

# 肌肉力量神经调控与停止训练的关系\*\*

宋亚军

## Relationship between training cessation and neural regulation of muscle strength

Song Ya-jun

### Abstract

**BACKGROUND:** Training cessation usually occurs when athletes encounter certain circumstances, such as disease, injury or travel. This might affect the neural regulation of skeletal muscle.

**OBJECTIVE:** To fully understand the effect of training cessation on muscle strength neural regulation ability and the mechanism behind it.

**METHODS:** An online search of Medline database was performed for relevant reviews and research papers on training cessation and neural regulation of muscle strength published between 1983 and 2006. Then a tracing search was performed according to the references of the collected articles.

**RESULTS AND CONCLUSION:** A total of 48 articles on training cessation and neural regulation of muscle strength were collected. The training cessation with certain duration can cause the decrease of maximal voluntary contraction, but this might be affected by spinal cord, nerve centre above the spinal cord and skeletal muscle itself. In the mean time, the maximal voluntary contraction and corresponding neural adaptation may retain to some extent during the training cessation, depending on the exercise training mode, the muscle contraction pattern, the testing position and circumstance during training cessation.

Song YJ. Relationship between training cessation and neural regulation of muscle strength. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(50): 9481-9485. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

### 摘要

**背景:** 当运动员遇到疾病、受伤、旅行等情况时往往会停止训练,这对机体骨骼肌的神经调控的可能产生影响。

**目的:** 全面了解停止训练对机体肌肉力量神经调控能力的影响及其机制。

**方法:** 检索 Medline 数据库 1983/2006 收录的停止训练与肌肉力量神经调控的相关综述和论文报告,并根据检索到的文献中所列出的相关参考文献进行追溯查找。

**结果与结论:** 共纳入停止训练与肌肉力量神经调控的相关文献 48 篇。发现一定持续时间的停止训练可引起最大随意收缩力下降,但可能受到骨骼肌本身、脊髓及脊髓以上中枢的影响;同时,由于运动训练模式、肌肉收缩形式、测试部位、停止训练的状况等不同,可能会使最大随意收缩力及相关神经学适应在停止训练期间被不同程度地保留下来。

**关键词:** 停止训练;肌肉力量;神经调控;最大随意收缩力;机制

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.50.042

宋亚军. 肌肉力量神经调控与停止训练的关系[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(50):9481-9485. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

Department of Physical Education, Jining University, Qufu 273155, Shandong Province, China

Song Ya-jun★, Master, Professor, Department of Physical Education, Jining University, Qufu 273155, Shandong Province, China songyajunsjy@sohu.com

Supported by: by the Science and Technology Program of Shandong Education Bureau, No. J06L56\*

Received: 2011-05-13 Accepted: 2011-08-18

## 0 引言

骨骼肌是人体产生力量的动力器官,对骨骼肌收缩神经调控的研究已有一百多年的历史。研究表明,神经系统可通过提高中枢兴奋程度、协调各肌群活动、增加中枢神经发放冲动的强度和频率等来提高肌肉最大肌力<sup>[1]</sup>。运动控制系统从高级到低级分别为大脑皮质的运动区、脑干的下行系统和脊髓 3 个水平,通过对脊髓运动神经元放电频率以及运动单位募集顺序和数量的控制等影响运动条件下肌肉收缩产生的张力。

停止训练即停止有规律的运动。当运动员遇到疾病、受伤、旅行等情况时往往会停止训练,停止训练对机体的影响已引起运动员和教

练员的高度重视。研究认为,减少或中止运动训练可造成训练所获得的结构和生理机能的良好变化部分或完全消失,运动成绩也随之下降。停止训练会引起训练诱导的骨骼肌结构和机能的适应性变化完全或部分地逆转<sup>[1]</sup>。

近年来,随着研究方法的不断革新,许多学者的研究从不同角度涉及到停止训练后最大随意收缩力、骨骼肌的神经调控及其可能性机制问题。本文拟就停止训练、肌肉力量与骨骼肌的神经调控问题试作综述。

