

文章编号:1004-3624(2008)01-0125-04

# 肌电疲劳阈与通气无氧阈和肌肉疲劳指数的关系

陈珂<sup>1</sup>, 吴飞<sup>2</sup>

(1. 浙江传媒学院 公体部, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江体育职业技术学院 科医处, 浙江 杭州 311231)

**摘要:**对12名被试的肌电疲劳阈(EMG<sub>FT</sub>)与通气无氧阈(VAT)和肌肉疲劳指数之间的关系进行研究。发现肌电疲劳阈的检出率非常低,且与通气无氧阈和肌肉疲劳指数之间并无相关。此外股内侧肌(VM)、股直肌(RF)、股外侧肌(VL)的肌电疲劳阈之间没有显著差异。研究希望通过对肌电疲劳阈低检出率这一现象进行解释,为以后改进肌电疲劳阈的检测方法打下基础。

**关键词:**肌电疲劳阈;通气无氧阈;肌肉疲劳指数;检出率

**中图分类号:**G804.23

**文献标识码:**A

## The Relationship of Electromyographic Fatigue Threshold with Ventilation Anaerobic Threshold and Muscle Fatigue Index

CHEN Ke<sup>1</sup>, WU Fei<sup>2</sup>

(1. Public PE Department, Zhejiang University of Media and Communications, Hangzhou 310018, China; 2. Science and Medical Department Zhejiang College of Sports, Hangzhou 311231, China)

**Abstract:** The relationship of EMG<sub>FT</sub> with VAT and muscle fatigue index on 12 subjects was studied. Results showed that the investigation rate was quite low, and there was no significant correlation either between EMG<sub>FT</sub> and VAT or muscle fatigue index. In addition, there was no significant difference in EMG<sub>FT</sub> among VM, RF and VL. This study aims to explain the phenomenon of low investigation rate while using EMG<sub>FT</sub> and place foundation for improving the measurement method of EMG<sub>FT</sub>.

**Key words:** EMG<sub>FT</sub>; VAT; muscle fatigue index; investigation rate

## 0 前言

肌电疲劳阈(Electromyographic Fatigue Threshold, EMG<sub>FT</sub>)是Matsumoto等在90年代初提出的一种旨在监测和判断肌肉负荷强度阈值的实验方法<sup>[1,2]</sup>,该指标能较好地避免同类指标如临界功率(Critical Power, CP)和PWCFT(Physical working capacity at the fatigue threshold)等由于需要力竭运动而易受到被试心理影响的缺点。一些研究者在研究后认为EMG<sub>FT</sub>是一种有效反应肌肉工作能力的指标,认为EMG<sub>FT</sub>和传统指标AT之间存在很高的关联度<sup>[2-4]</sup>,而另一些研究者则对该技术持怀疑态度。比如Paclat认为以EMG<sub>FT</sub>功率进行运动的时间少于30 min,而进行30 min或60 min的运动时的功率又明显小于EMG<sub>FT</sub>的功率值。尽管

存在不同的意见,但EMG<sub>FT</sub>的研究作为表面肌电信号的重要应用,在国际上的研究一直没有中断,Dias等发现股四头肌的动态、静态EMG<sub>FT</sub>非常相似,认为可以用于评价耐力的好坏<sup>[6]</sup>;并且研究对象上也不再局限在股四头肌<sup>[7,8]</sup>。本研究在对前人的研究进行验证的同时,采用了新的指标进行分析,发现了一些问题,为进一步EMG<sub>FT</sub>研究打下了基础。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

青年大学生志愿者12人,年龄:21.9±1.3岁;身高:175.9±5 cm;体重:68.0±6.7 kg;健康状况良好,实验前24 h未参加剧烈运动,且配合良好。

### 1.2 研究方法

实验用双电极法记录sEMG信号(Ag-AgCl电极,间距

收稿日期:2007-11-06

作者简介:陈珂(1981-),男,浙江杭州人,助教,在读硕士研究生,主要研究体育教学与训练。

2com, 电极位置参考芬兰 MEGA 电子有限公司制造的 ME3000P4 系统)。采用 ME3000P4 系统对右侧股内侧肌 (VM)、股直肌 (RF)、股外侧肌 (VL) 同步连续采样, 采样频率 1 000 Hz, sEMG 信号存入计算机进行后续处理。

