

不同运动负荷时肌肉氧含量与表面肌电图的变化特点

王国祥

(苏州大学 体育学院,江苏 苏州 215021)

摘 要:利用近红外光谱(NIRS)和表面肌电图(sEMG)技术,揭示自行车踏蹬运动时运动员大腿股外侧肌的氧合血红蛋白/肌红蛋白(oxy-Hb·Mb)水平及肌肉放电量的变化特征。以10名健康男子为对象,在功率自行车上先进行40 r/min,50 W的2 min准备活动后,进行阻力负荷150 W的5 min的自行车运动,踏蹬频率分别为40、60、80、100和120 r/min。结果表明:40、60、80 r/min 3组对象的股外侧肌的oxy-Hb·Mb水平分别为(104.46±6.91)%、(103.51±8.63)%和(95.14±8.73)%,各组间差异无显著性意义,而100、120 r/min组的oxy-Hb·Mb却明显下降为(77.24±11.28)%和(43.07±9.76)%;iEMG在40至80 r/min之间呈现缓慢上升趋势,而100和120 r/min时则快速增加;各组对象的oxy-Hb·Mb水平变化和iEMG之间存在明显的相关性。因此,NIRS和表面肌电图作为特异性良好的非损伤性检测手段,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:运动负荷;功率自行车;肌氧含量;肌电图

中图分类号:G872.3;G804.7 文献标识码:A 文章编号:1006-7116(2006)03-0051-03

Characteristics of variation of muscle oxygen content and surface electromyogram of bicycle racers in motion

WANG Guo-xiang

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

Abstract: This research applied near infrared spectroscopy(NIRS) and surface electromyogram (sEMG) to clarify the characteristics of muscle oxygen content (oxy-Hb·Mb) and myoelectric activity of the thigh vastus lateralis muscle in during exercises on the cycle ergometer. Subjects were 10 healthy males, consisting of 2 min of warm up (40 r/min, 50 W) followed by 5 min of pedaling(150 W) using an cycle ergometer at 40, 60, 80, 100 and 120 r/min. Results showed that: The oxy-Hb·Mb level of vastus lateralis muscle in 40 r/min, 60 r/min and 80 r/min groups was (104.46±6.91)%, (103.51±8.63)% and 95.14±8.73%, there were not significant differences among groups, followed by a more prominent decrease at 100 r/min(77.24±11.28)% and 120(43.07±9.76%)r/min. The integrated electromyogram increased slowly at 40~80 r/min, and a rapid increment occurred at 100 r/min and 120 r/min. There was a significant negative correlation between the oxy-Hb·Mb level and iEMG. Thus, results of the research revealed that NIRS and sEMG could play a specific and no injurious role in examination, directly reflecting oxygen metabolism in muscles, and motion of muscles as well.

Key words: bicycle with an ergometer; riding frequency; muscle oxygen content; electromyogram

目前的研究已经证实,在阻力负荷不变的条件下,随着功率自行车踏蹬频率的逐步增加,最大摄氧量也呈线性增加^[1]。但对于用不同频率踏蹬运动时,工作肌群的肌肉氧含量的变化及其与肌肉收缩活动相关的关系,目前还不十分明了。本研究在前期工作的基础上^[2],利用NIRS(近红外线光谱)和表面肌电图(sEMG)技术,以肌肉内的氧合血红蛋白/肌红蛋白(oxy-Hb·Mb)含量变化和表面肌电图的积分值(iEMG)为指标,观察分析了不同踏蹬频率对股外侧肌的肌

氧含量及其肌肉放电量的影响,目的是为进一步了解自行车运动中下肢主要工作肌群的收缩状态和供能特点提供客观的实验依据。

1 对象与方法

实验对象为10名健康成年男子,年龄(22.0±3.2)岁,身高(1.70±0.11)m,体重(70.4±6.3)kg。

(1)运动负荷试验:负荷控制采用MONARK功率自行

车。受试者在功率自行车上,每次实验前先进行 2 min 阻力为 50 W 频率 40 r/min 的准备活动。然后分别以 150 W 的负荷强度连续进行 5 min 的 40、60、80、100 和 120 r/min 的 5 次不同频率的踏蹬运动,每次运动实验均在受试者无异常表现基础上隔日进行。

