



面向地铁低头族的颈部疲劳sEMG-JASA评价模型

贾淼, 杨钟亮, 陈育苗

引用本文:

贾淼, 杨钟亮, 陈育苗. 面向地铁低头族的颈部疲劳sEMG-JASA评价模型[J]. 智能系统学报, 2020, 15(4): 705–713.

JIA Miao, YANG Zhongliang, CHEN Yumiao. An sEMG-JASA evaluation model for the neck fatigue of subway phubbers[J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2020, 15(4): 705–713.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201810009>

您可能感兴趣的其他文章

时空域融合的骨架动作识别与交互研究

Research on skeleton-based action recognition with spatiotemporal fusion and humanrobot interaction

智能系统学报. 2020, 15(3): 601–608 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202006029>

利用肌电信号求解关节力矩的研究及应用综述

A review of the research and application of calculating joint torque by electromyography signals

智能系统学报. 2020, 15(2): 193–203 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202001013>

基于Capsule网络的甲骨文构件识别方法

Recognition of Oracle Radical based on the Capsule network

智能系统学报. 2020, 15(2): 243–254 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201904069>

基于知识距离的粗糙粒结构的评价模型

Evaluation model of rough granular structure based on knowledge distance

智能系统学报. 2020, 15(1): 166–174 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201904037>

基于序列模型的音乐词曲匹配度智能评估算法

Music lyrics-melody intelligent evaluation algorithm based on sequence model

智能系统学报. 2020, 15(1): 67–73 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202001006>

基于时空域联合建模的领域知识演化脉络分析

Evolutionary path mining of domain knowledge by joint modeling in space-time domain

智能系统学报. 2017, 12(5): 735–744 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201706023>

微信公众平台



关注微信公众号, 获取更多资讯信息

DOI: 10.11992/tis.201810009

面向地铁低头族的颈部疲劳 sEMG-JASA 评价模型

贾淼¹, 杨钟亮¹, 陈育苗²

(1. 东华大学 机械工程学院, 上海 201620; 2. 华东理工大学 艺术设计与传媒学院, 上海 200237)

摘要: 随着社会的发展地铁低头族已经在地铁上随处可见, 为研究地铁低头族颈部肌肉疲劳与低头时间的变化关系, 本文基于幅频联合分析法提出颈部肌肉疲劳评价模型。实验中共招募 10 名参试人员分别采集其颈部肌肉的表面肌电信号, 利用疲劳联合分析模型对不同时间段内颈部肌肉的疲劳程度做出比较。实验结果显示, 斜方肌和头夹肌的通道中中位频率值处于下降趋势, 而均方根值处于上升趋势, 说明肌肉产生疲劳并随着低头使用手机时间的增加颈部肌肉疲劳程度逐渐增加。该实验验证了疲劳评价模型的有效性, 模型可对乘客发出疲劳提醒, 帮助乘客形成良好的行为习惯, 为开发智能穿戴系统提供依据。

关键词: 肌肉疲劳; 表面肌电; 低头族; 时域指标; 频域指标; 幅频联合分析; 前导实验; 评价模型

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2020)04-0705-09

中文引用格式: 贾淼, 杨钟亮, 陈育苗. 面向地铁低头族的颈部疲劳 sEMG-JASA 评价模型 [J]. 智能系统学报, 2020, 15(4): 705-713.

英文引用格式: JIA Miao, YANG Zhongliang, CHEN Yumiao. An sEMG-JASA evaluation model for the neck fatigue of subway phubbers[J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2020, 15(4): 705-713.

An sEMG-JASA evaluation model for the neck fatigue of subway phubbers

JIA Miao¹, YANG Zhongliang¹, CHEN Yumiao²

(1. College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620; 2. School of Art Design and Media, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

Abstract: With the development of society, subway phubbers have been seen everywhere on the subway. To analyze the relationship between neck muscle fatigue and bowing time of subway phubbers, this study proposes a neck muscle fatigue evaluation model based on the amplitude-frequency joint analysis method. In the experiment, 10 participants were recruited to collect the surface electromyogram signals of their neck muscles. The fatigue degree of their neck muscles in different time quanta was compared with the fatigue joint analysis model. Results showed that the median frequencies of the trapezius and scalp muscle exhibited a downward trend, whereas the root-mean-square values exhibited an upward trend, indicating that muscle fatigue was obvious. Moreover, the fatigue degree of the neck muscle gradually increased with the increase in bowing time of subway phubbers when using a mobile phone. The experiment validates the effectiveness of the fatigue evaluation model. The model can alert passengers to fatigue, help passengers form good mobile phone usage habits, and provide a basis for the development of an intelligent wear system.

Keywords: muscle fatigue; surface electromyography; phubber; time domain index; frequency domain index; amplitude-frequency joint analysis; leading experiment; evaluation model

收稿日期: 2018-10-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51305077); 中央高校基本科研专项基金项目 (2232018D3-27); 浙江省健康智能厨房系统集成重点实验室开放基金项目 (2014E10014); 2017 东华大学研究生核心课程建设项目 (2017111); 上海设计学 IV 类高峰学科资助项目 (DC17013).

通信作者: 杨钟亮. E-mail: yzl@dhu.edu.cn.