## 1 资料和方法

**1.1 资料来源** 作者检索 Medline 数据库收录的停止训练与肌肉力量神经调控的相关综述和论文报告,检索文献时限为 1983/2006,检索词

济宁学院体育系,山东省曲阜市 273155

宋亚军★,男,1966年生,汉族,山东省兖州市人,硕士,教授,主要研究方向为运动生理学与运动生物化学。 songyajunsjy@sohu.com

中图分类号:R318  
文献标识码:B  
文章编号:1673-8225 (2011)05-09481-05

收稿日期:2011-05-13  
修回日期:2011-08-18  
(20081110005/YJ·LX)

为: detraining, muscle strength, neural regulation; 并根据检索到的文献中所列出的相关参考文献进行追溯查找, 尽量减少资料流失。

## 1.2 入选标准

纳入标准: ①停止训练对肌肉最大随意收缩力的影响情况。②停止训练与肌肉动员能力和骨骼肌神经调控能力的变化情况。③停止训练影响肌肉力量神经调控能力变化的可能性机制。

排除标准: 重复或类似的同一研究。

1.3 质量评估 对每一随机临床资料统一入选标准, 对不符合者除外, 使用原文资料, 除外重复资料、文摘以及资料不全者的资料。

1.4 数据的提取 共检索到 100 篇文献。由作者按纳入及排除标准筛选后, 共纳入 48 篇文献。

## 2 结果

2.1 纳入文献基本情况 停止训练与肌肉力量的神经调控背景类文献 1 篇<sup>[1]</sup>。停止训练对肌肉最大随意收缩力的影响情况类文献 19 篇<sup>[2-20]</sup>, 描述停止训练与肌肉动员能力和骨骼肌神经调控能力的变化情况的文献 4 篇<sup>[21-24]</sup>, 停止训练影响肌肉力量神经调控能力变化可能性机制的文献 25 篇<sup>[25-48]</sup>。以此为依据归纳总结停止训练与肌肉力量的神经调控的变化情况及其可能性机制, 并对其发展趋势做了进一步的探讨。

2.2 停止训练与肌肉最大随意收缩力(maximum voluntary contraction, MVC)的变化 MVC 是个人尽了最大努力时产生的力, 代表活动条件下肌肉的最大抗阻能力, 反映出包括中枢驱动到外周肌肉收缩全过程神经和肌肉工作的状况。影响测定的限制性因素包括缺少鼓励、中枢不同水平的抑制和骨骼肌水平的抑制。研究表明, 随着抗阻训练的停止, MVC 下降, 同时伴随神经肌肉传动能力的降低<sup>[2-4]</sup>。但亦有研究认为, 不同情况的停止训练, MVC 的变化以及神经学反应与适应机制可能存在差异<sup>[4]</sup>。

研究发现, 随着先前无训练受试者抗阻训练后 3 个月的停止训练, 向心收缩训练组 MVC 返回到训练前水平, 而离心收缩训练组 MVC 继续得以保存<sup>[5]</sup>; 表明作为对停止抗阻训练的反应, 向心和离心肌肉力量变化的潜在神经学适应机制可能有所差别, 包括力量产生的神经控制线路可能存在差别, 其机制可能与来自高尔基腱器官和肌梭的反馈有关。研究认为, 有训练受试者离心收缩获得的肌肉力量对停止训练很敏感<sup>[6-7]</sup>, 其离心收缩力量对停止训练的适应性变化与受试者最初的训练状态密切相关。亦有研究报道, 抗阻训练后 6~12 周停止训练或 30~32 周的停止训练仍能保持部分抗阻训练中动力性力量的获得<sup>[8-10]</sup>。

