

基于 TENS 低频电脉冲的女性疲劳缓解压力袜研制

吴海燕, 李艳梅*

(上海工程技术大学 纺织服装学院, 上海 201620)

摘要: 现有缓解肌肉疲劳的治疗方式存在时间限制性或对医生及医学知识具有较大依赖性, 无法满足现代人对肌肉疲劳缓解便利性的需求。基于经皮神经电刺激(TENS)治疗机制, 研制 TENS 低频电脉冲女性疲劳缓解运动压力袜; 设计客观肌电测试和主观评价相结合的评价方法, 并验证其疲劳缓解作用。结果表明, 该压力袜可以有效地缓解肌肉疲劳, 在导电面积为 90 cm^2 、横向导电区域位置和 44.4 tex 导电纱线细度时, TENS 脉冲压力袜疲劳缓解性能达到最佳, 且导电区域面积和导电纱线细度对压力袜疲劳缓解性能影响较大。

关键词: 肌肉疲劳; 经皮神经电刺激; 导电纤维; 肌电测试; 压力袜

中图分类号: TS 186.3; R 454.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2021)05-0463-08

Development of Female Fatigue Relief Compression Stockings Based on TENS Low-Frequency Electric Pulse

WU Haiyan, LI Yanmei*

(School of Textiles and Fashion, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: The existing treatment methods for relieving muscle fatigue are time-limited or dependent on doctors and medical knowledge, which cannot meet the needs of modern people for the convenience of muscle fatigue relief. For this reason, based on transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) treatment mechanism, the TENS low-frequency electrical pulse female fatigue relief sports compression stockings was developed, and an evaluation method was designed by combining objective myoelectric test and subjective evaluation, and its fatigue relief effect was verified. The results showed that the compression stockings can effectively relieve muscle fatigue. When the conductive area is 90 cm^2 under the position of the lateral conductive area and the fineness of 44.4 tex conductive yarn, the TENS pulse compression stockings show the best fatigue relief performance, and the area of the conductive area and the fineness of the conductive yarn have a great impact on the fatigue relief performance of compression stockings.

Key words: muscle fatigue, TENS, conductive fiber, EMG, compression stockings

随着全民健身的普及, 越来越多的普通民众加入运动健身的行列, 使得肌肉疲劳现象变得更加普遍; 同时, 在部分体力消耗较大的行业(如建筑、物流、海关等), 长时间超负荷的工作导致人体肌肉疲劳, 因而缓解肌肉疲劳受到更广泛的关注。

目前, 缓解肌肉疲劳主要通过药物治疗和物理治疗。服用消炎药和营养补剂是药物治疗常用的

两种方式, 服用消炎药可以减轻肌肉酸痛疲劳的症状; 服用蛋白类的营养补剂则能维持肌肉结构, 减轻肌肉酸痛的症状, 促进身体机能恢复。物理治疗主要包括冷疗法、热疗法、神经电刺激疗法、电磁场疗法、按摩推拿、针灸等^[1]。虽然缓解肌肉疲劳的方法较多, 但是以上方法均存在时间限制性或对医生及医学知识具有较大依赖性, 使得人们对于缓解

收稿日期: 2021-02-08; 修订日期: 2021-05-16。

基金项目: 国家自然科学基金项目(11802171)。

作者简介: 吴海燕(1996—), 女, 硕士研究生。

* 通信作者: 李艳梅(1974—), 女, 教授, 硕士生导师。主要研究方向为服装材料、高性能服装及数字化服装技术。

Email: lym0350@126.com

肌肉疲劳的便利性提出更加迫切的需求。

经皮神经电刺激(transcutaneous electrical nerve stimulation,简称 TENS)是一种非药物无创止痛法,主要是通过皮肤将特定的低频脉冲电流输入人体来治疗疼痛、促进局部血液循环,从而达到缓解疲劳的目的^[2]。目前,大量研究数据表明 TENS 在慢性背痛^[3]、骨关节神经肌肉疾病^[4-5]、分娩镇痛^[6]、肌肉痉挛^[7]等临床治疗中已取得较好的疗效。因此,文中基于经皮神经电刺激(TENS)治疗机制,研制 TENS 低频电脉冲女性疲劳缓解运动压力袜,以解决人们对肌肉疲劳缓解便利性的需求;并通过主客观相结合的评价方法,验证压力袜疲劳缓解作用;探究导电纱线细度、导电区域面积及导电区域位置对疲劳缓解性能的影响。

1 压力袜设计

1.1 面料的选择

选用两种细度(22.2,44.4 tex)镀银导电纱线作为压力袜导电区域的编织材料,面纱和底纱使用 8.3 tex 涤纶,衬垫纱使用 15.5 tex 橡筋,运动压力袜各步段原料及组织结构见表 1。

表 1 运动压力袜各步段原料及组织结构

Tab.1 Raw materials and organizational structure of each step of sports compression stockings

| 步 段 | 纱 线 | 组织结构 |
|-----------|---|------------|
| 袜口 | 8.3 tex 涤纶(2 根), 15.5 tex 橡筋 | 罗纹组织 |
| 袜筒(非导电区域) | 8.3 tex 涤纶(2 根), 15.5 tex 橡筋 | 衬垫平针组织 |
| 袜筒(导电区域) | 8.3 tex 涤纶(2 根), 15.5 tex 橡筋, 22.2,44.4 tex 银导电纱线 | 1×4 衬垫浮线组织 |

