



深部肌肉刺激对下肢运动性肌肉疲劳的恢复作用

尹贻锰¹, 王佳林^{2,3}, 蒋夏天⁴, 赵瑞静³, 孙君志^{3*}

摘要:目的:探讨深部肌肉刺激(DMS)对下肢运动性肌肉疲劳的恢复作用。方法:共招募 43 名在校男大学生,随机分为 DMS 组和拉伸组,通过单膝跪地重复多次后仰的离心收缩运动对右侧伸膝肌群诱发运动性疲劳。分别在运动前、运动后即刻和运动后 0.5 h、24 h 和 48 h,对受试者进行疼痛、疲劳和等速肌力测试。结果:(1)研究过程中,DMS 组 2 名受试者脱落或剔除,拉伸组 1 名受试者脱落,最终 DMS 组 20 名、拉伸组 20 名受试者纳入统计分析。(2)等速向心收缩峰力矩、等速向心收缩平均峰力矩、等速向心收缩总功、自觉疲劳程度和主观疼痛感觉程度的时间主效应、组别主效应、时间组别交互作用均有统计学意义($P < 0.05$)。(3)2 组治疗后 RPE 评分相比运动后即刻有所降低($P < 0.05$),其中 DMS 组低于拉伸组($P < 0.05$)。(4)2 组治疗后 VAS 评分相比运动后即刻有所降低($P < 0.05$),其中 DMS 组低于拉伸组($P < 0.05$)。(5)运动后即刻、0.5 h 后测定等速向心收缩峰力矩、等速向心收缩平均峰力矩、等速向心收缩总功较运动前显著降低($P < 0.05$)。DMS 组恢复程度及速度明显高于拉伸组,运动后 0.5 h、24 h、48 h,2 组评分相比运动后即有所升高,且存在显著性差异,具有统计学意义($P < 0.05$)。DMS 组 VAS 与等速向心收缩峰力矩每个时间段呈低中度相关($r = -0.577 \sim -0.465, P < 0.05$)。结论:DMS 与拉伸均可恢复肌肉力量、缓解肌肉疼痛及疲劳,且 DMS 缓解速度明显快于拉伸,表明 DMS 对运动性疲劳后肌肉功能的恢复具有促进作用。

关键词:运动性疲劳;深部肌肉刺激疗法;肌力;等速肌力测试;伸膝肌群

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2023)02-0087-07
DOI:10.12064/ssr.2022082402

Effect of Deep Muscle Stimulation on Recovery of Lower Extremity Motor Muscle Fatigue

YIN Yinkun^{1,2}, WANG Jialin^{2,3}, JIANG Xiatian⁴, ZHAO Ruijing³, SUN junzhi^{3*}

(1. College of Physical and health Education, Guangxi Normal University, Guilin 541006, China; 2. School of Physical Education and Health, Geely University of China, Chengdu 641423, China; 3. Institute of Sports Medicine and Health, Chengdu Sport University, Chengdu 610041, China; 4. Affiliated sports hospital of chengdu sports university, Chengdu 610041, China)

Abstract: Objective: To investigate the effect of DMS on the recovery of lower extremity exercise muscle fatigue. Methods: A total of 43 male college students were randomly divided into DMS group and stretch group. The centrifugal contractile exercise of kneeling on one knee repeated several times can induce exercise fatigue on the right extensor knee muscle group. The subjects were tested for pain, fatigue and isokinetic muscle strength before exercise, immediately after exercise, and 0.5 h, 24 h and 48 h after exercise. Results: (1) during the study, 2 subjects in the DMS group fell off or were eliminated, and 1 subject in the stretch group fell off. Finally, 20 subjects in the DMS group and 20 subjects in the stretch group were included in the statistical analysis. (2) The time main effect, group main effect, and time by group interaction of isokinetic centripetal contraction peak torque, average isokinetic centripetal contraction peak torque, total work of isokinetic centripetal contraction, per-

收稿日期:2022-08-24

基金项目:国家重点研发计划课题(2019YFF0301704)。

第一作者简介:尹贻锰,男,硕士研究生。主要研究方向:运动康复学。E-mail:1365344195@qq.com。

*通信作者简介:孙君志,男,教授级高级实验师。主要研究方向:运动干预与健康促进。E-mail:jzhsun@qq.com。

作者单位:1. 广西师范大学 体育与健康学院,广西 桂林 541006;2. 吉利学院 体育与健康学院,四川 成都 641423;

