

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO E
REABILITAÇÃO

Deivid Ribeiro Rodrigues

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DO FOAM ROLLING NA RECUPERAÇÃO
DE PROPRIEDADES MUSCULOTENDÍNEAS E PARÂMETROS
FUNCIONAIS DE FLEXORES PLANTARES DE INDIVÍDUOS
SAUDÁVEIS**

Santa Maria, RS
2022

Deivid Ribeiro Rodrigues

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DO FOAM ROLLING NA RECUPERAÇÃO DE
PROPRIEDADES MUSCULOTENDÍNEAS E PARÂMETROS FUNCIONAIS DE
FLEXORES PLANTARES DE INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento e Reabilitação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como um requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciências do Movimento e Reabilitação**.

Orientador: Prof. Dr. Jean Marcel Geremia

Santa Maria, RS
2022

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Rodrigues, Deivid

Efeitos da aplicação do foam rolling na recuperação de propriedades musculotendíneas e parâmetros funcionais de flexores plantares de indivíduos saudáveis / Deivid Rodrigues.- 2023.

108 p.; 30 cm

Orientador: Jeam Geremia

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Educação Física e desportos, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento e Reabilitação, RS, 2023

1. Biomecânica musculoesquelética 2. Treinamento 3. Recuperação muscular 4. Automassagem I. Geremia, Jeam II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, DEIVID RODRIGUES, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Deivid Ribeiro Rodrigues

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DO FOAM ROLLING NA RECUPERAÇÃO DE
PROPRIEDADES MUSCULOTENDÍNEAS E PARÂMETROS FUNCIONAIS DE
FLEXORES PLANTARES DE INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento e Reabilitação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como um requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciências do Movimento e Reabilitação**.

Aprovado em 16 de dezembro de 2022:

Prof. Dr. Jeam Marcel Geremia (UFRGS)
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Bruno Manfredini Baroni (UFCSPA)

Prof. Dr. Fábio Juner Lanferdini (UFSM)

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, professor Dr. Jean Marcel Geremia, que me despertou o interesse em seguir a carreira acadêmica na graduação e a ser um melhor profissional nessa área que tanto amo. É de muita satisfação em ter o privilégio de trabalhar com você. Seu profissionalismo e amizade contribuíram ao longo de todo esse tempo para que pudesse ser uma pessoa melhor, me dando todo o suporte acadêmico e até mesmo emocional. Sou eternamente grato por isso, pois você me mostrou o melhor caminho para chegar até aqui.

Aos meus familiares, principalmente mãe e padrasto/pai (*in memoriam*) que me deram todo o suporte necessário para chegar até aqui. Para uma pessoa que sonhava em dar algum retorno a vocês, não foi fácil perder um pai próximo à formatura da graduação e há três dias do resultado da seleção de mestrado. Mas, apesar dos altos e baixos nesse período, vocês me ajudaram a unir forças e me possibilitaram chegar até aqui. Para mim é um orgulho poder representá-los aqui, após todas as dificuldades.

Aos professores Carlos Bolli Motta e Marco Aurélio Vaz, que assim como o professor Jean Geremia, me acolheram em seus grupos de pesquisa. Agradeço por toda a receptividade. Para mim é um imenso privilégio aprender com vocês, fontes de motivação e referências na área da biomecânica.

Meus agradecimentos aos colegas do LABIOMECC e GPBiC onde pude compartilhar muitos aprendizados e experiências boas, seja nas reuniões semanais, eventos acadêmicos ou confraternizações. Aos meus colegas, amigos e integrantes deste trabalho Marcelo Glänzel, Rose Löbell, Carla Rossato, Daniel Pozzobon e Fábio Lanferdini que me auxiliaram na elaboração deste material e durante as coletas, fase que mais precisei de pessoas ao meu lado. Agradeço também a Gabriela Souza, Francesca Sonda, Matheus Corrêa, Igor Barbosa e a todos que de alguma forma e em algum momento contribuíram para que este trabalho fosse realizado. Também, aos voluntários desta pesquisa, pois sem vocês este trabalho não teria acontecido

Aos meus agradecimentos também a banca examinadora ao qual contribuiu para a qualificação deste trabalho final. A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento e Reabilitação pela oportunidade e suporte acadêmico; e por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

RESUMO

EFEITOS DA APLICAÇÃO DO FOAM ROLLING NA RECUPERAÇÃO DE PROPRIEDADES MUSCULOTENDÍNEAS E PARÂMETROS FUNCIONAIS DE FLEXORES PLANTARES DE INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS

AUTOR: Deivid Ribeiro Rodrigues
ORIENTADOR: Jeam Marcel Geremia

O objetivo deste estudo foi verificar os efeitos da aplicação do *foam rolling* (FR) na recuperação de propriedades mecânicas e funcionais de flexores plantares de indivíduos saudáveis. Participaram 28 homens (18-40 anos), os quais foram divididos em dois grupos: *foam rolling* ou controle. A rigidez das aponeuroses (superficial e profunda) e muscular do tríceps sural foi avaliada por meio de elastografia *shear wave*. A dor muscular de início tardio (DMIT) foi obtida por meio da aplicação da escala visual analógica de dor. A amplitude de movimento (ADM) e o pico de torque foram avaliados no dinamômetro isocinético, e a altura do salto vertical por meio de um sistema de cinemetria. As avaliações ocorreram antes, imediatamente após, 24h, 48h e 72h após a realização de um protocolo de dano muscular induzido pelo exercício (DMIE) (4x25 contrações excêntricas máximas). O DMIE promoveu aumento da rigidez da aponeurose superficial imediatamente após, enquanto a rigidez muscular permaneceu elevada por até 72h. No entanto, a DMIE não promoveu alterações na rigidez da aponeurose profunda. A DMIT aumentou a partir de 24h, ADM não foi alterada, e a altura do salto e a produção de força reduziram até 24h e 48h, respectivamente. A aplicação do FR após o DMIE resultou em um menor aumento da DMIT comparado ao grupo controle em até 72h. Nos demais parâmetros os grupos foram similares. A aplicação do FR pode ser uma estratégia afim de reduzir a DMIT (provavelmente por meio de fatores neurais), mas não parece influenciar na recuperação da rigidez dos tecidos miofasciais e demais propriedades funcionais dos músculos flexores plantares.

Palavras-chave: Automassagem. Dinamometria. Ultrassonografia. Dano Muscular. Recuperação Muscular.

ABSTRACT

EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION ON THE RECOVERY OF MUSCULOTENDINOUS PROPERTIES AND FUNCTIONAL PARAMETERS OF PLANTAR FLEXORS OF HEALTHY INDIVIDUALS

AUTHOR: Deivid Ribeiro Rodrigues

ADVISOR: Jeam Marcel Geremia

The aim of this study was to verify the effects of foam rolling (FR) application on the recovery of mechanical and functional properties of plantar flexors muscles in healthy individuals. Twenty-eight men (18-40 years) participated, who were divided into two groups: foam rolling or control. The stiffness of the aponeuroses (superficial and deep) and muscle of the triceps surae was evaluated using shear wave elastography. Delayed onset muscle soreness (DOMS) was obtained by applying the visual analogue pain scale. Range of motion (ROM) and peak torque were evaluated using an isokinetic dynamometer, and vertical jump height using a kinematics system. The evaluations took place before, immediately after, and 24h, 48h and 72h after performing an exercise-induced muscle damage (EIMD) protocol (4x25 maximal eccentric contractions). EIMD promoted an increase in stiffness of the superficial aponeurosis immediately after, while muscle stiffness remained high for up to 72 hours. However, DMIE did not promote changes in the deep aponeurosis stiffness. DOMS increased from 24h, ROM was not changed, and jump height and force production decreased up to 24h and 48h, respectively. The application of FR after EIMD resulted in a reduction in DOMS compared to the control group within 72 hours. In the other parameters, the groups were similar. The application of FR may be a strategy to reduce DOMS (probably by neural factors), but it does not seem to influence the recovery of myofascial tissue stiffness and other functional properties of the plantar flexors.

Keywords: Self-massage. Dynamometry. Ultrasound. Muscle Damage. Muscle Recovery.

LISTA DE FIGURAS

- ARTIGO – EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON ONSET OF DELAYED-ONSET MUSCLE SORENESS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS**.....49
- FIGURE 1 – Experimental study design. Evaluations of subcutaneous adipose tissue thickness, delayed-onset muscle soreness and functional properties of the plantar flexor muscles before (Pre-EIMD), immediately (Post-EIMD), 24 (Post-24h), 48 (Post-48h) and 72 (Post-72h) hours after an EIMD protocol in each group: FR (group that underwent self-massage with foam rolling) and CON (group that was not submitted to any treatment).....55
- FIGURE 2 – Ultrasound image for assessing subcutaneous adipose tissue thickness. Note the lower edge of the epidermis (white upper horizontal line) and the upper edge of the superficial aponeurosis (white lower horizontal line), between which the five measurements were obtained (yellow lines)..56
- FIGURE 3 – Positioning of foam rolling on the plantar flexor muscles. Rolling over the distal (A and C) and proximal regions of the leg (B and D).....59
- FIGURE 4 – Delayed onset muscle soreness (passive and active), in each group, over time. Results are presented as mean \pm standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. VAS = Visual Analog Scale. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol..63
- FIGURE 5 – Range of motion (ROM) of maximum dorsiflexion (DFmax) in each group over time. Results are expressed in degrees (Mean \pm standard error). Equal letters indicate that there was no difference between the moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.64

FIGURE 6 – Isometric (PTiso), concentric (PTcon) and eccentric (PTEcc) peak torque in each group over time. Results are presented as mean ± standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.. 65

FIGURE 7 – Vertical jump height in each group over time. Results are presented in centimeters (cm) as mean ± standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol..... 66

ARTIGO – EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON THE STIFFNESS OF MYOFASCIAL TISSUES OF PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS..... 76

FIGURE 1 – Experimental study design. Evaluation of the myofascial tissue stiffness of the plantar flexor muscles Pre-EIMD, Post-EIMD, Post-24h, Post-48h and Post-72h in each group: FR (group that performed self-massage with a foam roller) and CON (group that did not underwent no treatment) 81

FIGURE 2 – Representation of tissue location for obtaining ultrasound images. In the images, the superficial (APsup) and deep (APdeep) aponeurosis can be observed, in addition to the muscle tissue (A), among which elastography images were obtained (B) and the ROI's were selected for each of these tissues (C)..... 83

FIGURE 3 – Ultrasound image for assessing subcutaneous adipose tissue thickness. Note the lower edge of the epidermis (white upper horizontal line) and the upper edge of the superficial aponeurosis (white lower horizontal line), between which the five measurements were obtained (yellow lines).. 84

FIGURE 4 – Positioning of foam rolling on the plantar flexor muscles. Rolling over the distal (A and C) and proximal regions of the leg (B and D)..... 86

FIGURE 5 – Stiffness of the superficial aponeurosis, in each group, over time. Results are presented as mean ± standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. KPa = Kilopascal. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the

EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol. 88

FIGURE 6 – Stiffness of the deep aponeurosis, in each group, over time. Results are presented as mean \pm standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. KPa = Kilopascal. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.. 89

FIGURE 7 – Muscle stiffness, in each group, over time. Results are presented as mean \pm standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. KPa = Kilopascal. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol..... 90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Características das intervenções envolvendo a utilização do FR como ferramenta de recuperação nos músculos flexores plantares	20
TABELA 2 – Efeitos da aplicação do <i>foam rolling</i> (FR) na recuperação de propriedades musculares de músculos do membro inferior	30
ARTIGO – EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON ONSET OF DELAYED-ONSET MUSCLE SORENESS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS.....	49
TABLE 1 – Characteristics of the participants.....	61
ARTIGO – EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON ONSET OF DELAYED-ONSET MUSCLE SORENESS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS.....	76
TABLE 1 – Characteristics of the participants.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADM	Amplitude de movimento
ANOVA	Análise de variância
ATP	Adenosina trifosfato
CAAE	Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
CIVM	Contração isométrica voluntária máxima
CMJ	<i>Countermovement jump</i>
CON	Controle
COX7B	Subunidade 7B da citocromo C oxidase
DMIE	Dano muscular induzido pelo exercício
DMIT	Dor muscular de início tardio
ETA	Espessura do tecido adiposo subcutâneo
EVA	Escala visual analógica
FDmáx	Flexão dorsal máxima do tornozelo
FJ	Músculos flexores do joelho
FP	Músculos flexores plantares do tornozelo
FR	<i>Foam rolling</i>
GL	Músculo gastrocnêmio lateral
gLMS	General Labeled Magnitude Scale
GM	Músculo gastrocnêmio medial
IC	Intervalo de confiança
IMC	Índice de massa corporal
IPAQ	Questionário Internacional de Atividade Física
ND1	NADH-ubiquinona oxidorreductase da cadeia
Ni	Não informada
ns	Não significativo
Pós-0h	Imediatamente após a aplicação do foam rolling
Pós-24h	24 horas após a aplicação do foam rolling
Pós-48h	48 horas após a aplicação do foam rolling
Pós-72h	72 horas após a aplicação do foam rolling
Pós-96h	96 horas após a aplicação do foam rolling
Pós-DMIE	Após o dano muscular induzido pelo exercício

Pré-DMIE	Antes do dano muscular induzido pelo exercício
RDI	Região de interesse
Reps	Repetições
RF	Reto femoral
RM	Repetição máxima
Rpm	Repetições por minuto
S	Segundos
SJ	Squat jump
SO	Músculo sóleo
TPF	Taxa de produção de força
PTcon	Pico de torque concêntrico
PTexc	Pico de torque excêntrico
PTiso	Pico de torque isométrico
VISA-A-Br	Victorian Institute of Sport Assessment – Achilles Questionnaire

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetros
h	Horas
Hz	Hertz
Kg	Quilogramas
Kg/m ²	Quilograma por metro cuadrado
KPa	Kilopascal
Min	Minutos
mm	Milímetros
N	Newton
n	Número
Nm	Newton metro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	19
2.2	<i>FOAM ROLLING</i>	21
2.3	INFLUÊNCIA DO FR NA RECUPERAÇÃO DE PROPRIEDADES MUSCULOTENDÍNEAS	27
2.4	INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO FR NA DOR MUSCULAR.....	33
2.5	INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO FR NA ADM ARTICULAR	37
2.6	INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO FR NA RECUPERAÇÃO DA FORÇA MUSCULAR E DO DESEMPENHO DO SALTO VERTICAL	41
2.7	REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA	46
2.8	OBJETIVOS.....	48
2.8.1	Objetivo geral	48
2.8.2	Objetivos específicos	48
2.8.3	Hipóteses	48
3	ARTIGO – EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON ONSET OF DELAYED-ONSET MUSCLE SORENESS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS	49
	INTRODUCTION	52
	MATERIALS AND METHODS	53
	Participants	53
	Experimental design	53
	Subcutaneous adipose tissue thickness	55
	DOMS	56
	ROM	57
	Plantar flexors peak torque	57
	Vertical jump	58
	EIMD protocol	58
	Foam rolling intervention	59
	Statistical analysis	60

	RESULTS	61
	DISCUSSION	66
	PERSPECTIVE	70
	ACKNOWLEDGEMENT	71
	CONFLICT OF INTEREST STATEMENT	71
	REFERENCES	72
4	ARTIGO – EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON THE STIFFNESS OF MYOFASCIAL TISSUES OF PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS	76
	INTRODUCTION	78
	MATERIALS AND METHODS	79
	Participants	79
	Experimental design	79
	Myofascial Tissue Stiffness	81
	Subcutaneous adipose tissue thickness	84
	EIMD protocol	85
	Foam rolling intervention	85
	Statistical analysis	86
	RESULTS	87
	DISCUSSION	90
	PERSPECTIVE	93
	ACKNOWLEDGEMENT	94
	CONFLICT OF INTEREST STATEMENT	94
	REFERENCES	95
5	CONCLUSÃO	99
	REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

A liberação miofascial tem sido descrita como um termo genérico que abrange uma variedade de técnicas de terapias manuais no qual uma pressão mecânica é aplicada sobre os tecidos miofasciais (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015). Essa técnica terapêutica pode ser utilizada por profissionais da área da reabilitação (MACDONALD *et al.*, 2013) e do treinamento físico (PEARCEY *et al.*, 2015; WIEWELHOVE *et al.*, 2019), ou pelo próprio indivíduo por meio da automassagem, utilizando-se de instrumentos como o rolo de espuma (i.e., *foam rolling* [FR]) (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015; PHILLIPS, *et al.*, 2021). A grande popularidade da utilização do FR nos últimos anos deve-se a sua elevada aplicabilidade, seu fácil manuseio e preço acessível (PEARCEY *et al.*, 2015; WIEWELHOVE *et al.*, 2019).

No processo de reabilitação, frequentemente o FR é utilizado com o objetivo de reduzir a rigidez e remover aderências fibrosas dos tecidos miofasciais (MACDONALD *et al.*, 2013). Tais condições são, geralmente, causadas por processos inflamatórios, lesões e inatividade física, fazendo com que esses tecidos fiquem desidratados e percam a sua elasticidade, o que pode alterar a mecânica muscular e ocasionar dor, resultando em prejuízos funcionais como a redução da amplitude de movimento (ADM) e dos níveis de força muscular (MACDONALD *et al.*, 2013; PHILLIPS *et al.*, 2021). Já no âmbito do treinamento físico, o FR tem sido utilizado como forma de aquecimento, com o objetivo de melhorar o desempenho em atividades funcionais e esportivas subsequentes (MACDONALD *et al.*, 2013; PEACOCK *et al.*, 2014; PHILLIPS *et al.*, 2021). Além disso, o FR tem sido utilizado como ferramenta de recuperação após a prática de exercícios físicos intensos, visando atenuar os efeitos deletérios do dano muscular induzido pelo exercício (DMIE) na função neuromuscular (DRINKWATER *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014; PEARCEY *et al.*, 2015).

Poucos estudos investigaram os mecanismos envolvidos nos efeitos da aplicação do FR como ferramenta de recuperação a nível tecidual (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021). Os mecanismos relacionados às alterações induzidas pelo FR ainda não são totalmente compreendidos, embora se considere a participação de componentes psicológicos, fisiológicos, neurológicos e biomecânicos (GIOVANELLI *et al.*, 2018; PHILLIPS *et al.*, 2021; WIEWELHOVE *et al.*, 2019). Acredita-se que o FR tenha a capacidade de induzir respostas neurológicas, por meio de autorregulação do sistema nervoso autônomo e estimulação de mecanorreceptores (CAVANAUGH *et al.*, 2017; GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; JO *et al.*, 2018; SCHROEDER *et al.*, 2019), bem como biomecânicas por meio de alterações nas propriedades mecânicas do tecido musculoesquelético

(GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; SCHROEDER *et al.*, 2019). Outro possível mecanismo pode ser atribuído ao aumento do fluxo sanguíneo no local da aplicação, o que favorece a redução do estresse metabólico pela remoção do lactato sanguíneo (KALÉN *et al.*, 2017) e aumento do fornecimento de oxigênio ao músculo (CHEATHAM *et al.*, 2015), bem como a redução do processo inflamatório (HOTFIEL *et al.*, 2017).

Embora alguns estudos buscam entender os mecanismos envolvidos na aplicação do FR, os efeitos desta técnica na recuperação musculoesquelética após o DMIE ainda não estão claros. Apesar de haver evidências de que o FR possa reduzir a rigidez muscular após o DMIE (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021), isso parece não ser um consenso na literatura (SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021). Além disso, apenas um estudo (SCHROEDER *et al.*, 2019) avaliou outras propriedades mecânicas do tecido muscular (i.e. tônus e elasticidade), por meio de miotonometria, e não foram encontradas alterações desses parâmetros imediatamente (Pós-0h), 24h (Pós-24h), 48h (Pós-48h) e 72h (Pós-72h) após a aplicação do FR. Por fim, não foram encontrados estudos que buscam entender a influência do FR na recuperação rigidez das fâscias/aponeuroses após o DMIE. As possíveis respostas do FR na rigidez do tecido conjuntivo muscular podem influenciar na recuperação de parâmetros funcionais. A aplicação do FR após o DMIE tem ocasionado um menor aumento dos níveis de dor muscular (HENDRICKS *et al.*, 2020; HUGHES; RAMER, 2019; WIEWELHOVE *et al.*, 2019). No entanto, há resultados inconsistentes em relação a recuperação da ADM (AKINCI; YAZGAN; ALTINOLUK, 2020; BEIMBORN, 2019; DRINKWATER *et al.*, 2019), produção de força muscular (DRINKWATER *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014; ZORKO *et al.*, 2016) e desempenho de salto vertical (D'AMICO *et al.*, 2020; D'AMICO; GILLIS, 2017; REY *et al.*, 2017).

Sendo assim, os possíveis benefícios da aplicação do FR na recuperação muscular não estão totalmente elucidados, o que poderia ser explicado pela grande variabilidade metodológica entre os estudos, uma vez que os mesmos apresentam diferentes parâmetros avaliados (e.g., proteínas plasmáticas, dor muscular tardia e capacidade de produção de força) (ADAMCZYK; GRYKO; BOGUSZEWSKI, 2020; MORADI; MONAZZAMI, 2020; ZORKO *et al.*, 2016), protocolos de DMIE utilizados (e.g., em exercícios livres ou isocinéticos) (CASANOVA *et al.*, 2018; PEARCEY *et al.*, 2015) e populações investigadas (e.g., adultos saudáveis de diferentes níveis de treinamento/condicionamento) (ADAMCZYK *et al.*, 2020; CASANOVA *et al.*, 2018; MACDONALD *et al.*, 2014; PEARCEY *et al.*, 2015). Ainda, devido a própria natureza da técnica do FR, o cegamento dos participantes torna-se complexo e o efeito

placebo não pode ser descartado (PHILLIPS *et al.*, 2021; WEERAPONG; HUME; KOLT, 2005).

Além da insuficiente compreensão dos mecanismos causados pelo FR na recuperação dos tecidos miofasciais e suas consequências em parâmetros funcionais, não existe um consenso em relação à forma ideal de aplicação do FR (HOTFIEL *et al.*, 2017). Os protocolos de massagem com diferentes volumes, pressões e velocidades de aplicação podem modificar a respostas das alterações da rigidez dos tecidos miofasciais e influenciar em parâmetros funcionais. Além disso, a maior parte dos estudos investigou os efeitos da aplicação do FR nos músculos extensores do joelho (ADAMCZYK *et al.*, 2020; BEIMBORN, 2019; D'AMICO *et al.*, 2020; FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; MACDONALD *et al.*, 2014; PEARCEY *et al.*, 2015), enquanto que encontramos apenas três estudos que avaliaram especificamente os efeitos da aplicação do FR em músculos flexores plantares do tornozelo (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; LENNON, 2018; VAIDYA *et al.*, 2021). Portanto, tendo em vista os resultados conflitantes, as diferenças metodológicas e a escassez de informações (principalmente as relacionadas aos músculos flexores plantares), o objetivo desta dissertação é verificar os efeitos da aplicação do FR sobre propriedades mecânicas dos tecidos musculoesqueléticos e em parâmetros funcionais dos músculos flexores plantares de indivíduos saudáveis após um protocolo de DMIE.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O uso da automassagem por meio do FR tem alcançado bastante popularidade nos últimos anos (SMITH; PRIDGEON; HALL, 2018). Esse modelo de tratamento é realizado com o peso corporal por meio de movimentos de rolamento sobre um rolo de espuma densa e rígida, em uma região ou músculo de interesse (MACDONALD *et al.*, 2013). Apesar de ser muito utilizado como forma de aquecimento, visando a melhora do desempenho físico em atividades subsequentes (CHEATHAM *et al.*, 2015; DRINKWATER *et al.*, 2019; PEARCEY *et al.*, 2015), os possíveis benefícios de sua aplicação como ferramenta de recuperação musculoesquelética não estão totalmente esclarecidos. Embora a aplicação do FR possa ser realizada em diversos grupos musculares, grande parte dos estudos, os quais buscaram avaliar os efeitos do FR como ferramenta de recuperação musculoesquelética, têm utilizado esta técnica nos músculos extensores do joelho (ADAMCZYK *et al.*, 2020; BEIMBORN, 2019; D'AMICO *et al.*, 2020; FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; MACDONALD *et al.*, 2014; PEARCEY *et al.*, 2015), enquanto que apenas três estudos verificaram os efeitos desta técnica especificamente nos músculos flexores plantares (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; LENNON, 2018; VAIDYA *et al.*, 2021).

O entendimento dos possíveis efeitos do FR nos músculos flexores plantares é de extrema importância, tendo em vista o papel fundamental deste grupo muscular para as atividades de vida diária (LEE; PIAZZA, 2012; OLMOS *et al.*, 2019), bem como para o desempenho esportivo (KAYA; BLAZEVIK, 2009; UENO *et al.*, 2018). Além disso, os estudos envolvendo os músculos flexores plantares apresentam uma grande variabilidade metodológica, principalmente no que se refere ao número (12-40), sexo (masculino e feminino) e nível de atividade física (fisicamente ativos e atletas) dos participantes, bem como dos protocolos de aplicação do FR, com diferentes volumes, pressões e velocidades de rolamento. Por fim, estes poucos estudos não buscaram investigar os mecanismos envolvidos relacionados com a técnica, o que dificulta o estabelecimento de um consenso sobre os efeitos do FR como ferramenta de recuperação neste grupamento muscular. A Tabela 1 apresenta um resumo das características dos indivíduos, protocolos de DMIE, bem como dos métodos de aplicação do FR nos músculos flexores plantares utilizados nos estudos desta revisão.

Tabela 1 – Características das intervenções envolvendo a utilização do FR como ferramenta de recuperação nos músculos flexores plantares

Autor (ano)	Amostra n (homens/mulheres)	Idade (anos)	Pressão	Velocidade	Volume	Protocolo de DMIE
GARCÍA-SILLERO, Manuel <i>et al.</i> (2021)	Atletas 10 (ni)	24,3 ± 2,6	ni	ni	2x30 reps	Flexão plantar excêntrica (4x12 reps), com carga individualizada (0,035 ou 0,050kg/m ²). Intervalo de 2min entre as séries.
LENNON (2018)	Indivíduos saudáveis 12 (0/12)	20,2 ± 2,8	Com perna única (pressão leve) Com perna dupla (pressão profunda)	60 rpm	3x30s	Flexão plantar unilateral (2x) até a falha concêntrica, utilizando o peso corporal. Intervalo de 5min entre as séries.
VAIDYA <i>et al.</i> (2021)	Indivíduos saudáveis 60 (28/32)	23,6 ± 2,3	Autosseleccionada	Autosseleccionada	2x60s	Agachamentos com salto (5x20 reps). Intervalo de 2min entre as séries

FR = *foam rolling*; DMIE= dano muscular induzido pelo exercício; ni = não informada; rpm = repetições por minuto; reps = repetições; s = segundos; kg/m² = quilograma por metro quadrado; min = minutos.

Fonte: Adaptado de García-Sillero *et al.* (2021), Lennon (2018) e Vaidya *et al.* (2021).

2.2 FOAM ROLLING

Várias técnicas de manipulação dos tecidos moles concentram seu tratamento no tecido miofascial (WEERAPONG *et al.*, 2005; ZÜGEL *et al.*, 2018). Uma dessas técnicas é a massagem, caracterizada pela manipulação dos tecidos moles por meio de pressão mecânica ritmada, sendo muito utilizada com o intuito de tratar disfunções miofasciais, aumentar o desempenho físico, prevenir lesões e otimizar a recuperação muscular (WEERAPONG *et al.*, 2005). Esses possíveis efeitos se devem à capacidade de adaptação dos tecidos miofasciais, com alterações em suas propriedades mecânicas (e.g. rigidez) à diferentes estímulos como, por exemplo, às cargas mecânicas associadas ao exercício físico ou técnicas de massagem (ABOODARDA, SPENCE; BUTTON, 2015; GIOVANELLI *et al.*, 2018; MACGREGOR *et al.*, 2018; ZÜGEL *et al.*, 2018). Com isso, é possível que os mecanismos da massagem envolvam aspectos psicofisiológicos (e.g., relaxamento muscular), fisiológicos (e.g., aumento do fluxo sanguíneo e da atividade parassimpática), neurológicos (e.g., redução da dor, autorregulação do sistema nervoso autônomo e estimulação de mecanorreceptores) e biomecânicos (e.g., mudanças na rigidez dos tecidos miofasciais) (GIOVANELLI *et al.*, 2018; PHILLIPS *et al.*, 2021; WEERAPONG *et al.*, 2005; WIEWELHOVE *et al.*, 2019).

