

足外翻肌群激活练习：对拮抗肌弹性、张力及硬度的交互抑制效应

<https://doi.org/10.12307/2022.216>
郑沛¹, 邢新阳², 霍洪峰^{1,3}

投稿日期: 2020-12-16

送审日期: 2020-12-19

采用日期: 2021-01-23

在线日期: 2021-07-02

中图分类号:

R459.9; R496; R318

文章编号:

2095-4344(2022)08-01149-05

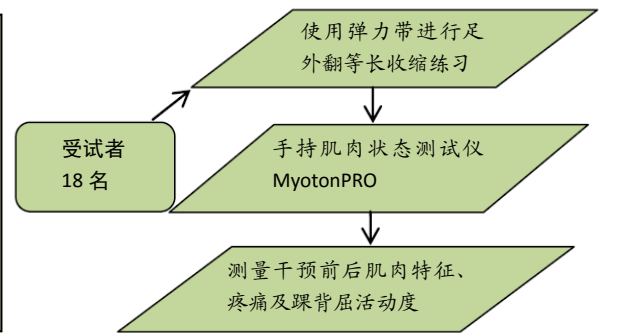
文献标识码: A

文章快速阅读:

文章特点—

△单纯对“闭锁缩短”肌群用牵伸或其他方式进行松解在足外翻治疗领域中有效果,但存在一定局限性;而通过对“闭锁缩短”肌群的拮抗肌进行激活是在局限性基础上一个创新;

△探究足外翻肌群激活练习后对拮抗肌产生的交互抑制效应。



文题释义:

交互抑制: 是当支配一肌肉的运动神经元受到传入冲动的兴奋,而支配其拮抗肌的神经元则受到这种冲动的抑制,此种生理活动现象称为交互抑制。

闭锁延长: “闭锁延长”与“闭锁缩短”这一组词语是对主动肌与拮抗肌状态的一种修饰,《解剖列车》P124中提到闭锁延长状态的肌肉通常是“哭闹”那块,有痛感或活性触发点,解决根源却在闭锁缩短的肌群;肌筋膜以张拉整体结构为载体,主动肌与拮抗肌之间存在筋膜间的力学联系,其产生机制较多但生理角度并不能全面对此名词进行解释。同时作者认为闭锁延长并不单纯等同于生理学中的肌紧张,为防止起止点过度延长而产生持续的收缩,体现在“交互抑制”效应当中发现其有放电现象而定义为增加了关节的稳定性;其状态以肌丝滑行理论进行分析更为直观。

摘要

背景: 足外翻激活练习是足踝康复领域重要的干预途径,在康复实践中广泛应用,但其对拮抗肌产生的交互抑制效应尚不明确。

目的: 探究足外翻肌群激活练习后对拮抗肌产生的交互抑制效应。

方法: 选择大学生自愿受试者18名。使用弹力带进行足外翻等长收缩练习,干预前后即刻采用手持肌肉状态测试仪MyotonPRO对标记区域肌肉弹性、张力及硬度进行测量,并进行疼痛、踝背屈活动度测定,对数据进行t检验分析处理。研究方案的实施符合河北师范大学的相关伦理要求,所有受试者均已签署知情同意书。

结果与结论: ①与干预前比较,干预后肌肉张力振荡频率值显著降低($P < 0.05$),硬度分值和肌肉弹性分值显著升高($P < 0.05$);压痛区域疼痛目测类比分显著降低($P < 0.05$);踝背屈活动度显著改善($P < 0.05$);②结果说明,足外翻激活干预即刻可降低肌肉张力及硬度,增强肌肉弹性,对改善运动疲劳、提升运动表现具有促进作用;通过交互抑制效应可降低疼痛分值,改善踝背屈活动度,对缓解疼痛症状、降低损伤风险具有潜在意义。

关键词: 交互抑制;拮抗肌;肌筋膜;肌肉特征;足外翻

Exercises for activating foot valgus muscle: reciprocal inhibitory effects on antagonistic muscle elasticity, tension and hardness

Zheng Pei¹, Xing Xinyang², Huo Hongfeng^{1,3}

¹College of Physical Education, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, Hebei Province, China; ²Hebei Sport University, Shijiazhuang 050024, Hebei Province, China; ³Hebei Provincial Key Laboratory of Human Movement Bioinformatics Evaluation, Shijiazhuang 050024, Hebei Province, China
Zheng Pei, Master candidate, Primary rehabilitative therapist, College of Physical Education, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, Hebei Province, China

