

基于 sEMG 的按摩椅绩效人机评价模型实验研究

杨钟亮 孙守迁 陈育苗

浙江大学,杭州,310027

摘要:针对机械式按摩椅缓解肌肉疲劳的绩效,提出了基于表面肌电(sEMG)信号的人机评价模型。实验要求两名被试者在执行静力性标准俯卧撑(SPU)动作之间,分别采用静坐与按摩两种方式恢复肌肉疲劳,并在 SPU 过程中采集竖脊肌的 sEMG 信号。根据模型的评价指标对实验数据进行了比较与分析,结果表明,SPU 后采用拍打按摩恢复对竖脊肌疲劳缓解的效果好于静坐恢复的效果,从而验证了模型在按摩椅人机评价上的可行性。

关键词:按摩椅;表面肌电;工效学;评价模型;肌肉疲劳

中图分类号: TB18; TP391.9

DOI: 10.3969/j.issn.1004-132X.2012.02.021

A Pilot Study on Ergonomics Evaluation Model of Massage Chair Performance Based on sEMG

Yang Zhongliang Sun Shouqian Chen Yumiao

Zhejiang University, Hangzhou, 310027

Abstract: The purpose of this paper was to evaluate the effects on the relaxation of muscular fatigue using an automated massage chair. Two healthy participants performed the static standard push-up (SPU) exercise respectively before and after recovering from sitting still without massage and beat massage on the massage chair. The sEMG signals were recorded during SPU exercises. An ergonomics evaluation model was developed based on sEMG, in which experimental data were analyzed by indexes. Results show the effects on the relaxation of erector spine fatigue from beat massage are better than that from sitting still. In this respect, the feasibility of the model on massage chair ergonomics evaluation was verified.

Key words: massage chair; surface electromyography (sEMG); ergonomics; evaluation model; muscular fatigue

0 引言

按摩治疗作为非传统医学的一部分正流行起来,被证实能有效地减轻疼痛、缓解压力、提高睡眠质量、增强免疫力^[1]。手工按摩缓解疲劳、紧张等方面的研究尚处于探索阶段。Deborah 等^[2]针对声谱仪操作员工作时的肌肉不适,通过比较椅上按摩对缓解这些肌肉不适的效果,验证了按摩方案的可行性; Black 等^[3]研究了椅上按摩对病人

摆脱心理治疗药物时焦虑的疗效; Buck 等^[4]从人机评价的角度,研究了按摩师进行椅上与桌上按摩时不同的姿势所引起的肌肉健康问题。

经验丰富的按摩专家的数量毕竟有限,为满足大众急剧增长的需求,按摩椅等多种自动化按摩设备被研制出来并迅速市场化。按摩椅避免了受众因手工按摩时因皮肤接触引起的心理上的不适^[5],具有操作便捷、按摩手法多样、用户可控制按摩位置与时间等优点。目前,国内外针对按摩椅在缓解肌肉疲劳绩效评价等方面的研究尚处于起步阶段。尹小琴等^[6]分析了推拿机器人末端执行器 4 种按摩手法(振法、按法、揉法、滚法)所需的施力方向和运动自由度。Kolich 等^[7]比较了汽

收稿日期:2011-02-18

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2009BAG12A01-E08-2,2009BAG12A01-E09-2);国家自然科学基金资助项目(61070075,61004116)

31-40.

[11] 徐国柱,刘槌,张元生.转台速率波动原因分析及一种自适应抑制方法探讨[J].航空精密制造技术,2004,40(1):31-35.

[12] 徐国柱,刘槌,孟凡军.利用加速度反馈改善转台低速性能[J].中国惯性技术学报,2008,16(4):502-504.

[13] Lee K C, Jeong Y H, Koo D H, et al. Development of a Radial Active Magnetic Bearing for High Speed Turbo-machinery Motors[C]//2006 SICE-ICASE In-

ternational Joint Conference, Busan, 2006: 1543-1548.

