

sEMG 信号变化的对侧负荷效应*

温晓利¹ 王 健¹

摘要 目的:观察一侧肢体疲劳负荷条件下对侧相应肌肉的 sEMG 信号变化特征。**方法:**10 名女性受试者完成两臂不同负荷等长疲劳实验,同时记录两侧肱二头肌 sEMG 信号并考察线性指标平均肌电值(AEMG),中位频率(MF)和非线性指标复杂度(C(n)、确定性线段百分比(%DET)的变化特征。**结果:**30%受试者出现对侧肌肉 MF 斜率的随变现象,且观察臂 MF 下降百分数为负荷臂下降百分数的 50%以上;对所有受试者对照组和实验组各指标变化斜率的均值进行配对 *t* 检验,MF,C(n)及%DET 差异无显著性意义($P>0.05$),而 AEMG 斜率存在显著性差异($t=-4.342,P<0.01$)。**结论:**一侧肱二头肌等长疲劳负荷对对侧未疲劳肱二头肌 AEMG 斜率变化有显著影响,存在对侧肌肉 MF 斜率的随变现象但具有个体差异性,这可能是中枢神经双侧交叉控制策略的结果。

关键词 表面肌电信号;肌肉疲劳;对侧效应

中图分类号:R496, R318 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2006)-01-0018-04

Contralateral effect of sEMG signal characteristics/WEN Xiaoli, WANG Jian//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine,2006,21(1):18—21

Abstract Objective:To observe the sEMG signal characteristics of the lateral muscle were observed when the contralateral homologous muscle fatigued.**Method:**Ten healthy female performed bilateral biceps brachii(BB) isometric fatigue contractions with different loads on different sides. The sEMG signals of bilateral BB were recorded. Then the parameters AEMG、MF、C (n) and %DET were analyzed.**Result:**30% subjects were observed that MF of lateral BB decreased as contralateral BB fatigued and the decreasing percent of the observed lateral was more than 50% of the contralateral decreasing percent. By means of T test between control group and experiment group, no significant change of MF、C(n) and %DET slopes was observed($P>0.05$),but the significant change existed in the parameter AEMG($t=-4.342,P<0.01$).**Conclusion:**AEMG slopes of un-fatigued BB are evidently affected by the contralateral BB. Moreover, MF of un-fatigued BB shows that the same trend with the contralateral homologous muscle experiences the fatigue task. It is possible that the central control strategy of bilateral control may contribute to it.

Author's address Institute of Sports Science and Technology,Zhejiang University, Hangzhou, 310028

Key words surface electromyography signal; muscle fatigue; contralateral effect

疲劳相关 sEMG 信号变化特征指运动肌肉在疲劳发生和发展过程中表现在 sEMG 信号活动上特有的信号活动规律。而频域指标平均功率频率(mean power frequency, MPF)、中位频率(median frequency, MF)等线性下降,时域指标均方根值(root mean square, RMS)、平均肌电值(average EMG, AEMG)显著上升等规律是局部肌肉疲劳在肌电信号上的确定性变化。目前,频域指标线性下降现象的解释以 Lindstrom 等为代表的“外周机制理论”为主流观点^[1],该理论认为疲劳过程中局部肌肉 H⁺累积致使肌肉动作电位传导速度下降是 MPF、MF 等显著下降的重要机制。那么依此观点可以认为,MPF、MF 等线性下降是外周肌肉疲劳的特异性变化,而局部未疲劳肌肉的 MPF、MF 等指标不会发生以上变化。实验假设:如果 sEMG 信号变化是由外周肌肉疲劳因素导致的,那么对侧轻负荷未疲劳肌肉的 sEMG 信号不会发生变化。

1 资料与方法

1.1 受试者

10 名右利手女性受试者,平均年龄 25 ± 2.45 岁,身高 163 ± 3.92 cm,体重 54.2 ± 4.34 kg,体脂百分数 $24.3\%\pm 3\%$,观察臂(左臂)最大随意力量(maximal voluntary contraction, MVC) 16.63 ± 3.09 kg,负荷臂(右臂)MVC 16.68 ± 3.39 kg。实验期间受试者健康状况良好,无上肢肌肉疲劳现象,实验前 24h 未进行任何形式的剧烈体力活动。熟悉运动负荷方法和要求。

1.2 运动负荷方案与信号采集

受试者正对实验台取坐位,躯干垂直,大腿水

* 基金项目:国家自然科学基金项目(30170447);中国-芬兰政府间科技合作项目(AM1021)

