

公益宣传 我在行动

我们在一起
春暖花开

众志成城 抗击疫情

编辑：北京协和大学出版科学研究院
编校：花颖美/木梓书声/周书强
设计：张静楠

ISSN 1001-9391 CN12-1094R 邮发代号：6-50 国内定价：12.00 元

中华医学会系列杂志

ISSN 1001-9391
CN 12-1094-R

中华劳动卫生职业病杂志

ZHONGHUA LAODONG WEISHENG ZHIYEBING ZAZHI
2020年9月 第38卷 第9期

CHINESE
JOURNAL
OF
INDUSTRIAL HYGIENE
AND OCCUPATIONAL
DISEASES

Volume 38 Number 9
September 2020



中华医学会
CHINESE
MEDICAL
ASSOCIATION

ISSN 1001-9391



9 771001 939200

中华劳动卫生职业病杂志

二〇二〇年九月

第三十八卷

第九期

中华医学会

中华劳动卫生职业病杂志[®]

CHINESE JOURNAL OF INDUSTRIAL HYGIENE
AND OCCUPATIONAL DISEASES

月刊 1983年8月创刊 第38卷 第9期 2020年9月20日出版

主 管

中国科学技术协会

主 办

中华医学会

100710,北京市东四西大街42号

编 辑

中华劳动卫生职业病杂志编辑部
委员会

300011,天津市河东区华越道6号

电话(传真):0086-22-24333581

E-mail:ejoh1983@163.com

http://www.medjournals.cn

总编辑

王 生

编辑部主任

霍 飞

出 版

《中华医学杂志》社

有限责任公司

100710,北京市东四西大街42号

电话(传真):(010)51322059

E-mail:office@cmaph.org

广告经营许可证

津工商广字 1201034000031 号

印 刷

天津市恒远印刷有限公司

发 行

范围:公开

国内:天津市邮政报刊发行局

国外:中国国际图书贸易集团

有限公司

(北京 399 信箱,100044)

