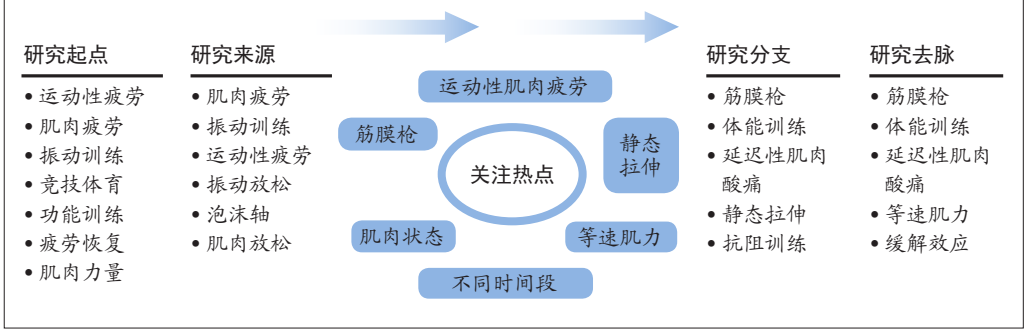
筋膜枪与拉伸放松改善运动性肌肉疲劳的比较

戴剑松[1]，辛东岭[1]，陈钢锐[2]

https://doi.org/10.12307/2023.899
投稿日期：2022-11-23
采用日期：2022-12-24
修回日期：2023-02-22
在线日期：2023-03-08
中图分类号：
R459.9；R318；R496
文章编号：
2095-4344(2024)02-00242-05
文献标识码：A

文章快速阅读： 筋膜枪与拉伸放松治疗运动性肌肉疲劳的评价



文题释义：
筋膜枪： 也称深层肌肉放松仪，是通过高频率冲击头对局部肌肉、筋膜等软组织进行放松的一种工具。
运动性肌肉疲劳： 是指大强度或剧烈运动后，机体产生肌肉力量下降、张力和硬度增加、肌纤维募集能力下降的现象。

摘要
背景： 利用科技手段促进运动后肌肉疲劳恢复的方法逐渐增多，如振动泡沫轴、筋膜枪放松、超低温冷疗等，其中筋膜枪放松在实践中已广泛使用，但是目前国内外对于筋膜枪的研究还较少。
目的： 比较筋膜枪、拉伸、筋膜枪+拉伸3种放松方式对运动性肌肉疲劳恢复过程中肌肉状态、肌肉力量的影响，为3种方法的实践应用提供科学依据。
方法： 40名大学生随机分为对照组(10名)、拉伸组(10名)、筋膜枪组(10名)、筋膜枪+拉伸组(10名)。所有受试者完成每组15次的腿屈伸训练，强度为60%1 RM，进行10组运动性疲劳造模，随后分别采用仰卧休息、静态拉伸、筋膜枪放松、筋膜枪+拉伸放松进行干预，且在训练前、训练后即刻、放松后即刻、运动后24 h及48 h进行肌肉状态、肌肉力量指标测试。
结果与结论： ①放松后即刻对照组、拉伸组的肌肉张力、动态硬度显著高于训练前($P < 0.01$)，筋膜枪、筋膜枪+拉伸组与训练前相比差异无显著性意义($P > 0.05$)；②训练后24 h对照组、筋膜枪组的峰力矩显著低于训练前($P < 0.01$)，拉伸组、筋膜枪+拉伸组24 h后与训练前比较差异无显著性意义($P > 0.05$)；③结果说明，筋膜枪能够即刻有效改善运动性疲劳的肌肉状态，拉伸能够促进运动性疲劳后肌肉力量在24 h内得到有效恢复，筋膜枪与拉伸结合的放松手段能够实现两种效果的叠加。
关键词： 筋膜枪；拉伸；肌肉力量；肌肉张力；肌肉硬度

Effects of fascia gun versus stretching on exercise-induced muscle fatigue

Dai Jiansong[1], Xin Dongling[1], Chen Gangrui[2]
[1]Department of Sports and Health, [2]Department of Competitive Sports, Nanjing Sport Institute, Nanjing 210004, Jiangsu Province, China
Dai Jiansong, Master, Associate professor, Department of Sports and Health, Nanjing Sport Institute, Nanjing 210004, Jiangsu Province, China

Abstract
BACKGROUND: There are increasing scientific and technological ways to promote the recovery of muscle fatigue after sports, such as vibrating foam shaft, fascia gun relaxation, and ultra-low temperature cold therapy. Fascia gun relaxation has been widely used in practice, but there is still relatively little research on fascial guns.
OBJECTIVE: To compare the effects of three relaxation methods (fascia gun, stretching, fascia gun+stretching) on muscle status and muscle strength during the recovery of exercise-induced muscle fatigue, and to provide scientific basis for the application of the three methods in practice.
METHODS: Forty college students were randomly divided into control group (n=10), stretching group (n=10), fascia gun group (n=10), and fascia gun+stretching group (n=10). All subjects completed leg flexion and extension training at 60%1 RM, 15 times per set, for 10 sets in total, to make exercise fatigue models. After modeling, the subjects were intervened with supine rest, static stretching, fascia gun relaxation, fascia gun+stretching relaxation respectively. Muscle status and muscle strength indexes were tested before exercise, immediately after exercise, immediately after relaxation, 24 and 48 hours after exercise.
RESULTS AND CONCLUSION: The muscle tension and dynamic hardness of the control group and the stretching group immediately after relaxation were significantly higher than those before training ($P < 0.01$). However, there was no significant difference in the fascia gun group and fascia gun+stretching group before and after training ($P > 0.05$). At 24 hours after training, the peak torque of the control group and fascia gun group was significantly lower than that before training ($P < 0.01$), and there was no significant difference in the stretching group and fascia gun+stretching group before and 24 hours after training ($P > 0.05$). To conclude, the fascia gun can immediately and effectively improve the muscle state of sports fatigue and stretching can promote the effective recovery

