



# 对踝关节主要屈伸肌群 sEMG 测量标准化验证研究

郭东雪<sup>1</sup>, 黄振<sup>2</sup>, 陈伟<sup>3</sup>, 李小生<sup>1</sup>, 王琨<sup>1\*</sup>

**摘要:** 通过高速摄影、表面肌电图(sEMG)测量以及等速肌力测试等方法对12名体育专业男生进行研究,获取踝关节主要屈伸肌(胫骨前肌和腓肠肌)等速肌力与sEMG之间的关系,以此说明用sEMG来直接评价肌肉用力情况时需进行标准化的必要性及最佳标准化方式。结果表明:相同肌肉收缩过程中,肌力矩值与平均振幅(MA)的变化趋势呈现高度相关,相关系数 $r$ 在0.6以上;不同收缩形式、不同收缩速度下,均方根振幅(RMS)、积分肌电(iEMG)值会随着收缩速度的增加而减小;跳深动作下肢肌肉sEMG标准化后的值与跳深腾起速度之间均有一定的相关性,标准化后以最大随意等长收缩(MVIC)的标准化值与跳深腾起速度的相关性最高。

**关键词:** 表面肌电测试;等速肌力;标准化;跳深

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2019)03-0080-06

DOI:10.12064/ssr.20190312

## Standardized Verification Study on sEMG Measurement of Major Flexors and Extensors of Ankle Joint

GUO Dongxue<sup>1</sup>, HUANG Zhen<sup>2</sup>, CHEN Wei<sup>3</sup>, LI Xiaosheng<sup>1</sup>, WANG Kun<sup>1\*</sup>

(1. Xi'an Physical Education University, Xi'an 710068, China; 2. Shaanxi Railway Institute, Xi'an 710021, China; 3. Xi'an Fuyin Rehabilitation Health Industry Co.,Ltd, Xi'an 714000, China)

**Abstract:** Twelve professional sportsmen were studied to obtain the relationship between sEMG and isokinetic muscle strength of the major flexors and extensors of ankle joint (tibialis anterior and gastrocnemius) through high-speed photography, surface electromyography (sEMG) measurement, and isokinetic strength test. The purpose was to explain the need for standardization and the best standardization method for sEMG to directly evaluate muscle strength. The results showed that during the same muscle contraction, the muscle torque value is highly correlated with the mean amplitude (MA), and the correlation coefficient is above 0.6. The root mean square amplitude (RMS) and integrated electromyogram (iEMG) values decrease with increasing contraction speed under different contraction modes and contraction speeds. There is a certain correlation between the standardized value of the sEMG of the lower limb muscles and the jumping speed under deep jumping movement with the correlation being highest between the maximal voluntary isometric contraction (MVIC) and the jumping speed.

**Key Words:** sEMG test; isokinetic muscle strength; standardization; deep jump

## 0 前言

表面肌电图(sEMG)的测量与分析是肌肉生物力学研究中重要的手段与方法之一,已得到深入研究且应用广泛。sEMG的测量主要是为了获取肌肉

活动的放电情况及收缩特征,主要包括肌肉(群)发力时序、肌肉疲劳与肌肉的收缩强度(力量)等。由于在人体测量中受一些因素(如皮下脂肪厚度、肌纤维类型、肌肉静息长度、肌容积/横截面积、收缩的速

收稿日期:2018-10-18

第一作者简介:郭东雪,女,硕士研究生。主要研究方向:运动生物力学。E-mail:1050193824@qq.com。

\* 通讯作者简介:王琨,男,博士,教授。主要研究方向:运动生物力学。E-mail:791369262@qq.com。

作者单位:1. 西安体育学院 健康科学系,陕西 西安 710068;2. 西安福音康复健康产业有限公司,陕西 西安 710021;

3. 陕西铁路工程职业技术学院体育教学部,陕西 西安 714000。



率、姿势的微小变化、年龄及性别等)和操作过程中的不可控因素(如皮肤阻抗、电极间的距离)的影响<sup>[14]</sup>,因此对不同受试者同一肌肉或同一受试者不同肌肉的 sEMG 测量指标直接进行比较分析是不准确的,对肌肉 sEMG 进行标准化测量则显得尤为重要。

