

# 单侧肢体电刺激或随意力量训练对双侧足背屈力量和肌肉动员能力的影响\*

于俊海<sup>1,2</sup> 周 石<sup>3</sup> 黄力平<sup>1,4</sup> 刘 军<sup>1</sup> 胡喜莲<sup>1</sup>

**摘要 目的:**观察单侧肢体电刺激训练与随意力量训练是否可产生类似交叉迁移的现象,并采用电刺激与随意收缩叠加法(Twitch Interpolation, TI)评价神经系统动员肌肉力量的能力。**方法:**实验对象为 18—30 岁未经专项体育训练的健康男子大学生 30 名,随机分为电刺激训练组、随意收缩训练组和对照组,每组 10 名。训练选择右侧胫骨前肌,采用重复等长收缩模式。随意收缩训练组训练强度定为其最大随意收缩力量(MVC)的 60%—70%;电刺激组的训练强度为其 MVC 的 60%—70%;每周训练 3 次,每次 3—5 组共 20min,隔日进行,周日休息,共训练 6 周。对照组保持日常生活和学习,期间不参加剧烈体育活动。**结果:**电刺激组训练侧和未训练侧的足背屈力量在训练后均有显著提高(右 13.3%,左 15.6%),且与随意收缩训练组相似(右 15.3%,左 14.8%),并与对照组(右 2.5%,左 -2.7%)差异有显著性( $P<0.05$ );电刺激训练组双侧肌肉动员能力均有明显增强(右 9.0%,左 9.9%),与对照组相比差异具有显著性( $P<0.05$ );随意收缩训练组的肌肉动员能力(7.4%, 5.4%),与对照组相比差异没有显著性( $P>0.05$ )。**结论:**6 周单侧肢体电刺激训练和随意等长收缩训练不仅能够明显提高训练侧的肢体力量,亦能提高对侧未受训练肢体的肌肉力量,产生显著的交叉迁移效果。同时,训练导致的力量增长,特别是在电刺激组,与使用 TI 法观察到的肌肉动员能力的增长有关。

**关键词** 交叉迁移;肌肉电刺激;随意收缩叠加法;最大随意收缩力量

**中图分类号:**R49,R455 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2008)-09-0777-05

**Bilateral effects of unilateral electromyostimulation or voluntary isometric training on dorsiflexion strength and muscle activation/YU Junhai, ZHOU Shi, HUANG Liping, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2008, 23(9): 777—781**

**Abstract Objective:**To investigate the bilateral effect of unilateral electromyostimulation and voluntary isometric training on isometric dorsiflexion strength and capacity in muscle activation using twitch interpolation technique. **Method:** Thirty healthy male volunteers, aged 18—30 years, were randomly assigned into three groups ( $n=10$  each): electromyostimulation (EMS), voluntary isometric contraction (VIM), and control (CON). In EMS and VIM groups, the right legs were trained, three sessions per week for six weeks. Each EMS session included percutaneous stimulation on the tibialis anterior muscle at 50Hz 50—100mA, to induce contraction force that was equivalent to 60%—70% maximum voluntary contraction (MVC), with duty cycles of 5s on, 10s off, for 15—20mins. The VIM session contained static dorsiflexion at 60%—70% MVC, 8 repetitions per set, for 3—5 sets, with 1 min resting intervals between sets. **Result:** Repeated measures ANOVA with Bonferroni adjustment showed significant( $P<0.05$ ) increase in dorsiflexion MVC of both legs in both EMS (13.3% on the right side, 15.6% on the left) and VIM (15.3%, 14.8%), while CON showed no significant increase (2.5%, -2.7%, respectively). The muscle activation was significantly improved at both limbs in EMS group ( $P<0.05$ , right 9.0%, left 9.9%) but not in VIM (7.4%, 5.4%) and the CON (0.6%, -0.3%) ( $P>0.05$ ), respectively. **Conclusion:** Unilateral electromyostimulation and voluntary isometric training significantly improved dorsiflexion strength not only at the exercised limb, but also at the contralateral limb. The increased capacity in muscle activation was responsible for much of the improved strength, particularly for the EMS training.

