

·运动人体科学·

不同负荷强度运动时表面肌电图中位频率与 血乳酸浓度变化的关系

王国祥

(苏州大学 体育学院,江苏 苏州 215021)

摘 要:采用等速运动方式,以表面肌电图和血乳酸为指标,在10%、30%和50%MVC三种负荷条件下,对肘关节屈伸运动时的肱三头肌、肱二头肌和前腕骨肌的表面肌电图和血乳酸浓度的变化进行了比较分析。结果表明:(1)肘关节屈伸运动时,伸展运动的力矩峰值下降幅度大于屈曲运动。(2)以30%和50%MVC负荷强度运动时,出现了表面肌电图的MF值逐步下降和血乳酸浓度逐渐增加的现象;工作肌群MF下降幅度,由大到小依次为肱三头肌>肱二头肌>前腕骨肌。(3)肱三头肌、肱二头肌和前腕骨肌的表面肌电图的MF变化与血乳酸浓度变化相互比较,10%、30%和50%MVC三种运动形式都表现出了非常明显的相关性。实验结果可以说明,sEMG作为特异性良好的非损伤性检测手段,不但能够直观地反映肌肉的收缩活动,还与肌肉组织代谢变化有一定的相关关系。

关 键 词:表面肌电图;中位频率;血乳酸

中图分类号:G804.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7116(2004)01-0045-04

Relation between changes of sEMG's mean frequency and changes of blood lactate content with different loads during exercise

WANG Guo-xiang

(Physical Education College of Suzhou University, Suzhou 215021, China)

Abstract: This study applies dynamic isokinetic to make a research on relation between sEMG's mean frequency (MF) and blood lactate content with different loads as 10%, 30% and 50% MVC on triceps muscle, biceps muscle, and brachioradialis muscle. MF and blood lactate were used as parameters for a comparative analysis. The results indicated that: (1) During flexion and extension of elbow joint, peak torque descended more dramatically in course of extension than in flexion. (2) 30% and 50% MVC witnessed a step-by-step dissension in MF, and a step-by-step ascension of blood lactate content. MF's dissension extent for working muscles tapered off as triceps muscle, biceps muscle, and brachioradialis muscle. (3) The comparative analysis indicated that changes of MF and changes of blood lactate content have correlated with each other significantly in 10%, 30% and 50% MVC. Thus, results of the research revealed that sEMG could play a specific and noninjurious role in examination, directly reflecting motion of muscles, and correlating with metabolic changes in muscle tissues as well.

Key words: sEMG; mean frequency; blood lactate

运动性肌疲劳发生机制及其定量评价,是多年来运动生理学者关注的重要课题。表面肌电图(sEMG)作为肌肉功能评价的一种特异性良好的非损伤性检测手段,对运动性肌疲劳进行量化评定有着重要的意义。已有研究证实^[1,2],肌疲劳发生时sEMG频率具有典型的低频带移行现象,并认为中位频率(MF, mean frequency)降低是判定运动性肌疲劳发生的重要指标之一。如何进一步运用表面肌电图技术来间接

反映人体运动过程中肌肉组织的物质代谢和能量代谢的变化,从而更好地指导和监控运动训练,已成为目前研究者普遍关注的问题。本研究采用不同强度等速性肘关节屈伸运动的形式,观察了运动过程中前腕骨肌、肱二头肌和肱三头肌的表面肌电图变化,同时采用前臂正中静脉取血的方法对其运动过程中血乳酸浓度的变化进行了同步分析,并对sEMG的MF成分与血乳酸浓度变化的相关性进行了探讨。

收稿日期:2003-09-05

作者简介:王国祥(1963-),男,副教授,博士,研究方向:运动生理学。

1 研究对象与方法

1.1 受试对象

受试者为 12 名为健康男子,年龄(21.2 ± 1.84)岁。受试者均别进行了 10%、30% 和 50% MVC 三组的肘关节屈伸运动实验,每人每次实验间隔时间为两周。

1.2 运动负荷

肌肉力量测定装置采用美国产 Biodex system-3。受试者座位,被检测的肘关节先呈 90° 位放置于肘关节固定支架上,腕关节伸直位握住并固定于手臂力量测试操纵杆上,肘关节屈曲角度范围设定为 30° 、角速度为 $120^\circ/\text{s}$ 。先进行 5 次最大性肘关节屈伸运动,以确定其肘关节运动的最大性力量(MVC, Maximal Voluntary Contraction),然后分别进行 10%、30% 和 50% MVC 三组肘关节屈伸运动,每次连续运动时间为 5 min,并对肘关节屈曲和伸展运动时的向心性运动和离心性运动的力矩峰值(PT, peak torque)进行观察。