3. 成都体育学院 运动医学与健康研究所,四川 成都 610041;4. 成都体育学院附属体育医院,四川 成都 610041。



ceived fatigue degree and subjective pain feeling degree were statistically significant ($P<0.05$). (3) The RPE score of the two groups after treatment was significantly lower than that after exercise ($P<0.05$), and the score of the DMS group was lower than that of the stretch group ($P<0.05$). (4) The VAS score of the two groups after treatment was significantly lower than that after exercise ($P<0.05$), and that of the DMS group was lower than that of the stretch group ($P<0.05$). (5) The peak torque of isokinetic centripetal contraction, the average peak torque of isokinetic centripetal contraction and the total work of isokinetic centripetal contraction measured immediately and 0.5 h after exercise were significantly lower than those before exercise ($P<0.05$). The degree and speed of recovery in the DMS group were significantly higher than those in the stretch group. At 0.5 h, 24 h, and 48 h after exercise, the scores of the two groups were significantly higher than those after exercise, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). In DMS group, there was a low to moderate correlation between VAS and the peak torque of isokinetic centripetal contraction at each time period ($r=-0.465\sim-0.577$, $P<0.05$). Conclusion: Both DMS and stretch can restore muscle strength, relieve muscle pain and fatigue, and the relief speed of DMS is significantly faster than that of stretch, indicating that DMS can promote the recovery of muscle function after exercise fatigue.

Keywords: exercise-induced fatigue; deep muscle stimulation therapy; muscle strength; isokinetic muscle strength test; knee extensor muscle group

运动性肌肉疲劳往往是在进行高强度、大负荷力量训练或者离心收缩运动过后出现,具体表现为肌肉力量下降、肌肉功能减退、募集肌纤维能力降低^[1],肌肉表现为疼痛、痉挛、僵硬等症状,出现肌肉反应迟钝,无法有效执行大脑所发出的指令,进而出现训练效果和运动能力的下降,导致运动中受伤的风险增加^[2]。肌肉疲劳对机体的损伤是暂时的,但长时间处于过度疲劳状态下会严重影响身心健康^[3]。因此,选择有效的治疗方式对缓解和恢复运动性肌肉疲劳,促进身体运动机能改善,减少损伤风险等具有十分重要的意义。

现阶段针对运动性肌肉恢复的手段较多,主要为:牵拉、推拿、针灸、热敷、泡沫轴滚动、肌内效贴、经皮电刺激等^[4-7]。深层肌肉刺激(Deep Muscle Stimulator, DMS)是通过机械振动深入肌肉组织来刺激本体感受功能,对深层肌肉组织提供冲击和震荡振动的动力形式^[8],可减轻肌肉疾病等问题,例如治疗肌肉拉伤、促进修复肌肉疤痕组织、增加血液循环及乳酸分解、增加肌肉新陈代谢等。目前有关 DMS 对于运动性肌肉疲劳治疗效果的研究较少,尚不清楚 DMS 对缓解运动性肌肉疲劳的疼痛症状及加速恢复是否具有作用疗效。因此,本研究通过应用 DMS 手段对运动性肌肉疲劳进行干预,探讨 DMS 对运动性下肢疲劳功能恢复的作用效果。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

通过线上问卷及线下调研的方式招募在校大学

生作为受试者。进行实验前,告知受试者实验注意事项,在进行运动后可能出现大腿疼痛等身体不适。实验过程中,受试者不得参加其他运动,也不得进行其他干预。实验前,受试者需了解实验内容与过程,并阅读签署知情同意书。

本研究经成都体育学院伦理委员会审核批准(No. 2022-44)。

1.2 纳入排除标准

纳入标准:(1) 身体状况良好,无运动禁忌症;(2) 无下肢肌肉疼痛及肌肉骨骼疾病;(3) 无神经系统及心血管疾病;(4) 近 2 周内未饮酒、吸烟、摄入咖啡因等,未参加剧烈运动等。

排除标准:(1) 近期 2 周内发生肌肉酸痛及损伤,6 个月内存在下肢肌肉骨骼损伤;(2) 患有心血管、神经疾病或有先天性疾病;(3) 无法坚持剧烈运动。

脱落、剔除标准:(1) 无法坚持或未能按规定完成运动实验;(2) 实验过程中采取其他形式恢复手段。

1.3 研究方法

1.3.1 实验法

效仿 Mjølunes 等^[9]提出的大腿伸膝肌群离心收缩训练进行运动性下肢疲劳造模。实验前准备好节拍器并提前调试。受试者起始位置:身体放松,右膝跪地,右侧小腿与地面平行、大腿与地面垂直,左侧下肢支撑,保证小腿与地面垂直,大腿与地面平行。

