,即以规则的正弦波式振动方式。2004年出现了以三维任意随机组合振动的器械SRT产品(德国),打破了以往的垂直正弦波振动模式^[4]。

2.2 振动训练的生理学基础

研究表明:振动刺激作为一种外界刺激,能激活肌梭特别是初级Ia传入纤维的兴奋性,反射性地引起梭外肌纤维收缩。在肌肉主动收缩的前提下,可以最大限度地募集运动单位参与活动。从运动单位募集的形式上分析,肌肉随意活动中,首先动员小的、传导慢但易兴奋的小 α -运动神经元,然后是大的 α -运动神经元参与活动,即在肌肉随意运动过程中首先募集I型肌纤维,逐渐活化II型肌纤维。而振动刺激诱发肌肉收缩在运动过程中,能够同时激活I和II型肌纤维。振动刺激产生的强直张力反射,其主要调节方式是通过单突触闭合传导途径,同时也产生一些少量的多突触非闭合传导途径^[5、6]。

根据运动单位募集的体积原则(尺寸原理, Size):在肌肉随意运动中,细胞体小的运动单位(慢收缩单位)将首先募集,而细胞体较大的运动单位(快收缩单位)在募集过程中排在最后。肌肉募集通常不是由速度而是由所需力量决定的。在特定负荷进行肌肉活动过程中,运动单位的募集由小到大,肌纤维的动员由慢缩型到快缩型,这便形成了肌肉收缩力量的梯度现象。机械性振动刺激作为一种外加刺激,使肌肉募集的方式发生改变,但并不是使肌肉的募集顺序发生改变。由于振动刺激频率使神经发放冲动频率和强度增大、皮肤感觉传入冲动以及振动对耳前庭机械感受器和神经中枢机制等综合因素的影响,在运动过程中高阈值的运动单位与低阈值的运动单位几乎同时激活。在募集更多的运动单位参与活动、改善肌肉协调性的前提下,提高了对II型肌纤维的训练效果,进而导致快肌纤维百分比提高,增加了肌肉的爆发力。同时,附加振动刺激使神经冲动的数量和同步性增强,使肌肉收缩的运动单位数量增加而且改善了肌肉的协调性,增强了肌肉力量训练的效果,并且对肌肉进行下一次收缩产生良好的作用^[7、8]。

2.3 振动训练的应用及其作用效果

3.3.1 力量和快速力量反应(Strength and Power responses)

在力量训练中如何有效地提高肌肉力量并且避免运动损伤的产生,一直是广大教练员和科研人员关注的问题。许多论文研究了全身振动练习在肌肉力量和快速力量成分中有积极的反应。研究效果主要分为即时效应和结构效应两种。

研究人员观察到在振动频率26 Hz和振幅为4 mm的全身振动10 min后,腿蹬伸的平均压力、速度、快速力量上显著提高,改变了V-F和P-F曲线,发生右移(Bosco, et al. 1998)^[9]。以同样的持续时间、频率和振幅,研究员记录到腿伸肌机械功和纵跳成绩的显著增加(Bosco, et al. 2000)^[10]。Issurin V B (1994)对28名男性受试进行不同目标肌群的针对性振动训练(44 Hz, 3 mm, 3次/周, 3周),结果表明振动训练刺激肌群等张最大力量增加49.8%,腿劈叉的伸展性提高14.5 cm^[11]。Torvinen (2002)发现以振动频率为20~30 Hz、振幅为10 mm的持续4 min的