本研究主要对人体运动(体育运动)中受试者各肌肉之间和不同受试者同一肌肉之间的肌肉收缩特征比较分析,并通过比较所获得的跳深动作 sEMG 各参数指标的标准化值与人体静力性和动力性动作中的肌肉各种收缩方式(速度)下的 sEMG 信号标准化值和标准化测量方法进行研究,找出 sEMG 指标的标准化与非标准化之间的差异,为肌肉间和个体间 sEMG 的比较提供科学的理论依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

以体育专业 12 名健康男性大学生为实验对象,运动年限均在 3 年以上,以 sEMG 各参数、等速肌力值以及跳深动作踝关节屈伸肌的 sEMG 为研究对象来获取 sEMG 测量的标准化值并研究标准化前后的差异。实验对象基本情况:年龄为(20.17±0.94)岁,身高为(171.83±3.54) m,体重为(66.33±4.33) kg, BMI 为(22.44±0.3) kg/m<sup>2</sup>。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 sEMG 测试

运用无线遥测肌电测试仪(MegaWin6000,芬兰),采样频率为 1 000 Hz<sup>[5]</sup>,测试肌肉为踝关节伸肌(右侧腓肠肌后段)和屈肌(右侧胫骨前肌),并与等速肌力及高速摄影同步。

#### 1.2.2 踝关节屈伸肌群等速肌力测试

受试者严格按照等速力量测试的规范要求,在等速力量测试系统(ISOMED2000,德国)上完成右侧踝关节伸屈肌群最大随意等长收缩(MVIC)、60°/s、180°/s 的等速向心收缩测试<sup>[6-8]</sup>。每一测试速度下重复完成 5 次屈伸,取峰力矩最大值。

#### 1.2.3 跳深测试

受试者按跳深测试要求完成动作。用一台摄像机(CASIO-FH25,日本)定点拍摄受试者的整个运动过程。机距 10 m,机高 1.2 m,拍摄频率为 120 Hz<sup>[5]</sup>。

## 1.3 数理统计法

### 1.3.1 数据的读取

通过图像解析软件 APAS 获取受试者跳深的腾

空时间,运用运动学公式计算出人体重心的腾起高度及腾起速度。

通过等速测试结果选取所需的动作的力矩值,并确认相应的肌电图时段。通过视频与肌电图的同步进一步精确所需肌电图时段。将峰力矩最大值及 sEMG 各指标(MA、RMS、iEMG)在 Excel 中进行平均值、标准差及标准化值的计算,并绘制相关的数据表格。

### 1.3.2 统计方法

运用 SPSS17.0 统计软件对所获表面肌电参数、动力学参数及运动学参数进行常规的统计学处理并进行数据的相关性分析与独立样本 T 检验(受试者姓名用①~⑫来表示)。

## 2 研究结果

### 2.1 等速肌力与 sEMG 的关系

平均振幅(MA)反映肌电信号的强度,与肌肉参与的运动单位数目的多少及放电频率的同步化变化程度有关<sup>[11,3]</sup>,而力矩值则代表了肌力的大小。本研究选取的是相同时段内的 MA 与力矩值的变化趋势来研究肌力与 sEMG 的关系。

一般认为肌肉用力越大,肌电信号就越强。根据 Kellis、蒋海鹰等人对人体下肢各肌肉肌力及肌电的研究可知等长肌力与肌电之间有一定的线性关系<sup>[10,12]</sup>,也就是两者之间存在一定的相关性。研究发现,MVIC 下伸肌和屈肌肌力矩与 MA 的相关系数 r 分别为 0.81、0.85,与前人研究结果相符。60°/s 等速向心收缩中,伸肌和屈肌肌力矩与 MA 的相关系数 r 分别为 0.61、0.84;180°/s 等速向心收缩中,伸肌和屈肌肌力矩与 MA 的相关系数 r 分别为 0.64、0.88,均显著相关。表明同一动作过程中,伸肌和屈肌肌力矩与 MA 的趋势变化在 0.01 水平上呈高度的正相关。

根据力-速度曲线可知,肌肉收缩的力与其收缩速度成反比,即在一定范围内,速度越快,肌肉收缩力量越小,当肌肉收缩张力达到最大值时,肌肉的收缩速度为零即等长收缩<sup>[13]</sup>。

