UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS – RIO CLARO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E TECNOLOGIAS

EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA COM RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO ISOLADA E ASSOCIADA À ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR EM PARÂMETROS DE FORÇA E ATIVIDADE MUSCULAR DO MÚSCULO QUADRÍCEPS: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO.

MARIA VITÓRIA GONÇALVES DA SILVA

Rio Claro – SP
2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS – RIO CLARO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO ETECNOLOGIAS

EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA COM RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO ISOLADA E ASSOCIADA À ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR EM PARÂMETROS DE FORÇA E ATIVIDADE MUSCULAR DO MÚSCULO QUADRÍCEPS: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO.

MARIA VITÓRIA GONÇALVES DA SILVA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias.

Orientadora: Cristiane Rodrigues Pedroni
Coorientador: Leonardo Coelho Rabello de Lima

Rio Claro – SP
2024

S586e

Silva, Maria Vitória Gonçalves da
Efeitos do treinamento de força com restrição de fluxo sanguíneo isolada e associada à eletroestimulação neuromuscular em parâmetros de força e atividade muscular do músculo quadríceps: ensaio clínico randomizado / Maria Vitória Gonçalves da Silva. -- Rio Claro, 2024
64 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientadora: Cristiane Rodrigues Pedroni
Coorientador: Leonardo Coelho Rabello de Lima

1. Força Muscular. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Rio Claro

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA COM RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO ISOLADA E ASSOCIADA À ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR EM PARÂMETROS DE FORÇA E ATIVIDADE MUSCULAR DO MÚSCULO QUADRÍCEPS: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO.

AUTORA: MARIA VITÓRIA GONÇALVES DA SILVA
ORIENTADORA: CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI
COORIENTADOR: LEONARDO COELHO RABELLO DE LIMA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Desenvolvimento Humano e Tecnologias, área: Tecnologias nas Dinâmicas Corporais pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI (Participaçao Presencial)
Departamento de Fisioterapia e Terapia Ocupacional / UNESP - Faculdade de Filosofia e Ciências de Marília - SP

Profa. Dra. JULIA ZOCCOLARO DURIGAN (Participaçao Presencial)
Departamento de Educação Física / Universidade de Marília - UNIMAR

Prof. Dr. DANIEL PEREIRA COQUEIRO (Participaçao Presencial)
Departamento de Educação Física / Universidade de Marília - UNIMAR

Rio Claro, 27 de março de 2024

Dedico este trabalho à minha família, principalmente minha avó, Maria Natália, meus tios Naiane e Luís Gustavo e minha mãe Natália. Sei que nem sempre vocês compreenderam minhas escolhas, mas ainda sim as escolheram comigo. É por entenderem que optei por um caminho diferente do de vocês, que sempre lhes irei dedicar todos os frutos que colho nesta jornada.

Aos pequenos Luís Felipe e Helena, que não fazem ideia de quantas vezes me ajudaram a ter ânimo para continuar.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer e dedicar este trabalho à minha família; mesmo sem muitas vezes compreenderem as razões das minhas escolhas acadêmicas, sempre me apoiaram e me incentivaram para que este projeto saísse do papel e fosse concluído. Agradeço pela compreensão pelos dias em que tive que negligenciar meu tempo com eles para me dedicar ao sonho, à dissertação e à pós graduação. Sou grata por escolherem comigo isso, não me deixarem desistir e acima de tudo, continuarem fazendo questão que eu me sentisse importante mesmo quando não podia estar com eles presencialmente.

Gostaria também de agradecer aos meus amigos, os de perto e aqueles que se fazem presentes mesmo longe. Todos foram essenciais para que cada passo fosse dado. Considero minhas amizades uma segunda família e agradeço pelos dias que me sustentaram quando eu não conseguia sequer pedir por isso. Sou grata por muitas vezes vocês terem abraçado este trabalho junto comigo, por persistirem através das minhas inseguranças e me ouvirem falar sobre pós graduação e pesquisa o tempo inteiro.

Um agradecimento especial à Melissa, por ser uma amiga que torna o longe da distância um perto de acolhimento. Obrigada por ser alicerce, por compreender e por ser tão presente em todos os momentos, mesmo a quilômetros de distância.

