基于表面肌电信号的座椅按摩效果评价方法研究

刘显文　李东强　黄东旭　刘向征　谢洁涛　刘海波

（广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院，广州 511400）

【摘要】为提高电动汽车按摩座椅的按摩效果，通过分析表面肌电信号时频域特征变化情况，提出了一种按摩效果评价方法。分别记录了受试者舒适态、疲劳态和按摩态的斜方横肌、下斜方肌、背阔肌和竖脊肌的肌电数据；然后对肌电信号进行滤波和归一化预处理，最后提取中值频率（MDF）和均方根值（RMS）特征。通过比较3种状态下的肌电信号特征差异（$P<0.05$），证明了该评价方法的有效性，并通过不同部位肌肉缓解程度分析得到机械按摩结构的优化方向。

关键词：表面肌电信号　特征提取　肌肉疲劳

中图分类号：U463.83^{+}6　　**文献标志码：**A　　**DOI：**10.20104/j.cnki.1674-6546.20240288

Research on Evaluation Method for Seat Massage Effect Based on Surface Electromyography (sEMG) Signals

Liu Xianwen, Li Dongqiang, Huang Dongxu, Liu Xiangzheng, Xie Jietao, Liu Haibo

(Automobile Engineering Research Institute, Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou 511400)

【Abstract】To improve the massage efficacy of electric vehicle massage seats, this paper proposes an evaluation method based on the analysis of time-frequency domain characteristics of surface Electromyography (sEMG) signals. Firstly electromyographic signals are collected from the trapezius, lower trapezius, latissimus dorsi and erector spinae muscles under three distinct states: comfort, fatigue, and massage, then those sEMG signals are preprocessed through filtering and normalization, followed by the extraction of Median Frequency (MDF) and Root Mean Square (RMS) features. Characteristic difference of the sEMG features among the three states ($P<0.05$) is compared, which confirms validity of the proposed evaluation method. Furthermore, the analysis of muscle relaxation across different muscle groups provides insights into the optimization of the mechanical massage structure.

Key words: Surface Electromyography (sEMG) signals, Feature extraction, Muscle fatigue

【引用格式】刘显文，李东强，黄东旭，等. 基于表面肌电信号的座椅按摩效果评价方法研究[J]. 汽车工程师，2026(2)：41-48.

LIU X W, LI D Q, HUANG D X, et al. Research on Evaluation Method for Seat Massage Effect Based on Surface Electromyography (sEMG) Signals[J]. Automotive Engineer, 2026(2): 41-48.

1　前言

随着电动汽车的普及，除动力性能和续驶里程外，消费者越来越注重车辆的乘坐和驾驶体验[1]。按摩座椅能够显著提升长途驾乘的舒适性、缓解疲劳，从而改善驾乘体验。按摩座椅的按摩效果可通过肌肉疲劳缓解程度表征，相对于脑电信号、眼电信号和心电信号等生理信号，表面肌电信号能够最直接、最大程度地反映肌肉状态变化情况[2]。相关研究表明，当肌肉处于疲劳状态时，表面肌电信号低频成分增加，功率谱密度、峰值因子和平均功率等特征发生明显变化[3-4]。

在基于肌电信号的肌肉疲劳评估方面，付梦龙[5]分析了肌肉疲劳过程中表面肌电信号特征变化情况，使用监督学习方法实时评估肌肉状态。王琳等[6]通过提取脑电、肌电和呼吸3种生理信号的特征参数近似熵，采用模糊C均值聚类方法分析3种特征参数组合所反映的疲劳状态，结果表明，该方法能够较为准确地判断驾驶员的疲劳状态。公培浩[7]采集了不同疲劳状态下背部表面肌电信号和肌氧

信号并对其特征进行融合，基于支持向量机和卷积神经网络建立肌肉疲劳模型对不同疲劳状态进行识别。王君洪等[8]提出了一种改进型小波阈值函数去噪算法进行肌电信号预处理，并基于长短时记忆网络构建肌肉疲劳状态识别模型。此外，相关学者还通过运动前、后表面肌电信号特征的变化情况实时监测肌肉的疲劳状态[9-13]。

在基于肌电信号的按摩效果评估方面，张宁[14]采集受试者运动前、后以及按摩恢复/静坐恢复后的肌电信号，通过分析肌电信号特征的变化验证了座椅按摩的疲劳缓解效果。龙大凡[15]设计了座椅锤击按摩机构，通过监测按摩前、后肌电信号变化，建立机器学习模型判断肌肉的疲劳状态并评估不同按摩手法的按摩效果。王晓等[16]采集按摩前、后表面肌电信号，通过小波变换获得肌电信号能量分布情况，以评估按摩师的按摩效果，通过分析各肌肉群的能量分布情况提高按摩质量。Alan等[17]证明，表面肌电信号的幅值和频谱信息可作为前臂肌肉疲劳的间接指标。Zhang等[18]通过分析颈椎多通道表面肌电信号的均方根值和中位频率，验证了机械按摩枕在缓解颈部肌肉疲劳方面的性能。Luo等[19]通过分析按摩前、后斜方横肌表面肌电信号的电活动和中值频率变化，发现按摩后电活动减少且中值频率提高，验证了机械手揉捏按摩可缓解肌肉疲劳。Buttagat等[20]通过对比传统泰式按摩前、后腓肠肌表面肌电信号的中值频率、肌肉力量和肌肉疲劳感变化验证了按摩对肌肉疲劳的改善效果。此外，相关研究人员也进行了各种按摩方式对表面肌电信号其他特征影响的研究[21-23]，充分验证了利用表面肌电信号特征进行疲劳缓解和按摩效果评估的可行性。