1.3 表面肌电图测定

肌电图采用表面电极双极导联法,记录电极分别置于屈曲动作主动肌肉群的前腕骨肌、肱二头肌和伸展动作的主动肌群肱三头肌的肌腹部。肌电信号导出时间常数 0.01 s、滤波宽度 500 Hz、高频阻断 2 000 Hz。导出的肌电信号经生物电放大器(美国, Bio Amp ML132)增幅后,输入 A/D 转换器(美国, MacLab/8s A/D Instruments)进行信号转换,再将转后的信号输入计算机并使用 Chart-V4.2 波形数据处理系统计算出 sEMG 中 MF 值。

1.4 血乳酸测试

采用日本 Namito 公司产 201 L 血乳酸测试仪,以前臂正中静脉连续取血的方法,分别测定运动前安静时、运动中(每隔 0.5 min)和运动后 1、3、5、10 和 30 min 时的血乳酸浓度。为不影响肘关节屈伸运动,先将特制的静脉留置针(Namito 公司产 122G 型,内侧的塑料管内径 0.6 mm)刺入距肘横纹约 6~8 cm 的前臂正中静脉处,然后除去针头并将塑料管的一端留置于静脉内,塑料管另一端通过三腔阀与采血注射器相连接。本研究通过预试验证实,前臂正中静脉采血方法即使进行 50% MVC 以上运动时,受试者静脉插管处亦无明显疼痛症状和不良反应,能确保实验全过程正常进行。

1.5 数据处理

由于受试对象个体之间的肘关节屈、伸力量和 sEMG 的 MF 值存在较大差异,本研究分别先将运动前的 PT 和 MF 等成分的平均值换算成 100%,运动后将各时点的数值再换算成其百分比的相对值。统计学处理使用 Stat View-J5.0。

2 结果

2.1 不同 MVC 负荷运动时 PT 的变化

图 1 为不同 MVC 负荷运动时 PT 的变化。当各组运动结束时肘关节的屈曲运动 PT 值和伸展运动 PT 值分别为:10% MVC 组(87.21 ± 5.06)% 和 (88.38 ± 5.10)%, 30% MVC 组(72.58 ± 7.61)% 和 (66.66 ± 7.33)%, 50% MVC 组(43.16 ± 8.05)% 和 (33.55 ± 8.58)%, 30% 和 50% MVC 组的伸展运动 PT 的下降幅度大于屈曲运动 PT 的下降幅度。

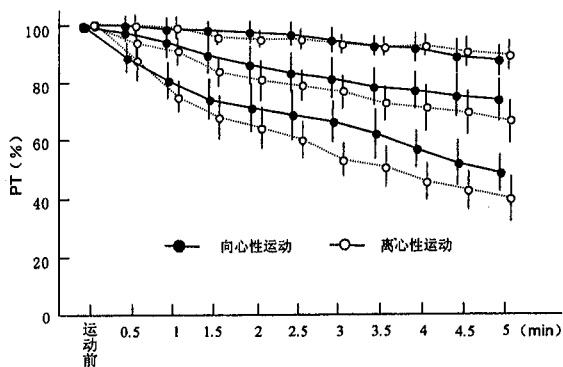


图 1 10% MVC、30% MVC 和 50% MVC 的负荷条件下向心性运动和离心性运动时的 PT 的变化

2.2 不同 MVC 负荷运动时 MF 的变化

图 2、3、4 分别为表示 10%、30%、50% MVC 组运动过程中前腕骨肌、肱二头肌和肱三头肌 sEMG 的 MF 的变化情况。其结果表现为:10% MVC 组运动开始时, MF 出现了不同程度的增加现象;30% 和 50% MVC 组运动开始后,工作肌群的 MF 均呈现出逐渐降低的趋势,而且 MF 下降幅度由大到小的顺序均为肱三头肌 > 肱二头肌 > 前腕骨肌。

