

文章编号:1004-7220(2011)04-0329-06

## 太极拳结合振动复合式训练对外围神经反射活动的影响

刘 强<sup>1</sup>, 杨贵羽<sup>1,2</sup>, 陈婉菁<sup>1</sup>, 相子元<sup>3</sup>, 庄荣仁<sup>2</sup>

(1. 台北市立体育学院,台北 11100; 2. 中国文化大学,台北 11100; 3. 台湾师范大学,台北 11100)

**摘要:**目的 探讨8周的太极拳结合振动复合式训练对 $\alpha$ 运动神经元终池及 $\gamma$ 反射弧兴奋性的影响。方法 55位健康大学生分为4组:太极振动组(TAV)、太极拳组(TAI)、振动组(VB)以及无太极或振动介入的对照组(CON),进行为期8周、每周3次训练;训练前后以电刺激诱发比目鱼肌H-reflex与M-wave信号,并以反射槌敲击Achilles tendon测量T-reflex信号。结果 经8周单纯振动训练后, $H_{\max}/M_{\max}$ 与 $T\text{-reflex}/M_{\max}$ 出现显著下降( $P < 0.05$ ),8周太极振动组 $T\text{-reflex}/M_{\max}$ 显著提高( $P < 0.05$ ),且其变化率显著大于振动组( $P < 0.05$ )。结论 虽然单纯振动刺激可降低安静时 $\alpha$ 运动神经元终池兴奋性,但太极振动复合式训练对肌梭刺激较大,从而提高 $\gamma$ 反射弧兴奋性;太极拳结合振动的复合式训练能对下肢外围神经产生适应性,显示结合太极拳与振动刺激两种训练具有可行性。

**关键词:** 神经适应性; 反射活动; 太极拳; 振动; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

## Effects of Tai Chi Chuan combined with vibration training on the reflex activity of peripheral neuron

LIU Chiang<sup>1</sup>, YANG Kuei-yu<sup>1,2</sup>, CHEN Wan-chin<sup>1</sup>, SHIANG Tzzy-yuang<sup>3</sup>, CHUANG Long-ren<sup>2</sup> (1. Taipei Physical Education College, Taipei 11100, China; 2. Chinese Culture University, Taipei 11100, China; 3. National Taiwan Normal University, Taipei 11100, China)

**Abstract: Objective** To investigate the effects of Tai Chi Chuan combined with vibration training on the excitability of  $\alpha$ -motorneuron pool and  $\gamma$ -reflex arc. **Methods** 55 healthy college students were divided into Tai Chi Chuan + vibration training (TAV) group, Tai Chi Chuan training (TAI) group, vibration training (VB) group, and control group (CON) for 8 weeks with 3 times training per week. Each time at pre-and post-training, H-reflex and M-wave were recorded by electrical stimulus induced on soleus muscle. T-reflex was also collected by knocking on the Achill tendon. **Results** After 8-week training, the ratios of  $H_{\max}/M_{\max}$  and  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  in VB group were significantly decreased ( $P < 0.05$ ), while the ratio of  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  in TAV group was significantly increased ( $P < 0.05$ ), and the change percentage of  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  was significantly higher than that in VB group ( $P < 0.05$ ). **Conclusions** Although the vibration training could decrease the resting excitability of  $\alpha$ -motorneuron pool, the Tai Chi Chuan combined with vibration training could give the muscle spindle stronger excitement so as to further induce the high excitability of  $\gamma$ -reflex arc. It indicated that the Tai Chi Chuan combined with vibration training is feasible since the neural adaptation around peripheral neuron system could be induced after such kind of training. **Key words:** Neural adaptation; Reflex activity; Tai Chi Chuan; Vibrations; Biomechanics