基于此，本文提出一种基于表面肌电信号特征的按摩效果评估方法，通过对比分析舒适态、疲劳态和按摩态肌电信号特征变化，利用疲劳缓解程度反映按摩效果。

2　表面肌电信号预处理和特征提取

2.1　表面肌电信号预处理

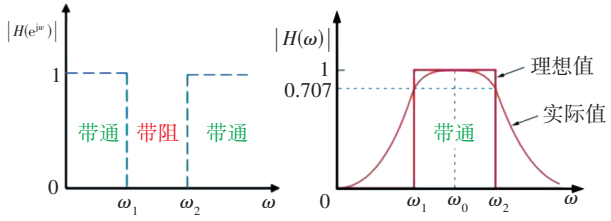
原始的表面肌电信号包含噪声信号和表面肌电信号，噪声信号又包含工频噪声和运动伪影等[24-25]。对原始的表面肌电信号进行滤波、归一化等预处理可提高肌电信号定量分析相关结果的精度和可解释性。

2.1.1　滤波

本文利用陷波滤波器和带通滤波器对原始表面肌电信号进行滤波处理，2种滤波器的原理如图1所示。陷波滤波处理可去除肌电信号中某特定的成分或频率（即陷波频率），即采集过程中产生的工频噪声[26]，信号经过陷波后陷波频率处幅频响应为0：

$$\left|H(\mathrm{e}^{\mathrm{j}w})\right|=\begin{cases}1, \omega\neq\omega_{\mathrm{c}}\\ 0, \omega=\omega_{\mathrm{c}}\end{cases} \tag{1}$$

式中：$H(\mathrm{e}^{\mathrm{j}w})$、$H(\omega)$分别为陷波滤波器、带通滤波器的频率响应，$\omega$为信号频率，$\omega_{\mathrm{c}}$为陷波频率，$\mathrm{e}^{\mathrm{j}w}$表示频率的复指数形式，e为自然常数，j为虚数单位，w为离散角频率。



（a）陷波滤波器　　（b）带通滤波器

图1　陷波和带通滤波器原理

我国供电电源工作频率为50 Hz，因此，采用高、低截止频率分别为51 Hz和49 Hz的陷波滤波来消除原始肌电信号中50 Hz的工频噪声。为减少运动或汗水等造成的肌电信号基线漂移和直流偏置等，去除高频随机噪声，防止采样信号叠加带来的影响，本文采用截止频率为10 Hz和300 Hz的带通滤波器对其进行滤波处理[27]。

2.1.2　信号归一化

肌电信号除易受噪声和工频干扰外，其幅值还易受受试者个体差异、检测时间、检测位置等检测条件的影响，如同一受试者同一肌肉不同电极位置或不同时间的测量结果均存在差异。为解决表面肌电信号幅值的不确定性，方便比较不同肌肉、不同时间和不同个体之间的肌肉活动，需对滤波后的表面肌电信号进行归一化处理[28]。表面肌电信号归一化是指在肌肉活动期间，将表面肌电信号值表示为校准试验中肌肉活动的百分比。本文采用均值归一化方法表示单个运动周期内肌肉静止和动作时表面肌电信号的平均值：

$$X_{\mathrm{norm}}=\frac{X-X_{\mathrm{b}}}{X_{\mathrm{mean}}-X_{\mathrm{b}}} \tag{2}$$

式中：X为表面肌电信号的当前值，X_{norm}为均值归一化后的表面肌电信号值，X_{b}为表面肌电信号的基线

（滤波后为0），X_{mean}为本试验中表面肌电信号均值。

2.2 表面肌电信号特征提取

肌肉疲劳时，肌纤维传导速度降低，肌电信号能量谱的平均频率和中值频率降低，常用作肌肉疲劳判定指标，同时，肌电积分值（Integrated Electromyography，iEMG）蕴含肌肉活动的大量信息，可在一定程度上反映肌肉疲劳程度[29]。故均方根（Root Mean Square，RMS）和iEMG通常作为肌肉疲劳分析的时域指标，平均功率（Mean Power Frequency，MPF）和中值频率（Median Frequency，MDF）通常作为频域指标。当肌肉疲劳时，RMS和iEMG提高，MPF和MDF下降。由于RMS和iEMG、MPF和MDF在数值上与疲劳过程中的变化趋势一致[3]，本文仅对RMS和MDF进行特征分析。RMS与肌肉恒力和肌肉的非疲劳收缩有关，是时域内肌肉疲劳的一种表示方法。RMS和MDF可表示为：

