



泡沫轴滚动速度对成年男性下肢柔韧性和运动能力的影响

Effect of Speed of Foam Rolling on Flexibility and Motor Ability of Adult Male Lower Limbs

汤宇锟¹,张雁航¹,魏梦娴¹,杨 硕¹,黄浩洁^{2*}

TANG Yukun¹,ZHANG Yanhang¹,WEI Mengxian¹,YANG Shuo¹,
HUANG Haojie^{2*}

摘要: 泡沫轴滚动(foam rolling,FR)可以增加关节运动度和促进运动能力,但最佳训练参数尚不清楚。目的:比较快速和慢速FR对下肢柔韧性和运动能力的影响效应,为运动员制订运动处方提供理论依据。方法:随机选取45名运动训练专业健康男性大学生为受试者,随机分为对照组、快速FR组(3 s/来回)和慢速FR组(6 s/来回),实验组随机对大腿股四头肌群(2×60 s)、股后肌群(2×60 s)和小腿腓肠肌群(2×60 s)进行FR干预。测量指标:坐位体前屈、立定跳远、下蹲垂直跳、下肢反应时和主观轻松度得分。结果:1)与对照组和干预前相比,快速FR组和慢速FR组的坐位体前屈成绩和主观轻松度得分均显著提升($P>0.05$);且与慢速FR组相比,快速FR组提升显著($P>0.05$)。2)与对照组和干预前相比,快速FR组和慢速FR组立定跳远距离和下蹲垂直跳距离均无显著差异($P>0.05$)。3)与对照组和干预前相比,快速FR组和慢速FR组的下肢反应时和主观轻松度得分均显著提升($P<0.05$),但与快速FR组相比,慢速FR组无显著差异($P>0.05$)。结论:快速和慢速FR均可促进关节活动度和下肢反应时,且不削弱下肢爆发力;相比快速,急性慢速FR更有利于关节活动度的提升,建议采用慢速FR进行热身练习。

关键词: 泡沫轴滚动;柔韧性;干预速度;运动能力

Abstract: Foam rolling (FR) can increase the degree of joint movement and promote motor ability, however, the best training parameters are not yet clear. Objective: To study the effects of fast FR and slow FR on the flexibility and motor ability of lower limbs, and provide theoretical basis to make exercise prescription for athletes. Methods: Forty-five healthy male college students major in sports training were randomly selected and divided into control group, fast FR group (3 s / back and forth) and slow FR group (6 s / back and forth). The experimental group randomly intervened the quadriceps femoris group (2×60 s), posterior femoris group (2×60 s) and gastrocnemius crus group (2×60 s). Measurement indicators: sit forward, standing long jump, squat vertical jump, lower extremity reaction time and self-perceived ease score. Results: 1) compared with the control group and the pre-intervention group, the fast FR group and slow FR group had significant improvement in the scores of sit forward flexion and subjective ease ($P<0.05$), and compared with slow FR group, the fast FR group had significant improvement ($P<0.05$). 2) compared with the control group and the pre-intervention group, the fast FR group and slow FR group had no significant difference in standing long jump distance and squat vertical jump distance ($P>0.05$). 3) compared with the control group and the pre-intervention group, the fast FR group and slow FR group significantly improved the scores of reaction time and subjective ease ($P<0.05$), but there was no significant difference between the fast FR group and slow FR group ($P>0.05$). Conclusions: Both fast FR and slow FR can promote joint activity and lower extremity reaction, and will not weaken the explosive force of lower extremity. Compared with fast FR, acute and slow FR is more conducive to joint activity, therefore, slow FR is recommended for warm-up exercise.

Keywords: foam rolling; flexibility; speed of intervention; motor ability

中图分类号:G804.6 **文献标识码:**A

基金项目:

中央高校基本科研业务费项目
(2072021135)

第一作者简介:

汤宇锟(1986-),男,在读博士研究生,主要研究方向为体育社会学、健康促进,E-mail:tangbnu23@163.com。

*通信作者简介:

黄浩洁(1988-),男,助理教授,博士,主要研究方向为运动生理学、运动生物力学,E-mail:huanghaojie24@163.com。

作者单位:

1. 北京师范大学,北京 100875;
2. 厦门大学,福建 厦门 361005
1. Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. Xiamen University, Xiamen 361005, China.