南京体育学院，[1]运动健康学院，[2]竞技体育研究院，江苏省南京市 210004
第一作者： 戴剑松，男，1978 年生，重庆市人，汉族，硕士，副教授，主要从事运动人体科学研究。
https://orcid.org/0000-0003-3999-2636(戴剑松)
基金项目： 国家体育总局科学健身指导内容项目 (2017B002)，项目负责人：戴剑松
引用本文： 戴剑松，辛东岭，陈钢锐 . 筋膜枪与拉伸放松改善运动性肌肉疲劳的比较 [J]. 中国组织工程研究，2024，28(2): 242-246.

of muscle strength within 24 hours after sports fatigue. Relaxation using fascia gun plus stretching can achieve the superposition of the two effects.
Key words: fascia gun; stretching; muscle strength; muscle tension; muscle hardness

Funding: *Scientific Fitness Guidance Content Project of National Administration of Sports, China, No. 2017B002 (to DJS)*
How to cite this article: *DAI JS, XIN DL, CHEN GR. Effects of fascia gun versus stretching on exercise-induced muscle fatigue. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2024;28(2):242-246.*

0 引言 Introduction

运动性肌肉疲劳如何有效快速地缓解是运动训练领域研究的热点问题[1-2]。及时、快速、有效消除运动性肌肉疲劳，有助于身体能力、运动能力的快速恢复，确保运动训练高质量实施，同时能够有效降低运动损伤的风险。随着大量学者和权威专家对神经、肌肉和筋膜等组织产生疲劳的机制及放松方法不断深入研究，利用科技手段促进运动后肌肉疲劳恢复的方法逐渐增多，如振动泡沫轴、筋膜枪放松、超低温冷疗等[3-5]，其中筋膜枪放松在实践中已广泛使用。2020 年 3•15 晚会上公布的数据显示，筋膜枪在近期销售增加 20 多倍，说明筋膜枪受到广大健身爱好者的追捧。但是目前国内外对于筋膜枪的研究还未展开，筋膜枪放松与静态拉伸放松效果的比较研究目前较少。该研究旨在通过试验研究了解筋膜枪放松对肌肉疲劳的干预效果，探究筋膜枪放松、静态拉伸、筋膜枪 + 静态拉伸对运动性肌肉疲劳的作用，为 3 种方法在实践中运用及研究提供参考。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 随机分组对照观察。

1.2 时间及地点 试验于 2022 年 2−6 月在南京体育学院运动训练与康复实验室完成。

1.3 对象 选取 40 名男性大学生，年龄 18−26 岁，身体状况良好，测试前 24 h 内未摄入乙醇及参加剧烈运动等。随机将 40 名受试者分为 4 组：对照组 (10 名)、拉伸组 (10 名)、筋膜枪组 (10 名)、筋膜枪 + 拉伸组 (10 名)。采用随机数字表法进行随机分组：①拟定 40 个受试者的序号，分别代表第 1 个人、第 2 个人……第 40 个人；②采用随机数字表法产生随机数字；③按随机数字顺序连续取 4 次 10 人作为一组，将受试者分为 4 组。试验未采用盲法评估。在试验前征得受试者的同意，并对测试内容进行详细解释，培训受试者使其熟练掌握拉伸、筋膜枪的操作方法。保证试验结果和数据真实有效，并签署“知情同意书”。

该研究方案的实施符合《赫尔辛基宣言》和南京体育学院伦理委员会对研究的相关伦理要求 (伦理批件号：RT-2021-09，审批时间：2021 年 12 月 12 日)。

1.4 方法

1.4.1 试验条件及步骤 试验前 1 周收集每位受试者的身高、体质量、体质量指数以及最大腿屈伸 1 RM 负荷等基本数据。每位受试者热身后，依次采用 10，20，30 kg 3 种负荷强度进行反复腿屈伸至力竭。记录 3 种不同负荷下所能完成的最大次数，再利用 Brzycki 公式计算出最大负荷[4]。

1RM(最大负荷)≈ω/1.027 8−(0.027 8×γ)

ω：指腿屈伸时负荷质量；γ：指在不同负荷下所进行的最大屈伸次数。

正式试验中，首先让受试者进行股四头肌肌肉状态和肌力指标测定，然后受试者休息 10 min，休息后完成每组 15 次的腿屈伸训练，强度为 60%1RM，进行 10 组的运动性疲劳造模。疲劳造模后即刻进行肌肉指标测定，然后受试者接受不同手段肌肉放松干预，在干预后即刻、24 h 和 48 h 时再次进行指标的测定。