$$R_{RMS}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|x_i|^2} \tag{3}$$

$$F_{MD}=\frac{1}{2}\int_0^{\infty}P_{SD}(f)\mathrm{d}(f) \tag{4}$$

式中：N为样本数量，本文中为20个；x_i为第i个信号；$P_{SD}(f)$为肌电功率谱密度函数；f为频率。

2.3 按摩效果评估方法

肌肉疲劳的外在表现为肌肉群最大自主收缩能力和最大输出功率可逆性下降[30]。由于肌肉疲劳会使时域特征（RMS）增大、频域特征（MDF）减小，本文将不同受试者放松态、疲劳态和按摩态肌电信号特征进行对比，通过不同位置肌肉时频域特征变化量来验证该评价方法的有效性及机械按摩对背部不同肌肉群的具体作用。

3 试验与分析

3.1 试验方案

本文选取9名25~35岁的健康受试者参与试验，受试者均为男性，身高范围为160~180 cm，体重范围为55~115 kg，且受试者均无肌肉、骨骼和心血管等相关疾病，也无相关病史。所有受试者均自愿参与试验，并提前了解研究的目的、内容、方法和潜在风险。

试验设备包括机械按摩座椅和表面肌电信号采集电极。如图2所示，机械按摩结构设有4个可转动、力度可调的按摩头，利用机械的滚动力和挤压力对人体背部肌肉群进行按摩。将机械按摩座椅调整至正常坐姿（靠背倾角为100°），按摩力度和座椅倾角在所有试验中保持一致。无线表面肌电仪如图3所示，该设备通过放置在人体肌肉位置的2个电极进行信号采集并通过蓝牙传输到计算机上，电极与皮肤之间放置电极贴片提高采样精度。该设备的采样频率为1 000 Hz，带宽为7~1 000 Hz，无线传输距离为30 m，传感器尺寸为34 mm×28 mm×11 mm。设备带宽满足本文中人体肌电信号频率为10~500 Hz的采集要求[31]。

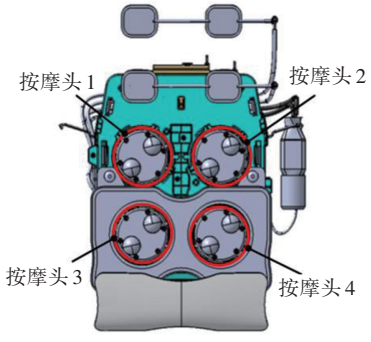


图2 四点机械按摩结构

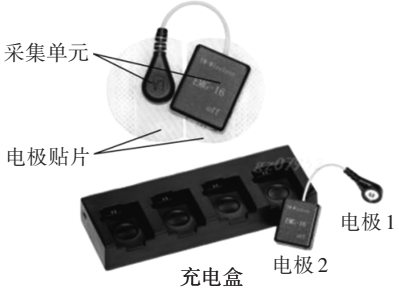


图3 无线表面肌电采集设备

为保证信号采集精度，在放置表面肌电（Surface Electromyography，sEMG）传感器前，需去除电极贴片位置的毛发并用酒精清洁皮肤。背部肌肉群数量多且相互交错，为便于采集和分析，本文选取易测量的4个表层肌肉群：斜方横肌、下斜方肌、背阔肌和竖脊肌[32]。肌电传感器的2个电极沿人体肌纤维方向的肌腹布置即可采集到幅值最高、波形和质量最佳的sEMG信号，如图4所示。

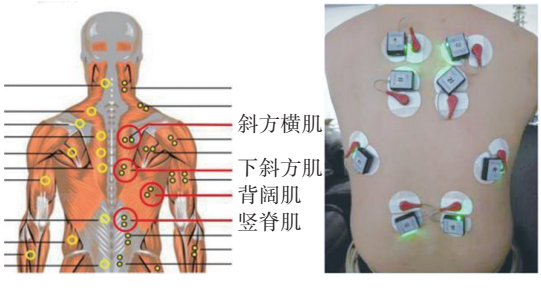


图4 肌电传感器布置示意

传感器布置完毕后，在受试者处于放松且站立

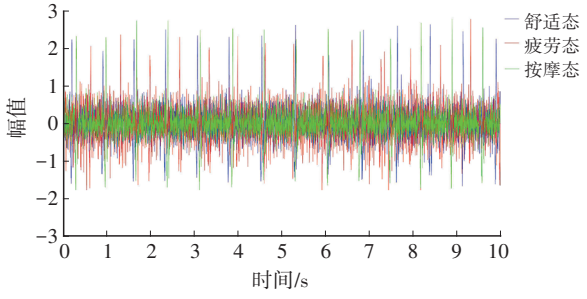
状态下采集背部肌电信号30 s，并标记为舒适态信号。然后，保持弯腰姿势15 min[33-34]，使受试者背部充分疲劳，如图5所示。随后，确认受试者背部疲劳状态并立即采集站立状态下背部肌电信号数据，采集时长为30 s，标记为疲劳态信号。完成信号采集后，立即在机械按摩座椅上按摩30 min，结束后采集站立状态下背部肌电信号数据，采集时长为30 s，标记为按摩态信号。至此，数据采集工作完成。