收稿日期:2011-04-13; 修回日期:2011-05-06

基金项目:行政院国家科学委员会产学合作计划(编号 NSC 98-2622-B-154-001-CC2)。

通讯作者:庄荣仁,E-mail: allen@faculty.pccu.edu.tw。

太极拳是一种融合民族文化与养生健身的运动项目,其内容丰富、动作优雅缓慢、老少皆宜,不仅是合乎生理规律具有医疗保健作用的传统体育活动,而且能显示东方文化的深奥精髓。过去研究已证实,太极拳能改善与平衡能力有关的前庭系统<sup>[1]</sup>,提高老年人膝关节伸肌力量与增加氧摄入量<sup>[2-3]</sup>、心肺功能<sup>[4]</sup>、柔软度<sup>[5]</sup>、平衡力<sup>[6]</sup>,亦可降低血压<sup>[7]</sup>。由于太极拳需配合气功导引、呼吸吐纳与精神专注,使用全身肌群、活动各个关节,并需反复重新定位肢体在空间中的相对位置,所以长期或短期的太极拳训练能促进膝关节角度复位能力。研究表明,长期太极拳训练可缩短股二头肌与腓肠肌反射反应时间,有较佳的维持姿势的平衡能力<sup>[8]</sup>。然而,太极拳因运动强度略显不足,且对下肢肌肉骨骼系统较无冲击性,导致产生训练效果的时间较长,同时因无法有效地刺激快缩运动单位(fast-twitch motor unit),而达到提高肌肉爆发力的训练要求。

相反地,运动医学正处于良好发展时期;伴随着工程学技术的应用及新仪器设备的研发<sup>[9]</sup>,全身式振动训练(whole body vibration training, WBVT)为现今流行的一项健身训练新方法。过去研究证实,全身振动训练能有效提高肌力与爆发力<sup>[10-11]</sup>、神经肌肉功能<sup>[12]</sup>、运动表现<sup>[13]</sup>、柔软度<sup>[14]</sup>、荷尔蒙分泌<sup>[12]</sup>、血流速度<sup>[15]</sup>等。振动刺激能被动地激发人体肌肉所无法主动达到的收缩频率,进而诱发张力性振动反射(tonic vibration reflex, TVR)<sup>[16]</sup>。这是因为振动刺激会激活肌纤维内的肌梭(muscle spindle),对肌纤维长度变化敏感的肌梭会透过 Ia 感觉神经元,产生强烈的兴奋性信号至脊髓,再透过  $\alpha$  运动神经元传递召集更多运动单位的动作电位,促使肌肉因振动刺激而有较佳的神经肌肉系统上的

效益<sup>[17-18]</sup>。

有别于站桩训练等其他传统武术的生物力学特性<sup>[19]</sup>,太极拳是一项招式富有变化、着重身心结合的养身运动,但运动强度略显不足,冲击性很小,无法达到提高肌肉爆发力的训练目的。相比较之下,全身振动训练强度较大,能诱发肌肉反射性收缩,提高肌力与爆发力,但因全身振动训练是静态半蹲站立于训练平台上,无法提供多样化的运动姿势,可训练肌群有限,容易感到无趣,会降低参与训练的动机。本研究拟结合太极拳与全身振动训练的优点,将两项结合成一种全新的复合式训练,并透过探讨位于脊髓内的  $\alpha$  运动神经元终池兴奋性的  $H$  反射( $H$ -reflex),以及位于肌纤维内的肌梭敏感性的  $T$  反射( $T$ -reflex)等变化情况,了解太极拳结合振动的复合式训练对下肢外围神经(peripheral neural)的影响。因此,本研究目的在于探讨 8 周太极拳结合振动的复合式训练、单纯太极拳训练、单纯振动训练等,对  $\alpha$  运动神经元终池及  $\gamma$  反射弧兴奋性的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验对象

研究初期有 64 位半年内无下肢肌肉神经骨骼伤害的健康大专生参与实验,经性别配对平均分配至太极振动组(Tai Chi and vibration, TAV)(共 16 位,9 男 7 女)、太极拳组(Tai Chi, TAI)(共 16 位,8 男 8 女)、振动组(Vibration, VB)(共 16 位,8 男 8 女)及对照组(control, CON)(共 16 位,8 男 8 女)。但在长达 8 周训练期间,共有 9 位受试者因至少有 1 次无法准时参与训练,而被本研究排除为有效样本,完整参与前后测及 8 周训练课程的有效样本数共计 55 人。基本数据如表 1 所示。

表 1 受试者基本数据( $\bar{x} \pm s$ )