1.4.2 肌肉疲劳造模 运动性肌肉疲劳造模参考 MACDONALD 等[6] 与 PEARCEY 等[7] 采用泡沫轴对下肢运动性疲劳恢复的影响的设计方案，结合预试验的测试结果，确定腿屈伸力量 60% 1RM 作为标准运动强度。1RM 测试结束后休息 10 min，进行 15 次 ×10 组腿屈伸负荷训练，组间休息 2 min。腿屈伸动作模式应伸膝两三秒、屈膝两三秒，且膝关节屈伸幅度完整。

1.4.3 肌肉疲劳放松干预手段

对照组：仰卧于按摩床上休息 10 min，不施加任何干预手段。

拉伸组：受试者仰卧于按摩床上，一侧大小腿屈膝折叠进行自主拉伸，通过调整按摩床背角度使保持拉伸感且伴轻微疼痛 (以目测类比评分作为参考，疼痛值 1−3 分)[8-9]，左右腿交替进行拉伸放松，每组拉伸 30 s，共计 3 组，间歇 15 s[10-11]。

筋膜枪组：放松时采用 Hypervolt 筋膜枪 (美国，HYPERICE 的产品)，球型枪头，选择中档，振动频率为 40 Hz。受试者自主进行筋膜枪放松，使用方法：筋膜枪垂直于肌肉表面，适当的按压力度并缓慢上下移动，均匀地放松肌肉；目标肌肉：股直头肌、股内侧肌、股外侧肌；放松时产生轻微疼痛 (以目测类比评分作为参考，疼痛值 1−3 分)[8-9]；放松时间：左右腿各持续放松 5 min，总用时 10 min[12]。

筋膜枪 + 拉伸组：先使用筋膜枪对左右腿 (目标肌肉：股直头肌、股内侧肌、股外侧肌) 各放松 2.5 min，共计 5 min。再进行拉伸放松，左右腿交替拉伸，每组拉伸 30 s，共计 3 组，间歇 15 s。拉伸与筋膜枪放松时产生轻微疼痛 (以目测类比评分作为参考，疼痛值 1−3 分)[8-9]。

1.4.4 试验指标的选取及测定 肌肉状态、肌肉力量指标测试安排分别在训练前、训练后即刻、放松后即刻、训练后 24，28 h 等 5 个时间点，为避免肌肉力量测试对肌肉状态产生影响，每个时间点的测试先进行肌肉状态测试，其次进行肌肉力量测试。

(1) 肌肉功能状态：测试设备是由爱沙尼亚 Myoton 公司与欧洲航空航天中心联合打造的肌肉数字化功能评估系统 −MyotonPro，在康复医学和运动等领域使用较为广泛，能够提供非常有价值的肌肉物理状态信息[13-14]。MyotonPro 评

估出的相关肌肉状态指标与肌肉疲劳呈高度相关性[15]。研究选定肌肉张力、动态硬度作为肌肉状态指标，反映肌肉运动性疲劳程度。肌肉张力，是指肌肉处于放松状态下的肌肉内部压力，张力越大表示肌肉疲劳程度越高[16]。动态硬度，是指肌肉受到外力时，肌肉对抗外力的能力，其硬度越大疲劳程度越高[17]。

(2) 等速肌力：测试采用美国 Biodex S4 多关节等速力量测试仪器，该仪器在运动训练、运动康复领域使用较为广泛，可以对人体上肢、下肢和躯干各关节进行标准化的测试和训练[18-19]。此次研究等速肌力测试方法为膝关节伸，向心收缩，双侧，角速度 60 (°)/s，运动范围 80°–160°，重复 3 次取最大值。

1.5 主要观察指标 各组受试者训练前后肌肉张力、肌肉硬度及等速肌力指标变化。

1.6 统计学分析 所采集数据采用 $\bar{x}\pm s$ 来表示。使用 JMP 统计软件对所采集的数据进行统计分析，采用多元方差重复测量分析比较各组肌肉张力、肌肉硬度、峰力矩、输出功率与时间的交互效应；采用单因素方差分析进行组内 5 个不同时间点的比较，有统计学意义选取 $P < 0.05$，有显著统计学意义选取 $P < 0.01$[10, 20]。文章统计学方法已经南京体育学院生物统计学专家审核。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 试验纳入 40 名大学生，分为 4 组，试验过程中无脱落，全部进入结果分析。

2.2 基线资料比较 4 组受试者年龄、身高、体质量、体质量指数比较均差异无显著性意义 ($P > 0.05$)，见**表 1**。受试者分组流程图见**图 1**。

表 1 | 受试者基本信息 ($\bar{x}\pm s$，n=10)
Table 1 | Basic information of the subjects

组别	年龄 (岁)	身高 (m)	体质量 (kg)	体质量指数 (kg/m^2)
对照组	18.80±1.03	1.74±0.06	64.18±7.77	21.20±2.09
拉伸组	19.60±0.84	1.74±0.08	69.00±9.30	21.93±1.96
筋膜枪组	18.70±1.06	1.77±0.04	64.10±8.36	20.39±2.31
筋膜枪 + 拉伸组	18.70±0.95	1.78±0.04	67.80±6.27	21.47±2.36
P 值	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05