Corresponding author: Huo Hongfeng, Master, Senior experimentalist, College of Physical Education, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, Hebei Province, China; Hebei Provincial Key Laboratory of Human Movement Bioinformatics Evaluation, Shijiazhuang 050024, Hebei Province, China

Abstract

BACKGROUND: Exercise for activating foot valgus muscle is an important intervention approach in the field of foot and ankle rehabilitation. It has been widely used in rehabilitation practice; however, its interactive effect on antagonist muscles is still unclear.

¹河北师范大学体育学院,河北省石家庄市 050024; ²河北体育学院,河北省石家庄市 050024; ³河北省人体运动生物信息测评重点实验室,河北省石家庄市 050024

第一作者: 郑沛,男,1993年生,河北省邯郸市人,汉族,河北师范大学在读硕士,初级康复治疗师,主要从事运动康复、运动生物力学研究。

通讯作者: 霍洪峰,硕士,高级实验师,河北师范大学体育学院,河北省石家庄市 050024;河北省人体运动生物信息测评重点实验室,河北省石家庄市 050024

<https://orcid.org/0000-0002-2345-2048> (郑沛)

引用本文: 郑沛, 邢新阳, 霍洪峰. 足外翻肌群激活练习: 对拮抗肌弹性、张力及硬度的交互抑制效应 [J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(8):1149-1153.



OBJECTIVE: To explore the reciprocal inhibitory effect of foot varus muscle activation exercise on antagonistic muscle.

METHODS: Eighteen college student volunteers were selected. The elastic band was used for the isometric exercises of foot eversion. Muscle elasticity, tension and hardness of the marked area were measured using MyotonPRO before and after the intervention, and pain intensity and ankle dorsiflexion activity were measured. The data were analyzed and processed by *t*-test. The implementation of the study protocol complied with the relevant ethical requirements of Hebei Normal University, and all subjects signed an informed consent form prior to the participation in the trial.

RESULTS AND CONCLUSION: After intervention, muscle tension oscillation frequency was significantly decreased ($P < 0.05$); the hardness score and muscle elasticity score were significantly increased ($P < 0.05$); the pain score in tenderness area was significantly lower ($P < 0.05$); and the dorsal malleolus flexion activity was significantly improved ($P < 0.05$). To conclude, foot varus activation exercises can immediately reduce muscle tension and hardness, enhance muscle elasticity, and improve exercise fatigue and performance. This reciprocal inhibitory intervention have a potential to reduce the pain score, improve ankle dorsiflexion range of motion, relieve pain, and reduce the risk of sports injury.

Key words: reciprocal inhibition; antagonistic muscle; myofascial; muscle characteristics; foot valgus

How to cite this article: ZHENG P, XING XY, HUO HF. Exercises for activating foot valgus muscle: reciprocal inhibitory effects on antagonistic muscle elasticity, tension and hardness. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu.* 2022;26(8):1149-1153.

0 引言 Introduction

利用交互抑制效应可弥补牵伸练习在实践应用中的不足,以筋膜理论为载体凸显其独特优势。在筋膜单元中,拮抗肌常以成对的方式分布在骨骼两侧,存在均衡或一定比例范围的肌力比,从而安全、高效地完成运动任务^[1-2]。保证运动的高效、准确必须以最佳肌长度-张力的关系、力偶关系和正确的关节运动为前提^[3],而当一侧肌群过度载荷外界负荷或长期处于兴奋状态时会呈现筋膜单元的“闭锁缩短”,另一侧则会以肌紧张的形式“闭锁延长”^[4]。同时,肌纤维的重复性收缩、直接损伤及慢性劳损均可以不同程度地激活筋膜触发点,又称为激痛点或扳机点,常以肌肉带状条索、局部易激惹^[5]、压痛及牵涉痛为表现^[6],造成肢体局部疼痛、关节功能受限和自主神经功能紊乱等症状^[7-8]。交互抑制可在主动肌完成收缩任务期间,使拮抗肌产生相对放松同时募集部分运动单位,将二者处于共收缩状态,完成收缩任务环节稳定及保护周围组织等功能^[9]。利用这一原理,此次研究对临床常见“闭锁缩短”肌群进行干预,通过对拮抗肌进行激活后,观察主动肌肌肉特征并量化干预效果。