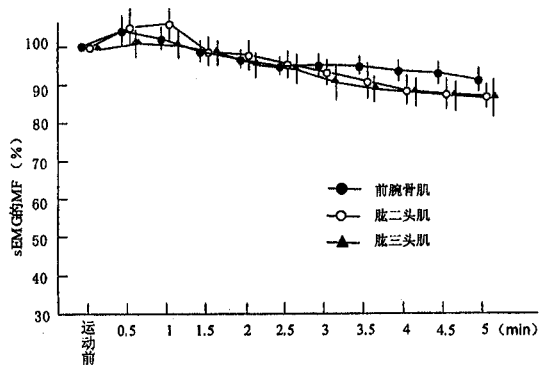


图 2 10% MVC 负荷的运动过程中 sEMG 的 MF 变化

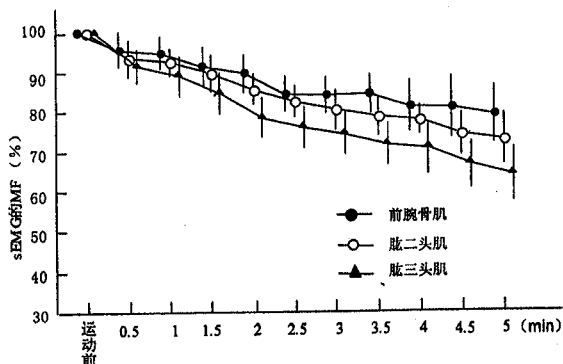


图 3 30% MVC 负荷的运动过程中 sEMG 的 MF 变化

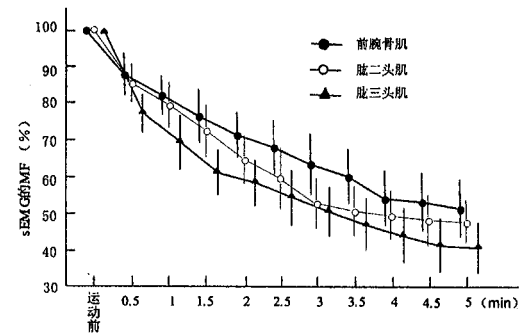


图 4 50% MVC 负荷的运动过程中 sEMG 的 MF 变化

2.3 不同 MVC 负荷运动前后血乳酸浓度的变化

图 5 为不同 MVC 负荷运动前后血乳酸浓度的变化。图 5 表明:3 种运动负荷的血乳酸浓度水平均有不同程度的升高,其中 10% MVC 组运动结束后 1 min 达到最高值(3.68 ± 0.88)mmol/L,30% 和 50% MVC 组分别在运动后 3 min 时达到最高值(7.74 ± 2.08)mmol/L 和 (11.15 ± 2.76)mmol/L,而且 50% MVC 组运动结束后 30 min 仍未恢复完全正常。

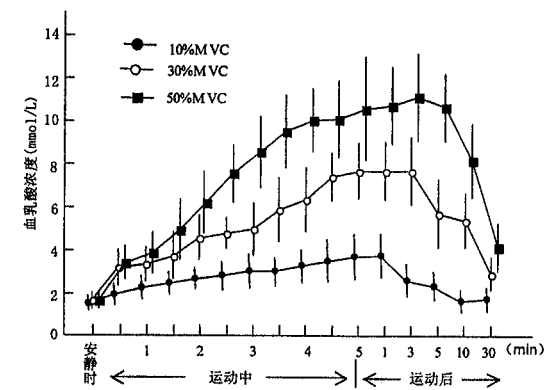


图 5 不同 MVC 负荷的运动前、后和运动中血乳酸浓度变化

2.4 不同 MVC 负荷运动时 MF 和血乳酸浓度变化的相关性

表 1 为不同 MVC 负荷运动时 MF 和血乳酸浓度变化的相关关系。表 1 表明:在 10%、30% 和 50% MVC 三种运动负荷条件下,前腕骨肌、肱二头肌和肱三头肌 sEMG 的 MF 与血乳酸的浓度变化之间,均表现出高度的相关性。

表 1 各种负荷运动时 MF 和血乳酸浓度的相关性			
工作肌 (MF)	血乳酸浓度		
	10% MVC	30% MVC	50% MVC
前腕骨肌	-0.755	-0.905	-0.789
肱三头肌	-0.708	-0.887	-0.811
肱二头肌	-0.802	-0.809	-0.847
P 值	<0.01	<0.01	<0.01