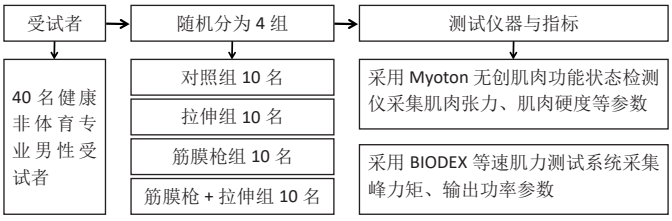


图 1 | 受试者分组流程图
Figure 1 | Flow chart of subject grouping

2.3 训练后即刻肌肉状态、肌肉力量变化 采用单因素方差分析进行组内比较，运动性肌肉疲劳造模后 4 组受试者的股外侧肌、股内侧肌、股直肌的肌张力、动态硬度在训练后显著高于训练前 ($P < 0.01$)，见**表 2**，**3**；峰力矩值、输出功率显著低于训练前 ($P < 0.01$)，见**表 4**，**5**。

表 2 | 各组受试者肌肉张力的变化 ($\bar{x}\pm s$，n=10，Hz)
Table 2 | Changes in muscle tension of the subjects

部位	组别	训练前	训练后即刻	放松后即刻	训练后 24 h	训练后 48 h
股内侧肌	对照组	13.73±1.58	15.62±1.92^b	14.37±1.80^b	13.37±0.79^c	13.75±1.48
	筋膜枪组	13.70±1.23	15.32±1.53^b	13.93±1.04	13.15±0.72^d	13.28±0.74^c
	拉伸组	13.38±0.92	14.89±1.12^b	14.04±0.80^b	13.37±0.64^d	13.57±0.67
	筋膜枪 + 拉伸组	13.40±0.82	14.72±1.13^b	13.58±0.97	13.73±1.07	13.74±1.10
股直肌	对照组	14.28±0.66	15.70±1.46^b	14.41±0.84	14.41±0.77	14.28±0.97
	筋膜枪组	14.56±1.12	15.58±1.50^b	14.24±1.11	14.26±1.18	14.26±1.22
	拉伸组	14.37±0.55	15.42±0.82^b	14.56±0.70	14.06±0.85	14.21±0.71
	筋膜枪 + 拉伸组	14.37±0.85	15.26±1.35^b	14.27±1.20	14.57±0.93	14.26±0.94^e
股外侧肌	对照组	15.26±1.86	18.47±1.93^b	16.41±1.83^a	15.25±1.29^c	15.16±1.57^d
	筋膜枪组	14.96±1.15	17.98±1.67^b	15.40±1.13	14.26±0.80^d	14.35±0.93^c
	拉伸组	15.84±2.39	18.97±2.40^b	17.04±2.31^b	15.71±2.12^d	15.58±1.71^d
	筋膜枪 + 拉伸组	15.42±1.28	18.27±1.85^b	15.60±1.41	15.62±1.51	15.15±1.35

表注：与训练前比较，$^aP < 0.05$，$^bP < 0.01$；与放松后即刻比较，$^cP < 0.05$，$^dP < 0.01$；与训练后 24 h 比较，$^eP < 0.05$

表 3 | 各组受试者肌肉动态硬度的变化 ($\bar{x}\pm s$，n=10，N/m)
Table 3 | Changes in dynamic muscle hardness of the subjects

部位	组别	训练前	训练后即刻	放松后即刻	训练后 24 h	训练后 48 h
股直肌	对照组	241.45±19.66	278.50±42.75^a	245.55±22.38	247.35±24.07	246.10±25.83
	筋膜枪组	235.60±33.90	265.70±45.56^a	228.90±32.21	227.35±34.74	228.95±34.36
	拉伸组	240.70±16.99	267.75±29.52^a	244.50±20.04	239.45±20.86	240.70±21.47
	筋膜枪 + 拉伸组	233.35±32.28	258.45±42.24^a	230.55±36.57	241.10±30.24^b	233.45±28.29
股内侧肌	对照组	232.80±30.38	276.55±43.44^a	249.00±34.39^a	231.70±22.70^c	240.00±31.84
	筋膜枪组	227.20±28.47	260.45±46.96^a	232.05±22.60	220.55±18.15^b	224.35±16.93
	拉伸组	224.80±21.55	263.60±33.21^a	243.55±20.87^a	226.95±12.34^c	230.40±17.31^b
	筋膜枪 + 拉伸组	231.65±19.30	255.95±28.35^a	232.85±24.22	240.85±25.30	239.20±22.83
股外侧肌	对照组	278.90±49.38	350.05±53.26^a	298.80±44.55^a	280.95±36.13^b	280.30±44.34^c
	筋膜枪组	269.70±27.90	340.60±41.63^a	278.65±31.78	257.30±21.31^b	261.65±21.05
	拉伸组	307.80±67.20	383.75±83.25^a	331.30±71.20^a	299.55±67.01^b	296.35±49.82^c
	筋膜枪 + 拉伸组	283.10±29.52	363.35±56.56^a	290.20±31.60	292.60±39.58	279.30±34.33^d