Tab. 1 General description of the subjects

	TAV ( $n=13$ )	TAI ( $n=14$ )	VB ( $n=15$ )	CON ( $n=13$ )
年龄/a	20.54 $\pm$ 1.05	19.86 $\pm$ 1.46	20.67 $\pm$ 1.29	21.15 $\pm$ 1.63
身高/cm	167.54 $\pm$ 6.72	165.29 $\pm$ 12.28	168.63 $\pm$ 10.65	169.46 $\pm$ 8.36
体重/kg	62.95 $\pm$ 11.36	1.48 $\pm$ 9.56	5.41 $\pm$ 10.18	61.08 $\pm$ 7.78

### 1.2 训练方法

太极振动组与太极拳组受试者均接受相同的 8

周太极拳训练,训练内容见表 2。训练内容包括太极拳基本桩式、单招与动作组合。第 1、2、8 周为桩

式,3~4周为单招,5~7周为动作组合。过去研究发现,太极拳原地单招及组合动作练习与套路练习的运动强度无差异,故能以单招及组合的练习方式取代套路的练习模式<sup>[20]</sup>。太极拳组于一般场地进行训练;太极振动组则站立于由期美科技股份有限公司依据太极动作范围所特制的太极振动训练机台<sup>[21]</sup>,给予频率32 Hz、振幅1 mm的振动刺激;此振动刺激能显著降低 $\alpha$ 运动神经元终池的兴奋性<sup>[22]</sup>,并且提升肌力<sup>[23]</sup>。每次训练过程依据渐进训练原则,分为3个阶段,第1阶段(第1~3周)训练1 min,第2阶段(第4~6周)训练2 min,第3阶段(第7~8周)训练3 min,每次训练间皆休息1 min(见表3)。

振动组受试者站立于期美公司所制作的全身振动平台(ZenTM TVR-690),给予与太极震动组相同频率32 Hz、振幅1 mm的振动刺激,动作采用无负重动态半蹲动作(屈膝90°~150°)。过去研究发现,动态半蹲动作的肌肉活化量会显著大于静态半蹲动作,且在振动训练中能增加更多的EMG活化量。动作速度为0.5 Hz,并使用节拍器控制1 s上、1 s下为1个半蹲动作,每次训练过程依据渐进训练原则,每次训练组数为第1~2周训练4组,第3~5周训练5组,第6~8周训练6组,每1组振动时间为60 s,组间休息1 min,每周3次、为期8周。对照组则实验期间不接受任何运动训练。

表2 8周太极拳训练内容

Tab.2 Content of 8-week Tai Chi Chuan training

	时间/周							
	1	2	3	4	5	6	7	8
第1次	无极势	白鹤亮翅	十字手	搂膝拗步	四式	五式	六式	无极势
第2次	骑马蹲裆	搂膝拗步	云手	揽雀尾	四式	五式	六式	骑马蹲裆
第3次	提手上式	金鸡独立	金鸡独立	揽雀尾	四式	五式	六式	提手上式

注:四式分别为提手上式、搂膝拗步、白鹤亮翅、揽雀尾;五式分别为提手上式、搂膝拗步、白鹤亮翅、揽雀尾、云手;六式分别为提手上式、搂膝拗步、白鹤亮翅、揽雀尾、云手、金鸡独立

表3 各组训练参数

Tab.3 Training parameters of each group

	TAV	TAI	VB	CON
站立平台	太极振动训练机台	一般地面	全身振动平台	-
振动频率/Hz	32	-	32	-
振动幅度/mm	1	-	1	-
G值	4		4	
训练时间/min	(1 → 1 → 1 → 2 → 2 → 2 → 3 → 3)			-
休息时间/min	1	1	1	-

注:训练时间第1~3周为1 min,第4~6周为2 min,第7~8周为3 min

### 1.3 测试方法

本研究于8周训练前后,皆于安静的室内实验室中,进行相同实验流程与步骤的H-reflex与T-reflex测试。本研究使用前置放大器的双极表面电极(EMG-Amplifier and Electrodes, Biovision Inc., Wehrheim, 德国)以及多功能信号采集系统(MP150 Biopac Systems Inc., 美国)进行反射信号的检测,同