全身振动后下肢等长伸展力量和纵跳高度增加^[12]。

在持续较长周期的振动效果研究中发现了更多的积极反应。例如:以频率为26 Hz、振幅为10 mm的10天全身振动训练后,表现出功率输出和纵跳高度的提高,研究人员也发现5 s连续纵跳的高度显著增加(Bosco, et al. 1998)^[13]。Torvinen等(2002)^[14]将56名受试者(年龄:19~38岁)随机分成振动训练组与控制组,振动训练组须进行为期16周的全身振动训练(WBV)(振幅:2 mm;频率:25 Hz/60 s + 30 Hz/60 s + 35 Hz/60 s + 40 Hz/60 s;每次4组60 s;每周训练3~5次),结果发现在第8周时,振动训练组明显地提升了CMJ与膝伸肌最大等长肌力成绩,到了第16周时振动训练组只明显提升CMJ的运动成绩,但是在第8周与第16周时,振动训练的介入并不会改变受试者的握力、30 m折返跑成绩以及平衡能力。研究者也进行了以频率为25~45 Hz、振幅为2 mm的全身振动训练8个月的训练后,显著的增加了纵跳高度(Torvinen, et al. 2003)^[15]。Delecluse等(2003)^[16]将67名未受过训练的女性(年龄:21.4 ± 1.8岁)随机分成4组,包括重量训练组(训练强度:10~20 RM;训练动作:下肢蹬伸与伸膝训练;每次2组;每周3次)、振动训练组(振幅:2.5~5 mm;频率:35~40 Hz;每次3组;每周3次)、安慰剂组(同振动训练组,但振幅为0)以及控制组(不接受任何训练),在12周的训练后发现,振动训练组和抗阻训练组膝伸肌等长和动态肌力增加显著分别为:WBV(16.6 ± 10.8%, 9.0 ± 3.2%)、RES(14.4 ± 5.3%, 7.0 ± 6.2%)。CMJ成绩仅WBV组增加显著(7.6 ± 4.3%),但是并未能促进膝关节的最大动作速度,而此效果与传统的重量训练相似;除此之外,该研究也证实了振动训练所引起的力量增长,并非安慰剂的影响。Roelants^[17](2004)等的研究是以频率为35~45 Hz、振幅为2.5~5 mm的全身振动训练24周,发现等长和动态膝关节伸展力量显著增加(15.0 ± 2.1%、16.1 ± 3.1%)、腿伸展动作的速度(7.4 ± 1.8%)和反向跳成绩(19.4 ± 2.8%)显著增加。同时,也比较了在0、50、100、150°/s的不同速度等动测试的肌力增长情况,结果表明振动训练组较传统训练组增长显著,分别为24.4 ± 5.1%; 5.9 ± 2.1%; 8.3 ± 4.4%; 7.6 ± 1.5%。Verschuereen (2004)^[18]以频率35~40 Hz、振幅为1.7~2.5 mm的全身振动训练6个月后膝伸肌静态和动态力量均显著增加。Giorgos P^[19]对24名(M:12, F:12)短跑运动员进行6周(16~30 min/d, 3 times/week)振动训练(振幅2.5 mm, 加速度2.28 g),测试了实验前后60 m成绩、跑速、步长、步频、CMJ和30CVJT分别增加为:2.7%、3.6%、5.1%、3.4%、3.3%、7.8%,结论指出6周的振动训练有效地改变了短跑运动员的技术和爆发力。

从这些研究结果可看出, WBV在力量和快速力量成绩方面有积极的效果。然而,也有来自WBV练习在力量和快速力量方面的否定结果。研究者发现在4 min的WBV中成绩没有显著性改变(Torvinen, et al. 2002),且彻底的全身振动训练引起跳跃高度和膝伸展力矩的显著减少(Rittweger, et al. 2000)^[20],这些减少可能是由于耗竭引起的疲劳。de Ruiter^[21]进行了11周的研究,以10名健康受试者进行频率为30 Hz、振幅为8 mm的全身振动训练(3次/周, 5~8组/次, 1 min持续),结果表明静态的股四头肌等动力量[105.4(6.2)%, 99.9(2.0)%;