志愿者位于受试者身后对其进行保护和辅助,受试者身体自然后仰至最大角度并维持 10 s,随后,



志愿者将受试者慢慢推至初始位置(推起过程受试者不用力),动作跟随节拍器的节奏进行,受试者在 5 min 热身后,进行 10 次×8 组,组间休息 1 min 的运动,受试者若在运动中感到疲劳,可以减慢运动的速度,但不能停止运动。在运动后即刻及干预后 0.5 h、24 h 和 48 h 分别进行测试。

1.3.2 干预方法

DMS 组:使用 Hyperice Raptor Percussion Massager 仪器(美国),设为最高设定,每分钟最多打击 3 600 下。受试者运动后仰卧在治疗床上,小腿悬于床边,在右侧伸膝肌群上铺柔软毛巾,治疗人员手持仪器以不加压方式在右侧伸膝肌群处进行均匀缓慢移动,速度为 5 cm/min,受试者在治疗期间主动屈曲并伸展至膝关节 5 min^[8]。分别在诱导后的 0.5 h、24 h 和 48 h 进行 1 次 DMS 治疗。

拉伸组:对受试者右侧伸膝肌群进行静态拉伸。身体保持站立位,从腿后方抓住脚部做拉伸,尽量不屈曲髋关节,30 秒/组,3 组/天,组间间歇 15 s,受试者感受到轻微疼痛即可^[10]。

1.3.3 实验指标选取及测定

1.3.3.1 等速肌力测试

采用 CONTREX-M+TP1000 多关节等速肌力测试与训练系统(瑞士),对受试者右侧伸膝肌群进行测试。受试者热身 5 min,坐姿调整至屈髋角度 80°、屈膝角度 90°,下肢和躯干进行固定。膝关节活动范围设定为 80°~150°,等速向心速度为 60°/s^[11]。10 次/组,共 2 组,组间休息 3 min,取最大值。

指标测定选取:(1)等速向心收缩峰力矩(Peak Torque, PT),表现为肌肉收缩过程中所产生的最大力量,是反映肌肉能力的最佳指标^[12],被称为等速肌力评估的“金指标”;(2)等速向心收缩平均峰力矩(Average Peak Torque, APT),多次收缩运动的峰力

矩平均值,可反映肌群保持最大力矩输出的能力,可间接反映肌肉的疲劳程度^[13];(3)等速向心收缩总功(Total Work, TW),是力与运动角位移的乘积,可反映肌肉的总工作能力,综合评测肌肉整体能力表现^[2]。

1.3.3.2 评估量表

采用自觉疲劳程度量表(Rating of Perceived Exertion, RPE)^[14]和视觉模拟量表(Visual Analogue Scale, VAS)^[15]进行评估。RPE 用于量化人体对身体感觉的感知,疲劳评分从 6 开始到 20 结束,6 分代表完全不费力,20 分代表筋疲力尽。VAS 使用一条从 0 到 10 的线性视觉模拟刻度,0 分表示无痛,10 分表示难以忍受的痛,受试者背对刻度值并要求给出评分。

1.4 统计分析

使用 Excel2019 收集统计、SPSS22.0 处理数据,数据采用均数±标准差表示。应用双因素重复测量方差分析(Two-way Repeated ANOVA),探讨干预方法、干预时间和干预方法×时间的交互作用对因变量的影响。干预前后同组采用配对样本 T 检验,组间采用独立样本 T 检验,干预后采用 Pearson 相关性分析,相关强弱判定: $|r| \leq 0.3$ 为弱相关, $|r|=0.3 \sim 0.5$ 为低度相关, $|r|=0.5 \sim 0.8$ 为中度相关, $|r|=0.8 \sim 1$ 为高度相关。

2 研究结果

2.1 一般资料比较

研究共招募健康男大学生 43 名,根据随机数字法分为 DMS 组和拉伸组。研究过程中,DMS 组 1 名受试者因无法坚持运动中途中退出,1 名受试者因使用其他方式恢复而剔除。拉伸组 1 名受试者因无法坚持运动中途中退出。DMS 组与拉伸组的年龄、身高、体重、体脂率、BMI 指数均无显著性差异($P > 0.05$)。

