

文章编号:1004-7220(2013)03-0263-06

· 中医专栏 ·

太极拳白鹤亮翅对下肢肌电活动的影响

刘庆广, 黄强民

(上海体育学院 运动医学教研室, 上海 200438)

摘要: **目的** 通过对比太极拳初学者和太极拳运动员白鹤亮翅动作关节角度活动变化、压力中心(center of pressure, COP)变化和肌肉活动特点,分析运动员是如何通过肌肉活动控制其白鹤亮翅的姿势平衡。**方法** 太极拳运动员和初学者分两组各10人。记录太极白鹤亮翅动作时双下肢10块骨骼肌表面肌电图、双下肢3大关节的二维角运动和COP在侧方和前后的移位。每次试验8s完成,重复5次。统计处理后,做肌电运动和平衡分析;其中肌电数据做标准化处理,并比较太极拳运动员和初学者的异同。**结果** 运动员组支撑腿胫骨前肌、股二头肌、臀中肌的肌电活动表现为显著高于初学者同侧腿骨骼肌的肌电活动;运动员组虚步腿的腓肠肌和股直肌的肌电活动显著高于初学组同侧同名肌。运动员组下肢3大关节最大平均活动角度比初学组大,支撑腿髋关节显著高于初学组同侧同关节。运动员组COP前后方向位移显著小于初学组。**结论** 运动员可以通过肌肉活动的增强对抗COP的移位,保持姿势平衡稳定,而初学者COP前后移位失控时并没表现出积极的肌肉活动。初步解释了太极拳练习能提高人体下肢肌肉力量和平衡控制能力的原因。

关键词: 太极拳; 下肢; 关节运动; 压力中心; 肌电活动; 平衡控制

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

EMG characteristics of lower extremities during movement of white crane spreads its wings in Tai Chi Quan

LIU Qing-guang, HUANG Qiang-min(*Department of Sports Medicine, Shanghai Sports College, Shanghai 200438, China*)

Abstract: Objective To analyze how the athletes control postural balance through observing their joint angular motion change, center of pressure (COP) change and EMG activities of lower extremities for both athletes and beginners when performing the movement of white crane spreads its wings in Tai Chi Quan. **Methods** Twenty subjects were divided into 2 groups as 10 athletes and 10 beginners of Tai Chi Quan in each. When performing the movement of white crane spreads its wings, their EMG activities of 10 skeletal muscles, two-dimensional angular motion of 3 large joints in bilateral lower extremities, and COP displacements in lateral and anterior-posterior directions were recorded. Each performing trial took 8 seconds and repeated 5 times. All data were statistically processed for EMG, motion and balance analysis, and the EMG data were normalized to compare the differences between the athletes and beginners of Tai Chi Quan. **Results** The EMG activities of tibialis anterior (Ta), biceps femur (bF), gluteus medium (Gm) in support leg of athletes were significantly greater than those of the ipsilateral muscles in support leg of beginners, and the same was the EMG activities of gastrocnemius (G) and rectus femur (rF) in virtual leg of athletes compared with the beginners. The maximal average angular motion of 3 large joints and the coxa joint motion of support leg in athletes were both significantly greater than that in beginners, but the anterior-posterior COP displacement in athletes was significantly smaller than that in beginners. **Conclusions** When performing the movement of white crane spreads its wings in Tai Chi Quan, athletes could oppose the COP change by enhancing muscle activities to maintain the postural balance, while beginners couldn't make

收稿日期:2012-11-22; 修回日期:2013-01-03

基金项目:运动健身科技省部共建教育部重点实验室资助。

通信作者:黄强民, 主任医师, 教授, E-mail: huaqia404@yahoo.com.cn。

such active muscle activities against the uncontrolled anterior-posterior COP displacement. This may preliminarily explain the reason why Tai Chi Quan exercise can improve the muscle strength in lower extremities and enhance the ability of postural control.