我国颈椎疾病的发病率逐年上升且趋于年轻化^[1]。地铁已经成为现代出行的主要交通工具, 以城市上海为例, 共有 16 条地铁线路, 每日客流量约为一千万人次。通过实地观察发现, 地铁上乘客低头看手机现象严重。持续低头对人们的颈部健康有着极大的危害, 地铁低头族现象不仅是

一个健康问题也是一个社会问题。

Chotpitayasunondh 等^[2]提出用低头族一词形容空闲时间总是低头玩手机的人群。研究表明,持续低头是诱发颈部肌肉慢性劳损的主要原因,且及时缓解颈部肌肉疲劳可以有效地预防颈椎疾病的发生^[3]。目前表面肌电(surface electromyography, sEMG)是一种非损伤性监测手段和方法去观察神经肌肉系统活动,具有感知动作直接、检测动作敏感、传感器低成本和高便携等特点^[4]。通过表面肌电信号分析或判断肌肉的疲劳状态,在肌肉活动与功能的评价中具有重要的作用。

国内学者通过表面肌电信号对肌肉进行监测,发现当肌肉发生疲劳时肌肉产生的能量较少,同时肌肉的活动和生理特性将发生改变,导致 sEMG 信号出现相应的变化^[5-7]。而国外学者在过去的几十年里,在医学领域给予了颈部肌肉疲劳更大的关注。Nimbarte 等^[8]研究生理和心理压力增加时分别对颈部肌肉疲劳产生的影响;并在后续研究中他们发现肌肉疲劳时会导致颈椎的负

荷加深^[9];Luedtke 等^[10]研究偏头痛患者在偏头痛发作前或发作期间颈部肌肉疲劳状态是否加深。目前国内外研究中颈部肌肉的疲劳程度与低头时间的变化关系尚不明确。

本文针对地铁低头族的颈部健康问题,首先提出了基于表面肌电信号的幅频联合分析模型(sEMG-JASA),检测乘客颈部是否发生疲劳,疲劳时发出健康提醒;接着开发原型系统,通过实验验证模型的有效性。

1 颈部疲劳 sEMG-JASA 评价模型

对颈部肌肉进行疲劳预防与疲劳缓解尤为重要,颈部疲劳 sEMG-JASA 评价模型持续对颈部肌肉进行疲劳检测,当判断肌肉疲劳时发出健康提醒。模型主要流程为首先输入乘客颈部的肌电信号,通过特征提取后进行联合分析,再进行疲劳判断和疲劳程度分析,该模型的概念框架如图1所示。软件使用 MATLAB 编程语言做数据处理与分析,并开发原型系统。其主要原理与步骤如下。

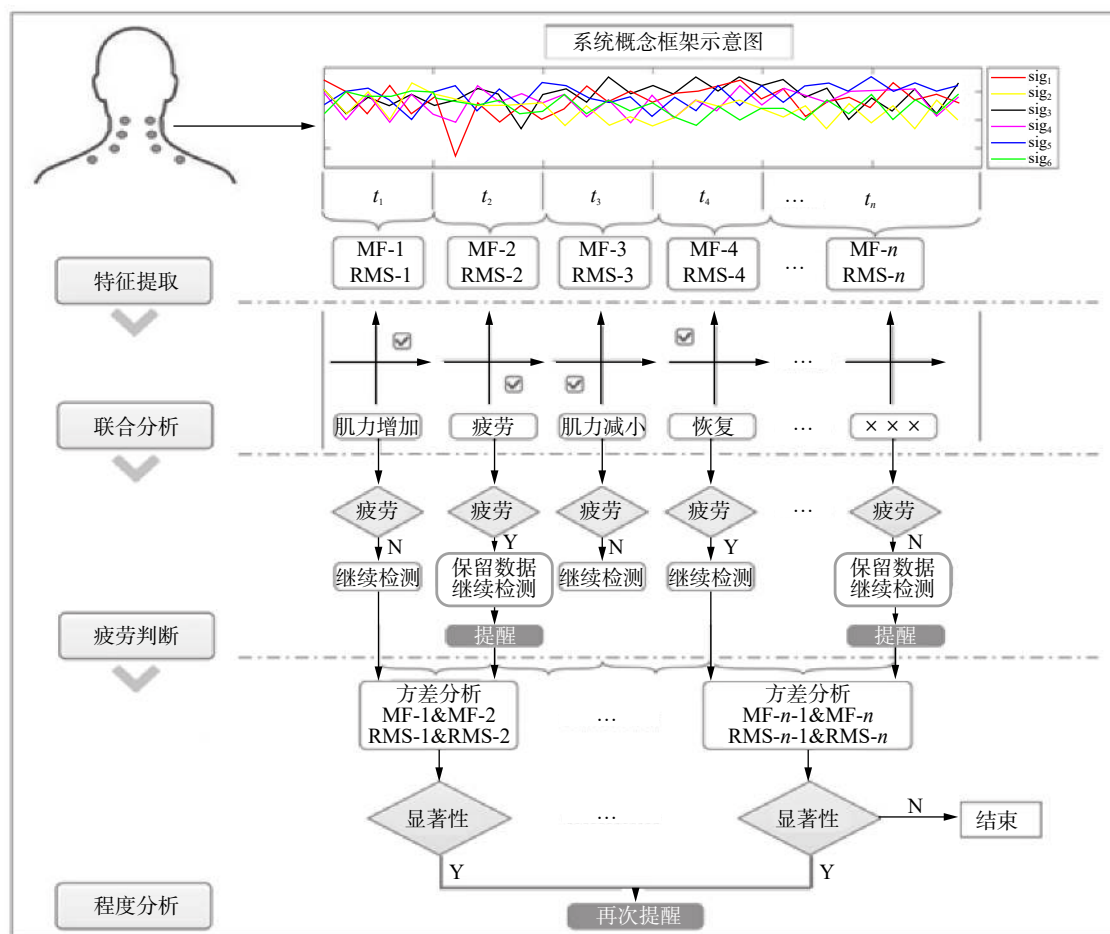


图1 颈部疲劳评价模型

Fig. 1 Neck fatigue evaluation model

1.1 sEMG 特征提取

数据分析选取时域分析和频域分析两个评价指标,通过联合分析提高结果的可靠性。根据 sEMG 信号的时、频特征与肌肉活动之间的相关性判断肌肉状态。研究中利用软件中自带的信号处理系统对原始信号进行计算和分析处理。