然而,对“闭锁缩短”肌群压痛点进行触诊检查评估时,诊断结果易受个体主观性的影响,难以对获得的触觉信息进行细致分析及精确描述,造成诊断结果及分析上的偏差^[10-11]。因此,研究肌肉的特征变化需要科学有效、量化的监控方案。通过 Myoton 技术可对其进行量化分析^[12],弥补主观触诊检查时的不足,可在临床诊断与疗效判定上进行量化、精准的补充,旨在为康复目标的制定、计划的实施提供新思路。此文以足内外翻肌群为例,围绕交互抑制效应对腓骨肌群进行激活,通过 Myoton 技术对肌肉特征进行评价,观测疼痛及踝背屈活动度状态,分析干预后的即刻效应。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 自体前后对照观察,配对样本 *t* 检验分析。

1.2 时间及地点 试验于 2020 年 9-10 月在河北师范大学体育学院运动生物力学实验室完成。

1.3 对象 选取河北师范大学体育学院学生 18 人,男性和女性各 9 人,年龄 21-26 岁,身高 (173.6±6.7) cm、体质量 (65±9) kg。受试者年龄、身高、体质量差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。

纳入标准: 48 h 内无剧烈运动,胫后肌群紧张且伴有内

侧比目鱼肌及深层肌群处压痛,存在胫前肌群、肌腱、第一跖骨底周缘疼痛史,踝背屈受限,自愿并配合试验者。

排除标准: 不配合试验操作,存在先天发育畸形、踝关节骨关节炎、胫腓骨骨折史、骨化性肌炎等肌骨系统疾病者,胫骨骨膜肿胀、发热,局部皮肤破溃、损伤及感染等者。

研究方案的实施符合河北师范大学的相关伦理要求,所有受试者均已签署知情同意书。

1.4 测量仪器及工具 MyotonPRO 数字化肌肉功能评估系统 (Myoton AS, Peterburi Rd 2F, Tallinn 11415, Estonia), 用于无创测试人体浅表骨骼肌及其他软组织在收缩或放松状态下的仪器,精确,可重复性高,常应用于临床医学及运动医学领域。工具包括: 手术记号笔,目测类比评分 (VAS) 量表,关节活动度量角器、治疗床、脱毛膏、瑜伽垫等。

1.5 方法

1.5.1 测量方法 受试者在正常室温、机体安静状态下,分别在干预前及干预后即刻进行肌肉特征、疼痛及踝背屈活动度测量,重复 3 次测量结果选平均值进行记录。①肌肉特征评价: 受试者放松俯卧于治疗床上,检查者寻找比目鱼肌内侧区域压痛点并进行标记,采用手持肌肉状态测试仪 MyotonPRO 将探头垂直于皮肤标记区域;②疼痛评定: 采用目测类比评分量表,通过对受试者比目鱼肌皮肤投影区域进行压痛检查,记录受试者选择疼痛的等级(疼痛检查由同一名检查者完成);③踝关节背屈活动度: 采用负重箭步蹲 (weight bearing lunge test) 方法测量,受试者单腿下蹲足跟着地最大限度屈曲膝关节,踝背屈至最大活动度时对所得小腿与地面的夹角,由检查者对其进行测量并记录。

1.5.2 干预方法 对腓骨肌群进行弹力带足外翻等长收缩激活练习,在第五跖骨外侧处套一弹力带向内施加阻力,保证踝关节中立位下进行等长收缩,体会到腓骨肌群明显收缩后开始计时,每组 15 s,组间歇 30 s,共干预 3 组;干预结束后分别对标记区域进行肌肉特征、目测类比评分及踝背屈活动度检查,记录测试结果,分析干预后即刻效应。

1.6 主要观察指标 肌肉压力状态和生物力学特性。

1.6.1 肌肉张力 由参数振荡频率 (F, Oscillation Frequency) (Hz) 表示。肌肉张力指肌肉组织在放松或无自主收缩的状态下所保持一定紧张状态的能力^[13],是维持肢体位置、保持肢体运动控制能力、空间位置及正常运动的基础。张力增高或