1.2 压力袜结构设计

腓肠肌、比目鱼肌和跖肌组成人体小腿三头肌,在人类直立、行走及跑步方面发挥着巨大作用。通常,人体发生腿部肌肉疲劳时,其发生部位多在腓肠肌及比目鱼肌处,具体如图 1 所示。



图 1 腿部腓肠肌肌肉位置

Fig.1 Position of the gastrocnemius muscle of the leg

为了缓解小腿处的肌肉疲劳,在压力袜对应的腓肠肌内外侧增加了导电区域设计,以实现 TENS 电脉冲传导至肌肉,具体设计如图 2 所示。

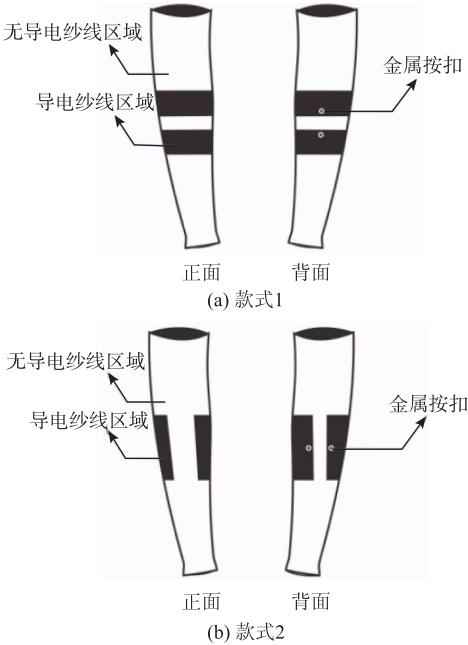


图 2 压力袜款式设计

Fig.2 Pressure socks style design drawing

2 实验设计

2.1 影响因素的确定

由于不同的导电区域面积、导电区域位置及导电纱线细度对织物的导电性能有着不同的影响^[8],因此将导电区域面积、导电区域位置和导电纱线细度作为 3 个影响因素,进行正交实验设计。导电区域面积取市售凝胶按摩贴的大小,即选取 60 cm² 和 90 cm² 两个水平,分别标记为 A₁,A₂;导电区域位置选取横向和纵向两个水平,分别标记为 B₁,B₂;导电纱线细度选取 22.2 tex 和 44.4 tex 两个水平,分别标记为 C₁,C₂,使用 Minitab 软件进行了三因素二水平正交实验,具体见表 2。为了探究导电区域面积、导电区域位置及导电纱线细度对产品导电性能影响,分别编织 4 双含有导电区域和不含导电区域的压力袜,进行对照实验。

表 2 三因素二水平正交实验

Tab.2 Three-factor two-level orthogonal test table

| 水 平 | 因 素 | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 导电区域 | 导电区域 | 导电纱线 |
| | 面积 | 位置 | 细度 |
| 1 [#] | A ₁ | B ₁ | C ₁ |
| 2 [#] | A ₁ | B ₂ | C ₂ |
| 3 [#] | A ₂ | B ₁ | C ₂ |
| 4 [#] | A ₂ | B ₂ | C ₁ |

2.2 实验测试点的选取

考虑实验的可操作性,选择小腿部肌肉较大的腓肠肌内外侧作为实验测试点,寻找待测肌肉的位置并做好标记,具体参考位点见表 3。

表 3 表面肌电电极安放参考位点

Tab.3 Reference sites for placement of surface EMG electrodes

| 被测肌肉点 | 表面电极安放参考点 |
|---------|-------------------|
| 腓肠肌内侧 A | 小腿内肌肉最突出的地方 |
| 腓肠肌外侧 B | 腓骨头部和脚跟之间连线 1/3 处 |

2.3 疲劳诱导实验方案

以 Bruce 平板运动实验方案为依据进行疲劳诱导实验。具体方案见表 4。通过表面肌电信号^[9]和主观体力感觉等级量表(RPE)^[10]检验受试者是否真正达到疲劳状态,若未达到疲劳状态则重新开始实验。

表 4 疲劳诱导实验方案

Tab.4 Experimental scheme of fatigue induction

| 级 别 | 速度/ (km/h) | 坡度/ (°) | 持续时间/ min |
|-----|---------------|------------|--------------|
| 0 | 2.7 | 2 | 1 |
| 1 | 3.5 | 5 | 2 |
| 2 | 4.5 | 8 | 4 |
| 3 | 5.0 | 10 | 8 |

3 运动实验

3.1 实验对象

从在校大学生中挑选 10 名年龄在 21 ~ 26 岁、身高 158 ~ 165 cm、体质量 47 ~ 55 kg 的年轻健康女

性作为测试对象。所有测试对象均要求无心血管疾病或代谢系统、神经系统障碍,未受过专业跑步训练且在实验一周内未进行跑步运动。

3.2 仪器

Delsys Trigno Mobile 无线表面肌电测试仪,美国 Delsys 公司制造;运动型跑台,德国 h/p/cosmos 公司制造。

3.3 实验方法

每组实验分为 6 个阶段,其中: T_1 为疲劳诱导运动阶段; $T_2 \sim T_6$ 分别为运动结束、休息 15, 30, 45 和 60 min 的时间点,具体如图 3 所示。被试对象还要对疲劳诱导阶段的疲劳程度进行主观评价打分,评价标准见表 5。