(编辑 张洋)

作者简介:代勇,男,1987年生。上海交通大学机械与动力工程学院硕士研究生。主要研究方向为液压伺服控制系统。王旭永,男,1960年生。上海交通大学机械与动力工程学院副教授、博士。陈金超,男,1986年生。上海交通大学机械与动力工程学院硕士研究生。陶建峰,男,1975年生。上海交通大学机械与动力工程学院讲师、博士。刘鹏,男,1987年生。上海交通大学机械与动力工程学院硕士研究生。

车座椅不采用腰部支撑机构与采用腰部支撑机构(微调或按摩)对肌肉活动的影响,证明了腰部支撑机构的有效性。Zullino 等^[5]研究了自动按摩椅执行背部按摩后缓解肌肉紧张的效果,并比较了 3 种机械按摩的手法。在对腓肠肌的肌电信号比较中发现,滚动按摩与指压能够较快地缓解肌肉紧张,而拍打按摩效果不明显。同时也指出实验本身就是被试者肌肉逐渐放松的过程,按摩的效果在理论上可能被夸大。

表面肌电(surface electromyography, sEMG)技术作为一种无损伤的实时测量方法,能够持续监控执行某项工作中局部的肌肉疲劳,客观地反映肌肉活动水平和功能状态^[8-9],在康复医学、人机工程以及体育科学等领域均有重要的实用价值^[10]。然而,sEMG 在按摩椅绩效评价上应用较少,已发表的文献也各自存在不足之处,如文献^[4]的实验对象不是按摩椅受众,文献^[5]采集的 sEMG 信号的肌肉不是按摩椅直接作用的对象。对此,本文提出按摩椅绩效的人机评价模型,选择拍打按摩手法,采用 sEMG 研究特定肌肉在未接受按摩与接受直接按摩后肌电指标的变化情况,验证按摩椅对缓解肌肉疲劳的有效性。

1 按摩椅绩效人机评价模型

对 sEMG 信号的分析主要集中在时域和频域^[11]。肌电频域指标——均方根值 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,其计算公式为

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

式中,EMG(t) 为表面肌电信号采样值;T 为采样时间。

sEMG 频域分析采用中位频率 MF:

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

式中,PSD(f) 为表面肌电信号功率谱密度函数;f 为频率。

频域指标 MF 随肌力的增大而提高,随疲劳的发生而降低。

RMS 在一定程度上反映了肌电信号的平均功率,且采用 RMS 算法得到的 sEMG 信号的幅值较大,可以更好地反映肌电的特点^[12];从统计学角度而言,MF 能更好地反映 sEMG 的频谱特征^[10]。我们以 RMS 与 MF 为判断肌肉疲劳的指标,并基于 RMS 提出了按摩椅按摩绩效的人机评价模型,如图 1 所示。

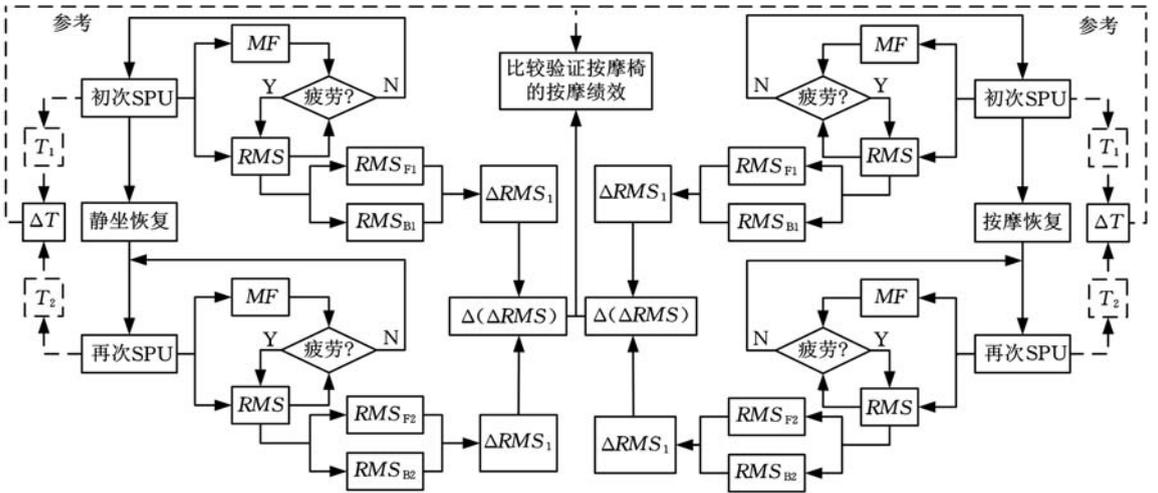


图 1 按摩椅绩效人机评价模型

模型中, ΔRMS ^[13] 为实验开始后规定时间内 RMS 的均值减去实验结束前规定时间内 RMS 的均值的差,若规定时间为 20s,则 ΔRMS 为整段 RMS 前 20s 的 RMS 均值减去最后 20s 的 RMS 均值得到的差。 $\Delta RMS > 0$ 表示 sEMG 活动趋于减少,肌肉疲劳缓解; $\Delta RMS = 0$ 表示 sEMG 活动没有变化,但在实测中几乎不会出现; $\Delta RMS < 0$ 表示 sEMG 活动趋于增加,呈现肌肉疲劳。 RMS_{F1} 为初次 SPU 过程前 20s 的 RMS 均值, RMS_{B1} 为初次 SPU 过程后 20s 的 RMS 均值(下标 F、B 分别