亢进可导致肌肉组织血液供应的减少和降低，导致肌肉恢复速率降低，其可在一定程度上表示肌肉疲劳的程度，肌肉张力越大疲劳程度越高^[14]。

1.6.2 肌肉硬度 由动态硬度 (S-Dynamic stiffness)(N/m) 表示，是生物力学特性参数之一。肌肉硬度是指肌肉抵抗收缩或受外力作用使之改变原始形态时所受到的阻力，一定程度上表示肌肉疲劳的程度，即硬度越大疲劳程度越高^[15]，同时肌肉硬度也可作为评估和诊断肌肉损伤的重要指标^[16]。

1.6.3 肌肉弹性 与振幅的对数衰减值 (D-Logarithmic Decrement) 成反比，是肌肉生物力学特性之一^[17]。肌肉弹性用于表示肌肉在自主收缩或受外力发生形变时恢复原始形态的能力，可在一定程度上表示肌肉工作时机械能消散程度与肌肉疲劳程度，即弹性越强能量消散程度越少，反之则肌肉疲劳程度越高。

1.6.4 踝关节背屈活动度 踝背屈活动度测试^[18](weight bearing lunge test) 用于表示踝关节后侧关节囊、跖屈肌群柔韧性或跖屈肌筋膜长度的测量指标，常用来进行运动损伤风险筛查，标准值为 45°。

1.6.5 疼痛 疼痛目测类比量表是临床上较为常用的疼痛检查方法，根据疼痛程度 0 分“无痛”和 10 分“极痛”以数字形式进行量化为 0-10 级，受试者通过主观疼痛程度选择疼痛等级，从而辨别疼痛的严重程度。

1.7 统计学分析 采用 Excel 建立受试者数据库，使用统计学软件 SPSS 24.0 进行分析。所有测量数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示，对两组受试者进行配对样本 *t* 检验分析，*P* < 0.05 为差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入受试者 18 人，试验过程无脱落，均进入结果分析。

2.2 受试者测试流程 见图 1。

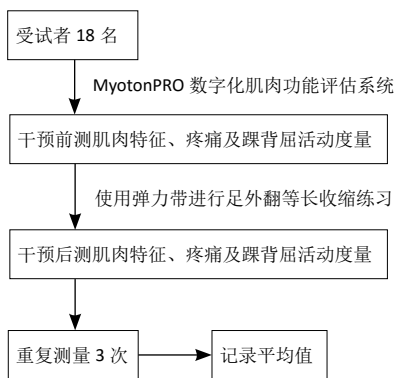


图 1 | 受试者测试流程

Figure 1 | Participant testing procedures

2.3 肌肉特征变化 与干预前比较，干预后振荡频率值显著降低 (*P* < 0.05)；肌肉硬度值显著增高 (*P* < 0.05)；肌肉弹性值显著升高 (*P* < 0.05)。见表 1。

表 1 | 干预前后肌肉特征变化 ($\bar{x} \pm s, n=18$)

肌肉特征	干预前	干预后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
振荡频率 (Hz)	15.3±1.3	14.4±1.1	5.733	< 0.05
肌肉硬度 (N/m)	315.9±34.8	371.0±31.1	3.700	< 0.05
肌肉弹性 (Ln 值)	1.29±0.12	1.34±0.11	-4.36	< 0.05

2.4 疼痛及踝背屈活动度变化 与干预前比较，干预后疼痛目测类比分显著降低 (*P* < 0.05)；踝背屈活动度 (PROM) 显著增加 (*P* < 0.05)。见表 2。

表 2 | 干预前后疼痛及踝背屈活动度变化 ($\bar{x} \pm s, n=18$)

指标	干预前	干预后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
目测类比分	3.3±1.8	1.5±0.9	7.956	< 0.05
踝背屈活动度 (°)	44.5±2.8	48.3±4.6	7.040	< 0.05

2.5 不良事件 所有受试者采用手持肌肉状态测试仪 Myoton PRO 进行肌肉参数测量时均未发生肌肉损伤等不良事件。

3 讨论 Discussion

肌筋膜单元在“闭锁缩短”时，肌肉的弹性降低、硬度及张力升高，局部压痛、延展性不足；进而导致运动功能下降、疲劳加速；通过对“闭锁延长”肌群进行激活，可使拮抗肌肌肉特征、目测类比分和肌筋膜延展性发生改变。通过交互抑制效应纠正正常状态下的长度-张力关系，避免产生关节周围力偶关系改变 (协同主导) 及关节运动功能障碍^[19]。