$P=0.69$]、随意激活[107.1(6.0)%, 101.1(2.3)%; $P=0.55$]、力量增长率[95.4(6.0)%, 103.3(7.7)%; $P=0.57$]和CMJ高度[103.7(1.8)%, 103.0(2.8)%; $P=0.71$]上没有改变, 结论指出11周的振动刺激不会改善健康成人的膝关节伸肌功能。Delecluse C (2005)^[22]对20名(13♂, 7♀, 17~30岁)短跑运动员分组进行了持续5周的振动训练, 所有选手延续他(她)们的传统训练, 试验组每周追加3次无负荷静态和动态的腿部振动训练(35~40 Hz, 1.7~2.5 mm, Power Plate), 采用Rev 9000测试了下肢静态和动态的肌力变化特征, 表明振动刺激没有改变其膝伸肌和屈肌等长和动态的肌力以及膝伸展的速度; 采用测力板和激光测速仪对起跑速度、加速度和时间进行了测量, 也没有差异, 结论指出这种附加在传统力量训练之上的振动训练对短跑运动员改变快速力量成绩没有效果。

尽管部分研究显示WBV可能引起力量和快速力量方面的负面反应, 但肯定的结果更为普遍。消极的结果可能是由于低等的研究设计或疲劳所引起的。Luo等(2005)^[21]认为长时间振动运动引起肌肉更加疲劳的原因可能有二, 其一为振动运动会促进运动初期肌肉收缩的力量与活性, 另一则是振动运动会抑制运动单位的募集, 而降低神经肌肉的运动表现。

2.3.2 神经肌肉活性 (neuromuscular activity)

Cormie P (2006)^[23]研究了单一回合(30 s)的全身振动对半蹲等张和反向跳的影响, 测试了实验前和实验后即刻、5、15、30 min的最大力、最大功率以及股内、股外和股二头肌的平均积分肌电, 结果表明只有CMJ的高度显著增加, 而其他指标没有显著性变化。Rittweger J^[24]对19名健康人进行半蹲练习的振动试验, 探讨了对神经肌肉功能的急性效果, 测试了30 s最大连续跳、70%最大伸展力矩的等动伸膝过程中的肌电图、腱反射等, 结果发现振动组的达到力竭所用时间要比非振动组快($V:349 \pm 338$ s; $NV:515 \pm 338$ s), 但是血乳酸的值要高($V:5.49 \pm 2.73$ mmol/L; $NV:5.00 \pm 2.26$ mmol/L), 腱反射的振幅明显增大($V:4.34 \pm 3.63$ Nm; $NV:1.68 \pm 1.32$ Nm), 结论指出26Hz的振动引起了神经肌肉募集模式的改变, 明显地提高了神经肌肉的兴奋性。Roelants M (2006)^[25]分析了不同关节角度下无负重等长收缩时振动训练中腿部肌肉活性, 结果表明振动训练组下肢EMGrms显著高于控制训练组, 单腿振动条件高于双腿高姿半蹲和深蹲; 振动条件下的肌肉活性达到12.6~82.4% MVC。Kvorning T (2006)^[26]对28名男青年分组进行了半蹲(S)、半蹲+振动组合(S+V)、振动(V)的比较研究, 方差分析表明: 3组间在肌肉活性方面没有显著性差异; t检验表明S+V组合振动后的MVC显著高于S组; 同时各组的睾酮激素T、生长激素GH显著增加, 但C仅在组合振动中增加。Torvinen S (2002)^[27]研究了单一回合的倾斜式振动对健康成人肌肉性能的影响, 测试了实验前10 min和结束后2 min、60 min的稳定性、握力、下肢等张力、纵跳和起跑等指标, 也研究了比目鱼肌、腓肠肌、股外肌的EMG状态, 结果表明: 振动刺激产生瞬间效应, 跳跃高度提升2.5%、下肢等张力提升3.2%、身体平衡能力15.7%, 其他的状态未呈现统计学差异; 振动中各肌群平均功率频率的减少暗示肌肉出现疲劳, 小腿肌群的EMGrms增加, 说明振动刺激提高了下肢肌肉性能和身体平衡能力。