由表 1 可知,踝关节 MVIC 中的肌力矩值最大,屈伸肌在收缩速度增加的情况下,力矩值越来越小,符合力-速度曲线的规律。踝关节在等速 60°/s 和 180°/s 向心收缩的力矩值与 MVIC 峰力矩相比都呈现出非常显著性差异 P<0.01。此外不同收缩方式、不同收缩速度下伸肌的力矩值远远大于屈肌,踝关节在 MVIC 和两种速度下的向心收缩中屈、伸肌力矩值有非常显著的差异性 P<0.01。



表 1 不同收缩方式、不同收缩速度下踝关节的肌峰力矩值(N·m) ( $\bar{X}\pm S$ )

Table I Muscle Peak Torque Values (Nom) of the Ankle Joint under Different Contraction Modes and Different Contraction Speeds ( $\bar{X}\pm S$ )

	伸肌	屈肌	屈伸比
MVIC	178.55±42.87	41.55±9.38	0.33±0.29**
60°/s	78.45±29.84**	26.64±9.68**	0.39±0.21**
180°/s	49.64±27.211**	19.45±7.78**	0.48±0.25**

注:\*\*表示踝关节在等速 60°/s 和 180°/s 向心收缩的力矩值与 MVIC 峰力矩相比都呈现出非常显著性差异,  $P < 0.01$ 。

表 2 不同收缩形式、不同收缩速度下的 RMS、iEMG (uV)

Table II RMS and iEMG (uV) under Different Contraction Modes and Different Contraction Speeds

	伸肌		屈肌		RMS 屈伸比	iEMG 屈伸比
	RMS	iEMG	RMS	iEMG		
MVIC	388.08±154.62	614.25±314.59	699.08±121.94	1167.92±302.56	2.14±1.12**	2.34±1.43**
60°/s	330.17±109.26*	551.17±195.92*	528.83±148.03**	656.00±189.33**	1.72±0.56**	1.33±0.56**
180°/s	251.92±66.03**	152.75±62.42**	464.50±155.76**	412.92±123.73**	1.88±0.50**	3.13±1.62**

注:\*表示差异性显著,  $P < 0.05$ ; \*\*表示差异性非常显著,  $P < 0.01$ 。

## 2.2 标准化测量的检验

由于肌肉的收缩包含静力性与动力性两种收缩方式,是以静力性的 MVIC 还是动力性的等速向心收缩作为标准化值需进一步的进行探索。跳深动作中下肢肌肉在较短时间内可完成离心、等长和向心收缩之间的转换<sup>[14-17]</sup>,且跳深动作的腾起速度也是反映肌肉爆发力的重要指标,因此跳深是作为本研究基于实际动作检验标准化有效性的最佳选择。

### 2.2.1 跳深动作中不同人同一肌肉标准化前后 RMS、iEMG 的对比

由表 2 可知,伸肌与屈肌 MVIC 和等速 60°/s、180°/s 向心收缩的 RMS 值与 iEMG 的值均随收缩速度的增大而减小。等速 60°/s 向心收缩的 RMS、iEMG 值与 MVIC 相比  $P < 0.05$ ,差异性显著;等速 180°/s 向心收缩的 RMS、iEMG 值与 MVIC 相比  $P < 0.01$ ,差异性非常显著。在相同收缩方式下,踝关节伸肌的 RMS、iEMG 值均小于屈肌,且  $P < 0.01$  差异性非常显著。这与前面的研究结果不符,因此有必要进行 sEMG 测量的标准化。

由表 3 可知伸肌 RMS 值在标准化前后有了明显的变化。标准化前,受试者⑦的 RMS 值最大,受试者③最小,以 MVIC 作为标准处理后,受试者⑤RMS 的值变为最小,受试者①变为最大,且其他受试者的 RMS 值顺序发生了相应的变化。分别以等速 60°/s 和 180°/s 向心收缩值作为标准处理后,各受试者标准化前后的大小都有一定的变化。此外,等速 60°/s 向心收缩作为标准与 MVIC 比较无显著差异,  $P > 0.05$ ,而等速 180°/s 向心收缩与 MVIC 相比有显著的差异,  $P < 0.05$ 。