(2)近红外线光谱:采用日产 HEO-100 近红外线光谱分析仪。近红外线的送受光探头置于受试者的右侧大腿股外侧肌部,送受光频率为 1 次/s。为了定量化分析骨骼肌内的氧代谢水平,本研究将运动开始前的安静状态所测得的 oxy-Hb·Mb 值确定为 100%,运动负荷实验中采集的 oxy-Hb·Mb 值为其百分比的相对值。

(3)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,置于股外侧肌部,并与肌纤维的走行方向相一致。EMG 时间常数定为 0.01 s,高频阻断 10 kHz,频带宽度 500 Hz。所得 EMG 信号通过生物电放大装置(Bio Amp ML132 AD Instruments)放大后,输入数据转换装置(MacLab/8s AD Instruments Pty Ltd)整流换算成 iEMG 波形,并与 oxy-Hb·Mb 进行同步分析。

(4)数据处理:实验结果中 oxy-Hb·Mb 和 iEMG 数据均为每次运动结束前 1 min(第 5 min)的平均值,统计学处理使用软件 Stat View-J5.0,结果用“均数±标准差”表示,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同频率踏蹬运动时 oxy-Hb·Mb 和 iEMG 的变化

表 1 为不同频率踏蹬运动过程中 oxy-Hb·Mb 和 iEMG 的平均值。随着踏蹬频率增加 iEMG 值逐渐升高,各组间除 100 r/min 与 120 r/min 比较差异有显著性意义外($P < 0.05$),其余各组间差异均有非常显著性意义($P < 0.01$);oxy-Hb·Mb 在 40、60、80 r/min 时未出现明显变化,但 100 和 120 r/min 时明显降低,与 40、60、80 r/min 比较,差异均呈非常显著性意义($P < 0.01$),100 r/min 与 120 r/min 二者之间比较,差异亦呈非常显著性意义($P < 0.01$)。

表 1 不同频率踏蹬运动时 oxy-Hb·Mb 和 iEMG 的变化($\bar{x} \pm s$)

踏蹬频率/(r·min ⁻¹)	iEMG/ms	oxy-Hb·mb/%
40	0.30±0.06	104.46±6.91
60	0.37±0.03	103.51±8.63
80	0.42±0.05	95.14±8.73
100	0.52±0.07	77.24±9.18
120	0.62±0.08	43.07±9.76

2.2 oxy-Hb·Mb 与 iEMG 的相关性

图 1 为 oxy-Hb·Mb 与 iEMG 相关关系。图 1 表明, oxy-Hb·Mb 与 iEMG 比较具有非常明显相关性($r = -0.696, P < 0.01$)。