表示前段与后段的规定时间,下标 1 表示初次静力性标准俯卧撑(static standard push-up, SPU),下标 2 表示再次 SPU), ΔRMS_1 为初次 SPU 过程前 20s 的 RMS 均值减去后 20s 的 RMS 均值所得的差值,即 $\Delta RMS_1 = RMS_{F1} - RMS_{B1}$ 。 RMS_{F2} 为再次 SPU 过程前 20s 的 RMS 均值, RMS_{B2} 为再次 SPU 过程后 20s 的 RMS 均值, ΔRMS_2 表示再次 SPU 过程前 20s 的 RMS 均值减去后 20s 的 RMS 均值所得的差值,即 $\Delta RMS_2 = RMS_{F2} - RMS_{B2}$ 。 $\Delta(\Delta RMS)$ 为恢复前

初次 SPU 的 ΔRMS 减去恢复后再次 SPU 的 ΔRMS 所得差值, 即 $\Delta(\Delta RMS) = \Delta RMS_1 - \Delta RMS_2$ 。 T_1 为完成初次 SPU 的时间, T_2 为完成再次 SPU 的时间, $\Delta T = T_1 - T_2$ 。 $\Delta T > 0$ 表明再次 SPU 持续时间比初次 SPU 持续时间短; $\Delta T = 0$ 表示两次 SPU 的持续时间相同; $\Delta T < 0$ 则表明经过恢复后, 再次 SPU 的持续时间比初次 SPU 的持续时间长。模型的主要操作步骤如下:

(1) 通过 RMS 与 MF 指标判断完成 SPU 动作后肌肉是否进入疲劳状态。如果被测肌肉没有疲劳, 则实验数据无效; 如果被测肌肉被判断为疲劳, 则选取实验数据中 RMS 值的前后 20s 的区间, 即 RMS_F 与 RMS_B 。此外, 在实验数据中选取 RMS 区间时, 应除去瞬间变化较大的数值, 以确保区间数值的平稳性。

(2) 将 RMS_F 减去 RMS_B 得到 ΔRMS , 再将恢复前的 ΔRMS_1 减去恢复后的 ΔRMS_2 , 得到 $\Delta(\Delta RMS)$ 。

(3) 比较静坐恢复的 $\Delta(\Delta RMS)$ 与按摩恢复的 $\Delta(\Delta RMS)$, 并参考 SPU 的 ΔT , 对按摩椅的按摩绩效进行评价。

2 实验方法

2.1 被试者与实验环境

在肌电信号的前导研究中常采用小样本实验, 小样本实验的优点在于节省实验成本与时间, 提高解决探索性问题的效率, 如文献[14]选取了 2 名男性被试者, 文献[15]仅对 1 名男性被试者采集前臂的 sEMG 数据。本实验被试者为 2 名男性全日制在读研究生, 均没有心血管、骨骼肌肉和呼吸系统方面的疾病, 且实验期间无受伤或疾病。被试者基本情况以“平均数 \pm 标准差”表示如下: 年龄为 26.5 ± 2.12 岁, 身高为 1720 ± 7.77 mm, 体重为 66 ± 5.66 kg。实验地点为浙江大学人机工程实验室。

2.2 实验设备

(1) 艾力斯特公司生产的某型号按摩椅。在靠背部设置一组能上下行走、四轮驱动的按摩机械手, 机械手具有 5 挡按摩速度; 当采用指压、拍打、敲击进行单独按摩时, 机械手均有宽、中、窄 3 挡宽度可供调节。

(2) 加拿大 Thought Technology 公司的 FlexComp Infinity 20 通道生物反馈分析系统。该系统可采集肌电、心电、脑电等多重生理参数信号, 采样频率为 2048 Hz, 采样精度为 14 bit。

(3) 直径 10 mm 的一次性心电电极片。电极

片使用前, 先去皮肤表面的油脂和角质。然后, 采用双极联法, 将两片导电的电极片相隔 20 mm 距离, 沿着竖脊肌肌腹的方向粘贴, 第三片电极贴在待测肌肉附近, 作为参考电极。