3.3.1 疲劳诱导实验 实验开始前 1 h 打开恒温恒湿气候仓,设置温度为 25 ℃,湿度 60%, 30 min 后实验环境趋于稳定,让被测对象进入气候仓静坐 30 min,待其状态稳定后开始实验。首先在被测对象腿部内外腓肠肌处分别粘贴上 Delsys 无线表面肌电系统的传感器块,然后按照导电区域面积由小到大的顺序,依次穿上压力袜进行肌电测试,疲劳诱导实验运动时长为 15 min。被测实验对象的左腿穿着含有导电区域的压力袜,右腿穿着不含导电区域的压力袜,且两腿均不接入脉冲装置,具体如图 4 所示。将疲劳诱导实验分为 6 个时间段,每个时间段间隔 2.5 min。

3.3.2 疲劳恢复实验 被测对象在运动结束进入休息阶段时,左腿接入脉冲装置进行第 1 次按摩休息,右腿正常坐立休息,15 min 后,左腿去除脉冲装置,左右腿进行同等高度的原地踏步 30 s,每 5 s 为一个间隔,分 6 个阶段记录两条腿的肌电数据。以上实验步骤重复 4 次,分别记录被测对象在休息状态下接受低频脉冲按摩 15, 30, 45 和 60 min 后的肌电数据。

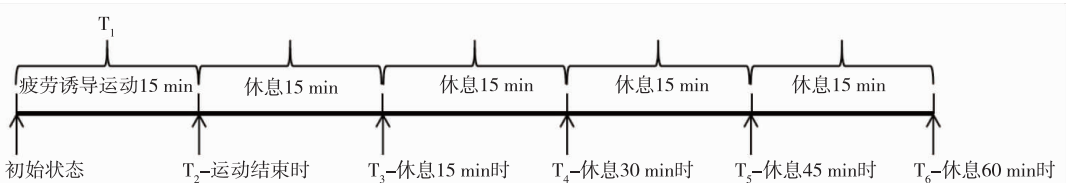


图 3 运动阶段和休息阶段
Fig.3 Exercise phase and rest phase

表 5 疲劳程度主观评价

Tab.5 Subjective evaluation table of fatigue degree

| 主观疲劳感 | 很不疲劳 | 较不疲劳 | 一 般 | 较疲劳 | 很疲劳 |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 等 级 | 1 ~ 2 | 3 ~ 4 | 5 ~ 6 | 7 ~ 8 | 9 ~ 10 |

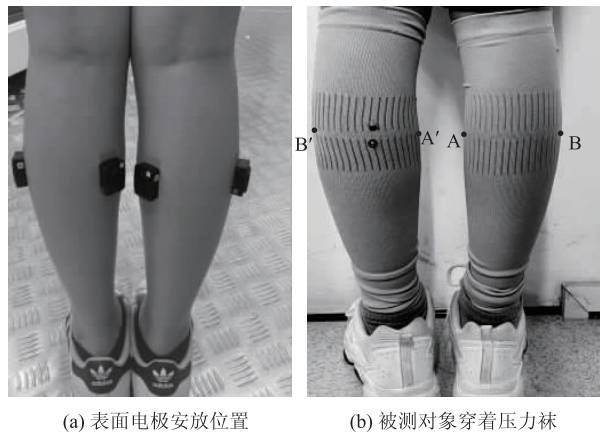


图 4 表面肌电电极安放位置及压力袜穿着实验
Fig. 4 Placement of surface EMG electrodes and the test diagram of wearing compression stockings

4 结果与分析

4.1 TENS 对肌肉疲劳缓解的肌电结果分析

图 5 为被测对象穿着导电面积为 60 cm^2 、横向导电区域、导电纱线细度为 22.2 tex 的压力袜在疲劳诱导阶段测试点 RMS 值的折线分布。由图 5 可以看出,在疲劳诱导过程中各测试点的 RMS 值都有大幅提升,与主观评价结果一致,表明疲劳诱导实验成功。在 12.5 min 时两测试点的实验组和对照组均出现了峰值,说明此时被测对象已达到了自身肌肉疲劳状态。