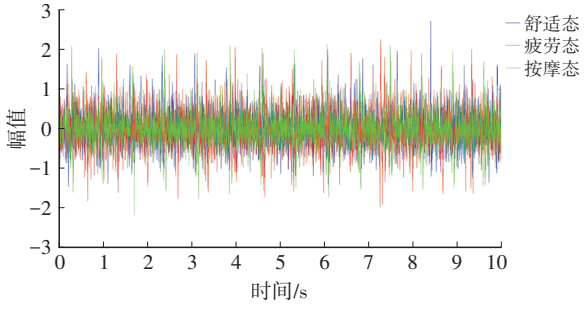
图5　背部肌肉疲劳示意

3.2　结果分析

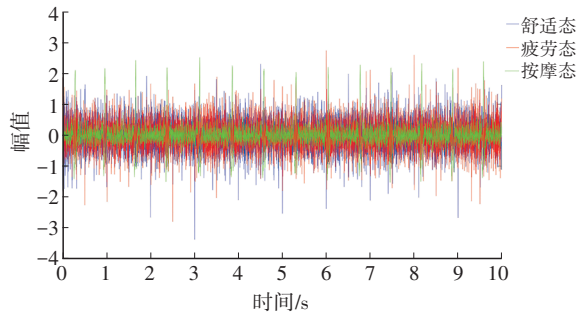
分别对采集到的3种状态肌电信号进行滤波和归一化处理，为直观对比预处理后3种状态肌电信号的差异，分别绘制了某受试者左背部10 s内的舒适态、疲劳态和按摩态的斜方横肌、下斜方肌、背阔肌和竖脊肌的肌电信号图，如图6所示，3种状态的肌电信号幅值存在明显差异。为从时频域角度分析该差异，对预处理后的肌电信号进行特征提取，得到4个肌肉群舒适态、疲劳态和按摩态的肌电特征，如图7所示。