表 3 踝关节屈伸肌标准化前后 RMS 的值

Table III RMS Values before and after Standardization of Ankle Joint Flexor and Extensor

姓名	跳深/uV		MVIC/(N·m)		60°/s		180°/s	
	伸肌	屈肌	伸肌	屈肌	伸肌	屈肌	伸肌	屈肌
①	549	315	1.46	0.78	1.77	0.73	1.46	0.79
②	220	314	1.15	0.35	1.73	0.86	1.98	1.23
③	185	257	0.64	0.36	0.60	0.42	0.58	0.38
④	219	146	0.79	0.16	0.45	0.23	0.79	0.30
⑤	334	171	0.57	0.29	0.84	0.42	1.57	0.33
⑥	543	235	1.25	0.34	2.40	0.56	2.27	0.81
⑦	561	223	0.91	0.38	1.85	0.29	2.07	0.34
⑧	428	206	0.89	0.28	1.68	0.47	1.71	0.45
⑨	228	256	1.15	0.40	1.10	0.59	1.19	0.71
⑩	209	165	0.69	0.22	0.47	0.25	0.79	0.32
⑪	243	236	0.81	0.33	0.62	0.56	1.09	0.90
⑫	353	211	0.58	0.29	0.86	0.27	1.24	0.31
$\bar{X}\pm S$	339.33±145.81	227.92±53.46	0.91±0.29	0.35±0.15	1.26±0.69	0.47±0.20	1.39±0.54	0.57±0.31
P					0.18	0.12	0.01	0.04



屈肌 RMS 值在标准化前后也出现了不同。标准化前受试者①③⑦⑨的 RMS 值较大,受试者④⑤⑩⑫的值较小,标准化之后值大小发生了变化,以 MVIC 作为标准与标准化前对比,所有受试者 RMS 值大小前后变化不大,以 60°/s 作为标准,受试者⑤的值明显变大,受试者③却变小了,以 180°/s 作为标准可以看出受试者⑪⑧的值明显变大。此外,等速 60°/s 向心收缩作为标准与 MVIC 比较无显著差异,  $P > 0.05$ , 而等速 180°/s 向心收缩与 MVIC 相比有显著差异,  $P < 0.05$ 。

由表 4 可知伸肌 iEMG 值标准化前后也发生了

变化。标准化前所有受试者伸肌 iEMG 值最大值为受试者⑧,受试者⑦次之,最小为受试者⑫,以 MVIC 作为标准处理后,受试者①最大,受试者⑧靠后,最小依旧为受试者⑫;以 60°/s 作为标准,受试者⑧⑦和⑩⑫的顺序不变,而其他受试者标准化前后 iEMG 值的大小有明显的变化;以 180°/s 作为标准处理后,所有受试者 RMS 标准化值出现了不同程度的变动。此外,以等速 60°/s 向心收缩作为标准与 MVIC 比较无显著差异,  $P > 0.05$ , 而以等速 180°/s 向心收缩作为标准处理后的值与 MVIC 相比有显著差异,  $P < 0.01$ 。

表 4 踝关节屈伸肌标准化前后 iEMG 的值

Table IV iEMG Values before and after Standardization of Ankle Joint Flexor and Extensor

姓名	跳深 / $\mu V$		MVIC/(N·m)		60°/s		180°/s	
	伸肌	屈肌	伸肌	屈肌	伸肌	屈肌	伸肌	屈肌
①	344	150	0.90	0.31	0.62	0.30	2.29	0.38
②	166	251	0.48	0.24	0.68	0.63	2.06	0.57
③	443	60	0.61	0.03	0.54	0.12	1.62	0.19
④	200	88	0.30	0.07	0.25	0.13	1.67	0.31
⑤	266	203	0.25	0.19	0.34	0.30	1.40	0.43
⑥	252	256	0.53	0.19	0.67	0.39	2.00	0.43
⑦	455	245	0.42	0.20	0.77	0.50	2.36	0.61
⑧	483	257	0.43	0.21	0.99	0.42	1.91	0.71
⑨	191	124	0.51	0.10	0.73	0.19	1.71	0.27
⑩	84	136	0.26	0.13	0.18	0.17	0.91	0.25
⑪	269	213	0.54	0.44	0.43	0.19	1.82	0.66
⑫	75	85	0.25	0.05	0.12	0.11	0.76	0.15
$\bar{X} \pm S$	269.00 $\pm$ 138.14	172.33 $\pm$ 73.70	0.46 $\pm$ 0.19	0.18 $\pm$ 0.12	0.53 $\pm$ 0.26	0.29 $\pm$ 0.17	1.71 $\pm$ 0.49	0.41 $\pm$ 0.19
P					0.46	0.03	0.00	0.00