神经肌肉活性研究的手段主要依靠表面肌电测试, 文献

的结果均表明了振动训练在改善肌肉性能方面的积极作用, 这也提示我们今后如何在运动训练中来更好地设计专门振动训练方案。

2.3.3 柔韧性反应 (Flexibility responses)

Issurin (1994)^[11]对运动员采取附加振动刺激($f=24$ Hz, $H=3$ mm, $a=22$ m·s²)的下肢伸展训练方法, 3周训练结束后, 实验结果显示附加振动刺激的训练组下肢的柔韧性明显增强, 两腿纵向劈伸距离平均增加8.7%, 明显高于对照组2.4%。Lundeberg (1984)^[28]发现振动刺激能影响皮肤感觉痛觉的本体感受器, 如: 环层小体、鲁菲尼小体等活性的改变, 提高了皮肤痛觉的感觉阈, 指出适宜振动刺激作用于肌肉或肌腱时, 刺激当时和停止即刻都产生止痛的作用。Roland Van Den Tillaar (2006)^[29]对12女、7男进行4周(3次/周)的振动训练(屈膝90°, Nemes, 30 seconds × 6 times, 28 Hz, 10 mm), 练习内容包括每条腿5 s的等长收缩3次和随后的30 s的振动练习组成, 结果表明: Hamstrings ROM振动组提高30%, 控制组为14%。

笔者认为柔韧性改善除提高痛觉阈外, 可能主要受肌肉激活, 本体感受器兴奋的影响, 而温度升高、血流加速则并非直接原因。

2.3.4 代谢系统的反应 (Responses of Metabolism System)

Rittweger J等(2002)^[30]指出随着振动运动的频率、振幅与额外负荷的逐渐增加, 每分钟摄氧量也会相对地明显上升, 当单次振动运动的振幅设定在5 mm时, 频率为34 Hz时的每分钟摄氧量(7.76 ml/kg)会明显高于26 Hz(6.41 ml/kg)与18 Hz(5.72 ml/kg); 当频率固定在26 Hz时, 振幅为7.5 mm的每分钟摄氧量(7.26 ml/kg)会明显高于5 mm(4.97 ml/kg)时, 而5 mm的每分钟摄氧量则明显高于2.5 mm(4.17 ml/kg)时; 除此之外, 当振幅(5 mm)与频率(34 Hz与18 Hz)固定, 并使用额外的负荷(40%去脂体重)于肩部与腰部时, 额外负荷于肩部的每分钟摄氧量会明显高于将负荷置于腰部和无负荷时, 而负荷置于腰部时的每分钟摄氧量也明显高于无负荷时。由此可见, 振动运动的频率与振幅确实是判定其运动强度的指标。

在血液动力学变化方面, Yamada (2001)^[31]等研究发现, 振动训练后血乳酸和肌酸激酶的浓度增加, 且与一次短时间超等长收缩后产生的肌酸激酶浓度一致。还指出在振动训练过程中发生了超等长收缩, 且振动频率和振幅决定了振动刺激的强度。K. Kersch-Schind^[32]采用20名健康的受试者双脚站立在Galileo2000振动仪上, 接受9 min, 26 Hz(振幅3 mm)的振动刺激后, 采用多普勒超声仪测定股四头肌和腓肠肌的平均血流速度从6.5增加到13.0 cm/s, 呈显著性增加; 同时没有出现外周组织损伤。笔者认为主要是增加了血液的粘度和通过动脉的速度。

体成分方面, M.Roelants^[17]采用48名未经训练的女性进行24周训练的比较研究, 随机分成3组, 结果表明: 振动组(35~40 Hz, 2.5~5.0 mm; Power Plate)脂肪释放量明显增加(+2.2%)。