代号 M4850

订 购

全国各地邮政局

邮发代号 6-50

邮 购

中华劳动卫生职业病杂志编辑部

300011,天津市河东区华越道6号

电话(传真):0086-22-24333581

定 价

每期 12.00 元,全年 144.00 元

中国标准连续出版物号

ISSN 1001-9391

CN 12-1094/R

2020 年版权归中华医学会所有

未经授权,不得转载、摘编本刊文章,不得使用本刊的版式设计

本刊刊出的所有文章不代表中华医学会和本刊编委会的观点,除非特别声明

本刊如有印装质量问题,请向本刊编辑部调换

目 次

论 著

高压氧调控 HMGB1 防治急性一氧化碳中毒后脑病的作用机制

..... 赵林珊 刘兴 唐江伟 耿瑜 641

正己烷亚急性染毒对小鼠学习记忆及海马组织线粒体能量代谢的影响

..... 赵文恒 张天昊 王文龙 王宝强 张兆强 林立 646

基于模拟搬举作业的表面肌电数据处理方法差异性研究

..... 徐擎 钟思武 张雪艳 贾宁 曲颖 张曦 王忠旭 651

c-myc 基因沉默对 PM_{2.5} 染毒 L02 肝细胞癌基因和凋亡基因表达的影响

..... 秦双建 王冰玉 李柏茹 郑凯 蔡颖 李闰冰 曾明 肖芳 徐新云 657

调查研究

职业性慢性苯中毒患者线粒体细胞色素 c 氧化酶亚单位 I

基因甲基化水平的研究

..... 王佃鹏 蔡迪雅 杨祥丽 卢欣 林大枫 李培茂 张志敏 张艳芳 张文 664

某大型钢厂钢铁工人高温累积暴露量和高血压关系的研究

..... 崔诗悦 袁聚祥 668

某医院核医学工作人员职业性外照射个人剂量及相关性分析

..... 李晶 陈光弟 包家立 孙达 刘洪彪 王辉 陈琳 阮笑笑 672

石棉及人造矿物纤维加工作业环境的粉尘纤维计数浓度检测及对比研究

..... 蒋兆强 邵迪初 程永然 苗超 柴剑荣 徐承敏 余珉 王晶 李涛 陈钧强 675

湖南省 6344 例农民工尘肺病住院患者基本情况分析

..... 戴伟荣 李欣 唐步尧 陈刚 679

农民工尘肺患者生存质量及影响因素研究

..... 景华 崔萍 王文霞 李娟 王丽 毕冰茜 吴媛 刘燕 荀康丽 张放 682

采掘作业工人矽肺发病调查 曹艳梅 刘杰 686

监测与检验技术

尿中苯乙烯代谢产物测定的分散液液微萃取-高效液相色谱法

..... 顾缨缨 梅勇 聂梦涵 盛旭光 方若丹 苏婉婷 韩军 689

职业病临床与中毒救治

石棉致职业性肿瘤 30 例临床分析 宋平平 孙晓伟 张松泉 高燕 张华 陈艳霞 693

经颅直流电刺激对一氧化碳中毒迟发性脑病认知功能的影响

..... 曹双清 高珣 朱保月 刘倩 刘永建 肖青勉 王维展 杜艳雪 696

病例报告

以意识障碍为首发症状的重度稀料吸入中毒一例

..... 苏春花 王秀云 刘钰罡 管向东 王荣喜 付坤月 刘建强 701

环氧乙烷中毒后神经精神障碍合并体重进行性增加一例 赵晓鹏 骆彬 李增宁 703

企业职业卫生

某汽车零部件制造企业噪声职业暴露风险评价 曾运良 周志洋 黄威 黎婷婷 705

某制冷设备生产企业职业病危害现状调查 张士怀 张志虎 陶玲 冯斌 王辉 张海东 张普 708

综 述

代谢组学在纳米毒理学研究中的应用 邹晓雪 王海椒 刘丽华 张博 712

双乙酰香味剂相关性闭塞性细支气管炎的研究进展 王苑颖 叶俏 717

读者·作者·编者

《中华劳动卫生职业病杂志》投稿要求 650

本刊关于数字用法和参考文献著录格式的使用说明 711

会 讯

中国泰山高峰论坛暨第十一届全国中毒急危重症学术大会召开 663

声 明

关于网络上出现假冒“中华劳动卫生职业病杂志在线投稿”系统的声明 678

启 事

关于《中华劳动卫生职业病杂志》编辑部电子邮箱变更的启事 720

CHINESE JOURNAL OF INDUSTRIAL HYGIENE AND OCCUPATIONAL DISEASES

Monthly, Established in August 1983, Volume 38, Number 9, September 20, 2020

Responsible Institution

China Association for Science and
Technology

Sponsor

Chinese Medical Association
42 Dongsi Xidajie, Beijing 100710, China

Editing

Editorial Board of Chinese Journal
of Industrial Hygiene and
Occupational Diseases
6 Huayue Road, Hedong District,
Tianjin 300011, China
Tel(Fax):0086-22-24333581
E-mail:cjoh1983@163.com
<http://www.medjournals.cn>

Editor-in-Chief

WANG Sheng(王生)

Managing Director

HUO Fei(霍飞)

Publishing

Chinese Medical Journals
Publishing House CO., Ltd.
42 Dongsi Xidajie, Beijing 100710, China
Tel(Fax):0086-10-51322059
E-mail:office@cmaph.org

Printing

Tianjin Hengyuan Printing
Co., Ltd.

Overseas Distributor

China International Book
Trading Corporation
P.O. Box 399, Beijing 100044, China
Code NO. M4850

Mail-Order

Editorial Department of Chinese
Journal of Industrial Hygiene
and Occupational Diseases
6 Huayue Road, Hedong District,
Tianjin 300011, China
Tel(Fax):0086-22-24333581

CSSN

ISSN 1001-9391
CN 12-1094/R

Copyright © 2020 by the Chinese Medical Association

No content published by the journals
of Chinese Medical Association may
be reproduced or abridged without
authorization. Please do not use or
copy the layout and design of the
journals without permission.

All articles published represent the
opinions of the authors, and do not
reflect the official policy of the Chinese
Medical Association or the Editorial
Board, unless this is clearly specified.

CONTENTS IN BRIEF

ORIGINAL ARTICLES

The mechanism of hyperbaric oxygen regulating HMGB1 in the prevention and treatment of encephalopathy after acute CO poisoning 641
Zhao linshan, Liu Xing, Tang Jiangwei, Geng Yu

Effects on learning and memory and mitochondrial energy metabolism in hippocampus of mice by subacute exposure to n-hexane 646
Zhao Wenheng, Zhang Tianhao, Wang Wenlong, Wang Baoqiang, Zhang Zhaoqiang, Lin Li

The difference of surface electromyography data processing method based on simulated manal-lifting-task 651
Xu Qing, Zhong Siwu, Zhang Xueyan, Jia Ning, Qu Ying, Zhang Xi, Wang Zhongxu

Effect of c-myc gene silence on the expression of oncogenes and apoptotic genes in hepatocytes treated with PM_{2.5} 657
Qin Shuangjian, Wang Bingyu, Li Boru, Zheng Kai, Cai Ying, Li Runbing, Zeng Ming, Xiao Fang, Xu Xinyun

APPLIED STUDIES AND CASE REPORTS

Study of methylation of mitochondrial MT-COI of benzene poisoning 664
Wang Dianpeng, Cai Diya, Yang Xiangli, Lu Xin, Lin Dafeng, Li Peimao, Zhang Zhimin, Zhang Yanfang, Zhang Wen

Analysis on the relationship between cumulative high temperature exposure and steel workers' hypertension in a large steel mill 668
Cui Shiyue, Yuan Juxiang

Individual irradiation dose trend and correlation analysis of nuclear medicine workers in a hospital 672
Li Jing, Chen Guangdi, Bao Jiali, Sun Da, Liu Hongbiao, Wang Hui, Chen Lin, Ruan Xiaoxiao

Detection and comparison of fiber count concentration in processing environment of asbestos and man-made mineral fiber 675
Jiang Zhaoqiang, Shao Dichu, Cheng Yongran, Miao Chao, Chai Jianrong, Xu Chengmin, Yu Min, Wang Jing, Li Tao, Chen Junqiang

Analysis of 6344 cases of hospitalized migrant workers with pneumoconiosis	679
<i>Dai Weirong, Li Xin, Tang Burao, Chen Gang</i>	
Study on the quality of life and influencing factors of pneumoconiosis in migrant workers	682
<i>Jing Hua, Cui Ping, Wang Wenxia, Li Juan, Wang Li, Bi Bingqian, Wu Yuan, Liu Yan, Xun Kangli, Zhang Fang</i>	
Incidence of silicosis among excavation workers	686
<i>Cao Yanmei, Liu Jie</i>	
Determination of metabolites of styrene in urine by dispersive liquid-liquid microextraction coupled with high performance liquid chromatography	689
<i>Gu Yingying, Mei Yong, Nie Menghan, Sheng Xuguang, Fang Ruodan, Su Wanting, Han Jun</i>	
Clinical analysis of 30 cases with asbestos-related occupational tumors	693
<i>Song Pingping, Sun Xiaowei, Zhang Songquan, Gao Yan, Zhang Hua, Chen Yanxia</i>	
Effects of transcranial direct current stimulation on cognitive function in delayed encephalopathy after carbon monoxide poisoning	696
<i>Cao Shuangqing, Gao Xun, Zhu Baoyue, Liu Qian, Liu Yongjian, Xiao Qingmian, Wang Weizhan, Du Yanxue</i>	
Disorder of consciousness as the first symptom of severe diluent intoxication: a case report	701
<i>Su Chunhua, Wang Xiuyun, Liu Yugang, Jian Xiangdong, Wang Rongxi, Fu Kunyue, Liu Jianqiang</i>	
Clinical analysis of a case of neuropsychiatric disorder with progressive weight gain after ethylene oxide poisoning	703
<i>Zhao Xiaopeng, Luo Bin, Li Zengning</i>	
Risk assessment of occupational noise exposure in an automobile parts manufacturing enterprise	705
<i>Zeng Yunliang, Zhou Zhiyang, Huang wei, Li Tingting</i>	
Investigation on occupational hazards in a refrigeration equipment manufacturing enterprise	708
<i>Zhang Shihuai, Zhang Zhihu, Tao Ling, Feng Bin, Wang Hui, Zhang Haidong, Zhang Pu</i>	
Application of metabolomics in nanotoxicity	712
<i>Zou Xiaoxue, Wang Haijiao, Liu Lihua, Zhang Bo</i>	
Advances in flavoring-related bronchiolitis obliterans	717
<i>Wang Yuanying, Ye Qiao</i>	