以 MVIC 作为标准,所有受试者屈肌 iEMG 值标准化前后大小浮动不大,可能是由于附着在踝关节屈肌(胫骨前肌)的皮脂较薄,对肌电信号的采集影响不大,然而以等速 60°/s 向心收缩作为标准与 MVIC 比较有显著差异,  $P < 0.05$ , 而等速 180°/s 向心收缩与 MVIC 相比有非常显著的差异,  $P < 0.01$ 。

且由表 3 可知,跳深动作中,伸肌 RMS 均值为 339.33,屈肌 RMS 均值为 227.92,伸肌 RMS 值大于屈肌,由表 4 可知,跳深动作中,伸肌 iEMG 均值为 269,屈肌 iEMG 均值为 172.33。伸肌 iEMG 值大于屈肌,同时可以看出无论以 MVIC 还是以两种向心收缩速度为标准,标准化之后的 RMS 值和 iEMG 值均为伸肌大于屈肌,符合动作中肌肉用力规律,而以哪种收缩方式或收缩速度进行标准化最为合适,还需进一步验证。

### 2.2.2 标准化前后 RMS、iEMG 值与跳深腾起速度的相关性

运动员的腾起初速度  $V_0$  决定了重心的上升高度(H),速度越快腾起高度越高,因此可以用腾起速度的大小来反映标准化的有效性<sup>[18]</sup>。

由表 5 可知,伸肌 RMS 标准化前的相关系数为  $r=0.48, P > 0.05$ ,与腾起速度不相关。标准化之后,以 MVIC 和等速 60°/s 向心收缩为标准进行标准化后的值与腾起速度均相关,均呈显著相关。以 MVIC 为标准的标准化值相关性高于以等速 60°/s 向心收缩为标准的标准化值。而以 180°/s 向心收缩为标准的标准化值与腾起速度不相关。伸肌 iEMG 标准化前的值与腾起速度也不相关。3 种标准化方式下的 iEMG 值均与腾起速度有关,其中以 MVIC 为标准的的相关性最大。



表 5 伸肌 RMS、iEMG 值标准化前后与腾起速度的相关结果

Table V Relations between Jumping Speed and the Values of RMS and iEMG of Extensors before and after Standardization

	标准 化前	标准化后		
		以 MVIC 为标准	以 60°/s 为标准	以 180°/s 为标准
RMS(r)	0.48	0.77**	0.60*	0.45
iEMG(r)	0.26	0.69*	0.61*	0.58*

注:r 为相关系数;\* 表示相关性显著,  $P < 0.05$ ; \*\* 表示相关性非常显著,  $P < 0.01$ 。

由表 6 可知, 屈肌 RMS 标准化前的相关系数为  $r=0.63$ ,  $P < 0.05$  与腾起速度相关。标准化之后, 3 种标准化方式下的 RMS 值均与腾起速度有关, 且 P 值均小于 0.05, 相关性显著。其中以 MVIC 作为标准的相关性最大, 以等速 60°/s 向心收缩作为标准相关性次之, 以 180°/s 向心收缩作为标准的相关性最小。屈肌 iEMG 标准化前的值与腾起速度不相关, 标准化之后, 以 MVIC 为标准相关性最大, 相关系数为 0.71, 以等速 60°/s 向心收缩作为标准的相关系数为 0.64, 均呈显著相关。而以 180°/s 向心收缩为标准的标准化值与腾起速度的相关性虽为 0.44, 但  $P > 0.05$ , 说明其与腾起速度的相关性不大。综合表 5、表 6 可知以 MVIC 作为标准, RMS、iEMG 与跳深腾起速度的相关性最大。

表 6 屈肌 RMS、iEMG 值标准化前后与腾起速度的相关结果

Table VI Relations between Jumping Speed and the Values of RMS and iEMG of Flexors before and after Standardization