激素反应方面, Bosco等(1999)^[13]对手球运动员进行重复10次的持续1 min的振动测试, 结果表明: T(+7%, $p<0.03$)、GH(+460%, $p<0.014$)、C(↓)、VJ能



力显著增加。同样,有研究指出一个急性练习周期后荷尔蒙和血清睾酮显著增加(Weiss et al. 1983; Hakkinen and Pakarinen, 1985; Bosco et al. 2000)。Loreto等(2004)^[33]对10名健康男性研究表明:振动(30 Hz)减少了血浆葡萄糖水平(30 min 振动组: 4.59 ± 0.21 mM; 控制组: 4.74 ± 0.22 mM, $p=0.049$),增加了血浆去甲肾上腺素浓度(60 min 振动组: 1.29 ± 0.18 ; 控制组: 1.01 ± 0.07 mM, $p=0.038$),但没有改变其他激素浓度。Di Loreto C等(2004)^[34]对10名健康男性研究表明:振动(30 Hz)减少了血浆葡萄糖水平(30 min: vibration 4.59 ± 0.21 , control 4.74 ± 0.22 mM, $p=0.049$),增加了血浆去甲肾上腺素浓度(60 min: vibration 1.29 ± 0.18 , control 1.01 ± 0.07 nM, $p=0.038$),但是没有改变其他激素浓度。

2.3.5 平衡能力 (Balance Performance)

全身振动训练中几乎全身的感受器都能够接受到振动负荷的刺激,同时激活更多的运动单位,研究表明可以有效的提高人体的平衡和协调能力。Van Nes IJ^[35]对23名慢性中风患者采用短期的振动刺激(30 Hz, 3 mm)实验,观察了他们对姿势控制能力的变化情况,结果表明不论是闭眼的控制能力,还是动作速度的平衡控制能力都显著提高,结论也指出该方法是一种改善本体感受控制能力的很好手段。Torvinen S^[27]以56人(M:21, F:35, 19~38岁)进行了长达4个月(4 min/d, 3~5 times/week)的跟踪研究,结果表明:提高了纵跳功率,指出神经肌肉对振动刺激的适应;同时,也指出垂直振动刺激没有影响成年人对动平衡、静平衡的调节。

2.3.6 康复医疗领域 (Rehabilitation / Physical Therapy)

振动训练在国外康复领域也作为防治女性骨质疏松和老年妇女跌倒骨折风险的有效手段。Flieger(1998)^[42]报道了应用振动形式的机械刺激能有效预防和治疗术后骨盐丢失,进而有效预防老年性骨质疏松症;Verschueren等(2004)^[36]对70名绝经后妇女进行随机分组试验,发现振动训练明显的增加了髋关节的骨密度(BMD of the hip)约0.93%,而重量训练组和控制组没有明显变化,反而略下降(-0.60%, -0.62%)。而Russo等(2003)^[37]对29名妇女进行6个月的研究指出振动训练对胫骨的骨密度无显著影响。Torvinen S^[38]设计了新的振动程序,采用提升式模式,即频率从25~45 Hz、加速度从2~8 g、4 min/d、3~5 times/week;骨密度测试采用胫骨的PQCT;DXA测试了脊椎、大转子、跟骨的骨矿含量等;结果显示8个月的训练中只提高了纵跳成绩(7.8%↑),并没有改变健康成年人的骨密度、骨矿和身体结构等。在奥地利格拉茨大学对ACL康复患者进行每周2次,共5周的振动训练后,发现控制组提高78.1%,振动实验组提高126.7%^[39]。Garland SJ^[40]对轻度中风者进行了4周的纵向研究,结果发现直立平衡(standing balance)和活动性功能(functional mobility)得到提高。Bruyere O^[41]对中老年妇女进行振动加理疗的6周试验,结果振动组提高 2.4 ± 2.3 。