基于模拟搬举作业的表面肌电数据处理方法差异性研究

徐擎 钟思武 张雪艳 贾宁 曲颖 张曦 王忠旭

100050 北京, 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所职业防护与工效学研究室

通信作者: 王忠旭, E-mail: wangzhongxu2003@163.com

【摘要】目的 研究不同表面肌电信号数据截取方法在判断肌肉疲劳应用中的差异。**方法** 于 2019 年 7 至 10 月, 以模拟手工搬举作业为模型, 采集 13 名受试人员肱桡肌、肱二头肌、三角肌、左竖脊肌、右竖脊肌及股外侧肌产生的表面肌电信号。应用 3 种不同的肌电信号处理方法(全部信号、波峰信号、规定动作信号)对原始数据进行时域[均方根值(RMS)]、频域[平均中位频率(MDF)]分析, 利用 Wilcoxon 符号秩和检验以及非线性曲线拟合分析不同肌电数据截取方法间的数据差异性。**结果** 模拟搬举作业受试人员年龄(24.31±2.02)岁, 身高(173.78±4.84) cm, 体重(66.28±5.58) kg, 体重指数(BMI) 21.94±1.58; 肱三头肌皮褶厚度(14.08±4.86) mm, 肩胛骨下皮褶厚度(15.54±3.59) mm。应用不同肌电信号截取办法处理信号数据后, 经正态性检验、方差齐性检验、Wilcoxon 检验, 除肱二头肌 MDF 指标外, 其余各肌肉 RMS、MDF 信号的差异均有统计学意义($P<0.016$)。全部信号截取方法处理的数据分布离散度多数优于其他信号截取方案, RMS 信号斜率变化率高于其他信号截取方案。非线性回归结果显示, 全部信号截取方法处理数据的波动性小, 回归方程拟合度高。**结论** 不同肌电信号处理方法存在差异, 以动作周期起始点至结束点的全部信号截取法处理数据的波动性最小, 肌电时域、频域指标随时间变化灵敏度最高, 适用于在动态复杂作业中判断肌肉疲劳情况。

【关键词】 肌电描记术; 信号处理; 肌肉疲劳; 手工提举作业

基金项目: 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所职业健康风险评估与国家职业卫生标准制定项目(131031109000160004)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121094-20191030-00507

The difference of surface electromyography data processing method based on simulated manual-lifting-task

Xu Qing, Zhong Siwu, Zhang Xueyan, Jia Ning, Qu Ying, Zhang Xi, Wang Zhongxu

Department of Occupational Health Protection and Ergonomics, National Institute of Occupational Health and Poison Control, China CDC, Beijing 100050, China

Corresponding author: Wang Zhongxu, E-mail: wangzhongxu2003@163.com

【Abstract】 Objective To study the differences of different signal processing method of surface electromyography (sEMG) in judging muscle fatigue. **Methods** From July to October 2019, based on the model of simulated manual lifting operation, the original sEMG signals from 13 volunteers of brachial radial muscle, brachial two-headed muscle, triangle muscle, left vertical spine muscle, right vertical spine muscle and lateral femoral muscle were collected in the operation activities. Three different electromyography signal processing methods (all signal from motion beginning to the end, peak signal and the specified motion signal) were used to analyze the original data in time domain (RMS) and frequency domain (MDF), the data difference between different electromyography signal processing methods was analyzed by using Wilcoxon rank and sum test and nonlinear curve fitting method. **Results** The age of the subjects of the simulated lifting operation was (24.31±2.02) years old, height (173.78±4.84) cm, weight (66.28±5.58) kg, body mass index (BMI) 21.94±1.58. The thickness of triceps skinfold was (14.08±4.86) mm, and the thickness of the skin fold under the scapula was (15.54±3.59) mm. After processing the original signal data by using different sEMG signal interception methods, the normality test, Levene's test, and the Wilcoxon test showed that, except for the MDF index of the brachial two-headed muscle, the differences in the RMS and MDF signals of the other muscles were statistically significant ($P<0.016$). The all signal processing method dealt with data distribution dispersion better than other methods, and the rate of change of RMS signal slope was higher than other methods. Non-linear regression results showed that all signal processing method had low volatility in processing data, and the regression equation had a high degree of fit. **Conclusion** Different electromyography signal processing methods

have differences. The all signal processing method which intercepts from starting point to the end point of action cycle has the least data volatility, and electromyography time domain and frequency domain index with the highest sensitivity of time, which is suitable for the application of surface electromyography to judge muscle fatigue in dynamic and complex operations.

【Key words】 Electromyography; Signal processing; Muscle fatigue; Manual lifting operations

Fund program: Occupational Health Risk Assessment and National Occupational Health Standards Development Project, the National Institute of Occupational Health and Poison Control, China CDC (131031109000160004)