Dentre as técnicas de massagem está a automassagem, a qual o indivíduo utiliza o próprio peso corporal para gerar pressão sobre os tecidos moles, utilizando bolas terapêuticas, bastões, tubos de plástico ou rolos de espuma (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015; CHEATHAM *et al.*, 2015). A automassagem realizada com rolo de espuma (i.e., FR) envolve a realização de movimentos ondulatórios e repetitivos, a partir da porção proximal até a distal de um determinado segmento ou músculo de interesse (CHEATHAM *et al.*, 2015; WIEWELHOVE *et al.*, 2019). O FR tem sido utilizado na reabilitação, para o tratamento de disfunções miofasciais, como consequência da redução da dor e melhora dos níveis de flexibilidade (MACDONALD *et al.*, 2014; WIEWELHOVE *et al.*, 2019). Já no ambiente de treinamento, o FR tem sido utilizado como ferramenta de aquecimento, a fim de aumentar o desempenho em atividades subsequentes, ou após o exercício, visando a otimização da recuperação muscular (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015; MACDONALD *et al.*, 2014; PEARCEY *et al.*, 2015; WIEWELHOVE *et al.*, 2019).

Embora algumas revisões sistemáticas tenham sido realizadas (CHEATHAM *et al.*, 2015; HENDRICKS *et al.*, 2020; HUGHES; RAMER, 2019; SKINNER; MOSS; HAMMOND, 2020; WIEWELHOVE *et al.*, 2019), o conhecimento acerca dos efeitos da aplicação do FR como ferramenta de recuperação ainda não está claro. A redução da dor

muscular de início tardio (DMIT) é frequentemente observada, o que é de extrema importância, uma vez que alterações na função muscular e a presença de dor podem reduzir a ADM e o desempenho de força e da altura de salto em atletas e indivíduos fisicamente ativos (HUGHES; RAMER, 2019; PEARCEY *et al.*, 2015). Além disso, existem indícios do FR promover a recuperação da ADM (JAY *et al.*, 2014; MACDONALD *et al.*, 2014), resistência muscular de membros inferiores (PEARCEY *et al.*, 2015), força isométrica (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017) e desempenho do salto vertical (DRINKWATER *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019), embora não exista um consenso acerca destes efeitos (LAFFAYE; SILVA; DELAFONTAINE, 2019; REY *et al.*, 2017; ZORKO *et al.*, 2016). Essas inconsistências podem estar relacionadas à grande variabilidade metodológica entre os estudos, principalmente devido aos diferentes protocolos de FR (i.e., diferentes volumes, níveis de pressão e velocidades de aplicação), o que dificulta a comparação entre os mesmos, prejudicando o estabelecimento de alguns consensos.

Em relação ao volume de aplicação (i.e., número de séries *vs* tempo de rolamento por série), é encontrada uma grande heterogeneidade entre os estudos, com protocolos que variam de uma a seis séries (BEIMBORN, 2019; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019; ZORKO *et al.*, 2016) e tempos de duração entre 30 e 180s (BEIMBORN, 2019; DRINKWATER *et al.*, 2019; KELLY; BEARDSLEY, 2016). Um único estudo que encontrou redução da rigidez muscular após a aplicação do FR em condições de DMIE utilizou um volume de 60s (2x30s) (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021). No entanto, em outros estudos, volumes maiores de 90s (2x45s) (SCHROEDER *et al.*, 2019) e 120 (2x60s) (YANAOKA *et al.*, 2021) não promoveram alteração nesse parâmetro. Já em relação a propriedades funcionais, algumas revisões sistemáticas buscaram investigar a influência de diferentes volumes de aplicação do FR (HENDRICKS *et al.*, 2020; HUGHES; RAMER, 2019). O estudo de HUGHES e RAMER (2019) sugeriu um volume mínimo de 90s por grupo muscular para a redução da DMIT. Da mesma forma, o estudo de HENDRICKS *et al.* (2020) indicou que 3-5 séries com tempos de duração entre 30-60s por grupamento muscular pode promover a redução da DMIT e a recuperação da ADM e da produção de força. Sendo assim, a maior parte dos estudos que encontrou redução da DMIT e recuperação da ADM e da produção de força utilizou volumes de aplicação de 90 (AKINCI *et al.*, 2020; LENNON, 2018; PEARCEY *et al.*, 2015; REY *et al.*, 2017; SCUDAMORE *et al.*, 2021) e 120 segundos (LAFFAYE *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014; YANAOKA *et al.*, 2021), divididos entre 2-5 séries de 30-60s por grupamento muscular.

O nível da pressão aplicada no FR consiste na magnitude da carga compressiva aplicada sobre os tecidos moles (i.e., pele, aponeuroses, músculo e tendão) a partir da própria massa corporal. Alguns estudos controlaram a pressão exercida durante a aplicação do FR de forma autosselecionada (ADAMCZYK *et al.*, 2020; D'AMICO *et al.*, 2020; MACDONALD *et al.*, 2014; RAHIMI; AMANI-SHALAMZA, CLEMENTE, 2020), pela maior pressão tolerável (BEIMBORN, 2019; DRINKWATER *et al.*, 2019; KAYA; BLAZEVIICH, 2009; KELLY; BEARDSLEY, 2016; ÖZSU; GUROL; KURT, 2018; PEARCEY *et al.*, 2015; REY *et al.*, 2017; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019) e a partir da percepção subjetiva de dor (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017).

Outros estudos que monitoraram a descarga de peso durante a aplicação, observaram que uma pressão média de 45% a 55% do peso corporal não parece influenciar na recuperação de propriedades musculotendíneas dos músculos flexores (YANAOKA *et al.*, 2021) e extensores (SCHROEDER *et al.*, 2019) do joelho. Por outro lado, na recuperação de propriedades funcionais, uma descarga de peso média de 44% a 52% da massa corporal durante a aplicação do FR nos músculos extensores do joelho, promoveu maior redução da DMIT e maior recuperação da ADM pós-24h, pós-48h e pós-72h, além de uma maior recuperação do desempenho do salto pós-48h, em relação ao grupo controle (nenhum tratamento), sem alterar o pico de torque isométrico (MACDONALD *et al.*, 2014). Outro estudo prévio (GRABOW *et al.*, 2018), utilizando um bastão de massagem, comparou diferentes intensidades de pressão de aplicação (moderada e alta), avaliada por escala de percepção de dor, sobre efeitos em parâmetros funcionais (i.e., ADM ativa e passiva de flexão do joelho, produção de força isométrica de flexão e extensão do joelho, e desempenho no salto vertical). Foi observado um aumento da ADM ativa e passiva semelhante entre os níveis de pressão aplicada (50-90% da dor máxima tolerável), porém não foram encontrados efeitos significativos para as demais variáveis em qualquer intensidade de pressão aplicada. Já nos músculos flexores plantares, não foram encontrados estudos que avaliaram as propriedades musculotendíneas ou produção de força e que monitoraram a descarga de peso durante a aplicação do FR. Portanto, essa relação ainda não foi investigada. Por outro lado, uma descarga de peso média de 10% e 24% da massa corporal promoveu a redução da DMIT e maior recuperação da ADM pós-48h (LENNON, 2018). Esses resultados sugerem que a redução da DMIT e recuperação da ADM dos músculos flexores plantares após a aplicação do FR não é tão dependente da descarga de peso aplicada. Além disso, foi sugerido que uma pressão excessiva aplicada pelo FR poderia fazer com que o praticante reduza a descarga de peso sobre o dispositivo a fim de evitar a dor, não obtendo assim benefícios ou prejuízos a partir da aplicação da técnica (BEHARA; JACOBSON, 2017).

A pressão do rolamento pode variar de acordo com o dispositivo de tratamento, uma vez que o rolo de espuma pode ser constituído a partir de diferentes densidades e dimensões (CURRAN; RUSSEL; JOSEPH, 2008). Um rolo de espuma mais denso tende a sofrer uma menor deformação (CURRAN; RUSSEL; JOSEPH, 2008). Com isso, uma menor deformação do FR durante a aplicação e conseqüentemente uma menor área de contato com o grupamento muscular envolvido pode indicar que a pressão aplicada seja maior em relação a um rolo de espuma menos denso, com maior deformação. Com isso, é possível que essa maior pressão exercida sobre os tecidos nos tecidos miofasciais, promova uma maior redução da DMIT e tolerância ao alongamento, favorecendo também uma maior recuperação da ADM (HENDRICKS *et al.*, 2020; HUGHES; RAMER, 2019; WIEWELHOVE *et al.*, 2019). Um estudo (ADAMCZYK *et al.*, 2020) avaliou os efeitos de dois diferentes tipos de rolos de espuma (i.e., mais e menos denso) sobre a redução da DMIT após o DMIE. De acordo com os resultados, houve redução significativa e gradual da DMIT com o FR mais denso em 24h, 48h, 72h e 96h após a aplicação, enquanto que com o FR menos denso, a redução ocorreu em 48h, 72h e 96h. No entanto, não foram observadas diferenças entre os dispositivos. Em outro estudo (YANAOKA *et al.*, 2021), foi comparado a influência de dois tipos de rolos de espuma de diferentes densidades (média e alta) sobre a rigidez muscular, DMIT e ADM dos músculos flexores do joelho após o DMIE. A aplicação do FR causou aumento significativo da ADM imediatamente, 20 e 60 minutos após, além de 24h e 48h após a aplicação. No entanto, não houve diferença entre os dois tipos de rolo de espuma. Por fim, não foi encontrado nenhum efeito significativo do FR nos níveis de dor e de rigidez muscular. Dessa forma, embora existam alguns indícios que o FR mais denso possa acelerar a redução da dor após o DMIE, a escassez de estudos não permite a elaboração de consenso acerca dos efeitos da densidade do FR na rigidez dos tecidos miofasciais e em propriedades funcionais.

É possível que o nível de pressão aplicada também varie conforme o grupamento muscular envolvido, devido a posição do corpo e do FR. Nos extensores do joelho, frequentemente a aplicação do FR ocorre em decúbito ventral, com os antebraços posicionados no solo, com um suporte do peso corporal semelhante ao exercício de prancha (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; MACDONALD *et al.*, 2014; PEARCEY *et al.*, 2015), e com o rolo sendo movido do quadril ao joelho. Já para os músculos flexores do joelho (MACDONALD *et al.*, 2014; YANAOKA *et al.*, 2021) e flexores plantares (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; LENNON, 2018), a aplicação ocorre em posição sentada e as mãos apoiadas no solo, sendo que nos músculos flexores plantares o rolamento ocorre da região do joelho (mais proximal) ao tornozelo (mais distal). Esses diferentes posicionamentos durante a

aplicação do FR podem induzir diferentes níveis de pressão entre grupos musculares distintos (BAUMGART *et al.*, 2019), os quais podem ser atribuídos aos seguintes fatores: 1) a medida que o rolo de espuma é posicionado de forma mais distal em relação a todo o membro inferior, é possível que a descarga de peso sobre os membros superiores seja maior do que a carga aplicada sobre o rolo de espuma, e isto poderia ser atribuído ao posicionamento do centro de massa, o qual estaria localizado mais próximo do ponto de apoio dos braços ao solo; 2) a medida que o rolo de espuma se move no sentido mais distal em relação ao segmento alvo, a descarga de peso sobre o rolo de espuma pode diminuir. Este comportamento poderia ocorrer devido a uma redução no comprimento do braço de alavanca formado entre o rolo de espuma e o ponto de apoio dos membros superiores ao solo (GLÄNZEL *et al.*, 2022). Portanto, é possível que músculos localizados em posições mais distais dos membros inferiores, como os flexores plantares, possam necessitar de maiores níveis de pressão-volume.

Diferentes características antropométricas dos participantes, como a espessura do tecido adiposo subcutâneo, também podem influenciar na pressão exercida e eficácia da técnica. Dessa forma, Smith *et al.* (2018) sugeriram que o excesso de tecido adiposo subcutâneo poderia dissipar parte da descarga de peso aplicada no FR sobre os tecidos miofasciais (SMITH *et al.*, 2018). Com isso, a variabilidade entre a massa corporal e a quantidade de tecido adiposo individual dos sujeitos poderia promover diferentes respostas e adaptações frente a aplicação do FR. Entretanto, Curran *et al.* (2008) observaram que a pressão exercida durante a aplicação do FR não possui correlação com a massa corporal e com a circunferência da perna e não foram encontrados estudos que buscaram identificar a influência da camada adiposa sobre a eficácia do FR. Sendo assim, embora a pressão aplicada pelo FR tenha sido controlada em alguns casos, não há um consenso sobre os efeitos de diferentes níveis de pressão na recuperação de propriedades musculoesqueléticas e funcionais de indivíduos saudáveis.

Outra variável que pode influenciar nos efeitos da aplicação do FR é a velocidade do rolamento, a qual está relacionada com a quantidade de ciclos de rolamento por série. Acredita-se que a velocidade possa afetar o fluxo sanguíneo, a temperatura do tecido, a velocidade de condução nervosa e a percepção da dor (WILKE, Jan *et al.*, 2019). O estudo de Wilke *et al.* (2019) buscou comparar os efeitos da aplicação do FR por meio de diferentes velocidades (lenta = 6 rpm; rápida = 60 rpm) sobre a ADM e rigidez muscular dos extensores do joelho. Após o FR, nenhuma alteração foi detectada na ADM, enquanto houve redução na rigidez muscular Pós-5min (velocidade rápida = 17%) e Pós-10min (velocidade rápida = 24%; velocidade lenta = 15%), indicando que a rigidez muscular parece reduzir mais rapidamente quando o FR é aplicado com maior velocidade. No entanto, o controle da velocidade de aplicação do FR

apresenta uma grande variabilidade na literatura. Alguns estudos descrevem a velocidade de aplicação do FR sendo controlada de forma autosselecionada (MACDONALD *et al.*, 2014), por repetições por minuto (rpm) (ADAMCZYK *et al.*, 2020; FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; ÖZSU *et al.*, 2018; PEARCEY *et al.*, 2015; REY *et al.*, 2019) e cadência por rolamento (BEIMBORN, 2019; D'AMICO; GILLIS, 2017; DRINKWATER *et al.*, 2019; LAFFAYE *et al.*, 2019), enquanto outros estudos não mencionam se a velocidade de rolamento foi controlada (AKINCI *et al.*, 2020; GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; KAYA; BLAZEVIČ, 2009; MACDONALD *et al.*, 2014; MORADI; MONAZZAMI, 2020; RAHIMI; AMANI-SHALAMZA; CLEMENTE, 2020; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2017; ZORKO *et al.*, 2016). A maior parte dos estudos utilizaram velocidades de rolamento variando entre 50 rpm (MUSTAFA *et al.*, 2021; PEARCEY *et al.*, 2015; REY *et al.*, 2017; SCUDAMORE *et al.*, 2021) e 60 rpm (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; LENNON, 2018; YANAOKA *et al.*, 2021), os quais resultaram em redução da DMIT (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; LENNON, 2018; MUSTAFA *et al.*, 2021; PEARCEY *et al.*, 2015; REY *et al.*, 2017; SCUDAMORE *et al.*, 2021), e recuperação da ADM (LENNON, 2018; YANAOKA *et al.*, 2021) e da produção de força muscular (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; PEARCEY *et al.*, 2015). Por outro lado, os estudos que não encontraram redução da DMIT (AKINCI *et al.*, 2020), e recuperação da ADM (AKINCI *et al.*, 2020) e da produção de força (AKINCI *et al.*, 2020; ZORKO *et al.*, 2016) não informaram a velocidade de rolamento utilizada. Apesar disso, nenhum estudo buscou comparar os efeitos do FR sob diferentes velocidades, quando aplicado como ferramenta de recuperação.

Outro fator que pode influenciar nos efeitos do FR é o nível de familiaridade com a técnica. Uma maior experiência pode estar relacionada com uma maior tolerância à dor, permitindo assim maiores níveis de pressão aplicada sobre os tecidos miofasciais (MAYER *et al.*, 2020). MAYER *et al.* (2020) comparou o efeito do FR sobre as propriedades mecânicas do tecido fascial e muscular entre atletas universitários com ($n = 20$) e sem experiência com FR ($n = 20$). Após a aplicação do FR sobre a região lateral da coxa, foi encontrada redução da rigidez fascial apenas nos atletas com familiaridade com o FR. Estes achados sugerem que os efeitos da técnica podem ser dependentes do nível de experiência do indivíduo. Neste sentido, embora em alguns estudos (BAUMGART *et al.*, 2019; MAYER *et al.*, 2019) os sujeitos avaliados não apresentavam experiência com o FR, estratégias de familiarização com a técnica têm sido adotadas com o objetivo de garantir uma execução adequada (MACDONALD *et al.*, 2013; PHILLIPS *et al.*, 2021).

Sendo assim, apesar da literatura apresentar alguns resultados promissores quanto aos efeitos do FR na recuperação da rigidez dos tecidos miofasciais e em parâmetros funcionais, a heterogeneidade dos protocolos de aplicação do FR dificulta a comparação entre os estudos. Assim, a dosagem ideal, bem como a pressão necessária, para que o FR possa promover uma maior recuperação de propriedades mecânicas (i.e., rigidez dos tecidos miofasciais) e em parâmetros funcionais (i.e., redução da DMIT, e aumento da ADM, produção de força e altura do salto vertical) ainda não foi estabelecida (HENDRICKS *et al.*, 2020; HUGHES; RAMER, 2019).

2.3 INFLUÊNCIA DO FR NA RECUPERAÇÃO DE PROPRIEDADES MUSCULOTENDÍNEAS

O DMIE geralmente ocorre após uma sessão intensa de exercício físico (KANDA *et al.*, 2013; PEARCEY *et al.*, 2015), sendo o estresse mecânico aceito com um dos fatores determinantes desta condição (HOWATSON; VAN SOMEREN, 2008). Dessa forma, a grande capacidade de produção de força das contrações excêntricas (HERZOG, 2014) favorece maiores níveis de dano muscular comparado a outros tipos de contração (i.e., concêntrica ou isométrica) (KANDA *et al.*, 2013; PROSKE; MORGAN, 2001). Entre os mecanismos envolvidos no DMIE está o dano ao tecido conjuntivo, matriz celular e miofibrilas devido ao rompimento de sarcômeros, danos ao sistema de acoplamento excitação-contração, linhas Z, túbulos T, degradação de proteínas musculares e acúmulo de cálcio (ARMSTRONG; WARREN; WARREN, 1991; CLARKSON; HUBAL, 2002; KANDA *et al.*, 2013; PROSKE; MORGAN, 2001). Além disso, esse efeito é acompanhado por uma resposta inflamatória, caracterizada por acúmulo de edema e infiltração de citocinas inflamatórias (KANDA *et al.*, 2013; PROSKE; MORGAN, 2001). Tais alterações podem promover mudanças em algumas propriedades mecânicas musculares, sendo que o aumento da tensão passiva contribui para o aumento da rigidez muscular, que pode permanecer elevada por até quatro dias (HOWATSON; VAN SOMEREN, 2008; PROSKE; MORGAN, 2001). Tal resposta parece ocorrer devido a maior liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático, o que causa um maior encurtamento dos elementos contráteis do sistema musculoesquelético (PROSKE; MORGAN, 2001). Por outro lado, foi encontrado apenas um estudo que avaliou os efeitos do DMIE na rigidez das fáscias musculares (WILKE; SCHWIETE; BEHRINGER, 2022). Após um protocolo de DMIE, composto por seis séries de 10 repetições excêntricas máximas no dinamômetro isocinético, houve um aumento da rigidez da fáscia profunda do músculo bíceps femoral após 24 e 72 horas

(WILKE; SCHWIETE; BEHRINGER, 2022). As fáscias musculares possuem uma alta capacidade proprioceptiva e mecanismos autônomos de regulação da rigidez (SCHLEIP *et al.*, 2019). Além disso, devido a sua conexão direta com outros tecidos como o músculo e tendão, foi sugerido uma interação mecânica, em que a fáscia auxilia na absorção e distribuição de forças mecânicas durante altos níveis de tensão, como as ocasionadas pelo exercício excêntrico (WILKE *et al.*, 2018). Com isso, microlesões teciduais e o acúmulo de edema ocasionados por protocolos de DMIE poderiam ser responsáveis pelo aumento da rigidez das fáscias após exercício excêntrico (TENBERG; NOSAKA; WILKE, 2022; WILKE, 2022). Outro possível mecanismo envolvido é de uma maior produção de ácido hialurônico após o exercício, o que aumenta a viscosidade do tecido e resulta em uma maior rigidez fascial (PAVAN *et al.*, 2014). No entanto, devido à escassez de estudos que avaliaram os níveis de rigidez das fáscias musculares após um protocolo de DMIE (WILKE *et al.*, 2022), os possíveis efeitos e mecanismos envolvidos ainda não foram estabelecidos.

Visando reduzir os efeitos deletérios do DMIE, foi sugerido que o FR possa influenciar na recuperação de propriedades mecânicas dos tecidos miofasciais (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021). Acredita-se que o FR possa atuar por meio de mecanismos neurofisiológicos e biomecânicos (GIOVANELLI *et al.*, 2018; MACGREGOR *et al.*, 2018; PHILLIPS *et al.*, 2021; WIEWELHOVE *et al.*, 2019). Os mecanismos neurofisiológicos podem envolver a estimulação de mecanorreceptores e a autorregulação do sistema nervoso central (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015). Os mecanorreceptores incluem os receptores do tecido intersticial e os intrafasciais (i.e., corpúsculos de Pacini, órgãos tendinosos de Golgi e as terminações de Ruffini) (MACDONALD *et al.*, 2013). Com isso, a hipótese é de que a pressão exercida sobre os tecidos moles poderia estimular os mecanorreceptores, modulando a atividade do sistema nervoso autônomo (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015). Além disso, alguns estudos mostram que a massagem poderia causar inibição do reflexo de Hoffmann (WEERAPONG *et al.*, 2005), que é uma medida indireta da excitabilidade do neurônio motor alfa (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015). Essas respostas podem promover alterações na extensibilidade dos tecidos miofasciais (ABOODARDA *et al.*, 2017; LEDERMAN, 1997; SCHLEIP, 2003). Em relação aos mecanismos biomecânicos, é possível que a redução da rigidez dos tecidos miofasciais ocorra por meio de respostas tixotrópicas (onde o tecido adquire uma conformação mais fluída, com maior hidratação e menor viscosidade), redução das aderências fasciais e redução dos processos inflamatórios (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015). No entanto, há resultados contraditórios quanto aos efeitos da aplicação do FR na recuperação da rigidez muscular, uma vez que estudos

encontraram redução (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021) e manutenção (SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021) desse parâmetro (Tabela 2). Além disso, não foram encontrados estudos que avaliaram os efeitos do FR na recuperação da rigidez das aponeurosses musculares e/ou fâscias.

Tabela 2 – Efeitos da aplicação do *foam rolling* (FR) na recuperação de propriedades musculares de músculos do membro inferior

Autor (ano)	Rigidez muscular	Elasticidade muscular	Tônus muscular
GARCÍA-SILLERO <i>et al.</i> (2021)	FP Pós-DMIE = ↑34% FP Pós-0h = 0% FP Pós-24h = ↑17% FP Pós-48h = ↓3%		
SCHROEDER <i>et al.</i> (2019)	RF Pós-0h, Pós-24h, Pós-48h e Pós-72h= ns	RF Pós-0h, Pós-24h, Pós-48h e Pós-72h= ns	RF Pós-0h, Pós-24h, Pós-48h e Pós-72h= ns
YANAOKA <i>et al.</i> (2021)	FJ Pós-DMIE, Pós-0min, Pós-20min, Pós-60min, Pós-24h e Pós-48h = ns		

FP= flexores plantares; RF= reto femoral; FJ= flexores de joelho; DMIE= dano muscular induzido pelo exercício; ns= não significativo

O estudo de García-Sillero *et al.* (2021) teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes estratégias de recuperação (terapia manual, vibração mecânica, terapia de percussão e FR) na rigidez dos músculos flexores plantares de atletas universitários após um protocolo de DMIE. O protocolo de DMIE foi composto por quatro séries de 12 repetições excêntricas máximas de flexão plantar. A rigidez muscular, avaliada por meio de tensiomiografia, foi obtida antes (Pré-DMIE) e imediatamente após o DMIE (Pós-DMIE), e Pós-0h, Pós-24h e Pós-48h da aplicação do FR. A aplicação do FR (2x30s) ocorreu Pós-DMIE no membro direito, enquanto que o membro contralateral serviu de controle. Houve um aumento da rigidez muscular Pós-DMIE em ambos os membros (FR = 34 % vs controle = 35%). No entanto, a aplicação do FR ocasionou maior recuperação da rigidez muscular, pois houve um menor aumento em relação ao membro contralateral em Pós-0h (0% vs 26%), Pós-24h (17% vs 24%) e Pós-48h (-3% vs 9%).

Os resultados de García-Sillero *et al.* (2021) divergem do estudo de Schroeder *et al.* (2019), no qual participaram 20 indivíduos (sete homens, 13 mulheres; idade: $24,7 \pm 2,9$ anos) fisicamente ativos. Foram avaliados o tônus, elasticidade e rigidez do músculo reto femoral, por meio de miotonometria Pré-DMIE e Pós-DMIE, e 24h, 48h e 72h após um protocolo de DMIE, que consistiu de cinco séries de 10 repetições máximas de extensão de joelho, com 2 minutos de intervalo entre as séries. A intervenção com FR (volume = 2x45s, intervalo de 1min; pressão do rolamento = estimada em aproximadamente 50% do peso corporal; velocidade de rolamento = 20 rpm) ocorreu nos músculos extensores do joelho do membro direito dentro de 10 minutos após o protocolo de DMIE e nos dias subsequentes, 10 minutos antes das reavaliações. O membro contralateral foi utilizado como controle. Não houve efeitos significativos da aplicação do FR no tônus, elasticidade e rigidez do músculo reto femoral.

Assim como o estudo anterior Schroeder *et al.* (2019), Yanaoka *et al.* (2021) também não encontraram efeitos do FR na rigidez muscular após DMIE. Os autores avaliaram a rigidez muscular por meio de elastografia em 10 homens fisicamente ativos (idade = $22,1 \pm 1,4$ anos). As avaliações ocorreram Pré-DMIE e Pós-DMIE, consistido por um teste de corrida intermitente (*Loughborough Intermittent Shuttle Test*), e Pós-0h, Pós-20min, Pós-60min, Pós-24h e Pós-48h da intervenção com FR (volume = 2x60s, intervalo de 30s; pressão do rolamento = entre 45% e 55% do peso corporal; velocidade de rolamento = 60 rpm), que foi aplicada em um dos membros, nos músculos flexores do joelho, enquanto que o membro contralateral foi utilizado como controle. De acordo com os resultados do estudo, a aplicação do FR não promoveu alterações na rigidez muscular em nenhum momento avaliado.

Com base nesses achados (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021; SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021), as possíveis alterações encontradas nas propriedades mecânicas dos tecidos miofasciais não estão totalmente esclarecidas. Além dos poucos estudos que buscaram avaliar os efeitos da aplicação do FR nas propriedades mecânicas teciduais em condições de DMIE, estes estudos buscaram avaliar a rigidez muscular, enquanto que apenas um estudo avaliou outras propriedades mecânicas teciduais (e. g. elasticidade e tônus muscular) (SCHROEDER *et al.*, 2019). Em relação a temporalidade dos efeitos, a redução da rigidez muscular com a aplicação do FR, após o DMIE, foi observada Pós-0h, Pós-24h e Pós-48h (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021), enquanto que em outros estudos (SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021), não foram encontradas diferenças significativas nesses mesmos momentos. Dessa forma, não está claro a influência do FR sobre as propriedades mecânicas dos tecidos miofasciais, além de não haver estudos que buscaram entender esta influência nas aponeuroses musculares e/ou fâscias. Por fim, apenas um estudo (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021) avaliou os efeitos do FR na recuperação dos músculos flexores plantares, sendo que os demais avaliaram estes efeitos em músculos da coxa (SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021).

Alguns fatores podem ter influenciado nos resultados contraditórios encontrados. Os estudos apresentaram diferenças quanto as ferramentas de avaliação utilizadas. A rigidez muscular foi avaliada por meio de elastografia (YANAOKA *et al.*, 2021), miotonometria (SCHROEDER *et al.*, 2019) e tensiomiografia (GARCÍA-SILLERO *et al.*, 2021). Embora estas ferramentas sejam utilizadas para a avaliação de propriedades mecânicas dos tecidos miofasciais, a mensuração dessas variáveis ocorre por diferentes mecanismos. A tensiomiografia avalia a rigidez muscular por meio do deslocamento radial muscular durante a contração induzida por estímulo elétrico, enquanto que a miotonometria pela razão entre a força produzida por um impulso mecânico e a profundidade da deformação do tecido (LABATA-LEZAUN *et al.*, 2020), e a avaliação por elastografia ocorre por meio da análise da velocidade de propagação de ondas de cisalhamento (FENG *et al.*, 2018). Além disso, alguns estudos divergem quanto a correlação entre essas ferramentas (LABATA-LEZAUN *et al.*, 2020; LOHR *et al.*, 2018). Portanto, deve-se ter cautela ao comparar esses diferentes métodos (LABATA-LEZAUN *et al.*, 2020; LOHR *et al.*, 2018).