**Author's address** Dept. of Health & Exercise Science, Tianjin University of Sport, Tianjin, 300381

**Key words** cross education; electromyostimulation; twitch interpolation; maximal voluntary contraction

交叉迁移现象是指经过一定时期的单侧肢体阻力负荷训练后,不仅受训练一侧肢体的肌肉力量增长,同时未受直接训练的对侧肢体同源肌肉的功能也得以增强<sup>[1-2]</sup>。这种肢体间的交叉迁移,不仅能应用于运动训练,而且可作为一种神经肌肉康复手

\* 基金项目:天津市科技发展计划-科技攻关项目(05YFGDSF02100)

1 天津体育学院运动人体科学系, 300381

2 陕西省体育科学研究所

3 澳大利亚南十字星大学

4 通讯作者

作者简介:于俊海,男,硕士,住院医师

收稿日期:2007-10-23

段,应用于康复医学等领域中<sup>[3-4]</sup>。肌肉电刺激、随意等长收缩训练是增长肌肉力量和促进康复的有效方法<sup>[5-8]</sup>,可以引起交叉迁移的效果<sup>[9]</sup>,电刺激与随意收缩叠加法是用来评价中枢神经系统对训练的适应的一种技术,即在骨骼肌做最大随意收缩时给予肌肉或神经干电刺激,利用电刺激诱发力量与随意收缩力量之间的差别来评价中枢神经系统动员肌肉力量的能力,即肌肉动员能力(muscle activation, MA)<sup>[10]</sup>。本实验采用电刺激等长收缩训练和随意等长收缩训练的运动形式,通过使用电刺激与随意收缩叠加法,观察单侧肢体足背屈训练引起双侧足背屈力量和肌肉动员能力的变化,为训练效果的交叉迁移现象的神经机制提供新的证据,并为其在单侧肢体损伤或外科术后等引起的肌萎缩的康复治疗中的应用提供理论依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 实验对象

实验对象为天津体育学院运动人体科学系男生30名,18—30岁,平均年龄 $20.96 \pm 1.65$ 岁,未经专项体育训练,过去均无专业体育训练史,身体健康,无神经系统疾病、骨骼肌肉伤病、心脏病史。实验对象对本研究的目的和基本要求均能充分理解,自愿参加实验研究并签署知情同意书。实验对象被随机分为3组:电刺激训练组(EMS组)、随意等长收缩训练组(VIM组)、对照组(CON组),每组10名。

### 1.2 实验方案

本实验为期6周,训练组每周训练3次,隔日进行,周日休息。对照组保持日常生活和正常学习安排,期间不参加剧烈体育活动。训练前后各组进行肌肉力量和肌肉动员能力的测试。

肌肉训练模式:选择右侧胫骨前肌,采用重复等长收缩模式。

**1.2.1 肌肉力量测试和训练:**EMS组:在运动训练开始前,受试者先进行约1min的踝关节屈伸运动作为准备活动,取仰卧位,再将其足关节置于自制踝关节肌力测试装置上,固定于 $105^\circ$ (相对于解剖零位跖屈 $15^\circ$ ,解剖零位为腓骨长轴与足底成 $90^\circ$ 的状态),使其胫骨前肌收缩形式限定于等长性,以非弹性绑带固定,另一腿自然放松,伸直放于一侧。然后先进行每次3—5s的最大足背屈运动,重复3次,每次间隔1min的休息时间,并给予口头鼓励。记录其中最大随意等长收缩力量(maximum voluntary contraction, MVC)。之后,将一对附有自粘式导电胶的表面刺激电极分别置于受试者右腿胫骨前肌肌腹

上,阴极置于运动点处,阳极在阴极下方2cm。训练时,采用英国产DIGITIMER DS7AH型电刺激仪,刺激的频率为50Hz,脉宽为 $200\mu\text{s}$ ,电流强度设置为可诱发相当于60%—70%MVC的力量(逐步递增)。每次收缩经由Medlab多道生物信号采集系统(中国南京美易科技有限公司生产)触发给予电刺激使肌肉收缩持续5s,然后休息10s,每组8次,组间休息1min。训练中,第1周进行3组,共24次;第2周递增到4组,共32次;第3周递增到5组,共40次;以后第4—6周均保持5组,共进行40次EMS等长收缩,每次训练时间约为15—20min。

