

基于表面肌电信号的不同握姿下动态屈伸肘特性研究*

王立玲¹ 李保宗¹ 刘晓光¹ 马东¹ 刘秀玲¹

屈伸肘运动是我们日常生活中经常使用的动作,比如家务劳动,上肢肌肉力量的健身活动等,都离不开屈伸肘运动。长期使用屈伸肘运动工作的人,很容易发生上肢肌肉损害。上肢肌肉劳损患者经常采用自己习惯的姿势进行康复训练,然而往往不注重握姿的重要性,以致达不到预期的康复,效果甚至对肌肉造成二次损害^[1]。有研究表明,姿势负荷的不同,达到的康复训练效果也不同,比如国外 Waterloo 大学制定的姿势负荷评分办法^[2];国内丁嘉顺等^[3]提出了静态姿势不同和反复性操作时肌肉状态的应激状况是不同的。目前,姿势负荷研究已经成为国内外研究的热点,广泛地应用到临床医学和康复工程等领域^[3-6]。

表面肌电图(surface electromyogram, sEMG)已经成为当今检测和分析机体不同姿势时肌肉收缩特性的重要手段^[7-8],sEMG是利用表面电极技术从骨骼肌表面导出多个运动时所产生的电变化在时间和空间叠加^[9],与肌肉的纤维组成、解剖结构及功能状态、运动单元数量、放电频率等都有密切关系^[10-12]。目前对sEMG处理主要使用时域和频域两种方式。本研究主要是从频域的角度对sEMG信号进行分析,人手不同握姿时上肢表面肌电信号进行快速傅里叶变换(fast Fourier transform, FFT)得到肌电信号的频谱和功率谱。当肌肉疲劳时,功率谱一般由高频向低频漂移,平均频率(mean frequency, MF)和平均功率(mean power frequency, MPF)的值都呈下降趋势与肌肉的疲劳成相关性^[13-14]。但是在实际应用中MPF指标对肌肉活动状态和功能状况的敏感性强于MF指标^[15]。

本研究通过对动态屈肘过程中不同握姿时上肢肱二头肌、肱三头肌和桡腕肌肌电信号的提取,通过对肌电信号频域处理,探讨不同握姿时上肢表面肌电信号的变化特性与差别,找出其中的变化规律,为上肢肌肉劳损患者提供科学的训练姿势。

1 对象与方法

1.1 研究对象

受试者为男女各 10 例健康大学生,测试者均无上肢肌肉劳损病史、实验前 24 小时内均无参加任何剧烈活动、均无肌肉损伤。每例受试者在实验前都接受实验通知,进行试验

动作培训;实验地点为河北省数字医疗工程重点实验室。测试者身体具体信息见表 1。

1.2 实验过程

竖直方向进行不同握姿动态屈伸肘:测试者双腿站直,两臂自然下垂,上臂紧靠躯干,前臂进行竖直动态屈伸肘;水平方向进行不同握姿动态屈伸肘:测试者双腿站直,上臂与肩部平行,前臂进行水平动态屈伸肘。考虑到每例被测者在不同握姿时动态屈伸肘过程中用力大小、幅度的不同,个体之间差异较大,所以被试者应手握相同重量的哑铃来减小这种差异。测试者右手紧握 1.0kg 哑铃,当听到“开始”指令时进行屈伸肘运动 2s/次,进行 60s,实验过程见图 1。

1.3 实验数据统计

利用 NORAXON 公司生产 MR36.0 软件进行表面肌电信号采集,利用无线表面肌电信号传感器,使用一次性 Ag/AgCl 电极片,设定时间常数 0.05s,采样频率为 1500Hz,根据肌肉模型粘贴一次性电极片,电极片之间距离低于 20mm,并对信号进行信号带通 80—250Hz 信号处理,上肢肱二头肌、肱三头肌、桡腕肌表面肌电信号进行 FFT 变化,对 sEMG 进行 MPF 统计分析,MPF 计算公式如下:

表 1 测试者身体信息 ($\bar{x} \pm s$)

性别	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)
男	23.0±2.0	175±2.6	77.5±8.5
女	23.0±1.0	165±2.0	50.5±2.5