1.2.1 肌电疲劳阈的测量。采用 SENSORMEDICS 的 Ergometrics800 型功率车为运动负荷工具。测试方案: 转速 60RMP, 50W 热身 5min, 完成 140、180、220、260W 四个负荷, 维时 1min 的运动。相邻两负荷之间至少休息 15min, 以被试心率恢复到安静时心率  $\pm 5$  次以内为准。运动过程中采集右侧 VM、RF、VL 的 sEMG 信号。

1.2.2 通气无氧阈的测量。采用 SENSORMEDICS 的 Ergometrics800 型功率车为运动负荷工具。采用连续递增负荷方案: 25 W 热身 2 min, 25W/min 递增。运动开始后采用 SENSORMEDICS 的 Vmax29C 系统进行气体分析并判定通气无氧阈值, 当被试不能控制在 60RMP 时运动停止。

1.2.3 肌肉疲劳指数的测量。测试采用 KINIECH 等速仪。负荷方案: 角速度 240°, 运动次数 25 次。要求被试在运动过程中, 每一次都尽最大努力完成, 通过 kiniech 等速测试仪记录右腿 25 次的力矩和功率值。

### 1.3 数据的处理和分析

1.3.1 肌电疲劳阈的计算。将每个负荷的原始肌电信号以 6s 为单位进行剪切, 计算平均肌电值 (AEMG), 通过 10 点计算每个负荷的 AEMG 值斜率 (图 1)。

AEMG 的算法:  $AEMG = iEMG/T = t^{+T} | EMG(t) | * dt / T$

在强度为纵轴、AEMG 为横轴的坐标系中, 通过 4 个斜率值的直线拟和, 获得在纵轴上的截距, 此截距即为  $EMG_{FT}$  值 (图 2)。

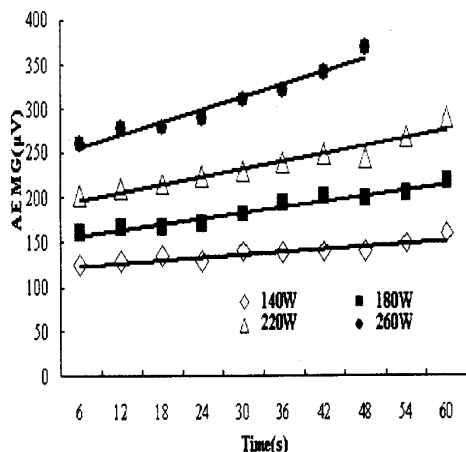


图1 四个负荷下 AEMG 的斜率

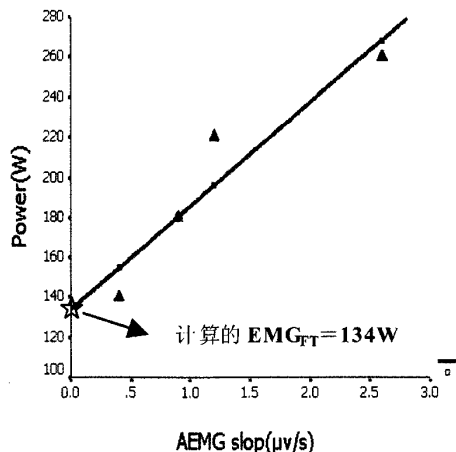


图2 AEMG 斜率和功率的关系

1.3.2 肌肉疲劳指数的计算。肌肉疲劳指数 (fatigue index, FI) 的计算采用力矩 (moment, M) 和功率 (power, P) 分别计算力矩疲劳指数和功率疲劳指数。

力矩疲劳指数:  $FI_{M5} = (M1 + M2 + M3 + M4 + M5) / (M21 + M22 + M23 + M24 + M25)$

$FI_{M12} = (M1 + M2 + \dots + M12) / (M14 + M15 + \dots + M25)$

功率疲劳指数:  $FI_{P5} = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5) / (P21 + P22 + P23 + P24 + P25)$