VIM组:在运动训练开始前,测定MVC的步骤与EMS组相同。训练中,第1周进行3组,共24次;第2周递增到4组,共32次;第3周递增到5组,共40次;以后第4—6周均保持5组,每组8次,共40次的随意等长收缩训练,强度定为60%—70%MVC(逐步递增),在每组收缩训练中要求受试者保持达到力量水平,并维持5s,休息10s,组间休息1min。每次训练时间约为15—20min。

以上各组受试者在训练后均进行1min的屈伸踝关节放松运动。

**1.2.2 肌肉动员能力测试:**肌肉动员能力测试采用自行研制的踝关节等长肌力测试装置和Medlab多道生物信号采集系统来完成。电刺激由英国产DIGITIMER DS7AH型电刺激器来完成。嘱受试者在测试前48h内不能进行力竭性运动,以避免疲劳的影响。测试指标主要有MA、峰值值(peak tension, PT)、力量上升速率(rate of force development, RFD)等。

测试部位:双侧胫骨前肌。局部皮肤处理:剃除毛发,酒精清洁皮肤,并涂导电膏,然后将一对表面附有自粘式导电胶的刺激电极分别置于受试者两侧胫骨前肌肌腹上,阴极位于运动点处,阳极在阴极下方2cm。为了保证实验前后电极片所处位置的一致,在训练前测试时取半透明纸在胫骨前肌贴电极片处用笔做标记,标记出电极片位置,在训练后测试时覆盖标记纸,贴覆电极片,确保电极先后位置一致。

测试方法:受试者先进行1min的踝关节屈伸热身运动,然后取仰卧位,再将其踝关节置于自制踝关节等长肌力测试装置上,固定于 $105^\circ$ ,使其胫骨前肌收缩形式限定于等长性,以非弹性绑带固定,另一腿自然放松,伸直放于一侧。接通电刺激装置,经由Medlab采集系统触发,给予电刺激。在刺激前,先由受试者做3次随意最大等长收缩,确定其MVC,然后再给予刺激。刺激频率为50Hz,脉宽 $200\mu\text{s}$ ,幅度

5V, 脉冲 10 次。逐渐调大刺激电流强度, 使受试者胫骨前肌在跖屈 15° 位置背屈用力至最大耐受强度, 且不引起受试者产生强烈疼痛或其他不适感觉为限。根据受试者的 MVC 值, 设定相当于 95%MVC 的触发力量值, 然后嘱受试者做最大随意用力, 并尽量保持该力量水平, 当收缩力量达到峰值后 (高于 95%MVC), 由 Medlab 采集系统自动加延时 200ms 后触发电刺激。如未达到 95%MVC 力量, 则不能触发电刺激, 应休息 1min 后重做。受试者感到电刺激后放松肌肉, 延时 5s 后给予第二次 (对照) 刺激。力量数据由 Medlab 采集系统自行采集分析。

6 周训练前后分别取以上指标, 保证受试者的每个指标在一天当中的同一个时间段内进行, 以控制生物节律可能造成的影响。

### 1.3 统计学分析

使用 SPSS13.0 统计学软件包进行数据处理分析。采用多因素方差分析的多重检验方法检验实验训练前后、左右两侧腿之间、三组之间各项指标, 应用 post-hoc 及采用校正最小显著性 (Bonferroni adjustment) 分析比较平均值, 显著性水平定为  $P < 0.05$ 。MVC 和 MA 变化的相关采用 Pearson 相关分析得出。

在 Medlab 采集系统上所测试的肌肉力量值为等长力值。MA 以及 RFD、MVC、PT 各指标以训练前后增长百分比来表示, 计算方法为 (实验后值-实验前值)/实验前值 $\times 100\%$ , 对实验前后差值均进行多因素方差分析的多重检验方法处理。其中, 肌肉动员能力 (MA) 可由公式: 肌肉动员能力百分比 $\% = (1 - \text{叠加刺激力量} / \text{对照刺激力量}) \times 100\%$ 而得出, 其中, 叠加刺激力量=峰值-随意力量值。

