

基于表面肌电技术的篮球护臂压力舒适性分析

王广立¹, 方丽英^{*2}

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 国际教育学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:为研究篮球运动过程中人体手臂肌肉疲劳程度与服装压力之间的关系,将篮球运动护臂的功能性和服装压力舒适性相结合,得到最能减缓手臂肌肉疲劳的舒适服装压。以男性大学生篮球运动爱好者为实验对象,结合其主观评价得出篮球运动状态下的舒适服装压,运用表面肌电技术测试肌电指标,经计算分析后得出篮球护臂有效缓解肌肉疲劳的舒适服装压。研究表明:篮球运动过程中,适量的服装压可给予运动员一定的舒适感,并可减缓肌肉疲劳,但一旦服装压力过大,则会感觉不适并加速肌肉疲劳。由实验结果得出有效缓解手臂肌肉疲劳的舒适服装压范围为:肱二头肌 1.32 ~ 1.61 kPa,肱三头肌 1.46 ~ 1.61 kPa,肱桡肌 1.78 ~ 2.16 kPa,桡侧腕屈肌 1.83 kPa左右。该研究结果可为篮球护臂的生产设计提供数据参考。

关键词: 篮球运动护臂;服装压力;压力舒适性;表面肌电技术;肌肉疲劳

中图分类号: TS 941.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096 - 1928(2022)03 - 0227 - 08

Analysis of Pressure Comfort of Basketball Arm Guards Based on Surface EMG Technology

WANG Guangli¹, FANG Liying^{*2}

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. School of International Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to study the relationship between arm muscle fatigue and pressure during basketball exercises, the function and pressure comfort of basketball arm guards are combined to obtain the most comfortable clothing pressure of basketball arm guards that can reduce muscle fatigue. Taking male college basketball enthusiasts as experimental subjects, combining subjective evaluation to get comfortable clothing pressure under exercise, using surface electromyography to test EMG indicators, and calculating the comfortable clothing pressure that can effectively relieve muscle fatigue. The results show that during basketball, a proper amount of clothing pressure can give athletes a sense of comfort and relieve fatigue, but excessive clothing pressure will have the opposite effect. The final pressure range is: 1.32 ~ 1.61 kPa for biceps, 1.46 ~ 1.61 kPa for triceps, 1.78 ~ 2.16 kPa for brachioradialis, and 1.83 kPa for flexor carpi radialis. The results can provide data reference for the production design of basketball arm guards.

Key words: basketball arm guard, clothing pressure, pressure comfort, surface electromyography, muscle fatigue

篮球运动中手臂发挥着至关重要的作用,既能维持身体平衡、保证技术动作高质量完成,又能扩大防守面积、增加进攻的攻击性^[1]。但是激烈的篮球比赛也容易使手臂受到运动损伤,如肌肉酸痛、关节疼痛、擦伤划伤等。为探究篮球运动中手臂的

损伤原因和解决方案,陆海勇^[2]在一项篮球运动损伤调查中发现肌肉疲劳和负荷过大是肌肉损伤的主要原因。而紧身服装可以给予肌肉一定的服装压,进而调节血液循环,减少血乳酸和多余的肌肉震颤,达到减缓肌肉疲劳的效果^[3-5]。然而,当服装

收稿日期:2021 - 09 - 17; 修订日期:2022 - 03 - 04。

作者简介:王广立(1996—),男,硕士研究生。

* 通信作者:方丽英(1969—),女,副教授,硕士生导师。主要研究方向为服装工艺与舒适性等。

Email: 13735819288@139.com

压力过高时,为了维持运动效果,机体本身会增加耗氧量,使局部毛细血管的微循环变慢,肌肉的供氧量不足,从而加速疲劳进程^[6]。

篮球运动护臂是指包裹在手臂上的一种紧身护具服装,既能防止运动过程中的抓伤、擦伤,又能压缩肌肉,减缓肌肉疲劳,降低手臂损伤的概率。篮球运动员在选择护臂时,除了关注护臂的防护功能外,其服装压力舒适性也是不可忽视的重要因素之一。然而经调查研究发现,市场上篮球护臂的型号规格划分存在诸多问题,对护臂功能性评判也没有严格标准,消费者很难买到兼顾舒适性和功能性的篮球护臂。因此,研究篮球护臂的服装压力,使之在服装舒适性与减缓肌肉疲劳的功能性之间达到平衡,是目前护臂市场上亟待解决的关键问题。在护臂等紧身服装领域中,表面肌电技术(suface electorcmyography,sEMG)是检测肌肉疲劳、评价肌肉功能的重要方法,并且其具有无创性、实时性和精确性的优点,可作为研究护臂功能性的技术手段^[7-9]。

文中对市场上的篮球护臂规格细分后进行实验,并让受试者穿着护臂样衣模拟篮球运动状态测试服装压力,同时根据其主观评价进行分析,得出舒适服装压力范围。最后运用表面肌电技术对相同受试者进行疲劳实验测试,将实验所得肌电指标数据进行统计学分析,综合得出篮球运动护臂有效缓解肌肉疲劳的舒适性服装压力,此实验可为手臂护具的生产开发提供方法和指标数据参考。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