Por fim, a variabilidade entre os estudos, relativos aos grupos musculares envolvidos, protocolos de DMIE e FR também deve ser considerada. Foram avaliados músculos extensores e flexores do joelho e flexores plantares do tornozelo, após terem sido submetidos a protocolos de DMIE envolvendo exercícios de corrida ou exercícios resistidos por meio de contrações

concêntricas e excêntricas. Em relação ao protocolo de FR, há uma limitação importante, já que o único estudo a encontrar reduções da rigidez muscular não descreveu informações quanto a pressão e velocidade de aplicação do FR. Por esse motivo, é possível que a pressão aplicada influencie nos níveis de rigidez muscular, uma vez que pode estar relacionada a magnitude das deformações teciduais (BEHARA; JACOBSON, 2017). Desta forma, os estudos que não encontraram efeitos com a utilização do FR podem ter aplicado níveis de pressão insuficientes (50% do peso corporal) (SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021) para provocar alterações nas propriedades mecânicas dos tecidos miofasciais (BEARDSLEY; ŠKARABOT, 2015). Além disso, acredita-se que a velocidade de aplicação do FR possa afetar o fluxo sanguíneo, a temperatura do tecido e a velocidade de condução nervosa (WILKE *et al.*, 2019). No entanto, a rigidez muscular não foi alterada com protocolos de FR que utilizaram velocidades de 20 rpm (SCHROEDER *et al.*, 2019) e 60 rpm (YANAOKA *et al.*, 2021). Sendo assim, a falta de um consenso entre os estudos não permite um melhor entendimento sobre o real efeito da aplicação do FR na recuperação de propriedades mecânicas miofasciais, inclusive nos músculos flexores plantares.

2.4 INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO FR NA DOR MUSCULAR

A DMIT refere-se à sensação de dor muscular após a realização de exercícios físicos não habituais, que pode comprometer o desempenho neuromuscular em atividades subsequentes (CONNOLLY; SAYERS; MCHUGH, 2003; KANDA *et al.*, 2013). Esse aumento da DMIT ocorre a partir de 24 horas, atinge o pico em 48 horas e mantém-se elevada por até 96 horas pós-exercício, comparado aos valores basais (ARMSTRONG *et al.*, 1991; TORRES *et al.*, 2010). Essa resposta pode ocorrer devido ao aumento da pressão osmótica intracelular, causado pelo processo inflamatório e acúmulo de edema, que ativam as terminações nervosas e sensibilizam os nociceptores (CLARKSON; HUBAL, 2002; MORGAN; ALLEN, 1999). Além disso, uma maior sensibilidade dos nociceptores e a ativação dos nervos aferentes do tipo III e IV pode ser decorrente da maior liberação de algumas substâncias após o DMIE, como a histamina, bradicinina e prostaglandinas, resultando na DMIT (CLARKSON; HUBAL, 2002).

A utilização do FR parece promover reduções dos níveis de DMIT após um protocolo de DMIE (LAFFAYE *et al.*, 2019; LEE *et al.*, 2020; MACDONALD *et al.*, 2014; MUSTAFA *et al.*, 2021; PEARCEY *et al.*, 2015; REY *et al.*, 2019; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2017; SCUDAMORE *et al.*, 2021). Em um estudo

randomizado e cruzado, composto por oito homens fisicamente ativos (idade = $22,1 \pm 2,5$ anos), Pearcey *et al.* (2015) buscaram investigar os efeitos da aplicação do FR (volume = $2 \times 45s$, com 15s de intervalo; pressão do rolamento = maior possível; velocidade de rolamento = 50 rpm) como ferramenta de recuperação muscular após um protocolo de DMIE (agachamento com pesos livres; 10 séries x 10 repetições a 60% de uma repetição máxima [1-RM]). A DMIT foi avaliada pelo limiar de dor à pressão nos músculos extensores do joelho por meio de algometria nos seguintes momentos: Pré-DMIE, 24h, 48h e 72h após o DMIE. Os participantes realizaram duas condições [CON (controle) e experimental], com intervalo de quatro semanas entre cada condição. Na condição experimental, o FR foi aplicado ao término das reavaliações nos principais grupos musculares do membro inferior (extensores e flexores do joelho, adutores do quadril, banda iliotibial e glúteos) imediatamente, em 24h e 48h após o DMIE. Na condição CON, os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo de DMIE e avaliações, porém sem nenhuma intervenção. Após as reavaliações, foi observado que a aplicação do FR ocasionou um menor aumento da DMIT, evidenciado por uma diminuição do limiar de dor à pressão em 24h (FR = 18% vs CON = 26%) e 48h (FR = 19% vs CON = 30%) após o protocolo de DMIE.

Assim como no estudo anterior (PEARCEY *et al.*, 2015), MacDonald *et al.* (2014) também encontraram redução da DMIT após a aplicação do FR. A amostra foi composta por 20 homens, que foram divididos em grupo experimental ($n = 10$; idade = $25,1 \pm 3,6$ anos) e controle ($n = 10$; idade = $24,0 \pm 2,8$ anos). Ambos os grupos foram expostos a um protocolo de DMIE (agachamento com pesos livres; 10 séries x 10 repetições a 60% de 1-RM). No grupo experimental, a aplicação do FR (volume = $2 \times 60s$; pressão do rolamento = autosseleccionada; velocidade de rolamento = autosseleccionada) foi realizada nos músculos extensores e flexores do joelho, adutores do quadril, banda iliotibial e glúteos Pós-DMIE, 24h e 48h após o DMIE, posteriormente as avaliações, enquanto que o grupo CON não recebeu qualquer tipo de intervenção. A avaliação da dor muscular, mensurada ao realizar um agachamento com o peso corporal, ocorreu Pré-DMIE, Pós-DMIE, 24h, 48h e 72h após o DMIE. Houve redução da dor muscular no grupo FR, evidenciado por menores elevações da DMIT após a aplicação do FR em comparação ao grupo controle em 24h (FR: 543%; controle: 714%), 48h (FR: 414%; controle: 807%) e 72h (FR: 243%; controle: 607%) após o protocolo de DMIE.

Apesar de alguns estudos terem encontrado redução da DMIT após a aplicação do FR, os mecanismos envolvidos neste processo ainda não estão claros. Acredita-se que estejam envolvidas respostas fisiológicas a níveis centrais e periféricas. Dentre os mecanismos centrais, uma possível explicação se dá por meio de efeitos nos sistemas modulatórios centrais da dor,

controle inibitório nocivo difuso e aumento da atividade parassimpática (ABOODARDA *et al.*, 2015). A aplicação do FR poderia promover a ativação de vias inibitórias descendentes por meio do sistema opioide da substância cinzenta central, e pela via inibitória descendente do controle inibitório nocivo difuso, que é ativado por estímulos nociceptivos (e.g. pressão mecânica) (ABOODARDA *et al.*, 2017; ABOODARDA *et al.*, 2015). A massagem também demonstrou aumentar a atividade parassimpática, por meio de alterações na serotonina, cortisol e endorfinas, contribuindo para a redução da percepção da dor (CAVANAUGH *et al.*, 2017). Além disso, há evidências de respostas antinociceptivas pela liberação endógena de ocitocina no plasma e na substância cinzenta central, localizada ao redor do aqueduto cerebral no mesencéfalo (AGREN *et al.*, 1995; JAY *et al.*, 2014; LUND *et al.*, 2002).

Outros fatores também podem influenciar na redução da DMIT, como o aumento do fluxo sanguíneo local (CAFARELLI; FLINT, 1992; OKAMOTO; MASUHARA; IKUTA, 2014), o qual pode contribuir para o aumento do número de neutrófilos circulantes e diminuição da produção de prostaglandinas, atenuando o processo inflamatório (CAFARELLI; FLINT, 1992; PABLOS *et al.*, 2020; SMITH *et al.*, 1994). O aumento do fluxo sanguíneo local também pode favorecer a redução do estresse metabólico pela remoção do lactato sanguíneo (ADAMCZY *et al.*, 2020; KALÉN *et al.*, 2017; MORADI; MONAZZAMI, 2020; ÖZSU *et al.*, 2018; PELANA *et al.*, 2021; RAHIMI *et al.*, 2020), aumentar do fornecimento de oxigênio ao músculo (CHEATHAM *et al.*, 2015) e possibilitar uma menor elevação de creatina quinase (MORADI; MONAZZAMI, 2020). Por fim, outros efeitos bioquímicos podem estar envolvidos, ocasionados por menor ativação de proteínas de choque térmico (PEARCEY *et al.*, 2015; SMITH *et al.*, 1994) e maior ativação de receptores mecanossensoriais que sinalizam a transcrição da subunidade 7B da citocromo c oxidase (COX7B) e da NADH-ubiquinona oxidoredutase da cadeia 1 (ND1) (CRANE *et al.*, 2012). Esses marcadores indicam o aumento da biogênese mitocondrial, o que favorece a ressíntese de ATP, o retorno de cálcio para o retículo sarcoplasmático e a reparação tecidual (CRANE *et al.*, 2012; PEARCEY *et al.*, 2015; SMITH *et al.*, 1994).

Embora alguns estudos tenham encontrado redução da DMIT após a aplicação do FR, tal efeito parece não ser um consenso (AKINCI *et al.*, 2020; D'AMICO *et al.*, 2020; D'AMICO; GILLIS, 2017; FLECKENSTEIN *et al.*, 2017). Em um estudo recente, composto por 45 indivíduos saudáveis, Akinci *et al.* (2020) buscaram investigar os efeitos de três diferentes tipos de intervenção (recuperação ativa, estimulação elétrica neuromuscular e FR) sobre algumas medidas de recuperação muscular, incluindo a DMIT, após um protocolo de DMIE que consistiu de uma sessão de treinamento em circuito de alta intensidade a 85% da frequência

cardíaca de reserva. O grupo FR (n = 15; 10 mulheres, cinco homens; idade = $20,2 \pm 0,8$ anos) realizou a aplicação do FR (volume = 1x90s; pressão do rolamento = instruídos a colocar sua massa corporal; velocidade de rolamento = não informada) nos músculos extensores e flexores do joelho, adutores do quadril, banda iliotibial e glúteos imediatamente após o DMIE. A avaliação da DMIT, realizada por meio da BS-11 *Numerical Rating Scale*, ocorreu nos momentos imediatamente após, em 24h e 48h da aplicação do FR. Os resultados mostraram que a DMIT aumentou, em ambos os grupos, do momento imediatamente após (recuperação ativa = 22%; estimulação elétrica neuromuscular = 17%; FR = 36%) para Pós-24h (recuperação ativa = 57%; estimulação elétrica neuromuscular = 52%; FR = 55%), e reduziu em Pós-48h (recuperação ativa = 37%; estimulação elétrica neuromuscular = 41%; FR = 45%). No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre os três métodos de recuperação.

Resultados semelhantes também foram encontrados no estudo de D'amico e Gillis (2017), composto por 37 indivíduos saudáveis do sexo masculino, ao qual foram divididos em dois grupos (FR: n = 18, idade = $22,4 \pm 2,0$ anos; CON: n = 19, idade = $23,2 \pm 3,2$ anos) de forma randomizada, a fim de avaliar o efeito da aplicação do FR (volume = 2x60s; pressão do rolamento = instruídos a colocar sua massa corporal; velocidade de rolamento = 12 rpm) na DMIT após um protocolo de DMIE (40 *sprints* máximos de 15 metros, com intervalo de 30s). A DMIT foi avaliada Pré-DMIE e por cinco dias consecutivos após o DMIE, por meio de duas escalas de percepção de dor, sendo a escala visual analógica (EVA) de dor e a *general Labeled Magnitude Scale* (gLMS), em resposta a aplicação de 30N de força em cada grupo muscular, utilizando um algômetro. Antes de cada avaliação, o grupo FR realizou a aplicação nos músculos extensores e flexores do joelho, glúteos e flexores plantares do tornozelo em ambos os membros, enquanto que o grupo CON não realizou nenhuma intervenção. Com base nos resultados, não houve diferenças entre os grupos nas escalas EVA e gLMS, em todos os momentos avaliados, indicando que o FR não teve efeito na redução da DMIT. Os autores sugeriram que a utilização de um aquecimento prévio antes das avaliações, utilizado neste presente estudo, possa ter contribuído para a redução da DMIT, o que pode explicar esses resultados.

Dessa forma, é provável que a aplicação do FR reduza a DMIT após o DMIE. Tal efeito foi observado Pós-0h (SCUDAMORE *et al.*, 2021), Pós-24h (LAFFAYE *et al.*, 2019; LENNON, 2018; MACDONALD *et al.*, 2014; MUSTAFA *et al.*, 2021; PEARCEY *et al.*, 2015; REY, *t al.*, 2017), Pós-48h (LAFFAYE *et al.*, 2019; LENNON, 2018; MACDONALD *et al.*, 2014; MUSTAFA *et al.*, 2021; PEARCEY *et al.*, 2015; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2017) e Pós-72h (MACDONALD *et al.*, 2014; MUSTAFA *et*

al., 2021; PEARCEY *et al.*, 2015). No entanto, diferenças metodológicas relativas aos métodos de avaliação da dor (e.g., escalas de avaliação de dor e algometria), protocolos de DMIE (e.g., exercícios de força e de corrida) e de aplicação do FR (e.g., diferentes volumes e pressão de aplicação) não permitem criar um consenso sobre a influência do FR na DMIT. Embora a redução da DMIT tenha sido observada após diferentes protocolos de DMIE, a maior parte dos estudos induziu o DMIE por meio de 10 séries de 10 repetições de agachamento com pesos livres a 60% de 1-RM (MACDONALD *et al.*, 2014; MUSTAFA *et al.*, 2021; PEARCEY *et al.*, 2015; SCUDAMORE *et al.*, 2021) e exercícios submáximos utilizando o peso corporal (AKINCI *et al.*, 2020a; FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2017). Já em relação ao volume de aplicação, 90 segundos, divididos por 1x90s (AKINCI *et al.*, 2020b), 2x45s (PEARCEY *et al.*, 2015; REY *et al.*, 2019; SCUDAMORE *et al.*, 2021) e 3x30s (LENNON, 2018), e 120 segundos, divididos por 2x60s (LAFFAYE *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014), por agrupamento muscular, têm sido frequentemente utilizados. A revisão sistemática de Hughes e Ramer (2019) investigou a relação dose-resposta de aplicação para que o FR possa promover a redução da DMIT e foi sugerido um tempo mínimo de 90 segundos de aplicação. Isto vai ao encontro do estudo de Hendricks *et al.* (2020), o qual sugere um volume de aplicação de três a cinco séries, com tempos de duração de 30 a 60 segundos em cada série, para a redução da DMIT.

2.5 INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO FR NA ADM ARTICULAR

A redução da ADM após o DMIE tem sido frequentemente observada na literatura (BARROSO *et al.*, 2011; NOSAKA; NEWTON, 2002; PROSKE; MORGAN, 2001). Essa redução pode ser explicada pelo aumento da rigidez muscular e da DMIT, que ocasiona a redução da extensibilidade dos tecidos envolvidos e menor tolerância ao alongamento (PROSKE; MORGAN, 2001). Há evidências de que a aplicação do FR, após o DMIE, possa causar uma maior recuperação da ADM (LAFFAYE *et al.*, 2019; LENNON, 2018; MACDONALD *et al.*, 2014; MORADI; MONAZZAMI, 2020; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021). Tal resposta é considerada como um dos principais efeitos desta técnica (WIEWELHOVE *et al.*, 2019).

O estudo de MacDonald *et al.* (2014) avaliou os efeitos de aplicação do FR (volume = 2x60s; pressão do rolamento = autosseleccionada; velocidade de rolamento = autosseleccionada) na ADM passiva de extensão e flexão do joelho em 20 indivíduos fisicamente ativos do sexo masculino. As avaliações ocorreram antes e imediatamente após, além de 24h, 48h e 72h após

um protocolo de DMIE envolvendo agachamento com pesos livres (10 séries x 10 repetições a 60% de 1-RM). No grupo submetido a intervenção (n = 10; idade = 25,1 ± 3,6 anos), o FR foi aplicado nos músculos extensores e flexores do joelho, adutores do quadril, banda iliotibial e glúteos imediatamente, e 24 e 48 horas após o DMIE, posteriormente as avaliações, enquanto que o grupo CON (n = 10; idade = 24,0 ± 2,8 anos) também realizou o protocolo de DMIE, porém não foi submetido a nenhuma intervenção. Em comparação com o grupo CON, a aplicação do FR não provocou alterações na ADM passiva de extensão do joelho após 24h (FR: 8%; CON: 5%), mas promoveu uma maior recuperação desta variável após 48h (FR: 11%; CON: 0%) e 72h (FR: 13%; CON: 4%). Além disso, a ADM passiva de flexão do joelho não apresentou alterações após 24h (FR: -1%; CON: -3%) e 48h (FR: 0%; CON: 0%). No entanto, uma maior recuperação da ADM de flexão do joelho foi observada em 72 (FR: 3%; CON: 0%) horas após o DMIE.

Os achados de YANAOKA *et al.* (2021) vão ao encontro dos resultados de MacDonald *et al.* (2014). Yanaoka *et al.* (2021) aplicaram o FR (volume = 2x60s, intervalo de 30s; pressão do rolamento = 45 a 55% da massa corporal; velocidade de rolamento = 60 rpm) em 10 homens (idade = 22,1 ± 1,4 anos) fisicamente ativos. A ADM passiva de flexão do joelho foi avaliada Pré-DMIE e Pós-DMIE, consistido por um teste de corrida intermitente (*Loughborough Intermittent Shuttle Test*), bem como Pós-0h, Pós-20min, Pós-60min, Pós-24h e Pós-48h da intervenção com FR. O FR foi aplicado imediatamente após o DMIE, em um dos membros, enquanto que o membro contralateral foi utilizado como controle. A aplicação do FR causou um aumento da ADM Pós-0h em relação ao momento Pós-DMIE e houve um aumento significativo da ADM no membro submetido a intervenção com FR em relação ao membro controle, em todos os momentos.

Algumas hipóteses buscam explicar a recuperação da ADM causada pela aplicação do FR. Esse efeito poderia estar atribuído às alterações viscoelásticas e tixotrópicas do tecido conjuntivo (CHEATHAM *et al.*, 2015), já que este tecido é composto por substâncias coloidais, que podem se tornar mais gelatinosas, quando submetida ao calor e estresse mecânico causado pelo FR (SOUZA *et al.*, 2019; PHILLIPS *et al.*, 2021). Além disso, pode haver uma associação com aumentos na temperatura intramuscular e do fluxo sanguíneo, o que favorece a movimentação do líquido intersticial à circulação, reduzindo a inflamação e dor muscular, favorecendo assim o aumento da ADM (CALLAGHAN, 1993; CRANE *et al.*, 2012; OKAMOTO; MASUHARA; IKUTA, 2014). No entanto, o mecanismo mais provável é de que o FR tem o potencial de aumentar o limiar de dor e permitir maior tolerância ao alongamento (i.e., maior ADM) (HUGHES; RAMER, 2019). Acredita-se que esse efeito ocorra por meio

dos sistemas modulatórios de dor a nível central, devido à sobrecarga dos receptores da pele, inibindo e/ou minimizando a sensação de dor e conseqüentemente aumentando a tolerância ao alongamento, pelo processo de inibição autogênica (SOUZA *et al.*, 2019; KELLY; BEARDSLEY, 2016). Com isso, a hipótese de que a recuperação da ADM após o DMIE seja explicada por alterações na rigidez tecido miofascial parece pouco provável, uma vez que os resultados são contraditórios em relação aos efeitos do FR nesse parâmetro e as evidências existentes são limitadas (SCHROEDER *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021).

Por outro lado, a recuperação da ADM induzida pelo FR após protocolos de DMIE parece não ser um consenso na literatura. Alguns estudos (AKINCI *et al.*, 2020; BEIMBORN, 2019; DRINKWATER *et al.*, 2019; REY *et al.*, 2017) não encontraram alterações na ADM após a aplicação do FR. Em um desenho randomizado e cruzado, BEIMBORN (2019b) submeteu oito indivíduos (cinco homens e três mulheres; idade = $21,4 \pm 1,5$ anos) fisicamente ativos a um protocolo de DMIE, consistido de agachamento com pesos livres (10 séries x 10 repetições a 60% de 1-RM). A ADM de flexão de quadril e a de flexão de joelho foram avaliadas de forma passiva nos momentos Pré-DMIE, 24h e 48h após o protocolo de DMIE. Um *wash-out* de uma semana entre as condições (FR e CON). A aplicação do FR (volume = 1x30s; pressão do rolamento = instruídos a aplicar todo o peso corporal; velocidade de rolamento = cadência de 3s para grupos musculares grandes, cadência de 2s para grupos musculares pequenos) ocorreu Pós-DMIE, 24h e 48h após o DMIE, antes de cada reavaliação, enquanto que na condição CON não houve nenhuma intervenção. O protocolo de DMIE causou redução da ADM tanto para flexão do quadril quanto para flexão do joelho após 48h. No entanto, as condições (FR e CON) apresentaram comportamento semelhante em relação a ADM de flexão do quadril e do joelho em todos os momentos.

Resultados semelhantes aos de Beimborn (2019) também foram encontrados por Drinkwater *et al.* (2019). Neste estudo randomizado e cruzado, a amostra foi composta por 11 homens (idade = $24,0 \pm 0,7$ anos) fisicamente ativos. Os participantes realizaram um protocolo de DMIE (seis séries de 25 repetições excêntricas máximas de extensão de joelho em dinamômetro isocinético). A ADM de flexão de joelho foi avaliada nos seguintes momentos: Pré-DMIE, Pós-DMIE, 24h, 48h e 72h após o protocolo de DMIE. As condições (FR e CON), com um *wash-out* de três semanas entre elas, envolviam a aplicação do FR (volume = 1x180s por grupamento muscular, total de 15min; pressão do rolamento = máximo peso corporal tolerável; velocidade de rolamento = cadência de 1s) nos músculos extensores e flexores do joelho, adutores do quadril, banda iliotibial e glúteos; ou repouso de 15 minutos em posição sentada (condição CON), as quais foram realizadas antes de cada reavaliação (Pós-DMIE, 24h,

48h e 72h após o DMIE). A aplicação do FR não promoveu maior recuperação da ADM em relação a condição CON em nenhum dos momentos avaliados.

Tais divergências podem ter ocorrido devido a diferenças entre os protocolos de aplicação do FR e de DMIE, articulações avaliadas (e.g., quadril e joelho) e parâmetros de avaliação (e.g., ADM avaliada de forma ativa ou passiva) (DRINKWATER *et al.*, 2019; LAFFAYE *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014). Os estudos que encontraram aumento da ADM utilizaram o FR com volumes de aplicação por grupamento muscular variando entre 120s (MACDONALD *et al.*, 2014; YANAOKA *et al.*, 2021) e 300s (ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019) por sessão. Já em estudos que não encontraram tais respostas, o volume de aplicação do FR foi menor, de 30 (BEIMBORN, 2019) e 90s (AKINCI *et al.*, 2020; REY *et al.*, 2019). Assim como o volume de aplicação, o protocolo de DMIE também parece determinar os efeitos do FR na recuperação da ADM. A intensidade do exercício é um fator determinante para a redução da ADM encontrada após o DMIE (BARROSO *et al.*, 2011) e os estudos que encontraram as maiores reduções da ADM após o DMIE, bem como maior recuperação da ADM após o FR, utilizaram protocolos de DMIE semelhantes, envolvendo agachamentos (10 séries de 10 repetições) com intensidades de 60% de 1-RM (MACDONALD *et al.*, 2014; YANAOKA *et al.*, 2021) e por meio de contrações excêntricas máximas (ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019). Sendo assim, considerando que um maior dano muscular ocorre quando são realizados contrações com alto nível de estresse mecânico (e.g., contrações excêntricas máximas), é plausível que a magnitude da redução da ADM após o DMIE esteja relacionada com o nível da DMIT, do processo inflamatório e das alterações das propriedades mecânicas teciduais (e.g., aumento da rigidez do tecido miofascial) (BARROSO *et al.*, 2011; CLARKSON; HUBAL, 2002; MORGAN; ALLEN, 1999; PROSKE; MORGAN, 2001).

Portanto, é possível que a aplicação do FR após o DMIE otimize a recuperação da ADM. Enquanto que poucos estudos encontraram a recuperação da ADM com a aplicação do FR imediatamente (YANAOKA *et al.*, 2021), 24h (MORADI; MONAZZAMI, 2020) e 72h (MACDONALD *et al.*, 2014) após o DMIE, um maior número de evidências foram encontradas após 48h (LENNON, 2018; MACDONALD *et al.*, 2014; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019; YANAOKA *et al.*, 2021). No entanto, tais respostas parecem depender dos protocolos do FR e do DMIE. Sendo assim, a grande variabilidade entre os estudos dificulta o estabelecimento de um consenso sobre o efeito da aplicação do FR na recuperação da ADM.

2.6 INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO FR NA RECUPERAÇÃO DA FORÇA MUSCULAR E DO DESEMPENHO DO SALTO VERTICAL

Geralmente, o maior decréscimo da força muscular acontece imediatamente após o DMIE e têm sido atribuído a fatores neurais (e.g., ativação muscular voluntária reduzida) (BYRNE; TWIST; ESTON, 2004) e morfológicos (e.g., dano estrutural ao tecido muscular e conjuntivo) (CLARKSON; HUBAL, 2002; HOWATSON; VAN SOMEREN, 2008; KANDA *et al.*, 2013; PROSKE; MORGAN, 2001), além da DMIT (CHEUNG; HUME; MAXWELL, 2003; CLARKSON; HUBAL, 2002; CONNOLLY *et al.*, 2003). Alguns estudos buscaram investigar os efeitos da aplicação do FR na recuperação da produção de força muscular e do desempenho do salto vertical. Há evidências de que o FR auxilie na recuperação da força após protocolo de DMIE (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; PEARCEY *et al.*, 2015; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2017). Fleckenstein *et al.* (2017) buscou verificar os efeitos da aplicação do FR na produção de força isométrica máxima em indivíduos fisicamente ativos (idade = $24,8 \pm 2,3$ anos) após o DMIE. O protocolo de DMIE envolveu quatro exercícios (saltos, subidas em banco, agachamentos e exercício de agilidade). Após o DMIE, o grupo experimental ($n = 15$) foi submetido a intervenção com o FR (volume = 1×30 s; pressão do rolamento = pontuação de 7/10 na escala EVA; velocidade de rolamento = 60 rpm) nos músculos extensores e flexores do joelho, adutores do quadril, trato iliotibial e flexores plantares, em ambos os membros, enquanto que o grupo CON ($n = 15$) permaneceu sentado por cinco minutos. A contração isométrica voluntária máxima (CIVM) foi avaliada Pré-DMIE, Pós-0h e cinco minutos após o FR. A intervenção com FR influenciou na recuperação da CIVM, reduzindo a perda de força isométrica em comparação ao grupo CON Pós-0h (FR = -3,1%; CON = -8,8%) e cinco minutos (FR = -11,7%; CON = -20,94%) após a aplicação do FR.

Assim como Fleckenstein *et al.* (2017), Romero-Moraleda *et al.* (2017) também encontraram influência do FR na produção de força muscular após DMIE. O estudo buscou comparar os efeitos da aplicação do FR (volume = 5×60 s, com 30s de intervalo; pressão do rolamento = máximo peso corporal possível; velocidade de rolamento = três a quatro segundos) e da técnica de mobilização neurodinâmica, um método de terapia manual, em propriedades funcionais dos músculos extensores do joelho. A amostra foi composta por 32 indivíduos fisicamente ativos, a qual foi dividida em grupo FR ($n = 16$, idade = $23,5 \pm 4,8$ anos) e grupo mobilização neurodinâmica ($n = 16$, idade = $22,1 \pm 4,3$ anos). A CIVM foi avaliada pré e 48h após um protocolo de DMIE (cinco séries de 20 *drop jumps*) em dois momentos: antes e imediatamente após cada intervenção. De acordo com os resultados, reduções de 8,3% e 6,6%

na CIVM para o grupo FR e da mobilização neurodinâmica, respectivamente, foram observados em 48h após o DMIE, antes da intervenção. No entanto, imediatamente após cada intervenção, apenas o grupo FR obteve uma maior recuperação da CIVM em comparação com o momento antes da intervenção (8,55% vs 7,61%).

Da mesma forma, evidências de que a aplicação do FR otimize a recuperação do desempenho do salto vertical também foram encontradas por alguns estudos (DRINKWATER *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019). DRINKWATER *et al.* (2019) em um estudo randomizado e cruzado submetem 11 indivíduos (idade = $24,0 \pm 0,7$ anos) do sexo masculino e fisicamente ativos a um protocolo de DMIE (seis séries de 25 repetições excêntricas máximas de extensão de joelho em dinamômetro isocínético). A altura do *countermovement jump* (CMJ) foi avaliada Pré-DMIE, Pós-DMIE, 24h, 48h e 72h após o protocolo de DMIE. As condições (FR e CON), com um *wash-out* de três semanas, envolviam a aplicação do FR (volume = 1x180s por grupamento muscular, total de 15min; pressão do rolamento = máximo peso corporal; velocidade de rolamento = cadência de 1s) nos músculos extensores e flexores do joelho, adutores do quadril, banda iliotibial e glúteos; ou repouso de 15 minutos em posição sentada (condição CON), realizadas antes de cada reavaliação (Pós-DMIE, 24h, 48h e 72h após o DMIE). Em relação ao momento Pré-DMIE, houve maior recuperação da altura do CMJ na condição FR em comparação com a condição CON em Pós-48h (104,8% vs 93,9%; $g = 0,66$; efeito moderado) e Pós-72h (104,4% vs 96,3%; $g = 0,54$; efeito moderado).