Agradeço à instituição UNESP e ao CER, por terem sido minha segunda (e primeira) casa por tanto tempo. Obrigada por sediarem os momentos em que percebi como me sentia realizada fazendo o que eu gosto. Sou grata por me mostrar que existe aprendizado em tudo, desde que estejamos dispostos a aprender. Um agradecimento especial aos funcionários do CER, que apoiaram, abraçaram e participaram de tudo isso e principalmente me acolheram pessoalmente.

Agradeço aos voluntários do projeto, por participarem e fazerem parte de algo que, sem eles, seria apenas uma ideia, uma hipótese.

Agradeço à minha orientadora Cristiane Pedroni, não apenas pelos dois anos de mestrado, mas também pelos tempos de graduação e por ser meu primeiro contato com a pesquisa e área acadêmica. Obrigada pelos ensinamentos transferidos durante este tempo, por tornar as ideias e hipóteses possíveis e adotar até os mais complicados ensaios clínicos propostos. Obrigada por me ensinar mais que teoria, mas a me ajudar a amadurecer academicamente, além de aplicar ensinamentos que serão fundamentais para minha vida pessoal e profissional.

Agradeço grandemente ao meu coorientador Leonardo, por todo o suporte, apoio e incentivo durante este projeto. Desde o momento em que o conheci como professor e depois como pessoa, soube que esta seria a decisão correta, de incluí-lo no nosso projeto. E desde então, não mediu esforços para nos auxiliar em tudo, ainda que de longa distância.

Por fim, um agradecimento mais que especial à Isabela Soares; este trabalho não existe sozinho, ele é parte de um projeto maior que nasceu no nosso coração quando pensamos em começar a loucura da pós graduação. Nasceu de conversas no sofá de casa ao fim do dia, de almoços corridos na sala do laboratório e pensamentos intrusivos nos corredores do CER. Nasceu da parceria e amizade que compartilhamos e não posso deixar de te agradecer por isso. Por ser meu braço esquerdo (sou canhota) e não me deixar sequer pensar em desistir (sozinha). Por abraçar isto comigo que sou grata a você para sempre. Pela sua amizade, pelo nosso vínculo,

risadas e lágrimas compartilhadas. Obrigada por ser família e por entender as dores e alegrias do meu coração como se fossem suas. Sorte a minha de ter vivido isso com você. Você vai brilhar muito, muito mais do que imagina e eu estarei aqui para assistir e torcer.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

“We don't have to be ordinary”

RESUMO

Introdução: A Restrição de Fluxo Sanguíneo (RFS) se tornouuma alternativa para potencializar o fortalecimento em virtude da sua capacidade de promover mudança fisiológica e hipertrofia com um nível menor de sobrecarga mecânica. Combinada a Eletroestimulação Neuromuscular (ENM) traz a possibilidade de uma hipertrofia com maior quantidade de ativação de unidades motoras, com possível potencialização dos efeitos da RFS. **Objetivos:** Avaliar os efeitos do treinamento de força com RFS associado a ENM do músculo quadríceps em indivíduos fisicamente ativos em parâmetros de força, resistência e ativação muscular. **Métodos:** Trata-se de um ensaio clínico randomizado cego, que elegeu sujeitos com idade entre 18 e 35 anos; ambos os sexos e fisicamente ativos pelo Questionário Internacional de Atividade Física. Os voluntários foram randomizados em três grupos: Grupo Restrição de Fluxo (GRF), Grupo Restrição de Fluxo e Eletroestimulação (GRF-E) e Grupo Exercício Convencional (GEC). O teste de uma Repetição Máxima (1RM) unilateral foi utilizado para determinar a carga durante o treinamento, com adaptação em quatro semanas. Para avaliação de força e resistência muscular, foi utilizado um dinamômetro isocinético em modo concêntrico/excêntrico em duas velocidades angulares: 60º/s e 180º/s. Foi utilizada a Eletromiografia de Superfície (EMG) para registrar a atividade elétrica dos músculos do quadríceps durante a contração isométrica de 30s. O protocolo de intervenção contou com quatro séries de 30, 15, 15, 15 repetições na cadeira extensora, com um minuto de descanso entre as séries, carga de 30% 1RM e 50% da POT, com ajuste de 5% a cada semana até 80% da POT. O GRF-E seguiu a mesma metodologia, com uma corrente bifásica assimétrica, frequência de 50Hz e duração de pulso de 400us. No GEC foi realizado o exercício sem intervenção, três séries de dez repetições com 70% de 1RM. O treinamento teve duração de oito semanas, com frequência de duas vezes na semana e reavaliação ao fim do treinamento. Para análise estatística, foi utilizado o software GraphPad Prism versão 9.0.2 e os testes Anova one-way e Kruskal-Wallis, adotando $p<0,05$. **Resultados:** Não houve diferença estatisticamente significativa intra e inter grupos nas variáveis analisadas, exceto na variável de índice de fadiga da eletromiografia no músculo vasto lateral, quando comparado o GRFS e GRFS-E; **Conclusão:** Foi possível concluir que oito semanas de treinamento de força, não foram capazes de modificar os parâmetros avaliados.