DOI:10.3760/ema.j.cn121094-20191030-00507

表面肌电描记 (sEMG) 是劳动生理学和工效学测量的重要技术手段, 可以客观评估肌肉运动状态, 反映表浅肌肉活动强度和功能改变^[1-2]; 与其他运动负荷测量手段相比, sEMG 具有无损伤性、灵敏度高、可实时监测、客观性强以及多信号处理方法等优点, 近年来普遍应用于劳动负荷评估^[3-5]、肌肉疲劳分析等研究领域^[6-8]。sEMG 信号中的时域和频域分析是评估劳动负荷与肌肉疲劳的两个常用技术方法^[8-9], 定量反映 sEMG 信号的振幅和频谱随时间改变的变化特征^[10]。时域分析常用均方根值 (RMS)、积分肌电值 (IEMG); 频域分析常用平均中位频率 (MDF) 和平均功率频率 (MPF)。研究发现, sEMG 信号的时域和频域指标与神经肌肉功能活动存在密切关系, 在一定程度上可反映肌肉活动过程中的功能状态、疲劳程度及恢复状态的变化, 其中 RMS 和 MDF 是能有效反映局部肌肉状态的线性指标^[11]。肌电信号常用指标评估效果多与信号截取时间有关^[12], 同一组肌电信号的截取规则不同, 得到的时域、频域指标会有较大差异。这种差异是劳动负荷分析偏差的主要原因。现阶段研究中, 常采用等时间间隔截取的方法进行数据分析^[17], 截取时长分布在几十毫秒到几秒之间^[14-16]。常见截取方法有根据模拟动作周期和被测肌肉动作频率进行全部活动信号截取^[12], 或以固定时间窗口进行连续截取^[5, 17-18], 亦或以肌电信号峰值为截取窗口中点, 固定时间窗口进行信号处理^[19-20]。各信号处理方法间存在较大系统误差, 是影响肌电分析结果准确性的主要原因。因此, 我们通过模拟手工搬举作业收集作业活动参与程度较高的 6 块肌肉的肌电信号, 比较上述 3 种常用信号处理方法的差异, 探讨不同截取方法对肌电信号灵敏度的影响。

对象与方法

1. 研究对象: 于 2019 年 7 至 10 月, 选择 13 名无肌肉骨骼疾病史的成年健康男子作为受试人员。通过设定的流程进行模拟手工搬举作业, 过程中收

集参与作业活动主要肌群的表面肌电信号。

2. 研究内容: 收集参与度较高的受试人员肱桡肌、肱二头肌、三角肌、左竖脊肌、右竖脊肌和股外侧肌 6 块肌肉在模拟搬举作业过程中产生的全部肌电信号。利用不同的截取方案 (全部信号、波峰信号、规定动作信号) 进行处理, 统计分析信号截取方法间的差异性, 根据数据的离散程度及在经典肌肉疲劳判定方法中的灵敏度来确定最优截取方案。

3. 模拟搬举作业活动的设计: 以民航行李搬运作业为基础, 设计被搬举的木箱定制尺寸为 60 cm × 40 cm × 25 cm, 重量为 12 kg。木箱台基高度为 43 cm, 成 90° 布置成 L 型。受试人员按规定要求每 7.2 s 完成 1 次弯腰搬举动作, 将木箱从 L 型台基的一侧台基面转身 90° 搬至相邻一侧台基面, 直至力竭, 提举高度为 42 cm。受试人员持续重复完成将木箱在 L 型台基相邻两侧台基面间往返搬举的模拟作业活动。模拟作业活动由弯腰、屈膝、提举、转身、放下等动作组成, 将此活动分为 4 个任务段, 每个时段为 12 min (搬举 100 次), 每 2 个时段间暂停 3 min, 然后继续下一任务段。

4. 表面肌电的电极位置: 用一次性除毛器刮除目标肌肉肌腹及周围毛发, 避开皮肤损伤或瘢痕区域; 用细砂纸打磨上述清理区域, 再用 75% 酒精棉球反复擦拭, 等皮肤自然干燥后粘贴电极片。电极片为银-氯化银双电极, 形状为方形, 边长为 35 mm, 有效采集直径为 10 mm, 表面附有透明导电凝胶。沿目标肌肉肌腹肌纤维走向依次粘贴 2 片电极, 间隔 2 cm。电极具体位置: 肱桡肌 (前臂内桡侧, 距外侧上髁 4 cm), 肱二头肌 (上臂前面肌腹中央), 三角肌 (肩峰下 3 cm), 竖脊肌 (第 3 腰椎水平, 脊柱左右 2 cm), 股外侧肌 (膝盖上方 3~5 cm, 中线的斜交角上)。

5. 肌电结果和信号的处理方法: 使用 16 导联德国 Biovision 肌电描记仪进行并与肌电采集同步采集作业视频资料, 设备共模抑制比为 120 dB, 采样频率为 1 000 Hz, 带通滤波为 10~480 Hz, 输入阻抗

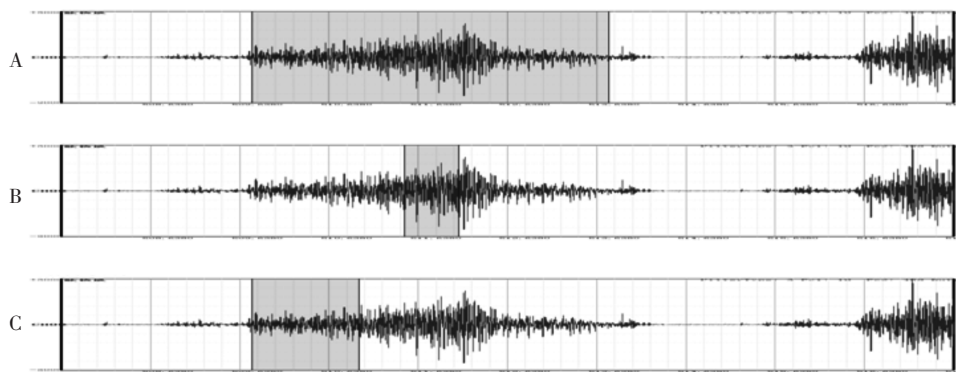
小于 10 G。利用 EMG Server 3.0 软件对原始肌电信号进行截取分析。进行信号截取时,根据动作选取原则通过视频分析确定信号截取起止时点,以保证每种信号截取方法应用于不同受试人员、试验时

段、作业动作、测试肌群时的一致性。确保在相同的动作或信号截取点间进行不同肌电信号截取方法的比较。数据截取方案按作业动作选取、截取时长分为 3 种,见表 1、图 1。

表 1 肌电原始数据的截取方案

类别	动作选取范围	信号截取位置	信号截取时长(s)
方案 1	从抬起箱子离开台面开始至把箱子放回台面过程	全部信号	4
方案 2	从抬起箱子离开台面开始至把箱子放回台面过程	以波峰对称分布	0.6
方案 3	从抬起箱子离开台面开始至把箱子抬至最高点过程	规定动作信号	1.2