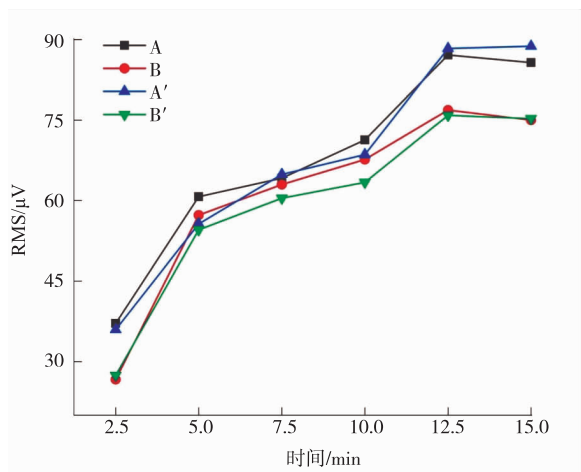


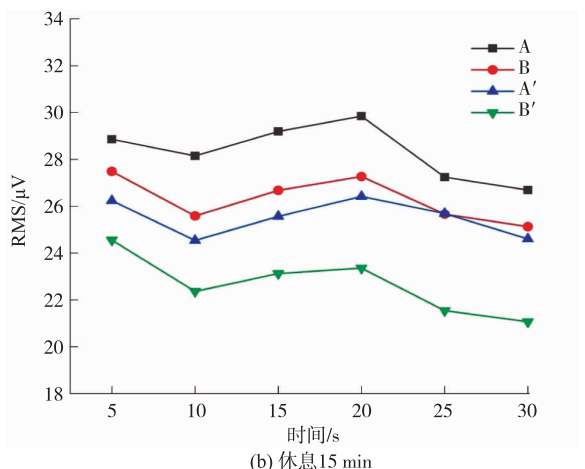
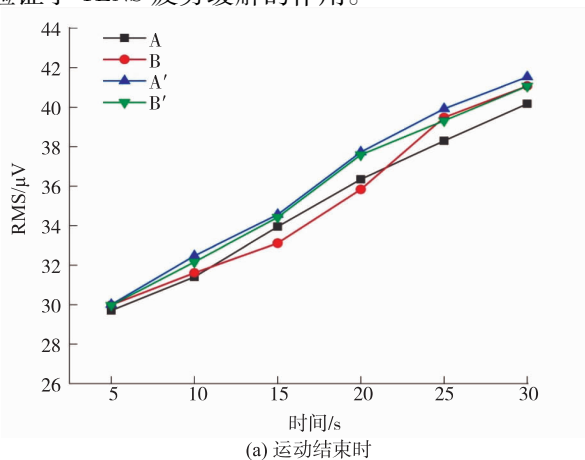
图 5 疲劳诱导阶段各测试点的 RMS 值
Fig. 5 RMS value of each test point in fatigue induction stage

图 6 为被测对象穿着导电面积为 60 cm^2 、横向导电区域、导电纱线细度为 22.2 tex 的压力袜在疲劳恢复阶段各测试点 RMS 值的折线分布。

由图 6(a)可以看出,在运动结束时,各测试点的 RMS 值呈现上升趋势,表明小腿肌肉疲劳程度在不断提升,且两条腿的 RMS 值无明显差异。

由图 6(b)可以看出,经过 15 min 的低频脉冲疲劳缓解后, $\text{RMS}_{A'}$, $\text{RMS}_{B'}$ 值分别低于 RMS_A 和 RMS_B 值,表明经过 15 min 的低频脉冲疲劳缓解后,两条腿的肌肉疲劳缓解程度出现差异且接入脉冲装置的肌肉疲劳程度开始低于正常坐立休息状态下的肌肉疲劳程度。由图 6(c)可以看出,在原地踏步 5 s 时, RMS_A 和 RMS_B 值高于正常坐立休息 15 min 时的 RMS 值,表明在运动结束后肌肉疲劳恢复不是即刻的,而是呈现先上升再下降的趋势。图 6(d)为运动结束休息 45 min 后各测试点 RMS 值的变化趋势。由图 6(d)可知,各测试点的 RMS 值相较于运动结束时均呈现大幅下降趋势,表明肌肉疲劳程度在逐渐恢复,此时 $\text{RMS}_{A'}$ 和 $\text{RMS}_{B'}$ 已逐渐趋近于初始状态,表明添加 TENS 低频电脉冲的运动压力袜相较于普通压力袜具有提升肌肉疲劳恢复速度的作用。由图 6(e)可以看出,在运动结束休息 60 min 后 RMS_A 和 RMS_B 开始趋近于初始状态,表明随着休息时间的增长,机体的自我调节能力已能促使肌肉恢复至初始未运动状态。

综上所述,在穿着导电面积为 60 cm^2 、横向导电区域、导电纱线细度为 22.2 tex 的压力袜在接入低频电脉冲后,其具有加快肌肉疲劳恢复的作用,验证了 TENS 疲劳缓解的作用。