1.1.1 原料 实验所用样衣选自专营运动护具的曼迪卡威篮球运动护臂,面料由 82% 锦纶和 18% 氨纶组成,款式为篮球护臂的基本款式,具体如图 1 所示。

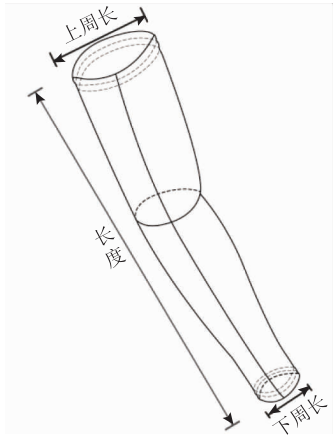


图 1 样衣款式

Fig.1 Plane effect of sample clothing

1.1.2 仪器 Novel pliance-x-32 压力测试系统,德国 Novel 公司研制;Delsys Trigno Mobile 无线表面肌电测试系统,美国 Delsys 公司研制。

1.2 样衣选取

参考李媛^[10]对紧身护臂实验样衣尺寸的处理,以上臂围 30 cm 为基准进行样衣规格修改,使得样衣对各测试部位造成的压力具有连续性小幅度变化^[11]。经过预实验测试筛选,选用在基准上缩减 5% ,10% ,15% ,20% ,25% 和 30% 制成的 6 件样衣,其对应编号分别为 1[#],2[#],3[#],4[#],5[#],6[#]。样衣具体尺寸见表 1。

表 1 样衣尺寸
Tab.1 Sample size

样衣编号	长度/cm	上周长/cm	下周长/cm
1 [#]	42	28.5	19.5
2 [#]	42	27.0	18.5
3 [#]	42	25.5	17.6
4 [#]	42	24.0	16.6
5 [#]	42	22.5	15.6
6 [#]	42	21.0	14.6

1.3 实验对象

实验受试者为 8 名年龄在 20 ~ 25 岁的健康男性篮球爱好者,体型符合 175/92A,上臂围在 29 ~ 30 cm。受试者测试前一周需保持健康的生活规律,并在实验前对其进行多次实验动作规范培训。

1.4 测试部位和实验动作选取

1.4.1 测试部位 根据人体运动解剖学和篮球运动原理可知,人体上肢运动主要有屈肘、伸肘和前臂旋转,用到的上臂肌肉包括肱二头肌、肱肌、肱桡肌和肱三头肌等;前臂肌肉包括掌长肌、桡侧的腕屈和伸肌、尺侧的腕屈和伸肌等^[12-13]。参考 LIAO F Y^[14]、范洪彬等^[15]、张肃^[16]对人体上肢肌肉疲劳的研究,再结合预实验结果,选用 4 块运动贡献量较大的肌肉:肱二头肌、肱二头肌、肱桡肌和桡侧腕屈肌作为研究对象,各肌肉最大肌腹位置即为实验测试部位。具体如图 2 所示,测试部位说明见表 2。

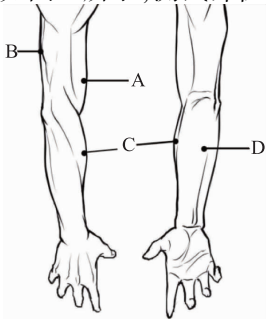


图 2 实验测试部位

Fig.2 Experimental test site

表2 测试部位具体说明

Tab.2 Specific description of test parts		
测试部位	对应位置	具体说明
A	肱二头肌肌腹中心区域	肘关节上端臂内侧最突出处
B	肱三头肌肌腹中心区域	上臂外侧,肘关节上5~6 cm处
C	肱桡肌肌腹中心区域	肘关节下端,前臂肌最外侧
D	桡侧腕屈肌肌腹中心区域	前臂中心线,肘关节与手腕1/3处

1.4.2 实验动作 依据表面肌电信号的采集要求,实验动作简单且可重复性高,如陈田华^[17]在测试篮球运动员的表面肌电实验中表明,篮球技术动作要有规律性和节奏感,并且要连贯。因此,参考篮球运动中的技术动作^[18],结合实验条件选用高运球为实验动作,测试手臂为右手,要求受试者在跑步过程中右手高运球,并在实验前进行指导练习。

2 实验方法

2.1 压力测试

实验地点选择安静的室内体育馆,室温为(25±2)℃,相对湿度为(68±5)%,风速小于1 m/s。受试者穿着无袖篮球运动服进入实验场地,测试前先进行简单的准备活动,以适应实验环境,待充分活动关节和肌肉后,对受试者每个测试部位的皮肤进行预处理。为最大程度降低传感器对服装压的影响,每次仅测量一个测试部位。受试者随机穿着护臂样衣进行实验动作,实验操作人员控制测试系统进行服装压测试。为防止长时间运动样衣与皮肤的摩擦导致压力值的波动,实验截取压力稳定后30 s^[19]的数据,在pliance-X软件上保存,数据保存类型为ASC,可读取实时压力值并进行后续计算工作。