注:每种截取方案共截取原始数据点 192 个



A: 截取方案 1; B: 截取方案 2; C: 截取方案 3

图 1 3 种截取方案的示意图

根据肌电分析指标 RMS 和 MDF 计算公式,将截取肌电信号进行转换。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T^{t+T} EMG^2(t) dt}$$

$$MDF = \int_0^{MDF} (f) dt = \int_{MDF}^{\infty} P(f) df = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} P(f) df$$

式中, T 为采样计算频率, 本次研究为 1 024; EMG 为采样计算时刻的肌电信号值; $P(f)$ 为功率谱曲线; df 为频率分辨率; f 为频率。

6. 最优方案确定的原则^[10]: 首先利用 3 种截取方案分别对 13 组肌电信号进行数据截取, 并将截取后的数据集按肌肉类别、分析指标、截取方案进行分组, 对每组数据进行正态性检验; 根据肌肉类别、分析指标分别对 3 种截取方案数据进行方差齐性分析。根据两两比较结果判定不同截取方法得到的 RMS 和 MDF 数据差异性。通过数据离散程度(变异系数分布)和非线性回归情况确定最优方案。利用三项式非线性回归来验证不同截取方法对肌电数据波动性的影响, 拟合结果中, 决定系数越高, 原始数据的波动性越小, 拟合方程的斜率变化越能体现肌肉时域、频域指标的真实变化。在劳动生理学肌肉疲劳判定中, 拟合度更高, 结果判定可靠性

更好。

7. 统计学分析: 用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。计量数据符合正态分布, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示。通过 Kolmogorov-Smirnov 检验进行数据分布正态性判定, 利用 Levene 检验验证方差齐性。通过非参数 Wilcoxon 符号秩和检验分析 3 种数据截取方法差异有无统计学意义。通过变异系数分布及非线性回归方程拟合度确定数据离散程度。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。进行两两比较时, 通过 Bonferroni 法校正检验水平, $\alpha = 0.05 \times 2/3 \times 2 = 0.0166$, 以 $P < 0.017$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 基本情况: 受试人员年龄 (24.31 ± 2.02) 岁, 身高 (173.78 ± 4.84) cm, 体重 (66.28 ± 5.58) kg, 体重指数 (BMI) 21.94 ± 1.58 ; 皮褶厚度: 肱三头肌皮褶厚度 (14.08 ± 4.86) mm, 肩胛骨下皮褶厚度 (15.54 ± 3.59) mm。

2. 肌电数据分析: (1) 肌电截取数据分布正态性检验: 结果显示, 全部数据 (76 032 个) 中有 85.19% ($2\ 944/3\ 456$) 的 RMS 和 84.03% ($2\ 904/3\ 456$) 的 MDF 值符合正态分布。(2) 不同数据截取方法对应肌电数据正态性和方差齐性检验: 结果显示, 数据

中除肱桡肌方案 1 和方案 2、股外侧肌方案 2 和方案 3 的 RMS, 肱桡肌方案 2、肱二头肌方案 1、三角肌方案 2 和方案 3 以及股外侧肌的 MDF 外, 其他各组数据均不服从正态分布($P<0.05$)。见表 2。除肱二头肌 RMS($P=0.112$)外, 其余数据均不满足方差齐性($P<0.05$), 见表 3。(3)不同信号截取方案数据差异性比较: 方案 1 和方案 2 相比, 肱桡肌 MDF、肱二头肌 MDF、RMS 和股外侧肌 RMS 差异无统计学意义($P>0.05$), 其余肌肉数据均显示两种截取方案间的差异有统计学意义($P<0.05$); 方案 2 和方案 3 相比, 肱桡肌 RMS、肱二头肌 MDF 和三角肌 RMS 差异无统计学意义($P>0.05$), 其余肌肉数据均显示两种截取方案间的差异有统计学意义($P<0.05$); 方案 1 与方案 3 相比, 肱桡肌和肱二头肌 MDF 差异无统计学意义($P>0.05$), 其余肌肉数据均显示两种截取方案间的差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 4。(4)三种截取方案数据波动性的比较: 各肌肉经不同截取方案处理, 再经统计变换后的 RMS、MDF 变异系数箱式图(图 2)显示, 除左竖脊肌 MDF、股外侧肌 MDF、肱桡肌 MDF、肱二头肌 RMS 外, 经方案 1 处理的数据分布离散度均优于其他两种信号截取方案。

表 2 肌电数据分布的正态性检验结果(F 值)

肌肉类别	肌电指标	方案 1	方案 2	方案 3
肱桡肌	RMS	0.034	0.041	0.066 ^a
	MDF	0.072 ^a	0.051	0.091 ^b
肱二头肌	RMS	0.151 ^b	0.092 ^b	0.082 ^b
	MDF	0.051	0.103 ^b	0.096 ^b
三角肌	RMS	0.086 ^b	0.121 ^b	0.154 ^b
	MDF	0.063 ^a	0.035	0.058
左竖脊肌	RMS	0.135 ^b	0.137 ^b	0.144 ^b
	MDF	0.076 ^b	0.075 ^b	0.082 ^b
右竖脊肌	RMS	0.100 ^b	0.099 ^b	0.111 ^b
	MDF	0.081 ^b	0.128 ^b	0.120 ^b
股外侧肌	RMS	0.089 ^b	0.059	0.061
	MDF	0.038	0.060	0.039

注: RMS: 均方根值; MDF: 平均中位频率; ^a $P<0.05$; ^b $P<0.01$

模拟手工搬举作业前 20 min, 经截取方案 1 处理的 RMS 信号斜率变化率高于截取方案 2、方案 3, 见图 3。截取方案 1 的肱桡肌、三角肌、左竖脊肌、右竖脊肌 RMS 信号拐点早于截取方案 2、方案 3, 见表 5。

RMS 与时间的回归模型拟合度比较, 方案 1 中肱桡肌、肱二头肌、左竖脊肌、股外直肌拟合度优于方案 2、方案 3($P<0.05$); 方案 3 中三角肌、右竖脊肌拟合度优于方案 1、方案 2($P<0.05$)。MDF 与时间的