1.1.1 时域分析

时域分析方法中均方根值 (root mean square, RMS) 在时间维度上反映肌电信号振幅的变化特征,能够实时无损伤地反映肌肉活动状态^[11]。本文系统中采用计算 RMS 作为时域特征进行疲劳判定,其相关计算公式为

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \text{EMG}^2(t) dt} \quad (1)$$

由于肌电信号的振幅和肌肉张力呈一定对应关系,当 RMS 值增加时肌肉处于疲劳状态。

1.1.2 频域分析

在肌电信号处理中频域分析法可以直接观察表面肌电信号频段的分布与变化情况,其中中位频率 (median frequency, MF) 是一种可靠准确的特征参数^[12]。其计算公式为

$$\text{MF} = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \text{PSD}(f) df \quad (2)$$

肌肉疲劳时功率谱从高频移动到低频, MF 值相应下降。

RMS 可以在一定程度上反映肌电信号的平均功率,采用 RMS 算法得到 sEMG 信号的幅值偏大,可以更好地反映肌电的特点^[13];从统计学角度而言, MF 能更好地反映 sEMG 的频谱特征^[14]。本文以 RMS 与 MF 为判断肌肉疲劳的指标,对时域与频域进行数据的特征提取。

1.2 联合分析

频谱联合分析 (joint analysis of EMG spectrum and amplitude, JASA) 由 Luttmann 等^[15]最先提出,是一种同时考虑 sEMG 振幅和频谱变化的疲劳测定方法。在肌肉疲劳指标的测试中,对 sEMG 信号在振幅和频谱领域的变化都是单独考虑的,由于 sEMG 信号振幅和频谱对肌力和疲劳状态具有两重依赖性,故只有同时考虑振幅和频谱的变化才能更好地进行疲劳评价^[14]。

众多研究已经证实:时域指标伴随肌力的增加和疲劳的产生而增加;频域指标 MF 随肌力的增加而增加,但却随疲劳的发生而降低。如图 2 所示只有 RMS 值上升而 MF 值同时下降时才能确认肌肉处于疲劳状态。其他 3 个象限分别表示肌肉处于恢复期 (MF 值增加同时 RMS 值减小)、肌力增加 (MF 值增加同时 RMS 值增加) 与肌力减小 (MF 值减小同时 RMS 减小)。

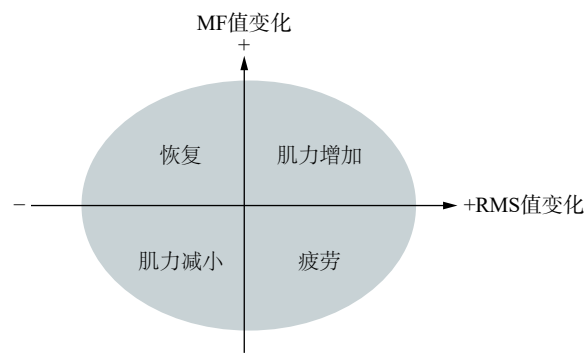


图 2 联合分析
Fig. 2 Joint analysis

1.3 疲劳评价分析流程

- 1) 设置参数。将采集到数据的输入。
- 2) 信号分段。将数据的前 10 s 和后 10 s 去掉,并将数据每 200 ms 分为一段。
- 3) 计算每段的 RMS 值与 MF 值。
- 4) 将 RMS 与 MF 的特征值经过 JASA 分析后根据数据所在象限进行疲劳判断,若判断疲劳则对乘客进行提醒,保留数据后继续检测。否则,进行下一时间段的疲劳判断分析。疲劳判断与显著性判断方式如下:

① If $\text{MF}_{\text{slope}} < 0, \text{RMS}_{\text{slope}} > 0$

疲劳

else 非疲劳

② if $P < 0.05$

有显著性*

$P < 0.01$

有显著性**

else 无显著性

(MF_{slope} 表示 MF 值和时间的线性回归得到斜率值; $\text{RMS}_{\text{slope}}$ 表示 RMS 值和时间的线性回归得到斜率值)

- 5) 将后一段时间与前一段时间进行方差分析,判断有无显著性。若有则进行再次提醒,若无显著性则持续进行检测。

2 实验验证

前期研究中进行了实地观察测试。选择上海地铁九号线为实验观察线路,随机选取地铁乘客并详细记录他们的低头和抬头时间。如图 3 所示,可以看出乘客在地铁上大部分时间都在低头,而抬头时间所占比例仅约总时长的 20%。在实验观察中我们发现持续低头的最长时间为 25 min,当要到达目的地时乘客才会频繁地抬头查看站点^[16]。

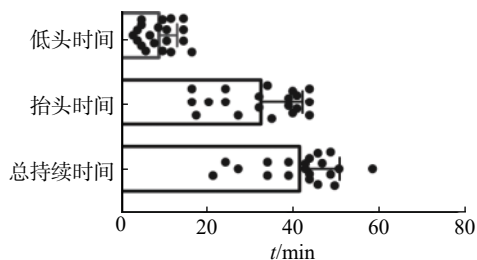


图 3 实地观察结果

Fig. 3 Field observations

2.1 实验室模拟实验

在实验室中模拟地铁上人们低头的状态,让参试人员在保持坐立并持续低头时测试 30 min 内颈部肌电信号的变化。从胸锁乳突肌(主要的前颈肌)到颈部斜方肌与头夹肌(主要的后颈肌)的数据记录对颈部疲劳的程度做出客观评估。

