

·运动人体科学·

等速运动过程中肌放电量与肌氧含量的变化特征

王国祥, 黄何平

(苏州大学 体育学院, 江苏 苏州 215021)

摘 要:利用表面肌电图和近红外线光谱测定技术(NIRS),在30%和50%肘关节最大性力量(MVC)两种负荷条件下,对肘关节等速运动状态下的肱二头肌和肱三头肌的肌放电量及其肌肉组织内部血红蛋白和肌红蛋白含量(oxy-Hb·Mb)的变化进行了观察。结果表明:在运动过程中肌放电量和oxy-Hb·Mb均有明显的逐步下降和表面肌电图的积分值(iEMG)逐渐升高现象,而且50% MVC组下降幅度大于30% MVC组;iEMG和oxy-Hb·Mb的变化具有明显的相关性。因此可以认为,NIRS和表面肌电图作为特异性良好的非创伤性检测手段,能够直观地反映运动中肌肉内氧的代谢与骨骼肌的收缩活动。

关 键 词:等速运动;肌氧含量;表面肌电图

中图分类号:G804.7 文献标识码:A 文章编号:1006-7116(2005)01-0053-03

Varying characteristics of myoelectric discharge and muscle oxygen content during constant speed movement

WANG Guo-xiang, HUANG He-ping

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

Abstract: Utilizing measuring technologies of Superficial Electromyogram (sEMG) and Near Infrared Spectrum (NIRS), the authors observed and analyzed the changes of myoelectric discharge of biceps and triceps muscles and oxy-Hb·Mb inside their muscle tissues under elbow joint's constant speed movement condition with loads of 30% and 50% MVC. The results indicated that: both myoelectric discharge and oxy-Hb·Mb showed obvious and gradual descending and sEMG showed gradual ascending during movement, and the descending magnitude of 50% MVC group was greater than that of 30% MVC group; and the changes of sEMG and oxy-Hb·Mb were provided with obvious relativity. The authors thus considered that NIRS and sEMG as non-traumatic testing means provided with excellent singularity were capable of directly reflecting the metabolism of oxygen in muscles and the contracting activities of skeletal muscle during movement.

Key words: constant speed movement; muscle oxygen content; superficial electromyogram

近红外线光谱测定技术(NIRS)是一种能穿透机体组织的连续光谱,它可根据氧合血红蛋白、还原血红蛋白以及肌红蛋白等物质对红外线光谱吸收特性的差异,来测定肌肉组织中氧含量或相对含量的一种特异性检测方法^[1,2]。表面肌电图(sEMG)作为肌肉功能评价的一种特异性良好的非创伤性检测手段,对运动性肌疲劳进行定量化评定有着重要的实用价值^[3]。本研究以30%和50%肘关节运动最大性力量(maximal voluntary contraction, MVC)不同强度等速性肘关节屈伸运动的形式,采用sEMG的积分值(integrated electromyogram, iEMG)和肌肉组织内血红蛋白和肌红蛋白含量(oxy-Hb·Mb)为指标,分别对运动过程中肱二头肌、肱三头肌的肌放电与肌氧含量的变化进行了同步观察,并对二者间相关关系进行了分析。

1 材料与方法

1.1 实验对象

受试者为12名健康男子,年龄(21.2±1.84)岁。受试者均分别进行了30%和50% MVC的肘关节屈伸运动实验,每人每次实验间隔时间约为2周。

1.2 运动方法

肘关节等速运动测定装置采用美国产Biodex system-3。受试者坐位,被检测的肘关节先呈90°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,肘关节屈伸运动的角速度为120°/s。先进行5次最大性肘关节屈伸运动,以确定其MVC,然后分别进行30%和50% MVC的肘关节屈伸运动,每次连续运动时间为5 min。

1.3 肌氧含量测试

近红外线光谱装置采用日本产 HEO-100 近红外线光谱分析仪。近红外线送受光探头固定于受试者肱二头肌和肱三头肌的肌腹部。为了反映运动过程中肌肉组织内氧代谢的变化水平,本研究采用测定肌肉组织内血红蛋白和肌红蛋白($\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$)相对含量的方法。即先测定受试者安静状态下肌内 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 水平并将其安静值设定为 100%,然后在被检测肢体肘关节的下方绑缚一加压带,并施加 33.33 kPa 压力以阻断上肢动脉血流,将阻断期间 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 最低水平值设定为 0,运动中的 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 的含量变化则为其百分比的相对值。