客观压力数据测试完毕,受试者对该实验样衣下各测试部位的压力舒适性进行主观等级评价。文中利用Hollies的5级区间标尺作为评价标准,将压感舒适度分为很不舒适、略感不适、一般舒适、比较舒适和很舒适5个等级,所得分值分别为1~5分。为避免样衣型号对受试者造成心理暗示,样衣穿着顺序和受试者的实验顺序采用随机方式。

2.2 表面肌电信号采集

在相同实验条件下,利用Delsys肌电测试系统进行表面肌电信号采集,实验动作与压力测试实验相同。分别在上臂和前臂各取一处测试部位按肌

肉走向放置传感器。为保证信号采集强度,实验人员与受试者均关闭通信设备。表面肌电信号采集过程如图3所示。

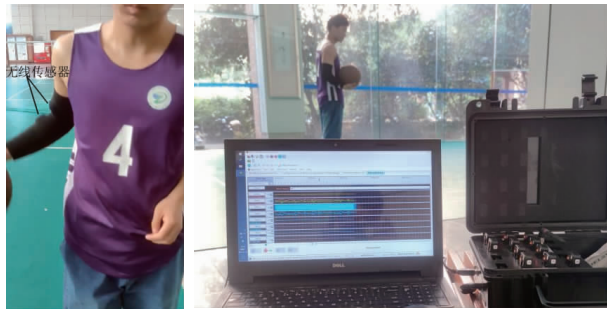


图3 表面肌电信号采集

Fig.3 Acquisition of surface EMG signal

受试者在短距离范围内进行往返跑步且右手高运球,按自身运球习惯尽量保证运球的频率和幅度不变,直到受试者主观感觉疲劳等级RPE达到最大,并且不能继续维持动作的频率及幅度时,停止软件的信号采集,实验结束。采集结束后EMGworks Acquisition软件将数据自动保存用于后续计算和处理。考虑到受试者在运动前期与运动至疲劳后对篮球护臂服装压力的舒适感受可能会有所变化,在表面肌电实验数据采集完后,受试者对该实验样衣下的压力舒适性再次进行主观等级评价。为避免连续实验使测试结果受到残余疲劳的影响,受试者在任意两次实验之间需要休息1~2 d时间来恢复体力^[20]。本实验要求每位受试者做完一次实验后休息2 d再进行下一次样衣和测试部位的实验。

2.3 实验数据处理

表面肌电信号对肌肉疲劳的分析评价方法主要有时域分析和频域分析两种^[21]。时域分析是从时间维度上反映肌电信号的振幅变化特征,指标包括均方根振幅(root mean square, RMS)、积分肌电(integrated eletromyography, iEMG)和平均振幅(mean amplitude, MA)等;频域分析是从信号变化频率方面对肌电信号进行分析,比时域指标具有更好的稳定性,频域指标是通过快速傅里叶转换(fast fourier transform, FFT)获得的,指标主要有中值频率(median frequency, MF)和平均功率频率(mean power frequency, MPF)等^[19]。参考张肃^[16]、张琳^[21]等人对上肢肌肉表面肌电信号的数据分析,以及预实验效果,文中选用时域分析中的RMS和频域分析中的MF作为评价肌肉活动的评判指标。其中RMS能够反映一段时间内肌电信号的平均变化特征,是该时段内所有振幅的均方根,可用于表征信号幅值

的变化;MF 表示肌肉收缩放电频率的中间值,在表征肌电信号时较稳定,具有很强的抗干扰能力,且适用的运动负荷范围较广。

在 EMGworkslysis 平台上对采集到的肌电信号进行计算,首先进行去噪和平滑处理。考虑到实验中每个受试者的身体素质差异导致运动时间不同,需要将受试者表面肌电信号数据进行标准化处理,先将每个人的运动时间平均分成 10 等份,即 10 个时间段,分别以 $T_1 \sim T_{10}$ 命名,然后计算出每个时间段的 RMS 值和 MF 值。RMS 和 MF 指标数据的标准化处理计算公式为

$$X'_i = \frac{X_i}{X_1} \quad i = 1, 2, 3, \dots, 10$$

式中: X'_i 为第 i 时间段 RMS 和 MF 指标的标准化值; X_i 为第 i 时间段 RMS 和 MF 指标的原始值; X_1 为 T_1 时间段 RMS 和 MF 指标的原始平均值。

将标准化后的数据进行统计学分析,应用 IBM SPSS Statistics 19.0,以 T_1 时间段的数据作为参照,对 $T_2 \sim T_{10}$ 时间段与 T_1 进行差异性比较。首先采用 K-S 检验对各组数据进行正态性检验,以各组数据服从正态分布且方差齐性($p > 0.05$)为前提,使用单因素方差分析(One-way ANOVA 检验)运动至疲劳过程中不同时间段与初始时间段(T_1)之间表面肌电信号的差异。若数据不符合正态分布和方差齐性,则使用非参数检验中的 K-W 检验。单因素方差分析及 K-W 检验的显著性水平为 0.05。