2.2 实验对象

本研究招募 5 名健康男性、5 名健康女性自愿参加实验。所有参与者都进行了体检,以消除参与者有任何类型的疾病,并且没有颈椎病史等因素的影响。选择男女被试对象数目一致以消除性别可能对实验结果产生的影响。然后介绍性质、目的、方法和研究参与者的风险,要求他们完成一个关于个人信息的背景调查问卷,比如身高和体重^[17],如表 1 所示。

表 1 参试人员基本数据
Table 1 Basic data of participants

被试者	年龄	身高/cm	体重/kg
男性	24.6±0.55	159±5.20	45.5±6.27
女性	23.4±0.55	175±6.25	63.7±3.09
总计	24±0.82	160±10.02	54±10.67

2.3 实验过程

1) 首先在实验室设置与地铁座位等高的座位模拟地铁环境,并连接实验仪器。

2) 将参试人员进行编号,分别为 1~10 号。参试人 1 号在如图 4 所示的座位上就坐,熟悉实验环境,保证实验前颈部肌肉状态良好。



图 4 实验室模拟环境

Fig. 4 Laboratory simulation environment

3) 使用酒精清洁参试人员颈部皮肤。在参试人员颈部粘贴电极,电极粘贴位置分别为左右对

称的胸锁乳突肌(图 5 中的 E1)、头夹肌(图 5 中的 E2)和斜方肌(图 5 中的 E3)处,实验共采集六通道肌电信号;其中, E1 胸锁乳突肌, E2 头夹肌, E3 斜方肌, E4 地板。在电极附着的导电凝胶被用来改善电极与皮肤的接触^[18]。

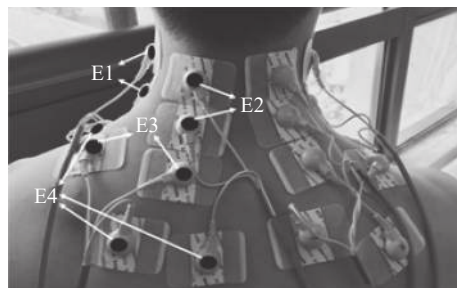


图 5 电极粘贴位置(电极片位置)

Fig. 5 Electrode sticking position (electrode sheet position)

4) 确认参试人员理解试验任务,并填写基本信息调查表。在软件中设置采样率为 1000 次/s,打开肌电仪开关,提示参试人实验开始。硬件上使用多通道表面肌电仪(ZJE-ii)收集、放大和传输信号;均康一次性电极(直径 10 mm)用于测量 sEMG 活性^[19]。

5) 实验进行过程中,参试人员持续保持静坐状态。每 5 min 向被试者的手机上发送颈部疲劳评分表,参试人可以根据自己主观感觉进行疲劳程度打分,收集 30 min 内 1 号参试者在不同时间段内共 6 次主观感受的变化情况。

6) 30 min 后实验停止,帮助 1 号参试者摘下电极。进行设备重新调试并且更换新的一次性电极,等待后续参试者进行实验。

7) 实验结束停止数据的收集后将收集的实验数据进行保存,实验结束。

3 实验结果与讨论

根据先导性实验我们得到了地铁低头族的颈部疲劳与头夹肌和斜方肌有关,胸锁乳突肌关于维持颈部低头动作的相关性较低^[16]。根据颈部疲劳联合分析系统所得到的不同时间段中颈部疲劳变化分析如下所示。

3.1 肌电信号的处理过程

由于实验中设置的采样率为 1000 Hz, 30 min 内共采集 1800000 个数据值。为防止实验数据在前期准备与后期结束时产生波动造成数据差异性较大,数据处理前在 MATLAB 软件中将数据的前 10s 与后 10s 的实验数据剪掉,剪掉后数据只剩 1178000 个数据值。

选择时间窗口,设总时长为 W ,步长为 L 。根据一般人的反应时间为 200~300 ms,对采集到的

肌电信号数据每 200 ms 取一次 RMS 和 MF 值, 如此可在正常人发生疲劳反映之前判断颈部肌肉是否发生疲劳。本研究中设 $w=30$ min, $l=5$, 数据使用 MATLAB 软件进行处理。设置不同的时长与选择不同的时间窗口 w 与 l 会发生相应变化。

3.2 MF 与 RMS 值分析

试验中的 MF 值与 RMS 值如图 6 和图 7 所示。为了证明颈部疲劳的变化, 我们对 6 个通道的 MF 值和 RMS 值进行疲劳分析。实验的 30 min 以每 5 min 为一段作为时间间隔进行疲劳程度分析。以时间为横坐标、MF 值为纵坐标和以时间

为横坐标、RMS 值为纵坐标建立函数关系, 进行 6 个通道的 MF 值与 RMS 值的数据拟合。

3.2.1 MF 平均值的统计分析

其中一名参试者第一通道 MF 数据拟合如图 6 所示。由图 6 可以看出, 该参试者前 5 min、10~30 min 内 MF 平均值呈下降趋势, 且在前 5 min 与后 10 min MF 值明显下降。根据 MF 斜率分析证明, 在实验的 30 min 内头夹肌产生了明显的疲劳。而在 5~10 min 期间头夹肌可能处于疲劳的恢复状态或肌力减小的状态 (MF1-1 代表第一通道 0~5 min 的拟合情况)。