泡沫轴滚动 (foam rolling, FR) 是近些年流行的一种自我放松方法。利用泡沫轴或滚筒按摩棒等通过重力作用在不需要他人帮助的情况下, 就可实现对目标肌群或软组织的按摩放松 (Cheatham et al., 2015; Peacock, et al., 2014)。目前, FR 已被广泛应用。有研究证实其对改善肌肉功能有好的效果, 如改善关节活动度 (黄浩洁等, 2016, 2020)、运动前预激活肌肉 (Healey et al., 2014) 和促进运动后疲劳恢复 (Cheatham et al., 2015)。但这些研究的运动处方存在相当大的差异: 设定的滚压数量级在 2 (MacDonald et al., 2013)~5 (Bradbury-Squires et al., 2015) 之间, 总干预时长在 30 s (Sullivan et al., 2013)~20 min (Pearcey et al., 2015) 之间。因此, 最佳的训练参数仍有待阐明。本实验前期研究 (黄浩洁等, 2016) 和综述 (黄浩洁等, 2018) 发现, 关节活动度增加并不受干预时长的影响。Noyes 等 (1974) 在动物实验中发现, 肌筋膜的缓慢按压比快速按压更容易导致软组织变形。此外, 数学建模分析发现 (Chaudhry et al., 2008), 手动治疗中的缓慢按摩比快速按摩更容易让粘弹性产生变形。基于以上分析, 本研

究推测 FR 滚动速度可能是一个决定性的影响因素, 稳定且缓慢的 FR 运动更利于软组织释放, 降低软组织刚度, 增加关节活动度, 促进运动能力, 而较快速的 FR 运动则导致软组织张力增加不利于放松, 出现相反作用。因此, 本实验研究不同 FR 速度对关节活动度和运动能力的急性影响。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

随机选取某高校本科运动训练专业 45 名男性大学生为受试者 (表 1)。筛选标准为: 健康状况良好、下肢无严重损伤史、无运动禁忌、半年内有类似训练经历, 实验前 48 h 不能进行其他大强度运动。受试者了解实验内容, 但对实验目的不知情, 能够积极配合实验人员, 按照实验要求完成相关指标测试。受试者填写知情同意后, 将受试者随机分为对照组、快速 FR 组和慢速 FR 组 (图 1), 组间身高、体重、下蹲垂直跳高度、立定跳远和下肢反应时均无统计学差异。正式实验开始前一周, 受试者接受干预动作和测试动作的培训学习, 并最终熟练掌握。

表 1 受试者基本数据

Table 1 List of Basic Data of Subjects

	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg	BMI/(kg·m ²)
对照组 (n=15)	21.7±2.2 (范围 19~23)	178.6±6.1 (范围 175~184)	77.1±6.2 (范围 74~82)	24.4±3.5 (范围 23~28)
快速 FR 组 (n=15)	21.9±2.3 (范围 20~24)	176.6±5.2 (范围 174~182)	78.1±5.8 (范围 71~84)	24.2±3.9 (范围 20~31)
慢速 FR 组 (n=15)	20.8±2.5 (范围 19~23)	177.6±5.7 (范围 172~180)	79.1±9.1 (范围 76~87)	25.5±6.5 (范围 22~29)

注: BMI 为身体质量指数。

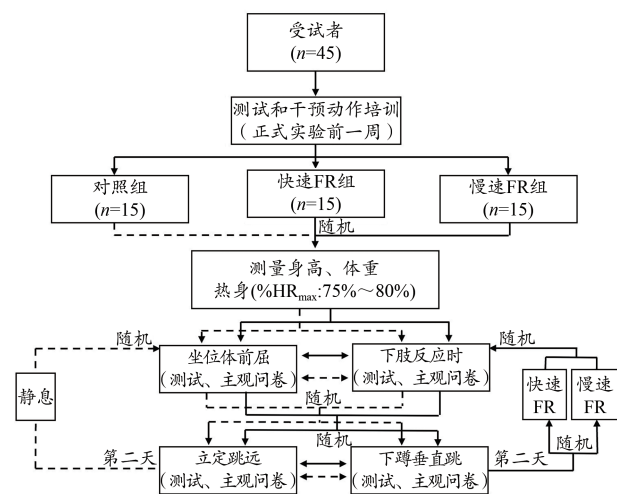


图 1 实验流程

Figure 1. Experimental Test Flow Chart

1.2 实验干预方案

2

热身: 测量身高、体重后, 给受试者佩戴心率遥测表, 进行 1 min 的原地高抬腿热身跑, 同步监控受试者心率, 根据心率提醒受试者调整高抬腿频率。要求受试者在运动开始 20 s 内心率达到并维持在最大心率 (最大心率=220-实际年龄) 的 75%~80%, 直到热身结束。