电刺激训练法作为力量训练的重要方法, 不仅能有效改善活动减退患者的肌肉功能能力, 而且可以改善健康受试者的 MVC, 电刺激训练法训练导致肌肉力量的获得主要应归因于肌肉性能的改变和神经的激活<sup>[11-13]</sup>。Gondin 等<sup>[14]</sup>研究发现, 8 周电刺激训练法训练后的 4 周停止训练使膝关节伸肌 MVC 值下降, 但其值在停止训练期末仍高于基线水平。Marqueste 等<sup>[15]</sup>报道, 6 周的电刺激训练法训练使膝关节伸肌 MVC 增加在 6 周的停止训练后得以保存。另有研究认为, 5 周电刺激训练法训练所引起 MVC 转矩增强在相同时间的停止训练后仍得以维持; 并认为研究结果的差异可能与刺激程序的差异(如波形、脉冲持续时间和刺激频率等)有关<sup>[16]</sup>。Colliander 等<sup>[17]</sup>研究发现, 在等功率计上进行向心-离心相结合的抗阻训练会引发离心肌肉力量的获得, 这种获得的力量在 12 周停止训练中被部分地保存下来。在另一项研究中, 动力性离心抗阻训练导致动力性离心肌肉力量增加, 在停止训练 8 周后依然保留<sup>[18]</sup>。研究认为, 使用不同的训练和测试装置可能会影响研究的结果<sup>[17-18]</sup>。随意性抗阻训练的研究表明, 6 周训练诱导的足底屈肌 MVC 显著性增加, 停止训练 6 周后, 与运动训练结束时相比 MVC 显著性降低, 但其值与运动训练前相比仍显著性增加<sup>[19]</sup>。与此相关的研究中, 有学者认为, 这种差异可能是由膝关节伸肌和足底屈肌之间每天活动的差异所引起, 不同的肌肉组织停止训练的作用可能不同<sup>[20]</sup>。

可见, 一定持续时间的停止训练可引起 MVC 下降, 同时伴随相关神经学因素功能降低。但由于运动训练模式、肌肉收缩形式、受试者训练水平、测试部位等不同, 可能会使 MVC 及相关神经学适应在停止训练期间被不同程度地保留下来。然而, 影响肌肉力量的环节包括骨骼肌本身、脊髓及脊髓以上中枢, 区分停止训练期间肌肉力量的变化究竟是骨骼肌本身还是中枢因素造成, 尚需特别的研究方法来解决。

2.3 停止训练、肌肉动员能力与骨骼肌神经调控能力的变化 自发现电刺激可以诱导骨骼肌收缩, 人们开始比较骨骼肌主动收缩产生的力和电刺激诱导产生的力, 并使用不同的技术研究神经系统对骨骼肌的调控作用。近年来, 随着随意收缩叠加技术在实验中运用, 肌肉动员能力(muscle activation, MA)的检测得以有效进行, 主要研究神经系统对肌肉力量的调控。即在做最大随意肌肉收缩时给予肌肉或神经干一个电刺激, 以产生一个类似颤搐式的收缩, 其力量叠加在随意收缩力量上, 利用电刺激诱发力量与随意收缩力量之间的差值来评价中枢神经系统动员肌肉力量的能力<sup>[21-22]</sup>。

调查 5 周电刺激训练法训练后跟着 5 周的停止训练对 MA 的影响<sup>[16]</sup>; 发现训练和停止训练后 MA 与 MVC 的变化密切相关。Herbert 等<sup>[23]</sup>研究发现, MA 相对较

小的变化(1.7%)能够引起 MVC 的显著性变化(17.8%);表明 MVC 对 MA 的变化非常敏感。研究认为,采用随意收缩叠加技术获得的数据使得 MVC 的运动神经传动水平得以量化,显示出运动单位募集和/或运动单位激活的状况<sup>[24]</sup>。Gondin 等<sup>[14]</sup>研究采用 8 周股四头肌等长电刺激训练法训练项目,受试者分别于训练前、训练后以及 4 周停训后,进行 MVC 和 MA 的测试;发现训练后 MA 显著性增加,4 周停训后的显著减少并接近训练前水平;同时发现,训练后膝关节伸肌 MVC 显著性增加以及 4 周停训后其值显著性降低,停止训练后 MVC 力矩丢失与 MA 的显著性下降密切相关;认为伸膝肌神经传动减弱可能是 MVC 下降的重要原因,其机制可能是由于停止训练后运动单位募集或运动单位激活水平降低所引起,亦可能与中枢驱动能力的变化有关。