在对“闭锁缩短”肌群干预方案中，相较于静态牵伸技术，利用交互抑制效应的方案具有独特优势。对拮抗肌进行等长激活优势：①可控制外界负荷不会随关节角度变化而变化；②可精准激活腓骨肌群，降低趾长伸肌代偿；③可固定关节在收缩过程中位置，避免关节在内、外翻时产生不适。通过对拮抗肌进行等长激活练习，提升拮抗肌的运动神经传入神经兴奋性^[20]，抑制脊髓节段的 α 、 γ 运动神经元从而降低所支配肌群中肌梭兴奋性，使其紧张程度下降；而静态牵伸则使已存在高度应力的组织再次进行额外负荷的牵伸，无论对所支配神经肌肉纤维本身或对附着点都存在应力损伤的可能，或已存在应力性细微结构损伤则不可采用牵伸策略，同时静态牵伸不会对主动肌 (足外翻肌群) 进行激活，引发疼痛的“根源”问题并没有解决。

肌筋膜触发点在引发局部压痛的同时伴随踝背屈活动度的降低，导致运动功能的下降，形成不良代偿模式。前深线作为身体筋膜的“核心”，对身体姿势控制、运动功能上发挥重要作用，同时为肌筋膜经线的张拉整体结构提供了理想平衡的状态，足拇长屈肌、胫骨后肌、趾长屈肌在属于前深线的小腿部分，其在踝关节运动功能上具有高度一致性。通过对其进行干预对运动环节稳定性提升有积极作用，常见代偿模式包括：慢性跖屈、足型改变、膝内外翻等。精准的测量作为康复评估、筛查等过程面临的基本问题，可以为康复

目标的制定、康复计划的实施提供重要依据,同时可一定程度上规避主观判断的影响,使康复干预过程更加科学化。

3.1 肌肉特征变化分析

3.1.1 干预后肌肉张力变化分析 干预后可使肌肉张力降低。作为维持身体各种姿势及正常运动的基础,肌肉张力的变化可对人体造成不同程度的影响。在对 20 名健康男性的研究发现肌肉疲劳可诱发肌肉张力增高,且增高的肌张力导致运动功能下降,可能造成机体的损伤^[21]。究其原因,有学者发现在一定范围内肌肉张力与硬度成线性关系^[22],作为一种生理现象,肌肉张力随肌肉硬度增加而增加,这为后续研究肌肉张力与硬度提供了理论基础与方向。同时,在运动群体中,肌张力的增高造成血液循环流动阻力增大,代谢废物及供能物质在体运输速率低于正常水平,使机体更容易产生疲劳;通过降低肌肉高张力可一定程度上使血液循环“恢复”至正常水平,改善周围组织氧气和营养物质的吸收及代谢废物的排出^[23],为运动表现提供了保障。

3.1.2 干预后肌肉硬度变化分析 通过干预所测肌群肌肉硬度降低。作为人体运动重要力学参数^[24],在正常生理状态下,肌肉疲劳和良性运动应激可使肌肉硬度升高,同时病理状态可使肌肉硬度发生变化^[25];肌肉硬度分主动与被动两种^[26],都可为人体活动提供保障,动态硬度主要为机体提供动态稳定性,后者则在关节运动至最大活动度时提供稳定性^[27]。适当的肌肉硬度对机体活动、功能发挥有积极作用,是发挥和保持运动表现的前提;反之,肌肉硬度过高会对人体功能带来不利影响,收缩期间主动肌需克服更大的阻力对抗拮抗肌的收缩,增加能耗的同时降低收缩效率,如脑卒中时的肌痉挛^[28]。同时,研究发现肌肉硬度可以在不同层面影响运动表现^[29],在收缩任务当中实际硬度存在一个最佳的值且可能与理想硬度并不相同,可能是机体为适应运动的需要、防止运动损伤所产生的一种变化,同时表明肢体肌肉硬度是影响机体运动表现和损伤风险的重要因素。因而肌肉硬度可作为人体运动的重要评价指标,为后续进行量化评估与干预调整方案提供依据。