Assim como Drinkwater *et al.* (2019), Romero-Moraleda *et al.* (2019) buscaram comparar os efeitos do FR convencional (i.e., sem vibração) e FR com vibração sobre o desempenho do CMJ após um protocolo de DMIE (10 séries de 10 agachamentos excêntricos máximos). A amostra, composta por 38 indivíduos saudáveis (32 homens e seis mulheres; idade = $22,2 \pm 3,2$ anos), foi dividida de forma randomizada e os participantes foram inseridos em um dos dois grupos. O desempenho do CMJ foi avaliado Pré-DMIE e 48h após o protocolo de DMIE antes e imediatamente após cada intervenção (volume = 5x60s, com 30s de intervalo; pressão do rolamento = maior possível; velocidade de rolamento = 3 a 4 segundos). O protocolo de DMIE resultou em uma redução de aproximadamente 9% do desempenho do CMJ em ambos os grupos. No entanto, houve uma recuperação de 7,5% a 5,2% do desempenho do CMJ no grupo submetido a aplicação de FR com e sem vibração, respectivamente, sem diferenças entre as condições. Apesar desses resultados promissores, não é possível afirmar que a aplicação do FR promove maior recuperação do desempenho no CMJ, devido à ausência de grupo controle neste estudo.

É possível que a restauração da função muscular com o uso do FR se deva a fatores neurais (e.g., maior ativação muscular e redução da inibição neural ocasionada pelo DMIE) e fisiológicos (e.g., aumento do fluxo sanguíneo), ou a combinação entre ambos (BEHARA; JACOBSON, 2017; MACDONALD *et al.*, 2014; PEARCEY *et al.*, 2015). Além do aumento da ativação voluntária, a redução da DMIT pode favorecer a restauração da função neuromuscular, visto que a presença de dor prejudica a produção de força muscular (GRAVEN-NIELSEN *et al.*, 2002; MACDONALD *et al.*, 2014). Alguns mecanismos fisiológicos também têm sido propostos, os quais são mediados pelo aumento do fluxo sanguíneo muscular (LASTOVA *et al.*, 2018; OKAMOTO *et al.*, 2014). Esse efeito contribui para o aumento o número de neutrófilos circulantes e redução da produção de prostaglandinas, favorecendo a redução do processo inflamatório (CAFARELLI; FLINT, 1992; SMITH *et al.*, 1994). Além disso, outras respostas bioquímicas relacionadas a massagem também podem estar envolvidas, como por exemplo, menor elevação de creatina quinase (MORADI; MONAZZAMI, 2020; SMITH *et al.*, 1994), menor ativação de proteínas de choque térmico e de citocinas inflamatórias (CRANE *et al.*, 2012), maior remoção do lactato (ADAMCZYK *et al.*, 2020; KALÉN *et al.*, 2017; MORADI; MONAZZAMI, 2020; ÖZSU *et al.*, 2018a; PELANA *et al.*, 2021; RAHIMI *et al.*, 2020) e maior ativação de alguns marcadores de biogênese mitocondrial (e.g., COX7B e ND1) (CRANE *et al.*, 2012). Tais efeitos favorecem a ressíntese de ATP, o retorno do cálcio ao retículo sarcoplasmático e a reparação dos tecidos (CRANE *et al.*, 2012; PEARCEY *et al.*, 2015; SMITH *et al.*, 1994).

Embora alguns estudos indiquem que o FR possa auxiliar na recuperação da produção de força, isso parece não ser um consenso na literatura (AKINCI *et al.*, 2020; DRINKWATER *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014; ZORKO *et al.*, 2016). Zorko *et al.* (2016) investigaram o efeito do FR na CIVM dos músculos extensores do joelho após um protocolo de DMIE (três séries de 15 repetições de extensão de joelho a 70% de 1-RM) em 10 indivíduos fisicamente ativos (nove homens, sete mulheres; idade = 18-24 anos). A CIVM foi avaliada Pré-DMIE, Pós-DMIE e imediatamente após (Pós-0h) de cada condição. Os indivíduos foram submetidos à duas condições: FR e CON, com um *wash-out* de pelo menos 48 horas entre elas. O FR (volume = 1x90s; pressão do rolamento = não informada; velocidade de rolamento = não informada) foi aplicado nos músculos extensores do joelho, enquanto que na condição CON os indivíduos não realizaram qualquer tipo de intervenção. Houve redução de 2,8% e de 6,4% da CIVM Pós-DMIE nas condições FR e CON, respectivamente. Após a realização das condições, houve aumento de 5,5% e 4,7% da CIVM Pós-0h nas condições FR e CON, respectivamente.

No entanto, a aplicação do FR não resultou em maior recuperação da CIVM em comparação com a condição CON.

Assim como Zorko *et al.* (2016), Drinkwater *et al.* (2019) também não encontraram influência do FR na recuperação da força muscular. Neste estudo, os autores avaliaram os efeitos da aplicação do FR (volume = 1x180s; pressão do rolamento = máximo peso corporal; velocidade de rolamento = cadência de 1s) após um protocolo de DMIE (seis séries de 25 repetições excêntricas máximas para os músculos extensores do joelho, em dinamômetro isocinético, com velocidade angular de 120°/s) em 11 homens (idade = 24,0 ± 0,7 anos) fisicamente ativos. A CIVM dos músculos extensores do joelho foi avaliada Pré-DMIE, Pós-DMIE, 24h, 48h e 72h após o protocolo de DMIE. Os participantes foram submetidos à duas condições: FR e CON (i.e., sem intervenção), com três semanas de *wash-out* entre elas. A realização das condições ocorreu antes de cada reavaliação (Pós-DMIE, 24h, 48h e 72h após o DMIE). A aplicação do FR não otimizou a recuperação muscular, uma vez que não foram observadas diferenças entre as condições na CIVM e na taxa de produção de força (TPF) dos músculos extensores do joelho.

Por fim, o estudo de MacDonald *et al.* (2014) também verificou o efeito da aplicação do FR na recuperação da CIVM e TPF dos músculos extensores do joelho, ao qual foi avaliada Pré-DMIE, Pós-DMIE, 24h, 48h e 72h após um protocolo de DMIE (agachamento com pesos livres, 10 séries x 10 repetições a 60% de 1-RM). A amostra foi composta por 20 participantes do sexo masculino, que foram divididos em dois grupos: FR (n = 10; idade = 25,1 ± 3,6 anos) e CON (n = 10; idade = 24,0 ± 2,8 anos). O grupo FR realizou a aplicação (volume = 2x60s; pressão do rolamento = autosselecionada; velocidade de rolamento = autosselecionada) após as reavaliações Pós-DMIE, 24h e 48h após o DMIE, enquanto que o grupo CON não recebeu qualquer tipo de intervenção. O FR não promoveu maior recuperação da CIVM, uma vez que não houve diferenças entre os grupos em todos os momentos. Por outro lado, a aplicação do FR reduziu a TPF após 24h (FR = -23%; CON = 5%) e 48h (FR = -17%; CON = 15%), enquanto nenhuma diferença foi observada após 72h (FR = -10%; CON = -4%).

Da mesma forma que alguns estudos não encontraram melhor recuperação da produção de força com a aplicação do FR após o DMIE, resultados contraditórios também foram encontrados quanto a recuperação do desempenho do salto vertical (D'AMICO *et al.*, 2020; D'AMICO; GILLIS, 2017; LAFFAYE *et al.*, 2019; RAHIMI *et al.*, 2020; REY *et al.*, 2017). No estudo de D'amico e Gillis (2017), 37 indivíduos saudáveis foram divididos em dois grupos (FR: n = 18, idade = 22,4 ± 2,0 anos; CON: n = 19, idade = 23,2 ± 3,2 anos), a fim de avaliar o efeito da aplicação do FR (volume = 2x60s; pressão do rolamento = instruídos a aplicar sua

massa corporal; velocidade de rolamento = cadência de 5s) na DMIT após um protocolo de DMIE (40 sprints de 15 metros). O desempenho do *squat jump* (SJ) foi avaliado Pré-DMIE e 24, 48, 72, 96 e 120 horas após o DMIE. O grupo FR realizou o rolamento nos músculos extensores e flexores do joelho, glúteos e flexores plantares do tornozelo, aplicando em ambos os membros, antes de cada avaliação, enquanto que o grupo CON não realizou qualquer intervenção. Em relação à condição controle, a aplicação do FR não promoveu maior recuperação do desempenho do SJ em nenhum dos momentos reavaliados.

Assim como o estudo de D'amico e Gillis (2017), Laffaye *et al.* (2019) buscou investigar os efeitos do FR na recuperação do desempenho do SJ e CMJ em 20 indivíduos (idade = 24,4 ± 3,3 anos) do sexo masculino. As avaliações ocorreram Pré-DMIE e Pós-DMIE, e Pós-24h e Pós-48h da aplicação do FR no membro dominante (volume = 2x60s; pressão do rolamento = 7/10 na escala EVA; velocidade de rolamento = cadência de 2s) nos músculos tensor da fáscia lata, adutores do quadril e extensores do joelho do membro dominante. O membro não-dominante foi utilizado como controle. O protocolo de DMIE foi composto por um aquecimento, seguido de oito séries do maior número de repetições possível do SJ por 20s, com intervalos de 10s entre cada série. A aplicação do FR não promoveu maior recuperação em relação ao membro não-dominante no desempenho do SJ e do CMJ em nenhum dos momentos avaliados.

Portanto, a influência do FR na recuperação da produção de força muscular e do desempenho do salto vertical, após protocolos de DMIE, apresenta resultados contraditórios. A recuperação da produção de força isométrica foi observada imediatamente após (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017) e em 48h (ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2017) após o DMIE, enquanto que a recuperação da produção de força dinâmica foi observada apenas em 48h (PEARCEY *et al.*, 2015) após o DMIE. Já a recuperação do desempenho do CMJ foi observada em 48h (MACDONALD *et al.*, 2014; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019) e 72h (DRINKWATER *et al.*, 2019). Assim como para os outros parâmetros, a heterogeneidade entre os protocolos de FR e de DMIE dificulta a comparação entre os estudos. Nos estudos em que a aplicação do FR atenuou os prejuízos na produção de força, foi utilizado um volume que variou de 30s (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017) a 300s (ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2017) e protocolos semelhantes em relação à pressão (maior possível e percepção da dor) e velocidade (50 a 60 rpm) do rolamento. Já em relação aos protocolos que promoveram melhor recuperação do desempenho do salto vertical, foram utilizados volumes que variaram de 120s (MACDONALD *et al.*, 2014) a 300s (ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019), pressão autosselecionada (MACDONALD *et al.*, 2014) ou a maior pressão tolerável (DRINKWATER

et al., 2019; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019), além de velocidade autosselcionada (MACDONALD *et al.*, 2014) e controlada por meio de uma cadência de um (DRINKWATER *et al.*, 2019) a quatro segundos (ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019) por rolamento. Além disso, a realização de protocolos de DMIE envolvendo a realização de saltos e exercícios submáximos com o peso corporal (FLECKENSTEIN *et al.*, 2017; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2017) pode não ter causado um dano muscular significativo, visto que a intensidade do exercício (i.e., magnitude do estresse mecânico), a qual é fundamental para o desenvolvimento do DMIE (ARMSTRONG *et al.*, 1991b; KANDA *et al.*, 2013), pode não ter sido suficiente. Com isso, é possível que o FR exerça influência na recuperação da produção de força quando o principal mecanismo responsável pelo decréscimo da produção da força após a realização de exercícios físicos não seja o DMIE e sim devido a outros fatores (e.g. DMIT e ativação muscular reduzida). Por outro lado, devido a aplicação do FR ter ocasionado maior recuperação apenas do CMJ, é possível que os efeitos desta técnica estejam relacionados a movimentos que envolvam o ciclo de alongamento-encurtamento, o que pode ser explicado pela restauração da função neuromuscular por meio de uma maior recuperação do tecido conjuntivo e de componentes elásticos (e.g., unidade músculo-tendão) (DRINKWATER *et al.*, 2019; MACDONALD *et al.*, 2014; ROMERO-MORALEDA *et al.*, 2019). Por fim, todos os estudos buscaram investigar os efeitos do FR nos músculos extensores do joelho, enquanto que nenhum avaliou tais efeitos nos músculos flexores plantares.

2.7 REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA

De acordo com o observado na literatura, poucos estudos buscaram investigar os efeitos do FR na recuperação de propriedades mecânicas dos tecidos miofasciais. Há indícios de que o FR possa otimizar a recuperação da rigidez muscular dos músculos flexores plantares imediatamente, 24 e 48 horas após o DMIE. No entanto, não há um consenso na literatura acerca desses efeitos, uma vez que existem resultados contraditórios sobre os efeitos do FR na recuperação das propriedades mecânicas de extensores e flexores do joelho após a aplicação do FR. Além disso, embora alguns estudos tenham sugerido que o FR possa promover a redução da rigidez das aponeuroses musculares e/ou fâscias, não foram encontrados estudos que buscaram investigar os efeitos do FR especificamente sobre as propriedades mecânicas deste tecido. Com isso, existe uma lacuna na literatura referente as influências do FR na recuperação de propriedades mecânicas dos tecidos miofasciais.

Resultados conflitantes também foram observados em relação aos efeitos da aplicação do FR na recuperação de propriedades funcionais. A redução da DMIT tem sido observada imediatamente, 24, 48 e 72h após o DMIE, sendo considerada como principal efeito da utilização desta técnica. No entanto, há resultados conflitantes em relação a recuperação da ADM, produção de força muscular e do desempenho do salto vertical. Apesar de existirem muitas divergências, alguns estudos encontraram maior recuperação com a aplicação do FR na produção de torque isométrico Pós-0h e Pós-48h e do desempenho do CMJ Pós-48h e Pós-72h. Por outro lado, não foram encontrados estudos que avaliaram a recuperação do torque concêntrico e excêntrico de forma específica.

Sendo assim, as possíveis explicações para os efeitos encontrados são especulativas e os possíveis mecanismos envolvidos da aplicação do FR em propriedades mecânicas miofasciais e em propriedades funcionais precisam ser melhor esclarecidos. Da mesma forma, observa-se grande variabilidade metodológica entre os estudos, o que pode explicar os resultados divergentes observados até o momento. Essas diferenças são relacionadas aos protocolos de FR, com diferentes volumes (e.g., 1 a 6 séries; 30s a 60s), pressão (e.g., controlada ou autosselecionada) e velocidade (e.g., 1-5 segundos por rolamento). A redução da DMIT e o aumento da ADM parece ocorrer quando o tempo de duração da aplicação é de 90 a 120 segundos por grupamento muscular. Além disso, a maior parte dos estudos avaliaram os músculos extensores e flexores do joelho, o que dificulta a extrapolação dos resultados para outros grupos musculares. Por fim, a magnitude de efeito do FR pode ser influenciada pelo protocolo de DMIE, já que maiores níveis de DMIT e de redução da força e ADM são observadas quando são realizados protocolos de dano em alta intensidade.

Concluindo, os resultados encontrados podem ser devidos as diferenças metodológicas que envolvem a aplicação desta técnica. Dessa forma, existem lacunas importantes a serem preenchidas na literatura em relação aos efeitos da aplicação do FR na recuperação de propriedades mecânicas e funcionais de indivíduos saudáveis.

2.8 OBJETIVOS

2.8.1 Objetivo geral

Verificar os efeitos da aplicação do FR sobre propriedades mecânicas e funcionais de músculos flexores plantares de indivíduos saudáveis após um protocolo de DMIE.

2.8.2 Objetivos específicos

- Comparar as propriedades mecânicas (rigidez das aponeuroses e rigidez muscular) do tríceps sural entre os grupos FR e CON antes (Pré-DMIE) e imediatamente após (Pós-DMIE) um protocolo de DMIE, e Pós-24h, Pós-48h e Pós-72h.
- Comparar as propriedades funcionais [DMIT, ADM de dorsiflexão, produção de torque máximo isométrico, concêntrico e excêntrico, e desempenho de salto vertical] de flexores plantares entre os grupos FR e CON Pré-DMIE, Pós-DMIE, Pós-24h, Pós-48h e Pós-72h.

2.8.3 Hipóteses

- O grupo FR apresentará maior recuperação da rigidez das aponeuroses e rigidez muscular do tríceps sural Pós-24h e Pós-48h, em comparação com o grupo CON, após o DMIE.
- O grupo FR apresentará maior redução da DMIT, em comparação com o grupo CON, após o DMIE. Por outro lado, o grupo FR não apresentará maior recuperação da ADM, produção de torque máximo (isométrico, concêntrico e excêntrico) e desempenho de salto vertical dos flexores plantares Pós-24h, Pós-48h e Pós-72h, em comparação com o grupo CON, após o DMIE.

3 ARTIGO – EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON ONSET OF DELAYED-ONSET MUSCLE SORENESS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS

Journal: *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*

Section II: Biomechanics and Motor Control

Senior Section Editor

Taija Finni (Finland)

Authors: Deivid Ribeiro Rodrigues^{1,2} (0000-0003-3422-5673), Marcelo Henrique Glänzel^{1,2} (0000-0002-0426-3321), Rose Löbell^{1,2} (0000-0002-2532-2757), Carla Emilia Rossato¹ (0000-0002-1821-0511), Daniel Pozzobon¹ (0000-0002-2796-4235), Fábio Juner Lanferdini^{1,2} (0000-0003-4834-7188), Jean Marcel Geremia^{1,2} (0000-0001-8918-806X).

Affiliations: ¹Biomechanics Laboratory, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil; ²Biomechanics and Kinesiology Research Group, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil.

Corresponding Author: Deivid Ribeiro Rodrigues, Biomechanics Laboratory, Federal University of Santa Maria, Physical Education and Sports Center, Roraima Avenue 1000, University City, CEP: 97105900, Santa Maria, RS, Brazil. E-mail address: deividribeiro2015@gmail.com.

**EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF
MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON ONSET OF
DELAYED-ONSET MUSCLE SORENESS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF
PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS**

Short title: Effects of foam rolling after exercise-induced muscle damage protocol

**EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER MUSCLE DAMAGE ON ONSET OF
DELAYED-ONSET MUSCLE SORENESS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PLANTAR
FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS**

Abstract

The objective of this study was to verify the effects of the application of foam rolling (FR) in the recovery of onset of delayed-onset muscle soreness (DOMS) and functional properties of plantar flexors of healthy individuals. Twenty-eight men (18-40 years) participated, who were divided into two groups: foam rolling or control. Active and passive DOMS was obtained by visual analogue pain scale. The ankle range of motion (ROM) and plantar flexors peak torque (isometric, concentric and eccentric) were assessed using an isokinetic dynamometer, and the height of the vertical jump using a 3D motion capture system. The evaluations were performed before, immediately after, 24h, 48h and 72h after a muscle damage protocol (4x25 maximal eccentric contractions). The muscle damage protocol promoted an increase in active (control group) and passive (both groups) DOMS from 24h. ROM was not altered and force production and jump height decreased up to 24h and 48h, respectively, in both the groups. The FR application after muscle damage protocol resulted in a reduction in passive (for at least 72h) and active (Post-48h) DOMS compared to the control group. In the other parameters, the groups were similar. Among the possible mechanisms for reducing DOMS, it is believed that responses are involved at the central level (effects on central pain modulating systems) and peripheral levels (mediated by increased blood flow). It is suggested that new studies investigate the possible mechanisms involved, in addition to other application protocols, populations and muscle groups.

Keywords: Self-massage. Muscle Recovery. Pain. Range of Motion. Muscle Strength. Vertical Jump.

INTRODUCTION

Exercise-induced muscle damage (EIMD) occurs after intense exercise¹⁻³. Among the mechanisms involved in EIMD is damage to connective tissue, cell matrix and myofibrils due to disruption of sarcomeres, damage to the excitation-contraction coupling system, Z lines, T tubules, degradation of muscle proteins and calcium accumulation¹⁻³. Furthermore, the EIMD is accompanied by an inflammatory response, characterized by accumulation of edema and infiltration of inflammatory cytokines^{1,2}. As a result, there is a decrease in neuromuscular function, evidenced by reduced force production, onset of delayed-onset muscle soreness (DOMS) and reduced range of motion (ROM)¹⁻³.

Foam roller (FR) self-massage has been used as a possible tool for recovering neuromuscular function after EIMD^{4,5}. This technique is characterized by the use of one's own body weight to apply rhythmic mechanical pressure on the soft tissues by means of a foam roller^{6,7}. The application of FR has caused a reduction in DOMS at 24, 48 and 72 hours after EIMD^{6,7}. Furthermore, few studies have found ROM recovery immediately⁸, 24h⁹, 48h¹⁰⁻¹³ and 72h¹¹ after muscle damage. Likewise, recovery of isometric force production was observed immediately after¹³ and at 48h¹⁴, while recovery of vertical jump height was observed at 48h^{11,12} and 72h⁴. Therefore, the influence of FR application to improve ROM recovery, strength production and vertical jump height does not seem to be a consensus in the literature, as most studies did not find these effects^{4,11,15}. On the other hand, no studies were found that evaluated the recovery of maximum concentric and eccentric force production after FR application. It is important to investigate strategies that seek to optimize the recovery of concentric and eccentric force production after EIMD, in view of the applicability of these contractions to activities of daily living, sports performance and reduction of the risk of injuries¹⁶.

Therefore, the possible benefits of FR applying in muscle recovery currently are not fully understood, which could be explained by the great methodological variability between studies, since they have different evaluated parameters (e.g., late muscle soreness and production capacity of strength)^{6,7,9}, protocols of EIMD (e.g., in free or isokinetic exercises)^{5,17} and FR (i.e., different volumes, levels of pressure and application speeds)^{6,7} used and investigated populations (e.g., healthy adults with different levels of training/conditioning)^{5-7,17}. Likewise, most studies verified the effects of FR on the recovery of knee extensor and flexor muscles^{5,11,13}, while we found only two studies that investigated these effects on plantar flexors muscles^{10,18}. Understanding the possible effects of the FR on the plantar flexor muscles is extremely important, considering the fundamental role of this muscle group in activities of

daily living, as well as in sports performance^{10,18,19}. Therefore, the objective of the present study was to verify the effects of the application of FR after an EIMD protocol on the DOMS and functional properties of plantar flexors of healthy individuals. It was expected that the FR application would cause a greater reduction in the DOMS at 24, 48 and 72 hours after the EIMD, without influencing the recovery of the ROM, production of maximum torque (isometric, concentric and eccentric) and the vertical jump height in all the times evaluated.

MATERIALS AND METHODS

Participants

Twenty-eight male individuals (18-40 years old) who were not involved in any type of strength training for lower limbs and with no experience with the FR participated in this study. The following exclusion criteria were adopted: a) presenting musculoskeletal injuries in the lower limbs; b) having any contraindication for performing maximal tests (cardiovascular, respiratory, musculoskeletal or neurological diseases); c) having performed some type of high-intensity physical activity for up to 72 hours before the assessments; d) current use of dietary or anabolic supplements.

For the sample size calculation, the G-Power software (version: 3.1.9.7, Kiel University, Germany) was used for the family of tests F – ANOVA of repeated measures. The sample size was determined based on a previous study¹⁷, with similar methods to the present study. Using the ImageJ software, the mean and standard deviation values related to the maximum voluntary isometric contraction (MVIC) of the plantar flexors muscles post-EIMD (83.8 ± 5.7 Nm) and post-48h (86.7 ± 6.1 Nm) of the self-massage condition, and the effect size of Cohen's d between moments was calculated. Thus, we found an effect size (d) of 0.49, which was converted to an effect size f (0.25) and used for sample calculation ($\beta = 0.8$; $\alpha = 0.05$). The sample size calculation resulted in 22 participants and, considering a sample loss of 20%²⁰, a total of 26 participants was determined.

All individuals included in the study signed an informed consent form, previously approved by the ethics committee of the Federal University of Santa Maria (CAAE: 54493621.1.3001.5346).

Experimental design

Participants were randomly divided into two groups: FR (application of self-massage with FR) or CON (control). One evaluator was responsible for randomizing the groups, as well as for applying the interventions, being the only one to know which intervention the participant was submitted to.

On the first day of the evaluation, the randomization of the participants in each group was performed by drawing lots using opaque envelopes. Afterwards, body mass and height were obtained using an anthropometric scale with a stadiometer attached (Welmy RW 200, SA Santa Bárbara do Oeste, Brazil). In addition, each participant's level of physical activity was assessed using the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ short version), while pain and Achilles tendon function were determined using the translated version of the Victorian Institute of Sport Assessment – Achilles Questionnaire (VISA-A-Br)²¹.

After completing the questionnaires, the participants remained seated in the chair of an isokinetic dynamometer (Biodex System 4 Pro, Medical Systems, New York, USA), with the knee fully extended and the hip flexed at 85° (0° = hip fully extended)²². The rotation axis for ankle plantar and dorsiflexion movements remained aligned with the dynamometer rotation axis (i.e., reference position). The trunk and thigh were stabilized by Velcro[®] straps to avoid compensatory movements, while the feet was fixed on the foot platform to minimize calcaneal elevation. In this position, subcutaneous adipose tissue thickness, DOMS, dorsiflexion ROM and maximum torque production (isometric, concentric and eccentric) of the plantar flexors were evaluated. Afterwards, the evaluation of vertical jump height occurred through a kinematics system. The evaluations took place before (Pre-EIMD), immediately (Post-EIMD), 24 (Post-24h), 48 (Post-48h) and 72 (Post-72h) hours after an EIMD protocol (Figure 1). All procedures were performed on the dominant limb^{16,22}, defined as the preferred limb for kicking a ball¹⁶.

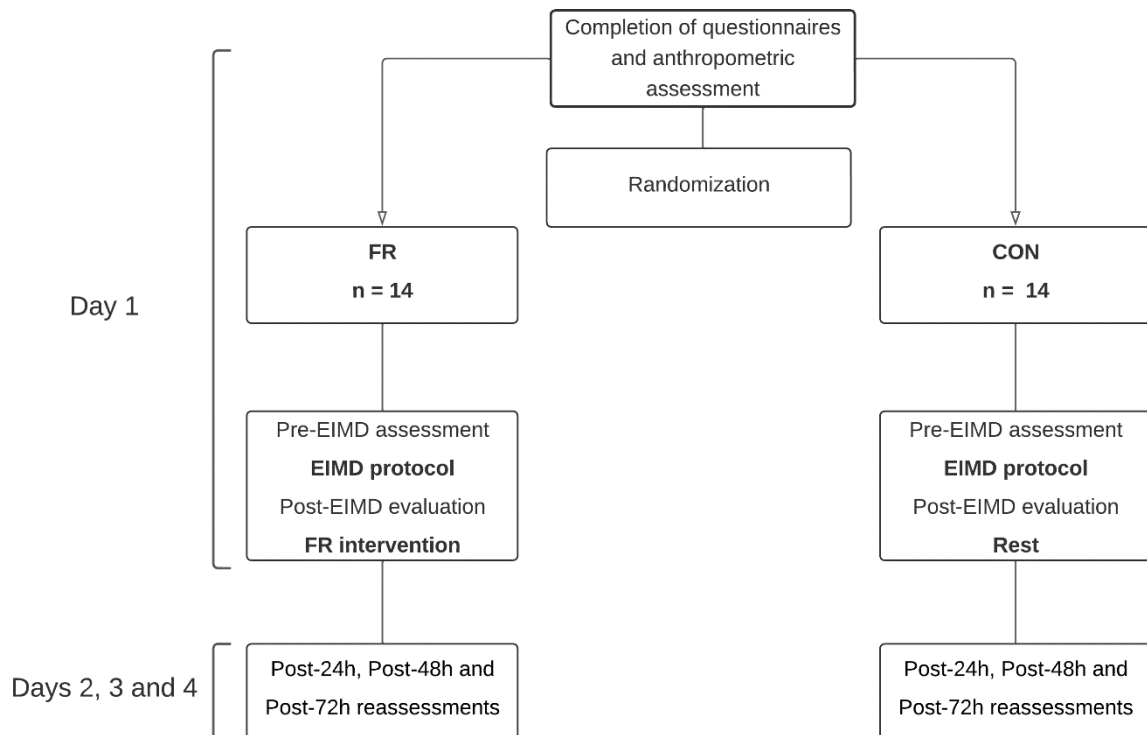


Figura 1. Experimental study design. Evaluations of subcutaneous adipose tissue thickness, delayed-onset muscle soreness and functional properties of the plantar flexor muscles before (Pre-EIMD), immediately (Post-EIMD), 24 (Post-24h), 48 (Post-48h) and 72 (Post-72h) hours after an EIMD protocol in each group: FR (group that underwent self-massage with foam rolling) and CON (group that was not submitted to any treatment).