表注：与训练前比较，$^aP < 0.05$；与放松后即刻比较，$^bP < 0.05$，$^cP < 0.01$；与训练后 24 h 比较，$^dP < 0.05$

表 4 | 受试者峰力矩的变化 ($\bar{x}\pm s$，n=10，N·m)
Table 4 | Changes in peak torque of the subjects

组别	训练前	训练后即刻	放松后即刻	训练后 24 h	训练后 48 h
对照组	177.14±25.65	128.87±32.12^b	144.88±29.00^b	161.99±25.11^b	162.11±22.93^b
筋膜枪组	191.75±39.15	139.57±33.67^b	166.40±33.62^b	176.68±36.58^b	188.60±49.30^c
拉伸组	179.24±32.86	132.44±33.33^b	151.41±40.51^b	168.05±32.23^c	178.69±32.35^{de}
筋膜枪 + 拉伸组	199.92±42.21	145.89±34.34^b	162.16±35.32^a	186.45±36.31^c	184.85±35.82^c

表注：与训练前比较，$^aP < 0.05$，$^bP < 0.01$；与放松后即刻比较，$^cP < 0.05$，$^dP < 0.01$；与训练后 24 h 比较，$^eP < 0.05$

表 5 | 受试者输出功率的变化 ($\bar{x}\pm s$，n=10，W)
Table 5 | Changes in output power of the subjects

组别	训练前	训练后即刻	放松后即刻	训练后 24 h	训练后 48 h
对照组	196.2±32.18	152.38±37.19^b	170.79±33.53^b	184.72±31.23^a	184.94±27.02^a
筋膜枪组	214.29±43.79	166.32±40.06^b	196.66±37.63^b	208.87±33.55	213.28±40.04^c
拉伸组	205.2±47.64	151.6±37.66^b	172.96±50.12^b	192.18±44.89^c	206.38±49.26^{de}
筋膜枪 + 拉伸组	226.72±46.04	169.01±34.74^b	190.28±37.37^a	215.85±37.85^c	213.9±35.02

表注：与训练前比较，$^aP < 0.05$，$^bP < 0.01$；与放松后即刻比较，$^cP < 0.05$，$^dP < 0.01$；与训练后 24 h 比较，$^eP < 0.05$

2.4 肌肉张力的变化 经多元方差重复测量分析，股外侧肌、股中间肌、股内侧肌的张力与时间的交互效应具有高度统计

学意义 ($P < 0.01$)。放松后即刻，对照组、拉伸组的股外侧肌、股内侧肌张力显著高于训练前 ($P < 0.01$)，筋膜枪组、筋膜枪 + 拉伸组的股外侧肌、股内侧肌张力与训练前相比差异无显著性意义 ($P > 0.05$)；训练后 24 h，对照组、拉伸组、筋膜枪组的股外侧肌、股内侧肌张力显著低于放松后即刻 ($P < 0.05$)；训练后 24，48 h，4 组与训练前相比均差异无显著性意义 ($P > 0.05$)，见表 2。

2.5 肌肉动态硬度的变化 经多元方差重复测量分析，股外侧肌、股中间肌、股内侧肌的动态硬度与时间的交互效应具有高度统计学意义 ($P < 0.01$)。放松后即刻，对照组、拉伸组的股外侧肌、股内侧肌动态硬度显著高于训练前 ($P < 0.01$)，筋膜枪组、筋膜枪 + 拉伸组的股外侧肌动态硬度与训练前相比差异无显著性意义 ($P > 0.05$)；训练后 24 h，对照组、拉伸组、筋膜枪组的股外侧肌、股内侧肌动态硬度显著低于放松后即刻 ($P < 0.05$)；训练后 24，48 h，4 组与训练前相比均差异无显著性意义 ($P > 0.05$)，见表 3。

2.6 等速肌力指标 经多元方差重复测量分析，各组间的峰力矩、输出功率与时间的交互效应具有高度统计学意义 ($P < 0.01$)。采用单因素方差分析进行组内比较，4 组的峰力矩放松后即刻均显著低于训练前 ($P < 0.01$)，训练后 24 h 对照组、筋膜枪组的峰力矩显著低于训练前 ($P < 0.01$)，拉伸组、筋膜枪 + 拉伸组训练后 24 h 与训练前比较差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。4 组的输出功率，放松后即刻显著低于训练前 ($P < 0.01$)，对照组训练后 24，48 h 与训练前比较差异均有显著性意义 ($P < 0.05$)，拉伸组、筋膜枪组、筋膜枪 + 拉伸组训练后 24，48 h 后与训练前比较均差异无显著性意义 ($P > 0.05$)，见表 4，5。