2.3 肌电信号实验仪器架构及数据采集

本实验仪器架构如图 2 所示。被试者在测试部位贴上电极片后执行实验规定动作。实验过程中的表面肌电通过传感器采集并放大, 由各信号采集通道经 A/D 转换器后连入计算机, 肌电信号由 Flex Comp Infinity 20 通道生物反馈分析系统采集, 实验数据借助 SPSS 软件处理。

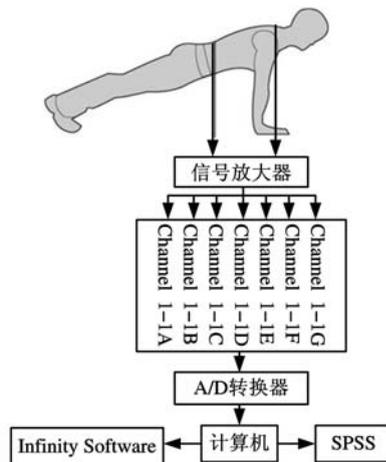


图 2 实验仪器架构

2.4 实验动作与肌肉选取

俯卧撑作为常见的健身运动, 占空间小、无需使用器械, 具有一定的普遍性和实效性。Howarth 等^[16]研究指出, 在执行标准俯卧撑动作时, 竖脊肌在背部肌肉群中所做的贡献最大。静力性练习影响工作肌的血液循环, 疲劳出现较早^[17], 故采用 SPU 作为实验动作, 并选取竖脊肌为肌电信号采集的目标肌肉。电极片粘贴位置为腰椎 L1 至 L2 处, 此位置也是按摩椅的主要工作范围。为了突出按摩绩效, 将按摩椅的按摩部位调整到竖脊肌位置, 对缓解运动性疲劳进行针对性局部按摩。要求被试者保持俯卧撑标准姿势不动, 并开始采集肌电信号。由于被试者腰部受力较大, 当被试者支撑不住, 发生腰部下榻时, 表示实验动作结束, 并停止采集 sEMG 信号。

2.5 实验流程

本次实验分成两个阶段, 流程如图 3 所示。实验只在 SPU 阶段采集肌电信号; 在静坐恢复时, 被试者取下电极片就坐按摩椅上, 按摩椅不启动; 在按摩椅恢复时, 被试者取下电极片就坐在按摩椅上, 按摩椅调节为拍打手法, 速度选择最慢的第一挡, 直接按摩所测试的竖脊肌部位。由于一

个按摩周期为 20min,故将静坐休息与按摩休息时间规定为20min。

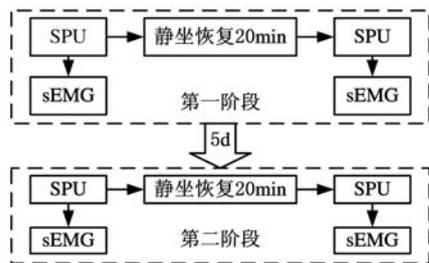


图3 按摩椅绩效人机评价实验流程

3 实验结果分析

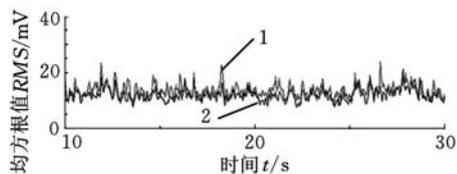
根据式(1)与式(2),对 2 名被试者每次 SPU 的 sEMG 信号进行计算,得到前后 20s 的 RMS 与 MF 的均值,如表 1 所示,其中 ΔMF 表示前 20s 的 MF 均值减去后 20s 的 MF 均值所得的差值。实验表明,每次 SPU 后,RMS 增加的同时 MF 下降,符合 JASA 分析法中定义的肌肉疲劳状态^[9,18]。

表 1 SPU 的 ΔRMS 与 ΔMF

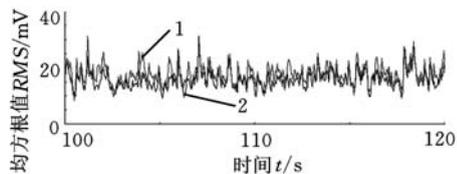
被试者 1	$\Delta RMS(mV)$	$\Delta MF(Hz)$
静坐前	-1.525	6.315
静坐后	-3.26	1.6
按摩前	-1.215	2.67
按摩后	-0.325	0.665
被试者 2	$\Delta RMS(mV)$	$\Delta MF(Hz)$
静坐前	-0.71	3.925
静坐后	-3.3	0.92
按摩前	-5.75	2.825
按摩后	-3.42	3.98