## 2 结果

### 2.1 肌肉力量的变化

见表 1。经过 6 周的训练后, EMS 组和 VIM 组的训练侧肢体在实验后测试 MVC 均有显著提高, 与实验前比较差异具有显著性 ( $P < 0.001$ ), 而对照组实验前后差异没有显著性 ( $P > 0.05$ ); EMS 组和 VIM 组的未训练侧肢体在实验后测试 MVC 均有显著提高, 与实验前比较差异有显著性 ( $P < 0.001$ ); EMS 组和 VIM 组的训练侧肢体 MVC 的相对变化 (%) 与对照组比较差异有显著性 ( $P < 0.05$ ), 同时 EMS 组与 VIM 组的未训练侧肢体的 MVC 的相对变化 (%) 与对照组之间比较差异也具有显著性 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 肌肉动员能力变化

见表 2。EMS 组的训练侧在实验前后测试其

MA 差异有显著性 ( $P < 0.05$ ), VIM 组的训练侧在实验后测试其 MA 有增长趋势, 但与实验前相比差异没有显著性 ( $P > 0.05$ ); EMS 组的未训练侧肢体在实验后测试 MA 具有显著提高, 与实验前比较差异具有显著性 ( $P < 0.05$ ), 而 VIM 组的未训练侧肢体在实验后测试 MA 与实验前比较有明显增长趋势, 但差异没有显著性 ( $P > 0.05$ ); EMS 组和 VIM 组的训练侧肢体的 MA 在实验后测试均有显著提高 (9.0%, 7.4%), 并与对照组比较差异有显著性 ( $P < 0.05$ ), 但 EMS 组与 VIM 组的未训练侧肢体的肌肉动员能力与对照组之间比较差异没有显著性 ( $P > 0.05$ ), 但具有明显增长趋势。同时对 MVC 和 MA 做相关分析得出: Pearson 相关系数为 0.339 ( $P < 0.01$ ), 力量的增长与肌肉动员能力的改变密切相关。

### 2.3 PT 的变化

见表 3。EMS 组和 VIM 组的训练侧肢体在实验后测试 PT 均有显著提高, 与实验前比较差异具有显著性 ( $P < 0.001$ ), 而对照组实验前后差异没有显著性 ( $P > 0.05$ ); EMS 组和 VIM 组的未训练侧肢体在实验后测试 PT 值均有显著提高, 与实验前比较差异有显著性 ( $P < 0.001$ ); EMS 组和 VIM 组的训练侧肢体 PT 的相对变化 (%) 与对照组比较差异有显著性 ( $P < 0.05$ ), 同时 EMS 组与 VIM 组的未训练侧肢体 PT 的相对变化 (%) 与对照组之间比较差异也具有显著性 ( $P < 0.05$ )。

### 2.4 力量上升速率的变化

见表 4。EMS 组和 VIM 组的训练侧肢体在实验后测试 RFD 均有显著提高, 与实验前比较差异具有显著性 ( $P < 0.001$ ), 而对照组实验前后差异没有显著性 ( $P > 0.05$ ); EMS 组和 VIM 组的未训练侧肢体在实验后测试 RFD 均有显著提高, 与实验前比较差异有显著性 ( $P < 0.001$ ); EMS 组和 VIM 组的训练侧肢体 RFD 的相对变化 (%) 在实验后测试均有显著提高, 与对照组比较差异有显著性 ( $P < 0.05$ ), 同时 EMS 组与 VIM 组的未训练侧肢体 RFD 的相对变化 (%) 的相对变化 (%) 与对照组之间比较差异也具有显著性 ( $P < 0.05$ )。

表 1 双侧胫骨前肌 MVC 的增长变化 ( $\bar{x} \pm s$ )

| 肢体/组别  | 训练前 (N)          | 训练后 (N)                       |
|--------|------------------|-------------------------------|
| 训练侧    |                  |                               |
| EMS    | 272.5 $\pm$ 26.5 | 308.5 $\pm$ 37.5 <sup>①</sup> |
| VIM    | 244.6 $\pm$ 30.8 | 282.5 $\pm$ 43.8 <sup>①</sup> |
| CON    | 262.2 $\pm$ 25.6 | 267.7 $\pm$ 23.1              |
| 对侧未训练侧 |                  |                               |
| EMS    | 248.4 $\pm$ 24.5 | 286.0 $\pm$ 21.5 <sup>①</sup> |
| VIM    | 240.1 $\pm$ 37.2 | 275.7 $\pm$ 44.5 <sup>①</sup> |
| CON    | 265.4 $\pm$ 26.0 | 256.9 $\pm$ 16.2              |