研究表明,采用随意收缩叠加技术,观察到 6 周渐进性单侧等张抗阻训练后训练肢体和对侧不训练肢体 MA 显著性的增加;6 周停止训练后没有发生明显变化,与训练前相比依然显著增高<sup>[19]</sup>;说明由于训练方式、检测方法、检测部位及停止训练的状况等不同,停止训练后 MA 表现出不同的变化情况。

尽管通过随意收缩叠加技术观察停止训练对 MA 的影响资料较少,但已有的研究表明,该方法能有效揭示停止训练后中枢神经系统动员肌肉力量能力的变化情况,反映出停止训练与脊髓及其以上中枢神经系统功能变化的关系;但该方法尚不能准确分析出这种变化是由于运动神经元的兴奋性变化、脊髓反射的变化、还是中枢驱动能力的变化所引起。

## 2.4 停止训练与肌肉力量神经调控能力变化的可能性机制

### 2.4.1 停止训练与运动单位募集和激发水平的变化

研究表明,系统力量训练后运动肌表面肌电图信号的振幅增加<sup>[25]</sup>。肌电图振幅增加反映出运动单位的同步化活动增加,一般被认为是运动单位募集和激发率增加所引起,这依次又会增加力量的输出<sup>[25-27]</sup>。研究认为,抗阻训练可导致等动性肌肉力量增加,同时主动肌肌电图活动增加<sup>[28]</sup>。作为对抗阻训练的反应,力量的获得与肌电图振幅的增加相一致。

研究者曾采用积分肌电图研究随意抗阻训练停止后肌电图变化情况。Narici 等<sup>[2]</sup>报道,停止训练期间等长 MVC 和积分肌电图下降。基于这一研究结果,研究者认为,停止训练期间肌肉力量的变化应从中枢神经因素加以解释。Hakkinen 等<sup>[29]</sup>研究发现,膝伸肌 MVC 和肌电图在停止训练后 4 周显著下降,其原因可能是由于发生在中枢神经系统的脊髓或脊髓以上水平的运动募集或激活率减少所引起;认为确定多长训练期对于阻止训练以后神经传动能力的减损非常必需。

研究发现,3 个月抗阻训练后,主动肌肌电图在 30 (°)/s 增加 10%;经过 3 个月停止训练,训练介导的

力量获得在 30 和 240 (°)/s 返回到训练前水平,同时主动肌肌电图在 30 (°)/s 显著降低,返回到训练前水平;而被动肌肌电图无显著变化<sup>[30]</sup>;说明停止训练后,在慢角速度时肌肉运动单位募集和激活受抑。研究同时发现,最大无负荷肢体运动期间的主动肌和被动肌肌电图活动,在整个研究中自始至终保持不变;但随着停止训练一种更高的电诱发力量发展速率却增加 23%,认为肌肉的兴奋-收缩耦联或横桥摆动循环速率被加强<sup>[30]</sup>。停止训练后肌电图活动的变化被认为是中枢和外周因素联合作用的结果。

研究表明,渐进性单侧等张抗阻训练后,训练肢体的 MVC 和积分肌电图值均显著性增加;6 周停止训练后 MVC 显著性降低,积分肌电图值变化不明显<sup>[19]</sup>;说明训练肢体运动单位的募集及同步化活动在 6 周停止训练后被部分保留。Gondin 等<sup>[14, 31]</sup>研究,采用 8 周等长电刺激训练,可引起随意肌肉力量和肌电图活动减少,认为发生了膝关节伸肌神经传动的损伤。进一步的研究发现,4 周停训后膝关节的单关节伸肌肌电图/M 波振幅的平方根 (root mean square of eMG/M-wave amplitude, RMS/M) 的显著性减少,而双关节肌股直肌的肌电图活动却没有任何变化发生;表明电刺激训练后的停止训练可引起选择性神经传动的减弱、运动单位募集和激发水平下降。