Palavras-chave: Força Muscular; Eletromiografia; Terapia de Restrição de Fluxo Sanguíneo; Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea; Músculo Quadríceps.

ABSTRACT

Introduction: Blood Flow Restriction (RFS) has become an alternative to enhance strengthening due to its ability to promote physiological change and hypertrophy with a lower level of mechanical overload. Combined, Transcutaneous Electric Nerve Stimulation (TENS) brings the possibility of hypertrophy with a greater amount of activation of motor units, with possible enhancement of the effects of RFS. **Objective**: To evaluate the effects of strength training with RFS associated with ENM of the quadriceps muscle in physically active individuals on parameters of strength, endurance and muscle activation. **Methods:** This is a blind randomized clinical trial, which selected subjects aged between 18 and 35 years and physically active according to the International Physical Activity Questionnaire. Anthropometric data was collected, followed by blood pressure measurement. The volunteers were randomized into three groups: Flow Restriction Group (GRF), Flow Restriction and Electrostimulation Group (GRF-E) and Conventional Exercise Group (GEC). Vascular Doppler was used to measure Total Occlusion Pressure (POT). The unilateral One Repetition Maximum (1RM) test was used to determine the load during training, with adaptation in four weeks. To assess muscular strength and endurance, an isokinetic dynamometer was used in concentric/eccentric mode at two angular speeds: 60º/s and 180º/s. Surface Electromyography (EMG) was used to record the electrical activity of the quadriceps muscles during the 30s isometric contraction. The intervention protocol included four sets of 30, 15, 15, 15 repetitions on the extension chair, with one minute of rest between sets, load of 30% 1RM and 50% of POT, with an adjustment of 5% each week until 80% of POT. The GRF-E followed the same methodology, with an asymmetric biphasic current, frequency of 50Hz and pulse duration of 400us. In GEC, the exercise was performed without intervention, three sets of ten repetitions with 70% of 1RM. The training lasted eight weeks, twice a week and reassessment at the end of the training. For statistical analysis, the GraphPad Prism software version 9.0.2 and the one-way Anova and Kruskal-Wallis tests were used, adopting $p<0.05$. **Results:** There was no statistically significant intra- and inter-group difference in the variables analyzed, except for the electromyography fatigue index variable in the vastus lateralis muscle, when comparing the GRFS and GRFS-E. **Conclusion:** It was possible to conclude that eight weeks of strength training were not able to modify the parameters evaluated.

Keywords: Muscle Strength; Electromyography; Blood Flow Restriction Therapy; Transcutaneous Electric Nerve Stimulation. Quadriceps Muscle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de ganho de força muscular, hipertrofia e adaptações neurais… 24

Figura 2: Aumento da atividade mitocondrial de acordo com a intensidade e volume do programa de treinamento proposto 25

Figura 3. Itens de protocolo padrão: Declaração de Recomendações para Estudos Internacionais SPIRIT… 32

Figura 4: Posicionamento dos Eletrodos de Eletromiografia… 35

Figura 5: Posicionamento do joelho no dinamômetro para o teste de força isométrica de 30s e eletromiografia em 60º e 30º de flexão de joelho, respectivamente… 36

Figura 6: Posicionamento e execução do teste de dinamometria isocinética… 37

Figura 7: Fluxograma do estudo.....39

LISTA DE ANEXOS

Anexo I - Parecer consubstanciado do Comitê de Ética e Pesquisa… 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização da amostra e dados antropométricos…. 42