Subcutaneous adipose tissue thickness

The subcutaneous adipose tissue thickness of the triceps surae was evaluated using images obtained by an ultrasound system (ACUSON S2000, Siemens, Siemens Healthineers, Germany). To capture the images, the participants were positioned on the isokinetic dynamometer, in the reference position, with the ankle in a neutral position (i.e. 0° = surface of the foot perpendicular to the leg)²³. A linear transducer (9L4; 8MHz; 45mm; Siemens Healthineers) was positioned longitudinally to the muscle fibers at 30% in the proximal region for the medial gastrocnemius medialis (GM) and gastrocnemius lateralis (GL) muscles and 50% for the soleus (SO) muscle of the distance between the popliteal crease and the center of the lateral malleolus (i.e., leg length). The transducer surface was covered with a water-soluble transmitter gel and soft plastic sheets containing the transducer markings and anatomical landmarks were used to ensure that the same muscle site was assessed¹⁶.

Three longitudinal images of each muscle were obtained, measuring the distance between the lower edge of the epidermis and the upper edge of the superficial aponeurosis from five measurements performed using the ImageJ software (National Institute of Health, USA).

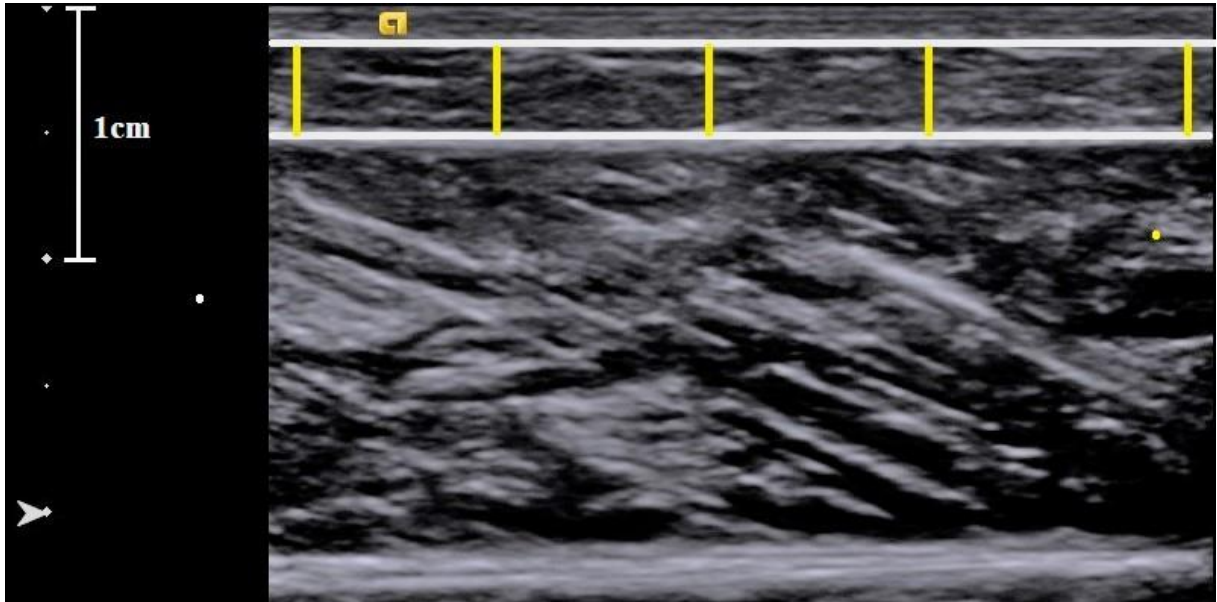


Figura 2. Ultrasound image for assessing subcutaneous adipose tissue thickness. Note the lower edge of the epidermis (white upper horizontal line) and the upper edge of the superficial aponeurosis (white lower horizontal line), between which the five measurements were obtained (yellow lines).

In each image, the average of the five measurements was calculated. The subcutaneous adipose tissue thickness of each muscle was obtained from the average of the three images and the average of the three muscles was used to represent subcutaneous adipose tissue thickness of the triceps surae.

DOMS

The DOMS was assessed by a non-numbered VAS scale, consisting of a horizontal line of 100 millimeters, in which 0 represents the absence of pain and 100 the maximum tolerable pain^{24,25}. The DOMS evaluations occurred on the isokinetic dynamometer, in the reference position, in two ways: passive (ankle in neutral position; palpation of the muscles that make up the triceps surae)²⁴ and active (after a 5-second isometric contraction for the plantar flexors at 20% of the MVIC)²⁵, using the value obtained from the Pre-EIMD assessment. With a pen, the participant was instructed to draw a line on the VAS scale at the point that represented the intensity of their pain at that time. The DOMS level was defined by the distance in millimeters

between the left end of the scale, corresponding to the zero value, and the demarcation on the line, carried out by the participant.

ROM

Dorsiflexion ROM was assessed using the dynamometer in the reference position, from the neutral ankle position to the angle at which the participant reported the greatest possible discomfort. Two attempts were performed with a one-minute interval between them and the highest ankle dorsiflexion angle was considered as the maximum dorsiflexion (DFmax)²⁶.

Plantar flexors peak torque

The participants were positioned on the dynamometer in the reference position and performed a specific warm-up involving 10 submaximal plantar flexion and dorsiflexion concentric contractions at an angular velocity of $120^{\circ}/s-1$ ²³. The amplitude of movement used was 50° and started from 80% of the DFmax of each participant²³.

The evaluation of the isometric peak torque (PTiso) consisted of three MVICs 5-s plantar flexion, with the ankle in the neutral position, and a 2-min interval was observed between contractions²³. When torque variation was higher than 10% between the three contractions, an additional maximal isometric plantar flexor contraction was performed²³.

The concentric peak torque (PTcon) was obtained from two sets of three consecutive maximum contractions, at an angular velocity of $30^{\circ}/s-1$ and a range of motion of 50° starting from 80% DFmax of each participant²³. Dorsiflexion movement was executed with support from a technician, and participants initiated the active concentric contraction when the ankle reached the start position (80% of the DFmax). Two minutes of rest were observed between tests. An additional set was performed when the variation between peak torque values, obtained in the two tests, was greater than 10%²³.

The eccentric peak torque (PTecc) was evaluated from two sets of three consecutive maximum contractions, at an angular velocity of $30^{\circ}/s-1$ and the same range of motion as in the concentric test²³. The concentric phase was executed passively, with the aid of a technician, and participants started the active eccentric contraction when the ankle was at the start position (50° initiated from 80% of the DFmax)²³. Two minutes of rest were observed between tests. An additional series was performed when the variation between peak torque values, obtained in the two tests, was greater than 10%²³.

During all tests, participants were instructed to produce maximal plantar flexion force and a standardized verbal stimulus was performed in order to motivate participants during maximal contractions²³. The highest torque peak values obtained during PTiso, PTcon and PTecc were considered for the statistical analysis.

Vertical jump

The vertical jump height was evaluated through the unilateral drop jump¹⁹. A 10-minute interval between the last assessment of muscle strength (PTecc) was granted in order to reduce the effect of fatigue and potentiation of eccentric contractions on subsequent performance⁷. Vertical jump height was evaluated by a 3D motion capture system with five infrared cameras (VICON®, 624, Oxford, United Kingdom) at 200 Hz sampling rate. A reflective marker was placed on the greater trochanter of the femur of the dominant lower limb of the participants to track the coordinates of this reference point.

With their hands positioned on their hips, the participants started from a 20cm high box, in a static unipodal position, and let their bodies naturally fall forward. Keeping the minimum time of contact with the ground during the fall, the participants performed a unilateral vertical jump, which they were instructed to jump as fast and as high as possible, landing with both feet. If the participant removed the hands from the waist, or performed knee flexion during the flight phase of the jump, the jump was invalidated¹⁹.

The protocol consisted of performing submaximal jumps (at least three) as warm-up and familiarization, followed by three maximum jumps, with 45s of intervals between each jump¹⁹. Data processing was performed using the NEXUS 1.8.3 software, and a fourth-order Butterworth low-pass filter at 10Hz was applied for analysis. Jump performance was determined by the maximum height reached¹⁹ between the reflective marker placed on the greater trochanter of the femur and the ground in the sagittal plane. The highest value obtained during the three maximum jumps was considered for the statistical analysis.

EIMD protocol

The EIMD protocol was performed in the reference position, on the isokinetic dynamometer and consisted of four series of 25 maximum eccentric repetitions, with 30s of interval between each series, at a constant angular velocity of $30^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ ²⁷. The concentric phase was executed passively, with the aid of a technician, and participants started the active eccentric

contraction when the ankle was at the start position (50° initiated from 80% of the DFmax)²³. The participants were instructed to produce the maximum force, maintaining a minimum threshold of 80% of PTiso, using the value obtained at Pre-EIMD evaluation²⁸. A standardized verbal stimulus was performed in order to motivate the participants during the execution of the protocol.

Foam rolling intervention

For the FR application, a standard roller measuring 30cm x 15cm (Pood Fitness, Brazil) was used. Familiarization procedures were performed just before the FR protocol was performed on the non-dominant leg until an adequate application of the FR technique was achieved^{4,19}. To carry out the FR protocol the participants remained in a sitting position, with their hands resting on the ground, keeping the body out of contact with the ground, with only the lower limbs resting on the foam roller and the non-dominant limb crossed over the dominant member^{10,19}. The weight bearings were performed with the leg rolling over the foam roller from the popliteal fossa to the distal insertion of the Achilles tendon in the calcaneal bone (Figure 2)¹⁹. Three series of 30s were performed, with a 30s interval between each series, with participants instructed to apply the highest tolerable pressure^{5,10}. The execution speed was controlled by means of a metronome, using a frequency of 25 rpm^{12,14}. The control group received no treatment and subjects remained seated in a chair for 90s¹⁹.



Figura 3. Positioning of foam rolling on the plantar flexor muscles. Rolling over the distal (A and C) and proximal regions of the leg (B and D).

Weight bearing during the FR performance was obtained through ground reaction forces, using a force platform (AMTI OR6-6-2000, Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, MA, USA) with a rate of 1000Hz sampling¹¹. The averages of the force curves during rolling, in each series, were calculated in relation to the body mass of the participants. The average of the three series was considered to characterize the average weight bearing applied during the execution of the FR²⁹.

Statistical analysis

All statistical procedures were performed using SPSS software (v. 23.0; IBM Corporation, Armonk, New York, USA). A significance level of $\alpha \leq 0.05$ was adopted. The results were presented using descriptive statistics, using mean values and standard deviation (95% CI) (tables) and mean and standard error (figures).

Test-retest reliability of subcutaneous adipose tissue thickness of the 14 subjects (CON group: $n = 7$; FR group: $n = 7$; Pre-EIMD) who were tested twice (seven between-days) was calculated using a two-way random effects intra-class correlation coefficient model (ICC). Reliability was interpreted according to Landis and Koch's scale³⁰ as: <0.00 poor, $0.0-0.2$ slight, $0.21-0.4$ fair, $0.41-0.6$ moderate, $0.61-0.8$ substantial, and $0.81-1.0$ almost perfect. The chi-square test was used to compare the physical activity level of participants between groups. Data normality and sphericity were evaluated using the Shapiro-Wilk and Mauchly tests, respectively. Greenhouse-Geisser correction was applied when data sphericity was not obtained. A two-way ANOVA was used for comparisons between groups (FR and CON) and time points (Pre-EIMD, Post-EIMD, Post-24h, Post-48h and Post-72h)]. When the interaction between the two factors was verified, independent tests (parametric data: t-test; non-parametric data: U Mann-Whitney) were used to verify possible differences between groups at each moment. A one-way repeated measures Anova was used to verify possible time differences in each group. Bonferroni's post-hoc test was used to locate differences.

The effect size of each variable was calculated using Cohen's equation³¹, classified as: trivial (<0.20); small (0.20 to 0.49); moderate (0.50 to 0.79); large (0.80 to 1.29); and very large (>1.30)⁵. Furthermore, when a significant difference was found between the groups, correlational analyzes were performed using Pearson's product-moment tests (parametric data) or Spearman's (non-parametric data) at each of the moments after FR application, the in order to verify the possible influences of subcutaneous adipose tissue thickness with the effects found.

The magnitude of the correlations was determined from the classification in: null (0.0), weak (0.1-0.3), moderate (0.4-0.6), strong (0.7-0.9) and perfect (1.0)³².

RESULTS

Table 1 presents the characterization of the sample. No differences were observed between groups regarding age ($p = 0.29$), body mass ($p = 0.60$), height ($p = 0.59$) and BMI ($p = 0.33$).

Table 1. Characteristics of the participants.

	n	Age (years)	Height (cm)	Body mass (kg)	BMI (kg/m²)
CON	14	25.6 ± 7.8	175.3 ± 5.4	71.9 ± 7.9	23.4 ± 2.8
		(21.1-30.1)	(172.2-178.4)	(67.3-76.4)	(21.8-25.0)
FR	14	25.5 ± 5.1	174.2 ± 5.6	75.5 ± 11.1	24.9 ± 3.5
		(22.5-28.5)	(171.0-177.4)	(69.1-81.9)	(22.8-26.9)
Total	28	25.5 ± 6.5	174.8 ± 5.4	73.7 ± 9.6	24.2 ± 3.2
		(23.0-28.0)	(172.7-176.8)	(70.0-77.4)	(22.9-25.4)

CON = Control group. FR = Foam rolling group. cm = centimeters. kg = kilogram. BMI = Body Mass Index. Kg/m² = kilogram per square meter.

An almost perfect score (0.997) for test-retest reliability was obtained for subcutaneous adipose tissue thickness measurement. The physical activity level ($p = 0.50$) and VISA-A Br questionnaire score ($p = 0.57$) were similar between groups. During FR application, the average weight bearing was ~30% of body weight. The lowest levels of weight bearing (average 17%) were obtained when the foam roller was in a more distal position, near to the insertion of the Achilles tendon, while the highest levels of weight bearing (average 43%) occurred when the foam roller was in a more proximal position (popliteal fossa).

The application of FR resulted in a reduction in passive DOMS compared to the CON group at Post-24h (CON: 207%, FR: 178%; $d = 0.84$; $p = 0.04$), Post-48h (CON: 315%, FR = 262%; $d = 1.09$; $p = 0.02$) and Post-72h (CON = 248%, FR = 84%; $d = 1.33$; $p = 0.004$). The

active DOMS was lower in the FR group than CON group at Post-48h (CON: 214%, FR: -3%; $d = 1.14$; $p = 0.04$). In addition, when comparing the moments, in the CON group there was an increase in active DOMS at Post-24h (CON: 144%, $d = 0.60$; $p = 0.02$) and Post-48h (CON = 214%, $d = 1.14$; $p = 0.02$), while in the FR group there was no increase at any of the evaluated moments (Post-EIMD = 95%, $d = 0.27$, $p = 0.48$; Post-24h = 50%, $d = 0.60$, $p > 1.000$; Post-48h = -3%, $d = 1.14$, $p > 1.000$; Post-72h = 15%, $d = 0.52$, $p > 1.000$).

There was no correlation between subcutaneous adipose tissue thickness and the effects of FR application in a reduction in passive (Post-24h: $r = -0.17$; $p = 0.56$; Post-48h: $r = -0.48$; $p = 0.08$; and Post-72h: $r = 0.02$; $p = 0.95$) and active (Post-24h: $r = -0.03$; $p = 0.93$; Post-48h: $r = -0.25$; $p = 0.39$; and Post-72h: $r = -0.23$; $p = 0.45$) DOMS at any of the evaluated moments.

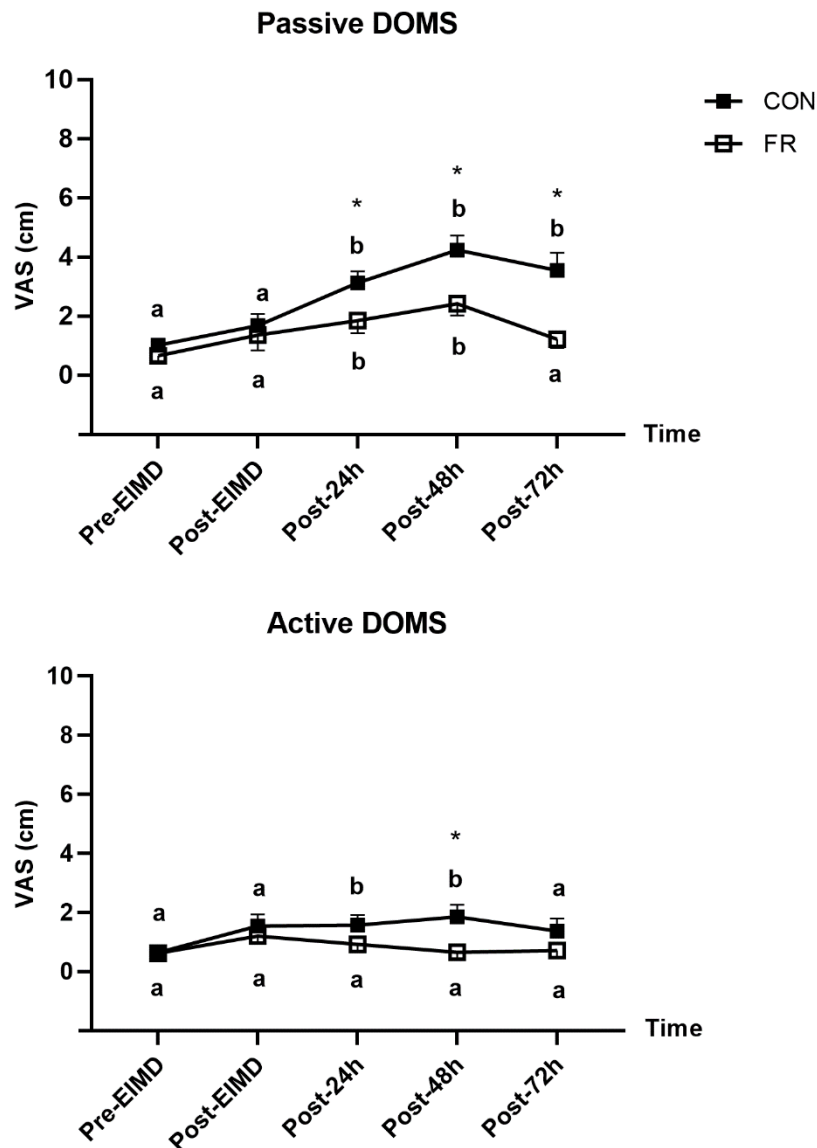


Figura 4. Delayed onset muscle soreness (passive and active), in each group, over time. Results are presented as mean \pm standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. VAS = Visual Analog Scale. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.

Regarding ROM, there was no difference between the groups ($p = 0.88$; $\eta^2 = 0.00$) and moments ($p = 0.38$; $\eta^2 = 0.08$). The analysis of effect sizes showed a trivial effect of FR application at Post-24h ($d = 0.06$), Post-48h ($d = 0.04$) and Post-72h ($d = 0.23$).

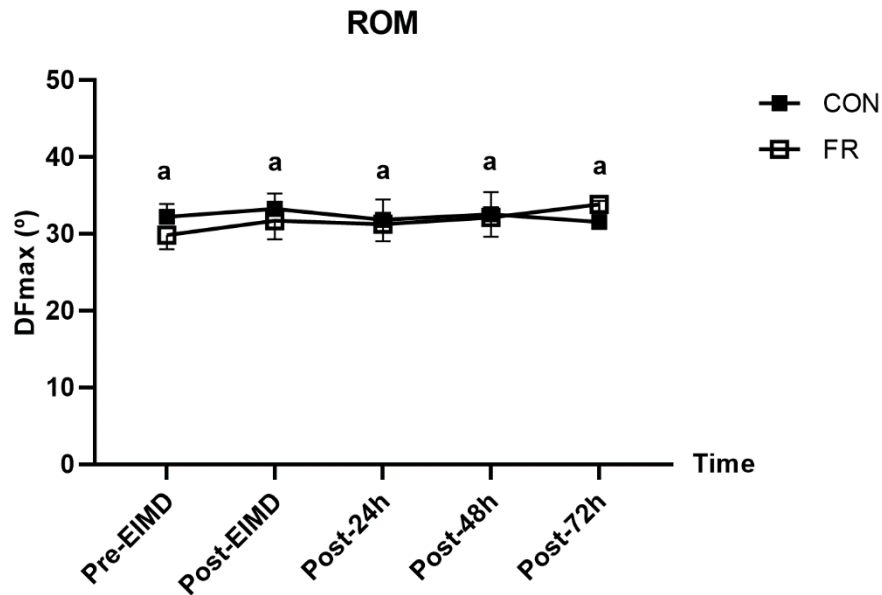


Figura 5. Range of motion (ROM) of maximum dorsiflexion (DFmax) in each group over time. Results are expressed in degrees (Mean \pm standard error). Equal letters indicate that there was no difference between the moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.

No differences were observed between groups for PTiso [$p = 0.65$; $\eta^2 = 0.02$], PTcon [$p = 0.27$; $\eta^2 = 0.09$] and PTecc [$p = 0.98$; $\eta^2 = 0.00$]. The peak torques decreased at Post-EIMD (PTiso: CON = -12%, FR = -15%; $d = 0.02$, $p < 0.001$; PTcon: CON: -11%, FR: -12%; $d = 0.20$, $p < 0.001$; PTecc: CON = -12%, FR = -7%; $d = 0.21$, $p < 0.001$), and remained reduced at Post-24h (PTiso: CON = -13%, FR = -8%; $d = 0.55$, $p = 0.05$; PTcon: CON = -12%, FR = -11%; $d = 0.51$, $p = 0.03$; PTecc: CON = -12%, FR = -10%; $d = 0.07$, $p = 0.01$), returning to baseline values at Post-48h (PTiso: CON = -5%, FR = -5%, $d = 0.19$, $p = 0.69$; PTcon: CON = -8%, FR = -7%; $d = 0.38$, $p = 1.00$; PTecc: CON = -6%, FR = -8%; $d = -0.34$, $p = 0.25$) and Post-72h (PTiso: CON = -4%, FR = -9%; $d = -0.02$, $p = 0.64$; PTcon: CON = -7%, FR = -4%; $d = 0.58$, $p = 1.00$; PTecc: CON = -6%, FR = -4%; $d = 0.07$, $p = 0.91$).

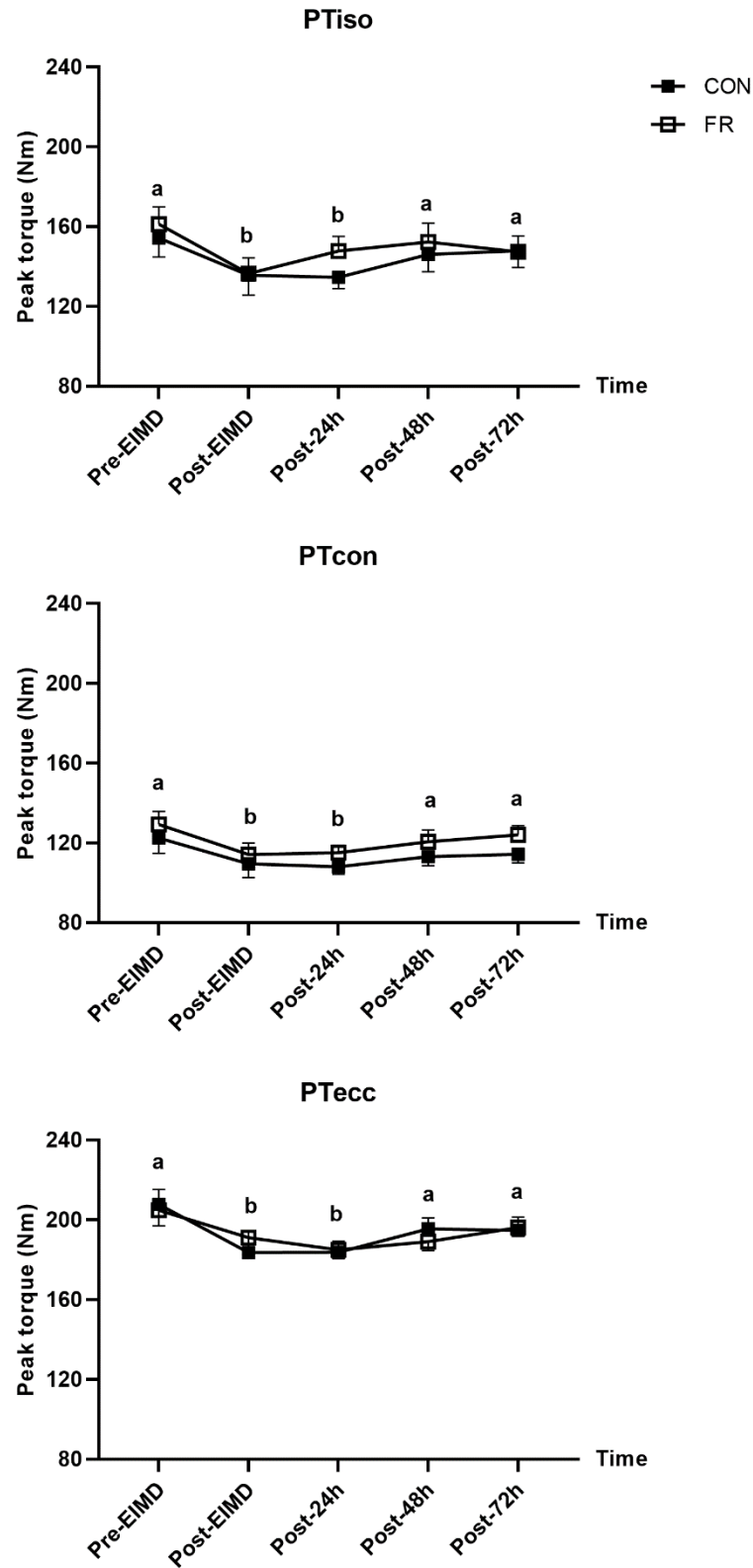


Figura 6. Isometric (PTiso), concentric (PTcon) and eccentric (PTecc) peak torque in each group over time. Results are presented as mean \pm standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.

There was no difference between groups in the vertical jump height ($p = 0.32$; $\eta^2 = 0.08$). Vertical jump height decreased at Post-EIMD (CON = -13%, FR = -11%; $d = -0.39$, $p = 0.00$), and remained reduced at Post-24h (CON = -14%, FR = -13%; $d = -0.38$, $p = 0.00$) and Post-48h (CON = -11%, FR = -12%; $d = -0.48$, $p = 0.03$), returning to baseline values at Post-72h (CON = -10%, FR = -9%, $d = -0.45$, $p = 0.13$).

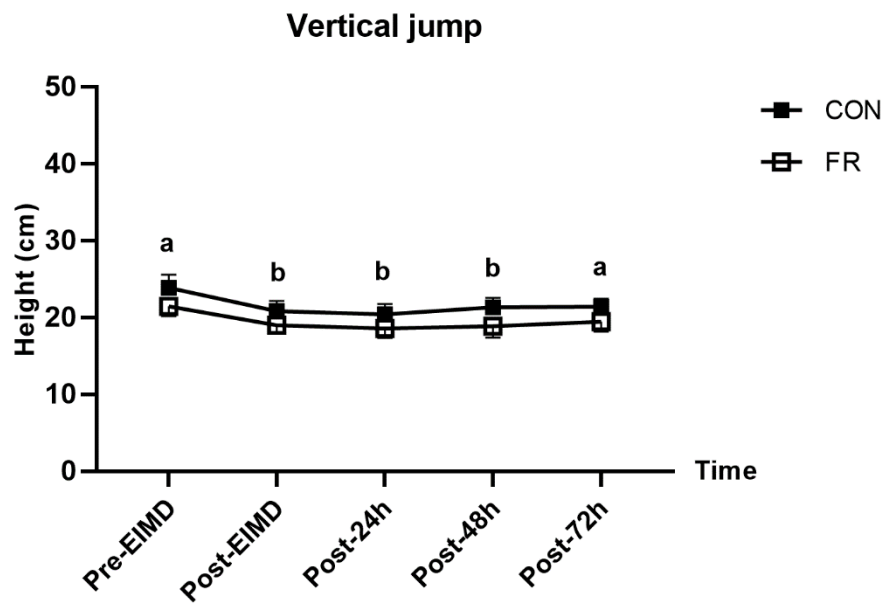


Figura 7. Vertical jump height in each group over time. Results are presented in centimeters (cm) as mean \pm standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.

DISCUSSION

The aim of the present study was to verify the effects of FR application on the DOMS and functional properties of plantar flexors of healthy individuals after an EIMD protocol. Compared with the control condition, the application of FR promoted a reduction in passive (after 24h, 48h and 72h) and active (after 48h) DOMS of the EIMD protocol. However, for the ROM, torque and vertical jump), FR promote similar recovery to the control condition.

The EIMD protocol resulted in an increase in passive DOMS in both groups, as well as in active DOMS in the control group after 24 and 48h. This response may be related to the increase in intracellular osmotic pressure, caused by the inflammatory process and accumulation of edema, which activate nerve endings and sensitize nociceptors¹⁻³. In addition,

the greater sensitivity of nociceptors and the activation of type III and IV afferent nerves may be due to the greater release of some substances such as histamine, bradykinin and prostaglandins, resulting in DOMS¹⁻³.