### 2.4.2 停止训练与运动神经元兴奋性和脊髓反射的变化

通过诱发肌电图技术,对外周神经给与一定条件的刺激,可诱发产生的肌纤维动作电位;其中 M 波、H 波是诱发肌电图的主要波形成分。H 波,又称 H 反射,是 Ia 类感觉传入神经纤维受到刺激而诱发脊髓前角  $\alpha$ -运动神经元产生的单突触反射电位,其振幅反映脊髓  $\alpha$ -运动神经元被动员的总量<sup>[32-33]</sup>。M 波是  $\alpha$ -运动传出神经纤维受到刺激时产生的骨骼肌复合电位,其最大值反映了由运动神经纤维至肌纤维细胞的兴奋传导状态<sup>[28, 34]</sup>。由于 M 波振幅的变化容易对 H 波振幅变化产生影响,所以 H/Mmax 的变化更能直接地反映  $\alpha$ -运动神经元的兴奋性<sup>[35]</sup>。

Gondin 等<sup>[16]</sup>研究,采用 5 周等长电刺激训练后 5 周的停止训练的方法,发现在训练和停止训练期,比目鱼肌和腓肠肌  $H_{max}/M_{max}$  比率均无显著变化。有学者提出,安静时 H-反射的测量可能并不会客观地反映出活动期间脊髓路线的状态,引起反射的测量应该在 MVC 期间来完成;可分别以安静状态( $H_{max}/M_{max}$ )和活动条件下( $H_{sup}/M_{sup}$ )振幅比率来评价 Ia 传入激活运动单位的情况<sup>[36-37]</sup>。研究发现,电刺激训练停训后,尽管 MVC 期间比目鱼肌和腓肠肌的  $H_{sup}$  和  $M_{sup}$  比安静状态的  $H_{max}$  和  $M_{max}$  显著增高,但  $H_{sup}/M_{sup}$  比率亦无明显变化<sup>[16]</sup>;既无论在安静状态还是在 MVC 期间 H-反射均未发生任何显著性变化,说明停止电刺激训练 5 周不会引起 Ia

型肌纤维的肌梭传入和  $\alpha$ -运动神经元池之间的反射传动能力的变化。

检测各自肌肉小 M 波前的  $MH_{max}$  和  $MH_{sup}$  和最大 M 波 ( $M_{max}$  和  $M_{sup}$ )，确定  $MH_{sup}/M_{sup}$  的比例，并与  $MH_{max}/M_{max}$  比例相对比，以确定相同运动神经元被刺激激活的比例；结果，无论在安静状态还是在 MVC 期间  $Mh_{max}/M_{max}$  和  $MH_{sup}/M_{sup}$  比率没有观察到明显的变化和显著性相关<sup>[16]</sup>。

研究发现，在主动的肌肉拉长和被动肌肉拉长期间 H-反射减弱；表现为肌肉拉长引起运动神经元兴奋水平下降和/或 Ia 传入神经元的突触前抑制增加，从而影响肌梭的神经反馈<sup>[32, 38]</sup>。研究表明，无训练受试者在最大离心收缩期间，高尔基腱器官呈现出成比例地放电以增加肌肉的力量，同时大量的自然发生的运动神经元又抑制高尔基腱器官<sup>[39-40]</sup>。脊髓水平的中间神经元受到更高的皮质中枢下传途径的影响<sup>[41]</sup>，允许棘上(脊髓上)的途径调节兴奋或抑制传输到运动神经元。力量训练介导的神经适应可能发生在神经系统的几个水平上<sup>[37, 42]</sup>。Lars 等<sup>[5]</sup>研究发现，先前无训练受试者抗阻训练后经过 3 个月的停止训练，肌肉力量和肌电图在向心收缩期间返回到训练前水平，而在最大离心收缩期间继续保存，认为大重量抗阻力练习导致先前无训练受试者最大离心收缩期间肌肉力量和神经适应长期保存，其神经学机制可能来自高尔基腱器官和肌梭的反馈。