3 结果与讨论

3.1 护臂的舒适压力分布

对运动开始(平稳后的 30 s)与运动结束后各测试部位的两次主观评分进行 Spearman 相关性分析,具体见表 3。结果显示在 $p < 0.01$ 水平下,4 个测试部位在运动开始和运动结束后的主观评价均高度相关,可认为受试者在运动前后对样衣各测试部位的主观评价保持一致。

表 3 运动开始与结束后主观评价的相关分析

Tab.3 Correlation Analysis of subjective evaluation at the beginning and end of exercise

项目	测试部位			
	肱二头肌	肱三头肌	肱桡肌	桡侧腕屈肌
相关系数	0.860 **	0.848 **	0.562 **	0.643 **

注:**表示 $p < 0.01$ 。

对于客观压力实验结果,先去除明显错误的数据,然后计算截取时间段内的平均压力值。客观压力值是在运动开始时主观评价下进行的实时测量,因此舒适压力范围的划分参照运动开始的主观评价(一般舒适到很舒适),每个评价等级对应的压力值在去掉最大最小值后求出平均值,得到的结果见表 4。将主观评分在 3 ~ 5 分的客观压力值制成箱线图,具体如图 4 所示。

表 4 主观舒适等级下的服装压

Tab.4 Clothing pressure at subjective comfort level

单位:kPa

部位	主观评价等级				
	很不舒适	略感不适	一般舒适	比较舒适	很舒适
肱二头肌	2.23	1.91	1.68	1.35	1.08
肱三头肌	2.14	1.82	1.61	1.26	1.03
肱桡肌	3.14	2.69	2.16	1.78	1.49
桡侧腕屈肌	2.92	2.18	1.83	1.57	1.31

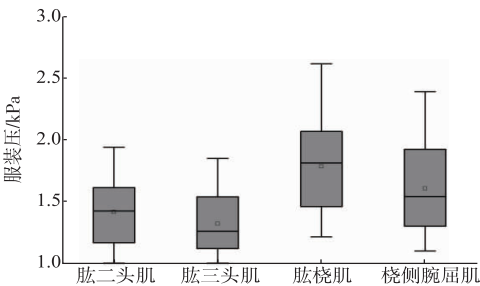


图 4 舒适服装压对应客观压力值箱线图

Fig. 4 Boxplot of objective pressure value corresponding to comfortable clothing pressure

结合表 4 和图 4 可以看出,在篮球运动过程中受试者对于上臂肱二头肌和肱三头肌的舒适压力感受更为集中,肱二头肌测试部位的舒适服装压范围为 1.08 ~ 1.68 kPa;肱三头肌测试部位的舒适服装压范围为 1.03 ~ 1.61 kPa。两个部位的服装压力范围均与图 4 下四分位数至上四分位数的区间(矩形框所示区域)相吻合,由此推断求得的舒适压力范围较为准确。前臂肱桡肌和桡侧腕屈肌的舒适压力值离散程度大一些,肱桡肌测试部位的舒适服装压范围为 1.49 ~ 2.16 kPa;桡侧腕屈肌测试部位

的舒适服装压范围为 1.31 ~ 1.83 kPa。两个部位的服装压力范围同样与图 4 下四分位数至上四分位数区域保持一致,因此求出的舒适压力范围具有代表性。

3.2 手臂服装压与肌电指标的关系

依据文献[21-22]中对肌肉疲劳的评判原则,肌肉在高负荷运动下,表面肌电指标 RMS 和 MF 可以反映肌肉的疲劳程度,且随着时间的延长和肌肉疲劳度增加,RMS 值增大;而当运动至力竭时,中值频率 MF 呈现显著的下降趋势。从肌电指标值随时间的波动情况看,肌肉的疲劳程度越大,指标值波动幅度就越大;肌肉的疲劳程度越小,指标值的变化越稳定。指标值出现最大或最小值的时间、指标值

的最大增幅或降幅均可用来表征肌肉的疲劳情况^[17]。

不同服装压力下肱二头肌 RMS、MF 值随时间的变化,具体见表 5 ~ 6。随着运动的进行,肱二头肌的 RMS 值随时间逐渐升高,而 MF 逐渐降低。RMS 指标值与 MF 指标值均具有统计学意义,在低服装压下 RMS 值从 T_6 阶段开始显著增加,而 MF 值从 $T_5 \sim T_6$ 阶段开始显著减少($p < 0.05$);在中等服装压下,RMS 值从 $T_8 \sim T_9$ 阶段开始显著增加,而 MF 值从 $T_9 \sim T_{10}$ 阶段开始显著减少($p < 0.05$);在高服装压下,RMS 值从 T_7 阶段开始出现显著增加,而 MF 值从 T_8 阶段开始显著减少($p < 0.05$),具体如图 5 所示。