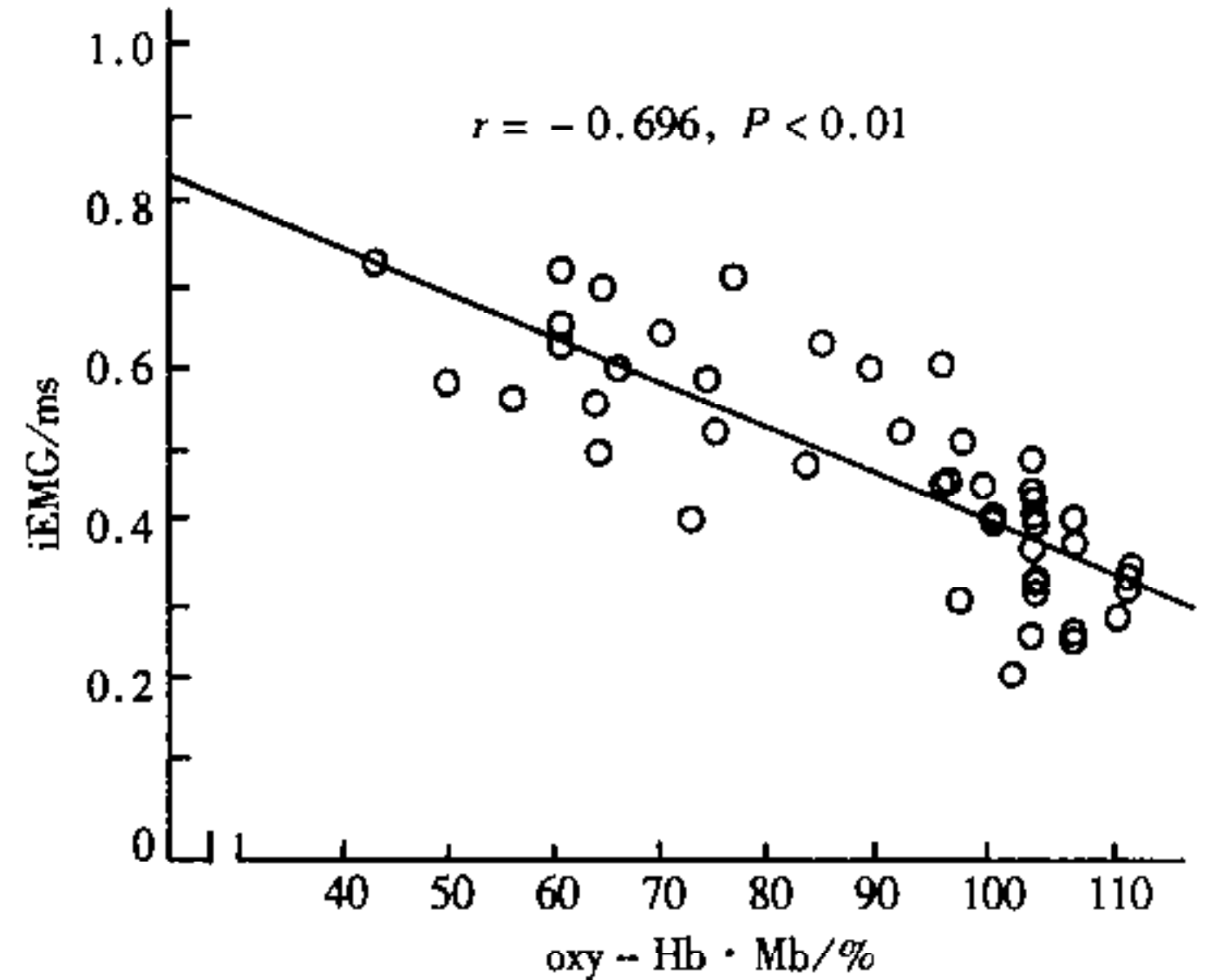


图 1 oxy-Hb·Mb 与 iEMG 的相关关系

3 讨论

近红外线光谱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。近年来,由于近红外线光谱技术的迅速发展,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^[3]。oxy-Hb·Mb 是局部肌肉组织的氧合和脱氧状态的反映,它能够较为敏感地反映运动时机体组织的有氧代谢和无氧代谢的水平及转变过程。大量的实验结果已经证实了,在阻力负荷不变的条件下,随着自行车踏蹬频率的逐步增加,其摄氧量也呈线性增加,这反映了随着运动强度增加机体对氧的摄取和利用增加的一般规律^[1]。但本研究发现,在踏蹬运动起主动作用的股外侧肌 oxy-Hb·Mb 含量,与踏蹬频率的变化呈现出非同步性变化的现象。即从每分 40 至 80 转区间,各转数之间的 oxy-Hb·Mb 含量均未有显著性差异,这说明在一定范围内即使自行车运动强度(阻力负荷+踏蹬频率)和摄氧量逐渐增加,主动肌内 oxy-Hb·Mb 含量仍可维持一定水平。Gotshallde 等^[4]研究认为,虽然随着自行车踏蹬频率的增加,肌肉利用消耗氧的量会逐渐增加,但由于心输出量也会随之增加,快速踏蹬运动可使主动肌的肌张力降低、肌内压下降,主动肌群肌内血流量相对增多,从而使动静脉血氧含量的差相对较小。因此,在一定范围内即使踏蹬频率增加,主动肌群血样含量仍可保持一定的水平。当频率超过每分 100 转时,股四头肌 oxy-Hb·Mb 含量出现明显下降,其原因可能是由于高频率踏蹬运动使骨骼肌对氧的需求,超出了心肺功能及其骨骼肌自身的代偿作用,肌细胞内外各种酸性代谢产物增多,促使 O₂ 和 Hb 快速分离(Bohr 效应)、oxy-Hb·Mb 含量水平明显下降。