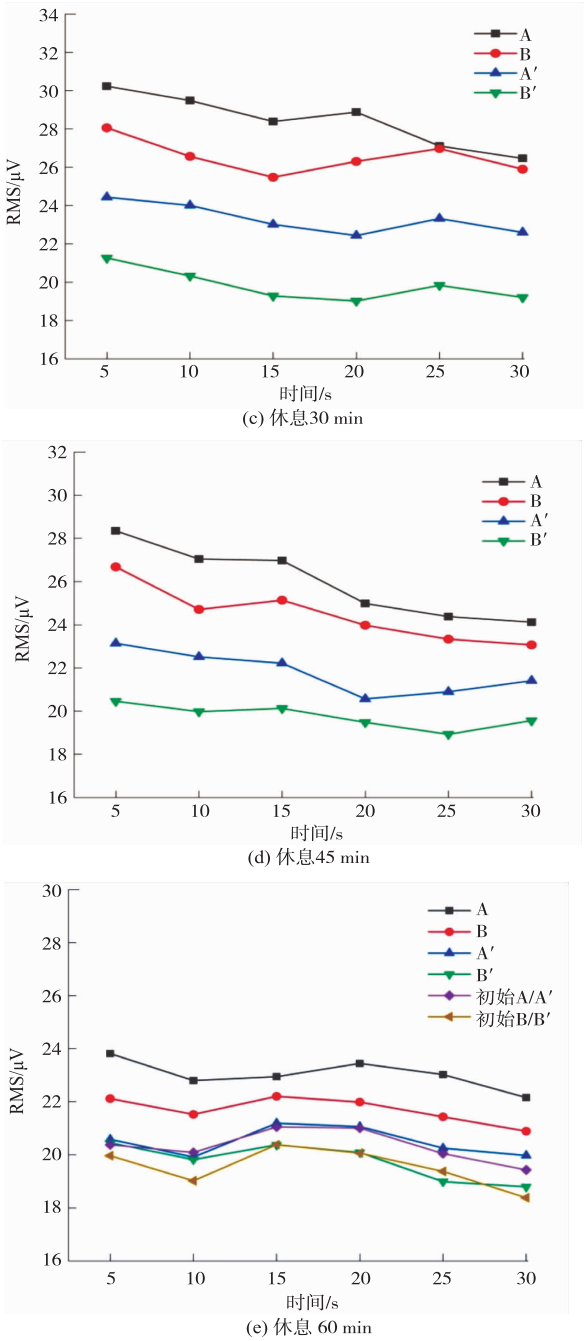


图 6 疲劳恢复阶段各测试点的 RMS 值

Fig. 6 RMS value of each test point in fatigue recovery stage

表 7 A 点与 A'点差值的正态性检验

Tab. 7 Normality test of the difference between point A and point A'

| 压力袜 编号 | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|----------------|---------------------------------|----|----------|--------------|----|--------|
| | 统计量 | df | Sig. | 统计量 | df | Sig. |
| 1 [#] | 0. 202 | 5 | 0. 200 * | 0. 979 | 5 | 0. 930 |
| 2 [#] | 0. 272 | 5 | 0. 200 * | 0. 915 | 5 | 0. 500 |
| 3 [#] | 0. 269 | 5 | 0. 200 * | 0. 909 | 5 | 0. 462 |
| 4 [#] | 0. 338 | 5 | 0. 064 | 0. 813 | 5 | 0. 103 |

注: * 表示显著相关。

4.2 表面肌电 RMS 与肌肉疲劳相关性分析

文中选取表面肌电的时域指标均方根振幅 (RMS)作为评价产品疲劳缓解性能的研究指标,采用 Microsoft Excel 和 SPSS17.0 统计软件,对两个测试部位的 4 个点位在不同导电区域下,RMS 值和主观评价得分进行相关性分析,具体见表 6。由表 6 可以看出,当被测对象穿着不同压力袜时,4 个测试部位的 RMS 值均与主观评价得分呈显著正相关,说明表面肌电 RMS 值可以较好地反映被测对象在跑步过程中肌肉疲劳程度,且疲劳诱导实验成功,被测对象达到自身最大疲劳状态。

表 6 不同导电区域位置下主观疲劳评价与各测试点 RMS 值的相关性分析

Tab. 6 Correlation analysis of subjective fatigue evaluation and RMS value of each test point under different conductive area positions

| 压力袜编号 | RMS _A | RMS _B | RMS _{A'} | RMS _{B'} |
|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1 [#] | 0. 952 ** | 0. 910 * | 0. 973 ** | 0. 949 ** |
| 2 [#] | 0. 986 ** | 0. 981 ** | 0. 996 ** | 0. 948 ** |
| 3 [#] | 0. 970 ** | 0. 973 ** | 0. 967 ** | 0. 978 ** |
| 4 [#] | 0. 988 ** | 0. 951 ** | 0. 984 ** | 0. 980 ** |

注: * 表示显著相关; * * 表示极度显著相关。

4.3 不同 TENS 压力袜对肌肉疲劳缓解的影响

在筛查、剔除错误实验数据后,先对 10 名被测对象穿着 4 双不同 TENS 压力袜在运动结束时和 4 个休息阶段 A 点与 A'点的 RMS 差值(df = 5 个阶段),B 点与 B'点的 RMS 差值进行正态分布检验,具体见表 7 和表 8。在 Shapiro-Wilk 检验中,4 双压力袜的 $P \geq 0.05$,说明数据符合正态分布,故可进行配对 t 检验。

对 A 点与 A'点、B 点与 B'点的 RMS 值进行配对 t 检验,结果分别见表 9 和表 10。由表 9 和表 10 可以看出,4 双压力袜的 $P < 0.05$,说明该 4 双压力袜 A 点与 A'点、B 点与 B'点的 RMS 值的总体平均数间具有显著性差异,即表明实验组与对照组在 A 点和 B 点的 RMS 值具有显著性差异。

表 8 B 点与 B'点差值的正态性检验

Tab. 8 Normality test of the difference between point B and point B'

| 压力袜 编号 | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|----------------|---------------------------------|----|--------------------|--------------|----|-------|
| | 统计量 | df | Sig. | 统计量 | df | Sig. |
| 1 [#] | 0.294 | 5 | 0.200 [*] | 0.787 | 5 | 0.113 |
| 2 [#] | 0.272 | 5 | 0.200 [*] | 0.832 | 5 | 0.145 |
| 3 [#] | 0.300 | 5 | 0.200 [*] | 0.822 | 5 | 0.122 |
| 4 [#] | 0.314 | 5 | 0.117 | 0.776 | 5 | 0.103 |