表 5 各时段肱二头肌 RMS 值随时间变化情况

Tab. 5 Changes of RMS value of biceps brachii over time in each period									
型号	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}
1 [#]	0.97 ± 0.69	1.01 ± 0.72	1.06 ± 0.74	1.04 ± 0.79	1.17 ± 0.81**	1.25 ± 0.81**	1.15 ± 0.77**	1.20 ± 0.74**	1.35 ± 0.84**
2 [#]	1.04 ± 0.63	0.99 ± 0.76	1.04 ± 0.78	1.09 ± 0.78	1.16 ± 0.77*	1.15 ± 0.78*	1.26 ± 0.86**	1.29 ± 0.81**	1.47 ± 0.88**
3 [#]	1.01 ± 0.61	0.99 ± 0.50	1.02 ± 0.51	0.99 ± 0.59	1.01 ± 0.68	1.00 ± 0.67	1.16 ± 0.64**	1.21 ± 0.68**	1.24 ± 0.64**
4 [#]	0.99 ± 0.60	1.00 ± 0.61	1.08 ± 0.68	1.09 ± 0.65	1.10 ± 0.66	1.09 ± 0.67	1.13 ± 0.64*	1.13 ± 0.60*	1.12 ± 0.62*
5 [#]	0.91 ± 0.67	1.00 ± 0.64	1.04 ± 0.65	1.03 ± 0.73	0.95 ± 0.76	0.96 ± 0.68	1.09 ± 0.73	1.12 ± 0.71*	1.14 ± 0.70*
6 [#]	0.97 ± 0.62	1.07 ± 0.66	1.01 ± 0.63	0.99 ± 0.67	0.99 ± 0.54	1.12 ± 0.72*	1.17 ± 0.61*	1.21 ± 0.71**	1.26 ± 0.70**

注:数据表示“平均值 ± 标准差”;* 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$ 。

表 6 各时段肱二头肌 MF 值随时间变化情况

Tab. 6 Changes of MF value of biceps brachii over time in each period									
型号	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}
1 [#]	0.96 ± 0.40	0.94 ± 0.41	0.97 ± 0.43	0.91 ± 0.38*	0.88 ± 0.39**	0.91 ± 0.40**	0.89 ± 0.39**	0.86 ± 0.41**	0.76 ± 0.40**
2 [#]	0.99 ± 0.49	0.91 ± 0.49*	0.96 ± 0.47	1.01 ± 0.44	0.89 ± 0.49**	0.91 ± 0.50*	0.89 ± 0.51**	0.85 ± 0.50**	0.89 ± 0.45**
3 [#]	0.94 ± 0.51	0.98 ± 0.54	0.96 ± 0.51	0.99 ± 0.51	0.92 ± 0.50*	0.92 ± 0.53*	0.91 ± 0.48*	0.88 ± 0.52**	0.91 ± 0.55*
4 [#]	1.03 ± 0.50	1.01 ± 0.52	1.01 ± 0.48	0.97 ± 0.47	0.99 ± 0.46	0.98 ± 0.41	0.96 ± 0.40	0.99 ± 0.45	0.92 ± 0.47*
5 [#]	1.06 ± 0.53	0.97 ± 0.56	0.93 ± 0.50	0.96 ± 0.50	0.97 ± 0.54	0.91 ± 0.49	0.96 ± 0.48	0.89 ± 0.49*	0.89 ± 0.51*
6 [#]	0.98 ± 0.41	0.99 ± 0.39	0.99 ± 0.42	0.98 ± 0.41	0.97 ± 0.38	0.95 ± 0.39	0.91 ± 0.36*	0.89 ± 0.37*	0.89 ± 0.39*

注:数据表示“平均值 ± 标准差”;* 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$ 。

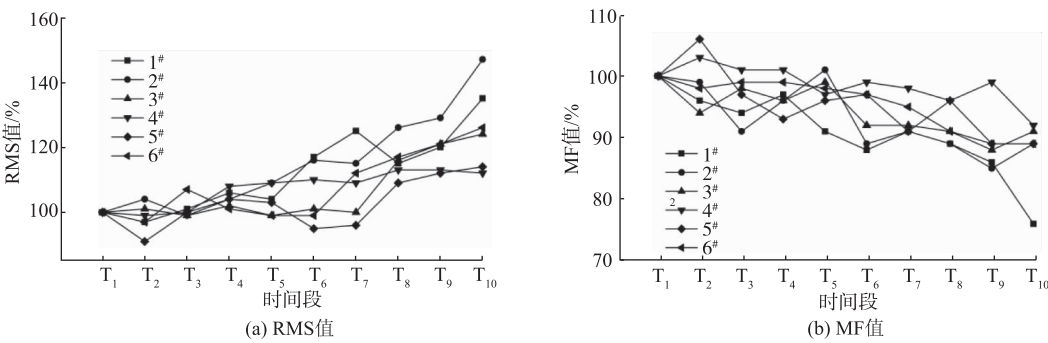


图 5 各时段肱二头肌肌电指标值随时间变化情况
Fig. 5 Changes of biceps brachii myoelectric index value with time in each period

由图 5 可知,适量的服装压可以有效减缓肱二头肌的疲劳,但如果服装压过大,减缓效果并不显著。在 RMS 指标下,受试者穿着 3[#]~5[#]样衣,出现疲劳的时间明显延后,并且最高疲劳度时间段的 RMS 值增长幅度依次为 24%,13%,14%;在 MF 指标下,受试者穿着 4[#]和 5[#]样衣出现疲劳的时间明显延后,并且最高疲劳度时间段的 MF 值降低幅度分别为 8%,11%。综上所述,最能缓解肱二头肌疲劳的样衣为 4[#]~5[#],服装压力范围为 1.32~1.61 kPa。