表 1 研究对象基本条件($\bar{X} \pm SD$)

Table1 Basic information of the subjects($\bar{X} \pm SD$)

组别	例数/人	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	体脂率/%	BMI/(kg·m ²)
DMS 组	20	19.60±1.44	170.07±4.14	71.23±12.10	21.35±6.59	24.57±3.81
拉伸组	20	20.11±1.26	174.00±7.07	66.82±5.74	17.90±4.76	22.11±2.12

2.2 RPE 变化

实验前 DMS 组与拉伸组的 RPE 评分无显著性差异($P > 0.05$),运动后即刻状态下 2 组评分增加明显($P < 0.05$)。重复测量方差分析结果显示,单独时间效应、单独方法效应、时间×方法对 RPE 评分均有

统计学意义($P < 0.05$)。DMS 组在治疗后,主观感觉评分有下降,至运动后 48 h 时已明显降低,而拉伸组在运动后 24 h 和运动后 48 h 主观感觉评分表现仍疲劳,运动后 0.5 h、24 h、48 h,2 组治疗后 RPE 评分均较运动后即刻状态有所下降($P < 0.05$),DMS 组低于拉伸组($P < 0.05$)(表 2)。

表 2 不同 VAS 和 RPE 的变化 ($\bar{X} \pm SD$)Table2 Changes of different VAS and RPE($\bar{X} \pm SD$)

评价指标	组别	初始	即刻	0.5 h	24 h	48 h
RPE	DMS 组	6.50±0.97	18.70±0.92 [#]	13.30±0.67 ^{*#△&}	10.70±1.28 ^{*#△&}	7.00±0.66 ^{*#△&}
	拉伸组	6.44±0.72	18.85±0.74 [#]	17.00±0.50 ^{*#△&}	15.44±0.72 ^{*#△&}	13.00±0.70 ^{*#△&}
VAS	DMS 组	0	6.60±0.50 [#]	5.35±0.48 ^{*#△&}	4.30±0.47 ^{*#△&}	2.40±0.51 ^{*#△&}
	拉伸组	0	6.55±0.52 [#]	6.22±0.44 ^{*#△&}	5.45±0.68 ^{*#△&}	3.05±0.60 ^{*#△&}

注: * 表示 DMS 组与拉伸组相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; # 表示同组内与初始值相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; △ 表示与即刻相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; & 表示与 0.5 h 相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$ 。

2.3 疼痛指标变化

实验前 DMS 组与拉伸组 VAS 评分无显著性差异 ($P > 0.05$), 运动后即刻状态下 2 组评分增加明显 ($P < 0.05$)。重复测量方差分析结果显示, 单独时间效应对、单独方法效应、时间×方法对 VAS 评分均有统计学意义 ($P < 0.05$)。DMS 组在治疗后, 疼痛感觉下降较为明显, 且下降程度相对于拉伸组显著, 运动后 0.5 h、24 h、48 h, 2 组治疗后 VAS 评分均较运动后即刻有所下降 ($P < 0.05$), 其中 DMS 组低于拉伸组 ($P < 0.05$) (表 2)。

2.4 PT 变化

DMS 组与拉伸组在实验前测量等速向心收缩峰力矩无显著性差异 ($P > 0.05$), 在运动干预后等速向心收缩峰力矩急速下降 ($P < 0.05$)。重复测量方差分析结果显示, 单独时间效应、单独方法效应、时间×方法对 PT 均有统计学意义 ($P < 0.05$)。DMS 组在 0.5 h 开始逐渐恢复, 拉伸组则在 24 h 后开始逐渐恢复, DMS 组恢复程度及速度明显高于拉伸组。运动后 0.5 h、24 h、48 h, 2 组 PT 相比运动后即刻状态均上升, 且具有显著性差异 ($P < 0.05$) (图 1)。

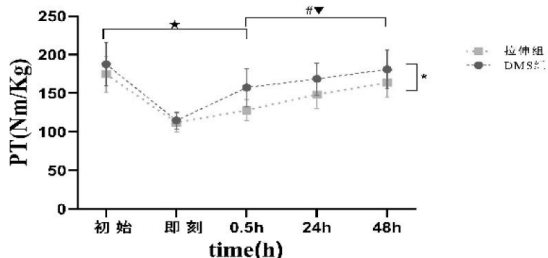


图 1 受试者不同时间点等速向心收缩峰力矩的变化 ($\bar{X} \pm SD$)