注：* 表示显著相关。

表 9 A 点与 A'点平均值的配对 t 检验结果

Tab. 9 Paired t-test results of the average of point A and point A'

| 压力袜编号 | $\bar{X} \pm S$ | <i>t</i> | <i>P</i> |
|----------------|---|----------|----------|
| 1 [#] | $1.72 \times 10^{-6} \pm 3.50 \times 10^{-7}$ | 4.917 | 0.008 |
| 2 [#] | $2.30 \times 10^{-6} \pm 7.16 \times 10^{-7}$ | 3.212 | 0.033 |
| 3 [#] | $3.91 \times 10^{-6} \pm 1.19 \times 10^{-7}$ | 3.297 | 0.030 |
| 4 [#] | $3.11 \times 10^{-6} \pm 1.01 \times 10^{-7}$ | 3.082 | 0.037 |

表 10 B 点与 B'点平均值的配对 t 检验结果

Tab. 10 Paired t-test results of the average of point B and point B'

| 压力袜编号 | $\bar{X} \pm S$ | <i>t</i> | <i>P</i> |
|----------------|---|----------|----------|
| 1 [#] | $1.30 \times 10^{-6} \pm 2.90 \times 10^{-7}$ | 4.489 | 0.011 |
| 2 [#] | $1.66 \times 10^{-6} \pm 5.92 \times 10^{-7}$ | 2.807 | 0.048 |
| 3 [#] | $4.31 \times 10^{-6} \pm 1.27 \times 10^{-7}$ | 3.434 | 0.026 |
| 4 [#] | $3.03 \times 10^{-6} \pm 6.57 \times 10^{-7}$ | 4.608 | 0.010 |

表 9、表 10 的配对 *t* 检验结果表明,实验组与对照组在 A 点和 A'点、B 点和 B'点的 RMS 值具有显著性差异,故可通过折线图的形式进行更直观的分析。

对在运动和休息状态下所测各测试点的肌电均方根振幅值(RMS)分段求平均值,具体如图 7 所示。由图 7 可以看出,在休息结束时,各测试点的 RMS 值达到最高点,表明在实验结束时被测对象的肌肉疲劳程度最大。

分别对比图 7(a)和图 7(b)、图 7(c)和图 7(d)可以看出,在休息阶段,RMS_{A'}均低于 RMS_A,RMS_{B'}均低于 RMS_B。主要原因可能是在 TENS 低频脉冲的作用下,人体的血液流动加快,使得肌肉的疲劳恢复速度提升。

RMS 值越大,肌肉疲劳程度越高。比较图 7(b)和图 7(d)可以看出,3[#]TENS 脉冲压力袜的疲劳缓解性能最佳,其原因是 3[#]压力袜的导电纱线较粗且导电区域的面积更大,使得压力袜的导电性能更优,故压力袜在接入低频脉冲后的疲劳缓解性能更优。1[#]TENS 脉冲压力袜较其他 3 双 TENS 脉冲压力袜,其疲劳缓解性能较差,但是仍优于对照组,原因是其导电区域面积最小且导电纱线细度较细,故其导电性能较差。

以未进行运动前的 RMS 值作为基线,比较图 7(b)和图 7(c)可知,穿着 3[#]TENS 压力袜,在休息

30 min后其 RMS 值均恢复至运动初始前;穿着 4[#]TENS 压力袜在休息 45 min 后 RMS 值恢复至为运动初始前;穿着 2[#]TENS 压力袜在 60 min 后其 RMS 值逐渐恢复至为运动初始前。4 双压力袜疲劳恢复时长排序依次为 3[#] < 4[#] < 2[#] < 1[#],实验组的疲劳恢复时长均小于对照组的,说明 TENS 低频脉冲压力袜能够加快疲劳的恢复速度,且面积越大,纱线越粗,疲劳缓解性能越好。究其原因,导电纱线面积越大,与皮肤表面的接触面积越大,这与 TENS 依靠皮肤传导脉冲电流缓解疲劳的作用机制相吻合,即导电区域面积越大,将接入的低频脉冲传导至人体内的脉冲电流越大,故其疲劳缓解性能更好。此外,导电纱线越粗,其导电性能越强,因此导电纱线与压力袜疲劳缓解性能成正比。

利用 Minilab 软件对三因素二水平的正交实验进行因素影响程度分析,表 11 和表 12 列出休息 30 min时 A',B'点的 RMS 值极差分析(其他休息阶段的极差分析结果相同,故不一一列出)。由表 11 和表 12 可以看出,在 A,B,C 3 个因素中,对 TENS 低频脉冲压力袜疲劳缓解性能影响程度依次为 A > C > B,RMS 值越小,表明肌肉疲劳程度越低,因此最优水平为 A₂C₂B₁,即在导电面积为 90 cm²、44.4 tex 导电纱线细度和横向导电区域分布时,TENS 脉冲压力袜疲劳缓解性能达到最佳。