However, after the application of the FR, a reduction in passive and active DOMS was observed, in comparison with the CON group, which corroborates other studies^{6,11}. Furthermore, it seems that the application of FR had a protective effect for the increase in active DOMS, as this parameter remained unchanged in all assessments. It has been suggested that FR application protocols involving a volume (i.e., number of set vs rolling time per set) per muscle group from the 90s are already sufficient to promote the reduction of DOMS^{6,7}. However, the level of pressure applied on the FR has not been frequently monitored. Specifically in the plantar flexor muscles, a previous study observed that an average load of 10% and 24% of body mass did not promote a reduction in DOMS¹⁰. This result suggests that a pressure level from ~30% of body mass, found in the present study, may be necessary to promote the reduction of the DOMS of the plantar flexor muscles. Among the possible mechanisms, it is believed that responses at central and peripheral levels are involved. At the central level, a possible explanation is through effects on central pain modulatory systems³³, where the application of FR can promote the activation of descending inhibitory pathways through the opioid system of the central gray matter and the endogenous release of oxytocin, and through the descending inhibitory pathway of diffuse noxious inhibitory control, resulting in antinociceptive responses^{6,7,33}. In addition to neural mechanisms, the increase in muscle blood flow³⁴ may contribute to an increase in the number of circulating neutrophils and a decrease in prostaglandin production, which may signal a reduction in the inflammatory process caused by EIMD³⁴. Furthermore, this response may also favor the removal of blood lactate^{6,7,34} and enable a lower elevation of creatine kinase, which may signal a greater recovery of musculotendinous tissues after EIMD, resulting in reducing pain^{6,7,34}. Other biochemical effects may be involved, caused by lower activation of heat shock proteins⁵ and greater activation of mechanosensory receptors that signal the transcription of subunit 7B of cytochrome c oxidase (COX7B) and of NADH-ubiquinone oxidoreductase chain 1 (ND1)⁵⁻⁷. These markers indicate an increase in mitochondrial biogenesis, which favors ATP resynthesis, calcium return to the sarcoplasmic reticulum and tissue repair⁵.

The EIMD protocol did not change DFmax at all evaluated times in both groups. The verbal command used was until the participant reported the greatest tolerable discomfort. Although verbal commands (e.g., increased resistance, tolerance, discomfort, and pain) are widely used to control stretching intensity, the relationship between stretching instructions and

joint neuromechanical responses is not clearly established³⁵. Furthermore, the use of these verbal commands depends on the interpretation of the subjects, and the intensity of a stimulus can become highly variable due to the transformation of the physical stimulus into a perceptual response³⁵. An altered perception of stretching and greater tolerance to discomfort could also be due to an adaptation of nociceptive nerve endings, mechanoreceptors and proprioceptors caused by stretching during the passive test itself^{6,7}. Finally, as reported in a previous study, although we tried to fix the foot on the isokinetic dynamometer platform and visually monitor it, it is possible that some displacement of the participant's heel on the platform during the passive test may have influenced the ROM³⁵.

We also found no differences between the FR application compared to the control condition for the ROM. The increase in ROM after FR application does not seem to be a consensus in the literature, as some studies have found an increase in this variable⁸⁻¹² while others have not^{4,15}. Some differences in FR application protocols may explain these contradictory results. A minimum application volume of 90s already seems to promote ROM recovery of the plantar flexor muscles¹⁰, which corroborates the systematic review by Hendricks et al. (2020)³⁶ who indicated that three to five sets with duration times between 30 and 60s per muscle group can promote ROM recovery. Likewise, in a previous study¹⁰, which compared two different forms of pressure application, using only one leg on the roller (lower pressure) or with the contralateral leg over the ipsilateral leg on the roller (greater pressure), it was observed that the application of FR (volume = 3x30s, 30s interval; speed = 60 rpm) with a lower pressure, an average of 10% of body mass, was enough to promote greater recovery of the ROM of the plantar flexors 48 hours after application. However, greater pressure, with an average of 24% of body mass, did not promote the same effect¹⁰. Greater pressure applied by the FR can cause the practitioner to reduce weight bearing on the device in order to avoid pain, thus not obtaining benefits or harm from the application of the technique³⁷. Therefore, there seems to be no relationship between higher levels of weight bearing applied in the FR and greater recovery of the ROM of the plantar flexor muscles. Regarding the application speed, most studies that observed greater ROM recovery used speeds ranging from 30³⁸ to 60 rpm^{8,10}. On the other hand, when there was no such response with the application of FR, most studies used a speed lower than 30 rpm⁴ or the application speed was not informed¹⁵. It is possible that application speeds from 30 rpm onwards may favor greater blood flow and increase in tissue temperature and nerve conduction velocity, favoring the increase in ROM^{6,7,34}. Therefore, these divergent results can be explained by higher pressure and insufficient application speed used in

the present study, which may not have favored an increase in ROM, even higher than baseline levels.

The force production (isometric, concentric and eccentric) reduced immediately and 24h, and returned to baseline values from 48 hours after the EIMD protocol. On the other hand, vertical jump height reduced immediately after EIMD, remained reduced for up to 48 hours and returned to baseline values within 72 hours after EIMD. The reduction in force production after EIMD has been attributed to neural and morphological factors. Neural factors include failures in the excitation-contraction coupling system, neural inhibition and reduced voluntary muscle activation^{2,3}. Morphological factors are related to damage to musculoskeletal structures, including myofibrils, cell matrix and connective tissue, due to disruption of sarcomeres, Z lines, T tubules and degradation of muscle proteins^{1,2}. In addition to the previously mentioned factors, the mechanisms for reducing vertical jump height also include changes in the pattern of muscle recruitment, impaired proprioception and the stretching-shortening cycle after EIMD¹⁻³.

However, after FR application, although some studies have found greater recovery in the production of isometric force^{13,14} and in the vertical jump height^{4,11,12}, this does not seem to be a consensus in the literature^{4,11,38}. These inconsistent results can possibly be explained by the different FR protocols used (e.g., application of different volumes, speeds and pressure levels)^{6,7}. Studies that found greater recovery of force production and vertical jump height used higher volume protocols (e.g., 180 to 300s) with speeds ranging from 20 to 60 rpm^{4,12,14}. Therefore, although there is still no established dose-response relationship, the volume and speed of application may be associated with increased muscle blood flow^{6,7,34}, which could favor the reduction of the inflammatory process³⁴ and tissue repair⁵. Therefore, it is possible that the low speed (25 rpm) for the volume (90s) used in this application protocol was not sufficient to produce greater recovery of these parameters after EIMD. Likewise, pressure during FR can produce different compressive forces on tissues^{19,29}. Although studies^{5,13,14} have not compared the effects of different levels of pressure on the recovery of force production, the level of pressure required to promote changes in force production may differ between the muscle groups involved due to body position and from the FR. In the knee extensor muscle groups, the application of the FR frequently occurs in the prone position, placing the forearms on the floor, with a body weight support similar to the plank exercise^{5,11,13} and with the roller being moved from the hip to knee. As for the knee flexor muscles^{8,11} and plantar flexors^{10,18}, the application occurs in a sitting position and with the hands resting on the floor, and in the plantar flexor muscles the rolling occurs from the knee region (more proximal) to the ankle (more distal). Therefore, as the foam roller is positioned more distally in relation to the entire

lower limb, it is possible that the weight bearing on the upper limbs is greater than the load applied on the foam roller, and this could be attributed to the positioning of the center of mass, which would be located closer to the support point of the arms to the ground. In addition, the more distal the foam roller moves relative to the target segment, the weight bearing on the foam roller may decrease due to a reduction in the length of the lever arm formed between the foam roller and the fulcrum of the upper limbs to the ground³⁹. Therefore, it is possible that muscles located in more distal positions of the lower limbs, such as the plantar flexors, may need higher volume-pressure levels so that the application of FR results in greater recovery of muscle and connective tissue, and consequently production force.

Our results are specific for the EIMD and FR protocols used, muscle group assessed and population investigated. Therefore, it is possible that other EIMD and FR protocols, using different levels of pressure, volume and speeds, may promote different effects on DOMS and functional properties of plantar flexor muscles. Furthermore, it is difficult to extrapolate these results to other populations (e.g., women and sedentary individuals or athletes) and to other muscle groups, as only the plantar flexor muscles were evaluated.

In conclusion, the application of FR, after an EIMD protocol, seems to reduce the DOMS. However, it does not seem to influence the recovery of certain functional parameters (e.g., ROM, muscle strength, and vertical jump height) of plantar flexor muscles in healthy individuals.

PERSPECTIVE

The present study contributed to a better understanding of the effects of applying foam rolling as a muscle recovery tool after an EIMD protocol. Since EIMD compromises physical performance and that training routines and sports competitions normally do not allow a complete recovery of performance, the investigation of strategies that optimize muscle recovery is essential. Our findings provide evidence that the use of FR seems to be an interesting strategy to reduce DOMS due to its more accessible price, high applicability and easy handling, as it is performed by the individual and not by a professional, in addition to requiring time smaller compared to other recovery methods. However, it seems unlikely that FR influences the recovery of other functional properties, such as ROM and force production. It is important that new studies take into account aspects related to application protocols (i.e., different levels of volume, pressure and velocities), other populations and muscle groups, in addition to the

possible mechanisms involved in these effects, in order to favor a consensus in the literature on the applicability of the FR in the clinical and sports environment.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

All authors declare that they have no relevant conflicts of interest to the content of this article.

REFERENCES

1. Kanda K, Sugama K, Hayashida H, Sakuma J, Kawakami Y, Miura S, Yoshioka H, Mori Y, Suzuki K. Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. *Exerc Immunol Rev* 2013;19:72–85.
2. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil* 2002;81:S52–S69.
3. Byrne C, Twist C, Eston R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine* 2004;34:49–69.
4. Drinkwater EJ, Latella C, Wilsmore C, Bird SP, Skein M. Foam rolling as a recovery tool following eccentric exercise: potential mechanisms underpinning changes in jump performance. *Front Physiol* 2019;10:.
5. Pearcey GEP, Bradbury-Squires DJ, Kawamoto JE, Drinkwater EJ, Behm DG, Button DC. Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and Recovery of dynamic performance measures. *J Athl Train* 2015;50:5–13.
6. Wiewelhove T, Döweling A, Schneider C, Hottenrott L, Meyer T, Kellmann M, Pfeiffer M, Ferrauti A. A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Front Physiol* 2019;10:.
7. Hughes GA, Ramer LM. Duration of myofascial rolling for optimal recovery, range of motion, and performance: a systematic review of the literature. *Int J Sports Phys Ther* 2019;14:845–859.
8. Yanaoka T, Yoshimura A, Iwata R, Fukuchi M, Hirose N. The effect of foam rollers of varying densities on range of motion recovery. *J Bodyw Mov Ther* 2021;26:64–71.
9. Moradi H, Monazzami A. Effects of cryotherapy and foam rolling recovery methods on performance and muscle damage indices in young male soccer players after simulated soccer match. *Journal of Archives in Military Medicine* 2020;8:.
10. Lennon KM. 2018. The effects of pressure during foam rolling on delayed-onset muscle soreness and range of motion. Unpublished thesis, California State University.
11. MacDonald GZ, Button DC, Drinkwater EJ, Behm DG. Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46:131–142.
12. Romero-Moraleda B, González-García J, Cuéllar-Rayó Á, Balsalobre-Fernández C, Muñoz-García D, Morencos E. Effects of vibration and non-vibration foam rolling on recovery after exercise with induced muscle damage. *J Sports Sci Med* 2019;18:172–180.

13. Fleckenstein J, Wilke J, Vogt L, Banzer W. Preventive and regenerative foam rolling are equally effective in reducing fatigue-related impairments of muscle function following exercise. *J Sports Sci Med* 2017;16:474–479.
14. Romero-Moraleda B, La Touche R, Lerma-Lara S, Ferrer-Peña R, Paredes V, Peinado AB, Muñoz-García D. Neurodynamic mobilization and foam rolling improved delayed-onset muscle soreness in a healthy adult population: a randomized controlled clinical trial. *PeerJ* 2017;5:e3908.
15. Akinci B, Zenginler Yazgan Y, Altinoluk T. The effectiveness of three different recovery methods on blood lactate, acute muscle performance, and delayed-onset muscle soreness: a randomized comparative study. *J Sports Med Phys Fitness* 2020;60:.
16. Geremia JM, Baroni BM, Bini RR, Lanferdini FJ, de Lima AR, Herzog W, Vaz MA. Triceps surae muscle architecture adaptations to eccentric training. *Front Physiol* 2019;10:.
17. Casanova N, Reis JF, Vaz JR, Machado R, Mendes B, Button DC, Pezarat-Correia P, Freitas SR. Effects of roller massager on muscle recovery after exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci* 2018;36:56–63.
18. Vaidya V, Gangwal A, Dabadghav R, Shyam A, Sancheti P. Comparison between neurodynamic therapy and foam rolling in cool-down sessions for delayed onset muscle soreness in healthy individuals. *J Bodyw Mov Ther* 2021;26:492–500.
19. Aune AAG, Bishop C, Turner AN, Papadopoulos K, Budd S, Richardson M, Maloney SJ. Acute and chronic effects of foam rolling vs eccentric exercise on ROM and force output of the plantar flexors. *J Sports Sci* 2019;37:138–145.
20. Kay AD, Blazeovich AJ. Moderate-duration static stretch reduces active and passive plantar flexor moment but not Achilles tendon stiffness or active muscle length. *J Appl Physiol* 2009;106:1249–1256.
21. De Mesquita GN, De Oliveira MNM, Matoso AER, De Moura Filho AG, De Oliveira RR. Cross-cultural adaptation and measurement properties of the brazilian portuguese version of the Victorian Institute of Sport Assessment-Achilles (VISA-A) questionnaire. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2018;48:567–573.
22. Geremia JM, Bobbert MF, Casa Nova M, Ott RD, Lemos F de A, Lupion R de O, Frasson VB, Vaz MA. The structural and mechanical properties of the Achilles tendon 2years after surgical repair. *Clinical Biomechanics* 2015;30:485–492.

23. Geremia JM, Baroni BM, Lanferdini FJ, Bini RR, Sonda FC, Vaz MA. Time course of neuromechanical and morphological adaptations to triceps surae isokinetic eccentric training. *Physical Therapy in Sport* 2018;34:84–91.
24. Doguet V, Jubeau M, Dorel S, Couturier A, Lacourpaille L, Guével A, Guilhem G. Time-course of neuromuscular changes during and after maximal eccentric contractions. *Front Physiol* 2016;7:.
25. Marathamuthu S, Selvanayagam VS, Yusof A. Contralateral effects of eccentric exercise and DOMS of the plantar flexors: evidence of central involvement. *Res Q Exerc Sport* 2022;93:240–249.
26. Blazeovich AJ, Cannavan D, Waugh CM, Miller SC, Thorlund JB, Aagaard P, Kay AD. Range of motion, neuromechanical, and architectural adaptations to plantar flexor stretch training in humans. *J Appl Physiol* 2014;117:452–462.
27. Power GA, Rice CL, Vandervoort AA. Residual force enhancement following eccentric induced muscle damage. *J Biomech* 2012;45:1835–1841.
28. Power GA, Dalton BH, Rice CL, Vandervoort AA. Delayed recovery of velocity-dependent power loss following eccentric actions of the ankle dorsiflexors. *J Appl Physiol* 2010;109:669–676.
29. Baumgart C, Freiwald J, Kühnemann M, Hotfiel T, Hüttel M, Hoppe M. Foam rolling of the calf and anterior thigh: biomechanical loads and acute effects on vertical jump height and muscle stiffness. *Sports* 2019;7:27.
30. Landis JR, Kock GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977;33:159–174.
31. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, US: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
32. Dancey C, Reidy J. *Estatística sem matemática para psicologia*. Porto Alegre: Penso Editora; 2018.
33. Aboodarda S, Spence A, Button DC. Pain pressure threshold of a muscle tender spot increases following local and non-local rolling massage. *BMC Musculoskelet Disord* 2015;16:265.
34. Cafarelli E, Flint F. The role of massage in preparation for and recovery from exercise. *Sports Medicine* 1992;14:1–9.
35. Radaelli R, Freitas J, Almeida N, Vaz JR, Freitas SR. Which stretching instruction should be given to assess joint maximal range of motion? *J Bodyw Mov Ther* 2022;31:45–50.

36. Hendricks S, Hill H, Hollander S den, Lombard W, Parker R. Effects of foam rolling on performance and recovery: A systematic review of the literature to guide practitioners on the use of foam rolling. *J Bodyw Mov Ther* 2020;24:151–174.
37. Behara B, Jacobson BH. Acute effects of deep tissue foam rolling and dynamic stretching on muscular strength, power, and flexibility in division I Linemen. *J Strength Cond Res* 2017;31:888–892.
38. Laffaye G, Da Silva DT, Delafontaine A. Self-myofascial release effect with foam rolling on recovery after high-intensity interval training. *Front Physiol* 2019;10:.
39. Glänzel MH, Rodrigues DR, Petter GN, Pozzobon D, Vaz MA, Geremia JM. Foam rolling acute effects on myofascial tissue stiffness and muscle strength: a systematic seview and meta-analysis. *J Strength Cond Res* 2022;

4 ARTIGO – EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON THE STIFFNESS OF MYOFASCIAL TISSUES OF PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS

Journal: *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*

Authors: Deivid Ribeiro Rodrigues^{1,2} (0000-0003-3422-5673), Marcelo Henrique Glänzel^{1,2} (0000-0002-0426-3321), Rose Löbell^{1,2} (0000-0002-2532-2757), Carla Emilia Rossato¹ (0000-0002-1821-0511), Daniel Pozzobon¹ (0000-0002-2796-4235), Fábio Juner Lanferdini^{1,2} (0000-0003-4834-7188), Marco Aurélio Vaz² (0000-0001-6741-3502), Jean Marcel Geremia^{1,2} (0000-0001-8918-806X).

Affiliations: ¹Biomechanics Laboratory, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil; ²Biomechanics and Kinesiology Research Group, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil.

Corresponding Author: Deivid Ribeiro Rodrigues, Biomechanics Laboratory, Federal University of Santa Maria, Physical Education and Sports Center, Roraima Avenue 1000, University City, CEP: 97105900, Santa Maria, RS, Brazil. E-mail address: deividribeiro2015@gmail.com.

**EFFECTS OF FOAM ROLLING APPLICATION AFTER A PROTOCOL OF MUSCLE DAMAGE
INDUCED BY ECCENTRIC EXERCISE ON THE STIFFNESS OF MYOFASCIAL TISSUES OF
PLANTAR FLEXORS IN HEALTHY INDIVIDUALS**

Abstract

The objective of this study was to verify the effects of the application of Foam Rolling (FR) in the recovery of the stiffness of the myofascial tissues of plantar flexors of healthy individuals. 28 men (18-40 years) participated, who were divided into two groups: foam rolling or control. The stiffness of the aponeuroses (superficial and deep) and muscle of the triceps surae was evaluated using shear wave elastography. The evaluations took place before, immediately after, 24h, 48h and 72h after performing an exercise-induced muscle damage (EIMD) protocol (4x25 maximal eccentric contractions). EIMD promoted an increase in stiffness of the superficial aponeurosis immediately after and the stiffness of the deep aponeurosis remained unchanged, while muscle stiffness remained high for up to 72h. However, the application of FR after EIMD did not promote recovery of myofascial tissue stiffness compared to the control group. Therefore, the FR protocol used in the present study is not indicated to decrease the myofascial stiffness of the plantar flexor muscles, of healthy individuals, after a EIMD protocol. It is concluded that the application of FR does not seem to influence the recovery of stiffness of myofascial tissues of plantar flexors in healthy individuals.

Keywords: Self-massage. Muscle Recovery. Aponeurosis. Ultrasound. Elastography.

INTRODUCTION

Exercise-induced muscle damage (EIMD) occurs after performing intense exercise¹⁻³. This structural damage (e.g., myofibrils, cell matrix and connective tissue) can promote changes in the mechanical properties of tissues, such as increased stiffness of myofascial tissues, which can remain elevated for up to 96h⁴⁻⁸. In the fascial tissue, it was suggested that tissue microlesions, the accumulation of edema and a greater production of hyaluronic acid may be responsible for the increase in the stiffness of this tissue after EIMD^{6,7}, while the increase in fascial tissue muscle stiffness appears to occur due to increased release of calcium by the sarcoplasmic reticulum, which causes greater shortening of the contractile elements of the musculoskeletal system¹⁻³.

In order to reduce the deleterious effects of EIMD, myofascial release has been used as a possible tool to recover neuromuscular function⁴⁻⁸, being described as a generic term that encompasses a variety of manual therapy techniques in which mechanical pressure is applied to myofascial tissues⁹. This therapeutic technique can be used by professionals in the field of rehabilitation and physical training^{10,11}, or by the individual himself through self-massage, using instruments such as the roller foam [i.e., foam rolling (FR)]⁹.

The possible effects of the FR application may consider psychological, physiological, neurological and biomechanical components¹¹. This technique is usually used with the aim of promoting changes in biomechanical properties (e.g. stiffness) of the musculoskeletal system. However, few studies have investigated the mechanisms involved in the effects of applying FR as a musculoskeletal recovery tool^{4,5,8}. Although there is evidence that FR can reduce muscle stiffness after EIMD⁴, this does not seem to be a consensus in the literature^{5,8}. In addition, no studies were found that sought to understand the influence of FR on the recovery of fascia/aponeuroses stiffness after EIMD.

Finally, most studies verified the effects of FR on the recovery of knee extensor and flexor muscles^{5,8}, while only one study investigated these effects on plantar flexor muscles of the ankle⁴. Understanding the possible effects of the FR on the plantar flexor muscles is extremely important, in view of the fundamental role of this muscle group in activities of daily living, as well as for sports performance^{4,12}. Therefore, the objective of the present study was to verify the effects of the application of FR after an EIMD protocol on the stiffness of the myofascial tissues of plantar flexors of healthy individuals. As a hypothesis, we expect that the application of FR will reduce the stiffness of the myofascial tissues of the triceps surae after an EIMD protocol.

MATERIALS AND METHODS

Participants

Sample recruitment was intentional. Twenty-eight male individuals (18-40 years old) who were not involved in any type of strength training for lower limbs and with no experience with the FR participated in this study. The following exclusion criteria were adopted: a) having musculoskeletal injuries in the lower limbs; b) have a contraindication for performing maximal tests (cardiovascular, respiratory, musculoskeletal or neurological diseases); c) having performed some type of high-intensity physical activity for up to 72 hours before the assessments; d) use of dietary or anabolic supplements.

For the sample calculation, the G-Power software (version: 3.1.9.7, Kiel University, Germany) was used for the family of tests F – ANOVA of repeated measures. The maximum voluntary isometric contraction (MVIC) of the plantar flexors, defined by another study of the same research project, was considered as the primary outcome. The sample size was determined based on a previous study¹³, with methods similar to those of the present study. Using the ImageJ software, the mean and standard deviation values related to the post-EIMD (83.8 ± 5.7 Nm) and post-48h (86.7 ± 6.1 Nm) MVIC of the self-massage condition, and the size of the effect of Cohen's d between time points was calculated. Thus, we found an effect size (d) of 0.49, which was converted to an effect size f (0.25) and used for sample calculation ($\beta = 0.8$; $\alpha = 0.05$). The sample calculation resulted in 22 participants and, considering a sample loss of 20%¹⁴, a total of 26 participants was determined.

All individuals included in the study signed an informed consent form, previously approved by the ethics committee of the Federal University of Santa Maria (CAAE: 54493621.1.3001.5346).

Experimental design

Participants were randomly divided into 2 groups: FR (application of self-massage with FR) or CON (control). One evaluator was responsible for randomizing the groups, as well as for applying the interventions, being the only one to know which intervention the participant was submitted to.

On the first day of the evaluation, the randomization of the participants in each group was performed by drawing lots using opaque envelopes. Afterwards, body mass and height were obtained using an anthropometric scale with a stadiometer attached (Welmy RW 200, SA Santa Bárbara do Oeste, Brazil). In addition, each participant's level of physical activity was assessed using the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ short version), while pain and Achilles tendon function were determined using the translated version of the Victorian Institute of Sport Assessment – Achilles Questionnaire (VISA-A-Br)¹⁵.

After completing the questionnaires, the participants remained seated in the chair of an isokinetic dynamometer (Biodex System 4 Pro, Medical Systems, New York, USA), keeping the knee fully extended and the hip flexed at 85° (0° = hip fully extended)¹⁶. The rotation axis for ankle plantar and dorsiflexion movements remained aligned with the dynamometer rotation axis (i.e., reference position). The torso and thigh were stabilized by velcro® bands in order to avoid compensatory movements, while the feet were fixed on the foot platform to minimize calcaneal elevation. In this position, the stiffness of the aponeuroses (superficial and deep) and muscle was evaluated, in addition to the subcutaneous adipose tissue thickness of the plantar flexors. The evaluations took place before (Pre-EIMD), immediately (Post-EIMD), 24 (Post-24h), 48 (Post-48h) and 72 (Post-72h) hours after an EIMD protocol (Figure 1). All procedures were performed on the dominant limb^{16,17}, defined as the preferred limb for kicking a ball¹⁸.

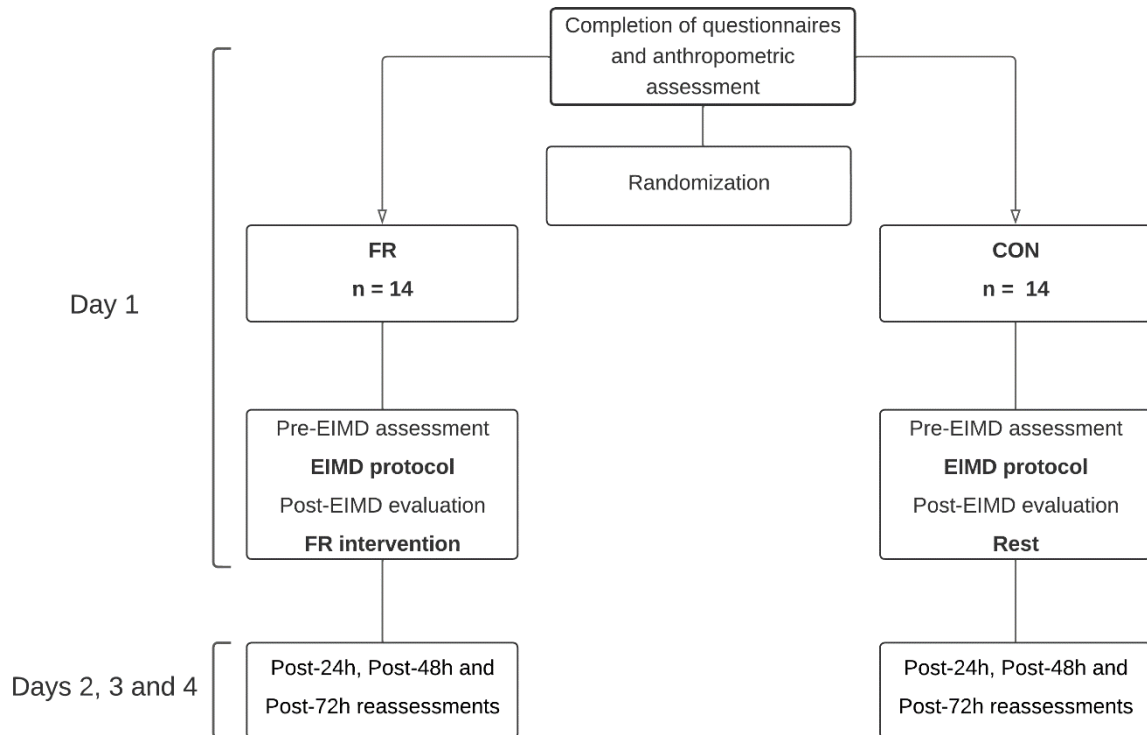


Figure 1. Experimental study design. Evaluation of the myofascial tissue stiffness of the plantar flexor muscles Pre-EIMD, Post-EIMD, Post-24h, Post-48h and Post-72h in each group: FR (group that performed self-massage with a foam roller) and CON (group that did not undergo any treatment).

Myofascial Tissue Stiffness

Before the assessment, the participants performed five 5-second isometric voluntary contractions (three maximal and two at 50% maximal), with the ankle in a neutral position (i.e. 0° = surface of the foot perpendicular to the leg), with the aim of preconditioning the structures^{19,20}.

The stiffness of the aponeuroses (superficial and deep) and muscle of the triceps surae was evaluated by means of shear wave elastography, using images obtained by an ultrasound system (ACUSON S2000, Siemens, Siemens Healthineers, Germany). To capture the images, the participants were positioned on the isokinetic dynamometer, in the reference position, with the ankle in a neutral position¹⁷. A linear transducer (9L4; 8MHz; 45mm; Siemens Healthineers) was positioned longitudinally to the muscle fibers at 30% in the proximal region for the medial gastrocnemius (GM) and lateral gastrocnemius (GL) muscles and 50% for the soleus (SO) muscle of the distance between the popliteal fold and the center of the lateral malleolus (i.e., leg length). The transducer surface was covered with a water-soluble

transmitter gel and soft plastic sheets containing the transducer markings and anatomical landmarks were used to ensure that the same muscle site was assessed¹⁸.