图 1 实验者动作



DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.09.015

*基金项目:国家自然科学基金资助项目(61473112);河北省教育厅青年基金资助项目(QN2014101);河北省自然科学基金项目(F2015201112);河北大学创新资助项目(X2016080)

1 河北大学电子信息工程学院,河北省数字医疗工程重点实验室,保定,071002

作者简介:王立玲,女,博士,副教授;收稿日期:2016-05-06

$$MPF = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} S(f) d_f = \int_0^{MPF} S(f) d_f = \int_{MPF}^{\infty} S(f) d_f \quad (1)$$

公式中MPF为中位功率频率, f 为肌电信号频率, $S(f)$ 为频率谱, d_f 为频率的分辨率。

2 结果

对20例健康测试者统计,发现约有80%的测试者上肢表面肌电信号的MPF具有相同的变化趋势。本文仅呈现1例上肢表面肌电的MPF曲线,图2—4分别表示测试者在竖直方向进行动态屈伸肘运动时上肢肱二头肌、肱三头肌、肱桡肌的sEMG的MPF值随时间的变化曲线。

图2 肱二头肌侧、平握时MPF值及一阶拟合值
(竖直方向)

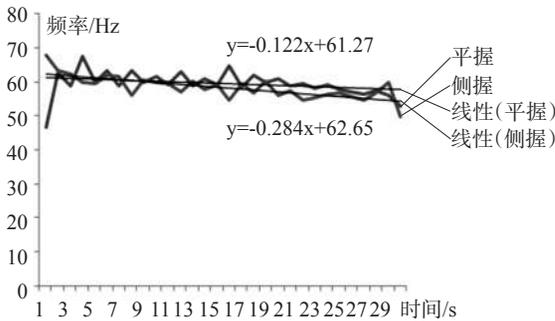


图3 肱三头肌侧、平握时MPF值及一阶拟合值
(竖直方向)

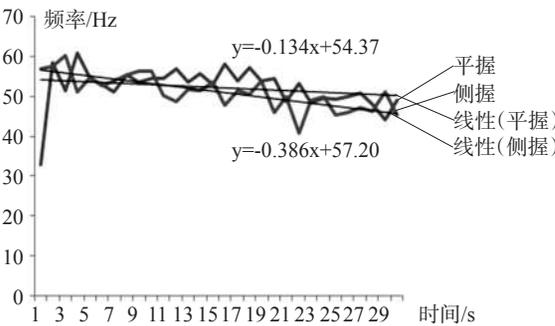


图4 肱桡肌侧、平握时MPF值及一阶拟合值
(竖直方向)

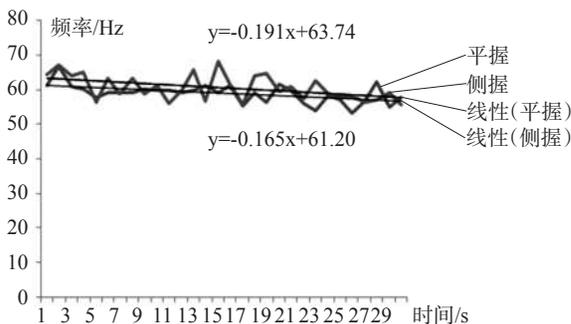


图2表示竖直方向不同握姿时进行动态屈伸肘运动上肢肱二头肌MPF的一阶拟合曲线,图中表明侧握时肱二头肌的一阶拟合值斜率(P) $<$ 平握时的值,即 $P(-0.284) < P(-0.122)$ 。侧握时肱二头肌MPF下降明显,即侧握姿势时肱二头肌更容易疲劳。

图3表示竖直方向不同握姿进行动态屈伸肘运动时上肢肱三头肌的MPF的一阶拟合曲线,肱三头肌侧握时MPF曲线一阶拟合斜率 $<$ 平握时MPF曲线一阶拟合斜率 $P(-0.386) < P(-0.134)$,在0—10s时侧握时肱三头肌MPF值略高于平握,10s之后侧握时肱三头肌MPF值低于平握;肱三头肌同样表现出侧握时MPF曲线的一阶拟合下降明显,即侧握时肱三头肌亦容易疲劳。