3.1.3 干预后肌肉弹性变化分析 通过干预所测肌群肌肉弹性增加。肌肉弹性可由肌肉硬度指标在一定范围内评判^[30],充分的肌肉弹性可以使能量输出效率提高,降低能量耗散程度,对运动表现的发挥及能量储备具有积极作用。HILL^[31]表示肌肉弹性在肌肉收缩力学中起着至关重要的作用,通过肌肉收缩力学模型(希尔模型)的提出,为后续有关肌肉收缩的研究奠定了基础。临床诊断中,肌肉弹性的变化有利于对肌肉病变的早期诊断,为疾病的预防起到积极作用^[32]。在对 121 名 13-18 岁男性棒球运动人群肩关节肌群进行测量中发现^[33],肌肉组织弹性随年龄增长而增加,推测疼痛也可能由弹性改变所致,其结果与此次研究类似,同时也为不同年龄段人群肌肉疼痛因素的分析提供了思路与参考。因此,科学、精准地分析肌肉弹性可作为风险评估和诊断的重要指标,对损伤的预防及疗效评判上具有重要意义。

3.2 疼痛和踝关节活动度变化分析

3.2.1 干预后疼痛变化 通过对“闭锁延长”肌群进行激活练习可使拮抗肌压痛区域目测类比评分值显著降低。交互抑制通过抑制支配拮抗肌神经元的兴奋性,抑制拮抗肌过度兴奋状态,这与“整体假说理论”观点相符^[34]。疼痛作为伴随真实或潜在性组织损伤或根据这种损伤所描述的一种不愉快的主观感觉和情感体验,肌筋膜间生物力学的过度载荷及异常应力是常见因素^[35];单纯对痛点处定义为比目鱼肌过度活跃并不全面,不能忽略深层肌群(足拇长屈肌、趾长屈肌、胫骨后肌)的作用,三者紧张度提升会引起主观上的不适,牵涉附着点张力增高,使胫骨骨膜、骨间膜受高应力状态,局部产生疼痛不适等症状;应力可沿肌腱方向向下走行,使肌腱及止点处出现牵涉痛;同时由于其位置、疼痛性质与足底筋膜炎相似,因而在诊断上容易混淆,造成慢性疼痛、活动受限等影响,通过减轻对小腿胫骨及骨膜异常力学牵涉^[36],进而使疼痛降低。

3.2.2 干预后踝背屈活动度变化分析 此次研究对足外翻肌群干预后可改善踝背屈活动度,可为实践工作提供理论依据。从功能角度分析,通过对过度兴奋的运动神经进行抑制,使用外翻、跖屈肌群放松(胫骨前肌相较于跖屈肌群弱,功能上以跖屈效果改善最明显),进而改善关节运动幅度。在人体进行走、跑、跳等踝关节跖屈时,胫后肌群(小腿三头肌及深层跖屈肌群)协同发力并存在一定比例关系,共同完成收缩任务期间踝跖屈任务;理论上讲,当存在深层肌群收缩功能下降时,小腿三头肌及其跟腱需额外输出、承受更大负荷,容易导致其疲劳,甚至发生损伤等可能;同时在解剖列车中的“前深线”也涵盖其中,负责收缩机能及姿势控制能力,因此胫后深层肌群收缩机能下降是否为小腿三头肌疲劳、小腿三头肌-跟腱复合体损伤、踝关节姿势控制能力下降的因素尚进一步研究。完整的步态周期需要以正常的踝背屈活动度为保障^[37-38],反之则会引起其他运动环节的代偿。在踝背屈活动度与人体姿势的控制能力相关研究中,有学者对 40 名男性健康大学生展开研究,发现踝背屈活动度的增加可提升机体稳定极限水平^[39],验证了改善踝背屈活动度对提高人体姿势控制水平有重要意义;同时,在 73 名男性运动员的研究中发现,踝背屈受限时会使着地时硬着陆程度增加^[40],这表明在缓冲过程中跖屈肌群离心收缩做功减少,额外冲量由骨关节面及其他组织所承受,可能会增加踝关节面、临近关节的损伤风险,因而改善踝背屈活动度可能对运动损伤的预防起到积极作用。另外,对 113 名排球运动员研究发现,踝背屈活动度受限会增加骸骨肌腱病的风险,背屈角度不及 45° 时损伤风险较大^[41],因而改善踝背屈活动度对预防骸骨肌腱损伤有重要意义。改善踝背屈活动度可以提升缓冲时肌筋膜对能量的吸收,削弱缓冲邻近踝关节面、邻近关节的硬着陆程度,同时对胫内侧压力综合征等运动损伤起到积极预防作用^[42]。