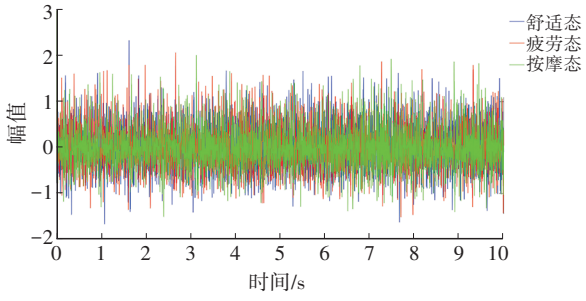
(a)斜方横肌



(b)下斜方肌

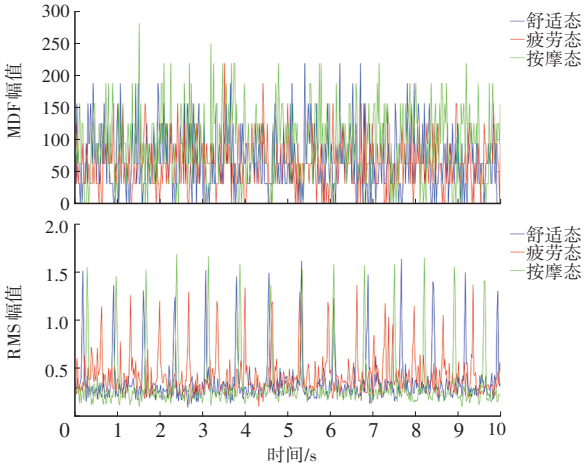


(c)背阔肌

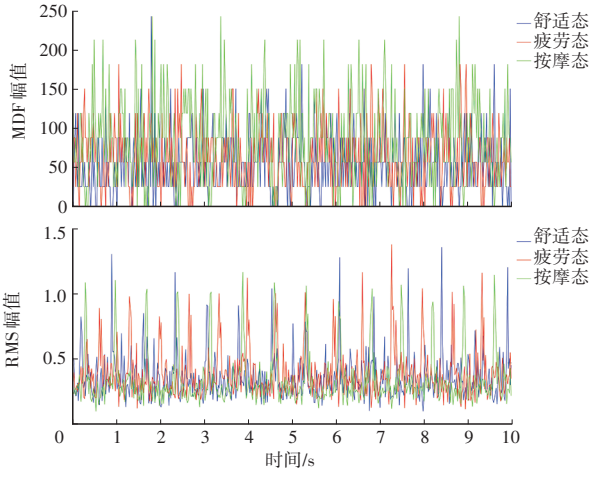


(d)竖脊肌

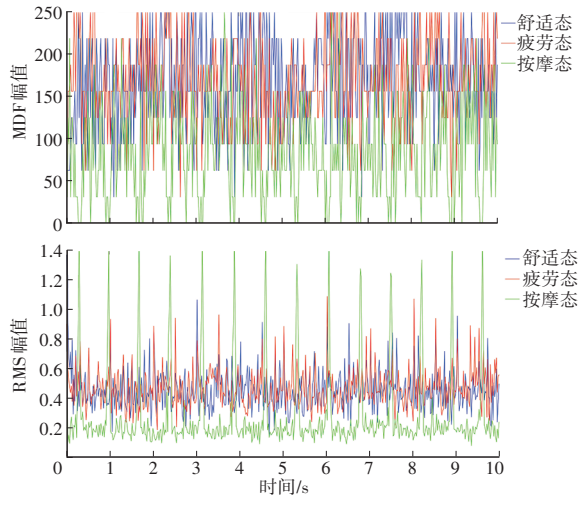
图6　预处理后肌电信号示意



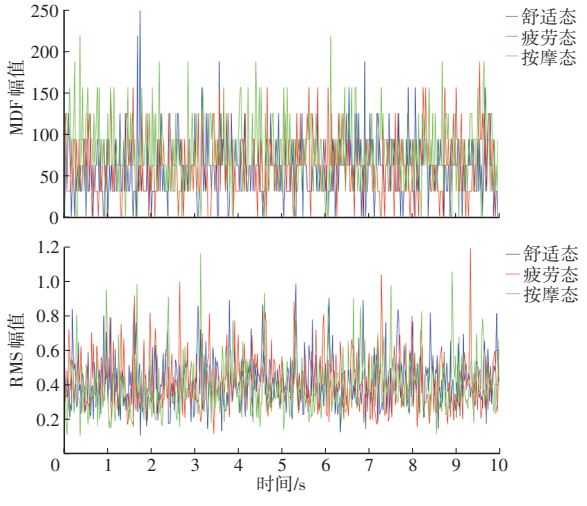
(a)斜方横肌



(b)下斜方肌



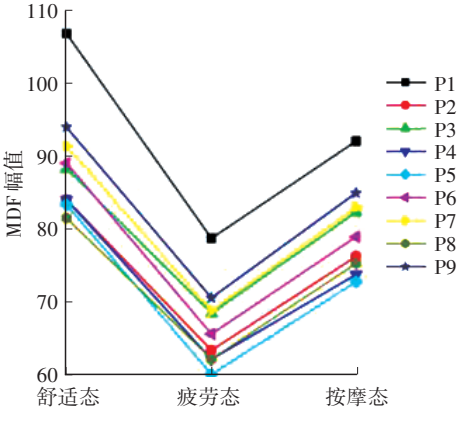
(c)背阔肌



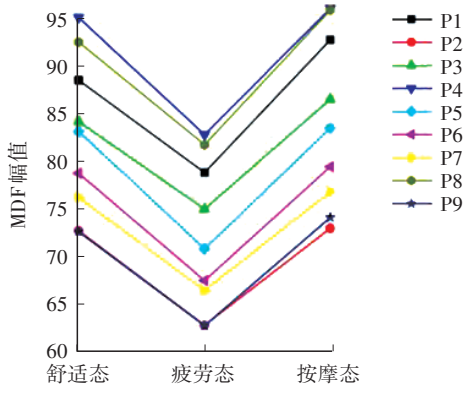
(d)竖脊肌

图7　MDF和RMS肌电特征示意

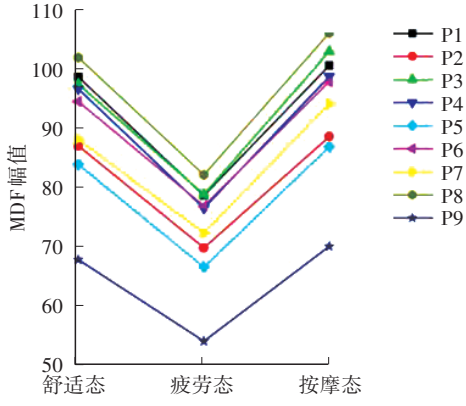
分别对9名受试者(编号为P1~P9)在10 s内的舒适态、疲劳态和按摩态的MDF和RMS肌电特征取平均值,得到4个肌肉群3种状态下肌电特征的变化趋势,如图8、图9所示。