Figure1 Changes in the isokinetic centripetal contraction peak torque of subjects at different time points ($\bar{X} \pm SD$)

注: * 表示 DMS 组与拉伸组相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; ★ 表示同组内与初始值相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; # 表示 DMS 组与拉伸组的 48 h 与 0.5 h 相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; ▼ 表示 DMS 组与拉伸组组内与运动后即刻相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$ 。

2.5 APT 变化

DMS 组与拉伸组在实验前测量 APT 无显著性差异 ($P > 0.05$), 在运动干预后 APT 急速下降 ($P < 0.05$)。重复测量方差分析结果显示, 单独时间效应、单独方法效应、时间×方法对 APT 有统计学意义 ($P < 0.05$)。DMS 组在 0.5 h 开始逐渐恢复, 拉伸组则在 24 h 后开始逐渐恢复, DMS 组恢复幅度及速度明显高于拉伸组。运动造模后 0.5 h、24 h、48 h, 2 组平均峰力矩相比运动后即刻有不同程度上升, 且存在显著性差异 ($P < 0.05$) (图 2)。

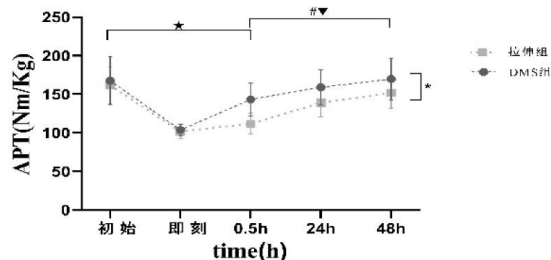


图 2 受试者不同时间点等速向心平均峰力矩的变化 ($\bar{X} \pm SD$)

Figure2 Changes in the average isokinetic centripetal contraction peak torque of subjects at different time points ($\bar{X} \pm SD$)

注: * 表示 DMS 组与拉伸组相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; ★ 表示同组内与初始值相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; # 表示 DMS 组与拉伸组的 48 h 与 0.5 h 相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; ▼ 表示 DMS 组与拉伸组组内与运动后即刻相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$ 。

2.6 TW 变化

DMS 组与拉伸组在实验前等速向心收缩总功无显著性差异 ($P > 0.05$), 在运动干预后等速向心收缩总功急速下降 ($P < 0.05$)。重复测量方差分析结果显示, 单独时间效应、单独方法效应、时间×方法对 TW 均有统计学意义 ($P < 0.05$)。DMS 组在 0.5 h 后开始逐渐恢复, 拉伸组则在 24 h 后开始逐渐恢复, DMS 组恢复水平及速度明显高于拉伸组。运动后

0.5 h、24 h、48 h, 2组 TW 相比运动后即刻状态均显著上升, 且存在显著性差异($P < 0.05$)(图 3)。

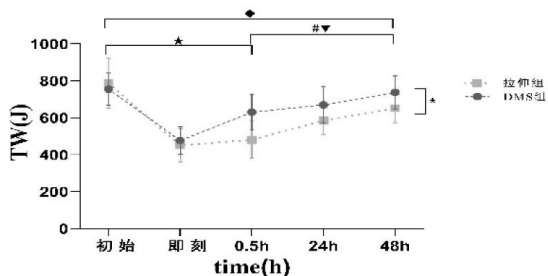


图 3 受试者不同时间点等速向心收缩总功的变化 ($\bar{X} \pm SD$)

Figure3 Change in the isokinetic centripetal contraction total work of subjects at different time points ($\bar{X} \pm SD$)

注: * 表示 DMS 组与拉伸组相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; ★ 表示同组内与初始值相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; # 表示 DMS 组与拉伸组的 48 h 与 0.5 h 相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; ◆ 表示 DMS 组与拉伸组的 48 h 与初始相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$; ▼ 表示 DMS 组与拉伸组组内与运动后即刻相比差异具有统计学意义, $P < 0.05$ 。

表 3 DMS 组干预后 VAS 与肌肉力量相关性分析

Table3 Correlation analysis between VAS and muscle strength after intervention in DMS group