Key words: Tai Chi Quan; Lower extremity; Joint movement; Electromyography (EMG) activity; Postural balance

太极拳作为中国古老的一种武术,具有自身鲜明特色的姿势和动作技术。太极拳白鹤亮翅动作分为两个部分:前部动作是一个连续的活动动作,对平

衡要求不同于后部动作;后部动作是真正含义的亮翅动作,双臂分张开如鹤之展翅,一脚实一脚虚,手臂上展下按,悬顶圆裆(见图1)。



图1 太极拳白鹤亮翅动作示意图

Fig.1 Illustration of performing the white crane spreads its wings in Tai Chi Quan (a) Ready, (b) Commencing from, (c) White crane spreads its wings-step 1, (d) White crane spreads its wings-step 2, (e) White crane spreads its wings-step 3, (f) Closing form, (g) End

在太极拳初学练习中,太极拳练习者通常会出现站姿不稳的现象。然而这些变化无法通过肉眼观察,需要一个客观的标准来规范和评价每个动作技术。太极拳白鹤亮翅动作涉及到平衡和虚步腿两项同步任务。太极拳运动员的适应性前馈和反馈控制回路已经建立,能够同时接受2个命令,显现下肢肌协调活动,产生稳定的姿势,从而能有效地完成目标任务^[1]。下肢肌肉力量和控制能力对人体姿势的控制是至关重要的因素^[2-3]。刘强^[4]等发现太极振动复合式训练对肌梭刺激较大,从而提高 γ 反射弧兴奋性,故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。Christou等^[5]认为太极拳练习能够改善人体下肢原动肌和对抗肌的协调触发能力,长时间太极拳练习后能够提高肌肉控制稳定性。

对于初学太极拳运动的学习者,由于无法适应和协调动作,会显现不稳定的下肢肌协调活动现象,无法更好地稳定单腿姿势,故无法完美地完成目标任务。因此,本研究假设太极拳运动员能够协调发动某些下肢骨骼肌的活动以保持下肢支撑腿的姿势平衡,

完成白鹤亮翅动作。通过 Biovision 表面肌电图仪、Vicon 三维红外线摄像关节运动轨迹和解析系统、Kistler 测力平台等设备记录运动时肌电活动、运动轨迹、压力中心(center of pressure, COP)变化等,分析和演绎太极拳白鹤亮翅动作和肌肉间活动规律。

1 研究方法

1.1 实验对象

20名上海体育学院的正常、健康的学生,自愿参加。运动员组10人,太极拳锻炼持续3年以上,平均年龄(24.5 ± 1.90)岁、身高(1.71 ± 0.04)m、体重(67.5 ± 8.98)kg;初学者组10人,太极拳锻炼在半年以内,平均年龄(25 ± 1.3)岁、身高(1.77 ± 0.04)m、体重(69.5 ± 12.01)kg。

1.2 材料与方法

执行任务期间记录双侧下肢胫骨前肌(TA)、腓肠肌(G)、股直肌(rF)、股二头肌(bF)、臀中肌(Gm)在运动中的活动(16通道肌电图与生物信号测量分析系统, Biovision, 德国),软件为 DasyLab

7.0, 采样频率为 1 kHz, 肌电图电极位置见表 1。同步记录足底在不同任务下三维力系的改变 (Kistler 瑞士, 采样频率 1.2 kHz), 并通过它们计算 COP 位移。VICON 三维运动解析仪的摄像机同步记录下肢关节的角运动 (8 台高解析度摄像机, MX13, Workstation 5.1, 英国; 采样频率 120 Hz), 摄像机的认证点见表 2。

表 1 表面肌电电极的位置

Tab. 1 Places of sEMG electrodes

骨骼肌名称	位置
胫骨前肌	胫骨粗隆下方 1 cm, 胫骨外侧
腓肠肌外侧头	腓肠肌外侧下缘上方, 肌肉收缩最隆起处
股直肌	大腿前面正中线上中部
股二头肌	臀横纹至膝中心连线上 1/3, 外侧处
臀中肌	髂前上棘和骶骨连线的中 1/3

表 2 摄像机认证点位置

Tab. 2 Places of camera identical points

位置	个数	位置	个数
左/右髌峰最高点	2	左/右内踝	2
左/右髌前上棘点	2	左/右第 5 跖骨外侧	2
左/右髌后上峰点	2	左/右第 1 跖骨内侧	2
左/右大转子尖点	2	节段跟踪点左/右大腿外侧	2
左/右股骨内侧、外侧髌点	4	节段跟踪点左/右足跟后	2
左/右外踝	2	节段跟踪点左/右大趾脚尖部	2