After obtaining an image, regions of interest (ROIs) in a square shape measuring 1.2mm x 1.2mm were manually selected based on the fixed field of view, as follows: a) 10 measurements in the superficial aponeurosis; b) 10 measurements in the superficial region of the muscle; c) 10 measurements in the intermediate region between the superficial and deep regions of the muscle; d) 10 measurements in the deep region of the muscle; and e) 10 measurements in the deep aponeurosis.

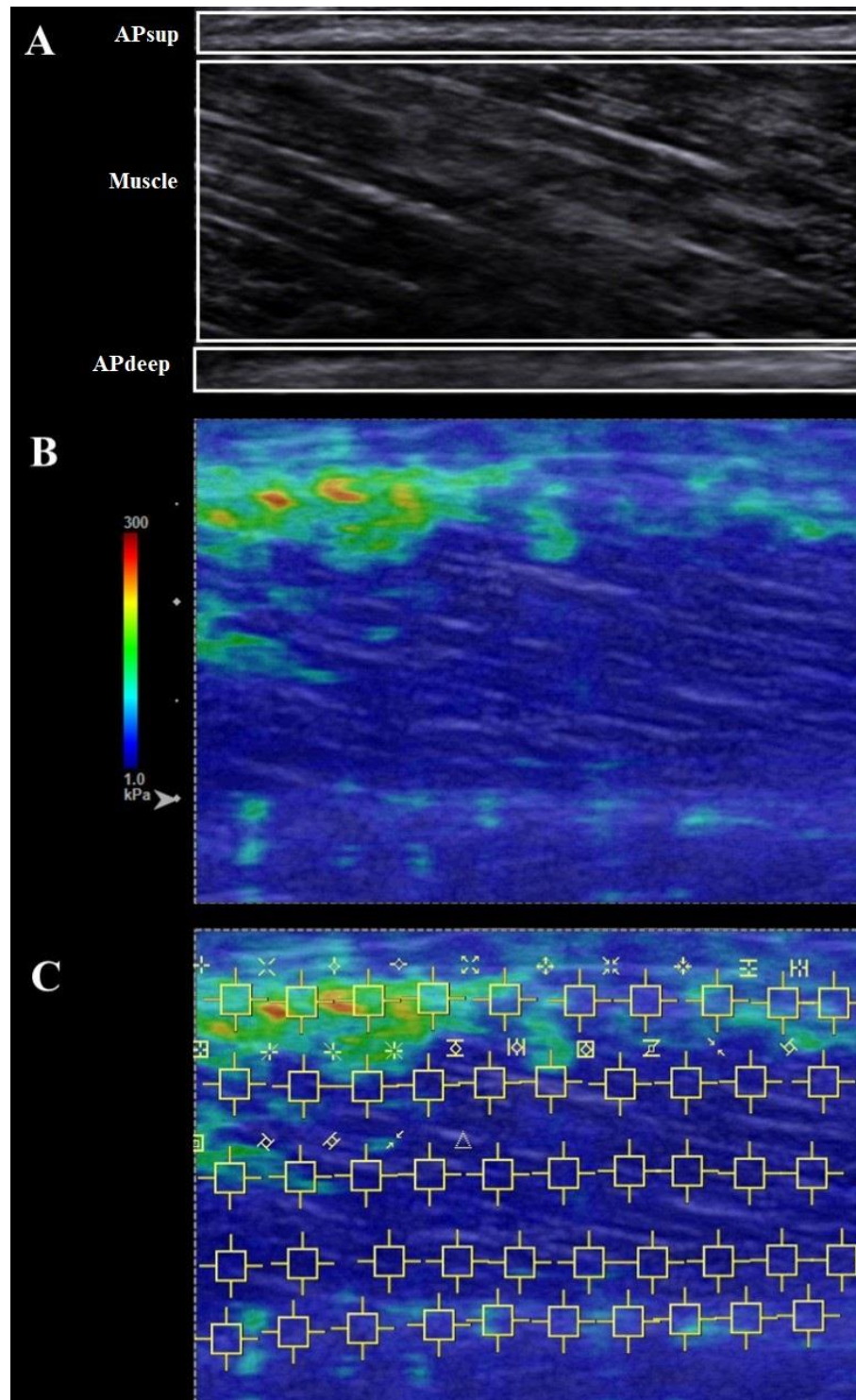


Figure 2. Representation of tissue location for obtaining ultrasound images. In the images, the superficial (APsup) and deep (APdeep) aponeurosis can be observed, in addition to the muscle tissue (A), among which elastography images were obtained (B) and the ROI's were selected for each of these tissues (C).

In each image, the average of the 10 ROIs for the aponeuroses and the average of the 30 ROIs for the muscle tissue were calculated. Three images of each muscle (GM, GL and SO) were obtained. The stiffness of the tissues of each muscle was obtained from the mean

value of the three images and the mean of the three muscles was used to represent the myofascial tissue stiffness of the triceps surae.

Subcutaneous adipose tissue thickness

The subcutaneous adipose tissue thickness of the triceps surae was evaluated using images obtained by an ultrasound system (ACUSON S2000, Siemens, Siemens Healthineers, Germany). To capture the images, the participants were positioned on the isokinetic dynamometer, in the reference position, with the ankle in a neutral position (i.e. 0° = surface of the foot perpendicular to the leg)¹⁷. A linear transducer (9L4; 8MHz; 45mm; Siemens Healthineers) was positioned longitudinally to the muscle fibers at 30% in the proximal region for the medial gastrocnemius medialis (GM) and gastrocnemius lateralis (GL) muscles and 50% for the soleus (SO) muscle of the distance between the popliteal crease and the center of the lateral malleolus (i.e., leg length). The transducer surface was covered with a water-soluble transmitter gel and soft plastic sheets containing the transducer markings and anatomical landmarks were used to ensure that the same muscle site was assessed¹⁸.

Three longitudinal images of each muscle were obtained, measuring the distance between the lower edge of the epidermis and the upper edge of the superficial aponeurosis from five measurements performed using the ImageJ software (National Institute of Health, USA).

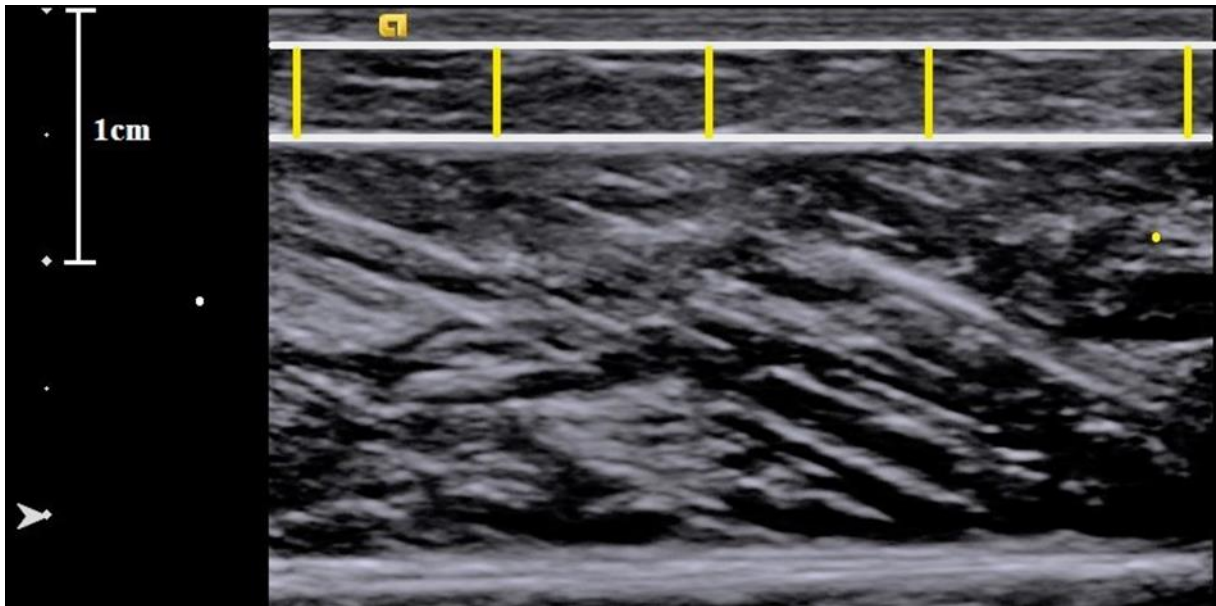


Figure 3. Ultrasound image for assessing subcutaneous adipose tissue thickness. Note the lower edge of the epidermis (white upper horizontal line) and the upper edge of the superficial aponeurosis (white lower horizontal line), between which the five measurements were obtained (yellow lines).

In each image, the average of the five measurements was calculated. The subcutaneous adipose tissue thickness of each muscle was obtained from the average of the three images and the average of the three muscles was used to represent subcutaneous adipose tissue thickness of the triceps surae.

EIMD protocol

The EIMD protocol was performed in the reference position, on the isokinetic dynamometer, and consisted of four series of 25 maximum eccentric repetitions, with 30s of interval between each series, at a constant angular velocity of $30^\circ/\text{s}^{21}$. The concentric phase was passively performed while the eccentric contraction was initiated when the ankle reached an amplitude of 50° from 80% of the DF_{max}^{17} . The participants were instructed to produce the maximum force, maintaining a minimum threshold of 80% of TQ_{iso} , using the value obtained in the Pre-EIMD evaluation²². A standardized verbal stimulus was performed in order to motivate the participants during the execution of the protocol

Foam rolling intervention

For the application of the FR, a standard roller measuring 30cm x 15cm (Pood Fitness, Brazil) was used. familiarization procedures were performed just before the FR protocol was performed, on the non-dominant leg, until an adequate application of the FR technique was achieved²³. To carry out the FR protocol, the participants remained in a sitting position, with their hands resting on the ground, keeping the body out of contact with the ground, with only the lower limbs resting on the foam roller and the non-dominant limb crossed above of the dominant member^{12,23}. The bearings were performed from the popliteal fossa to the distal insertion of the Achilles tendon in the calcaneal bone (Figure 4)²³. Three series of 30s were performed, with a 30s interval between each series, with participants instructed to apply the highest tolerable pressure¹⁰. The execution speed was controlled by means of a metronome, using a frequency of 25 rpm^{24,25}. The control group received no treatment and subjects remained seated in a chair for 90s²³.



Figure 4. Positioning of foam rolling on the plantar flexor muscles. Rolling over the distal (A and C) and proximal regions of the leg (B and D).

Weight bearing during the FR performance was obtained through ground reaction forces, using a force platform (AMTI OR6-6-2000, Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, MA, USA) with a rate of 1000Hz sampling²⁶. The strength curve averages were calculated relative to the participants body mass²⁷.

Statistical analysis

All statistical procedures were performed using SPSS software (v. 23.0; IBM Corporation, Armonk, New York, USA). A significance level of $\alpha \leq 0.05$ was adopted. The results were presented using descriptive statistics, using mean values and standard deviation (95% CI) (tables) and mean and standard error (figures).

The chi-square test was used to compare the physical activity level of participants between groups. Data normality and sphericity were evaluated using the Shapiro-Wilk and Mauchly tests, respectively. Greenhouse-Geisser correction was applied when data sphericity was not obtained. A two-way ANOVA was used for comparisons between groups (FR and CON) and time points (Pre-EIMD, Post-EIMD, Post-24h, Post-48h and Post-72h)]. Bonferroni's post-hoc test was used to locate differences.

The effect size of each variable was calculated using Cohen's equation¹⁹, classified as: trivial (<0.20); small (0.20 to 0.49); moderate (0.50 to 0.79); large (0.80 to 1.29); and very large (>1.30). Furthermore, if there was a significant difference between the groups, correlational analyzes were performed using Pearson's moment-product tests (parametric data) or Spearman (non-parametric data) at each of the moments after FR application, in order to verify the possible influences of the subcutaneous adipose tissue thickness with the effects found. The magnitude of the correlations was determined from the classification in: null (0.0), weak (0.1-0.3), moderate (0.4-0.6), strong (0.7-0.9) and perfect (1.0)²⁸.

RESULTS

Table 1 presents the characterization of the sample. No differences were observed between groups regarding age ($p = 0.29$), body mass ($p = 0.60$), height ($p = 0.59$) and BMI ($p = 0.33$).

Likewise, the physical activity level ($p = 0.50$) and VISA-A Br questionnaire score ($p = 0.57$) were similar between groups. During FR application, the average weight bearing was approximately 30% of body weight. The lowest levels of weight bearing (average 17%) were obtained when the foam roller was in a more distal position, close to the insertion of the Achilles tendon, while the highest levels of weight bearing (average 43%) occurred when the foam roller was in a more proximal position (popliteal fossa).

Table 1. Characteristics of the participants.

	n	Age (years)	Height (cm)	Body mass (kg)	BMI (kg/m ²)
CON	14	25.6 ± 7.8	175.3 ± 5.4	71.9 ± 7.9	23.4 ± 2.8
		(21.1-30.1)	(172.2-178.4)	(67.3-76.4)	(21.8-25.0)
FR	14	25.5 ± 5.1	174.2 ± 5.6	75.5 ± 11.1	24.9 ± 3.5
		(22.5-28.5)	(171.0-177.4)	(69.1-81.9)	(22.8-26.9)
Total	28	25.5 ± 6.5	174.8 ± 5.4	73.7 ± 9.6	24.2 ± 3.2
		(23.0-28.0)	(172.7-176.8)	(70.0-77.4)	(22.9-25.4)

CON = Control group. FR = Foam rolling group. cm = centimeters. kg = kilogram. BMI = Body Mass Index. Kg/m² = kilogram per square meter.

No differences were found between groups in the stiffness of the superficial aponeurosis ($p = 0.44$; $\eta^2 = 0.05$). There was an increase in stiffness of the superficial aponeurosis in Post-EIMD (CON: 34%, FR: 15%; $d = 0.09$; $p = 0.008$) and a return to baseline values in Post-24h (CON: 7%, FR: -1.5% $d = 0.27$; $p = 1.00$), remaining unchanged in the Post-48h (CON: 4%, FR: -4%; $d = 0.28$; $p = 1.00$) and Post-72h (CON: -1%, FR: -5%; $d = 0.44$; $p = 1.00$).

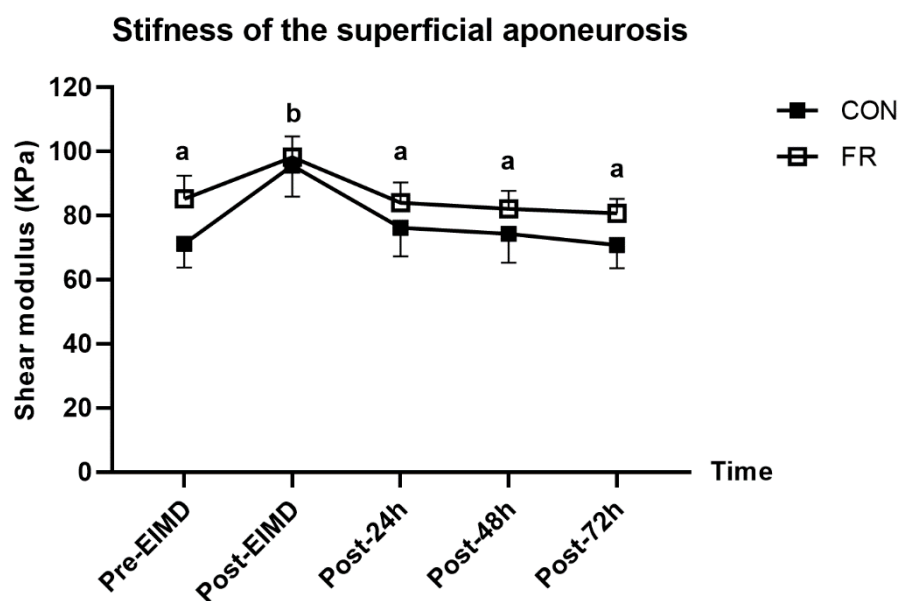


Figure 5. Stiffness of the superficial aponeurosis, in each group, over time. Results are presented as mean ± standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling

group. KPa = Kilopascal. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.

There was a similar behavior of the stiffness of the deep aponeurosis, as no differences were found between the groups ($p = 0.16$; $\eta^2 = 0.15$). Deep aponeurosis stiffness remained unchanged across time points ($p = 0.95$, $\eta^2 = 0.01$).

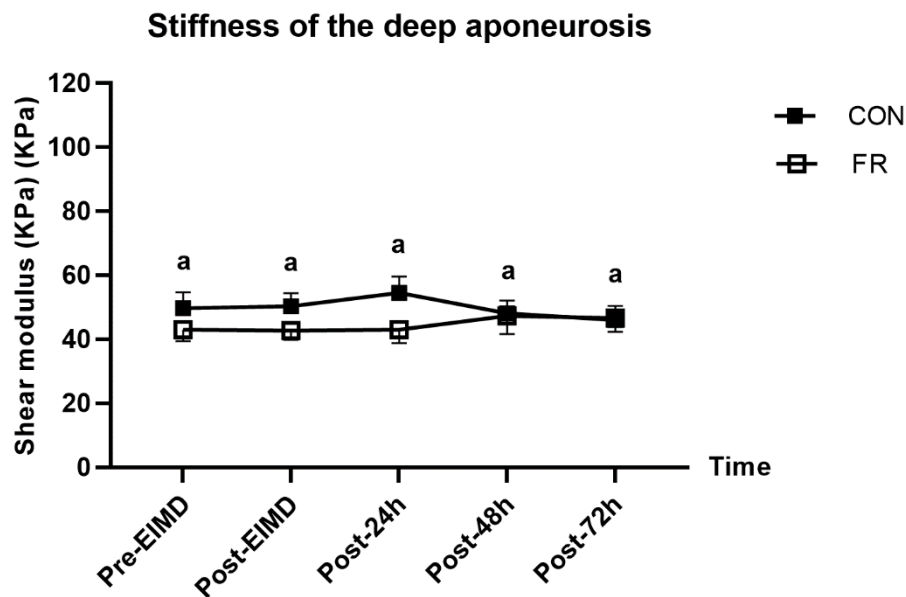


Figure 6. Stiffness of the deep aponeurosis, in each group, over time. Results are presented as mean \pm standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. KPa = Kilopascal. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.

Likewise, no differences were found between groups in muscle stiffness ($p = 0.25$; $\eta^2 = 0.10$) in any of the assessments. Muscle stiffness increased at Post-EIMD (CON: 14%, FR: 16%; $d = 0.20$; $p = <0.001$) and remained high at Post-24h (CON: 17%, FR: 22%; $d = 0.29$; $p = <0.05$), Post-48h (CON: 14%, FR: 25%; $d = 0.58$; $p = <0.001$) and Post-72h (CON: 9%, FR: 12%; $d = 0.38$; $p = 0.003$).

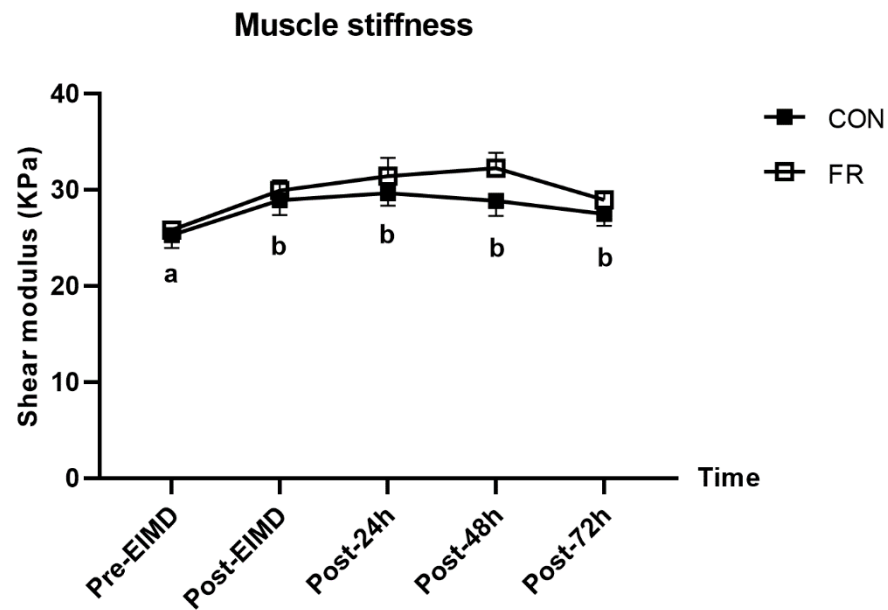


Figure 7. Muscle stiffness, in each group, over time. Results are presented as mean \pm standard error. Different letters indicate difference between moments. CON = Control group. FR = Foam rolling group. KPa = Kilopascal. Pre-EIMD = Before the EIMD protocol. Post-EIMD = Immediately after the EIMD protocol. Post-24h = 24 hours after the EIMD protocol. Post-48h = 48 hours after the EIMD protocol. Post-72h = 72 hours after the EIMD protocol.

DISCUSSION

The aim of the present study was to verify the effects of FR application on the stiffness of the myofascial tissues of the plantar flexors of healthy individuals after an EIMD protocol. The results showed that the application of FR did not promote a recovery of stiffness of the aponeuroses (superficial and deep) and muscle different from the control condition.

The EIMD protocol resulted in an increase in the stiffness of the superficial aponeurosis immediately after the EIMD and a return to baseline values after 24 hours. The tissue micro-injury, and subsequent swelling, caused by mechanical stress during maximal contractions may contribute to increased stiffness of the aponeuroses after exercise⁷. Considering that the tissue swelling (i.e. edema) is associated with increased stiffness^{7,29,31} is possible that the tissue edema caused by the EIMD protocol is responsible for the increased stiffness on the superficial aponeurosis. However, although the increase in stiffness occurred in the superficial aponeurosis, this parameter remained unchanged in the deep aponeurosis. Therefore, it is possible that the our EIMD protocol did not favor microlesions and increased

stiffness of the deep aponeurosis. However, the effects of eccentric exercise on the mechanical properties of muscle deep aponeuroses are still unclear.

Among the mechanisms that would involve the effects of FR application on the recovery of muscle aponeurosis stiffness, it is believed that it could stimulate contractile cell activity and fascial hydration, change the microarchitecture of the cellular cytoskeleton, induce thixotropic responses (where the tissue acquires a conformation more fluid, with greater hydration and lower viscosity), in addition to reducing fascial adhesions and inflammatory processes⁹, resulting in a reduction in the stiffness of this tissue. However, the application of FR did not promote a better recovery of the stiffness of the superficial and deep aponeuroses and no other studies were found that evaluated these possible effects in this tissue after EIMD. When the FR was used as a warm-up tool, some studies observed an increase in gliding³⁰ and a reduction in fascial stiffness³². Griefahn et al. (2017)³⁰ investigated the effect of FR application (3x30s) on the sliding of the thoracolumbar fascia in healthy individuals. Soon after application, an increase of 56.5% in fascial sliding was observed. Similarly, the only study³² to evaluate fascial stiffness by elastography after FR application (5x45s) found a reduction of 13.2% after 30min and 12.1% after 6h in the iliotibial band only in individuals experienced with the technique. Therefore, the present study did not evaluate these properties in this short time interval after application, and it is possible that FR promotes a reduction in fascial tissue stiffness more acutely than the evaluated moments. Furthermore, bearing in mind that volumes of 90 to 225 seconds were applied per muscle group and that higher pressure levels occur in more proximal regions (e.g., thoracolumbar fascia and iliotibial band) than distal (i.e. plantar flexors), it is possible that the volume-pressure level required to promote these effects is different between muscle groups. A greater familiarity with the FR may also be determinant to promote the reduction of tissue stiffness and may be related to a greater pain tolerance, thus allowing greater levels of pressure applied on the myofascial tissues.

Muscle stiffness increased immediately after the EIMD protocol and remained high until at least 72 hours after this protocol. In addition to the increase in the inflammatory process and edema, a greater release of calcium by the sarcoplasmic reticulum after exercise may contribute to a greater connection between myofilaments, promoting a greater shortening of the contractile elements, resulting in an increase in stiffness after EIMD^{33,34}. The application of FR has been suggested as an alternative for reducing muscle stiffness after EIMD⁴, although this does not seem to be a consensus in the literature^{5,8}. It was suggested that the application of FR could act to decrease muscle stiffness through neurophysiological and

biomechanical mechanisms^{9,35}. Neurophysiological mechanisms would be associated with stimulation of mechanoreceptors and self-regulation of the central nervous system⁹. With this, the hypothesis is that the pressure exerted on the soft tissues could stimulate the mechanoreceptors, modulating the activity of the autonomic nervous system⁹ and increasing the extensibility of the myofascial tissues^{36,37}. Furthermore, massage could cause inhibition of the Hoffmann reflex³⁸, which is an indirect measure of alpha motor neuron excitability⁹. Regarding the biomechanical mechanisms, it is possible that the reduction in the stiffness of the myofascial tissues occurs through thixotropic responses (where the tissue acquires a more fluid conformation, with greater hydration and lower viscosity), reduction of myofascial adhesions and reduction of inflammatory processes⁹. However, in our study, the application of FR was not able to reduce muscle stiffness after the EIMD protocol.

Differences between studies could explain possible contradictory results. Studies that evaluated the effects of FR application on the stiffness of myofascial tissues used tensiomyography⁴, myotonometry⁵, compression elastography (strain elastography)⁸, while the present study used elastography shear wave. Tensiomyography evaluates muscle stiffness through the contractile response of the muscle after an electrical stimulus, and myotonometry evaluates the viscoelastic properties of the tissue after a mechanical stimulus³⁹. Factors such as the thickness of subcutaneous adipose tissue and skin thickness can influence the measurement of stiffness of musculoskeletal tissues when these are evaluated using these tools³⁹. Compression elastography evaluates stiffness through vertical pressure exerted by the evaluator, using an ultrasound transducer on the tissues, being evaluator-dependent, where only qualitative information on superficial tissues is obtained. The evaluation by shear wave elastography occurs through the velocity of propagation of shear waves in the myofascial tissues, having the possibility of evaluating muscle stiffness with less influence from other tissues, being considered the gold standard for the evaluation of this parameter³⁹⁻⁴¹. Therefore, although these tools are used for this purpose, the measurement of these variables occurs through different mechanisms, having different factors that can influence the measurement of musculoskeletal stiffness, which can generate divergence in the correlation between these tools³⁹⁻⁴¹. Anyway, considering that we evaluated muscle stiffness using a tool considered the gold standard³⁹, we can suggest that, in fact, the application of FR did not promote changes in muscle stiffness.

In addition to the different ways of assessing musculoskeletal stiffness, the different FR application protocols could also influence the results. There seems to be no established dose-response relationship, as the only study⁴ to find a greater recovery of muscle stiffness

used an application volume of 60s (2x30s) in the plantar flexor muscles, while a volume of 90s (3x30s), used in the present study, did not promote the same effect. Differences between the speed and pressure of application could explain these divergent results, although this information was not described in the study by García-Sillero⁴. A higher application speed could increase blood flow, tissue temperature and nerve conduction velocity, promoting changes in the extensibility and stiffness of myofascial tissue³⁵. It is possible that the applied pressure also influences the stiffness of the myofascial tissues, since it may be related to the magnitude of tissue deformations, greater stimulation of mechanoreceptors, modulation of the autonomic nervous system activity and a consequent change in the extensibility of the myofascial tissues⁹. Interventions that did not find effects with the use of FR applied pressure levels between 31% (plantar flexors; our study) and 50% (knee flexors/extensors^{5,8} of body mass. it is possible that in these studies, the level of pressure applied was insufficient to cause changes in the mechanical properties of the knee extensor and flexor muscles, whereas in the study by García-Sillero⁴ a level of pressure may have been applied. pressure higher than that of the present study, promoting the reduction of muscle stiffness.

Therefore, it is possible to conclude that the application of FR does not seem to influence the recovery of plantar flexors myofascial stiffness in healthy individuals. As limitations, we can describe that the observed results are specific for the EIMD and FR protocol, muscle group and investigated population. Therefore, it is possible that other EIMD and FR protocols, using different levels of pressure, volume and velocities, may promote different effects on mechanical properties of plantar flexor muscles. Furthermore, it is difficult to extrapolate these results to other populations (e.g., women and sedentary individuals or athletes) and to other muscle groups, as only the plantar flexor muscles were evaluated.

PERSPECTIVE

The present study contributed to a better understanding of the effects of applying FR as a muscle recovery tool after an EIMD protocol. FR is often described as a self-myofascial release technique, although the use of the term “myofascial release” may be inappropriate as it refers to a false or incorrect mechanism, as FR may not affect some myofascial aspects, such as tissue stiffness. Our findings provide evidence that the use of FR after an EIMD protocol does not seem to influence the stiffness of the myofascial tissues of the plantar flexor muscles in healthy individuals. Therefore, the FR protocol used in the present study is not indicated to

decrease the myofascial stiffness of the plantar flexor muscles, of healthy individuals, after a EIMD protocol.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

All authors declare that they have no relevant conflicts of interest to the content of this article.