**2.4.3 停止训练与脊髓以上神经功能的变化** 研究发现，比目鱼肌和腓肠肌随意肌肉收缩期间 H-反射振幅保持不变，但与 H-反射不同记录的意识波(V-波)则随着 5 周的电刺激训练法训练而增加<sup>[36]</sup>，提示训练能够引起脊髓内或脊髓以上神经功能的变化。一般认为，V-波反映出 H-反射的变化，反映肌肉收缩期间从脊髓  $\alpha$ -运动神经元兴奋传出的水平，已用来检测抗阻训练对神经功能的作用<sup>[37]</sup>。

几项研究展示出电刺激训练法期间大脑皮质被显著激活和患者皮质对于电刺激训练法训练的反应<sup>[43-44]</sup>，随着对皮质区域的刺激，运动功能得以改善。电刺激训练法训练可以用于肢体固定后保护神经传动的能力。研究发现，电刺激训练法训练可引起比目鱼肌和腓肠肌 V-波振幅增强，相同时间的停止训练可使 V-波振幅的增强得以保存，通过随意收缩叠加技术获得的结果， $V/M_{sup}$  比率与训练后观察到结果一致<sup>[16]</sup>；说明训练能够引起脊髓内或棘点(脊髓以上的)的变化，停止训练后神经传动功能的保存部分机制应归于棘上的(脊髓以上的)和/或脊髓水平功能的保护<sup>[37]</sup>。同时，V-波的调节也能够部分地说明脊髓因素，即不能改变 Ia 型传入神经元和  $\alpha$ -运动神经元之间的传动效率，因为 H-反射和 V-波反应之间的刺激强度存在差异<sup>[36-37]</sup>。因此，要决定是否 V-波振幅的变化完全是由于脊髓因素、棘上因素或两者

共同造成显然是非常困难的。

几项研究认为，慢性刺激引发的高位中枢结构上神经适应性变化是可逆的。Kleim 等<sup>[45]</sup>利用特殊环境条件与简单的运动活动条件，证明运动技能的学习，即非机动性活动，导致小脑皮质 Purkinje 细胞密度减小；当中断特殊的环境条件，这种特殊和复杂环境条件的神经适应性作用可能会逆转或停止。研究发现，随着 3 周的重复抑制应激，内侧前额叶皮质锥体神经元的分枝数目大量减少，到 6 周末经历了一次完全的逆转<sup>[46]</sup>。

研究认为，70 d 的运动训练导致脑导管周围灰质、下丘脑后区、孤束核和楔形核的树突衰减，这些变化在停止训练 50 d 完全逆转<sup>[47]</sup>。内侧额叶皮质顶上树突对 3 周抑制性应激通过 3 周的恢复也经历了相似的变化<sup>[46]</sup>。研究证实，伴随运动训练和停止训练后，大脑的心肺和运动中枢出现结构上的神经可塑性<sup>[47-48]</sup>。

### 3 小结

停止训练对机体的影响已引起运动员和教练员的高度重视，许多学者的研究从不同角度涉及到停止训练后最大随意收缩力、骨骼肌的神经调控及其可能性机制问题。研究表明，一定持续时间的停止训练可引起 MVC 下降，影响因素包括骨骼肌本身、脊髓及脊髓以上中枢；同时，由于运动训练模式、肌肉收缩形式、测试部位、停止训练的状况等不同，可能会使 MVC 及相关神经学适应在停止训练期间被不同程度地保留下来。随着研究方法的不断革新，许多研究从运动单位募集和激发水平的变化、运动神经元兴奋性和脊髓反射的变化、脊髓以上神经功能的变化等方面探讨停止训练期间肌肉力量神经调控能力变化的可能性机制。

### 4 参考文献

- [1] Wilmore JH, Costill DC. Physiology of Sport and Exercise. Champaign: Human Kinetics. 1994:309-315.
- [2] Narici MV, Roi GS, Landoni L, et al. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1989;59(4):310-319.
- [3] Colliander EB, Tesch PA. Effects of detraining following short term resistance training on eccentric and concentric muscle strength. Acta Physiol Scand. 1992;144(1):23-29.
- [4] Häkkinen K, Alén M, Komi PV. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. Acta Physiol Scand. 1985;125(4):573-585.
- [5] Andersen LL, Andersen JL, Magnusson SP, et al. Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. Eur J Appl Physiol. 2005;93(5-6): 511-518.
- [6] Hortobágyi T, Houmard JA, Stevenson JR, et al. The effects of detraining on power athletes. Med Sci Sports Exerc. 1993;25(8): 929-935.
- [7] Mujika I, Padilla S. Muscular characteristics of detraining in humans. Med Sci Sports Exerc. 2001;33(8):1297-1303.
- [8] Kraemer WJ, Koziris LP, Ratamess NA, et al. Detraining produces minimal changes in physical performance and hormonal variables in recreationally strength-trained men. J Strength Cond Res. 2002; 16(3):373-382.