3 讨论

3.1 三种负荷强度运动时 PT 和表面肌电图 MF 的变化

本研究结果表明,30% 和 50% MVC 负荷条件下肘关节进行等速运动时,离心性运动 PT 下降幅度均大于向心性运动;而且随着负荷强度加大和运动时间延长,二者下降幅度的差值也随之增大,这说明肘关节进行屈伸运动时,进行离心性运动的主动肌群更容易发生疲劳。

sEMG 的 MF 是指骨骼肌收缩过程中肌纤维放电频率的中间值,也称中位频率。在正常情况下人体不同部位骨骼肌之间的 MF 值高低差异较大,其原因主要受肌肉组织中的快肌(FT)纤维和慢肌(ST)纤维的组成比例的影响,即 FT 纤维兴奋主要表现高频放电、ST 纤维则以低频电位活动为主^[3,4]。低强度运动时 MF 变化结果报道不一,如 Arendt^[5]对 10%~40% MVC 不同运动强度进行的研究结果认为,当负荷强度大于 30% MVC 时 MF 表现为逐渐下降,运动强度低于 20% MVC 时 MF 无明显变化;Krogh - Lund^[6]研究却发现,15% MVC 屈肘关节运动时肱二头肌 MF 表现为增加。但本研究结果显示,10% MVC 负荷条件下 MF 出现了先上升后降低的现象。因此,关于低强度运动时 MF 的变化现象及其机制,应该从骨骼肌运动方式或持续时间等方面加以综合分析。由于骨骼肌 ST 纤维阈值强度低于 FT 纤维,递增性负荷练习时 ST 纤维则先被募集,所以运动开始时肌肉综合放电频率相对较低;随着运动时间的持续或强度增加,肌纤维募集形式也会逐渐过渡到以 FT 纤维为主,而其放电频率也会随之升高。本研究还发现,30% 和 50% MVC 负荷条件下的肘关节屈伸运动开始后,肱三头肌、肱二头肌和前腕骨肌 MF 出现了逐步降低的现象,而且两种负荷条件下的 MF 下降幅度的顺序均为肱三头肌>肱二头肌>前腕骨肌,这种现象与上述的肘关节屈伸运动中的向心性运动和离心性运动 PT 的变化时相基本相似。产生这种肌肉因疲劳出现 sEMG 低频现象原因,一些学者认为主要是运动过程中快慢肌纤维募集反应的时相不同而形成的^[7],而肌纤维募集反应的时相直接接受到的外来阻力负荷大小的影响^[8]。也就是说骨骼肌收缩时受到的阻力负荷越大,肌肉储备的 ATP 和 CP 等能源物质衰减的速度也越快,肌肉由无氧供能过渡到有氧供能的时间也越短,ST 纤维被募集比例也会越来越大,sEMG 则会表现出低频放电为主的现象。

3.2 血乳酸和 sEMG 的 MF 的相关性

以往的研究已经证实,除了骨骼肌收缩过程中快慢肌纤维成分募集形式改变引起 sEMG 的 MF 降低外,骨骼肌收缩时肌肉组织内 H^+ 、 k^+ 等代谢物质浓度升高,也可能是导致 sEMG 的 MF 下降的主要原因^[9,10]。因为肌肉组织内 pH 值升高会引起肌细胞膜电位超极化,从而影响肌细胞兴奋性和动作电位传导;而肌肉组织中 k^+ 升高主要是肌细胞内的 k^+ 外流而引起的,细胞内的 k^+ 外流对细胞膜电位会产生超极化阻滞现象,使肌细胞兴奋性下降、肌纤维传导速度降低,从而导致了肌肉放电频率向低频带移行。关于肌肉收缩产生的乳酸水平与其 sEMG 的 MF 相关关系的研究,Philippe^[10]和 Horita^[11]由于考虑到以末梢血的乳酸水平来反映局部肌肉