2.7 不良事件 参与试验的所有受试者在训练和放松过程中，均未发生肌肉损伤，使用筋膜枪后也未发生拉伤等不良事件。

3 讨论 Discussion

3.1 不同干预手段对运动性疲劳后肌肉张力、肌肉硬度的变化分析 肌肉力量下降是肌肉疲劳的显著特征，同时肌肉张力、肌肉硬度的变化也是评判运动性肌肉疲劳的重要指标。在 15 次×10 组 60%1 RM 的负重腿屈伸后股外侧肌、股中间肌、股内侧肌的肌张力、动态硬度均显著提升，峰力值、输出功率显著下降，表明此次研究运动性肌肉疲劳造模成功。对照组、拉伸组在放松后即刻肌肉状态未得到有效恢复 ($P < 0.05$)，24 h 后肌肉状态恢复到了训练前水平 ($P > 0.05$)；筋膜枪组、筋膜枪 + 拉伸组在放松后即刻，肌肉张力、动态硬度明显降低 ($P < 0.05$)，并恢复至训练前水平 ($P > 0.05$)。结果表明采用筋膜枪、筋膜枪 + 拉伸的放松方法具有即刻改善运动后肌肉疲劳的肌肉状态效果，然而拉伸方法并未即刻有效地实现运动性肌肉疲劳后肌肉状态的恢复。

KONRAD 等 [12] 采用 Hypervolt 筋膜枪对小腿肌肉进行持续 5 min 治疗，发现能够改善踝关节的背屈活动度，降低肌肉张力和肌肉硬度。不同放松方法对于改善肌肉张力和肌肉硬度的研究结果发现，采用水平全身振动训练 [21]、本体感觉神经肌肉促进疗法 (PNF) [22]、按摩手法和电刺激疗法分别对目标肌肉进行干预 [23]，对于降低下肢肌肉张力、肌肉硬度、实现肌肉疲劳的快速恢复具有积极作用。但其生理机制也存在差异，运动性疲劳后采用按摩、拉伸手法处理后，血液循环加快，促进肌肉酸性物质的代谢，同时增加肌肉内部微循环，促使肌肉在短时间内获得充足的营养物质，加快运动产生微损伤的肌纤维与筋膜的修复 [24]。振动性训练干预后胶状物质组成的肌筋膜在受到热和机械应力时会转变成流体形式，提升细胞膜对代谢物质的通透性 [25]。同时高频次的振动能够更好运用交互抑制的原理，充分刺激肌肉高尔基腱器 (GTO) 兴奋，减少肌肉的收缩程度，从而降低肌张力 [26]。筋膜枪的使用是通过高频的冲击枪头对局部肌肉进行持续的按压，因此筋膜枪的放松是高频次的振动以及局部持续按压的双重作用效应。枪头的高频震动刺激肌肉本体感受器兴奋，提升细胞膜对代谢物质的通透性，加快酸性物质的代谢，同时高频振动和局部按压提升高尔基腱感受器兴奋性，抑制肌梭感受器的兴奋性，从而达到改善肌肉硬度、降低肌肉张力的效果。拉伸练习通过改变肌肉长度，刺激肌梭感受器的兴奋性，抑制高尔基腱感受器兴奋性，从而实现降低肌肉张力、恢复肌肉功能性长度的效果 [27]。所以筋膜枪与拉伸相结合的放松方式，是振动练习、按摩、拉伸 3 种作用的叠加效果，能够在放松后即刻降低肌肉张力和肌肉硬度，加快运动性肌肉疲劳的恢复。

3.2 不同干预手段对运动性疲劳后肌肉力量的变化分析 在完成运动性肌肉疲劳造模后，肌肉向心收缩中的峰力矩及输出功率出现明显下降 ($P < 0.01$)，24 h 后拉伸组、筋膜枪 + 拉伸组的峰力矩与训练前无统计学差异 ($P > 0.05$)，48 h 后筋膜枪组与训练前无显著性差异 ($P > 0.05$)，对照组依然显著低于训练前水平 ($P < 0.05$)。其结果表明在无任何放松干预情况下，运动性肌肉疲劳的力量素质 48 h 未得到有效恢复；单纯的使用筋膜枪放松，48 h 后运动性肌肉疲劳的力量素质得到有效恢复；拉伸、筋膜枪结合拉伸的方法 24 h 就能够有效促进力量素质的恢复，与前人研究结果一致。GHASEMI 等 [28] 通过对女子篮球运动员在运动后进行静态拉伸，发现静态拉伸后峰值力矩显著提升。筋膜枪放松的作用机制和振动训练相似，都是通过振动的形式，促进血液循环和淋巴液流动，进而使疲劳组织加快修复和重生。有研究表明，振动训练能够有效刺激高尔基腱器官，使其向脊髓发出信号来维持肌肉张力，达到肌肉疲劳恢复的效果 [29]。同时振动训练能够提升中枢神经系统的兴奋性，增强支配肌肉神经元的放电频率和同步化程度，动员更多的运动单位参与运动 [30-31]，激活肌肉中的本体感受器，尤其是激活大量肌梭 Ia 传入肌纤维的兴奋性，运动单位动员能力更强，从而达到增加肌力的效果 [32]。针对不同运动能力的研究结果显示，高频次的振动训练能够提升爆发力、反应速度、灵敏能力 [33-34]。POJSKIC[35] 通过对橄榄球运动员纵跳、15 m 冲刺测试评估，发现振动训练能够有效提升反纵跳高度和冲刺速度。同时振动训练在缓解运动后延迟性肌肉疼痛具有积极作用，振动训练加速血液循环，促进酸