Tabela 2: Resultados das variáveis de força e resistência muscular…..... 43

Tabela 3: Resultados das variáveis de RMS no músculo reto femoral…..... 44

Tabela 4: Resultados das variáveis de RMS no músculo vasto medial…..... 44

Tabela 5: Resultados das variáveis de RMS no músculo vasto lateral…..... 45

Tabela 6: Resultados das variáveis do índice de fadiga da eletromiografia no músculo reto femoral…..... 46

Tabela 7: Resultados das variáveis do índice de fadiga da eletromiografia no músculo vasto medial… 46

Tabela 8: Resultados das variáveis do índice de fadiga da eletromiografia no músculo vasto lateral… 47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1RM: Uma Repetição Máxima.
ATP: Trifosfato de adenosina.
EENM: Estimulação Elétrica Neuromuscular.
EMG: Eletromiografia de Superfície.
EMGFI: Índice de Fadiga da Eletromiografia.
FM: Frequência Mediana.
GEC: Grupo Exercício Convencional.
GRFS: Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo.
GRFS-E: Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo associado à Eletroestimulação.
IMC: Índice de Massa Corporal.
IPAQ: Questionário Internacional de Atividade Física.
PAST: Pressão Arterial Sistólica de Treino.
RFS: Restrição do Fluxo Sanguíneo.
RMS: Root Mean Square.
TCLE: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18
2. REVISÃO DE LITERATURA 20
2.1. Força e Resistência Muscular 20
2.2. Atividade e Adaptação Neuromuscular 22
2.3. Treinamento para Ganho de Força Muscular 23
2.4. Treinamento de Resistência Muscular 25
2.5. Quadríceps 26
2.6. Restrição de Fluxo Sanguíneo 27
2.7. Estimulação Elétrica Neuromuscular 28
2.8. Restrição de Fluxo Sanguíneo associada à Estimulação Elétrica Neuromuscular 29

3. OBJETIVOS 30
3.1. Geral. 30
3.2. Específicos. 30

4. MÉTODOS 31
4.1. Design do Estudo. 31
4.2. Recrutamento 32
4.3. Critérios de Elegibilidade 33
4.4. Procedimentos. 33
4.4.1. Avaliação Inicial (TO) 33
4.4.2. Avaliação Após 4 semanas (T4) 37
4.4.3. Avaliação Final (T8). 38
4.4.4. Cálculo Amostral. 38
4.5. Randomização da Amostra 38
4.6. Intervenções. 39
4.6.2. Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo 39
4.6.3. Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo associada à Eletroestimulação 40
4.6.4. Grupo Exercício Convencional. 40
4.7. Análise Estatística 41

5. RESULTADOS 42

6. DISCUSSÃO 48

7. CONCLUSÃO 51

8. REFERÊNCIAS 52

9. ANEXOS 61

TRAJETÓRIA ACADÊMICA

Ainda no ensino médio eu soube que gostaria de ser fisioterapeuta; foi uma decisão repentina, mas que nunca tive dúvidas ou me arrependi. Tinha considerado outras opções antes, porém no momento em que percebi que poderia proporcionar às pessoas a realização de voltar a fazer algo que havia sido impossibilitado por algum motivo, não houve hesitação. Iniciei a graduação em fisioterapia na Faculdade de Filosofia e Ciência (UNESP) de Marília no ano de 2018, onde comecei a perceber que a área ia muito além da ortopedia que eu conhecia.

Passei minha infância, adolescência e início da juventude como bailarina clássica e muitas vezes fui uma paciente não muito "paciente" na fisioterapia. Queria apenas remediar as dores para não perder performance, mas acredito que trouxe muito da dedicação e persistência do ballet para a minha vida acadêmica e, hoje, sei melhor como lidar com pacientes também não tão "pacientes", pois já fui um deles.

No meu segundo ano de graduação, assim que me mudei para Marília, comecei a me envolver com pesquisa e entender um pouco melhor como funcionava um estudo científico. Me colocava à disposição do laboratório e auxiliava nas coletas de dados que estavam em aberto no momento. Minha intenção era aprender o máximo possível, como mexer nos equipamentos, como realizar uma pesquisa, como escrever um projeto. Percebi com o tempo que estar envolvida com essa área, mesmo que por horas, até tarde da noite, não era um peso, mas me deixava animada para os próximos dias. Neste momento, comecei a ser orientada pela professora Cristiane Pedroni.