$FI_{P12} = (P1 + P2 + \dots + P12) / (P14 + P15 + \dots + P25)$

1.3.3 数据分析。对  $EMG_{FT}$ 、VAT 和 FI 进行相关分析, 探讨  $EMG_{FT}$  指标的有效性。对 VM、RF、VL 的  $EMG_{FT}$  进行单因素方差分析, 观察股四头肌不同位置对  $EMG_{FT}$  的影响。统计采用 spss 软件进行。

## 2 实验结果

### 2.1 肌电疲劳指数的检出率

此次实验共有 12 名男性被试参加, 全部完成  $EMG_{FT}$ 、VAT 和肌肉疲劳指数的测试。其中在  $EMG_{FT}$  的计算中, 有 6 人的 AEMG 斜率随负荷的增加而增加; 其余 6 名人员中, 有 2 人 140 W 的斜率大于 180 W 的斜率, 4 人 260 W 斜率大于 220 W 斜率, 对  $EMG_{FT}$  值产生影响, 予以排除。因此  $EMG_{FT}$  的检出率为 50%。

### 2.2 $EMG_{FT}$ 的方差分析:

对三块肌肉的  $EMG_{FT}$  值进行单因素方差分析, 发现三个  $EMG_{FT}$  之间并不存在显著差异 ( $p = 0.447 > 0.05$ )。因此本实验股四头肌的不同部位对  $EMG_{FT}$  的判定没有影响。

表 1 6 名被试的 VM、RF、VL 的 EMG<sub>FT</sub>值和 VAT 值

被试	VM EM	RF EM	VL EM	VAT(W)
	G <sub>FT</sub> (W)	G <sub>FT</sub> (W)	G <sub>FT</sub> (W)	
LBL	134.024	150.224	105.721	155
GJC	141.226	145.433	154.074	189
LZ	148.472	154.192	135.807	155
LRX	114.629	115.993	101.823	156
SCM	171.252	136.263	159.983	155
ZK	158.555	153.555	127.614	109
平均值	144.693	142.61	130.837	153.167
	± 19.705	± 14.619	± 24.071	± 25.506

2.3 EMG<sub>FT</sub>与 VAT 和肌肉疲劳指数之间的相关分析

6 名被试的 EMG<sub>FT</sub>、VAT 和肌肉疲劳指数如表 1、2 所示。对这三个指标进行相关分析显示,EMG<sub>FT</sub>和 VAT 以及肌肉疲劳指数之间均不显著意义的相关(表 3)。

表 2 6 名被试的 FIm 和 FIp 值

被试	FIm5	FIm12	FIp5	FIp12
LBL	0.54	0.64	0.46	0.58
GJC	0.76	0.8	0.8	0.83
LZ	0.7	0.77	0.77	0.80
LRX	0.87	0.9	0.75	0.85
SCM	0.95	0.95	0.8	0.91
ZK	0.6	0.75	0.66	0.81
平均值	0.74±0.16	0.80±0.11	0.71±0.13	0.79±0.11

表 3 6 名被试的 EMG<sub>FT</sub>值与 VAT 值和 FI 之间的相关关系

	VAT	FIm5	FIm12	FIp5	FIp12
VM EMG <sub>FT</sub> r	-0.313	0.106	0.172	0.238	0.341
P	0.546	0.841	0.745	0.650	0.508
RF EMG <sub>FT</sub> r	-0.233	-0.721	-0.707	-0.327	-0.425
P	0.657	0.106	0.117	0.527	0.401
VL EMG <sub>FT</sub> r	0.296	0.429	0.412	0.651	0.584
P	0.569	0.396	0.417	0.162	0.224

注:显著性水平  $p<0.05$

3 讨 论

机电疲劳阈(EMG<sub>FT</sub>)是肌电信号的重要应用,该检测方法的理论基础是:①时域指标随时间的延长而增加。即时域指标随疲劳的出现而产生现线性上升<sup>[9-12]</sup>;②时域指标呈现负荷依赖性。即负荷不同时,时域指标的斜率也不相同,且负荷越大,斜率越大<sup>[12-15]</sup>。而 EMG<sub>FT</sub>在负荷强度——斜率坐标轴中的意义在于:在 EMG<sub>FT</sub>负荷下,时域指标的斜率为 0,即时域只指标在该强度下运动不会产生疲劳特征。因