时监控神经反射测试过程中肌肉活化情况。采集信号前,先对受试者以酒精及刮刀清洁电极黏贴位置后,将电极片统一黏贴于受试者右脚的比目鱼肌肌腹(约腓骨头至外踝1/3处)的解剖位置上。电极直径为0.3 cm、两电极极心距离为2.5 cm、接地电极贴于近端腓骨头上;取样频率在收集反射信号时设定为1 kHz、在收集肌电信号时则设定为1 kHz<sup>[24]</sup>。

**1.3.1 H-reflex** 受试者俯卧于治疗床上,足踝关节呈放松状态垂放于治疗床边缘;利用高压电刺激器(DS7AH, Digitimer Inc.)刺激腓窝处(胫神经的解剖位置),将电量逐渐减小或加大时,可观察M-wave(潜时7~10 ms)和H-reflex(潜时30~40 ms)振幅会随之变化。首先找到最大的H-reflex振幅( $H_{max}$ ),再将电刺激电流强度增加至会产生最大的M-wave振幅峰值( $M_{max}$ ),以该电流强度的120%做为超强电刺激电流强度,波宽为1 ms 方形脉冲波,刺激频率为0.5 Hz。将采集到的10次的 $H_{max}$ 与 $M_{max}$ 振幅峰值(peak-to-peak amplitude)加以平均,再计算 $H_{max}/M_{max}$ 比值做为标准化后的数据。

**1.3.2 T-reflex** 受试者四足跪姿趴于抗力球上,膝关节弯曲成90°,足踝关节呈放松状态垂放于治疗床边缘,反射槌于固定高度敲击能诱发出最大反射的跟腱处;研究者配带连接至节拍器的耳机,以0.5 Hz 的频率进行敲腱,将比目鱼肌肌电仪上所采

集到的10次的最大T-reflex 振幅峰值加以平均,再计算 $T\text{-reflex}/M_{max}$ 比值做为标准化后的数据。

#### 1.4 统计分析

利用SPSS 12.0 统计软件包进行描述统计分析。以ANOVA 重复性混合设计双因素方差分析进行,并以杜凯氏法(Tukey method)进行比较。若达到交互作用则以单因素方差分析(one-way ANOVA)比较各组间变化率(change percentage);以相样本 $t$  检验考察组内前后测得的差异情形。所有显著水平定为 $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 H-reflex

如表4所示:经8周训练后,各组的 $H_{max}/M_{max}$ 之间无交互作用( $F_{(3,51)} = 2.527, P = 0.068$ );VB组的 $H_{max}/M_{max}$ 显著下降( $F_{(1,14)} = 12.267, P = 0.004$ )。

表4 不同太极振动训练前后外围神经的变化

Tab.4 Changes of peripheral nerves before and after different training modes

Variable	TAV			TAI			VB			CON		
	前测	后测	P 值	前测	后测	P 值	前测	后测	P 值	前测	后测	P 值
$\frac{H_{max}}{M_{max}}/\%$	0.416 ± 0.238	0.380 ± 0.193	0.602	0.286 ± 0.193	0.348 ± 0.222	0.280	0.429 ± 0.216	0.258 ± 0.112	0.004 *	0.328 ± 0.257	0.296 ± 0.235	0.694
$\frac{T\text{-reflex}}{M_{max}}/\%$	0.159 ± 0.110	0.204 ± 0.065	0.045 *	0.149 ± 0.147	0.163 ± 0.073	0.668	0.121 ± 0.100	0.064 ± 0.039	0.031 *	0.134 ± 0.130	0.162 ± 0.130	0.240

注:数值以平均值 ± 标准偏差表示,\*表示前后测得的数据间有显著差异( $P < 0.05$ )

研究结果发现:8周单纯振动训练会显著降低 $H_{max}/M_{max}$ ,显示安静时 $\alpha$ 运动神经元终池兴奋性会较低;但对于太极拳结合振动的复合式训练与单纯太极拳训练则未有显著性影响。过去研究发现;耐力型选手比坐式生活者有较高的H-reflex<sup>[25]</sup>;Casabona等<sup>[26]</sup>发现爆发型选手有较低的 $H_{max}/M_{max}$ ,推论受测者的神经支配型态因长期训练而产生转变,由原有的直径小且慢的运动神经元转变为直径大且快的运动神经元,使其有较佳的肌肉爆发力表现。Almeida-Silveira等<sup>[27]</sup>则发现长时间的冲击式训练(plyometric training)能使慢缩肌纤维转变为快缩肌纤维,且同时显著降低H-reflex与 $H_{max}/M_{max}$ ,直接证实了 $H_{max}/M_{max}$ 的下降与肌纤维型态转变的关系。