时间	等速向心收缩峰力矩		等速向心收缩平均峰力矩		等速向心收缩总功	
	r	P	r	P	r	P
0.5 h	-0.577*	0.011	-0.636**	0.003	-0.252	0.283
24 h	-0.513*	0.032	-0.564*	0.038	-0.131	0.671
48 h	-0.465*	0.042	-0.513	0.033	-0.359*	0.046

注: 相关具有统计学意义, * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.001$ 。

粒体 Ca^{2+} 的含量, 发现运动后即刻线粒体 Ca^{2+} 含量显著增大, 48 h 仍未恢复到运动前线粒体钙的含量。Armstrong 等^[19]认为运动性肌肉损伤的吞噬阶段出现在运动后 4~6 h, 持续 2~4 d, 主要表现为白细胞和细胞因子介导的肌肉炎症及免疫反应, 该阶段很容易发生损伤程度的扩大并伴随组织内炎症反应的二次损伤。

结果发现, DMS 组与拉伸组在进行干预后, 可以有效缓解疼痛, 尤其是在运动后 24 h 和 48 h, DMS 组疼痛得到明显改善, 且恢复速度更快, 这充分说明 DMS 治疗对下肢肌肉运动性疲劳所产生疼痛的恢复具有显著疗效。

参与大负荷离心运动后, 肌肉出现局部组织缺血、缺氧以及血乳酸等代谢失调, 肌纤维痉挛, 导致肌纤维痉挛释放致痛因子, 使机体的肌肉骨骼出现不同程度疼痛, 这种疼痛通常与细胞骨架的破坏和

2.7 相关性分析

VAS 与 PT(0.5 h、24 h、48 h)、APT(0.5 h、24 h)、TW(0.48 h)呈低中度相关(表 3)。

3 讨论

3.1 DMS 和拉伸对下肢肌肉运动性疲劳疼痛改善作用

对于肌肉运动性疲劳产生疼痛发生机制说法较多, 但尚未取得一致意见。目前, 国际主流观点多倾向于机械损伤学说、代谢紊乱学说及炎症学说多种因素共同作用。Hough^[16]最早提出机械损伤学说, 该学说认为运动后发生的肌肉酸痛可能是由于肌肉内肌组织、结缔组织损伤和细胞骨架的损伤。近年来, 不少研究报道大负荷离心运动后, 骨骼肌收缩机能降低和其超微结构遭到破坏与细胞内 Ca^{2+} 浓度增大有密切联系。研究发现细胞内 Ca^{2+} 浓度的增高会引起延迟性肌肉酸痛, 体内几乎各种细胞功能均与 Ca^{2+} 调节相关, Ca^{2+} 代谢异常会引起机体各种功能障碍^[17]。田野等^[18]连续观察大鼠力竭运动后体内线

细胞膜通透性的改变有关, 细胞外膜和细胞外基质损伤, 释放蛋白质和相关离子, 造成细胞内肿胀, 刺激肌束周围的疼痛受体, 导致肌肉出现疲劳酸痛感。

DMS 通过机械震动来改善肌肉周围血液循环, 促使肌肉内部毛细血管扩张, 加速局部血液和淋巴液循环, 增强组织代谢能力, 促进乳酸代谢, 并加速局部软组织修复, 以减轻局部炎症和组织肿胀^[20]; 在 DMS 持续高频率振动打击下, 可促使肌纤维充分梳理, 刺激神经-体液反射和本体感觉反射, 进一步增加神经元活性, 根据“闸门控制理论”, 振动可改善神经系统感觉通路的刺激, 进而减少传导痛觉的神经纤维输入, 缓解疼痛^[21]。

3.2 DMS 和拉伸对下肢肌肉运动性疲劳、肌肉功能及疲劳恢复的影响

肌肉在进行大负荷离心收缩运动后出现微小肌



纤维损伤^[22-24],即“组织撕裂”理论,主要是过度运动导致身体结缔组织或肌肉组织的机械损伤^[16]。大强度运动过后机体能源物质耗竭,无法有效对运动肌肉进行能量供应,导致肌肉做功能力下降,力量输出不足,肌力下降。有研究发现进行单腿自行车测试时,运动腿的肌肉至疲劳时糖原的含量明显下降,而非运动腿的糖原基本不变,且运动时间越长,疲劳症状越明显,糖原消耗越多。肌肉大负荷运动后,肌纤维激活程度持续增强,出现局部肌肉痉挛,肌纤维中的微血管因肌纤维痉挛而受到挤压以至局部肌肉缺血,导致疼痛物质释放积累,进一步刺激疼痛神经末梢,加剧肌肉痉挛和局部缺血,形成恶性循环,抑制肌肉力量输出,出现肌力的延迟性下降^[17]。肌肉出现运动性疲劳后,自身静力收缩时产生的最大爆发力及维持最大力量的能力均有所下降,伴随而来的是肌肉 PT、TW 的同样下降^[2]。