泡沫轴滚动放松: 使用聚丙烯泡沫轴进行 FR 干预。所有受试者在研究开始前均熟悉 FR 方法, 随机选择一名受试者进行 FR, 随机顺序干预大腿股四头肌群、股后肌群和小腿腓肠肌群, 要求受试者手臂支撑身体, 膝关节伸直让大腿或小腿肌群落在泡沫轴上, 支持手和身体配合发力, 在干预部位沿着肌纤维走向重复来回滚动。快速 FR 组滚动频率为 3 s 一个来回, 慢速 FR 组则为 6 s 一个来回, 每组滚动 60 s, 每个肌群 2 组, 组间休息 30 s。

1.3 实验测试方案

下肢反应时测试 (Behm et al., 2004): 使用下肢反应时测试仪进行测试。受试者双脚打开与肩同宽, 膝关节微

屈站在测试板上,集中注意力,听到测试设备发出的起跳指令时,以最快速度双脚跳起离地。记录5次测试数据,求平均值。

坐位体前屈测试(Cheatham et al., 2015):使用坐位体前屈测试仪进行测试。受试者裸足双腿伸直,脚底完全接触踏板,尽最大能力弯曲躯干伸展双臂,手慢慢推动移动杆,在此过程中保持膝关节伸直,移动杆移动停止时完成一次测试。记录3次测试数据,求平均值。

立定跳远测试(Peacock, et al., 2014):受试者下肢双腿与肩同宽、屈膝、双臂后伸,站在起跳线前做准备蹬跳动作,听到起跳指令时,立刻尽全力跳远,此时肌肉只做向心收缩。落地站稳后,用标记贴纸标记左右腿脚后跟中距离起跳线较近的一只脚,用皮卷尺量出距离。重复测试3次,求平均值,次间休息15 s。

下蹲垂直跳测试(Healey et al., 2014):受试者双手叉腰,双腿打开与肩同宽,侧站(受试者冠状面垂直墙面)在悬挂有刻度尺的墙边,眼睛平视前方保持不动,用高速运动摄像机(像素:1 920×1 080,采集频率:50 Hz)水平记录此时受试者头顶点对应墙上的刻度。受试者听到起跳指令时,立即屈膝屈髋下蹲尽全力蹬伸跳起,此时肌肉拉长后缩短做超等长收缩,高速摄像机水平记录受试者最高点对应墙上的刻度。重复测试3次,求平均值,次间休息15 s。通过视频回放计算3次跳高高度 Δh 。

主观评价测试(黄浩浩等,2016):采用主观问卷调查受试者坐位体前屈、下肢反应时、立定跳远和下蹲垂直跳主观轻松度得分。本研究选择5等级的评价方法,0分、1分、2分、3分和4分分别代表干预后受试者起跳轻松度较干预前很不轻松、不轻松、没有变化、轻松和很轻松。填写选择在每次起跳测量后进行,保证其评分的有效性和合理性。

1.4 数据统计

采用Spss 20.0软件进行统计分析,描述性分析结果以均数±标准差($M\pm SD$)表示。组间比较采用独立样本 t 检验,组内干预前后采用配对样本 t 检验, $P<0.05$ 表示统计具有显著性差异。

2 结果

2.1 不同实验组之间和干预前后坐位体前屈的差异

组间比较:干预前,3个实验组之间比较,坐位体前屈成绩均无显著性差异($P>0.05$);但干预后,与对照组相比,快速FR组(提升26.3%)和慢速FR组(提升50.0%)的坐位体前屈成绩和主观轻松度得分均显著提升($P<0.05$)。值得注意的是,慢速FR组坐位体前屈成绩与快速FR组相比显著提升(提升4.7 cm, $P<0.05$),如图2所示。

组内比较:与干预前相比,快速FR组和慢速FR组的坐位体前屈成绩分别提高了3.8 cm(提升24.7%, $P<0.05$)和8.5 cm(提升59.4%, $P<0.05$),2个实验组主观轻松度得分也分别显著提高0.6分和0.8分($P<0.05$)。