性物质和致痛物质的排泄，并且在运动后 24 h 内降低了乳酸脱氢酶的水平，从而达到了减轻运动后肌肉延迟性疼痛的效果[36]。以上生化反应和生理功能的改善并非在放松后即刻产生反应，而是需要一定时间的延迟效应才能达到显著效果。在拉伸结合筋膜枪双重作用下，肌肉的状态及功能长度能够得到有效的改善，加快机体血液循环，促进代谢物质的排出，加快了运动后 24 h 肌肉力量的恢复。

此次研究通过无干预、拉伸、筋膜枪、拉伸结合筋膜枪 4 种干预手段，对于运动后肌肉疲劳恢复过程中的肌肉张力、肌肉硬度及肌肉力量等生理指标进行探讨，有助于健身人群、专业运动员、物理治疗师、体能训练师等人群对于放松肌肉选择适合的手段与方法，从而实现针对性的恢复与康复效果。由于试验环境及条件所限，研究未进行肌肉表面肌电、肌酸激酶、血乳酸、乳酸脱氢酶等生理生化指标的测试，这也是此项研究的局限性所在。在未来的研究中，需要对筋膜枪放松肌肉的机制以及生理生化指标内在联系进行更深入的研究，丰富此方面的理论基础。

结论与建议：①大强度训练产生的运动性肌肉疲劳，在无任何手段的干预下，肌肉状态恢复需要 24 h，肌肉力量恢复至少需要 48 h；②筋膜枪放松能够有效快速降低运动性疲劳的肌肉张力和硬度，拉伸放松能够有效促进运动性疲劳的肌肉力量在 24 h 内快速恢复；③筋膜枪与拉伸结合的放松方式既能够有效快速降低运动性疲劳的肌肉张力和硬度，同时可有效促进运动性疲劳的肌肉力量在 24 h 内快速恢复，因此建议大强度运动后采用筋膜枪和拉伸方法进行放松，能够有效并快速促进肌肉状态、力量的恢复。

作者贡献：第一作者戴剑松负责确定研究选题、设计思路、制定测试方案、文章审阅和修改，第二作者辛东岭负责实验实施、数据整理，第三作者陈钢锐负责初稿撰写、数据统计分析。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

前瞻性临床研究数据开放获取声明：文章作者同意：①可以在一定范围内开放研究参与者去标识的个体数据；②可以在一定范围内开放共享文章报告结果部分的去标识个体基础数据，包括正文、表、图及附件；③可以在一些情况下开放研究方案和知情同意书等相关文档；④全文开放获取数据的时间是从文章出版后即刻，并无终止日期。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名－非商业性使用－相同方式共享 4.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献，并为之建立索引，用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让：文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范：文章撰写遵守了《随机对照临床试验研究报告指南》(CONSORT 指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。文章经小同行外审专家双盲外审，同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