①与同组训练前比较差异有显著性 ( $P < 0.001$ )

表2 双侧胫骨前肌 MA 的变化 ( $\bar{x} \pm s$ )

| 肢体/分组  | 训练前(%)     | 训练后(%)                 |
|--------|------------|------------------------|
| 训练侧    |            |                        |
| EMS    | 85.76±12.6 | 94.74±5.9 <sup>①</sup> |
| VIM    | 87.19±13.7 | 94.58±4.5              |
| CON    | 87.50±13.0 | 88.09±6.4              |
| 对侧未训练侧 |            |                        |
| EMS    | 77.24±14.4 | 87.13±8.9 <sup>①</sup> |
| VIM    | 82.19±13.7 | 87.61±12.4             |
| CON    | 81.90±18.6 | 81.64±16.8             |

①与组内训练前比较差异有显著性( $P<0.05$ )表3 双侧胫骨前肌 PT 的变化 ( $\bar{x} \pm s$ )

| 肢体/分组  | 训练前(N)     | 训练后(N)                  |
|--------|------------|-------------------------|
| 训练侧    |            |                         |
| EMS    | 278.7±27.8 | 311.6±36.3 <sup>①</sup> |
| VIM    | 252.2±34.5 | 285.3±44.1 <sup>①</sup> |
| CON    | 270.6±27.5 | 273.0±22.9              |
| 对侧未训练侧 |            |                         |
| EMS    | 260.0±22.5 | 293.3±21.9 <sup>①</sup> |
| VIM    | 249.7±39.4 | 281.9±46.6 <sup>①</sup> |
| CON    | 275.0±28.7 | 265.7±20.5              |

①与同组训练前比较差异有显著性  $P<0.001$ 表4 双侧胫骨前肌 RFD 的增长变化 ( $\bar{x} \pm s$ )

| 肢体/分组  | 训练前(N/s)    | 训练后(N/s)                  |
|--------|-------------|---------------------------|
| 训练侧    |             |                           |
| EMS    | 967.0±491.1 | 1383.1±412.3 <sup>①</sup> |
| VIM    | 746.7±296.7 | 1309.7±374.1 <sup>①</sup> |
| CON    | 844.6±333.7 | 783.4±277.9               |
| 对侧未训练侧 |             |                           |
| EMS    | 844.6±397.4 | 1308.9±415.7 <sup>①</sup> |
| VIM    | 783.4±306.3 | 1236.2±279.3 <sup>①</sup> |
| CON    | 807.9±351.9 | 722.2±254.5               |

①与同组训练前比较差异有显著性  $P<0.001$ 

### 3 讨论

研究表明,肌肉电刺激、随意等长收缩训练等都是增长肌肉力量的有效方法<sup>[5-6,8,11]</sup>。电刺激肌肉训练3—8周,可使肌肉力量增加7%—58%,并对骨骼肌结构产生有益的影响<sup>[7-8,11-14]</sup>。本实验发现经过6周的单侧肢体电刺激训练或随意力量训练均可使训练侧和对侧肢体的足背屈最大随意收缩力量提高,其力量增长幅度与许多对其他肌群的研究报道相似<sup>[1-2,5-6,15]</sup>。结果表明,电刺激训练产生的同侧肢体力量与随意收缩效果类似,并且对侧未受训练肢体力量增长的百分比也接近一致,从而进一步证明肌肉电刺激训练和随意收缩力量训练一样可产生交叉迁移的效果。而短期内 MVC 的增长,可能与肌肉收缩的神经支配得到加强有关<sup>[16]</sup>。

以往应用电刺激训练的研究中,刺激的强度往往受到受试者的耐受程度的影响而达不到与随意训练相似的力量水平<sup>[17]</sup>,这使电刺激训练和随意等长收缩训练的结果难以直接比较。本研究在实验设计上做了改进,使两训练组的训练强度、次数,以及休息时间基本一致,因此训练效果更具可比性,对单侧