静坐恢复前后 SPU 的 RMS 前后 20s 变化趋势,与按摩恢复前后 SPU 的 RMS 前后 20s 变化趋势,如图 4 与图 5 所示(以被试者 1 为例)。图 4、图 5 的两条曲线分别为左右两侧竖脊肌的 RMS,数据分析时取二者的均值。通过分析 RMS 时程图可见,SPU 后的 RMS 呈现增大趋势,详见表 1 的 ΔRMS 。由图 4 与图 5 可见,静坐恢复前后的 SPU 总时间约为 90s,而通过按摩椅拍打按摩后,SPU 的总时间长度达到了 140s,超过了之前所有 SPU 的时间。虽然被试者 2 也存在这一现象,但由于被试者数量较少,且个人身体素质存在差异,SPU 的 T 可作为判断按摩绩效的一个参考因素。

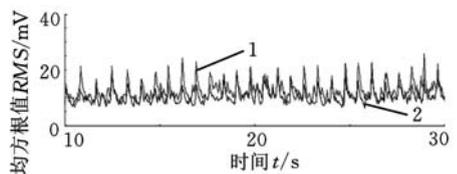
根据人机评价模型,计算 2 名被试者在静坐恢复与按摩椅上拍打按摩恢复后的 $\Delta(\Delta RMS)$,对按摩绩效进行定量分析,如表 2 所示。



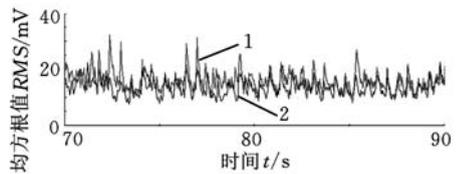
(a)SPU 前 20s 的 RMS(恢复前)



(b)SPU 后 20s 的 RMS(恢复前)



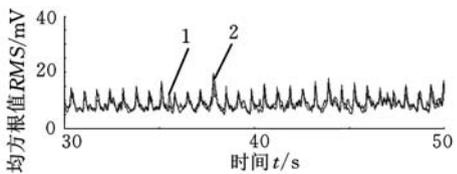
(c)SPU 前 20s 的 RMS(恢复后)



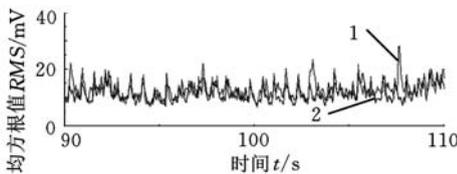
(d)SPU 后 20s 的 RMS(恢复后)

1. 左侧竖脊肌 2. 右侧竖脊肌

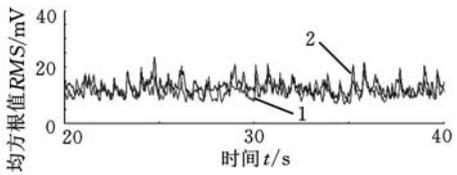
图4 静坐恢复 SPU 的 RMS 时程图



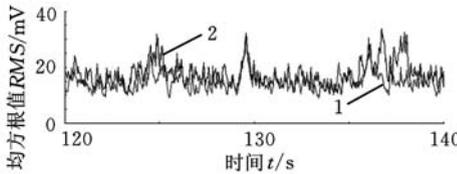
(a)SPU 前 20s 的 RMS(恢复前)



(b)SPU 后 20s 的 RMS(恢复前)



(c)SPU 前 20s 的 RMS(恢复后)



(d)SPU 后 20s 的 RMS(恢复后)

1. 左侧竖脊肌 2. 右侧竖脊肌

图5 按摩恢复 SPU 的 RMS 时程图

表 2 静坐恢复与按摩椅恢复的 $\Delta(\Delta RMS)$ mV

	被试者 1	被试者 2
静坐恢复	1.735	2.2590
按摩椅恢复	-0.890	-2.330

两名被试者静坐恢复状态的 $\Delta(\Delta RMS)$ 均为正值,而按摩椅恢复状态的 $\Delta(\Delta RMS)$ 均为负值。也就是说,通过静坐恢复,被试者再次 SPU 的疲劳程度大于初次 SPU 的疲劳程度,他们再次 SPU 时的疲劳未得到缓解而显得更加疲劳;通过按摩椅的拍打按摩恢复后,被试者在初次 SPU 后的疲劳得到了一定的缓解,在再次 SPU 时的抗疲劳能力甚至超过了初次 SPU 时的抗疲劳能力。对 $\Delta(\Delta RMS)$ 指标进行比较分析后发现,采用按摩椅拍打按摩对 SPU 后竖脊肌的疲劳缓解能力高于静坐恢复,实验证明了按摩椅的按摩绩效。