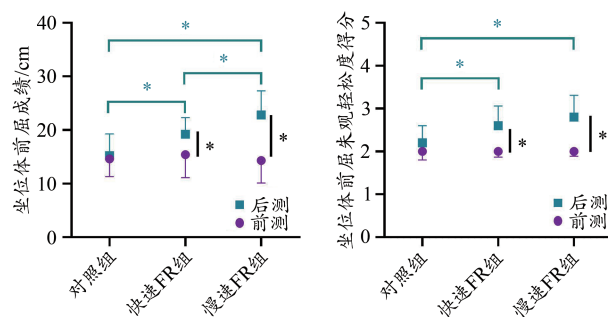


图2 不同实验组之间和干预前后坐位体前屈成绩比较

Figure 2. Comparison of the Results of Sit Forward Flexion between Different Experimental Groups before and after Intervention

2.2 不同实验组之间和干预前后立定跳远的差异

组间比较:干预前,3个实验组之间比较,立定跳远距离均无显著性差异($P>0.05$);干预后,与对照组相比,快速FR组和慢速FR组立定跳远距离和主观轻松度得分均无显著差异($P>0.05$),快速FR组和慢速FR组相比也无显著性差异($P>0.05$)。

组内比较:与干预前相比,快速FR组和慢速FR组立定跳远距离分别提高4.6 cm和2.7 cm,主观轻松度得分虽然分别提高了0.3分和0.4分,但均无显著性差异($P>0.05$,图3)。

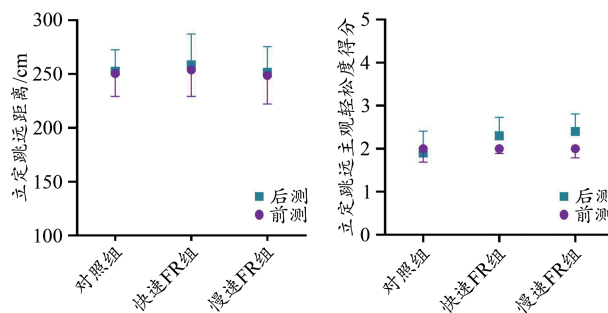


图3 不同实验组之间和干预前后立定跳远距离

Figure 3. Standing Long Jump Distance between Different Experimental Groups before and after Intervention

2.3 不同实验组之间和干预前后下蹲垂直跳的差异

组间比较:干预前,3个实验组之间比较,下蹲垂直跳距离均无显著性差异($P>0.05$);干预后,与对照组相比,快速FR组和慢速FR组下蹲垂直跳和主观轻松度得分有所提升,但均无显著差异($P>0.05$)。

组内比较:与干预前相比,快速FR组和慢速FR组下蹲垂直跳分别提高了3.3 cm和2.3 cm,主观轻松度得分分别提高了0.4分和0.3分,但提升效果不明显,无统计学差异($P>0.05$,图4)。

2.4 不同实验组之间和干预前后下肢反应时的差异

组间比较:干预前,3个实验组之间比较,下肢反应时均无显著性差异($P>0.05$);但干预后,与对照组相比,快

速 FR 组和慢速 FR 组的下肢反应时均显著降低, 主观轻松度得分均显著升高 ($P < 0.05$), 快速 FR 组和慢速 FR 组相比无显著性差异 ($P > 0.05$)。

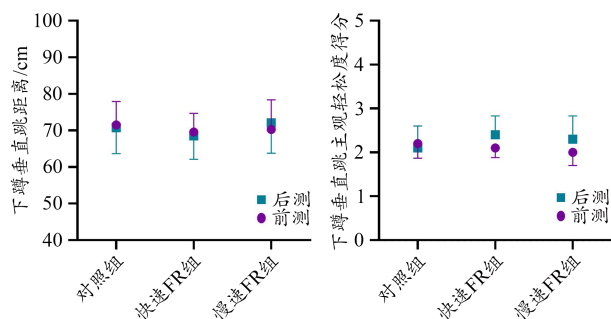


图 4 不同实验组之间和干预前后下蹲垂直跳高比较

Figure 4. Comparison of Squatting and Vertical High Jump between Different Experimental Groups before and after Intervention

组内比较: 与干预前相比, 快速 FR 组 (降低 12.0 ms, 3.7%) 和慢速 FR 组 (降低 10.6 ms, 3.3%) 的下肢反应时均显著降低, 同时主观轻松度得分也均显著升高 ($P < 0.05$, 图 5)。