¹ 浙江大学体育科学与技术研究所,杭州,310028

作者简介:温晓利,女,硕士研究生

收稿日期:2005-09-11

平,两脚自然分开置于实验台的踏板上,踝、膝与髋关节均为90°。两侧上臂水平放于实验台上,前臂屈,掌心朝内,肩肘关节均为90°,两手腕均通过带有腕垫的细钢丝与实验台前的负荷物体相连。采用拉力传感器和PC-LAB生物信号采集和处理系统测量并记录受试者两臂肱二头肌MVC。随后进行观察臂负荷10%MVC、负荷臂无负荷静态等长收缩1min,为对照组。疲劳恢复后,再进行观察臂负荷不变、负荷臂80%MVC静态等长收缩至力竭,重复3次,各次间隔30min,为实验组。要求受试者必须在保证标准姿势的条件下进行,同时记录两侧上臂肱二头肌的表面肌电信号。

采用ME6000(Mega, Finland)表面肌电仪采集肌电信号,电极放置位置按照Mega公司提供的标准位置贴于两臂肱二头肌肌腹处,探测电极间距为2cm。采样频率为1000Hz。带通滤波20—500Hz,噪声水平小于3.5μV。

1.3 数据处理及统计学分析

本实验分别用线性和非线性分析方法进行考察,线性指标包括MF和AEMG,非线性指标有Lampel-Ziv的复杂度定义和Kaspar和Schusyer的算法计算的复杂度(Lampel-Ziv complexity, C(n))和RQA方法计算的指标确定性线段百分比(determinism%, %DET)。分别计算各次实验中各指标的均值和斜率,并进行配对t检验以考察观察臂在对照组和实验组的肌电信号变化情况。此外,本实验对每名受试者实验组各次实验的两侧sEMG信号的频域指

标下降百分率进行统计,并以观察臂MF下降率达到负荷臂下降的50%作为观察臂受到负荷臂影响的操作定义。采用SPSS11.0软件进行统计。

2 结果

2.1 两侧肱二头肌sEMG信号指标AEMG、MF、C(n)及%DET的变化比较

见图1—4。观察臂肱二头肌负荷10%MVC、负荷臂肱二头肌负荷80%MVC图中可见,负荷臂MF、C(n)随负荷时间的延续呈下降趋势,AEMG、%DET呈上升趋势;观察臂各指标的变化规律不明显。

2.2 3名受试者观察臂在实验组中的MF变化率与对照组比较

见图5,均呈明显的下降趋势,且观察臂MF下降百分数均为负荷臂下降百分数的50%以上,重复实验3次,各次结果较为一致(表1);而其他7名受试者同样重复3次实验,观察臂MF变化百分数均未见下降。

2.3 对所有受试者观察臂的对照组和实验组各指标的变化斜率进行配对t检验, MF、C(n)及%DET差异比较无显著性意义(P>0.05),而AEMG差异存在显著性意义(t=-4.342, P<0.01)(图6)。

2.4 实验组和对照组各指标的均值比较

进行配对t检验,各指标均差异没有显著性意义(P>0.05),但是实验组AEMG和%DET平均值有上升趋势,而MF和C(n)的平均值有下降趋势(表2)。

图1 观察臂10%MVC,负荷臂80%MVC负荷下AEMG随时间变化图

图2 观察臂10%MVC,负荷臂80%MVC负荷下MF随时间变化图

图3 观察臂10%MVC,负荷臂80%MVC负荷下C(n)随时间变化图

图4 观察臂10%MVC,负荷臂80%MVC负荷下%DET随时间变化图

图5 3名被试观察臂在对照组和实验组的MF下降斜率比较图

图6 所有被试观察臂在对照组和实验组的AEMG变化斜率比较图

表1 三名受试者两臂的MF变化百分数及观察臂变化率为负荷臂变化率的百分比

(%)

被试号	1			3			6		
	第一次实验	第二次实验	第三次实验	第一次实验	第二次实验	第三次实验	第一次实验	第二次实验	第三次实验
观察臂	-58.3	-11.5	-20.7	-32.8	-18.9	-25.1	-30.2	-31.9	-40.2
负荷臂	-48.2	-22.9	-33.6	-39.0	-26.8	-12.8	-55.4	-40.9	-54.0
百分比	121.0	50.2	61.3	84.1	70.1	196.1	54.6	78.2	74.4

表2 观察臂对照组和实验组各指标均值及配对t检验结果

 $(\bar{x} \pm s)$

组别	AEMG	MF	C(n)	%DET
对照组	34.22±8.86	53.30±5.73	0.60±0.038	62.03±9.00
实验组	36.22±9.78	49.69±6.12	0.571±0.05	67.94±7.43
t	-1.392	1.592	1.757	-2.032
P	0.197	0.146	0.113	0.073