- [9] Lemmer JT, Hurlbut DE, Martel GF, et al. Age and gender responses to strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(8):1505-1512.
- [10] Staron RS, Leonardi MJ, Karapondo DL, et al. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol.* 1991;70(2):631-640.
- [11] Kern H, Salmons S, Mayr W, et al. Recovery of long-term denervated human muscles induced by electrical stimulation. *Muscle Nerve.* 2005;31(1):98-101.
- [12] Maffiuletti NA, Pensini M, Martin A. Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. *J Appl Physiol.* 2002;92(4):1383-1392.
- [13] Quittan M, Wiesinger GF, Sturm B, et al. Improvement of thigh muscles by neuromuscular electrical stimulation in patients with refractory heart failure: a single-blind, randomized, controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2001;80(3):206-216,224.
- [14] Gondin J, Guette M, Ballay Y, et al. Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol.* 2006;97(2):165-173.
- [15] Marqueste T, Hug F, Decherchi P, et al. Changes in neuromuscular function after training by functional electrical stimulation. *Muscle Nerve.* 2003;28(2):181-188.
- [16] Gondin J, Duclay J, Martin A. Neural drive preservation after detraining following neuromuscular electrical stimulation training. *Neurosci Lett.* 2006;409(3):210-214.
- [17] Colliander EB, Tesch PA. Effects of detraining following short term resistance training on eccentric and concentric muscle strength. *Acta Physiol Scand.* 1992;144(1):23-29.
- [18] Housh TJ, Housh DJ, Weir JP, et al. Effects of eccentric-only resistance training and detraining. *Int J Sports Med.* 1996;17(2):145-148.
- [19] Shima N, Ishida K, Katayama K, et al. Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86(4):287-294.
- [20] Kubo K, Akima H, Ushiyama J, et al. Effects of 20 days of bed rest on the viscoelastic properties of tendon structures in lower limb muscles. *Br J Sports Med.* 2004;38(3):324-330.
- [21] Shield A, Zhou S. Assessing voluntary muscle activation with the twitch interpolation technique. *Sports Med.* 2004;34(4):253-267.
- [22] Allen GM, Gandevia SC, McKenzie DK. Reliability of measurements of muscle strength and voluntary activation using twitch interpolation. *Muscle Nerve.* 1995;18(6):593-600.
- [23] Herbert RD, Dean C, Gandevia SC. Effects of real and imagined training on voluntary muscle activation during maximal isometric contractions. *Acta Physiol Scand.* 1998;163(4):361-368.
- [24] Miller M, Downham D, Lexell J. Superimposed single impulse and pulse train electrical stimulation: A quantitative assessment during submaximal isometric knee extension in young, healthy men. *Muscle Nerve.* 1999;22(8):1038-1046.
- [25] Yao W, Fuglevand RJ, Enoka RM. Motor-unit synchronization increases EMG amplitude and decreases force steadiness of simulated contractions. *J Neurophysiol.* 2000;83(1):441-452.
- [26] Suzuki H, Conwit RA, Stashuk D, et al. Relationships between surface-detected EMG signals and motor unit activation. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(9):1509-1517.
- [27] Day SJ, Hulliger M. Experimental simulation of cat electromyogram: evidence for algebraic summation of motor-unit action-potential trains. *J Neurophysiol.* 2001;86(5):2144-2158.
- [28] Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, et al. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol.* 2000;89(6):2249-2257.
- [29] Häkkinen K, Komi PV. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc.* 1983;15(6):455-460.