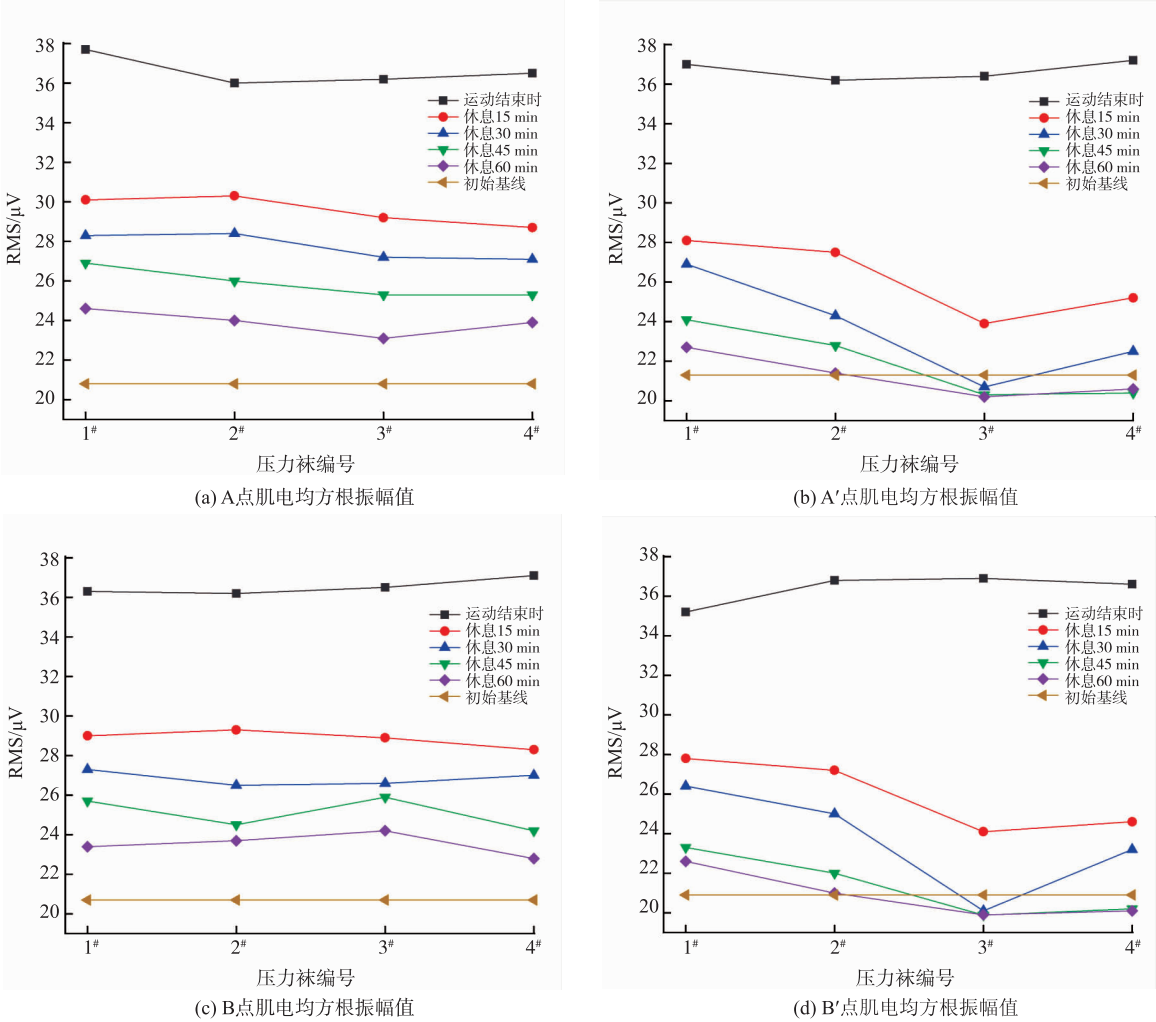


图 7 不同 TENS 压力袜的肌电均方根振幅值

Fig. 7 EMG root mean square amplitude values of different TENS compression stockings

表 11 在休息 30 min 时 A'点 RMS 值的极差分析

Tab. 11 Range analysis at A' at 30 minutes of rest

| 水平 | A(导电 区域面积) | B(导电 区域分布) | C(导电 纱线细度) |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 2.6×10^{-5} | 2.4×10^{-5} | 2.5×10^{-5} |
| 2 | 2.2×10^{-5} | 2.4×10^{-5} | 2.2×10^{-5} |
| Delta | 4.0×10^{-6} | 0 | 2.0×10^{-6} |
| 排秩 | 1 | 3 | 2 |

表 12 休息 30 min 时 B'点 RMS 值的极差分析

Tab. 12 Range analysis at B' at 30 minutes of rest

| 水平 | A(导电 区域面积) | B(导电 区域分布) | C(导电 纱线细度) |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 2.6×10^{-5} | 2.3×10^{-5} | 2.5×10^{-5} |
| 2 | 2.2×10^{-5} | 2.4×10^{-5} | 2.3×10^{-5} |
| Delta | 4.0×10^{-6} | 1.0×10^{-6} | 2.0×10^{-6} |
| 排秩 | 1 | 3 | 2 |

5 结 语

TENS 低频电脉冲压力袜对小腿部位的疲劳缓

解会产生显著性影响,并且可通过肌电信号反映。

1) 表面肌电时域指标 RMS 值可作为客观指标对人体肌肉疲劳状态进行评价。

2) TENS 低频电脉冲压力袜对于肌肉疲劳会产生显著性影响,具有缓解肌肉疲劳的作用。

3) 不同导电区域分布、导电区域面积和导电纱线细度的压力袜对于肌肉疲劳缓解影响各异。其中:导电区域面积对于压力袜疲劳缓解性能影响最大;其次是导电纱线细度;导电区域分布相较于其他两因素对压力袜疲劳缓解性能的影响较小。3# TENS 脉冲压力袜(导电面积为 90 cm²、横向导电区域分布和 44.4 tex 导电纱线细度)缓解肌肉疲劳的效果最佳。