	标准 化前	标准化后		
		以 MVIC 为标准	以 60°/s 为标准	以 180°/s 为标准
RMS(r)	0.63*	0.71**	0.68*	0.61*
iEMG(r)	0.53	0.71*	0.64*	0.44

注:r 为相关系数;\* 表示相关性显著,  $P < 0.05$ ; \*\* 表示相关性非常显著,  $P < 0.01$ 。

### 3 分析与讨论

综合表 1、表 2 可以看出, sEMG 的 RMS、iEMG 的值与相对应的肌力矩值在同一肌肉不同收缩速度下所呈现出的规律较为一致, 而在不同肌肉同种收缩形式下所呈现的规律有所不同, 从力矩与 MA 的高度相关性来看, 伸肌力矩值到屈肌力矩值有减小的趋势, 相应的 sEMG 值也随之减小, 而踝关节屈伸肌 sEMG 值对比中出现了屈肌值大于伸肌的相反结

果。可想而知, 用得到的表面肌电图参数值是不能直接用于肌肉间的比较的。因此若要对同一受试者的不同肌肉或不同受试者的同一肌肉之间 sEMG 测试指标进行比较, 就必须进行肌肉 sEMG 的标准化测试。

需要强调的是积分肌电的标准化处理。由于它是所得肌电信号经整流滤波求单位时间内曲线下面积的总和, 即肌电图曲线在时间轴下包围的面积大小, 且不同受试者完成测试动作的时间不可能完全相同, 导致测试肌肉的 iEMG 结果不对等, 所以不能直接进行比较, 必须先进行时间标准化处理<sup>[22]</sup>, 消除在时间上的不等因素, 以保证结果的一致性和可比性。在此基础上再进行以 MVIC 为标准的标准化处理进行肌肉间的比较。然而在查阅大量文献中发现, 大多数都是直接应用积分肌电的值, 并未作标准化处理。如郭建龙的研究发现受试者跳深着地阶段缓冲期的积分肌电值大于蹬伸期值, 正常状态下跳深时, 下肢所测大多数肌肉的表面积分肌电值均比相对疲劳状态下的值大<sup>[23]</sup>。但从数据值来看未进行标准化处理, 推测标准化处理后结果可能有变化。

跳深动作中, 从不同人同一肌肉标准化前后 RMS、iEMG 的对比中分析发现, 皮下脂肪的厚度对 sEMG 信号采集的影响较大。从运动解剖学角度来分析, 屈肌位于小腿屈膝外侧<sup>[19]</sup>, 皮下脂肪较薄, 对于表面肌电信号的采集干扰较小, 因此所采集到的屈肌 sEMG 参数值较为准确, 标准化前后的变化不大。而伸肌位于小腿后方皮下, 脂肪厚度较屈肌而言大得多, 干扰性强, 标准化前后变化差异会较为明显。

在跳深动作中, 缓冲阶段的伸肌做离心收缩, 肌肉中的弹性成分被拉长从而产生阻力, 与此同时肌肉中的弹性成分也产生了最大阻力, 加之牵张反射使得伸肌产生较大的张力。此外, 蹬伸阶段伸肌作为原动肌做向心收缩使踝关节背伸, 两个阶段充分发挥作用的伸肌活性被充分激活, 放电量也随之变大<sup>[20,21]</sup>。而屈肌作为伸肌的拮抗剂, 较伸肌的放电量会相应的小一些。从同一人不同肌肉标准化前后 RMS、iEMG 的对比中分析发现, 3 人伸肌的 RMS 值小于屈肌, 而在 iEMG 值的对比中却出现了 4 个人的屈肌大于了伸肌, 因此需通过标准化处理后分析 sEMG 数据, 以此判断肌肉用力大小。

结合跳深动作当中踝关节屈伸肌的用力大小以及不同方式标准化后与跳深腾起速度的相关性分析可知, 以 MVIC 作为标准化值最为合理。通常的做法是采集所选肌肉 MVIC 下的表面肌电, 并取 3 次肌电幅值的平均值作为参考值。这里的难点是肌肉