所以,本研究所发现的单纯振动训练会显著降低 $H_{max}/M_{max}$ ,表明振动训练可增加快缩肌纤维比例,达到促进肌肉爆发力的目的。此结果与过去研究有相似的发现,如Beekhuizen等<sup>[28]</sup>发现10位受测者进行单次5 min的全身性振动刺激(26 Hz)后 $H_{max}$ 明显下降,但 $M_{max}$ 未有显著性的变化,且 $H_{max}/M_{max}$ 从51%显著下降至40%;Armstrong等<sup>[29]</sup>亦发现以1 min振动频率40 Hz、振幅2~4 mm 振动刺激后, $H_{max}/M_{max}$ 亦会立即下降;王如凤<sup>[22]</sup>曾研究长时间不同振动频率与振幅训练对 $H_{max}/M_{max}$ 的影响,亦发现振动频率32 Hz、振幅1 mm 的刺激能显著降低 $\alpha$ 运动神经元终池的兴奋性。长期高频率振动刺激,会连续地诱发张力性振动反射(TVR),使得脊髓的 $\alpha$

运动神经元终池不断地接受来自 Ia 感觉神经元所传来的神经冲动,而使  $\alpha$  运动神经元终池产生神经适应性。

相反,太极拳训练组  $H_{\max}/M_{\max}$  虽未达显著性差异,但有增加的趋势。过去研究曾发现练习太极拳者其肌肉耐力显著高于无练习者,但在爆发力并无显著差异,显示太极拳仅对肌耐力具训练效果<sup>[30]</sup>,由此可解释太极拳训练  $H_{\max}/M_{\max}$  增加的原因。并且太极拳结合振动的复合式训练组  $H_{\max}/M_{\max}$  有稍微的下降趋势,这表明振动刺激对太极拳振动复合式训练有较大的影响,使原本因太极拳训练而增加  $H_{\max}/M_{\max}$  的趋势,由振动刺激使  $H_{\max}/M_{\max}$  减低的影响所取代。所以,8 周太极拳振动复合式训练可诱使  $H_{\max}/M_{\max}$  下降而达到促进肌肉爆发力的效益。然而,过去研究得知太极拳训练需要至少练习 1 年以上方具训练效益<sup>[8]</sup>,故太极拳振动复合式训练要对  $\alpha$  运动神经元终池兴奋性产生影响,可能需较长期的训练时间。

## 2.2 T-reflex

如表 4 所示:经 8 周训练后,各组  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  之间无交互作用 ( $F_{(3,51)} = 2.74, P = 0.053$ )。VB 组  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  显著下降 ( $F_{(1,14)} = 5.761, P = 0.031$ ), TAV 组  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  则显著提高 ( $F_{(1,14)} = 4.513, P = 0.046$ )。另外,如图 1 所示:TAV 组训练前后  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  的变化率显著大于 VB 组 ( $P = 0.003$ )。

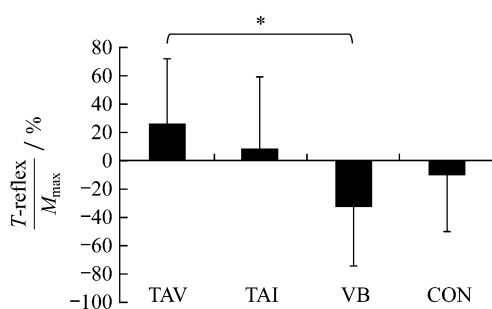


图 1 不同训练组别  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  变化率的比较  
 Fig.1 Change percentage of  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  in different training groups

研究发现:8 周的单纯振动训练会显著降低  $T\text{-reflex}/M_{\max}$ ,显示振动刺激会降低  $\gamma$  反射弧的兴奋性。根据 Almeida-Silveira 等<sup>[27]</sup>发现冲击式训练(plyometric training)能显著提升  $T\text{-reflex}/H\text{-reflex}$