此 EMG<sub>FT</sub>值越高代表抗疲劳能力越强。

本研究中发现 EMG<sub>FT</sub>的检出率并不是 100%。从现象上看主要出现在第一级负荷斜率高于第二级负荷斜率或第四级负荷斜率低于第三级负荷斜率,违背了 EMG<sub>FT</sub>的理论基础。这可能与实验的负荷方案设置有关。本实验的负荷方案参考了 Matsumoto 等在 1991 年的负荷方案(350、300、250、200 W),并进行了预实验。结果发现被试在完成 300 W 以上负荷时存在困难,因此将实验负荷方案确定为 260、220、180、140W,而对负荷设置未进行更深入的实验研究。由于 iEMG 指标存在个体差异;并且其时间序列曲线的单调上升性有时并不明显,体现在低负荷和高负荷时力-电关系的不一致,而在一定强度时 iEMG 甚至出现拐点<sup>[9-16]</sup>。因此这些因素可能影响了 EMG<sub>FT</sub>的检出率。

此外,对 EMG<sub>FT</sub>与 VAT 进行了相关分析显示,发现两指标之间并不存在显著相关。这与以往的研究有一定的差异<sup>[2-4]</sup>,但与国内张冰等的结果较为一致(肌电图疲劳阈值与无氧阈值的相关为 0.41,  $P>0.05$ )<sup>[17]</sup>。国内有学者认为,对 EMG<sub>FT</sub>的验证采用 AT、通气阈等全身性、整体性指标,而 sEMG 信号反映的仅仅是某一环节或几个关节主要运动肌的肌电特征,因此考察 EMG<sub>FT</sub>和 AT 等关联性,必然存在一定的误差<sup>[16]</sup>。因此本研究采用肌肉疲劳指数(FI)进行了进一步的研究。

从 EMG<sub>FT</sub>和 FI 进行的相关分析上看,尽管并不存在显著意义上的相关,但从相关系数上看,VL 相关系数明显高于 VM 和 RF,而 RF 甚至出现了负相关。从而在一定程度上为 Housh 的研究提供了证据<sup>[18]</sup>;由于肌纤维类型的差异,不同部位的股四头肌在相同负荷的运动时 iEMG 变化的不同,将影响 EMG<sub>FT</sub>值。

EMG<sub>FT</sub>无论是反映了整体或局部的机体功能,就该项技术本身而言,合理的负荷是 EMG<sub>FT</sub>技术应用和发展的关键。例如近年来,Oliveira 等以肱二头肌为研究的对象,采用个人 1RM(one repetition maximum)的 25%、35%、45% 负荷,即用相对负荷的方式检测 EMG<sub>FT</sub>值<sup>[6-7]</sup>。这为 EMG<sub>FT</sub>的研究提供了新思路。

由于本实验的低检出率造成的有效被试较少,在一定程度上影响了各指标之间的关系,因此并未做进一步深入地探讨和分析。

4 小 结

4.1 对青年无训练被试采用 260、220、180、140 W 四个负荷水平,恒定转速 60RMP 的负荷方案,EMG<sub>FT</sub>值的检出率较低。

4.2 现有的 EMG<sub>FT</sub>检测方法需改进,宜建立适当的相对负荷标准。肌肉的不同部位对 EMG<sub>FT</sub>的影响还需进一步研究。