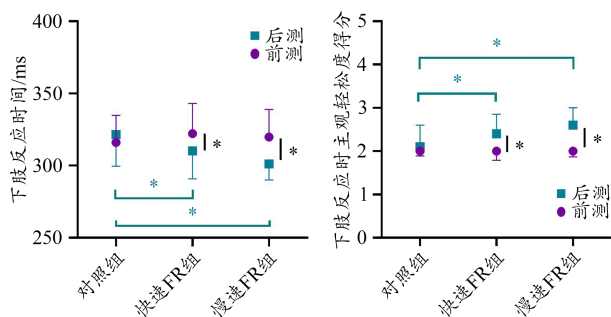


图 5 不同实验组之间和干预前后下肢反应时比较

Figure 5. Comparison of Reaction Time of Lower Limbs between Different Experimental Groups before and after Intervention

3 讨论

研究证明, FR 有利于促进关节活动度和运动能力, 但也有研究却得到矛盾的结果 (Cheatham et al., 2015; Wiewelhove et al., 2019)。这可能与干预时长、滚动速度和泡沫轴硬度等因素有关。本实验探究了 FR 速度对下肢柔韧性、跳跃能力和反应时的急性影响, 发现: 1) 不同速度 FR 均可以有效提高坐位体前屈成绩, 慢速 FR 提高效果更好, 且与快速 FR 相比具有显著差异; 2) 不同速度 FR 均略提高立定跳远和下蹲垂直跳的成绩, 但不显著; 3) 不同速度 FR 干预后均显著降低了下肢反应时, 慢速 FR 效果较好, 但无显著差异。

3.1 FR 对柔韧性的急性影响

大多研究采用关节活动度指标来间接评价下肢柔韧

性, 本研究前期综述 (黄浩浩等, 2018) 和另 4 个系统综述均显示急性 FR 可提高柔韧性 (Beardsley et al., 2015; Cheatham, et al., 2015; Schroeder et al., 2015; Wiewelhove et al., 2019), 也有研究发现 FR 不能提高柔韧性 (Mikesky et al., 2002; Peacock et al., 2014)。之所以结果不一致, Curran 等 (2008) 认为, 除了使用的 FR 工具、滚动部位、评估方式、受试者 FR 动作的熟练程度和滚动练习的剂量和速度等因素可能对最终效果产生影响外, FR 促进柔韧性的效应也可能具有关节依赖性。到目前为止, 大多数研究是检测膝关节活动度 (Bradbury-Squires et al., 2015; MacDonald et al., 2013, 2014), 仅有几项研究检测的是踝关节或髌关节 (Cheatham et al., 2015), 因此, FR 对髌关节独立主动活动度影响的确切结论还需进一步研究。

本研究使用坐位体前屈来评估 FR 对髌关节独立主动活动度的影响, 发现两种速度 FR 干预后坐位体前屈成绩均显著升高, 说明急性 FR 对柔韧性有促进作用。有学者认为, FR 对柔韧性的影响主要归因于几个方面: 1) 筋膜粘弹性和触变性的改变 (即将筋膜重新移动回凝胶状)。这仅是 Cheatham 等 (2015) 的推测, 并不基于直接的科学观察。研究发现, 要使筋膜组织变形所需的压力大于 FR 通常可达到的物理范围 (Schleip, 2003), 因此, FR 对柔韧性的影响更可能是肌肉周围筋膜的触变性发生改变 (Phillips et al., 2018)。2) 肌肉温度和血流量的改变。有学者发现泡沫轴和肌肉之间产生的摩擦可促进肌肉温度的升高和骨骼肌动脉血流的增加, 这种效应能维持约 30 min (Hotfiel et al., 2017)。3) 组织纤维中水含量的暂时改变。有研究表明, FR 压缩肌肉等软组织造成组织纤维含水量变化, 进而促进刚度降低, 引起柔韧性提高 (Chaudhry et al., 2008)。软组织含水量对机械刺激具有高度适应性这一观点得到动物研究的证实 (Schleip et al., 2012)。4) FR 产生自我抑制的结果。有学者认为, 当 FR 向肌肉组织施加一定压力时, 肌张力变化的感受器—高尔基体腱器官 (golgi tendon organ, GTO) 会向中枢神经系统发送肌肉被施加了很大的拉力信号, 引起中枢神经系统发放信号使该肌肉放松以防止撕裂 (Larson, 2014)。然而, 早期研究发现, 拉伸时 GTO 对肌腱产生的张力不敏感 (Edin et al., 1990)。如果拉伸诱导的 GTO 抑制存在, 它更可能发生在大幅度拉伸中, 而不是来自 FR 过程中施加的小幅度牵张拉伸。Behm (2018) 认为, 任何可能的 GTO 抑制几乎在肌腱张力停止后立即消退。因此, 这种机制似乎不太可能解释 FR 之后的柔韧性增加。对于柔韧性的短期改善, 最合理的解释可能是 FR 对中枢疼痛调制系统的影响。施加在软组织上的持续而有力的压力可能会使皮肤感受器过载, 从而抑制或最小化痛觉, 增加肌肉牵拉的耐受性 (Kelly et al., 2016)。这一假设得到 Aboodarda 等 (2015) 和 Cavanaugh 等 (2017) 的支持, 他们已经证明