结论: ①足外翻激活干预即刻可降低肌肉张力及硬度,增强肌肉弹性,对改善运动疲劳、提升运动表现具有促进作用

用；②通过交互抑制效应可减少疼痛分值，改善踝背屈活动度，对缓解疼痛症状、降低损伤风险具有潜在意义。

作者贡献：第一作者郑沛主要负责文章撰写、查询文献、参与受试者招募及测试工作，第二作者邢新阳协同参与设计实验，协同查阅文献，并对文章进行撰写，通讯作者霍洪峰为第一作者导师，对全文的主干进行审阅并对实验数据的分析、实验设计的构思及文章内容进行指导。

经费支持：该文章没有接受任何经费支持。

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。

机构伦理问题：研究方案的实施符合河北师范大学的相关伦理要求。所有受者均对试验过程完全知情同意，在充分了解本治疗方案的前提下签署了“知情同意书”。

文章查重：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。

文章外审：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。

文章版权：文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

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。

4 参考文献 References

- AKGONUL B, ATANSAY V, KARA AN, et al. 256 Relationship between balance and lower extremity ROM, H/Q ratio, hamstring tightness, beighton score in professional folk dancers and professional football players. *Br J Sports Med.* 2020;54(Suppl 1):A106.
- 周林, 章岚. 足球运动员腘绳肌损伤研究进展 [J]. *中国运动医学杂志*, 2018,37(12):1038-1044.
- SAHRMANN S, AZEVEDO DC, DILLEN LV. Diagnosis and treatment of movement system impairment syndromes. *Braz J Phys Ther.* 2017;21(6):391-399.
- 迈尔斯, 关玲, 周维金, 等. 解剖列车: 徒手与动作治疗的肌筋膜经线 [M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2015.
- GALASSO A, URITS I, AN D, et al. A Comprehensive Review of the Treatment and Management of Myofascial Pain Syndrome. *Curr Pain Headache Rep.* 2020;24(8):43.
- ARROYO-FERNANDEZ R, BRAVO-ESTEBAN E, DOMENECH-GARCIA V, et al. Pressure-Induced Referred Pain as a Biomarker of Pain Sensitivity in Fibromyalgia. *Pain Physician.* 2020;23(4):E353-E362.
- HUANG QM, YE G, ZHAO ZY, et al. Myoelectrical activity and muscle morphology in a rat model of myofascial trigger points induced by blunt trauma to the vastus medialis. *Acupunct Med.* 2013;31(1):65-73.
- HUANG QM, LIU L. Wet needling of myofascial trigger points in abdominal muscles for treatment of primary dysmenorrhoea. *Acupunct Med.* 2014;32(4):346-349.
- KOTZAMANIDIS C. Are the antagonist muscles fatigued during a fatigue task of agonist muscles?. *Isokinetics and Exercise Science.* 2004;12(3):167-171.
- 诸毅晖. 康复评定学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008.
- ELOQAYLI H. Subcutaneous accessory pain system (SAPS): A novel pain pathway for myofascial trigger points. *Med Hypotheses.* 2018;111:55-57.
- 李航, 张日初, 周志见, 等. 用 Myoton 技术评价肌肉特性在体育学中的应用 [J]. *四川体育科学*, 2019,38(5):33-39.
- 张海峰, 黄力平. 康复评定学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- 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.
- 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.
- KUBO K, MORIMOTO M, KOMURO T, et al. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(10):1801-1810.
- AGYAPONG-BADU S, WARNER M, SAMUEL D, et al. Measurement of ageing effects on muscle tone and mechanical properties of rectus femoris and biceps brachii in healthy males and females using a novel hand-held myometric device. *Arch Gerontol Geriatr.* 2016;62:59-67.
- DOWLING B, MCPHERSON AL, PACI JM, et al. Weightbearing ankle dorsiflexion range of motion and sagittal plane kinematics during single leg drop jump landing in healthy male athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58(6):867-874.