1.4 肌电图测定

采用表面电极双导联法,圆盘状记录电极与近红外线仪的送受光探头相邻接,探头固定于肱二头肌和肱三头肌的肌腹部。肌电信号导出时间常数为 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(Bio Amp ML132)增幅后,输入 A/D 转换器(MacLab/8 s A/D Instruments)进行信号转换,再将转换后的信号输入计算机并计算出 iEMG 值。

1.5 数据处理

由于受试对象个体之间的 iEMG 存在较大差异,本研究分别先将运动前 iEMG 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,计量资料的差异性测定采用 t 检验,各图数据均为平均数 \pm 标准差。

2 结果

2.1 运动过程中 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 含量的变化

图 1 表明,两组 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 均呈逐渐下降。肱二头肌和肱三头肌 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 在运动开始后第 0.5 min 时分别为:30% MVC 组(75.08 ± 5.01)%和(64.96 ± 5.33)%、50% MVC 组(39.46 ± 6.05)%和(41.55 ± 6.28)%,与安静时比较呈现显著性差异($P < 0.05$);运动结束时两组分别为:(35.36 ± 6.04)%和(25.76 ± 5.88)%、50% MVC 组(22.92 ± 6.14)%和(18.86 ± 6.21)%,两种负荷运动过程中肱二头肌的 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 下降幅度均大于肱三头肌。

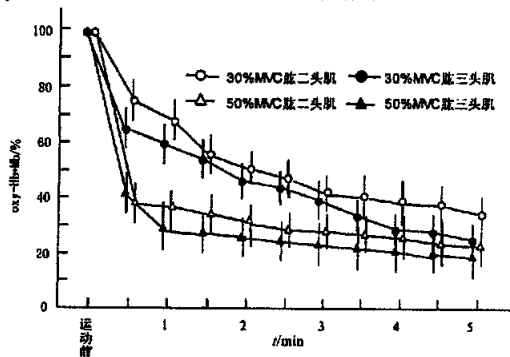


图 1 30%和 50% MVC 运动过程中 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 变化

2.2 运动过程中 iEMG 的变化

图 2 表明,两组 iEMG 均呈逐渐增加现象。30% MVC 组的肱二头肌和肱三头肌 iEMG 均在运动开始后第 3.5 min 时,呈显著升高[(107.01 ± 10.73)%、(107.33 ± 9.94)%, $P < 0.05$];50% MVC 组的肱二头肌和肱三头肌 iEMG 均在运动开始后第 1 min 时,就表现为显著升高[(108.02 ± 10.35)%、(108.47 ± 11.07)%, $P < 0.05$],两种负荷运动过程中肱二头肌 iEMG 增加幅度均大于肱三头肌。

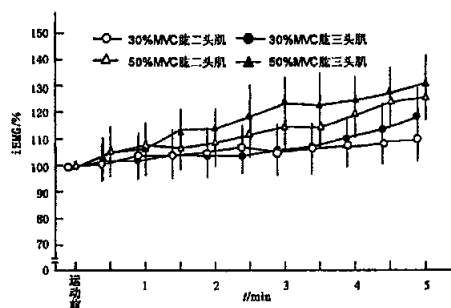


图 2 30%和 50% MVC 运动过程中 iEMG 变化

2.3 iEMG 与 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 变化的相关性

表 1 为两种负荷运动时 iEMG 与 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 变化的相关关系。表 1 表明:在 30%和 50% MVC 两种运动负荷条件下,肱二头肌和肱三头肌 iEMG 与 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 变化之间,均表现出非常显著的相关性($P < 0.01$)。

表 1 两种负荷运动过程中 iEMG 与 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 的相关性

肌种	30% MVC	50% MVC
肱三头肌	-0.578	-0.763
肱二头肌	-0.612	-0.756
P 值	<0.01	<0.01

3 讨论

近年来,由于 NIRS 的迅速发展,使人体骨骼肌内的氧摄取与利用过程可以通过无侵袭、无损伤性的方法进行测定,它为检测人体运动中肌肉组织的供氧状态提供了新的途径。最近的研究表明,当时关节进行持续性等速运动时,离心性运动的力矩峰值下降幅度大于向心性运动,而且随着负荷强度加大和运动时间延长,离心性运动和向心性运动的力矩峰值下降的幅度差值也随之增大,也就是说肘关节进行屈伸运动时的肱二头肌较肱三头肌更易发生疲劳^[4]。从本研究结果的 $\text{oxy-Hb}\cdot\text{Mb}$ 曲线图可以看出,运动强度不同肌氧的变化时相有很大的差异。在 30% MVC 低强度运动时,肌氧含量百分比变化曲线随运动时间的延长而呈逐渐下降,但 50% MVC 组在运动开始后的 0.5 min 肌氧含量则迅速下降至 50% 以下,而以后下降速度却极为缓慢。这种一开始肌氧就迅速下降的原因可能为:运动开始阶段主动肌主要募集的是快肌(FT)纤维,其储氧量较少,最初运动时主要依赖于磷酸盐供能,使磷酸肌酸大量消耗,而磷酸肌酸的快速再合成则