4.3 本研究获得的 EMG<sub>FT</sub>与 VAT 和肌肉疲劳指数之间不存在相关,需要进一步研究。

参考文献

[1] 王健. sEMG 信号分析及其应用研究进展[J]. 体育科

- 学,2000,20(4):56-60.
- [2] Matsumoto, T et al. The relationship between anaerobic threshold and electromyographic fatigue threshold in college women. *Eur J Appl Physiol*, 1991, 63:1-5.
- [3] Moritani T, et al. Determination of maximal power output at neuromuscular fatigue threshold. *J Appl Physiol*, 1993, 74(4):1729-1734.
- [4] DeVries HA, et al. The relationship between critical power and neuromuscular fatigue as estimated from electromyographic data. *Ergonomics*, 1982, 25:783-791.
- [5] Paclat D. et al. An examination of the electromyographic fatigue threshold test. *Eur J Appl Physiol*, 1993, 67:305-308.
- [6] Dias da Silva SR, Gon? alves M. Dynamic and isometric protocols of knee extension: effect of fatigue on the EMG signal. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 2006, 46(1):35-42.
- [7] Oliveira AS, Goncalves M, Cardozo AC, Barbosa FS. Electromyographic fatigue threshold of the biceps brachii muscle during dynamic contraction. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 2005, 45(3):167-175.
- [8] Oliveira AS, Cardozo AC, Barbosa FS, Gon? alves M. Electromyographic fatigue threshold of the biceps brachii: the effect of endurance time. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 2007, 47(1):37-42.
- [9] Edwards, R. G. The relationship between the force and the integrated electrical activity in fatigued muscles. *Journal of Physiology*, 1956, 132:677-681.
- [10] Knowlton, G. C. et al. Electromyography of fatigue. *Archives of Physical Medicine*, 1951, 32:648-652.
- [11] Lippold et al. The electromyography of fatigue. *Ergonomics*, 1960, 3:121-131.
- [12] Petrofsky, Y. et al. Frequency and amplitude analysis of the EMG during exercise on the bicycle ergometer. *Eur J Appl Physiol*, 1979, 41:1-15.
- [13] Scherrer, J., Bourguignon A. Changes in the electromyogram produced by fatigue in man. *American Journal Medicine*, 1959, 38:148-158.
- [14] Missiuro, W. et al. Electromyographic manifestations of fatigue during work of different intensity. *Acta Physiological Polonica*, 1962, 13:11-20.
- [15] deVries HA. Method for evaluation of muscle fatigue and endurance from electromyographic fatigue curves. *American Journal of Physical Medicine*, 1968, 47:125-135.
- [16] 邵强, 王健, 楼珍芳. 肌电疲劳阈(EMG<sub>FT</sub>)研究进展[J]. *浙江体育科学*, 2001, 23(1):49-51.
- [17] 张冰, 杨锡让, 等. 临界负荷、肌电疲劳阈值与无氧阈值的关 系研究[J]. *体育科学*, 1995, 15(6):57-60.
- [18] Housh TJ, et al. Electromyographic fatigue thresholds of the superficial muscles of the quadriceps femoris. *Eur J Appl Physiol*, 1995, 71:131-136.

(上接第113页)

表3 参数方法与传统方法对比赛名次比较一览表

	梁×	邹×	杜×	杨×	邓×	卢×	邢×	吕×
传统方法 得分	9.850	9.488	9.475	9.475	9.089	9.075	9.072	8.863
方法 名次	1	2	3	3	5	6	7	8
得分	9.850	9.492	9.446	9.473	9.180	9.075	9.184	8.858
新方法 名次	1	2	4	3	6	7	5	8

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

4.1.1 针对传统方法和文献中出现的方法的不足,有针对性地提出新方法。确定评分项目比赛名次的方法,在理论上具有合理的解释和实际的可操作性。

4.1.2 新方法对各裁判员评分进行标准化处理、高优化处理和归一化处理来确定各裁判员评分的权重,最后通过加权平均确定运动员最后得分。

### 4.2 建议

4.2.1 每个裁判现场评分,现场公布,但每个运动员的最后得分和名次在所有运动员比赛结束后确定,使整场比赛结果更具有悬念,可观赏性更强。

4.2.2 对整个比赛的所有评分可采用软件处理,更快捷准确。

4.2.3 对裁判员评分的权重确定可以用来评价裁判员执裁水平。

### 参考文献

- [1] 陈志强, 卢芬, 杨德芳. 技能类运动竞赛裁判员评分合理性评价方法研究[J]. *中国体育科技*, 2001, 37(8):23-25.
- [2] 魏登云. 主观评分误差的非参数处理方法[J]. *中国体育科技*, 2001, 37(3):38-40.
- [3] 陈希儒. 数理统计引论[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [4] 丛湖平. 体育统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [5] 陈明华. 对成绩名次方法的改进[J]. *皖西学院学报*, 2009, 19(5):1-3.
- [6] 文静. 确定简单反应时标准观测值方法的实验研究[J]. *天津体育学院学报*, 2006, 21(5):410-411.