FR可以改善痛觉。

比较不同FR速度影响发现,与快速FR相比,慢速FR坐位体前屈成绩和自主评分更高一些,速度之间有统计学差异,因此,关于慢速FR更有利于释放组织僵硬、促进柔韧性的假设可能是成立的。然而,本研究数据仅涉及快速和慢速FR的急性影响,为了最终判断FR速度的相关性,还需在后续测量中考虑其他因素,如FR效果的最佳时间窗口。Zheng等(2012)在离体状态下的研究表明,基质中稳定的流体剪切力刺激触发了基质金属蛋白酶-1的释放,这种酶具有很强的胶原降解功能,在最初的2 h内不会释放,而是在刺激4~8 h后才释放。尽管在体效果是根据离体研究推测的,但考虑到延迟的胶原纤维降解可以有效改善软组织的长期刚度,因此,该影响因素值得注意。

3.2 FR对爆发力的急性影响

下肢爆发力是运动员最基本的力量素质,是绝大多数非周期性项目的重要素质,也是正确掌握运动技术和提高运动成绩的基础。跳跃是简单的一维动作模式,是常用来评价下肢爆发力的直接方法。基于此,本实验比较了不同速度FR对立定跳远和下蹲垂直跳能力的影响,发现不同速度FR均仅略微提高了其成绩,且不同速度FR效果没有统计学差异,这和人前发现一致(Healey et al., 2014; Macdonald et al., 2013, 2014; Peacock et al., 2014)。但Janot等(2013)用Wingate测试发现了FR对运动成绩不利,Peacock等(2014)改进实验方法后却发现FR对下蹲垂直跳、立定跳远、37 m冲刺和18.3 m敏捷测试成绩有利。Bradbury等(2015)也发现,FR可以提高短跑的运动表现,其源于表面肌电测量发现,FR组与对照组相比,在起跑瞬间(推离阶段),后股外侧肌收缩放电量急剧减少。对于前期研究结论不一致的原因,目前尚无定论。Janot等(2013)发现FR对运动表现不利,可能与肌肉收缩模式不同有关,因为采用Wingate无氧功率自行车骑行动作是近端(核心部位)固定远端(双脚)运动的模式,跳跃和跑步动作刚好相反(远端固定近端运动的模式),FR对肌肉放松作用可能对近端固定远端运动的肌肉收缩不利。目前,FR对爆发力有促进效应的解释主要有两种:一种是在短跑冲刺之前,FR打破了所谓的肌筋膜触发点(Bonci et al., 1993),它是骨骼肌中能够激惹疼痛的某一特定位置。这个位置通常可以摸到一个疼痛结节和绷紧肌纤维痉挛带。触发点通常无痛,可导致肌肉无力、肌肉疲劳和肌肉僵硬,触压时才会有疼痛加重和局部肌肉颤搐以及可能引起的远处牵涉痛(Mikesky et al., 2002)。这些因素显然都可能对短跑产生影响。FR可以改善触发点的消极影响,减少肌肉痉挛和肌肉运动的内部阻力,还能使先前的痉挛组织对正在进行的运动活动做出贡献(Mikesky et al., 2002)。但是,这种解释只是基于推测,没有具体证据证明触发点的释放使FR有效。另一种可能解释是,FR具

有热身和/或安慰剂作用,其自按摩功能需要用上身支撑部分体重,类似平板支撑运动。这些练习通常有利于增强核心力量。此外,FR还可以通过增加皮肤和肌肉温度、增加血流量以及增强柔韧性达到热身目的,最后促进肌肉做功(Healey et al., 2014)。