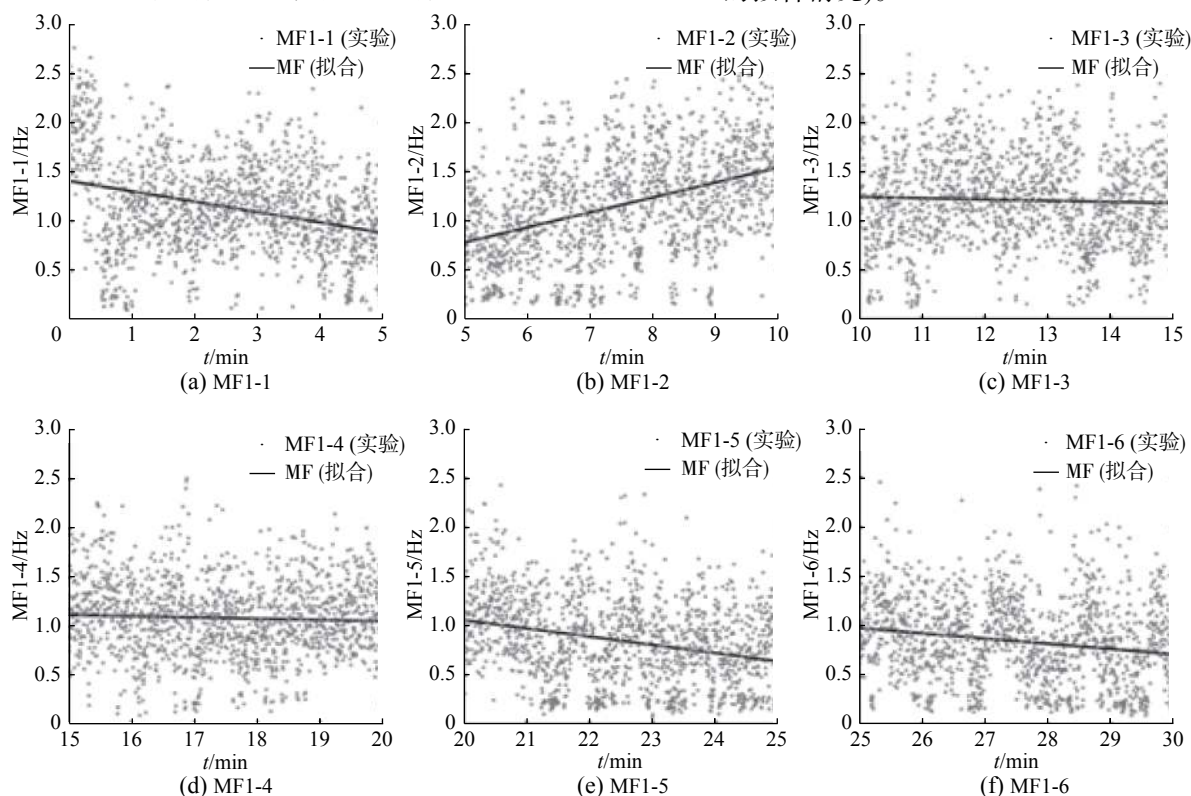


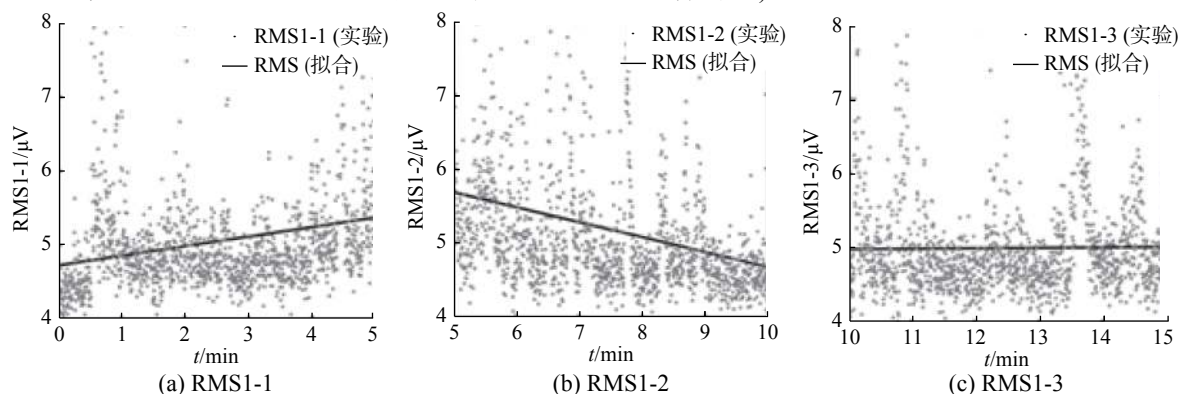
图 6 MF 值拟合分析

Fig. 6 MF value fitting analysis

3.2.2 RMS 平均值的统计分析

参试者第一通道 RMS 数据拟合如图 7 所示。图 7 中 RMS 值在前 5 min 和后 10 min 都处于明显上升状态, 可以看出在此时间段内头夹肌发生

了显著疲劳。实验进行到 5~10 min 时, RMS 值处于显著下降的状态, 此时头夹肌处于恢复期或者肌力减小时段 (RMS1-2 代表第一通道 5~10 min 的拟合情况)。