试验前, 受试者被交代和熟悉试验过程, 受试者腿贴附反光球和肌电电极, 测力平台于足底, 周围墙面置 8 台发红光的摄像机, 可追踪各个面的反光球运动轨迹, 并用电脑收录, 通过 VICON 自动整合和计算数据。10 min 热身运动后, 受试者站在清零后的测力台上, 做好起势准备, 当听到命令“开始”后, 8 s 内跟随节拍器的信号完成太极白鹤亮翅的后部动作 (见图 2)。8 台摄像机同步追踪运动的始末, 重复 5 次。试验中, 同步记录的肌电、足底平衡力系、运动轨迹信号, 并存储于电脑内, 留在试验后分析。

1.3 数据处理

所有从试验仪器采集的参数通过 MicroCal Origin 7.0 软件处理, 计算其个体和总体平均值和标准差, 并进行单因素方差检验分析, 显著性水平均定在 0.05。

1.3.1 肌电资料的处理

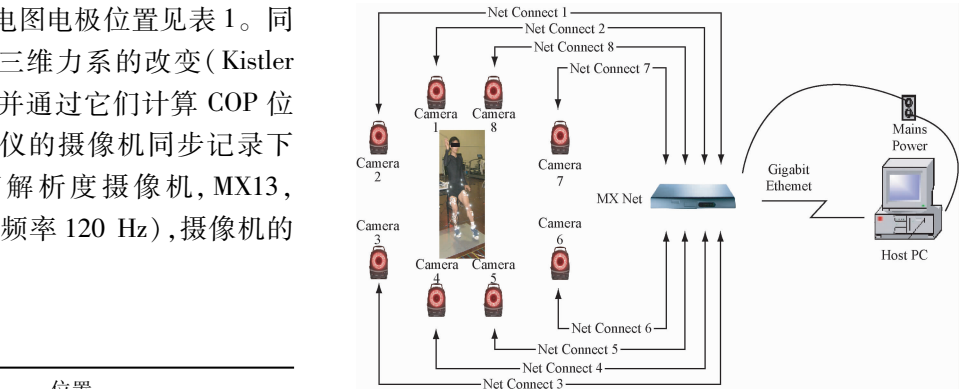


图 2 受试者在试验过程中的示意图

Fig. 2 Schematic diagram of subjects during the test

10 ~ 350 Hz 的带通滤波和正波化处理, 做 50 点平均的平滑处理。取稳定 2 s 内的肌肉最大自主收缩 (maximum voluntary contraction, MVC) 肌电信号的平均值。每次试验的肌电图数据与对应肌肉的 MVC 平均值做标准化处理^[6]。即太极拳练习中, 每块肌肉肌电信号占最大肌肉收缩时肌电信号百分比 (%)。将 5 次试验 MVC 百分比的各肌肉平均肌电信号再做平均, 最后计算总体样本每块骨骼肌肌电活动的平均值和标准差。

1.3.2 运动学资料的处理 设置 Vicon 三维摄像运动轨迹和使用 Visual 3D 软件和上海体育学院生物力学实验室人体运动图像分析软件对数据进行分析。计算和提供所有双侧腿的踝关节、膝关节、髌关节的二维 (伸和屈) 角运动曲线。左/右侧髌关节角度为: 左/右侧髌前上棘点、左/右侧大转子及左/右侧侧股骨外侧髌点所成角度; 左/右侧膝关节角度为: 左/右侧大转子、左/右侧侧股骨外侧髌点及左/右侧外踝; 左/右侧踝关节角度为: 左/右侧股骨外侧髌点、左/右侧左/右侧外踝及左/右侧第 1 趾骨内侧。