3 讨论

本研究结果表明, 一侧肱二头肌 80%MVC 等长疲劳负荷对对侧轻负荷未疲劳的肱二头肌肌电信号 AEMG 变化斜率有显著影响; 对 MF 斜率的影响具有较大的个体差异, 其中, 30% 的受试者存在对侧肌肉 MF 斜率的随变现象, 该结果难以通过以往的外周机制加以解释。

3.1 sEMG 信号变化的中枢控制作用

sEMG 信号来源于大脑运动皮质控制之下的脊髓 α 运动神经元的生物电活动, 是中枢神经系统的运动控制信息与影响外周肌肉生物电活动的各种理化因素共同作用的结果。传统的外周代谢性因素的观点认为外周肌肉代谢性酸中毒引起肌细胞传导速度下降和动作电位波形变化是造成 sEMG 信号时、频特征变化的主要原因。但是之后诸多实验事实不能依此得到很好的解释。如 Masuda 等^[2]通过对受试者完成 50%MVC 动态和静态膝关节运动负荷时肌纤维传导速度和 MF 变化关系的研究发现, 由肌纤维传导速度 (muscle fibre conduction velocity, MFCV) 下降造成的 MF 下降比例只占总下降率的 7%。Merletti^[3]也发现肌肉疲劳过程中 MFCV 的变化率远不及 MPF。这些事实的出现使得许多学者转向从神经肌肉系统的中枢影响因素探讨 sEMG 信号变化的原因。

本实验发现, 虽然统计所有受试者观察臂 sEMG 信号指标在实验组和对照组差异没有显著性意义, 但是实验组 AEMG 和 %DET 平均值有上升趋势, 而 MF 和 C(n) 的平均值有下降趋势, 其中 30% 的受试者观察臂肱二头肌 sEMG 信号指标 MF 明显下降, 重复实验 3 次, 观察臂 MF 下降百分数均为负荷臂下降百分数的 50% 以上。这些事实表明肢体一侧上臂疲劳过程中, 中枢神经系统对对侧上臂相应肌肉实行了同样的控制策略, 支持了中枢控制因素在

sEMG 信号变化中的重要作用。Kent-Braun 等^[4]曾经分别使用 sEMG 和电刺激定量研究静态负荷诱发疲劳过程中中枢和外周因素的作用时发现, 当受试者完成维持 4min 的最大静态运动负荷后, MVC 下降到运动初期的 22%, 最大电刺激肌力下降到运动初期的 37.3%; 与此同时中枢激活比值由运动初期的 0.94 下降到 0.78, MVC/强直肌力比值由 2.34 下降到 1.25, 积分肌电值与复合肌肉动作电位的比值由 3.29 下降到 0.74, 这些结果同样证明信号变化过程中中枢作用机制的存在。

一直以来, 研究认为等长负荷诱发 sEMG 指标 MPF 随时间单调递减, AEMG 随时间单调递增是局部肌肉疲劳的确定性反映。但是近来王健等^[5]对完成同一任务的主动肌和拮抗肌的研究发现, 主动肌疲劳过程中, 未疲劳的拮抗肌肌电信号也出现 MPF 下降, AEMG 上升等疲劳特性, 而拮抗肌的最大随意力量却没有下降, 这一结果说明 sEMG 信号的变化不具有局部运动肌肉的疲劳特异性。本实验结果也发现, 观察臂 AEMG 斜率伴随负荷臂疲劳的发展出现显著上升现象, 依据以往 sEMG 信号指标的生理机制研究结果可以认为, 随着负荷臂肱二头肌疲劳的发展, 中枢神经系统动员了更多的观察臂相关运动单位参与活动, 这在肢体水平上验证了 sEMG 信号变化的非疲劳特异性, 同时在肢体水平上支持了 DE LUCA 提出的神经肌肉的共驱动学说^[6]。

3.2 肢体两侧肌肉活动的神经控制理论及交叉负荷效应的个体差异性

解剖和行为学的研究表明人体上肢近侧端肌肉具有双侧神经支配的中枢控制功能^[7]。正常人的双侧神经控制通常受到抑制或隐藏, 而对脑卒中患者的临床观察发现, 脑卒中会激活这种双侧控制。研究表明, 每一个皮质脊髓通路神经元支配着身体对侧的多块肌肉, 大脑一侧半球损伤后, 可以将未损伤的一侧的活动模式作为模板, 使损伤侧尚存的神经元依此模板进行修复和支配^[8]。此外, 运动脑区的激活强度和运动复杂程度之间存在一定关系, Sdato 研究发现^[9], 对侧初级运动区的激活强度在难度不同的运动时保持恒定, 而其他与运动有关脑区的激活强度随着任务难度加大而增加, 这提示在本研究中可以尝试改变观察臂的负荷强度也许会有新的实验结果。