回归模型拟合度比较, 方案 1 中肱桡肌、三角肌、左竖脊肌、右竖脊肌拟合度优于方案 2、方案 3 ($P<0.05$); 方案 3 中股外直肌拟合度优于方案 1、方案 2 ($P<0.05$)。见表 6。

表 3 肌电数据分布的方差齐性检验结果

肌肉类别	肌电指标	Levene 检验(F 值)	P 值
肱桡肌	RMS	4.232	0.015
	MDF	18.351	0.000
肱二头肌	RMS	2.199	0.112
	MDF	10.851	0.000
三角肌	RMS	43.595	0.000
	MDF	15.813	0.000
左竖脊肌	RMS	6.164	0.002
	MDF	21.804	0.000
右竖脊肌	RMS	3.525	0.030
	MDF	17.672	0.000
股外侧肌	RMS	4.568	0.011
	MDF	46.929	0.000

注: RMS: 均方根值; MDF: 平均中位频率

表 4 不同肌电数据经各截取方案处理后的差异性检验

肌肉类别以及数据种类	方案 1-方案 2		方案 2-方案 3		方案 1-方案 3	
	Z 值	P 值	Z 值	P 值	Z 值	P 值
肱桡肌						
MDF	-0.152 ^a	0.879	-11.787 ^a	0.000	-1.287 ^a	0.198
RMS	-4.776 ^a	0.000	-0.830 ^b	0.406	-2.991 ^b	0.003
肱二头肌						
MDF	-0.829 ^a	0.407	-0.794 ^b	0.427	-0.041 ^a	0.967
RMS	-1.431 ^a	0.153	-9.043 ^b	0.000	-9.922 ^a	0.000
三角肌						
MDF	-9.580 ^a	0.000	-3.828 ^b	0.000	-9.663 ^b	0.000
RMS	-11.778 ^a	0.000	-1.308 ^a	0.191	-11.809 ^b	0.000
左竖脊肌						
MDF	-9.512 ^a	0.000	-4.275 ^a	0.000	-11.411 ^b	0.000
RMS	-3.177 ^a	0.001	-11.289 ^b	0.000	-10.802 ^a	0.000
右竖脊肌						
MDF	-10.821 ^a	0.000	-6.789 ^a	0.000	-11.896 ^b	0.000
RMS	-8.128 ^a	0.000	-11.047 ^a	0.000	-11.805 ^b	0.000
股外侧肌						
MDF	-10.586 ^a	0.000	-5.425 ^a	0.000	-11.926 ^b	0.000
RMS	-0.892 ^a	0.373	-5.259 ^b	0.000	-2.715 ^a	0.007

注: MDF: 平均中位频率; RMS: 均方根值; ^a 正秩; ^b 负秩

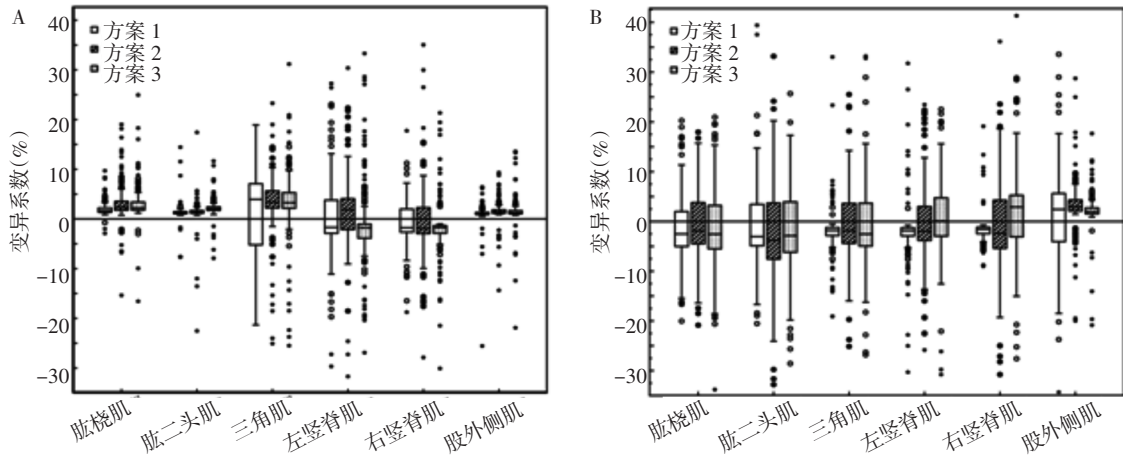
讨 论

根据原始数据正态性检验和方差齐性检验结果, 为消除受试者间差异及因受试者运动出汗或非规定动作造成的数据偶然偏差, 采用均数和标准差代替原始数据来进行后续分析工作。本次研究发现, 除肱二头肌 MDF 信号外, 不同信号截取方法间

差异均有统计学意义。

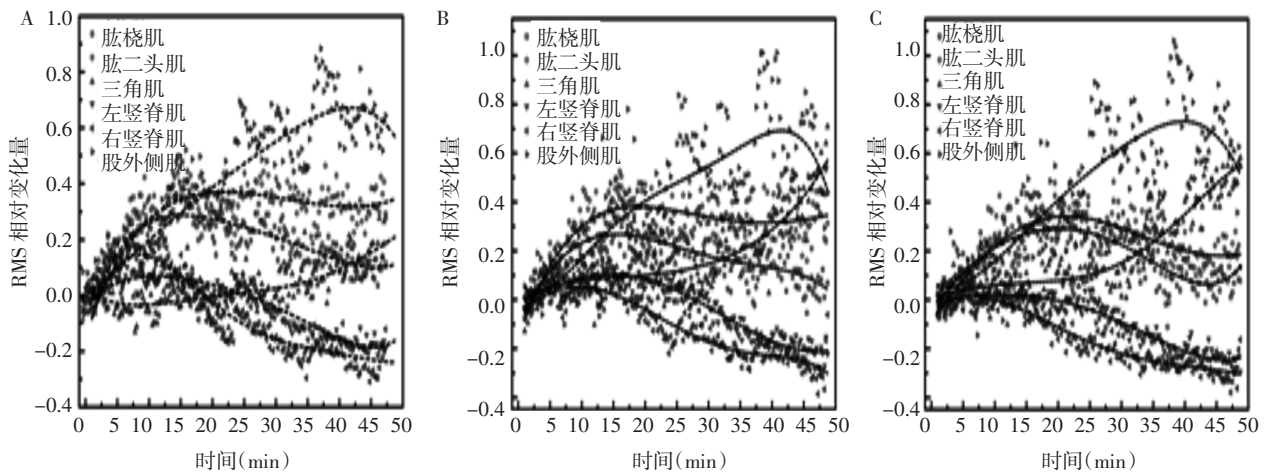
由于肌电信号截取方法的差异,无法保证经信号处理后的时域、频域指标作为进一步判断肌肉疲劳的准确性。对于同一组原始肌电信号,截取处理后各数据点的波动性越小,因截取产生的误差越