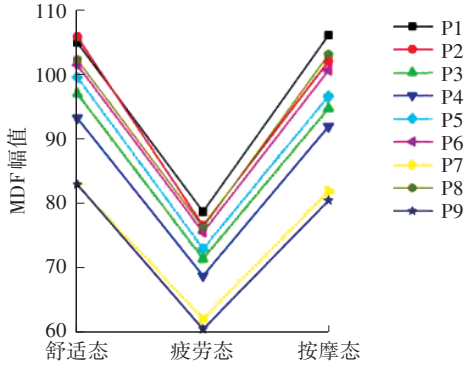
(a)斜方横肌



(b)下斜方肌

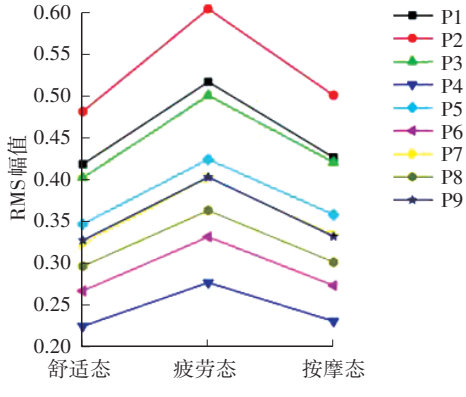


(c)背阔肌

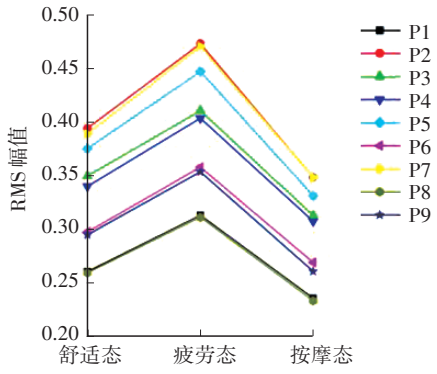


(d)竖脊肌

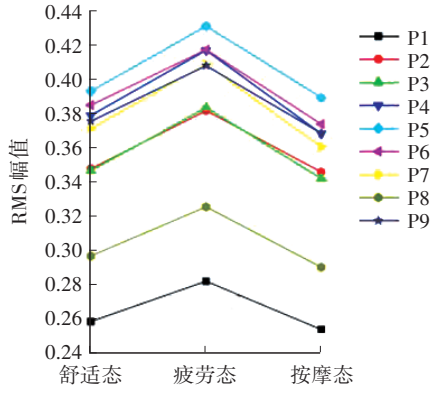
图8　MDF肌电特征变化趋势示意



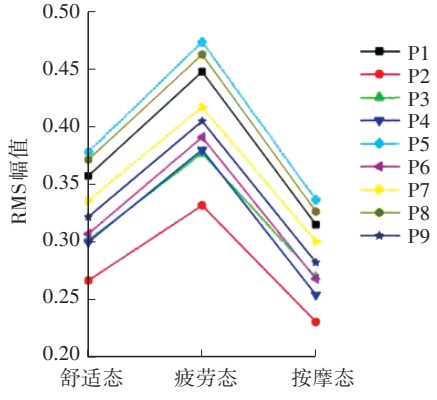
(a)斜方横肌



(b)下斜方肌



(c)背阔肌



(d)竖脊肌

图9　RMS肌电特征变化趋势示意

由图8可知：对于斜方横肌、下斜方肌、背阔肌、竖脊肌，由舒适态到疲劳态MDF幅值分别平均减小25.33%±1.64%、12.92%±1.42%、19.77%±1%、26.14%±0.91%，由疲劳态到按摩态MDF幅值分别增大20.1%±1.36%、16.98%±1.08%、29.21%±1.39%、33.39%±1.04%。

由图9可知：对于斜方横肌、下斜方肌、背阔肌、竖脊肌，由舒适态到疲劳态RMS幅值分别平均增加23.84%±1.01%、9.56%±0.72%、19.76%±1.08%、24.97%±1.01%，由疲劳态到按摩态RMS幅值分别减小16.98%±0.71%、10.48%±0.87%、25.32%±1%、29.55%±1.55%。

由MDF和RMS的特征变化情况可知，机械按摩对下斜方肌、斜方横肌、背阔肌和竖脊肌的疲劳均有缓解作用，具体表现为MDF增大和RMS减小，验证了本文提出方法的有效性；其中，竖脊肌的疲劳缓解效果较好，其次是背阔肌和斜方横肌。机械按摩后不同部位肌肉疲劳缓解程度不同，原因在于机械按摩头的作用位置固定，且分布在竖脊肌和背阔肌附近。由从舒适态到疲劳态和从疲劳态到按摩态的MDF和RMS变化程度可知，经过30 min机械按摩，斜方横肌和下斜方肌没有恢复至疲劳前的状态（舒适态），背阔肌和竖脊肌的状态比疲劳前的状态（舒适态）更好。

4　结束语

本文通过对比舒适态、疲劳态和按摩态的MDF和RMS肌电特征变化，证明了基于肌电信号的按摩效果评价方法的有效性。通过不同部位肌肉群肌电特征变化，说明按摩头作用位置的按摩效果较好，肌肉疲劳完全恢复至疲劳前的状态，按摩舒适性达到预期目标。但通过不同肌肉群肌电特征变化发现，为进一步提升背部整体按摩效果，需要增加背部按摩头数量或者采用可移动按摩头，增加按摩头在背部肌肉的覆盖面。

参　考　文　献

[1] 何莎. 新能源汽车人机交互设计评估方法研究[J]. 汽车测试报告, 2023(11): 73-75.
HE S. Research on the Evaluation Method of Human Computer Interaction Design for New Energy Vehicles[J]. Car Test Report, 2023(11): 73-75.

[2] 梅丹, 李宏汀, 李文书. 基于生理信号的汽车驾驶疲劳检测研究综述[J]. 人类工效学, 2012, 18(1): 67-69.
MEI D, LI H T, LI W S. Review on Fatigue Detection of Automobile Driving Based on Physiological Signals[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2012, 18(1): 67-69.