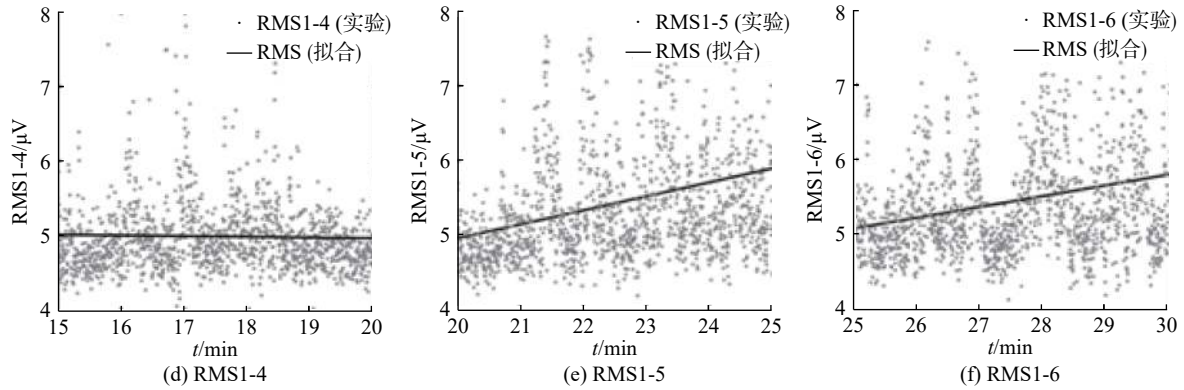


图 7 RMS 值拟合分析

Fig. 7 RMS value fitting analysis

3.3 幅频联合分析

在幅频联合分析中,从参试者 6 块肌肉即六通道获得实验数据,其中一人结果如表 2 所示。实验时间为 30 min,第一通道前 5 min MF 值下降, RMS 值上升,经联合分析后得到肌肉处于疲

劳状态。当 5~10 min 时, MF 值上升, RMS 值下降,经联合分析后肌肉处于恢复状态。这时可能由于参试者的自身调节缓解了肌肉疲劳。在 10~30 min 被试者颈部肌肉基本仍然处于一个疲劳状态。

表 2 幅频联合分析表

Table 2 Amplitude frequency joint analysis table

分析	通道					
	通道1-1	通道1-2	通道1-3	通道1-4	通道1-5	通道1-6
MF	↓	↑	↓	↓	↓	↓
RMS	↑	↓	↑	↑	↑	↑
联合分析						
状态	疲劳	恢复	恢复	恢复	恢复	恢复

从表 2 可以看出,肌肉在疲劳的状态下 sEMG 信号的时域、频域特性均发生改变且遵循一定规律。随着肌肉疲劳的不断加剧, sEMG 信号在幅值上呈现明显增大的趋势而 MF 却呈现明显减小的趋势, RMS 值与 MF 值趋势相反。

3.4 方差分析

方差分析结果如图 8 与图 9 所示,图 8 中数据代表 10 名参试者在 30 min 内不同通道每 5 min 的 MF 值,图 9 数据代表 RMS 值的均值与标准差(图中 C1 代表通道 1, C2 代表通道 2, ..., C6 代表通道 6)。在颈部疲劳联合分析系统中,当 RMS 值增加, MF 值同时降低时,系统判断肌肉处于疲劳状态给予人们疲劳提醒。

随后系统将会对每 5 min 检测到的 MF 值与 RMS 值进行前后连续方差分析。判断其是否有显著性,若有显著性则判断为程度加深,反之则程度减小^[20]。健康系统在程度加深会发生再次提

醒;当判断无显著性时,代表后一段疲劳程度比前一段减轻,此时系统不发生提醒。

3.5 主观评价分析

实验 30 min 内每人填写 6 次主观评分问卷,共计 60 份,分别记录了参试人员在不同时间段颈部疲劳的感受程度分数。从整理出的主观疲劳评价的结果来看,在 0~5 min 时参试者会感到非常轻微的疲劳,或者是疲劳几乎难以察觉;在 5~10 min 时 40% 的参试者会感到非常轻微的疲劳;在 10~15 min 时 60% 的参试者会感觉到轻度的疲劳;在 15~20 min 和 20~25 min 时有 40% 的参试者会感到轻度疲劳;25~30 min 时有 50% 的参试者感到中度疲劳。可以从结果看出随着时间的变长,参试者对颈部肌肉的疲劳感受逐渐变强,10 min 左右会感觉到轻度疲劳,之后开始感觉到中度疲劳甚至到非常严重的疲劳。

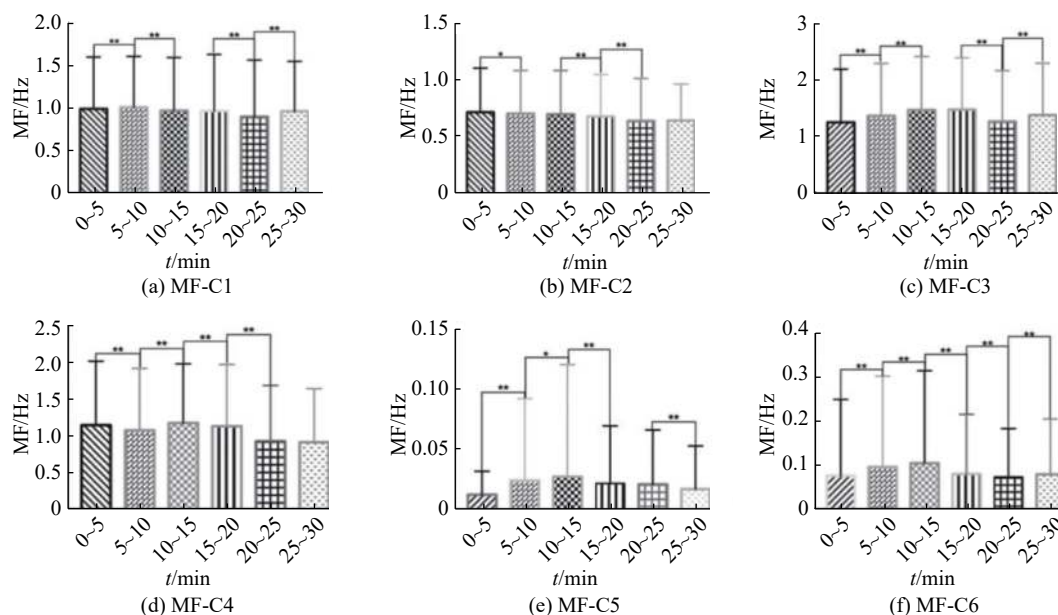


图8 MF方差分析(*代表显著性水平小于0.05,**代表显著性水平小于0.01)