[1] REILLY T, EKBLOM B. The use of recovery methods post- exercise. J Sports Sci. 2005;23(6):619-627.
[2] DAVIS HL, ALABED S, CHICO TJA. Effect of sports massage on performance and recovery: a systematic review and meta-analysis. BMJ Open Sport Exerc Med. 2020;6(1):e000614.
[3] 黄浩洁 , 于成 , 赵焕彬 . 泡沫轴滚动对改善成年男性大腿后肌群柔韧性的效用研究 [J]. 体育科学 ,2016,36(5):46-53.
[4] 瞿超艺，徐金成，赵杰修 . 超低温冷疗对延迟性肌肉酸痛的作用 —— 系统综述 [J]. 中国运动医学杂志 ,2016,35(8):754-769.
[5] CULLEN ML, CASAZZA GA, DAVIS BA. Passive Recovery Strategies after Exercise: A Narrative Literature Review of the Current Evidence. Curr Sports Med Rep. 2021;20(7):351-358.
[6] MACDONALD GZ, BUTTON DC, DRINKWATER EJ, et al. Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. Med Sci Sports Exerc. 2014;1(46):131-142.
[7] PEARCEY GE, BRADBURY-SQUIRES DJ, KAWAMOTO JE, et al. Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures. J Athl Train. 2015;1(50):5-13.
[8] TAKANOBU O．Acute effects of static VS．ballistic stretching on strength and musclar fatigue between ballet dancers and resistence-trained women. J Strength Cond Res. 2016;30(11):3220-3227.
[9] 陈方灿．运动拉伸实用手册 [M]. 北京 : 北京体育大学出版社 ,2008:91-92.
[10] 夏雨 , 廖远朋 . 泡沫轴练习与静态拉伸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] 黄浩洁 , 侯莉娟 , 刘晓莉 , 等 . 泡沫轴滚动和静态拉伸对成年男性下肢运动能力的急性影响 [J]. 北京体育大学学报 ,2020,43(2):14.
[12] KONRAD A, GLASHÜTTNER C, REINER MM, et al. The Acute Effects of a Percussive Massage Treatment with a Hypervolt Device on Plantar Flexor Muscles' Range of Motion and Performance. J Sports Sci Med. 2020;19(4):690-694.
[13] FENG YN, LI YP, LIU CL, et al. Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO. Sci Rep. 2018;8(1):17064.
[14] 温红梅 , 兰月 , 窦祖林 , 等 . Myoton-3 肌肉检测仪在健康成人肌张力测量中的评价者间信度 [J]. 中国康复理论与实践 ,2013,19(11):1058-1060.
[15] YEO SM, KANG H, AN S, et al. Mechanical Properties of Muscles around the Shoulder in Breast Cancer Patients: Intra-rater and Inter-rater Reliability of the MyotonPRO. PMcR. 2020;12(4):374-381.
[16] WANG JS. Therapeutic effects of massage and electrotherapy on muscle tone, stiffness and muscle contraction following gastrocnemius muscle fatigue. J Phys Ther Sci. 2017;29(1):144-147.
[17] BENSAMOUN SF, GLASER KJ, RINGLEB SI, et al. Rapid magnetic resonance elastography of muscle using one-dimensional projection. J Magn Reson Imaging. 2008;27(5):1083-1088.
[18] DE ARAUJO RIBEIRO ALVARES JB, RODRIGUES R, DE AZEVEDO FRANKE R, et al. Inter-machine reliability of the Biodex and Cybex isokinetic dynamometers for knee flexor/extensor isometric, concentric and eccentric tests. Phys Ther Sport. 2015;16(1):59-65.
[19] 王剑雄 , 周谋望 , 吴同绚 , 等 . 膝关节骨性关节炎患者髋外展肌等速肌力的研究 [J]. 中国康复医学杂志 ,2013,28(12):5.
[20] 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.
[21] SONG S, LEE K, JUNG S, et al. Effect of Horizontal Whole-Body Vibration Training on Trunk and Lower-Extremity Muscle Tone and Activation, Balance, and Gait in a Child with Cerebral Palsy. Am J Case Rep. 2018;19:1292-1300.
[22] WANG JS, LEE SB, MOON SH. The immediate effect of PNF pattern on muscle tone and muscle stiffness in chronic stroke patient. J Phys Ther Sci. 2016;28(3):967-970.
[23] WANG JS. Therapeutic effects of massage and electrotherapy on muscle tone, stiffness and muscle contraction following gastrocnemius muscle fatigue. J Phys Ther Sci. 2017;29(1):144-147.
[24] 赵华伟 , 戴剑松 , 顾忠科 , 等 . 基于新型无创测量技术研究不同形式力量训练对肌肉疲劳及恢复的影响 [J]. 南京体育学院学报 (自然科学版),2016,15(5):32-38.
[25] SOUZA A, SANCHOTENE CG, LOPES CMDS, et al. Acute Effect of 2 Self-Myofascial Release Protocols on Hip and Ankle Range of Motion. J Sport Rehabil. 2019;28(2):159-164.
[26] NAKAMURA M, KASAHARA K, YOSHIDA R, et al. Comparison of The Effect of High- and Low-Frequency Vibration Foam Rolling on The Quadriceps Muscle. J Sports Sci Med. 2022;21(3):376-382.
[27] AFONSO J, CLEMENTE FM, NAKAMURA FY, et al. The Effectiveness of Post-exercise Stretching in Short-Term and Delayed Recovery of Strength, Range of Motion and Delayed Onset Muscle Soreness: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Front Physiol. 2021;12:677581.
[28] GHASEMI M, BAGHERI H, OLYAEI G, et al.Effects of cyclic static stretch on fatigue recovery of triceps surae in female basketball players. Biol Sport. 2013;30(2):97-102.
[29] MOORE JC. The Golgi tendon organ: a review and update. Am J Occup Ther. 1984; 38:227-236.
[30] 周桂琴 . 振动训练对生理机制影响综述 [J]. 黄石理工学院学报 ,2011,27(5):49-53.
[31] 彭春政 , 危小焰 , 张晓韵 . 振动力量训练的机制和作用效果的研究进展 [J]. 西安体育学院学报 ,2002,19(3):45-48.
[32] 陈谦 . 振动训练国内外研究近况 [C]. 浙江省第十三届运动会体育科学论文报告会论文集 .2006.
[33] WANG Z, WEI Z, LI X, et al. Effect of whole-body vibration on neuromuscular activation and explosive power of lower limb: A systematic review and meta-analysis. PloS One. 2022;17(12):e0278637.
[34] WANG F, ZHANG Z, LI C, et al. Acute effects of vibration foam rolling and local vibration during warm-up on athletic performance in tennis players. PloS One. 2022;17(5):e0268515.
[35] POJSKIC HPJE. Acute effects of loaded whole body vibration training on performance. Asian J Sports Med. 2015;6(1):e24054.
[36] IMTIYAZ S, VEQAR Z, SHAREEF MY. To Compare the Effect of Vibration Therapy and Massage in Prevention of Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS). J Clin Diagn Res. 2014;8(1):133-136.

(责任编辑：WZH，ZN，WL，LCH)