[3] 王恺. 人与机器人协作中的肌肉疲劳预测理论与实验研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
WANG K. Surface Electromyography-Based Muscle Fatigue Prediction in Human-Robot Cooperation[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.

[4] 王琳. 面向安全辅助驾驶的多模态生理信息疲劳检测与分析[D]. 沈阳: 东北大学, 2018.
WANG L. Detection and Analysis on Driver Fatigue Based on Multimodal Physiologycal Information Aimed for ADAS [D]. Shenyang: Northeastern University, 2018.

[5] 付梦龙. 基于表面肌电信号的实时在线肌肉疲劳估计方法研究[D]. 深圳: 中国科学院大学（中国科学院深圳先进技术研究院）, 2020.
FU M L. Research on Real-Time Online Muscle Fatigue Estimation Method Based on sEMG Signal[D]. Shenzhen: University of Chinese Academy of Sciences (Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences), 2020.

[6] 王琳, 王宏, 付荣荣, 等. 基于多模态特征组合的真实驾驶疲劳状态识别[J]. 中国生物医学工程学报, 2023, 42(5): 554-562.
WANG L, WANG H, FU R R, et al. Investigation on Actual Driver Fatigue Based on Combination of Multi-Characteristics[J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2023, 42(5): 554-562.

[7] 公培浩. 基于多源生物信息融合的人体肌肉疲劳检测系统研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2023.
GONG P H. Research on Human Muscle Fatigue Detection System Based on Multi-Source Bio-Information Fusion[D]. Changzhou: Soochow University, 2023.

[8] 王君洪, 孙少明, 孙怡宁, 等. 基于改进小波去噪和长短时记忆网络的肌肉疲劳识别模型研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2022, 39(3): 507-515.
WANG J H, SUN S M, SUN Y N, et al. Research on Muscle Fatigue Recognition Model Based on Improved Wavelet Denoising and Long Short-Term Memory[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2022, 39(3): 507-515.

[9] LIU S H, LIN C B, CHEN Y, et al. An EMG Patch for the Real-Time Monitoring of Muscle-Fatigue Conditions During Exercise[J]. Sensors 2019, 19(14).

[10] KAHL L, HOFMANN U G. Comparison of Algorithms to Quantify Muscle Fatigue in Upper Limb Muscles Based on sEMG Signals[J]. Medical Engineering & Physics, 2016, 38(11): 1260-1269.

[11] SHAIR E F, AHMAD S A, MARHABAN M H, et al. EMG Processing Based Measures of Fatigue Assessment during Manual Lifting[J]. Biomed Research International, 2017.

[12] AGUIRRE A, PINTO M J, CIFUENTES C A, et al. Machine Learning Approach for Fatigue Estimation in Sit-to-Stand Exercise[J]. Sensors, 2021, 21(15).

[13] KARTHICK P A, GHOSH M D, RAMAKRISHNAN S, et al. Surface Electromyography Based Muscle Fatigue Detection Using High-Resolution Time-Frequency Methods and Machine Learning Algorithms[J]. Computer Methods and Programs Biomed, 2018, 154: 45-56.

[14] 张宁. 按摩椅的结构设计与研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2020.
ZHANG N. Structural Design and Research of Massage Chair[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2020.

[15] 龙大凡. 按摩椅机芯结构设计及按摩效果评价研究[D]. 南京: 东南大学, 2020.
LONG D F. Design on the Core Structure of Massage Chair and Research on the Evaluation of Massage Effect[D]. Nanjing: Southeast University, 2020.

[16] 王晓, 王丽荣, 宋雅娟, 等. 基于小波变换的按摩手法肌电信号分析[J]. 吉林大学学报（信息科学版）, 2013, 31(3): 255-259.
WANG X, WANG L R, SONG Y J, et al. Analysis of Electromyography Signal in Massage Technique Based on Wavelet Transform[J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2013, 31(3): 255-259.

[17] ALAM M M, KHAN A A. Electromyography-Based Fatigue Assessment During Endurance Testing by Different Vibration Training Protocols[J]. Iranian Rehabilitation Journal, 2021, 19(1): 85-98.

[18] ZHANG J Y, LI W, DU S, et al. Experimental Study of a Human-Computer Evaluation Model Based on the Performance of Surface Electromyographic Massage Pillows [C]// 2022 12th International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). Baishan, China: IEEE, 2022.

[19] LUO R C, CHANG C C. Electromyographic Evaluation of Therapeutic Massage Effect Using Multi-Finger Robot Hand[C]// 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Shanghai, China: IEEE, 2011.

[20] BUTTAGAT V, KLUAYHOMTHONG S, AREEUDOM-WONG P. The Influence of Traditional Thai Massage on Recovery from Gastrocnemius Muscle Fatigue: A Single-Blind Randomised Controlled Trial[J]. Complementary Therapies in Medicine, 2024, 83.