研究发现 DMS 与拉伸均可有效改善肌肉功能,促进疲劳恢复,提高肌肉力量及功能。尤其是在运动后 24 h 和 48 h,PT 和 TW 得到明显改善,RPE 得到提升,DMS 组对肌肉功能和疲劳恢复速度更快,这充分说明 DMS 治疗对下肢肌肉运动性疲劳具有显著疗效。

DMS 通过机械震动来改善肌肉周围血液循环,反复刺激降低神经兴奋性,从而降低肌肉张力。DMS 特定频率的振动刺激神经反射和本体感觉反馈,提高肌梭敏感性和 γ 神经元的敏感性^[25-27],促使肌肉对运动单位募集增加和神经肌肉的易化,降低肌肉张力,缓解肌肉痉挛,促进肌肉恢复至最佳初长度^[28]。张志杰等^[29]通过实验研究发现,使用 DMS 可以有效降低小腿三头肌肌张力,缓解肌肉僵硬、恢复肌肉弹性。韩秀兰等^[8]研究发现 DMS 干预可以迅速缓解运动后疲劳,加快体力恢复。

肌肉酸痛会限制肌肉表现,DMS 可通过高频振动刺激神经系统感觉通路,减少痛觉信号的传导,减轻肌肉酸痛^[30]。本研究显示,VAS 与 PT 每个时间段均具有相关性,可能由于肌肉疼痛减轻后,疼痛物质减少痛觉神经刺激,提高肌肉力量恢复。

拉伸是在一段时间内对肌肉进行被动且缓慢的牵拉以至到达可忍受的最大长度。拉伸可以将紊乱的肌纤维进行重新梳理及排列,促使微小损伤的肌纤维修复,还可以促进局部血液循环,加快清除代谢物质,缓解肌肉粘连降低肌张力,达到放松肌肉的目的。拉伸刺激肌肉中感受肌肉长度变化的肌梭,引起中枢兴奋,缓解肌肉痉挛^[10];拉伸可感知张力变化的高尔基腱器官,发出的神经信号通过 I b 类纤维传

导至 α 运动神经元,使肌张力降低,达到肌肉放松的效果^[31]。

4 结论与建议

DMS 较拉伸而言,可以更快恢复肌肉功能、减轻疼痛感、缓解疲劳,缩短身体不适的持续时间,加速体力恢复,促使肌肉恢复至最佳状态。

本研究仍存在部分局限。首先,研究仅为单盲设计且未增加空白对照组,不可排除受试者存在对 DMS 的有心理安慰剂效应;其次,实验测试时间点以及受试者人数相对较少。因此,未来研究应严格遵循双盲、随机对照设计,且测试时间段应增加至 96 h 并增加受试者人数。

参考文献:

- [1] GREEN H J. Membrane excitability, weakness, and fatigue[J]. Canadian Journal of Applied Physiology, 2004, 29(3): 291-307.
- [2] 廖远朋,于万良.泡沫轴练习对运动性肌肉疲劳恢复过程中肌肉功能的影响[J].中国运动医学杂志,2017, 36(8):718-721,711.
- [3] 周振茂,齐丰收.运动性疲劳发生机制与恢复[J].池州学院学报,2021,35(3):97-100.
- [4] HILL K, CECINS N M, EASTWOOD P R, et al. Inspiratory muscle training for patients with chronic obstructive pulmonary disease: A practical guide for clinicians [J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2010, 91(9): 1466-1470.
- [5] 马建,张世明,刘波,等.DOMS 的国内外研究近况[J].成都体育学院学报,1999,25(4):61-65.
- [6] SAYERS S P, KNIGHT C A, CLARKSON P M, et al. Effect of ketoprofen on muscle function and sEMG activity after eccentric exercise[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2001, 33(5):702-710.
- [7] 胡精超,马丽华,史清钊,等.不同推拿手法对延迟性肌肉疼痛的治疗作用[J].中国康复医学杂志,2010,25(3): 265-267.
- [8] 韩秀兰,许轶,田潇飞,等.深部肌肉刺激疗法对延迟性肌肉酸痛的疗效研究[J].中国康复医学杂志,2015,30(11):1144-1147.
- [9] ROALD M, ARNI A, TOR Ø, et al. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2004, 14(5): 311-317.
- [10] 夏雨,廖远朋.泡沫轴练习与静态牵拉对运动性肌肉