- GOSSMAN MR, SAHRMANN SA, ROSE SJ. Review of length-associated changes in muscle. *Experimental evidence and clinical implications. Physical Therapy.* 1982;62(12):1799.
- 王瑞元, 苏全生. 全国体育学院教材委员会审定. 运动生理学 [M]. 北京: 人民体育出版社, 2012.
- 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.
- MURAYAMA M, WATANABE K, KATO R, et al. Association of muscle hardness with muscle tension dynamics: a physiological property. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(1):105-112.
- EDGERTON VR, WOLF SL, LEVENDOWSKI DJ, et al. Theoretical basis for patterning EMG amplitudes to assess muscle dysfunction. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(6):744-751.
- WATSFORD ML, MURPHY AJ, MCLACHLAN KA, et al. A prospective study of the relationship between lower body stiffness and hamstring injury in professional Australian rules footballers. *Am J Sports Med.* 2010;38(10):2058-2064.
- O'CARROLL GC, KING SL, CARROLL S, et al. The effects of exercise to promote quality of life in individuals with traumatic brain injuries: a systematic review. *Brain Inj.* 2020;34(13-14):1701-1713.
- ZINDER SM, PADUA DA. Reliability, validity, and precision of a handheld myometer for assessing in vivo muscle stiffness. *J Sport Rehabil.* 2011;20(3):2010_0051.
- WAGNER H, BLICKHAN R. Stabilizing Function of Skeletal Muscles: an Analytical Investigation. *J Theor Biol.* 1999;199(2):163-179.
- LAZARO R. Within-session effects of selected physical rehabilitation interventions for a dysfunctional arm post-stroke on arm movement and muscle firing patterns. *Ann Phys Rehabil Med.* 2018;61.
- PEARSON SJ, MCMAHON J. Lower limb mechanical properties: determining factors and implications for performance. *Sports Medicine.* 2012;42(11):929.
- MIYAMOTO N, HIRATA K. Moderate Associations of Muscle Elasticity of the Hamstring with Hip Joint Flexibility. *Int J Sports Med.* 2019;40(11):717-724.
- HILL AV. The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle. *Proce R Soc Lond B.* 1938;126:136-195.
- KALIA V, LEUNG D, SNEAG D, et al. Advanced MRI Techniques for Muscle Imaging. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2017;21(4):459-469.
- KOBAYASHI E, MATSUMOTO H, HAYASHI I, et al. Age-related changes in muscle elasticity around the shoulder joint in young male baseball players: A prospective longitudinal study. *J Orthop Sci.* 2020;25(4):582-587.
- FERNÁNDEZ-DE-LAS-PEÑAS C, ALONSO-BLANCO C, CUADRADO ML, et al. Myofascial trigger points and their relationship to headache clinical parameters in chronic tension-type headache. *Headache.* 2006;46(8):1264-1272.
- RICKARDS LD. The effectiveness of non-invasive treatments for active myofascial trigger point pain: A systematic review of the literature. *Int J Osteopath Med.* 2006;9(4):120-136.
- GHASEMI SH, KALANTARI H, ABDOLLAHIKHOSSE, et al. Fatigue reliability analysis for medial tibial stress syndrome. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2019;99:387-393.
- SCHALLIG W, VAN DEN NOORT JC, MCCAHERN J, et al. Comparing the kinematic output of the Oxford and Rizzoli Foot Models during normal gait and voluntary pathological gait in healthy adults. *Gait Posture.* 2020;82:126-132.
- DELEU PA, BESSE JL, NAAIM A, et al. Change in gait biomechanics after total ankle replacement and ankle arthrodesis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2020;73:213-225.
- TOMRUK M, TOMRUK MS, ALKAN E, et al. Immediate Effects of Ankle Joint Mobilization With Movement on Postural Control, Range of Motion, and Muscle Strength in Healthy Individuals: A Randomized, Sham-Controlled Trial. *J Sport Rehabil.* 2020;29(8):1060-1068.
- DOWLING B, MCPHERSON AL, PACI JM. Weightbearing ankle dorsiflexion range of motion and sagittal plane kinematics during single leg drop jump landing in healthy male athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58(6):867-874.
- MALLIARAS P, COOK JL, KENT P. Reduced ankle dorsiflexion range may increase the risk of patellar tendon injury among volleyball players. *J Sci Med Sport.* 2006;9(4):304-309.
- MENÉNDEZ C, BATALLA L, PRIETO A, et al. Medial Tibial Stress Syndrome in Novice and Recreational Runners: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(20):7457.

(责任编辑: WZH, ZN, SX)