分析时将基线归零, 然后对这些关节运动曲线做积分计算, 测量最大动作角度, 其中负值表示关节屈, 正值表示关节伸; 计算其平均值和标准差。

1.3.3 平衡资料的处理 通过参数 3D 足底力矩和力计算出 COP 的前后 (Y) 和侧方 (X) 位移曲线, 做 5 点的平滑处理, 计算测量最高幅度的积分值以及其均值和标准差。

2 结果

2.1 肌电图

图 3 所示为运动员和初学者两个受试者的典型

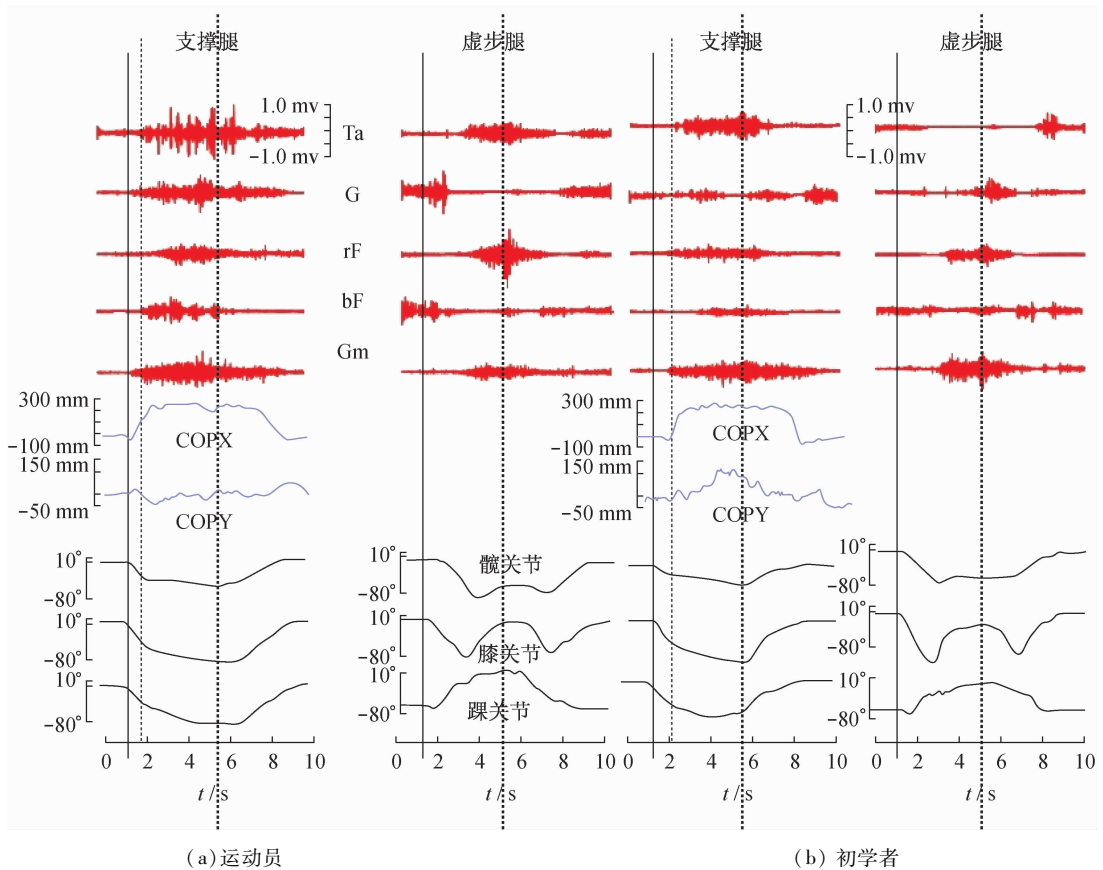


图3 两个受试者典型肌电活动、压力中心移位和关节角运动曲线示意图

Fig.3 Schematic of typical EMG activity, COP displacement and the joint angular motion curve for two subjects (a) Athlete, (b) Beginner