MF 的变化有一定差异性,故而采用肌肉组织活检方法对乳酸浓度变化与 MF 的相性关系进行了分析,并证实了肌肉乳酸浓度的变化与 MF 的变化存在明显的相关性。但是,Horita 和 Philippe 的实验都是在运动开始前和运动停止后进行,很难反映出运动过程中乳酸与 MF 的变化情况。本研究采用了在肘关节屈伸运动过程中进行前臂正中静脉连续取血的方法,并且对 10%、30% 和 50% MVC 三种不同负荷条件下的肱三头肌、肱二头肌和前腕骨肌收缩过程中 sEMG 的 MF 变化与血乳酸浓度水平进行了相关分析。无论运动负荷强度大小,肘关节向心性运动的肱二头肌、前腕骨肌和离心性运动的肱三头肌 sEMG 的 MF 变化与其同步采集的血乳酸浓度比较,均具有极其高度的相关关系。由此可见,骨骼肌收缩过程中 sEMG 的 MF 变化,主要是由于肌纤维募集动员形式和肌肉组织内部的代谢方式所决定的。因此 sEMG 技术在一定的条件下,可能成为间接反映骨骼肌组织内部代谢变化的非损伤性检测指标,应该在实际运动训练中进一步深入研究和应用。另外,由于影响表面肌电图 MF 降低的因素比较复杂,本研究只是通过实验证实了 sEMG 的 MF 变化与血乳酸浓度之间存在着高度的相关性,而对乳酸浓度变化与表面肌电图 MF 降低之间是否存在因果关系的问题,也有待于今后进一步研究。

4 小结

本研究采用不同负荷强度的肘关节屈伸运动的形式和前臂正中静脉连续取血的方法,观察了肱三头肌、肱二头肌和前腕骨肌收缩过程中表面肌电图 MF 与血乳酸浓度水平的变化情况。结果表明:(1)随 MVC 负荷强度的增大,力矩峰值下降,MF 降低和血乳酸增加的幅度均逐渐增大。(2)肘关节屈曲运动过程中,离心运动的力矩峰值下降幅度大于向心性运动,而且 MF 降低幅度由大到小依次为肱三头肌 > 肱二头肌 > 前腕骨肌。(3)工作肌群 sEMG 的 MF 变化与血乳酸浓度水平的变化呈高度的相关关系。本研究的实验结果可以说明,sEMG 作为特异性良好的非损伤性检测手段,不但能够直观地反映肌肉的收缩活动,还与肌肉组织代谢变化有一定的相关关系。

参考文献:

- [1] Hagg GM, et al. Interpretation of EMG spectral alternations and alternation indexes at sustained contraction[J]. J Appl Physiol, 1992, 73(4): 1211 - 121.
- [2] Pavlat D, et al. An examination of the electromyographic fatigue threshold test[J]. Eur J Appl Physiol, 1993, 67(4): 305 - 308.
- [3] Solomonow M, et al. Electromyogram power spectra frequencies associated with motor unit recruitment strategies[J]. J Appl Physiol, 1990, 68(3): 1177 - 1185.
- [4] Masuda T, et al. Recruitment threshold and muscle fiber conduction velocity of single motor units[J]. J Electromyography - kinesiology, 1991, (1): 116 - 123.
- [5] Arendt-Nielsen L, et al. Changes in muscle fiber conduction velocity mean power frequency and mean EMG voltage during prolonged submaximal contraction[J]. Muscle Nerve. 1989, 12(6): 493 - 497.
- [6] Krogh - Lund C, et al. Modification of myoelectric power spectrum in fatigue from 15% maximal voluntary contraction of human elbow flexor muscles, to limit of endurance: reflection of conduction velocity variation and/or centrally mediated mechanisms? [J]. Eur J Appl Physiol, 1992, 64(4): 359 - 370.
- [7] Gamet D, et al. The fatigability of two agonistic muscles in human isometric voluntary submaximal contraction: an EMG study. I. Assessment of muscular fatigue by means of surface EMG[J]. Eur J Appl Physiol. 1989, 58(4): 361 - 368.
- [8] Bilodeau M, et al. The fatigability of two agonistic muscles in human isometric voluntary submaximal contraction an EMG study [J]. Eur J Appl Physiol, 1990, 61(3): 359 - 370.
- [9] Horita T, et al. relationships between muscle lactate accumulation and surface EMG activities during isokinetic contractions in man [J]. Eur J Appl Physiol, 1987, 56(4): 18 - 23.
- [10] Philippe B, et al. Surface EMG power spectrum and intramuscular pH in human vastus lateralis muscle during dynamic exercise [J]. J Appl Physiol, 1989, 68(3): 1245 - 1249.
- [11] Tesch PA, et al. Influence of lactate accumulation of EMG frequency spectrum during repeated concentric contraction [J]. Acta Physiol Scand, 1983, (3): 61 - 67.

[编辑:李寿荣]