肢体电刺激训练所引起的交叉迁移现象提供了更为可靠的证据。

本实验的另一发现是电刺激引起的肌力增长与肌肉动员能力有关。骨骼肌不仅可受神经系统的控制而产生收缩,也可对外来的电刺激信号产生反应而收缩。电刺激可作用于神经干、神经末梢或肌纤维本身而诱发动作电位以引起收缩,通过改变刺激频率,肌肉可产生单收缩、不完全强直或完全强直收缩;而通过改变刺激强度,可募集不同兴奋阈值的神经或肌肉纤维。所以,可以假设如果电刺激的强度和频率适当,应可使受刺激的肌肉发挥出其可能产生的最大力量;如果神经系统不能随意动员肌肉而产生该最大力量,在随意收缩的基础上给予肌肉足够强的电刺激则可能使肌肉发挥出额外力量。因此,通过检测电刺激产生额外力量的大小可评定随意肌肉动员能力<sup>[10,18]</sup>。本实验使用电刺激与随意收缩叠加法观察到所有实验组在训练前均未能百分之百动员足背屈肌,而 EMS 组和 VIM 组的训练使肌肉动员能力有明显的增长,显著高于对照组。理论上认为,随意收缩训练应比电刺激训练产生更具特殊性的效果,本实验证明电刺激训练增长肌力和肌肉动员能力的效果与随意训练相似,其生理适应机制值得进一步研究。肌肉电刺激是通过刺激运动神经末梢引起肌肉收缩,达到锻炼肌肉的目的。应用经皮电刺激进行训练,相当于人工兴奋外周运动神经代替大脑皮质控制肌肉,它同时也会激活各种感觉传入神经。有关研究表明,运动冲动的传出不仅决定于中枢神经系统的启动,而且还与外周感觉输入有关<sup>[19]</sup>。有实验表明,感觉刺激可以降低运动皮质的兴奋性阈值,即使此时并没有随意运动的产生,在此基础上,相应的肢体运动也更容易发生<sup>[20]</sup>。所以,电刺激可能是通过作用于运动环路的中枢编程和感觉性反馈两个环节对可能的运动传出产生易化作用,使进一步的运动更易实现。

本实验还发现,单侧肢体电刺激训练使对侧未受训练肢体的肌肉动员能力也得到提高,其效果甚至优于随意收缩训练,进一步提示电刺激训练也可影响到交叉迁移的中枢机制。有学者认为脊髓机制在交叉迁移中也许起重要作用<sup>[6-7]</sup>。在最近的一项有关脊髓的功能性磁共振成像研究中发现,单侧手的抓握运动不仅激活了同侧脊髓延长柱的腹侧区域,而且在脊髓对侧有更多的区域被激活<sup>[21]</sup>。尽管对侧脊髓水平的兴奋不能直接解释交叉迁移的机制,但是为单侧肢体活动时双侧脊髓活动提供了证据。

RFD 是一种力量时间斜率曲线(即 $\Delta$ 力量/

$\Delta$ 时间), 可以用来评价神经肌肉系统的肌肉爆发力量<sup>[22]</sup>。在本实验中发现, 经过 6 周的电刺激训练和随意等长收缩训练后, 不仅训练侧肢体的 RFD 有明显提高 ( $P<0.05$ ), 而且未受训练的对侧肢体的 RFD 也有明显的提高 ( $P<0.05$ )。Markus<sup>[23]</sup>研究发现, 对股四头肌做 RFD 的测试时, 肌肉动员能力的增强在肌肉收缩的早期阶段突出, 并对提高运动成绩有益。最近的研究表明, 反映爆发力量的 RFD 的提高就是一种神经适应<sup>[24]</sup>。研究人员通过分析单个运动单位的募集, 发现在经过力量训练后, 运动单位的动员发生更早, 并且激活频率增加。并使用表面肌电技术发现在肌肉活动的初始, 爆发力量与较高频率的运动单位放电有关。而本研究中 RFD 的增长变化也可说明经过力量训练后训练肢体的力量提高与肌肉动员能力有关, 同时也表明了肌肉力量的这种交叉迁移是一种神经适应。