比值,说明肌梭与  $\gamma$  反射弧兴奋性的提高,以及促进牵张反射(stretch reflex)的诱发。另外,本研究结果发现:8 周太极拳结合振动复合式训练后  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  变化率显著大于振动训练,由此可推论太极拳结合振动的复合式训练对肌梭与  $\gamma$  反射弧兴奋性的促进程度较大。本研究所采用的太极拳动作有:基本桩式、单招与动作组合,其特性在于着重身体重心高低变化,下肢肌群需适度地收缩,使肌肉劲度(muscle stiffness)较高,如此会使肌梭对外加的振动刺激更为敏感,更易诱发张力性振动反射。有研究指出,练习 1 年以上太极拳,方能有效缩短腓肠肌反射反应时间,增加肌梭输出通过  $\gamma$  反射弧,诱发中枢神经系统的变化,增加突触连接强度与结构组织,以及增加神经元的间的连接数量<sup>[8]</sup>。而本文仅以短短 8 周的太极拳结合振动的复合式训练为研究对象,在做太极拳动作过程中,利用振动刺激额外地激活肌梭,提高  $\gamma$  反射弧兴奋性,诱发外围神经的适应性。

## 3 结语

太极振动复合式训练为一项结合传统养生太极拳以及新式全身振动训练的训练方法,经 8 周训练后发现:太极拳结合振动的复合式训练能使  $T\text{-reflex}/M_{\max}$  变化率显著大于单纯振动训练,显示太极振动复合式训练对肌梭与  $\gamma$  反射弧兴奋性的促进程度较大。虽然太极振动复合式训练未能显著降低  $H_{\max}/M_{\max}$ ,但会因有振动刺激而改变太极拳训练对  $\alpha$  运动神经元终池兴奋性的影响。因此,本研究认为,太极拳结合振动的复合式训练能对下肢外围神经有正向影响,显示结合太极拳与振动刺激的训练方法是一项具可行性与效益性的新式训练方法。

致谢:感谢期美科技股份有限公司(Tonic Fitness Technology Inc.)提供振动平台与相关经费。

## 参考文献:

- [1] Tsang WW, Hui-Chan CW. Standing balance after vestibular stimulation in Tai Chi-practicing and nonpracticing healthy older adults [J]. Arch Phy Med Rehabil, 2006, 87 (4):546-553.
- [2] Lan C, Lai JS, Wong MK, et al. Cardiorespiratory function, flexibility, and body composition among geriatric Tai