肱三头肌和肱桡肌 RMS、MF 值随时间变化与肱二头肌类似,随着长时间的运动,RMS 值逐渐升高,MF 值逐渐降低;服装压力的逐渐增大,表面肌电指标值的时间段明显延后,有效减缓了肌肉疲劳,但当服装压过大时,减缓疲劳的效果不佳。肱三头肌在低服装压下 RMS 值从 T_4 阶段开始显著增加,而 MF 值从 $T_4 \sim T_6$ 阶段开始明显减少;在中等服装压下,RMS 值从 $T_7 \sim T_8$ 阶段开始显著增加,而 MF 值从 $T_8 \sim T_9$ 阶段开始持续减少;在高服装压下,RMS 值从 $T_8 \sim T_9$ 阶段开始显著增加,而 MF 值从 T_8 阶段开始持续减少。结合最高疲劳度时间段的 RMS 值增幅和 MF 值降幅情况,得出最能缓解肱三头肌肉疲劳的样衣为 5[#]和 6[#],服装压力范围为

1.46~1.74 kPa。肱桡肌的 RMS 和 MF 指标对于肌肉疲劳的表征具有一致性,在低服装压下 RMS 值和 MF 值均从 $T_5 \sim T_7$ 阶段开始显著增加和降低;在中等服装压下,均从 T_8 阶段开始显著增加和降低;在高服装压下,均从 T_7 阶段开始显著增加和降低。结合最高疲劳度时间段的 RMS 值增幅和 MF 值降幅情况,4[#]和 5[#]样衣在 RMS 和 MF 指标下减缓肱桡肌疲劳效果最好,服装压力范围为 1.78~2.24 kPa。

与其他 3 块肌肉不同,在运动至疲劳过程中,桡侧腕屈肌的 RMS 值和 MF 值虽处于波动状态,但没有明显的升高和降低趋势,肌电指标随着运动时间的变化也并未出现具有连续显著差异的时间段,具体见表 7~表 8。这可能是由于受试者在高运球动作下,主观上已达到疲劳状态,但桡侧腕屈肌并未疲劳。为探究服装压力与肌肉疲劳的关系,需进一步分析肌电指标值的幅值变化情况,具体如图 6 所示。随着 1[#]~6[#]样衣服装压力的增大,RMS 值和 MF 值的波动幅度逐渐减小,桡侧腕屈肌的表面肌电信号趋于稳定。就桡侧腕屈肌而言,服装压力越大越能缓解肌肉疲劳,因此最能减缓桡侧腕屈肌疲劳的为 6[#]样衣,服装压为 2.84 kPa 左右。

表 7 各个时段桡侧腕屈肌 RMS 值随时间变化情况
Tab. 7 Changes of RMS value of radial wrist flexor with time in each period

型号	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}
1 [#]	1.09±0.76	1.08±0.71	1.18±0.75*	1.14±0.76*	1.14±0.80*	1.07±0.67	1.06±0.65	1.02±0.69	1.09±0.71
2 [#]	1.03±0.69	1.17±0.72*	1.09±0.77	0.98±0.63	0.89±0.69*	1.04±0.73	1.04±0.74	1.14±0.73*	1.12±0.73*
3 [#]	0.99±0.59	1.10±0.58	0.91±0.55	0.95±0.61	0.92±0.60	0.94±0.54	1.07±0.55	0.97±0.55	1.14±0.66*
4 [#]	0.99±0.65	0.97±0.57	0.99±0.65	0.95±0.63	1.11±0.71	1.00±0.70	0.93±0.58	0.99±0.61	1.02±0.69
5 [#]	1.00±0.63	1.08±0.69	1.02±0.65	1.00±0.70	0.99±0.64	1.05±0.71	1.03±0.73	0.99±0.66	1.03±0.73
6 [#]	0.98±0.60	0.96±0.58	1.07±0.62	1.00±0.61	0.96±0.58	0.98±0.56	0.99±0.61	1.02±0.57	1.06±0.61

注:数据表示为“平均值±标准差”;*表示 $p < 0.05$; **表示 $p < 0.01$ 。

表 8 各个时段桡侧腕屈肌 MF 值随时间变化情况
Tab. 8 Changes of MF value of radial wrist flexor with time in each period