Ta-胫骨前肌, G-腓肠肌, rF-股直肌, bF-股二头肌, Gm-臀中肌, COPX-前后位 COP 位移, COPY-侧方位 COP 位移

肌电活动、关节角运动曲线和 COP 移位。两组图内各个图形排列一致,动作开始的位置以直实线连贯表示。其中,每个受试者 10 块肌肉的肌电图,从上到下,支撑腿和虚步腿,依次是臀中肌、股二头肌、股直肌、腓肠肌、胫骨前肌,双侧腿同名肌对称,单位 mV。由图 3 可知,运动员支撑腿胫骨前肌、股二头肌、臀中肌肌电活动均比初学者组的同侧同名骨骼肌的肌电活动高($P < 0.05$)。运动员组虚步腿腓肠肌和股直肌比初学者组高($P < 0.05$)。两组所有骨骼肌的肌电活动以运动员组支撑腿胫骨前肌的肌电活动最大($P < 0.05$)。由表 3 可知,同名 4 个组(表中横向比较)和同侧不同名肌的 5 组(表中纵向比较)表现出最大的肌电活动。

2.2 关节角度

运动员支撑腿膝关节、踝关节的运动最大平均角度和初学者无显著差异。运动员的髋关节角度要比初学者大($P < 0.05$,见表 4)。当太极拳伸腿虚步时,初学者虚步腿的膝关节的关节角度与运动员

同侧同名关节相比无显著差异。

2.3 COP 位移

两组 COP 左右方向的偏移基本相同,而初学者组前后方向位移显著大于运动员组。太极拳和初学者侧方压力中心向支撑腿侧分别为(271.80 ± 46.23)和(272.05 ± 50.32) mm,意味着重力向支撑腿位置偏移,以单腿支撑;运动员支撑腿的前后 COP 的位移和初学者相比具有显著差异($P < 0.05$,见表 5)。

3 讨论

3.1 太极拳白鹤亮翅动作的肌电活动规律

3.1.1 支撑腿的稳定控制 太极拳练习中,为了使动作连贯和平稳,每块肌肉用力都需要很好地适应移动和保持动作的稳定性^[7]。太极拳运动员各肌肉肌电活动表出现明显的变化以适应白鹤亮翅动作的变化。对单腿支撑的研究发现单脚站立使身体重

表3 太极拳白鹤亮翅动作下肢各测试肌的肌电活动标准化后的平均值和标准差(% EMG)

Tab.3 Normalized average EMG and SD of lower extremities during the movement of white crane spreads its wings

骨骼肌名称	初学者对照组		运动员组	
	虚腿	支撑腿	虚腿	支撑腿
臀中肌	11.42 ± 7.98	15.16 ± 3.28	8.95 ± 6.43	22.04 ± 9.34*♦
股二头肌	5.95 ± 5.44	7.91 ± 2.64	8.00 ± 4.42	10.98 ± 4.19*
股直肌	10.75 ± 6.31	6.01 ± 5.29	20.58 ± 7.98*♦	9.02 ± 4.92
腓肠肌	16.45 ± 4.27	15.69 ± 4.93	25.46 ± 11.75*♦	15.34 ± 7.74
胫骨前肌	11.29 ± 5.35	27.97 ± 7.17▲♦	10.24 ± 5.17	36.48 ± 9.96*▲♦

注:两组同侧同名肌间均值对比,*P<0.05;两组所有4块同名肌间均值对比,▲P<0.05;组内5块不同名肌均值对比,♦P<0.05

表4 太极拳白鹤亮翅动作下肢各关节最大平均角位移

Tab.4 The maximum average lower extremity joint angular motion when performing the movement of white crane spreads its wings

关节	初学者组/(°)		运动员组/(°)	
	虚步腿	支撑腿	虚步腿	支撑腿
髋关节	-36.79 ± 8.72	-12.92 ± 4.53	-36.54 ± 8.19	-18.86 ± 5.96*
膝关节	-62.08 ± 8.37	-55.87 ± 6.70	-59.70 ± 9.53	-59.66 ± 9.56
踝关节	38.35 ± 5.89	-29.02 ± 3.12	43.54 ± 6.35	-32.31 ± 4.45

注:髋/膝关节负值示意关节屈曲,正值是伸;踝关节负值示意背屈,正值是跖屈;*P<0.05

表5 太极拳白鹤亮翅动作压力中心的位移(*P<0.05)