- Chi Chuan practitioners [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1996, 77(6):612-616.
- [3] Lan C, Lai JS, Chen SY, *et al.* Tai Chi Chuan to improve muscular strength and endurance in elderly individuals: A pilot study [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2000, 81(5):604-607.
- [4] Lan C, Chen SY, Lai JS, *et al.* The effect of Tai Chi on cardiorespiratory function in patients with coronary artery bypass surgery [J]. Med Sci Sports Exerc, 1999, 31(5):634-638.
- [5] Husted C, Pham L, Hekking A. Improving quality of life for people with chronic conditions: The example of Tai Chi and multiple sclerosis [J]. Altern Ther Health Med, 1999, 5(5):70-74.
- [6] Wolf S, Barnhart HX, Kutner NG, *et al.* Reducing frailty and falls in older persons: An investigation of Tai Chi and computerized balance training [J]. J Am Geriatr Soc, 1996, 44(5):489-497.
- [7] Young DR, Jee S. The effects of aerobic exercise and Tai Chi on blood pressure in older people: Results of a randomized trial [J]. J Am Geriatr Soc, 1999, 47:277-284.
- [8] Fong SM, Ng GY. The effects on sensorimotor performance and balance with Tai Chi training [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2006, 87(1):82-87.
- [9] 刘平, 于长隆. 生物力学在运动医学领域应用现状和展望 [J]. 医用生物力学, 2008, 23(2):99-102.  
Liu P, Yu CL. State and prospect of biomechanics in sports medicine [J]. J Med Biomech, 2008, 23(2):99-102.
- [10] Warman G, Humphries B, Purton J. The effects of timing and application of vibration on muscular contractions [J]. Avia Space Envir Med, 2002, 37(2):119-127.
- [11] Mahieu NN, Witvrouw E, Voorde DV, *et al.* Improving strength and postural control in young skiers: Whole-body vibration versus equivalent resistance training [J]. J Athle Train, 2006, 41(3):286-293.
- [12] Bosco C, Iaccoli M, Tsarpela O, *et al.* Hormonal responses to whole-body vibration in men [J]. Eur J Appl Physiol, 2000, 81(6):449-454.
- [13] Cormie P, Deane RS, Triplett NT, *et al.* Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power [J]. J Strength Cond Res, 2006, 20(2):257-261.
- [14] van den Tillaar R. Will whole-body vibration training help increase range of motion in the hamstrings [J]. J Strength Cond Res, 2006, 20(1):192-196.
- [15] Rammohan VM, King S, Bhambhani YN. Acute physiological responses in healthy men during whole-body vibration [J]. Int Arch Occup Environ Health, 2005, 79(2):103-114.
- [16] Hagbarth KE, Eklund G. Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity [J]. Brain Res, 1966, 2(2):201-203.
- [17] Romaguère P, Vedel JP, Azulay JP, *et al.* Differential activation of motor units in the wrist extensor muscles during the tonic vibration reflex in man [J]. J Physiol, 1991, 444:645-667.
- [18] Martin BJ, Park HS. Analysis of the tonic vibration reflex: Influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue [J]. Eur J Appl Physiol, 1997, 75(6):504-511.
- [19] 孙世杰, 闫松华, 刘志成. 传统武术站桩肩背部负载分配的力学效果评价 [J]. 医用生物力学, 2011, 26(1):24-28.  
Sun SJ, Yan SH, Liu ZC. Mechanical evaluation of load distribution on human shoulder and dorsal muscles during traditional Chinese Gongfu stance [J]. J Med Biomech, 2011, 26(1):24-28.
- [20] 陈韦翰, 郑惟伶, 李宜芳, 等. 太极拳原地练习与套路练习的运动强度比较 [M]. 台北:2009 亚太国际运动生物力学研讨会论文集, 2009:123-124.
- [21] 庄荣仁, 刘强, 陈婉菁, 等. 各式太极拳动作范围探讨 [M]. 台北:2009 国际生物力学研讨会暨台湾生物力学年度学术研讨会论文集, 2009:210-212.
- [22] 王如凤. 不同振动频率与振幅训练模式对神经肌肉适应性的影响 [D]. 台北:台北体育学院运动器材科技研究所硕士论文, 2010.
- [23] 王星翔. 由肌肉收缩表现探讨震动频率与振幅的训练效果 [D]. 台北:台北体育学院运动器材科技研究所硕士论文, 2010.
- [24] 张希安, 聂文忠, 叶铭, 等. 俯卧撑中前臂旋转对上肢肌肉电活动的影响 [J]. 医用生物力学, 2009, 24(3):174-177.  
Zhang XA, Nie WZ, Ye M, *et al.* Effects from forearm-rotation during push-up on muscle electric activities of upper-limb [J]. J Med Biomech, 2009, 24(3):174-177.
- [25] Ginot J, Guilheneuc P, Prevot M, *et al.* Etude comparative du recrutement de la réponse réflexe monosynaptique du soléaire (réflexe H) chez de sujets non entraîne's et chez des sportifs [J]. Mrd Sport, 1975, 49:55-56.
- [26] Casabona A, Polizzi MC, Perciavalle V. Differences in H-reflex between athletes trained for explosive contractions and non-trained subjects [J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1990, 61:26-32.
- [27] Almeida-Silveira M, Perot C, Goubel F. Neuromuscular adaptations in rats trained by muscle stretch shortening [J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1996, 72:261-266.
- [28] Beekhuizen KS, Field-Fote EC, Burns PA, *et al.* Acute effects of whole-body vibration on soleus H-reflex [J]. Med Sci Sports Exerc, 2004, 36(5):351.
- [29] Armstrong WJ, Nestle HN, Grinnell DC, *et al.* The acute effect of whole-body vibration on the hoffman reflex [J]. J Strength Cond Res, 2008, 22(2):471-476.
- [30] 姚远, 杨树东. 太极拳锻炼对老年人下肢肌力影响的研究 [J]. 中国运动医学杂志, 2003, 2(1):75-77.