4 结语

本文基于表面肌电信号指标,提出了按摩椅按摩绩效的人机评价模型。作为按摩椅舒适性的前导研究,小样本实验证明了按摩椅局部拍打按摩对缓解竖脊肌疲劳的绩效,验证了模型的可行性与实验方法的适用性。后续研究将选择多块肌肉进行大样本多通道肌电信号采集,通过比较多种机械按摩手法的绩效,对按摩椅进行多因素综合人机评价。

参考文献:

- [1] Field T. Massage Therapy[J]. The Medical Clinics of North America,2002,86(1):163-171.
- [2] Deborah E,Dietlind W R, Anita N, et al. The Effect of Chair Massage on Muscular Discomfort in Cardiac Sonographers: a Pilot Study[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine,2010,10(1):50.
- [3] Black S, Jacques K, Webber A, et al. Chair Massage for Treating Anxiety in Patients Withdrawing from Psychoactive Drugs[J]. The Journal of Alternative and Complementary Medicine,2010,12(9):979-987.
- [4] Buck F A, Kuruganti U, Albert W J, et al. Muscular and Postural Demands of Using a Massage Chair and Massage Table[J]. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics,2007,30(5):357-364.
- [5] Zullino D F, Krenz S, Frésard E, et al. Local Back Massage with an Automated Massage Chair: General Muscle and Psychophysiological Relaxing Properties[J]. The Journal of Alternative and Complementary Medicine,2005,11(6):1103-1106.
- [6] 尹小琴,许永根,马履中,等. 中医推拿机器人末端执行器结构优选与运动学分析[J]. 中国机械工程,2010,21(24):2899-2903.

2010,21(24):2899-2903.

- [7] Kolich M, Taboun S M, Mohamed A I. Electromyographic Comparison of Two Lumbar Support Mechanisms Intended for Automotive Seating Applications[J]. Journal of Automobile Engineering,2001,215(7):771-777.
- [8] Cifrek M, Medved V, Tonkovic S, et al. Surface EMG Based Muscle Fatigue Evaluation in Biomechanics[J]. Clinical Biomechanics,2009,24(4):327-340.
- [9] 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.
- [10] 王建. sEMG 信号分析及其应用研究进展[J]. 体育科学,2000,20(4):56-60.
- [11] Hagg G M. Interpretation of EMG Spectral Alterations and Alternation Indexes at Sustained Contraction[J]. Journal of Applied Physiology,1992,73(4):1211-1217.
- [12] 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.
- [13] Kolich M, Taboun S M. Combining Psychophysical Measures of Discomfort and Electromyography for the Evaluation of a New Automotive Seating Concept[J]. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics,2002,8(4):483-496.
- [14] Whitham E M, Pope K J, Fitzgibbon S P, et al. Scalp Electrical Recording during Paralysis: Quantitative Evidence that EEG Frequencies above 20Hz Are Contaminated by EMG [J]. Clinical Neurophysiology,2007,118(8):1877-1888.
- [15] Castellini C, van der Smagt P. Surface EMG in Advanced Hand Prosthetics[J]. Biological Cybernetics,2009,100(1):35-47.
- [16] Howarth S J, Beach T A C, Callaghan J P. Abdominal Muscles Dominate Contributions to Vertebral Joint Stiffness during the Push-up[J]. Applied Biomechanics,2008,24(2):130-139.
- [17] 体育院、系教材编审委员会《运动生理学》编写组. 运动生理学[M]. 北京:人民体育出版社,1983.
- [18] Luttmann A, Jäger M, Laurig W. Electromyographical Indication of Muscular Fatigue in Occupational Field Studies[J]. International Journal of Industrial Ergonomics,2000,25(6):645-660.

(编辑 张 洋)

作者简介:杨钟亮,男,1982年生。浙江大学现代工业设计研究所博士研究生。主要研究方向为应用人机工程与设计。发表论文7篇。孙争迁,男,1963年生。浙江大学现代工业设计研究所教授、博士研究生导师。陈育苗,女,1988年生。浙江大学现代工业设计研究所硕士研究生。