型号	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}
1 [#]	0.95±0.40	1.03±0.43	0.96±0.40	0.94±0.41*	0.90±0.41*	1.00±0.49	0.95±0.46	0.96±0.42	0.93±0.47*
2 [#]	1.08±0.47	0.93±0.49	0.95±0.41	1.01±0.45	0.90±0.44*	0.94±0.46	1.03±0.45	0.99±0.42	1.00±0.42
3 [#]	1.06±0.36	1.05±0.33	0.97±0.39	0.98±0.36	1.01±0.38	0.98±0.35	0.97±0.41	0.92±0.39	0.95±0.40
4 [#]	1.02±0.45	0.96±0.37	1.02±0.42	0.97±0.44	0.92±0.39	0.95±0.39	0.95±0.41	0.97±0.42	0.95±0.43
5 [#]	0.98±0.38	1.02±0.42	0.95±0.36	0.97±0.33	1.00±0.40	0.95±0.37	0.96±0.38	0.99±0.35	1.01±0.38
6 [#]	0.99±0.41	1.03±0.47	0.97±0.47	1.01±0.49	1.03±0.47	1.05±0.50	1.04±0.49	1.06±0.44	1.02±0.45

注:数据表示为“平均值±标准差”;*表示 $p < 0.05$; **表示 $p < 0.01$ 。

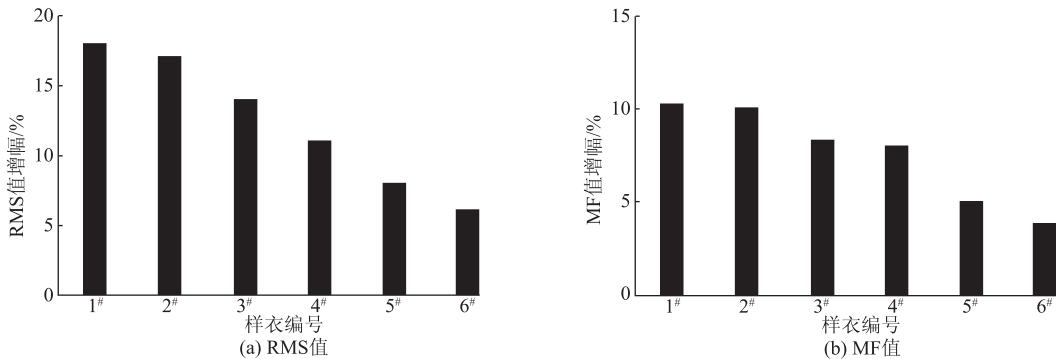


图 6 桡侧腕屈肌的 RMS 值和 MF 值波动幅度

Fig. 6 Fluctuation range of EMG index value of radial wrist flexor muscle

4 结 语

为研究篮球护臂的服装压力范围,使之在服装舒适性与减缓肌肉疲劳的功能性之间达到平衡,将市场上的篮球运动护臂的基本款式规格细分后制成样衣,对体型符合 175/92A、上臂围在 29 ~ 30 cm 的大学生篮球运动群体,穿着样衣进行动态压力测试和表面肌电测试实验,结合其主观评价,以及表面肌电技术分析得到以下结论:

1)受试者在篮球运动过程中,合适的服装压会给手臂带来一定的舒适感,并且可以减缓肌肉疲劳,但服装压力超过一定量,会使穿着者感到不适,运动费力且不利于减缓肌肉疲劳。

2)受试者在篮球运动的开始阶段与运动至疲劳阶段对于护臂的压力舒适感受有细微差异,但总体上是一致的。上臂比前臂的舒适性服装压小:肱二头肌为 1.08 ~ 1.68 kPa,肱三头肌为 1.03 ~ 1.61 kPa,肱桡肌为 1.49 ~ 2.16 kPa,桡侧腕屈肌为 1.31 ~ 1.83 kPa。

3)受试者在篮球运动中,RMS 指标和 MF 指标对其手臂肌肉疲劳的表征具有一致性,肱二头肌、肱三头肌和肱桡肌随着服装压力的增大,肌肉疲劳的出现时间均有所延后,但超过一定值后,肌肉疲劳的出现时间又会提前,其中桡侧腕屈肌在篮球运动中对疲劳的感知较弱,但服装压的增大也可以减缓桡侧腕屈肌的肌肉疲劳。综合实验结果得到最能缓解肌肉疲劳的舒适性服装压为:肱二头肌 1.32 ~ 1.61 kPa、肱三头肌 1.46 ~ 1.61 kPa、肱桡肌 1.78 ~ 2.16 kPa、桡侧腕屈肌 1.83 kPa 左右。该结果可为手臂运动护具的设计开发生产以及行业标准的制定提供方案和参考。

4)4#护臂样衣在舒适性和功能性上均表现较好,对应尺寸长度为 42 cm、上周长 24 cm、下周长

16.6 cm,消费者可根据自身臂围尺寸及面料选择适合的篮球运动护臂。

参考文献:

[1] 秦国辉, 米亮, 卢红振. 手臂在篮球运动中的作用分析[J]. 体育科技文献通报, 2008, 16(1): 28-29, 34. QIN Guohui, MI Liang, LU Hongzhen. Analysis on function of arm in basketball sport [J]. Bulletin of Sport Science and Technology, 2008, 16(1): 28-29, 34. (in Chinese)

[2] 陆海勇. 大学生篮球运动中常见运动损伤原因分析与对策[J]. 现代预防医学, 2013, 40(6): 1068-1070. LU Haiyong. The analysis of the cause and prevention strategies for common sports injuries in students' basketball [J]. Modern Preventive Medicine, 2013, 40(6): 1068-1070. (in Chinese)

[3] DUFFIELD R, CANNON J, KING M. The effects of compression garments on recovery of muscle performance following high-intensity sprint and plyometric exercise[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2010, 13(1): 136-140.