3 问题与展望

由此可见,在某种意义上讲,这些知识将揭示这些效果建立的潜在机制,这在人类运动系统知识方面还是一个重

要的缺口。特别是近年来振动训练已经被自然科学界和运动实践界所重视。同时,全身振动训练法作为竞技运动中一种外加振动刺激的力量训练方法,体现在以相对较小的负荷量来动员更多的肌纤维参与工作,使肌肉收缩力量得到明显的提高。但目前国内在运用振动刺激进行力量训练的经验尚不足,科学、成熟的训练方案有待商榷,特别是最佳的训练强度、振动频率和振幅等。这些方面需要广大科研工作者进行进一步研究和探讨,在理论和实践中形成一套科学完整的有效振动力量训练体系。

参考文献:

- [1] vibration training mechanisms and possible mechanisms relating to structural adaptations and acute effects [EB/OL]. <http://ADMOTION.NL,2002,4>.
- [2] Luo, J., McNamara, B., and Moran, K. (2005). The use of vibration training to enhance muscle strength and power[J]. *Sports Med*, 35(1): 23-41.
- [3] Jin Luo, Brian P. McNamara, et al. (2005). A portable vibrator for muscle performance enhancement by means of direct muscle tendon stimulation[J]. *Medical Engineering & Physics*, 27:513-522.
- [4] 李玉章. 多方向振动训练的神经肌肉支配模式及其训练学意义[D]. 上海:上海体育学院博士学位论文, 2007:16.
- [5] Cardinale, M. and Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention[J]. *Exerc Sport Sci Review*, 31(1): 3-7.
- [6] 彭春政, 危小焰. 振动刺激与肌肉力量[J]. *中国运动医学杂志*, 2004, 23(6): 708-710, 691.
- [7] 彭春政, 危小焰, 张晓韵. 振动力量训练的机制和作用效果的研究进展[J]. *上海体育学院学报*, 2002, 19(3): 45-48.
- [8] 彭春政. 一种肌肉力量训练的新方法—交变负荷法[D]. 上海:上海体育学院硕士论文, 2002.
- [9] BOSCO C, CARDINALE M, COLLI O, et al. (1998). The influence of whole body vibration on jumping performance[J]. *Biol Sport*, 15:157-164.
- [10] BOSCO C, LACOVELLI M, TSARPELA O. (2000). Hormonal Responses to Whole-Body Vibration in Men[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 81(6):449-454.
- [11] Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility [J]. *J Sports Sci*, 12(6):561-566.
- [12] TORVINEN S, SIEVANEN H, JARVINEN TA, et al. (2002). Effect of 4-min vertical whole body vibration on muscle performance and body balance: a randomized cross-over study[J]. *Int J Sports Med*, 23(5):374-379.
- [13] BOSCO C, COLLI R, INTROINI E., et al. (1998). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure [J]. *Clinical Physiology*, 19(2):183-187.
- [14] Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, et al. (2002). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 34(9): 1523-1528.
- [15] Torvinen S, Kannus P, Sievanen H. (2003). Effect of 8-month



- vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study[J]. *J Bone Miner Res*, May;18(5):876-84.
- [16] DELECLUSE C., M. ROELANTS, S. (2003). VERSCHUEREN. Strength Increase after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training [J]. *Medicine&Science in Sports &Exercise*, [17] 35(6):1033-1041.
- ROELANTS M, DELECLUSE C, GORIS M, et al. (2004). Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females[J]. *Int [18] Journal Sports Med*, 25(1):1-5.
- VIBRATION TRAINING Mechanisms and possible mechanisms relating to structural adaptations and acute effects[EB/OL]. [19] HTTP://WWW.ADMOTION.NL,2002.
- GIORGOS PARADISIS, ELIAS ZACHAROGIANNIS. (2007). Effects of whole-body vibration training on sprint running kinematics and explosive strength performance[J]. *Journal of [20] Sports Science and Medicine*, (6):44-49.
- RITTWEGER, J., G. BELLER, D.FELSENBERG. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man[J]. *Clinical Physiology*, 20(2):134-142.
- [21] de Ruitter CJ, Van Raak SM, Schilperoort JV, et al. (2003). Hollander AP, de Haan A. The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors[J]. *Eur J Appl Physiol*, 90 [22] (5-6):595-600.
- Delecluse C, Roelants M, Diels R. (2005). Effects of whole body vibration training on muscle strength and sprint performance in [23] sprint-trained athletes[J]. *Int J Sports Med*, 26(8):662-668
- Cormie P, Deane RS, Triplett NT. (2006). Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power [24] [J]. *J Strength Cond Res* May, 20(2):257-61.
- Rittweger J, Mutschelknauss M, Felsenberg D. (2003). Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting [25] exercise[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 23(6): 81-86.
- Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C. (2006). Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises[J]. *J Strength Cond Res*, 20(1):124-9.
- [26] Kvorning T, Bagger M, Caserotti P. (2006). Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal [27] measures[J]. *Eur J Appl Physiol*, 96(5):615-625.
- Torvinen S, Kannu P, Sievanen H, et al. (2002). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, [28] Mar;22(2):145-52.
- LUNDEBERG T, NORDEMAR R, OTTOSON D. (1984). Pain [29] alleviation by vibratory stimulation[J]. *Pain*, 20:25-44.
- ROLAND VAN DEN TILLAAR. (2006). Will Whole Body Vibration Training Help increase the Range of Motion of the Hamstrings? [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, [30] 20(1), 192-196.
- Rittweger J, Ehrig J, Just K, et al. (2002). Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, [31] amplitude, and external load[J]. *Int J Sports Med*, 23:428-32.
- Yamada, E., Kusaka, T., Miyamoto, K., et al. (2005). Vastus lateralis oxygenation and blood volume measured by near-infrared spectroscopy during whole body vibration[J]. *Clin Physiol [32] Funct Imaging*, 25(4): 203-208.
- KERSCHAN-SHINDL K, GRAMPP S, HENK C, et al. (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle [33] blood volume[J]. *Clinical Physiology*, 21:377-382.
- DI LORETO C, RANCHELLI A, LUCIDI P, et al. (2004). Effects of whole-body vibration exercise on the endocrine system of healthy men[J]. *Journal of Endocrinological [34] Investigation*, 27(4):323-327.
- DI LORETO C, RANCHELLI A, LUCIDI P, et al. (2004). Effects of whole-body vibration exercise on the endocrine system of healthy men[J]. *Journal of Endocrinological [35] Investigation*, 27(4):323-327.
- VAN NES IJ, Geurts ACH, Hendricks HT, et al. (2004). Short-term effects of whole body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence[J]. *Am [36] J Phys Med Rehabil*, 83(11): 867-873.
- Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, et al. (2004). Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study[J]. *J Bone Miner Res*, 19: [37] 352-359.
- Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, et al. (2003). High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 84:1854-1857.
- Torvinen S, Kannus P, Sievanen H. (2003). Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study[J]. *J Bone [39] Miner Res*, 18(5):876-84.
- VAN NES IJ, Geurts ACH, Hendricks HT, et al. (2004). Short-term effects of whole body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence[J]. *Am [40] J Phys Med Rehabil*, 83(11): 867-873.
- Garland SJ, Willems DA, Ivanova TD, et al. (2003). Recovery of standing balance and functional mobility after stroke[J]. *Arch [41] Phys Med Rehabil*, 84(12):1753-1759.
- Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richey F, Reginster JY. (2005). Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 86 (2): 303-307.
- [42] J. Flieger, Th. Karachalios, L. (1998). Khaldi. Mechanical Stimulation in the Form of Vibration Prevents Postmenopausal Bone Loss in Ovariectomized Rats[J]. *Calcif Tissue Int*, 63:510-515.

(责任编辑: 何聪)