表面肌电图是从活动肌的皮肤表面所记录到的一维时间序列信号,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 是将骨骼肌收缩放电信号的干涉波经过整流后的整流波,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,而积分值的高低主要与快肌纤维成分动员的比例和肌纤维的放电频率密切相关^[5]。在40至120 r/min区间,股四头肌iEMG的曲线变化呈线性上升。这种现象可以解释为当骨骼肌以一定负荷强度运动时,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iMEG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]。另外,在不同频率踏蹬运动过程中的股外侧肌oxy-Hb·Mb变化与其同步记录的iEMG变化相比较,二者表现为高度的负相关关系。其原因可能与运动中肌纤维动员的类型变化有关。股四头肌的快肌纤维成分约占50%左右^[7],应属糖酵解供能优势的骨骼肌。在低中等强度运动时,快肌纤维的动员比例较少,肌肉放电量相对较低;肌肉内乳酸生成与清除之间达到动态平衡,肌肉中的 H^+ 浓度和pH值尚属中等水平,肌肉中oxy-Hb·Mb浓度水平变化不大;随着运动频率的增加,肌肉收缩强度逐渐增大而快肌纤维大量动员,iEMG随之增加。本研究结果反映了骨骼肌内oxy-Hb·Mb水平与iEMG变化,存在明显的相关关系,但oxy-Hb·Mb含量下降能否成为iEMG增加的直接原因,仍有待今后进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Francescato M P, Girardis M, Prampero P E. Oxygen cost of internal work during cycling[J]. Eur J Appl Physiol, 1995, 72(1): 51-57.
- [2] 王国祥. 自行车运动时股四头肌与腓肠肌氧代谢与肌肉放电量相关性研究[J]. 西安体育学院学报, 2004, 21(1): 47-50.
- [3] 尚文元, 傅颖, 罗勇, 等. 近红外线光谱诊断技术在运动医学中的应用[J]. 中国运动医学杂志, 1998, 17(3): 243-246.
- [4] Gotshall R W, Bauer T A, Fahrner S L. Cycling cadence alters exercise hemodynamics[J]. Int J Sports Med, 1996, 17(1): 17-21.
- [5] Belange A Y. Extent of motor unit activation during effort[J]. J Appl Physiol, 1981, 51(2): 1131-1135.
- [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] Edstrom L, Ekblom B. Differences in sizes of red and white muscle fibers in quadriceps femoris of normal individuals and athletes[J]. Scand Clin, 1972, 30(2): 175-181.

[编辑:郑植友]

(上接第50页)

6 关键词

关键词应能反映论文的主题内容。关键词包括主题词(规范的词)和自由词,主题词应多些。不得用纯英文缩写词和共用概念词作为关键词。关键词置于中文摘要之后。

关键词的著录执行中国科协《关于在学术论文中规范关键词选择的规定(试行)》

1. 表在体育学刊的学术论文,必须在摘要后列出不少于4个关键词。从技术角度考虑,没有关键词的论文应列入非学术论文类。

2. 这些关键词按以下顺序选择:

第一个关键词列出该文主要工作或内容所属二级学科名称。学科体系采用国家技术监督局发布的学科分类与代码(国标GB/T1 3745-92)。

第二个关键词列出该文研究得到的成果名称或文内若干个成果的总类别名称。

第三个关键词列出该文在得到上述成果或结论时采用的科学研究方法具体名称。对于综述和评述

性学术论文等,此位置分别写“综述”或“评论”等。对科学研究方法的研究论文,此处不写被研究的方法名称,而写所应用的方法名称。前者出现于第二个关键词的位置。

第四个关键词列出在前三个关键词中没有出现的,但被该文作为主要研究对象的事物或物质名称,或者在题目中出现的作者认为重要的名词。

如有需要,第五、第六个关键词等列出作者认为有利于检索和文献利用的其他关键词。

7 中图分类号

中图分类号就是《中国图书资料分类法》编印的分类号。著录中图分类号要到图书馆或资料室借用《中国图书馆分类法(第4版)》,并根据论文内容类别进行标引。中图分类号置于“关键词”之下。(此部分由编辑完成)

(下转第57页)