Bawa 等^[10]利用经颅磁刺激技术研究人体上肢肌肉的同侧和对侧控制机制的结果表明,人体肱二头肌存在两侧共同驱动的控制策略,并认为这种双侧控制的现象和程度具有个体差异性。他们认为两侧同时收缩时,本来由胼胝体抑制对侧活动的控制消失了,或者这一抑制干脆被大脑两半球之间的相互促进机制而取代。

而采用 sEMG 信号特征进行人体肌肉的双侧控制机制的研究鲜有报道。本研究采用表面肌电图技术的研究结果表明,在疲劳过程中人体两侧肱二头肌存在神经交叉控制效应,而且中枢对两侧肌肉的共驱动策略在 sEMG 信号的表现有个体差异性,与 Bawa 采用经颅磁刺激技术的研究结果一致。

参考文献

- [1] Lindstrom L, Magnusson S, Peterson I. Muscular fatigue and action potential conduction velocity changes studied with frequency analysis of EMG signals [J]. Electromyography, 1970,10(4): 341—354.
- [2] Masuda K, Masuda T, Sadoyama T, et al. Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions[J]. J Electromyogr Kinesiol, 1999,9(1): 39—46.
- [3] Merletti R, Farina D, Gazzoni M, et al. Effect of age on muscle functions investigated with surface electromyography [J]. Muscle Nerve, 2002,25(1): 65—76.
- [4] Kent-Braun JA. Central and peripheral contributions to muscle fatigue in humans during sustained maximal effort [J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1999,80(1): 57—63.
- [5] 王健,杨红春,刘加海.疲劳相关表面肌电信号特征的非疲劳特异性研究[J]. 航天医学与医学工程, 2004,17(1):39—43.
- [6] Alexander Adam, Carlo J. De Luca. Recruitment order of motor units in human vastus lateralis muscle is maintained during fatiguing contractions[J]. J Neurophysiol, 2003,90(5):2919—2927.
- [7] Sohn YH, Jung HY, Kaelin-Lang A, et al. Excitability of the ipsilateral motor cortex during phasic voluntary hand movement [J]. Exp Brain Res, 2003,148(2):176—185.
- [8] Serrien DJ, Brown P. The functional role of interhemispheric synchronization in the control of bimanual timing tasks [J]. Exp Brain Res, 2002,147(2):268—272.
- [9] Sadato N, Campbell G, Ibanez V, et al. Complexity affects regional cerebral blood flow change during sequential finger movements[J]. Neurosci, 1996, 16(8): 2693—2700.
- [10] Bawa P, Hamm JD, Dhillon P, et al. Bilateral responses of upper limb muscles to transcranial magnetic stimulation in human subjects[J]. Exp Brain Res, 2004,158(3):385—390.

《医学院校康复治疗学专业教材》出版

我国第一套大型康复医学教材《医学院校康复治疗学专业教材》已经由北京华夏出版社出版,主编单位是首都医科大学康复学院、南京医科大学康复系。

该套教材的特点是:既吸取了国际上的先进理念,又侧重了我国的实际特点;既有循序渐进的基础理论,又有实用的诊疗方法;注重基本理论、基本知识、基本技能。本书适用于毕业前和毕业后教育,也可作为临床人员的工具书。

本套大型教材共 19 本:《康复医学导论》(吴弦光主编)14 元、《人体发育学》(江钟立主编)17 元、《运动学》(周士枋主编)38 元、《临床作业疗法学》(王刚、王彤主编)75 元、《基础作业学》(陈立嘉主编)21 元、《物理疗法与作业疗法概论》(桑德春、吴卫红主编)18 元、《言语治疗学》(李胜利主编)25 元、《运动疗法技术学》(纪树荣主编)75 元、《临床康复学》(关骅主编)60 元、《康复心理学》(贺丹军主编)32 元、《康复治疗评定学》(恽晓平主编)75 元、《临床运动疗法学》(励建安主编)40 元、《文体疗法学》(金宁主编)35 元、《理疗学》(乔志恒主编)35 元、《日常生活技能与环境改造》(汪家琮主编)39 元、《假肢与矫形器学》(赵辉三主编)48 元、《中国传统康复治疗学》(许建鹏、高文铸主编)60 元、《物理疗法与作业疗法研究》(刘克敏主编)25 元、《社区康复学》(赵梯尊主编)40 元。

有购书者,我社可给予适当优惠,免费邮寄。地址:北京东直门外香河园北里 4 号,华夏出版社发行部;联系人:袁潮;邮编:100028。电话:13911264672,64663331—3006。传真:010-64626652。