3.3 FR对下肢反应时的急性影响

考虑到爆发力主要取决于肌肉力量和神经肌肉的协调性,因此本研究进一步比较了不同FR速度对下肢反应时的影响。反应时是指机体从接受刺激到做出反应动作所需的时间,也就是从刺激到反应之间的时距。刺激引起感觉器官的活动,经由神经系统传递给大脑,经过加工,再从大脑传递给效应器,作用于外界的某种客体。其主要反映人体神经肌肉系统的协调性和快速反应能力(Behm, 2018)。研究发现,干预后,与对照组相比,FR组的下肢反应时均显著减少,主观轻松度得分均显著升高,但不同速度FR之间无显著性差异($P>0.05$)。这是一个新发现,说明FR对神经肌肉系统的协调性和快速反应能力有促进作用,且不受FR速度影响。FR对下肢反应时的影响可能是生物力学、神经学、生理学和心理学等多种机制协同作用的结果。力学机制包括组织粘附力降低、组织刚度改变和压电效应作用等(Aboodarda et al., 2015; Kelly et al., 2016);神经学机制理论上认为,FR可能通过介导疼痛调节系统,如通过痛觉感受器和机械感受器的敏感性来增强镇痛作用和促进肌肉恢复(Cavanaugh et al., 2017);生理学机制涉及血流量增加、副交感神经循环、炎症反应和肌筋膜触发点缓解(Aboodarda et al., 2015; Kelly et al., 2016);心理反应机制认为,由于血浆内啡肽增加,唤醒水平降低,副交感反应和/或安慰剂作用的激活,改善了对放松感和反应速度的感知(Phillips et al., 2018)。

本研究推荐,当通过泡沫轴进行身体练习时采用慢速FR效果会更好,至少对改善关节活动度和柔韧性而言如此。有研究发现,采用传统拉伸方法热身会削弱运动成绩、爆发力和反应时(Behm, 2018; Behm et al., 2004),而本研究却发现FR练习无此影响,因此FR更适合在热身期间使用。

4 结论

快速与慢速FR均可促进髋关节活动度和神经肌肉反应时,且不会削弱下肢爆发力;相比快速FR,急性慢速FR更有利于关节活动度的提升,因此建议采用慢速FR进行热身练习。但最终关于FR速度的影响还需进一步研究,特别是更长时间的跟踪随访研究以及相关生理指标参数检测。

参考文献:

- 黄浩浩,侯莉娟,刘晓莉,等,2020.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,43(02):135-148.