- 疲劳影响的比较研究[J].成都体育学院学报,2019,45(5):122-126.
- [11] MAFFIULETTI N A, BIZZINI M, DESBROSSES K, et al. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer[J]. Clinical Physiology and Functional Imaging, 2007, 27(6): 346-353.
- [12] 刘万志,刘丰彬.等速肌力测试系统在体育运动实践中的应用[J].大连大学学报,2020,41(3):80-85.
- [13] 万康.红光照射对肘关节等速肌力及运动后疲劳恢复的影响研究[D].武汉:武汉体育学院,2013.
- [14] BORG G. Perceived exertion and pain scales [M]. Champaign: Human Kinetics, 1998.
- [15] 余波,冯能,祁奇,等.肌肉贴短期缓解膝关节骨性关节炎症状的疗效研究[J].中国康复医学杂志,2012,27(1):56-58.
- [16] HOUGH T. Ergographic studies in muscular soreness [J]. Boston Society of Medical Sciences, 1900, 5 (3): 81-92.
- [17] 魏建设,金文泉.运动性延迟性肌肉酸痛机制研究进展综述[J].成都体育学院学报,1997,23(2):75-80.
- [18] 田野,王义润,杨锡让,等.运动性骨骼肌结构、机能变化的机制研究—II.力竭运动对线粒体钙代谢水平的影响[J].中国运动医学杂志,1993,12(1):31-33.
- [19] ARMSTRONG R B, OGILVIE R W, SCHWANE J A. Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle [J]. Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology, 1983, 54(1):80-93.
- [20] CALABRESE E, HICKEY P, HULETTE C, et al. Post-mortem diffusion MRI of the human brainstem and thalamus for deep brain stimulator electrode localization[J]. Human Brain Mapping, 2015, 36(8):3167-3178.
- [21] RAJAN S, DEOGAONKAR M, KAW R, et al. Factors predicting incremental administration of antihypertensive boluses during deep brain stimulator placement for Parkinson's disease[J]. Journal of Clinical Neuroscience, 2014, 21(10): 1790-1795.
- [22] CORDASCO F A, CHEN N C, BACKUS S I, et al. Subacromial injection improves deltoid firing in subjects with large rotator cuff tears[J]. HSS J, 2010, 6(1): 30-36.
- [23] PADDON-JONES D J, QUIGLEY B M. Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise[J]. International Journal of Sports Medicine, 1997, 18(8): 588-593.
- [24] 汪军,周越,孙君志,等.质疑与思考:运动生理学研究的十个问题[J].成都体育学院学报,2021,47(1):118-124.
- [25] 陆斌,赵晨光,孙玮,等.肌肉贴联合深部肌肉刺激对战士非特异性下腰痛的疗效研究[J].安徽医药,2021, 25(10):1981-1984.
- [26] PRISBY R D, LAFAGE-PROUST M H, MALAVAL L, et al. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: What we know and what we need to know[J]. Ageing Research Reviews, 2008, 7(4): 319-329.
- [27] EBERSBACH G, EDLER D, KAUFHOLD O, et al. Whole body vibration versus conventional physiotherapy to improve balance and gait in Parkinson's disease[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2008, 89(3): 399-403.
- [28] TUCKER J. Fascial release using the deep muscle stimulation to improve neck-shoulder pain[J]. The American Chiropractor, 2011, 33(8):72.
- [29] 张志杰,王季,洪文侠,等.深层肌肉刺激对小腿三头肌张力影响的短期效果[J].中国康复医学杂志,2016,31(11):1253-1254.
- [30] 钟国友.振动刺激附加肌肉贴治疗运动性膝关节延迟性肌肉酸痛[J].中国组织工程研究,2019,23(27): 4305-4309.
- [31] 汪啸.运用肌肉状态测试技术对两种肌肉放松方法放松效果的对比分析[J].福建体育科技,2016,35(1):23-26.

(责任编辑:刘畅)