Tab.5 COP displacement during the movement of white crane spreads its wings

组别	COP 左右方向位移/mm	COP 前后方向位移/mm
太极拳组	271.80 ± 46.23	59.90 ± 16.24
初学者组	272.05 ± 50.32	89.51 ± 25.18*

心移向支撑脚,造成不对称并且不稳固的姿势^[8]。太极拳白鹤亮翅动作单腿支撑时,同样出现不稳定的姿势,COP前后位出现较大位移,运动员的肌电活动表现在胫骨前肌和股二头肌的活动,以控制姿势稳定。同时,长时间的单脚支撑状态、维持身体平衡需要有意识的、精确的神经肌控制^[9]。太极拳运动练习过程中存在较长的单脚支撑姿势持续时间,这可能有助于增加肌肉收缩时间,从而增强肌肉力量和神经肌肉的适应。太极拳初学者COP发生变化后,未出现积极的肌电活动。因此,太极拳白鹤亮翅动作对腿部肌肉尤其是胫骨前肌、股二头肌的力量具有良好的作用。对中老年人来说,良好的下肢肌肉力量,可以提高身体平衡能力,减少摔倒频率。

3.1.2 虚步腿运动的控制 太极拳运动员的股直肌和腓肠肌活动显著较大,在这一点上使运动员和初学者之间出现明显差距。运动员股直肌和腓肠肌大活动是为了充分完成伸膝和跖屈的任务,体现了

运动员能完成白鹤亮翅虚步腿伸膝和跖屈的规范动作。这个虚步动作通过肉眼常常无法看出,但是通过生物力学设备和仪器对动作资料的量化,可以清楚地观察和分析到受试者虚步时的肌电活动情况。但是,能否完成虚步腿规范动作还需要有支撑腿良好的姿势平衡控制,否则动作腿不可能轻松完成真正的任务要求。这种情况在太极初学者中出现了运动冲突现象,中枢神经系统(central nervous system, CNS)发出平衡和动作的两个任务会受到因姿势平衡不良的干扰,以致于无法更好完成要求动作。

3.2 太极拳白鹤亮翅动作的运动规律

从太极拳运动员白鹤亮翅动作的支撑腿运动来看,可以将支撑腿的运动分为两个阶段,第1阶段为支撑腿的姿势平衡调节阶段,大约前8s的一半时限。第2阶段为支撑腿的收势阶段。在第1阶段中,支撑腿3个关节(髋、膝、踝)联动快速屈曲降低重心,若降低不足3个关节继续减慢速度屈曲,达到支撑腿姿势平衡,以对抗动作腿虚腿的动作干扰。第2阶段虚步动作腿回撤,支撑腿的3个关节也相应伸直收势。两组受试者的下肢在白鹤亮翅时姿势运动没有明显的区别。

尽管白鹤亮翅时在下肢运动方面运动员和初学者两组间并没有特殊角运动量和曲线形态上的差

别;但是,两组间肌电活动和前后位 COP 具有显著性差异,这与机体姿势平衡有密切的关系。

3.3 太极拳白鹤亮翅动作的平衡控制

步态研究发现起动时 COP 运动轨迹在整体上表现为先向摆动腿外侧后移再横移至支撑腿的“W”型^[10]。白鹤亮翅动作压力中心同样因为重心变化发生了移位,但与步态研究发现的移位特点不同,这是由两者不同动作特点所致。太极拳白鹤亮翅是单腿支撑的动作,太极拳白鹤亮翅动作支撑腿呈左右位呈“n”形;前后位太极拳运动员呈直线形,太极拳初学者呈倒“V”形,太极拳运动员支撑腿前后位更加稳定。同时单腿支撑的不平衡特点容易导致姿势容易发生侧向姿势的干扰。突发侧向姿势干扰的研究中发现胫骨前肌、臀中肌和竖脊肌的神经肌肉随之出现较大的肌电活动来对抗这种变化^[12]。太极拳白鹤亮翅动作同样是侧向姿势的干扰,导致运动员出现较大位移和胫骨前肌和股二头肌较高活动,大大减小 COP 的位移,保证亮翅时的姿势平衡。这种情况只在太极拳运动员组出现。Nakamura 等^[13]发现 COP 位移的增大不仅增加肌电活动,而且也增加下肢参与活动的肌肉数目。这种现象两组都一样,因为两组都表现了股直肌在屈膝时收缩、伸膝时放松的现象;但是运动员组表现得更强烈。因此,该项研究的实验证实了本课题组在实验前的假设。由于运动员的肌电活动较为积极,其平衡控制比初学者要好得多,故前后 COP 变化比初学者较小。这一点与太极拳蹬腿表现相同^[14]。