[21] OZTURK N, BEGOVIC H, DEMIR P, et al. Effects of Transverse Friction Massage on the Electromechanical Delay Components and Fractal Dimension of Surface Electromyography in Quadriceps Muscles[J]. Fractal and Fractional, 2023, 7(8).

[22] JUNG S H, HWANG U J, AHN S H, et al. Effects of Manual Therapy and Mechanical Massage on Spinal Alignment, Extension Range of Motion, Back Extensor Electromyographic Activity, and Thoracic Extension Strength in Individuals with Thoracic Hyperkyphosis: A Randomized Controlled Trial[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2020.

[23] PAUL A, USMAN J, AHMAD M Y, et al. Health Efficacy of

Electrically Operated Automated Massage on Muscle Properties, Peripheral Circulation, and Physio-Psychological Variables: A Narrative Review[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2021.

[24] SCHLINK B R, NORDIN A D, FERRIS D P. Comparison of Signal Processing Methods for Reducing Motion Artifacts in High-Density Electromyography during Human Locomotion[J]. IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology, 2020, 1: 156-165.

[25] BOYER M, BOUYER L, ROY J S L A. Reducing Noise, Artifacts and Interference in Single-Channel EMG Signals: A Review[J]. Sensors, 2023, 23(6).

[26] KIM M, MOON Y, HUNT J, et al. A Novel Technique to Reject Artifact Components for Surface EMG Signals Recorded during Walking with Transcutaneous Spinal Cord Stimulation: A Pilot Study[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2021, 15.

[27] MERLETTI R, CERONE G L. Tutorial. Surface EMG Detection, Conditioning and Pre-Processing: Best Practices[J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2020, 54.

[28] EMMA F, DAWN M, MICHELLE S, et al. A Review of Techniques for Surface Electromyography Signal Quality Analysis[J]. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 2022: 472-486.

[29] 徐明伟. 有限空间人因参数对疲劳影响及防护研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2021.
XU M W. Study on Influence of Human Factors Parameters on Fatigue in Confined Space and Protection[D]. Beijing: University of Science and Technology, 2021.

[30] HADDAD M, CHAOUACHI A, WONG D P, et al. Influence of Fatigue, Stress, Muscle Soreness and Sleep on Perceived Exertion during Submaximal Effort[J]. Physiology & Behavior, 2013, 119: 185-189.

[31] KARLSSON S, GERDLE B. Mean Frequency and Signal Amplitude of the Surface EMG of the Quadriceps Muscles Increase with Increasing Torque—A Study Using the Continuous Wavelet Transform[J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2001, 11(2): 131-140.

[32] KONRAD P. The ABC of EMG: A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography[R]. Scottsdale, AZ, USA: Noraxon, 2005: 20-21.

[33] WARD J. Controlled Trial of Sacroiliac Belt Impact on Spine Pain, Regional Thigh Discomfort, and Erector Spinae Flexion-Relaxation Phenomenon Following A Manual Labor Task[J]. Journal of Contemporary Chiropractic, 2022, 5(1): 105-113.

[34] PEHAREC M, PEHAREC S, SRHOJ-EGEKHER V, et al. The Flexion Relaxation Phenomenon in Patients with Radiculopathy and Low Back Pain: A Cross-Sectional Study[J]. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 2024, 9(2): 77.

（责任编辑　弦　歌）
修改稿收到日期为2024年9月23日。

《汽车工程师》征稿启事

《汽车工程师》于1974年创刊，是由中国第一汽车集团有限公司主管、中国第一汽车股份有限公司主办的国内外公开发行的汽车应用技术类学术期刊，为RCCSE中国准核心学术期刊、CACJ中国应用型扩展期刊，被哥白尼精选数据库、EBSCO学术数据库、欧洲学术出版中心（EuroPub）数据库、J-Gate数据库收录。

《汽车工程师》以报道汽车产品设计领域的技术研究成果为主，专注于技术开发与应用层面的创新成果，提供汽车设计创新解决方案。《汽车工程师》将把握电动化、智能化、网联化、共享化的汽车技术主流发展趋势，努力吸收优质稿源，为我国汽车工程技术创新能力提升贡献力量。重点征稿方向包括：锂离子电池与新体系电池、动力电池热管理与热失控、燃料电池及其关键零部件、车用电机及其控制器、自动驾驶汽车环境感知与感知融合、自动驾驶汽车定位与建图、自动驾驶汽车测试、人工驾驶-无人驾驶车辆混行条件下的自动驾驶控制、智能线控底盘、一体化底盘、功能安全和预期功能安全。

热忱欢迎汽车行业的专家学者不吝赐稿，反映国家重点扶持项目、自然科学基金项目和其他重点项目等研究成果的稿件将优先发表，我们期待与您共同践行“把论文写在祖国大地上”的指示精神，为强大中国汽车工业作贡献！

本刊使用协同采编系统处理稿件，请登陆期刊网站注册后投稿，投稿要求见本刊网站中“下载中心”栏目的作者指南，网址：http://tjqc.cbpt.cnki.net。

《汽车工程师》编辑部