#### 4 结论

单侧肢体电刺激训练和随意等长收缩训练不仅能够明显的提高训练侧的肢体力量, 而且还能提高对侧未受训练肢体的肌肉力量, 产生显著的交叉迁移效果。同时, 训练导致的力量增长与使用电刺激与随意收缩叠加法观察到的肌肉动员能力的增长有关。这一结果为训练效果的交叉迁移现象在单侧肢体损伤、外科术后等引起的肌萎缩的康复治疗和功能测试评价手段提供了新的依据。

#### 参考文献

- [1] Hortobágyi T. Cross education and the human central nervous system[J]. IEEE Eng Med Biol Mag, 2005, 24(1): 22—28.
- [2] Zhou S. Chronic neural adaptation to unilateral exercise: mechanisms of cross education [J]. Exerc Sport Sci Rev, 2000, 28(4): 177—184.
- [3] Stromberg BV. Contralateral therapy in upper extremity rehabilitation[J]. Am J Phys Med, 1986, 65(3):135—143.
- [4] Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue[J]. Physiol Rev, 2001, 81(4): 1725—1789.
- [5] Hortobágyi T, Lambert NJ, Hill JP. Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening[J]. Med Sci Sports Exerc, 1997, 29(1):107—112.
- [6] Zhou S, Oakman A, Davie A. Effects of unilateral voluntary and electromyostimulation training on muscular strength on the contralateral limb [J]. Hong Kong J Sports Med Sports Sci, 2002, XIV:1—11.
- [7] 吴立红, 李爱萍, 林建强, 等. 电刺激足三里穴对海训士兵血液中 LA, SOD, GSH-PX 的影响 [J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(5): 440—441.
- [8] 李琦, 王金武, 曾炳芳. 神经肌电刺激治疗失神经肌肉萎缩研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(5):478—480.
- [9] Hortobágyi T, Scott K, Lambert J, et al. Cross education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions[J]. Motor Control, 1999, 3(2):205—219.
- [10] 于俊海, 周石, 黄力平. 电刺激与随意收缩叠加法在评定肌肉力量动员能力中的应用 [J]. 中国运动医学杂志, 2007, 26(5): 634—638.
- [11] 郑萍, 纪树荣, 张勃, 等. 肌电诱发神经肌肉电刺激在偏瘫康复中应用的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2006, 21(8):710—711.
- [12] Cabric M. Fine structural changes in electrical stimulated human skeletal muscle[J]. Eur J Appl Physiol, 1988, 5: 12—51.
- [13] 王勇军, 黄力平, 田强, 等. 长期神经肌肉电刺激训练干预中年女性腹部肥胖的随机对照研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2008, (1): 26—30.
- [14] 黄力平, 曹龙军, 周石, 等. 不同时间电刺激训练对大鼠骨骼肌 IGF-1 不同拼接体 mRNA 表达的时序性影响[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(5):399—402.
- [15] Hainaut K, Duchateau J. Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise[J]. Sports Med, 1992, 14(2):100—113.
- [16] Cabric M, Appell HJ. Effect of electrical stimulation of high and low frequency on maximum isometric force and some morphological characteristics in men [J]. Int J Sports Med, 1987, 8: 256—260.
- [17] Delitto A, Snyder-Mackler L. Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation[J]. Phys Ther, 1990, 70(3):158—164.
- [18] Shield A, Zhou S. Assessing voluntary muscle activation with the twitch interpolation technique [J]. Sports Med, 2004, 34(4): 253—267.
- [19] Komi PV. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed [J]. Exerc Sport Sci Rev, 1984, 12: 81—121.
- [20] Aziz-Zadeh Lisa, Maeda Fumiko, Zaidel Eran, et al. Lateralization in motor facilitation during action observation: a TMS study[J]. Exp Brain Res, 2002, 144(1):127—133.
- [21] Stroman PW, Ryner LN. Functional MRI of motor and sensory activation in the human spinal cord [J]. Magn Reson Imaging, 2001, 19(1):27—32.
- [22] Hakkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, et al. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people [J]. J Appl Physiol, 1998, 84: 1341—1349.
- [23] Markus Gruber, Albert Gollhofer. Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation[J]. Eur J Appl Physiol, 2004, 92: 98—105.
- [24] Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans [J]. J Physiol (Lond), 1998, 513:295—305.