4 结语

综上所述,太极拳练习过程中下肢肌电活动增大。太极拳初学者存在肌电活动较小和 COP 变化过大的现象,提示太极拳初学者在失去姿势平衡后,肌肉不能很好地通过增加肌电活动来减小 COP 的变化。而太极拳运动员能够协调发动某些下肢骨骼肌的活动以保持 COP 在比较小的范围内变化,完成白鹤亮翅动作。本文初步解释了太极拳练习能提高人体下肢肌肉力量和平衡控制能力的原因,并为太极拳练习提高肌肉力量及预防跌倒提供理论基础。

参考文献:

- [1] 朱政,陈佩杰,黄强民. 体育训练中的神经运动控制[J]. 上海体育学院学报, 2007, 31(1):12-14.
- [2] Chan SP, Luk TC, Hong Y. Kinematic and electromyographic analysis of the push movement in tai chi [J]. Br J Sports Med, 2003, 37(4): 339-344.
- [3] Xu DQ, Li JX, Hong Y. Tai Chi movement and proprioceptive training: A kinematics and EMG analysis [J]. Res Sports Med, 2003, 11: 129-143.
- [4] 刘强,杨贵羽,陈婉菁,等. 太极拳结合振动复合式训练对外围神经反射活动的影响[J]. 医用生物力学, 2011, 26(4): 329-334.
- [5] Liu Q, Yang GY, Chen WJ, *et al.* Effects of Tai Chi Chuan combined with vibration training on the reflex activity of peripheral neuron [J]. J Med Biomech, 2011, 26(4): 329-334.
- [6] Christou EA, Yang Y, Rosengren KS. Taiji training improves knee extensor strength and force control in older adults [J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2003, 58(8): 763-766.
- [7] Burden A, Bartlett R. Normalisation of EMG amplitude: An evaluation and comparison of old and new methods [J]. Med Eng Phys, 1999, 21(4): 247-257.
- [8] Wu G, Liu W, Hitt J, *et al.* Spatial, temporal and muscle action patterns of tai chi gait [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2004, 14(3): 343-354.
- [9] Mak MK, Ng PL. Mediolateral sway in single-leg stance is the best discriminator of balance performance for Tai-Chi practitioners [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2003, 84(5): 683-686.
- [10] Xu DQ, Li JX, Hong YL. Tai Chi movement and proprioceptive training: A kinematics and EMG analysis [J]. Res Sports Med, 2003, 11(22): 129-143.
- [11] 孟昭莉,宋航,元文学. 男性青年行走起步步态的实验研究[J]. 医用生物力学, 2010, 25(2): 124-128.
- [12] Meng ZL, Song H, Yuan WX. Investigation on gait initiation in young men [J]. J Med Biomech, 2010, 25(2): 124-128.
- [13] 王少君,徐纳新,万发桃,等. 衰老对侧向姿势干扰下神经肌肉反应的影响[J]. 医用生物力学, 2011, 26(3): 286-290.
- [14] Wang SJ, Xu NX, Wan FT, *et al.* Influence of aging on neuromuscular reaction during lateral perturbation [J]. J Med Biomech, 2011, 26(3): 286-290.
- [15] Nakamura H, Tsuchida T, Mano Y. The assessment of posture control in the elderly using the displacement of the center of pressure after forward platform translation [J]. Electromyogr Kinesiol, 2001, 11(6): 395-403.
- [16] 黄强民,刘庆广,张胜年,等. 太极拳蹬腿动作的下肢肌电活动规律、关节运动类型和平衡控制特征[J]. 体育科学杂志, 2009, 29(7): 55-60.