图4表示竖直方向肱桡肌的MPF值曲线图,侧握MPF一阶拟合斜率低于平握 $P(-0.191) < P(-0.165)$,但侧握时肱桡肌的MPF值高于平握。说明在不同握姿实验中侧握时肱桡肌的表面肌电信号幅值大,收缩性强。但MPF的一阶拟合斜率 P 侧握时依然比平握时下降明显,说明侧握时肱桡肌比平握时易疲劳。

上述是对测试者在竖直方向进行不同握姿动态屈伸肘的MPF分析,图5—7分别表示测试者在水平方向进行动态屈伸肘运动时上肢肱二头肌、肱三头肌、肱桡肌的sEMG的

图5 肱二头肌侧、平握时MPF值及一阶拟合值
(水平方向)

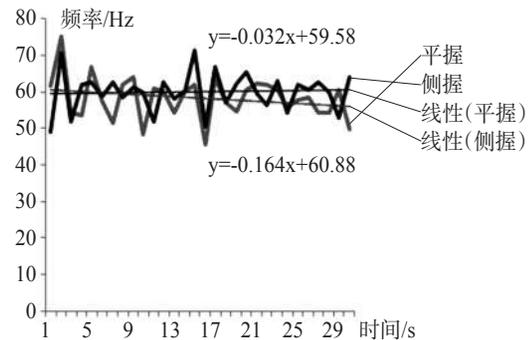


图6 肱三头肌侧、平握时MPF值及一阶拟合值
(水平方向)

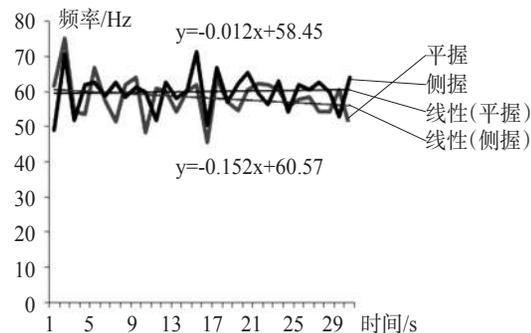
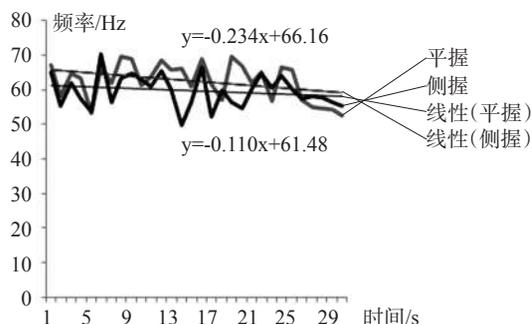


图7 肱桡肌侧、平握时MPF值及一阶拟合值
(水平方向)



MPF值随时间的变化曲线。

图5表示水平方向不同握姿时进行动态屈伸肘运动时上肢肱二头肌MPF的一阶拟合曲线,图中表明平握时肱二头肌的一阶拟合斜率(P)<侧握时的值,即 $P(-0.164) < P(0.032)$,表明侧握姿势还未疲劳而平握姿势已经疲劳,平握时肱二头肌MPF下降明显,即水平方向平握姿势时肱二头肌更容易疲劳。

图6表示水平方向不同握姿进行动态屈伸肘运动时上肢肱三头肌的MPF的一阶拟合曲线,肱三头肌平握时MPF曲线一阶拟合斜率<侧握时MPF曲线一阶拟合斜率 $P(-0.152) < P(-0.012)$,表明水平方向平握时MPF曲线的一阶拟合下降明显,即平握时肱三头肌亦容易疲劳。

图7表示水平方向肱桡肌的MPF值曲线图,平握MPF一阶拟合斜率低于侧握 $P(-0.234) < P(-0.110)$,但平握时肱桡肌的MPF值高于侧握。说明在不同握姿实验中平握时肱桡肌的表面肌电信号幅值大,收缩性强。但MPF的一阶拟合斜率 P 平握时依然比侧握时下降明显,说明平握时肱桡肌比侧握时易疲劳。

通过对竖直和水平两个方向的上肢肱二头肌、肱三头肌、肱桡肌MPF一阶拟合斜率分析,结果表明在竖直方向不同握姿动态屈伸肘运动的过程中,随着时间的推移MPF的一阶拟合斜率都呈下降趋势,但侧握姿势时上肢肌肉更容易疲劳;而在水平方向进行动态屈伸肘运动的过程中平握姿势的一阶拟合下降明显,平握姿势更易疲劳。