[4] 孙凯扬, 李翰君, 王颖. 不同压力下肢紧身服对跑步运动中摄氧量及运动后血乳酸恢复的影响[J]. 中国体育科技, 2020, 56(2): 24-29, 38. SUN Kaiyang, LI Hanjun, WANG Ying. Effects of different pressure lower-body compression garments on oxygen uptake during running and recovery of blood lactate after exercise[J]. China Sport Science and Technology, 2020, 56(2): 24-29, 38. (in Chinese)

[5] HSU W C, TSENG L W, CHEN F C, et al. Effects of compression garments on surface EMG and physiological responses during and after distance running[J]. Journal of Sport and Health Science, 2020, 9(6): 685-691.

[6] 陈金鳌. 不同程度紧身压迫对踏蹬运动中下肢 sEMG 变化特征的影响[D]. 苏州: 苏州大学, 2012.

- [7] POTVIN J R, BENT L R. A validation of techniques using surface EMG signals from dynamic contractions to quantify muscle fatigue during repetitive tasks[J]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 1997, 7 (2): 137-139.
- [8] MIYAMOTO N, HIRATA K, MITSUKAWA, et al. Effect of pressure intensity of graduated elastic compression stocking on muscle fatigue following calf-raise exercise [J]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2011, 21(2): 249-254.
- [9] MOHAMED, GRICHE R. Detection of muscle fatigue; relative study with different methods[J]. *Communications Faculty of Science University of Ankara*, 2017, 59(2): 21-28.
- [10] 李媛, 谢红, 邓红琼, 等. 网球运动中紧身护臂对前臂肌肉的影响[J]. *北京服装学院学报(自然科学版)*, 2018, 38(3): 32-39.
- LI Yuan, XIE Hong, DENG Hongqiong, et al. Influence of compression on forearm muscles in tennis[J]. *Journal of Beijing Institute of Clothing Technology (Natural Science Edition)*, 2018, 38(3): 32-39. (in Chinese)
- [11] 王永荣, 罗胜利, 廖银琳, 等. 女性服装压力舒适阈限的测试与研究[J]. *纺织学报*, 2018, 39(3): 132-136.
- WANG Yongrong, LUO Shengli, LIAO Yinlin, et al. Test and study of pressure comfort threshold of female's garment[J]. *Journal of Textile Research*, 2018, 39(3): 132-136. (in Chinese)
- [12] 小西奥多·戴蒙. 运动功能解剖学[M]. 郭丞, 译. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2020: 96-105.
- [13] 布莱恩·科尔, 罗布·帕纳列洛. 篮球运动系统训练全彩图解版[M]. 张明, 译. 3 版. 北京: 人民邮电出版社, 2016: 51, 71.
- [14] LIAO F Y, ZHANG X Y, CAO C M, et al. Effects of muscle fatigue and recovery on complexity of surface electromyography of biceps brachii [J]. *Entropy (Basel, Switzerland)*, 2021, 23(8): 1036.
- [15] 范洪彬, 孙有平, 季浏. 基于表面肌电贡献率的上肢不同力量素质指标年龄、性别通用性研究[J]. *中国体育科技*, 2016, 52(5): 83-97.
- FAN Hongbin, SUN Youping, JI Liu. Age and gender universality research on different upper limbs strength indicators in physical fitness test based surface electromyography muscular contribution [J]. *China Sport Science and Technology*, 2016, 52(5): 83-97. (in Chinese)
- [16] 张肃. 基于表面肌电技术对人体上肢肌肉疲劳过程中中枢共驱动的研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2017, 36 (4): 290-295.
- ZHANG Su. Study on neural co-activation during human upper limb muscle fatigue based on surface electromyography [J]. *Chinese Journal of Sports Medicine*, 2017, 36 (4): 290-295. (in Chinese)
- [17] 陈田华. 高校篮球运动员原地跳投技术动作的肌电特征研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2019.
- [18] 于振峰, 吴燕波, 陈金英. 篮球: 体育系普修[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2007: 40-48.
- [19] 陈晓娜, 吴昕穗, 朱琳玥. 裤装压力对跑步运动中女性大腿疲劳的影响[J]. *毛纺科技*, 2019, 47(6): 75-81.
- CHEN Xiaona, WU Xinsui, ZHU Linyue. Influence of trousers pressure on female thigh fatigue during running [J]. *Wool Textile Journal*, 2019, 47(6): 75-81. (in Chinese)
- [20] 黄耐寒. 基于表面肌电的肌疲劳分析与肌力预测研究及实现[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- [21] 张琳. 服装压对男子篮球运动中肌肉疲劳的影响研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2017.
- [22] LUNG C W, LIAU B Y, PETERS J A, et al. Effects of various walking intensities on leg muscle fatigue and plantar pressure distributions [J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2021, 22(1): 831. (责任编辑: 张 雪)