做 MVIC 动作的选取。一般有两种形式:一种是通过等速肌力测试的方法,测试单关节肌群 MVIC 时的表面肌电;另一种是通过 1RM 动作测试来获取所选肌肉表面肌电图。然而两种方式均是多个肌群共同收缩的结果,并非所选肌肉真正 MVIC 下的肌电值,因此选取最佳 MVIC 测试动作是关键。本文 MVIC 采用的是等速肌力测试法,后续研究将选用 1RM 测试做进一步的验证。

#### 4 结论

跳深动作下肢肌肉标准化前后的 sEMG 值比较情况发生了明显的变化,以最大随意等长收缩为标准的 sEMG 标准化值与跳深腾起速度的相关性最高,因此要进行不同人同一肌肉或同一人不同肌肉之间 sEMG 的比较,以最大随意等长收缩作为标准最为合理。

#### 参考文献:

- [1] 王健.sEMG 信号分析及其应用研究的进展[J].体育科学,2000,20(4):56-60.
- [2] 王健,刘加海.肌肉疲劳的表面肌电信号特征研究与展望[J].中国体育科技,2003,39(2):4-7.
- [3] 崔玉鹏,洪峰.表面肌电图在人体运动研究中的应用[J].首都体育学院学报,2005,17(1):102-105.
- [4] 王琨,李小生,宋娟,等.肌电图(EMG)在运动生物力学研究中的应用[J].体育科研,2014,35(1):31-33.
- [5] 王琨,周敏,张俊峰,等.对竞技健美操 B 组水平支撑类难度动作技术与肌肉活动特征分析[J].西安体育学院学报,2010,27(6):716-721.
- [6] 宋又廉.等速肌力康复技术及等速运动的实现途径[J].上海电机学院学报,2006(5):5-9.
- [7] 屈建华.优秀水球运动员膝关节肌群等速向心收缩力量特征研究[J].北京体育大学学报,2007,(5):643-644.
- [8] 徐军.等速运动在康复评定与治疗中的应用[J].中华物理医学与康复杂志,2006(8):570-573.
- [9] 虞重干,郭权.篮、排球运动员下肢 3 关节肌等速测试的对比研究[J].体育科学,2000,20(1):73-75.
- [10] 蒋海鹰.股四头肌随意收缩过程中肌电与肌力矩、膝关节角度、膝关节运动速度之间关系的研究[D].上海体育学院 1987 届研究生毕业论文,1987.
- [11] Kellis E. Baltzopoulos V. Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise[J]. Med. Sci. Sports Exerc., 1998,30(11):1616-1623.
- [12] Norman W. A., Deborah M. S., Keenan M. D., et al. Electromyographical Analysis of Selected Lower Extremity Muscles During 5 Unilateral Weight-Bearing Exercises[J]. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 2007, 37(2):48-55.
- [13] 陆爱云.运动生物力学[M].北京:人民体育出版,2008:283-285.
- [14] 井兰香,刘宇.不同高度跳深动力学及下肢肌肉预激活调节[J].体育科学,2012,32(11):64-69.
- [15] 刘建,李世远.跳深纵跳练习对跳高运动员起跳腿“承受能力”的测定分析[J].沈阳体育学院学报,2006,25(1):59-62.
- [16] 周全.采用跳深练习对三级跳远运动员下肢“承受能力”的测定与分析[J].体育学刊,1997(1):30-32.
- [17] 田进,周家颖.跳深着地阶段下肢所测肌肉的表面肌电活动特征研究[J].西安体育学院学报,2009,26(3):341-346.
- [18] 黄海.运动人体机能实验学[M].北京:人民体育出版,2006:94.
- [19] 白石.运动解剖学[M].陕西:陕西科学技术出版社,2015:167.
- [20] 全国体育院校教材委员会.体育学院通用教材运动生理学[M].北京:人民体育出版社,2002:37.
- [21] 蔡秋.超等长运动的生理学分析及应用[J].广州体育学院学报,2005,4(6):23-25.
- [22] 周里.运动人体科学理论与实践[M].陕西:陕西师范大学出版总社,2016.
- [23] 郭建龙.跳深时下肢肌肉的表面积分肌电值及其平均功率频率值的变化特征研究[J].山东体育学院学报,2007(6):68-71.

(责任编辑:刘畅)