Fig. 8 MF analysis of variance (*represents the significance level is less than 0.05, **represents the significance level is less than 0.01)

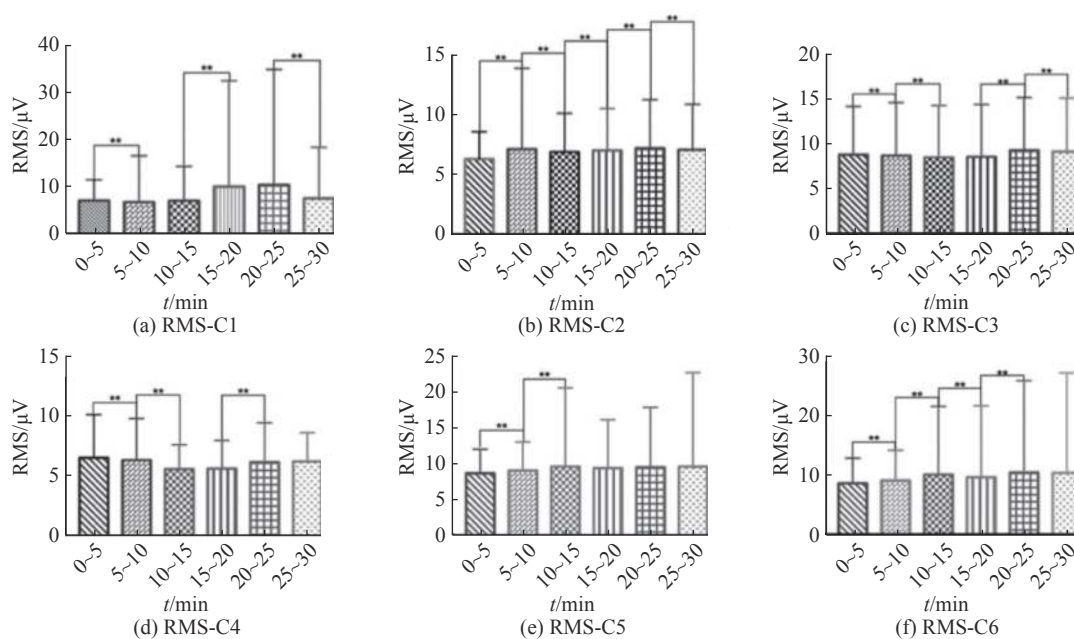


图9 RMS方差分析(*代表显著性水平小于0.05,**代表显著性水平小于0.01)

Fig. 9 RMS analysis of variance (*represents the significance level is less than 0.05, **represents the significance level is less than 0.01)

4 结束语

本研究实验结果表明,在地铁中随着时间的推移,地铁低头族的颈部肌肉负荷逐渐变大,虽然在低头的过程中乘客可以进行自身的疲劳调节,但长时间的低头对乘客的颈部健康十分不利。颈部疲劳 sEMG-JASA 模型可以准确地进行信号的特征提取,帮助乘客在颈部发生疲劳时给予提醒,进而避免疲劳加深,但模型进行疲劳判

断过程时,系统需要调取颈部肌电信号的 txt 文件,导致传递疲劳信号需要一定的时间,还不能进行实时提醒。在主观与客观结果分析中,0~30 min 内检测的疲劳评价结果与被试者在不同时间段进行主观疲劳感受评价保持了总体一致性。

然而,本研究面临的挑战:1) 观察到的乘客状态是地铁在地下运行时,尚未充分考虑地铁在地面上运行时是否会影响乘客的低头时间;2) 在数据处理的过程中,本研究只选择相邻时间窗口

进行数据处理分析,未考虑到重叠时间窗口情况下的疲劳变化情况。后续工作中将会尝试不同时间窗口的选择,通过不同时间窗口与评价指标的不同组合,选择最优的疲劳评价方式并对实验模型进行优化。研究还计划招募更多的参试者,涵盖范围更广的年龄、身体类型等,以提高系统的通用性和实际应用价值。今后的工作将开发颈部智能穿戴系统,并进一步扩大样本的数量。

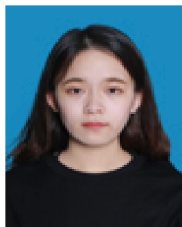
参考文献:

- [1] WANG Chuanling, TIAN Fumung, ZHOU Yingjun, et al. The incidence of cervical spondylosis decreases with aging in the elderly, and increases with aging in the young and adult population: a hospital-based clinical analysis[J]. *Clinical interventions in aging*, 2016, 11: 47–53.
- [2] CHOTPITAYASUNONNDH V, DOUGLAS K M. How “phubbing” becomes the norm: The antecedents and consequences of snubbing via smartphone[J]. *Computers in human behavior*, 2016, 63: 9–18.
- [3] HÄKKINEN A, SALO P, TARVAINEN U, et al. Effect of manual therapy and stretching on neck muscle strength and mobility in chronic neck pain[J]. *Journal of rehabilitation medicine*, 2007, 39(7): 575–579.
- [4] 王健. 面向人因工程研究的 sEMG 技术应用 [C]//第二届中国人因工程高峰论坛, 2017.
WANG Jian. SEMG technology application for human factors engineering research[C]//The Second China Human Factors Engineering Summit Forum, 2017.
- [5] FARINA D, FATTORINI L, FELICI F, et al. Nonlinear surface EMG analysis to detect changes of motor unit conduction velocity and synchronization[J]. *Journal of applied physiology*, 2002, 93(5): 1753–1763.
- [6] LIU J Z, SHAN Z Y, ZHANG L D, et al. Human brain activation during sustained and intermittent submaximal fatigue muscle contractions: an fMRI study[J]. *Journal of neurophysiology*, 2003, 90(1): 300–312.
- [7] BILODEAU M, SCHINDLER-IVENS S, WILLIAMS D M, et al. EMG frequency content changes with increasing force and during fatigue in the quadriceps femoris muscle of men and women[J]. *Journal of electromyography and kinesiology*, 2003, 13(1): 83–92.
- [8] NIMBARTE A D, CHOWDHURY S K, CARTWRIGHT E D. Empirical evaluation of neck muscle fatigue generated by healthcare related exertions[J]. *Safety science*, 2013, 57: 100–107.
- [9] NIMBARTE A D, ZREIQAT M M, CHOWDHURY S K. Cervical flexion-relaxation response to neck muscle fatigue in males and females[J]. *Journal of electromyography and kinesiology*, 2014, 24(6): 965–971.
- [10] LUEDTKE K, MAY A. Stratifying migraine patients based on dynamic pain provocation over the upper cervical spine[J]. *The journal of headache and pain*, 2017, 18(1): 97.
- [11] 杨钟亮, 孙守迁, 陈育苗. 基于 sEMG 的按摩椅绩效人机评价模型实验研究 [J]. *中国机械工程*, 2012, 23(2): 220–224.
YANG Zhongliang, SUN Shouqian, CHEN Yumiao. A pilot study on ergonomics evaluation model of massage chair performance based on sEMG[J]. *China mechanical engineering*, 2012, 23(2): 220–224.
- [12] 刘建, 邹任玲, 张东衡, 等. 表面肌电信号特征提取方法研究发展趋势 [J]. *生物医学工程学进展*, 2015, 36(3): 164–168.
LIU Jian, ZOU Renling, ZHANG Dongheng, et al. Research and development trend of feature extraction methods of surface electromyographic signals[J]. *Progress in biomedical engineering*, 2015, 36(3): 164–168.
- [13] 陈玲玲. 基于支持向量机的下肢肌电信号模式识别的研究 [D]. 天津: 河北工业大学, 2006.
CHEN Lingling. Research of electromyography pattern recognition based on support vector machine[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2006.
- [14] 王笃明, 王健, 葛列众. 肌肉疲劳的 sEMG 时频分析技术及其在工效学中的应用 [J]. *航天医学与医学工程*, 2003, 16(5): 387–390.
WANG Duming, WANG Jian, GE Lizhong. sEMG time-frequency analysis techniques for evaluation of muscle fatigue and its application in ergonomic studies[J]. *Space medicine & medical engineering*, 2003, 16(5): 387–390.
- [15] LUTTMANN A, SÖKELAND J, LAURIG W. Electromyographical study on surgeons in urology. Influence of the operating technique on muscular strain[J]. *Ergonomics*, 1996, 39(2): 285–297.
- [16] JIA Miao, YANG Zhongliang, CHEN Yumiao, et al. Neck muscles fatigue evaluation of subway phubber based on sEMG signals[C]//Proceedings of 11th International Symposium on Computational Intelligence and Design. Hangzhou, China, 2018: 141–144.
- [17] YANG Zhongliang, CHEN Yumiao, WANG Jianping, et al. Recognizing the breathing resistances of wearing respirators from respiratory and sEMG signals with artificial neural networks[J]. *International journal of industrial ergonomics*, 2017, 58: 47–54.
- [18] DE LUCA C J. Use of the surface EMG signal for performance evaluation of back muscles[J]. *Muscle & nerve*, 1993, 16(2): 210–216.
- [19] 赵章琰. 表面肌电信号检测和处理中若干关键技术研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
ZHAO Zhangyan. Several key technologies in surface electromyography signal detection & processing[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2010.
- [20] 杨钟亮, 王健, 陈育苗. 基于表面肌电的头部运动体态

语言情感识别模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(9): 1396–1402.

YANG Zhongliang, WANG Jian, CHEN Yumiao. Surface EMG based emotion recognition model for body language of head movements[J]. Journal of computer-aided design & computer graphics, 2014, 26(9): 1396–1402.

作者简介:



贾森, 硕士研究生, 主要研究方向为人机工程、人工智能设计。发表学术论文 3 篇。



杨钟亮, 副教授, 博士, 主要研究方向为智能交互系统、人机工程、人工智能设计。主持国家自然科学基金项目 1 项, 发表学术论文 30 余篇。



陈育苗, 讲师, 博士, 主要研究方向为人机交互、可穿戴产品设计。发表学术论文 20 余篇。

[责任编辑: 孟玮]

第七届全国智能制造学术会议 (NCIM'2020)

中国人工智能学会主办、智能制造专业委员会和华侨大学联合承办的“第七届全国智能制造学术会议”将于 2020 年 11 月 6 日至 9 日在厦门举行, 会议主题“智能制造前沿及应用”。会议将邀请学界权威和企业界代表作大会报告, 并组织若干分会场报告。

会议时间: 2020 年 11 月 6 日至 9 日

会议地点: 福建厦门

会议主题(包括但不限于以下主题): 智能制造系统、机器人及增材制造、数字化制造、数字孪生与工艺优化、智能制造专业建设与人才培养

主办单位: 中国人工智能学会

承办单位: CAAI 智能制造专业委员会、华侨大学

协办单位: 脆性材料产品智能制造技术国家地方联合工程研究中心、欧德神思(CODESYS)、软件系统北京有限公司、武汉制信科技有限公司(e-works)

会议联系方式:

谭援强, 华侨大学, E-mail: tanyq@hqu.edu.cn

电话: 18064519135

姜峰, 华侨大学, E-mail: jiangfeng@hqu.edu.cn

电话: 18106953128