小,回归拟合后数据越能反映真实的肌肉疲劳状态。因此,我们利用截取后数据的变异系数作为判断肌电截取方法好坏的依据。结合肌电信号数据变异系数比较,截取方案 1 的波动性最小,方案 3 次之,方案 2 数据波动性最大。



A:均方根值(RMS)数据变异程度;B:平均中位频率(MDF)数据变异程度

图 2 不同截取方案的数据变异程度比较



A:截取方案 1;B:截取方案 2;C:截取方案 3

图 3 不同截取方案均方根值(RMS)指标非线性拟合结果

表 5 截取时域(RMS)指标的非线性拟合曲线第一拐点时间分析(min)

肌肉类别	拟合曲线第一拐点横坐标		
	方案 1	方案 2	方案 3
肱桡肌	14.51	15.95	20.30
肱二头肌	21.73	18.36	21.74
三角肌	7.76	16.43	15.46
左竖脊肌	8.24	8.71	11.61
右竖脊肌	10.65	14.99	
股外侧肌	41.52	41.71	40.07

表 6 不同肌电信号的非线性回归模型决定系数分析(R^2 值)

肌肉类别	均方根值(RMS)			平均中位频率(MDF)		
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 1	方案 2	方案 3
肱桡肌	0.653 ^a	0.474 ^a	0.598 ^a	0.116 ^a	0.034	0.030 ^a
肱二头肌	0.726 ^a	0.579 ^a	0.608 ^a	0.025	0.017	0.027
三角肌	0.565 ^a	0.716 ^a	0.808 ^a	0.162 ^a	0.095 ^a	0.106 ^a
左竖脊肌	0.896 ^a	0.882 ^a	0.862 ^a	0.263 ^a	0.108 ^a	0.040
右竖脊肌	0.837 ^a	0.840 ^a	0.878 ^a	0.244 ^a	0.102 ^a	0.096 ^a
股外直肌	0.825 ^a	0.642 ^a	0.702 ^a	0.061 ^a	0.188 ^a	0.406 ^a

注:^a $P < 0.05$,表示拟合曲线有统计学意义

在劳动生理学实践中,常利用 sEMG 技术作为判断作业人员疲劳的工具。经典的肌肉疲劳分析方法为肌肉出现疲劳时肌电信号的振幅增大或频谱左移,即肌电时域指标(RMS、IEMG 等)升高或频域指标(MDF、MPF 等)降低^[10,16]。研究过程中,一般通过对 RMS、MDF 和作业时间分别做回归,利用回归方程的斜率变化实时判断肌肉在作业负荷下的疲劳状况^[9]。本次研究发现,RMS 信号出现由升转降的拐点代表肌肉发生疲劳的时间点,截取方案 1 处理的肌电信号判断肌肉疲劳点灵敏度更高。

肌电信号的处理过程,特别是复杂作业过程(如动态搬举作业),不同的信号截取标准处理数据存在差异,会对肌电信号分析结果产生干扰。本次研究分析不同信号截取方法对同一组肌电数据处理结果的差异性和截取数据的波动性,综合检验结果分析,从测试动作开始至测试动作结束的全部信号截取方法(方案 1)最适用于模拟搬举作业肌电分析,肌电截取起止点与模拟搬举作业动作起止点一一对应,每一段信号的处理结果能良好地反映当前搬举作业动作全过程,通过对全部模拟作业活动全过程肌电数据波动性分析,此方法处理的肌电数据质量远优于其他信号处理方法;基于肌电数据峰值的波峰截取法(方案 2),由于受试人员随搬举作业时间进程发力点不断变化,肌电原始数据波峰截取起止点与作业动作相关性较差,导致每次进行信号截取时,信号截取点对应作业动作不尽一致,包含动作做功量不尽相同,信号处理结果波动性较强,数据质量较差,不利于时域、频域数据的后续分析;对于从动作开始至搬举最高点的部分信号截取法(方案 3),与方案 1 类似,时长更短,有利于减小由于受试人员动作不规范造成的偶然偏差,但此方法未涵盖模拟搬举作业中转身、放置、起身动作,时域指标分析结果与方案 1 相比,斜率变化存在滞后性,不利于数据进一步在疲劳判断中的应用。

综上所述,针对复杂作业(如手工搬举作业)的肌电分析,应根据作业全部动作循环,设计涵盖全部作业动作周期的信号截取方案,以确保肌电数据处理的准确性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 杨磊.肌电测定方法及其在劳动卫生领域中的应用[J].中华劳动卫生职业病杂志,2008,26(12):766-768. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2008.12.023.
- [2] Reinvee M, Vaas P, Ereline J, et al. Applicability of affordable