- 黄浩浩, 于成, 赵焕彬, 2016. 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, 36(5):46-53.
- 黄浩浩, 赵焕彬, 2018. 筋膜自我放松效应研究进展[J]. 武汉体育学院学报, 52(4): 92-100.
- ABOODARDA S, SPENCE A, BUTTON D C, 2015. Pain pressure threshold of a muscle tender spot increases following local and non-local rolling massage [J]. BMC Musculoskelet Disord, doi: 10.1186/s12891-015-0729-5.
- BEARDSLEY C, ŠKARABOT J, 2015. Effects of self-myofascial release: A systematic review[J]. Bodyw Mov Ther, 19(4):747-758.
- BEHM D G, 2018. The Science and Physiology of Flexibility and Stretching: Implications and Applications in Sport Performance and Health, p97.Routledge[M]. London, New York: Routledge.
- BEHM D G, BAMBURY A, CAHIL F, et al., 2004. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time [J]. Med Sci Sports Exerc, 36: 1397-1402.
- BONCI A S, OSWALD S M D, 1993. Barrier trigger points and muscle performance[J]. Natl Strength Cond Assoc, 15(6):39-43.
- BRADBURY-SQUIRES D J, NOFTALL J C, SULLIVAN K M, et al., 2015. Roller-massager application to the quadriceps and knee-joint range of motion and neuromuscular efficiency during a lunge [J]. Athl Train, 50(2):133-140.
- CAVANAUGH M T, DÖWELING A, YOUNG J D, et al., 2017. An acute session of roller massage prolongs voluntary torque development and diminishes evoked pain[J]. Eur Appl Physiol, 117(1):109-117.
- CHAUDHRY H, SCHLEIP R, JI Z, et al., 2008. Three-dimensional mathematical model for deformation of human fasciae in manual therapy[J]. Am Osteopath Assoc, 108(8):379-390.
- CHEATHAM S W, KOLBER M J, CAIN M, et al., 2015. The effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager on joint range of motion, muscle recovery, and performance: System article review[J]. Int Sports Phys Ther, 10(6):827-838.
- CURRAN P F, FIORE R D, CRISCO J J, 2008. A comparison of the pressure exerted on soft tissue by 2 myofascial rollers[J]. Sport Rehabil, 17(4):432-442.
- EDIN B B, VALLBO A B, 1990. Classification of human muscle stretch receptor afferents: A Bayesian approach[J]. Neurophysiol, 63(6):1314-1322.
- HEALEY K C, HATFIELD D L, BLANPIED P, et al., 2014. The effects of myofascial release with foam rolling on performance[J]. J Strength Cond Res, 28(1):61-68.
- HOTFIEL T, SWOBODA B, KRINNER S, et al., 2017. Acute effects of lateral thigh foam rolling on arterial tissue perfusion determined by spectral doppler and power doppler ultrasound[J]. Strength Cond Res, 31(4): 893-900.
- JANOT J M, MALIN B, COOK R, et al., 2013. Effects of self myofascial release & static stretching on anaerobic power output[J]. Fit Res, 2(1):41-54.
- KELLY S, BEARDSLEY C, 2016. Specific and cross-over effects of foam rolling on ankle dorsiflexion range of motion[J]. Int Sports Phys Ther, 11(4):544-551.
- LARSON R, 2014. "Customizing the warm-up and cool-down," in High-Performance Training for Sports[M]. Hanover, PA USA: Human Kinetics: 99-112.
- MACDONALD G Z, BUTTON D C, DRINKWATER E J, et al., 2014. Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity[J]. Med Sci Sports Exer, 46(1):131-142.
- MACDONALD G Z, PENNEY M D, MULLALEY M E, et al., 2013. An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force [J]. Strength Cond Res, 27(3): 812-821.
- MIKESKY A E, BAHAMONDE R E, STANTON K, et al., 2002. Acute effects of the stick on strength, power, and flexibility[J]. Strength Cond Res, 16(3):446-450.
- NOYES F R, DELUCAS J L, TORVIK P J, 1974. Biomechanics of anterior cruciate ligament failure: An analysis of strain-rate sensitivity and mechanisms of failure in primates[J]. Bone Joint Surg Am, 56(2):236-253.
- PEACOCK C A, KREIN D D, SILVER T A, et al., 2014. An acute bout of self-myofascial release in the form of foam rolling improves performance testing[J]. Int J Exerc Sci, 7(3):202-211.
- PEARCEY G E P, BRADBURY-SQUIRES D J, KAWAMOTO J, et al., 2015. Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures[J]. Athl Train. 50(1):5-13.
- PHILLIPS J, DIGGIN D, KING D L, et al., 2018. Effect of varying self-myofascial release duration on subsequent athletic performance [J]. Strength Cond Res, doi: 10.1519/JSC.0000000000002751.
- SCHLEIP R, 2003. Fascial plasticity-a new neurobiological explanation: Part 1[J]. Bodyw Mov Ther, 7(1): 11-19.
- SCHLEIP R, DUERSELEN L, VLEEMING A, et al., 2012. Strain hardening of fascia: Static stretching of dense fibrous connective tissues can induce a temporary stiffness increase accompanied by enhanced matrix hydration[J]. Bodyw Mov Ther, 16(1):94-100.
- SCHROEDER A N, BEST T M, 2015. Is self myofascial release an effective preexercise and recovery strategy? A literature review[J]. Curr Sports Med Rep, 14(3):200-208.
- SULLIVAN K M, SILVEY D B J, BUTTON D C, et al., 2013. Roller-massager application to the hamstrings increases sit-and-reach range of motion within five to ten seconds without performance impairments[J]. Sports Phys Ther, 8(3):228-236.
- WIEWELHOVE T, DÖWELING A, SCHNEIDER C, et al., 2019. A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery[J]. Front Physiol, doi: 10.3389/fphys.2019.00376.
- ZHENG L, HUANG Y, SONG W, et al., 2012. Fluid shear stress regulates metalloproteinase-1 and 2 in human periodontal ligament cells: Involvement of extracellular signal-regulated kinase (ERK) and P38 signaling pathways[J]. Biomech, 45(14):2368-2375.

(收稿日期: 2019-12-16; 修订日期: 2021-05-13; 编辑: 马婧)