参考文献:

[1] 王瑶, 甄希成. 表面肌电技术在运动性肌肉疲劳中的应用[J]. 药物与人, 2014, 27(8): 41.
WANG Yao, ZHEN Xicheng. Application of surface electromyography technology in exercise-induced muscle

- fatigue[J]. *Medicine and People*, 2014, 27(8): 41. (in Chinese)
- [2] 陈思颖. 低强度超声波与电磁场对改善运动后延迟性肌肉酸痛的作用研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2016.
- [3] GADSBY. The effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation and acupuncture-like transcutaneous electrical nerve stimulation in the treatment of patients with chronic low back pain[J]. *Anesth Analg*, 1997, 87: 1129-1134.
- [4] MEYLER W J, DE JONGSTE M J, ROLF C A. Clinical evaluation of pain treatment with electrostimulation: a study on TENS in patients with different pain syndromes[J]. *The Clinical Journal of Pain*, 1994, 10(1): 22-27.
- [5] 张力. 经皮电刺激治疗外伤性外周神经损伤 40 例的效果分析[J]. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 2012, 21(2): 157-161.
- ZHANG Li. Analysis of the results of percutaneous electrostimulation in 40 cases of traumatic peripheral nerve injury treated[J]. *Chinese Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 2012, 21(2): 157-161. (in Chinese)
- [6] 肖欢, 汪建胜, 孔建强, 等. 经皮神经电刺激联合硬膜外分娩镇痛的临床研究[J]. *临床麻醉学杂志*, 2014, 30(8): 745-747.
- XIAO Huan, WANG Jiansheng, KONG Jianqiang, et al. Clinical study on transcutaneous electric nerve stimulation combined with epidural analgesia for painless labor[J]. *Journal of Clinical Anesthesiology*, 2014, 30(8): 745-747. (in Chinese)
- [7] 全鼎. 冲击波联合经皮神经电刺激治疗脑卒中后小腿三头肌痉挛的疗效观察[D]. 锦州: 锦州医科大学, 2018.
- [8] ZHANG J F, SUN D B. Surface EMG observation and isokinetic test on pressing-kneading manipulations for exercise fatigue of anterior tibial muscle[J]. *Journal of Acupuncture and Tuina Science*, 2011, 9(1): 62-66.
- [9] WASLICK B D, WALSH B T, GREENHILL L L, et al. Cardiovascular effects of desipramine in children and adults during exercise testing[J]. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 1999, 38(2): 179-186.
- [10] BORG G A. Psychophysical bases of perceived exertion[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1982, 14(5): 377-381. (责任编辑: 邢宝妹)

(上接第 462 页)

- ZHANG Qingshan, LI Ling. Performance evaluation of electric heating in an electrically heated down garment[J]. *China Fiber Inspection*, 2019(9): 100-102. (in Chinese)
- [10] 唐世君, 郭诗珖. 电加热服装的研制[J]. *中国个体防护装备*, 2013, 6(6): 5-8.
- TANG Shijun, GUO Shiyao. Development of electric heating clothing[J]. *China Personal Protective Equipment*, 2013, 6(6): 5-8. (in Chinese)
- [11] 张雪青, 余弘, 张岳兰, 等. 电加热服装的研究进展[J]. *纺织检测与标准*, 2019(1): 1-4.
- ZHANG Xueqing, YU Hong, ZHANG Yuelan, et al. Research on the development of electrically-heated garment[J]. *Textile Testing and Standards*, 2019(1): 1-4. (in Chinese)
- [12] 李萍, 蒋晓文. 智能电加热服的研究进展[J]. *棉纺织技术*, 2019, 47(9): 79-84.
- LI Ping, JIANG Xiaowen. Research progress of intelligent electric heating clothing[J]. *Cotton Textile Technology*, 2019, 47(9): 79-84. (in Chinese)
- [13] 柯莹, 张向辉. 电加热服结构及其性能评价方法[J]. *纺织导报*, 2016(11): 122-123.
- KE Ying, ZHANG Xianghui. Methods for evaluating the structure and properties of electrically-heated garment[J]. *China Textile Leader*, 2016(11): 122-123. (in Chinese)
- [14] 唐志娟, 黄晓杰, 郭宇微, 等. 电加热元件与服装面料匹配研究[J]. *天津纺织科技*, 2020(4): 27-30.
- TANG Zhijuan, HUANG Xiaojie, GUO Yuwei, et al. Study on matching of electrically heated element and clothing fabrics[J]. *Tianjin Textile Technology*, 2020(4): 27-30. (in Chinese)
- [15] 唐灿, 刘荣平, 徐志强. 电加热服装服用性能研究进展[J]. *轻纺工业与技术*, 2021, 50(2): 58-60.
- TANG Can, LIU Rongping, XU Zhiqiang. Research progress on wearability of electrically heated clothing[J]. *Light and Textile Industry and Technology*, 2021, 50(2): 58-60. (in Chinese)
- (责任编辑: 卢杰)