需要大量肌氧;运动中大量增加的乳酸,需要进入肌纤维细胞中被进一步氧化;运动强度越大氧耗量越多,而且在运动最初时肌肉血流量上升相对缓慢,氧气供应相对不足,则导致肌氧含量比例大幅度下降;随着运动过程中酸性产物在体内的堆积和 H^+ 浓度的增加,可促使 O_2 和 Hb 快速分离(Bohr 效应),从而导致 $oxy-Hb \cdot Mb$ 含量进一步下降。

表面肌电图是从活动肌的皮肤表面所记录到的一组时间序列信号,它虽不能选择性地记录单个运动单位或深部肌肉运动单位的活动,但可反映电极所触及的多个运动单位生物电活动在时间和空间上的总和结果。iEMG 是将骨骼肌收缩时放电信号的干涉波经过整流化的整流波,其积分值指单位时间内整流波的面积,也代表单位时间内骨骼肌放电总量^[5]。本研究结果表明,30%和50% MVC 负荷条件下的肘关节屈伸运动开始后,肱二头肌、肱三头肌 iEMG 出现了逐步上升,而且两种负荷条件下的 iEMG 上升幅度的顺序均为肱三头肌大于肱二头肌。这种 iEMG 增加的现象可以解释为当骨骼肌以一定负荷强度(或最大强度)运动时,为补偿因疲劳而逐渐下降的肌力而肌肉放电活动会越发加强。引起 iEMG 增加的原因,可能与随意运动时中枢神经系统的促通作用和局部肌肉的快慢肌纤维募集反应的时相变化有关。中枢神经系统的促通作用是为了补偿逐渐下降的肌力,大脑皮层运动神经元的放电活动也表现逐步增强。这样必然会进一步促进对脊髓 α 运动神经元的兴奋作用,从而使运动单位募集效果加强、肌肉放电量相对增多^[6]。而另有一些研究认为,肌肉放电信号振幅高低,与运动过程中快肌纤维被动员的比例密切相关^[7]。本研究还发现,等速运动时肘关节肱二头肌和肱三头肌的 $oxy-Hb \cdot Mb$ 变化与其同步纪录的 iEMG 变化相比较,二者表现为高度的负相关,而且两种不同负荷时的两肌 iEMG 增加的曲线类型与 $oxy-Hb \cdot Mb$ 下降的曲线的变化特点也十分相似,说明骨骼肌的收缩时的放电活

动,与肌肉内的氧化代谢活动密切相关,这种相关机制有待今后进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] Hamaoka T, Iwane H, Shimomitsu T, et al. Noninvasive measures of oxidative metabolism on working human muscle by measured by near infrared spectroscopy[J]. *J Appl Physiol*, 1996, 81(3): 1410 - 1417.
- [2] 王峰, 李炜, 林方, 等. 用近红外线光谱技术实现生物组织含氧量的无损检测[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 1999, 39(7): 1 - 6.
- [3] Pavlat D, Housh T J, Johnson G O, et al. An examination of the electromyographic fatigue threshold test[J]. *Eur J Appl Physiol*, 1993, 67(4): 305 - 308.
- [4] 王国祥. 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[J]. *体育学刊*, 2004, 56(1): 18 - 23.
- [5] Hakkinen K, Komi P V, Alen M, et al. Effect of explosive type strength training on isometric force - and relaxation - time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles[J]. *Acta Physiol Scand*, 1985, 125(4): 587 - 600.
- [6] McKay W B, Stokic D S, Vrbova G, et al. Effect of fatiguing maximal voluntary contraction on excitatory and inhibitory responses elicited by transcranial magnetic motor cortex stimulation[J]. *Muscle - Nerve*, 1996, 19(8): 1017 - 1024.
- [7] Viitasalo J T, Luhtanen P, Rahkila P, et al. Electromyographic activity related to aerobic and anaerobic threshold in ergometer bicycling[J]. *Acta Physiol Scand*, 1985, 124(2): 278 - 293.

[编辑: 郑植友]