- sEMG in ergonomics practice [J]. *Proced Manufact*, 2015,3: 4260-4265. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.412.
- [3] Gold JE, Hallman DM, Hellström F, et al. Systematic review of quantitative imaging biomarkers for neck and shoulder musculoskeletal disorders[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1):395. DOI: 10.1186/s12891-017-1694-y.
- [4] Qin J, Lin JH, Faber GS, et al. Upper extremity kinematic and kinetic adaptations during a fatiguing repetitive task [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2014,24(3):404-411. DOI: 10.1016/j.jelekin.2014.02.001.
- [5] Kuthe CD, Uddanwadiker RV, Ramteke AA. Surface electromyography based method for computing muscle strength and fatigue of biceps brachii muscle and its clinical implementation[J]. *Inform Med Unlocked*, 2018, 12: 34-43. DOI: 10.1016/j.imu.2018.06.004.
- [6] Karthick PA, Venugopal G, Ramakrishnan S. Analysis of muscle fatigue progression using cyclostationary property of surface electromyography signals[J]. *J Med Syst*, 2016,40(1):28. DOI: 10.1007/s10916-015-0394-0.
- [7] Venugopal G, Ramakrishnan S. Analysis of progressive changes associated with muscle fatigue in dynamic contraction of biceps brachii muscle using surface EMG signals and bispectrum features [J]. *Biomed Eng Lett*, 2014, 4(3):269-276. DOI: 10.1007/s13534-014-0135-1.
- [8] 姜亚斌,邹任玲,刘建.表面肌电信号的肌肉疲劳判别研究进展[J]. *生物信息学*, 2017, 15(2):120-126. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5565.20160622001.
- [9] 张坤.表面肌电信号识别和分类的研究[D].上海:上海交通大学, 2006.
- [10] 王正伦.手工搬举作业技巧及疲劳恢复的实验研究[D].武汉:华中科技大学, 2009.
- [11] 王未来.汽车装配工人局部肌肉负荷与疲劳量效关系试验研究[D].唐山:河北联合大学, 2014.
- [12] 王坤,王成俊,罗二平,等.基于幅频联合分析法对肌肉疲劳状态下表面肌电信号时、频域变化规律的研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 2010, 27(4):2030-2033, 2038. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2010.04.021.
- [13] Chowdhury RH, Reaz MB, Ali MA, et al. Surface electromyography signal processing and classification techniques[J]. *Sensors (Basel)*, 2013, 13(9): 12431-12466. DOI: 10.3390/s130912431.
- [14] 张非若,王生,何丽华,等.缝纫女工颈肩部肌肉的表面肌电研究[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2011, 29(3):171-175. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2011.03.004.
- [15] 唐范,李开伟,易灿南,等.拉车作业之肌肉疲劳分析与预测[J]. *人类工效学*, 2017, 23(3):40-45, 73. DOI: 10.13837/j.issn.1006-8309.2017.03.0008.
- [16] 张非若.重复性作业上肢肌肉疲劳的表面肌电实验研究 [D].武汉:华中科技大学. 2006.
- [17] Kahl L, Hofmann UG. Comparison of algorithms to quantify muscle fatigue in upper limb muscles based on sEMG signals [J]. *Med Eng Phys*, 2016, 38(11):1260-1269. DOI: 10.1016/j.medengphys.2016.09.009.
- [18] Hwang HJ, Chung WH, Song JH, et al. Prediction of biceps muscle fatigue and force using electromyography signal analysis for repeated isokinetic dumbbell curl exercise [J]. *J Mech Sci Technol*, 2016, 30(11):5329-5336. DOI: 10.1007/s12206-016-1053-1.
- [19] Karthick PA, Ghosh DM, Ramakrishnan S. Surface electromyography based muscle fatigue detection using high-resolution time-frequency methods and machine learning algorithms [J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2018, 154:45-56. DOI: 10.1016/j.cmpb.2017.10.024.
- [20] Ahmad I, Kim JY. Assessment of whole body and local muscle fatigue using electromyography and a perceived exertion scale for squat lifting [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15(4): 784-795. DOI: 10.3390/ijerph15040784.

(收稿日期:2019-10-30)

(本文编辑:吴雪)



北京大学图书馆
PEKING UNIVERSITY LIBRARY

《中文核心期刊要目总览》入编通知

《中华劳动卫生职业病杂志》主编先生/女士：

我们谨此郑重通知：依据文献计量学的原理和方法，经研究人员对相关文献的检索、统计和分析，以及学科专家评审，贵刊《中华劳动卫生职业病杂志》入编《中文核心期刊要目总览》2020年版（即第9版）**预防医学、卫生学类**的核心期刊。该书由北京大学出版社出版。书中按《中国图书馆分类法》的学科体系，列出了74个学科的核心期刊表，并逐一对核心期刊进行了著录。著录项目包括：刊名、并列刊名、主办单位、出版年、出版频率、中图分类号、ISSN号、CN号、邮发代号、编辑部地址、电话、网址、内容简介等。

评选核心期刊的工作是运用科学方法对各种刊物在一定时期内所刊载论文的学术水平和学术影响力进行综合评价的一种科研活动，研究工作量浩大。北京地区十几所高校图书馆、中国科学院文献情报中心、重庆维普资讯有限公司、中国人民大学书报资料中心、中国学术期刊（光盘版）电子杂志社、中国科学技术信息研究所、北京万方数据股份有限公司、国家图书馆和北京世纪超星信息技术发展有限责任公司等相关单位的百余名专家和期刊工作者参加了研究。

项目组对核心期刊的评价理论、评价方法等问题进行了深入研究，进一步改进了核心期刊评价方法，使之更趋科学合理，力求使评价结果符合客观实际。对于核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被摘量（全文、摘要）、被摘率（全文、摘要）、被引量、他引量（期刊、博士论文）、影响因子、他引影响因子、5年影响因子、5年他引影响因子、特征因子、论文影响分值、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索系统收录、基金论文比（国家级、省部级）、Web下载量、Web下载率16个评价指标，选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达48种，统计到的文献数量共计142亿余篇次，涉及期刊13764种。参加核心期刊评审的学科专家1万多位。经过定量筛选和专家定性评审，从我国正在出版的中文期刊中评选出1990种核心期刊。

需要特别指出的是，该研究成果只是一种参考工具书，主要是为图书情报界、出版界等需要对期刊进行评价的用户提供参考，例如为各图书情报部门的中文期刊采购和读者导读服务提供参考帮助等，不应作为评价标准。谨此说明。

顺颂
撰安

《中文核心期刊要目总览》2020年版编委会
2021年3月