- [30] Andersen LL, Andersen JL, Magnusson SP, et al. Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J Appl Physiol.* 2005;99(1):87-94.
- [31] Gondin J, Guette M, Ballay Y, et al. Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(8):1291-1299.
- [32] Abbruzzese G, Morena M, Spadavecchia L, et al. Response of arm flexor muscles to magnetic and electrical brain stimulation during shortening and lengthening tasks in man. *J Physiol.* 1994;481 ( Pt 2):499-507.
- [33] Kasai T, Kawanishi M, Yahagi S. Posture-dependent modulation of reciprocal inhibition upon initiation of ankle dorsiflexion in man. *Brain Res.* 1998;792(1):159-163.
- [34] Bellemare F, Garzaniti N. Failure of neuromuscular propagation during human maximal voluntary contraction. *J Appl Physiol.* 1988;64(3):1084-1093.
- [35] Ongerboer de Visser BW, Bour LJ, Koelman JH, et al. Cumulative vibratory indices and the H/M ratio of the soleus H-reflex: a quantitative study in control and spastic subjects. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1989;73(2):162-166.
- [36] Gondin J, Duclay J, Martin A. Soleus- and gastrocnemii-evoked V-wave responses increase after neuromuscular electrical stimulation training. *J Neurophysiol.* 2006;95(6):3328-3335.
- [37] Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, et al. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol.* 2002;92(6):2309-2318.
- [38] Pinniger GJ, Nordlund M, Steele JR, et al. H-reflex modulation during passive lengthening and shortening of the human triceps surae. *J Physiol.* 2001;534(Pt 3):913-923.
- [39] Kellis E, Baltzopoulos V. Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(11):1616-1623.
- [40] Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, et al. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol.* 2000;89(6):2249-2257.
- [41] Bawa P, Chalmers GR, Jones KE, et al. Control of the wrist joint in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2000;83(2-3):116-127.
- [42] Bawa P. Neural control of motor output: can training change it? *Exerc Sport Sci Rev.* 2002;30(2):59-63.
- [43] Smith GV, Alon G, Roys SR, et al. Functional MRI determination of a dose-response relationship to lower extremity neuromuscular electrical stimulation in healthy subjects. *Exp Brain Res.* 2003;150(1):33-39.
- [44] Kimberley TJ, Lewis SM, Auerbach EJ, et al. Electrical stimulation driving functional improvements and cortical changes in subjects with stroke. *Exp Brain Res.* 2004;154(4):450-460.
- [45] Kleim JA, Vij K, Ballard DH, et al. Learning-dependent synaptic modifications in the cerebellar cortex of the adult rat persist for at least four weeks. *J Neurosci.* 1997;17(2):717-721.
- [46] Radley JJ, Rocher AB, Janssen WG, et al. Reversibility of apical dendritic retraction in the rat medial prefrontal cortex following repeated stress. *Exp Neurol.* 2005;196(1):199-203.
- [47] Nelson AJ, Iwamoto GA. Reversibility of exercise-induced dendritic attenuation in brain cardiorespiratory and locomotor areas following exercise detraining. *J Appl Physiol.* 2006;101(4):1243-1251.
- [48] Nelson AJ, Juraska JM, Musch TI, et al. Neuroplastic adaptations to exercise: neuronal remodeling in cardiorespiratory and locomotor areas. *J Appl Physiol.* 2005;99(6):2312-2322.

**关于作者:** 文章由第一作者进行资料收集、成文及审核。

**基金资助:** 山东省教育厅科技计划项目(J06L56)。

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**此问题的已知信息:** 减少或中止运动训练可造成训练所获得的结构和生理机能的良好变化部分或完全消失, 运动成绩也随之下降, 也可引起训练诱导的骨骼肌结构和机能的适应性变化完全或部分地逆转。

**本综述增加的新信息:** 持续停止训练可引起最大随意收缩力下降, 同时, 由于运动训练模式、肌肉收缩形式、测试部位、停止训练的状况等不同, 可能会使最大随意收缩力及相关神经学适应在停止训练期间被不同程度地保留下来。