3 讨论

基于表面肌电信号的不同握姿动态屈伸肘研究,不仅能够为研究人员提供不同握姿时动态屈伸肘过程中上肢肌肉的神经、肌肉信息,还可以为上肢康复机器人手柄设计、残障人士的康复性训练、智能假肢控制提供新的参数指标^[6]。

本研究工作主要侧重于不同握姿下不同平面内进行动态屈伸肘运动时上肢表面肌电信号的提取和分析,对人手不同握姿时动态屈伸肘过程中上肢sEMG特性的研究,以往,研究学者主要对静态屈肘、一种姿势动态屈伸肘、手势和屈

肘动作相分开,单独研究上肢sEMG特性,本研究并没有局限于单平面,而是从竖直和水平两方面来研究上肢肌肉特性。本研究通过竖直平面,水平平面相结合来探究握姿与上肢肌肉疲劳性的关系,发现竖直屈伸肘运动时侧握姿势容易疲劳,而水平方向动态屈伸肘的过程中平握姿势更易疲劳。

由人体解剖学、运动学知人体上肢在动态屈伸肘的过程中,肱二头肌为屈肌、肱三头肌为伸肌,二者共同作用来完成屈伸肘运动,而肱桡肌为辅助,有使肘关节来保持屈伸肘状态的作用^[7]。而上肢肌肉劳损通常由于手部经常重复或急速运动,或长期姿势不良令肘关节过分伸屈和伸展造成的。通过对实验结果进行临床分析,本研究通过对不同握姿进行上肢动态屈伸肘运动进行疲劳性研究,来探讨哪种握姿更有助于上肢肌肉的康复训练,来预防患者采用不正确的姿势进行康复训练时对肌肉造成的二次伤害,具有非常重要的临床意义。此研究结果表明在竖直方向动态屈伸肘运动的过程中侧握姿势比平握姿势更容易疲劳,而在水平方向动态屈伸肘运动的过程中平握姿势更容易疲劳。如果上肢肌肉劳损患者在竖直方向采用侧握、水平方向采用平握姿势来进行屈伸肘运动,很可能对肱二头肌、肱三头肌、肱桡肌造成二次伤害。在此建议对于患有上肢肌肉劳损患者来说应尽量在竖直方向采用平握姿势,水平方向采用侧握姿势来进行上肢肌肉的康复训练。此外,对于上肢健身人员来说提供一种科学的健身训练姿势。

综上所述,人手不同握姿动态屈伸肘研究不仅在临床医学,康复工程领域具有重要意义,还在体育健身方面具有重要的价值。另外,本课题表面肌电信号研究和其他生物信号研究具有类似性,也存在着个体差异。在进行实验的过程中,也发现不同测试者之间肌电信号存在着明显的差异性。另外同一测试者进行重复实验时肌电信号也存在一定的差异,因此数据处理时采用求取平均值的方法来减小差异性。另外此研究只是在竖直、水平两平面进行了不同握姿动态屈伸肘特性研究,得出的结论具有一定的局限性;对于多平面内不同握姿动态屈伸运动还有待深入研究。

参考文献

- [1] 李文,赵丽娜.表面肌电信号在脑卒中患者上肢运动功能康复中的应用[J].中国康复医学杂志,2013,28(2):163—165.
- [2] 丁嘉顺,王正伦.手臂静态姿势和反复性操作负荷的肌电测定分析[J].中华劳动卫生职业病杂志,2004,22(6):406—409.
- [3] 黄天鹏,张华.基于表面肌电信号的上臂动作识别研究[J].南通大学学报(自然科学版),2013,12(1):14—17.
- [4] 王红旗,李林伟.手腕表面肌电信号的动作特征表示与识别[J].控制工程,2015,22(4):649—653.
- [5] 汪胜佩,杨惠.基于表面肌电信号的手腕动作意图在线识别方法[J].北京生物医学工程,2013,32(5):467—471.
- [6] 张启忠.基于表面肌电信号的手腕动作模式识别[J].中国生物医

(下转第1051页)