REFERENCES

1. Kanda K, Sugama K, Hayashida H, Sakuma J, Kawakami Y, Miura S, Yoshioka H, Mori Y, Suzuki K. Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. *Exerc Immunol Rev* 2013;19:72–85.
2. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil* 2002;81:S52–S69.
3. Byrne C, Twist C, Eston R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine* 2004;34:49–69.
4. García-Sillero M, Benítez-Porres J, García-Romero J, Bonilla DA, Petro JL, Vargas-Molina S. Comparison of interventional strategies to improve recovery after eccentric exercise-induced muscle fatigue. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:647.
5. Schroeder J, Lueders L, Schmidt M, Braumann KM, Hollander K. Foam rolling effects on soft tissue tone, elasticity and stiffness in the time course of recovery after weight training. *Sports Orthopaedics and Traumatology* 2019;35:171–177.
6. Tenberg S, Nosaka K, Wilke J. The relationship between acute exercise-induced changes in extramuscular connective tissue thickness and delayed onset muscle soreness in healthy participants: a randomized controlled crossover trial. *Sports Med Open* 2022;8:57.
7. Wilke J, Schwiete C, Behringer M. Effects of maximal eccentric exercise on deep fascia stiffness of the knee flexors: a pilot study using shear-wave elastography. *J Sports Sci Med* 2022;419–425.
8. Yanaoka T, Yoshimura A, Iwata R, Fukuchi M, Hirose N. The effect of foam rollers of varying densities on range of motion recovery. *J Bodyw Mov Ther* 2021;26:64–71.
9. Beardsley C, Škarabot J. Effects of self-myofascial release: A systematic review. *J Bodyw Mov Ther* 2015;19:747–758.
10. Pearcey GEP, Bradbury-Squires DJ, Kawamoto JE, Drinkwater EJ, Behm DG, Button DC. Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and Recovery of dynamic performance measures. *J Athl Train* 2015;50:5–13.
11. Wiewelhove T, Döweling A, Schneider C, Hottenrott L, Meyer T, Kellmann M, Pfeiffer M, Ferrauti A. A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Front Physiol* 2019;10:.

12. Lennon KM. 2018. The effects of pressure during foam rolling on delayed-onset muscle soreness and range of motion. Unpublished thesis, California State University.
13. Casanova N, Reis JF, Vaz JR, Machado R, Mendes B, Button DC, Pezarat-Correia P, Freitas SR. Effects of roller massager on muscle recovery after exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci* 2018;36:56–63.
14. Kay AD, Blazevich AJ. Moderate-duration static stretch reduces active and passive plantar flexor moment but not Achilles tendon stiffness or active muscle length. *J Appl Physiol* 2009;106:1249–1256.
15. De Mesquita GN, De Oliveira MNM, Matoso AER, De Moura Filho AG, De Oliveira RR. Cross-cultural adaptation and measurement properties of the brazilian portuguese version of the Victorian Institute of Sport Assessment-Achilles (VISA-A) questionnaire. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2018;48:567–573.
16. Geremia JM, Bobbert MF, Casa Nova M, Ott RD, Lemos F de A, Lupion R de O, Frasson VB, Vaz MA. The structural and mechanical properties of the Achilles tendon 2years after surgical repair. *Clinical Biomechanics* 2015;30:485–492.
17. Geremia JM, Baroni BM, Lanferdini FJ, Bini RR, Sonda FC, Vaz MA. Time course of neuromechanical and morphological adaptations to triceps surae isokinetic eccentric training. *Physical Therapy in Sport* 2018;34:84–91.
18. Geremia JM, Baroni BM, Bini RR, Lanferdini FJ, de Lima AR, Herzog W, Vaz MA. Triceps surae muscle architecture adaptations to eccentric training. *Front Physiol* 2019;10:.
19. Maganaris CN. Tendon conditioning: artefact or property? *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 2003;270:.
20. Seynnes OR, Bojsen-Møller J, Albracht K, Arndt A, Cronin NJ, Finni T, Magnusson SP. Ultrasound-based testing of tendon mechanical properties: a critical evaluation. *J Appl Physiol* 2015;118:133–141.
21. Power GA, Rice CL, Vandervoort AA. Residual force enhancement following eccentric induced muscle damage. *J Biomech* 2012;45:1835–1841.
22. Power GA, Dalton BH, Rice CL, Vandervoort AA. Delayed recovery of velocity-dependent power loss following eccentric actions of the ankle dorsiflexors. *J Appl Physiol* 2010;109:669–676.
23. Aune AAG, Bishop C, Turner AN, Papadopoulos K, Budd S, Richardson M, Maloney SJ. Acute and chronic effects of foam rolling vs eccentric exercise on ROM and force output of the plantar flexors. *J Sports Sci* 2019;37:138–145.

24. Romero-Moraleda B, La Touche R, Lerma-Lara S, Ferrer-Peña R, Paredes V, Peinado AB, Muñoz-García D. Neurodynamic mobilization and foam rolling improved delayed-onset muscle soreness in a healthy adult population: a randomized controlled clinical trial. *PeerJ* 2017;5:e3908.
25. Romero-Moraleda B, González-García J, Cuéllar-Rayó Á, Balsalobre-Fernández C, Muñoz-García D, Morencos E. Effects of vibration and non-vibration foam rolling on recovery after exercise with induced muscle damage. *J Sports Sci Med* 2019;18:172–180.
26. MacDonald GZ, Button DC, Drinkwater EJ, Behm DG. Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46:131–142.
27. Baumgart C, Freiwald J, Kühnemann M, Hotfiel T, Hüttel M, Hoppe M. Foam rolling of the calf and anterior thigh: biomechanical loads and acute effects on vertical jump height and muscle stiffness. *Sports* 2019;7:27.
28. Dancy C, Reidy J. *Estatística sem matemática para psicologia*. Porto Alegre: Penso Editora; 2018.
29. Mridha M, Ödman S. Characterization of Subcutaneous Edema by Mechanical Impedance Measurements. *Journal of Investigative Dermatology* 1985;85:575–578.
30. Griefahn A, Oehlmann J, Zalpour C, von Piekartz H. Do exercises with the foam roller have a short-term impact on the thoracolumbar fascia? – A randomized controlled trial. *J Bodyw Mov Ther* 2017;21:186–193.
31. Vexler A, Polyansky I, Gorodetsky R. Evaluation of skin viscoelasticity and anisotropy by measurement of speed of shear wave propagation with viscoelasticity skin analyzer. *Journal of Investigative Dermatology* 1999;113:732–739.
32. Mayer I, Hoppe MW, Freiwald J, Heiss R, Engelhardt M, Grim C, Lutter C, Huettel M, Forst R, Hotfiel T. Different effects of foam rolling on passive tissue stiffness in experienced and nonexperienced athletes. *J Sport Rehabil* 2020;29:926–933.
33. Laffaye G, Da Silva DT, Delafontaine A. Self-myofascial release effect with foam rolling on recovery after high-intensity interval training. *Front Physiol* 2019;10:.
34. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol* 2001;537:333–345.
35. Wilke J, Niemeyer P, Niederer D, Schleip R, Banzer W. Influence of foam rolling velocity on knee range of motion and tissue stiffness: A randomized, controlled crossover trial. *J Sport Rehabil* 2019;28:711–715.

36. Lederman E. *Fundamentals of manual therapy: physiology, neurology, and psychology*. New York: Churchill Livingstone; 1997. 232 p.
37. Schleip R. Fascial plasticity – a new neurobiological explanation: Part 1. *J Bodyw Mov Ther* 2003;7:11–19.
38. Weerapong P, Hume PA, Kolt GS. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Medicine* 2005;35:235–256.
39. Labata-Lezaun N, López-de-Celis C, Llurda-Almuzara L, González-Rueda V, Cadellans-Arróniz A, Pérez-Bellmunt A. Correlation between maximal radial muscle displacement and stiffness in gastrocnemius muscle. *Physiol Meas* 2020;41:125013.
40. Feng YN, Li YP, Liu CL, Zhang ZJ. Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO. *Sci Rep* 2018;8:17064.
41. Lohr C, Braumann KM, Reer R, Schroeder J, Schmidt T. Reliability of tensiomyography and myotonometry in detecting mechanical and contractile characteristics of the lumbar erector spinae in healthy volunteers. *Eur J Appl Physiol* 2018;118:1349–1359.

5 CONCLUSÃO

A aplicação do FR após um protocolo de DMIE pode ser uma estratégia utilizada a fim de reduzir a DMIT. No entanto, o protocolo de aplicação utilizado no presente estudo parece não influenciar na recuperação da rigidez dos tecidos miofasciais e em determinados parâmetros funcionais (i.e., ADM, PTiso, PTcon e PTextc, e altura do salto vertical) de músculos flexores plantares em indivíduos saudáveis.

Além disso, os resultados encontrados devem ser vistos com cautela, pois são específicos dos protocolos, métodos e população incluídos nesse estudo. Aspectos relacionados aos protocolos de intervenção devem ser considerados, como a pressão aplicada, que pode variar entre diferentes grupamentos musculares e regiões do próprio músculo devido a diferentes posições do corpo e do FR. Sendo assim, devido à grande variabilidade metodológica entre os estudos, sugere-se que mais pesquisas investiguem outros protocolos de DMIE e de aplicação, com diferentes níveis de volume, pressão e velocidades, além de outros grupos musculares e populações, a fim de favorecer um consenso na literatura sobre a aplicabilidade do FR no ambiente clínico e esportivo.

REFERÊNCIAS

- ABOODARDA, Saied J. *et al.* The effect of rolling massage on the excitability of the corticospinal pathway. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 43, n. 4, p. 317-323, Apr. 2017.
- ABOODARDA, S. J.; SPENCE, A. J.; BUTTON, D. C. Pain pressure threshold of a muscle tender spot increases following local and non-local rolling massage. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 16, n. 1, p. 1-10, Sep. 2015.
- ADAMCZYK, Jakub Grzegorz; GRYKO, Karol; BOGUSZEWSKI, Dariusz. Does the type of foam roller influence the recovery rate, thermal response and DOMS prevention? **PloS One**, v. 15, n. 6, June 2020.
- AGREN, G. *et al.* The Oxytocin Antagonist 1-Deamino-2-D-Tyr-(Oet)-4-Thr-8-Orn-Oxytocin Reverses the Increase in the Withdrawal Response Latency to Thermal, but Not Mechanical Nociceptive Stimuli Following Oxytocin Administration or Massage-Like Stroking in Rats. **Neuroscience Letters**, v. 187, n. 1, p. 49-52, Feb. 1995.
- AKINCI, Buket; YAZGAN, Yonca Zenginler; ALTINOLUK, Tulin. The effectiveness of three different recovery methods on blood lactate, acute muscle performance, and delayed-onset muscle soreness: a randomized comparative study. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 60, n. 3, p. 345-354, Mar. 2020.
- ARMSTRONG, R. B.; WARREN, G. L.; WARREN, J. A. Mechanisms of Exercise-Induced Muscle Fibre Injury. **Sports Medicine**, v. 12, n. 3, p. 184-207, Sep. 1991.
- BARROSO, Renato *et al.* Efeito do número e intensidade das ações excêntricas nos indicadores de dano muscular. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 17, n. 6, p. 401-404, dez. 2011.
- BAUMGART, Christian *et al.* Foam Rolling of the Calf and Anterior Thigh: Biomechanical Loads and Acute Effects on Vertical Jump Height and Muscle Stiffness. **Sports (Basel)**, v. 7, n. 1, Jan. 2019.
- BEARDSLEY, Chris; ŠKARABOT, Jakob. Effects of self-myofascial release: A systematic review. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 19, n. 4, p. 747-758, Oct. 2015.
- BEHARA, Brandon; JACOBSON, Bert H. Acute Effects of Deep Tissue Foam Rolling and Dynamic Stretching on Muscular Strength, Power, and Flexibility in Division I Linemen. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 4, p. 888-892, Apr. 2017.
- BEIMBORN, BRANDON. **The Effects of Foam Rolling on Exercise-Induced Muscle Damage**. 2019. Dissertação (Degree Master of Science in Kinesiology) – California State University, Long Beach, 2019.
- BLAZEVIČH, A. J. *et al.* Range of motion, neuromechanical, and architectural adaptations to plantar flexor stretch training in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 5, p. 452-462, Sep. 2014.

BYRNE, Christopher; TWIST, Craig; ESTON, Roger. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. **Sports Medicine**, v. 34, n. 1, p. 49-69, 2004.

CAFARELLI, E.; FLINT, F. The Role of Massage in Preparation for and Recovery from Exercise. **Sports Medicine**, v. 14, n. 1, p. 1-9, July 1992.

CALLAGHAN, M. J. The role of massage in the management of the athlete: a review. **British Journal of Sports Medicine**, v. 27, n. 1, p. 28-33, Mar. 1993.

CASANOVA, Nuno *et al.* Effects of roller massager on muscle recovery after exercise-induced muscle damage. **Journal of Sports Sciences**, v. 36, n. 1, p. 56-63, Jan. 2018.

CAVANAUGH, Mark Tyler *et al.* An acute session of roller massage prolongs voluntary torque development and diminishes evoked pain. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 1, p. 109-117, Jan. 2017.

CHEATHAM, Scott *et al.* The Effects of Self-Myofascial Release on Joint Range of Motion, Muscle Recovery, and Performance: A Systematic Review. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 10, n. 6, p. 827-838, Nov. 2015.

CHEUNG, Karoline; HUME, Patria; MAXWELL, Linda. Delayed onset muscle soreness: Treatment strategies and performance factors. **Sports Medicine**, v. 33, n. 2, p. 145-164, 2003.

CLARKSON, Priscilla M.; HUBAL, Monica J. Exercise-Induced Muscle Damage in Humans. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 81, n. 11, Nov. 2002.

CONNOLLY, Declan A. J.; SAYERS, Stephen P.; MCHUGH, Malachy P. Treatment and Prevention of Delayed Onset Muscle Soreness. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 197-208, Feb. 2003.

CRANE, Justin D. *et al.* Massage Therapy Attenuates Inflammatory Signaling After Exercise-Induced Muscle Damage. **Science Translational Medicine**, v. 4, n. 119, p. 119ra113, Feb. 2012.

CURRAN, Patrick F.; RUSSELL, D. Fiore; JOSEPH, J. Crisco. A Comparison of the Pressure Exerted on Soft Tissue by 2 Myofascial Rollers. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 17, n. 4, p. 432-442, Nov. 2008.

D'AMICO, Anthony *et al.* Foam rolling and indices of autonomic recovery following exercise-induced muscle damage. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 15, n. 3, p. 429-440, May 2020.

D'AMICO, Anthony P.; GILLIS, Jason. Influence of Foam Rolling on Recovery From Exercise-Induced Muscle Damage. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 33, n. 9, p. 2443-2452, Sep. 2017.

DRINKWATER, Eric J. *et al.* Foam Rolling as a Recovery Tool Following Eccentric Exercise: Potential Mechanisms Underpinning Changes in Jump Performance. **Frontiers in Physiology**, v. 10, p. 768, June 2019.

FENG, Y. N. *et al.* Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 17064, Nov. 2018.

FLECKENSTEIN, Johannes *et al.* Preventive and Regenerative Foam Rolling are Equally Effective in Reducing Fatigue-Related Impairments of Muscle Function following Exercise. **Journal of Sports Science Medicine and medicine**, v. 16, n. 4, p. 474-479, Dec. 2017.

GARCÍA-SILLERO, Manuel *et al.* Comparison of Interventional Strategies to Improve Recovery after Eccentric Exercise-Induced Muscle Fatigue. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 2, p. 647, Jan. 2021.

GIOVANELLI, Nicola *et al.* Short-Term Effects of Rolling Massage on Energy Cost of Running and Power of the Lower Limbs. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 10, p. 1337-1343, Oct. 2018.

GLÄNZEL, Marcelo H. *et al.* Foam Rolling Acute Effects on Myofascial Tissue Stiffness and Muscle Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, Oct. 2022.

GRABOW, Lena *et al.* Higher Quadriceps Roller Massage Forces Do Not Amplify Range-of-Motion Increases nor Impair Strength and Jump Performance. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 11, p. 3059-3069, Nov. 2018.

GRAVEN-NIELSEN, Thomas *et al.* Inhibition of maximal voluntary contraction force by experimental muscle pain: a centrally mediated mechanism. **Muscle Nerve**, v. 26, n. 5, p. 708-712, Nov. 2002.

HENDRICKS, Sharief *et al.* Effects of foam rolling on performance and recovery: A systematic review of the literature to guide practitioners on the use of foam rolling. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 24, n. 2, p. 151-174, Apr. 2020.

HERZOG, Walter. Mechanisms of enhanced force production in lengthening (eccentric) muscle contractions. **Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 11, p. 1407-1417, June 2014.

HOTFIEL, Thilo *et al.* Acute Effects of Lateral Thigh Foam Rolling on Arterial Tissue Perfusion Determined by Spectral Doppler and Power Doppler Ultrasound. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 4, p. 893-900, Apr. 2017.

HOWATSON, Glyn; VAN SOMEREN, Ken A. The Prevention and Treatment of Exercise-Induced Muscle Damage. **Sports Medicine**, v. 38, n. 6, p. 483-503, June 2008.

HUGHES, Garrett A.; RAMER, Leanne M. Duration of myofascial rolling for optimal recovery, range of motion, and performance: A systematic review of the literature. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 14, n. 6, p. 845-859, Dec. 2019.

- JAY, Kenneth *et al.* Specific and cross over effects of massage for muscle soreness: Randomized controlled trial. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 9, n. 1, p. 82-91, Feb. 2014.
- JO, Edward *et al.* The Acute Effects of Foam Rolling on Fatigue-Related Impairments of Muscular Performance. **Sports**, v. 6, n. 4, p. 112, Oct. 2018.
- KALÉN, Anton *et al.* How can lifeguards recover better? A cross-over study comparing resting, running, and foam rolling. **The American Journal of Emergency Medicine**, v. 35, n. 12, p. 1887-1891, Dec. 2017.
- KANDA, Kazue *et al.* Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. **Exercise Immunology Review**, v. 19, p. 72-85, Aug. 2013.
- KAYA, Anthony D.; BLAZEVIČH, Anthony J. Moderate-duration static stretch reduces active and passive plantar flexor moment but not Achilles tendon stiffness or active muscle length. **Journal of Applied Physiology**, v. 106, n. 4, p. 1249-1256, Apr. 2009.
- KELLY, Shane; BEARDSLEY, Chris. Specific and cross-over effects of foam rolling on ankle dorsiflexion range of motion. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 11, n. 4, p. 544-551, Aug. 2016.
- LABATA-LEZAUN, Noé *et al.* Correlation between maximal radial muscle displacement and stiffness in gastrocnemius muscle. **Physiological Measurement**, v. 41, n. 12, p. 125013, Dec. 2020.
- LAFFAYE, Guillaume; SILVA, Debora Torrinha da; DELAFONTAINE, Arnaud. Self-Myofascial Release Effect with Foam Rolling on Recovery after High-Intensity Interval Training. **Frontiers in Physiology**, v. 10, p. 1287, Oct. 2019.
- LASTOVA, Kevin *et al.* Cardiac autonomic and blood pressure responses to an acute foam rolling session. **The Journal of Strength Conditioning Research**, v. 32, n. 10, p. 2825-2830, Oct. 2018.
- LEDERMAN, Eyal. **Fundamentals of manual therapy: physiology, neurology, and psychology**. 1. ed. New York: Churchill Livingstone, 1997.
- LEE, Emma J. *et al.* Foam rolling is an effective recovery tool in trained distance runners. **Sport Sciences for Health**, v. 16, n. 1, p. 105-115, Mar. 2020.
- LEE, Sabrina S. M.; PIAZZA, Stephen J. Correlation between plantarflexor moment arm and preferred gait velocity in slower elderly men. **Journal of Biomechanics**, v. 45, n. 9, p. 1601-1606, Jun 2012.
- LENNON, Kevin Michael. **The effects of pressure during foam rolling on delayed-onset muscle soreness and range of motion**. 2018. Dissertação (Degree of Master of Science in Kinesiology) – California State University, Sacramento, 2018.

- LOHR, Christine *et al.* Reliability of tensiomyography and myotonometry in detecting mechanical and contractile characteristics of the lumbar erector spinae in healthy volunteers. **European Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 7, p. 1349-1359, July 2018.
- LUND, Iréne *et al.* Repeated massage-like stimulation induces long-term effects on nociception: contribution of oxytocinergic mechanisms. **European Journal of Neuroscience**, v. 16, n. 2, p. 330-338, July 2002.
- MACDONALD, Graham Z. *et al.* An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. **The Journal of Strength Conditioning Research**, v. 27, n. 3, p. 812-821, Mar. 2013.
- MACDONALD, Graham Z. *et al.* Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 46, n. 1, p. 131-142, Jan. 2014.
- MACGREGOR, Lewis J. *et al.* The Effect of Foam Rolling for Three Consecutive Days on Muscular Efficiency and Range of Motion. **Sports Medicine - Open**, v. 4, n. 1, p. 26, Dec. 2018.
- MAYER, Isabel *et al.* Different Effects of Foam Rolling on Passive Tissue Stiffness in Experienced and Nonexperienced Athletes. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 29, n. 7, p. 926-933, Sep. 2020.
- MORADI, Hossein; MONAZZAMI, Amirabbas. Effects of Cryotherapy and Foam Rolling Recovery Methods on Performance and Muscle Damage Indices in Young Male Soccer Players After Simulated Soccer Match. **Journal of Archives in Military Medicine**, v. 8, n. 1, Oct. 2020.
- MORGAN, D. L.; ALLEN, D. G. Early events in stretch-induced muscle damage. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 6, p. 2007-2015, Dec. 1999.
- MUSTAFA, Muhamad Sadeeq *et al.* Effect of foam rolling on delayed onset muscle soreness (DOMS) with pain scores and power performance in varsity rugby players. **Journal of Sports Science Nutrition**, v. 1, n. 2, p. 84-88, Feb. 2021.
- NOSAKA, Kazunori; NEWTON, Mike. Difference in the Magnitude of Muscle Damage Between Maximal and Submaximal Eccentric Loading. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 16, n. 2, p. 202-208, May 2002.
- OLMOS, Alex A. *et al.* Neuromuscular function of the plantar flexors and predictors of peak power in middle-aged and older males. **Experimental Gerontology**, v. 125, p. 110677, Oct. 2019.
- OKAMOTO, Takanobu; MASUHARA, Mitsuhiko; IKUTA, Komei. Acute effects of self-myofascial release using a foam roller on arterial function. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 28, n. 1, p. 69-73, Jan. 2014.

ÖZSU, İlbilge; GUROL, Baris; KURT, Cem. Comparison of the Effect of Passive and Active Recovery, and Self-Myofascial Release Exercises on Lactate Removal and Total Quality of Recovery. **Journal of Education and Training Studies**, v. 6, p. 33-42, Aug. 2018.

PABLOS, Ana *et al.* Protective Effects of Foam Rolling against Inflammation and Notexin Induced Muscle Damage in Rats. **International Journal of Medical Sciences**, v. 17, n. 1, p. 71-81, 2020.

PAVAN, Piero. G. *et al.* Painful connections: densification versus fibrosis of fascia. **Current Pain and Headache Reports**, v. 18, n. 8, p. 441, 2014.

PEACOCK, Corey A. *et al.* An Acute Bout of Self-Myofascial Release in the Form of Foam Rolling Improves Performance Testing. **International Journal of Exercise Science**, v. 7, n. 3, p. 202-211, July 2014.

PEARCEY, Gregory E. P. *et al.* Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures. **Journal of Athletic Training**, v. 50, n. 1, p. 5-13, Jan. 2015.

PELANA, Ramdan *et al.* Effects of foam rolling on blood lactate concentration in elite futsal players. **Human Movement**, v. 22, n. 1, p. 72-79, Jan. 2021.

PHILLIPS, Jake *et al.* Effect of Varying Self-myofascial Release Duration on Subsequent Athletic Performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 35, n. 3, p. 746-753, Mar. 2021.

PROSKE, U.; MORGAN, D. L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **The Journal of Physiology**, v. 537, n. 2, p. 333-345, Dec. 2001.

RAHIMI, Ali; AMANI-SHALAMZARI, Sadegh; CLEMENTE, Filipe Manuel. The effects of foam roll on perceptual and performance recovery during a futsal tournament. **Physiology & Behavior**, v. 223, p. 112981, Sep. 2020.

REY, Ezequiel *et al.* Effects of foam rolling as a recovery tool in professional soccer players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 33, n. 8, p. 2194-2201, Aug. 2017.

ROMERO-MORALEDA, Blanca *et al.* Effects of Vibration and Non-Vibration Foam Rolling on Recovery after Exercise with Induced Muscle Damage. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 18, n. 1, p. 172-180, Feb. 2019.

ROMERO-MORALEDA, Blanca *et al.* Neurodynamic mobilization and foam rolling improved delayed-onset muscle soreness in a healthy adult population: a randomized controlled clinical trial. **PeerJ**, 5, p. e3908, Oct. 2017.

SCHLEIP, Robert *et al.* Fascia Is Able to Actively Contract and May Thereby Influence Musculoskeletal Dynamics: A Histochemical and Mechanographic Investigation. **Frontiers in Physiology**, v. 10, p. 336, Apr. 2019.

SCHLEIP, Robert. Fascial plasticity—a new neurobiological explanation: Part 1. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 7, n. 1, p. 11-19, Jan. 2003.

SCHROEDER, Jan *et al.* Foam rolling effects on soft tissue tone, elasticity and stiffness in the time course of recovery after weight training. **Sports Orthopaedics and Traumatology**, v. 35, n. 2, p. 171-177, June 2019.

SCUDAMORE, Eric M. *et al.* Effects of foam rolling for delayed onset muscle soreness on loaded military task performance and perceived recovery. **Journal of Exercise Science & Fitness**, v. 19, n. 3, p. 166-170, July 2021.

SKINNER, Brendon; MOSS, Richard; HAMMOND, Lucy. A systematic review and meta-analysis of the effects of foam rolling on range of motion, recovery and markers of athletic performance. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 24, n. 3, p. 105-122, July 2020.

SMITH, L. L. *et al.* The effects of athletic massage on delayed onset muscle soreness, creatine kinase, and neutrophil count: A preliminary report. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 19, n. 2, p. 93-99, Feb. 1994.

SMITH, Jason C.; PRIDGEON, Brooke; HALL, MacGregor C. Acute Effect of Foam Rolling and Dynamic Stretching on Flexibility and Jump Height. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 8, p. 2209-2215, Aug. 2018.

SOUZA, Amandda de *et al.* Acute Effect of 2 Self-Myofascial Release Protocols on Hip and Ankle Range of Motion. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 28, n. 2, p. 159-164, Feb. 2019.

TENBERG, Sarah; NOSAKA, Kazunori; WILKE, Jan. The Relationship Between Acute Exercise-Induced Changes in Extramuscular Connective Tissue Thickness and Delayed Onset Muscle Soreness in Healthy Participants: A Randomized Controlled Crossover Trial. **Sports Medicine - Open**, v. 8, n. 1, p. 57, Apr. 2022.

TORRES, R. *et al.* Knee proprioception after exercise-induced muscle damage. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 6, p. 410-415, June 2010.

UENO, Hiromasa *et al.* Potential Relationship between Passive Plantar Flexor Stiffness and Running Performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 3, p. 204-209, Feb. 2018.

VAIDYA, Vedang *et al.* Comparison between neurodynamic therapy and foam rolling in cool-down sessions for delayed onset muscle soreness in healthy individuals. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 26, p. 492-500, Apr. 2021.

WEERAPONG, Pornratshanee; HUME, Patria A.; KOLT, Gregogy S. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. **Sports Medicine**, v. 35, n. 3, p. 235-256, 2005.

WIEWELHOVE, Thimo *et al.* A Meta-Analysis of the Effects of Foam Rolling on Performance and Recovery. **Frontiers In Physiology**, v. 10, p. 376, Apr. 2019.

WILKE, Jan *et al.* Influence of Foam Rolling Velocity on Knee Range of Motion and Tissue Stiffness: A Randomized, Controlled Crossover Trial. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 28, n. 7, p. 711-715, 01 Sep. 2019.

WILKE, Jan *et al.* Not merely a protective packing organ? A review of fascia and its force transmission capacity. **Journal of Applied Physiology**, v. 124, n. 1, p. 234-244, Jan. 2018.

WILKE, Jan; SCHWIETE, Carsten; BEHRINGER, Michael. Effects of Maximal Eccentric Exercise on Deep Fascia Stiffness of the Knee Flexors: A Pilot Study using Shear-Wave Elastography. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 21, n. 3, p. 419-425, Sep. 2022.

YANAOKA, Takuma *et al.* The effect of foam rollers of varying densities on range of motion recovery. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 26, p. 64-71, Apr. 2021.

ZORKO, Nejc *et al.* The acute effect of self-massage on the short-term recovery of muscle contractile function. **Kinesiologia Slovenica**, v. 22, n. 3, p. 31, Feb. 2016.

ZÜGEL, Martina *et al.* Fascial tissue research in sports medicine: from molecules to tissue adaptation, injury and diagnostics: consensus statement. **British Journal of Sports Medicine**, v. 52, n. 23, p. 1497, Dec. 2018.