Ainda no segundo ano, apresentei o meu primeiro trabalho em congresso científico; não por coincidência, intitulado "Influência dos músculos do tronco na performance dos membros inferiores em bailarinas clássicas.", projeto que participei como voluntária no primeiro ano da graduação, mesclando o que eu havia sido há pouco tempo com o que eu viria a ser futuramente.

Com os estágios, veio a certeza de que eu sempre tive muito a aprender e de que seria assim eternamente, mas sem dúvidas quanto à profissão que havia escolhido ou quanto a área de preferência. A ortopedia, a desportiva, o movimento era aquilo que sempre me brilhou os olhos. Ao fim da graduação, apresentei o trabalho de conclusão de curso intitulado " Efeitos Agudos do Agulhamento a Seco e Eletropuntura em Pontos-gatilho Miofasciais do Músculo Trapézio Superior: Ensaio Controlado Aleatorizado." , sob orientação da professora Mariana Almeida Lourenço; um ensaio clínico randomizado, duplo cego, de mais de dois meses de coletas de dados, mas que bateu o martelo sobre o que eu gostaria de fazer nos próximos dois anos. Foi complicado conciliar fim de estágios, com coletas, escrita do TCC, fim da graduação, porém nunca me

arrependi e agradeço o apoio da minha orientadora Mariana e minha parceira de pesquisa Isabela em todo o tempo.

Eu não sei exatamente em que momento o mestrado se tornou uma decisão; me parece que sempre foi essa a opção e no fim das contas, não me vejo em outro caminho senão este. Durante estes dois anos, estive em dois grandes congressos, apresentando trabalhos e no último ano apresentei o protocolo do projeto de mestrado que já estava saindo do papel. Outro ensaio clínico, também randomizado e duplo cego. A ideia de praticar a pesquisa científica ao mesmo compasso que oferecemos um serviço da universidade para a comunidade traz um novo sentido para tudo isso.

Passei a participar ativamente do laboratório LAPORT, sob orientação da professora Cristiane, onde desenvolvemos projetos, artigos e avaliações. Além disso, dominamos os equipamentos de avaliação, definindo diversos protocolos ao longo do período, sempre buscando a qualidade e expandir as possibilidade de novos estudos.

Descobri que a biomecânica ia além do que tinha aprendido na graduação; que compreender como cada cinesia funciona, o que muda em cada angulação, quais músculos atuam em cada deslocamento é o que faz de qualquer profissional do "movimento" tão importante. Foi então que percebi que nosso corpo tem uma infinidade de pequenas complexidades que valem a pena serem estudadas e compreendidas. A partir do momento que entendi a importância disso, minha vida acadêmica e seu propósito se tornaram mais claros.

Além da parte teórica do projeto, trazer a proposta de um treinamento de oito semanas trouxe uma dificuldade em encontrar voluntários, porém aqueles que se propuseram a participar abraçaram o projeto. Com eles, os graduandos que foram fundamentais para isso acontecer e toda a equipe de funcionários do Centro Especializado em Reabilitação (CER), o impacto talvez tenha ido além de uma simples coleta de dados.

Durante o mestrado, eu me apaixonei pela docência. Entre uma coleta e outra, lecionando algumas aulas esporádicas, em ligas, graduação, auxiliando na supervisão de estágio e sempre inserida neste meio, foi ali que percebi que nós realmente nada sabemos até termos a oportunidade de transmitir nosso conhecimento. Nós só aprendemos profundamente sobre um assunto quando nos aventuramos em ensinar. No primeiro semestre de 2023, tive a oportunidade de assumir uma bolsa didática e atuar como supervisora do estágio de musculoesquelética. Dentro destes quatro meses, percebi o quanto a pesquisa, a teoria, a clínica e a docência caminham juntas quando se trata de reabilitar.

Publiquei um artigo como autora principal e outros dois como co-autora; todos eles dentro da área desportiva, que nunca deixou de ser uma paixão. No estágio docência, tive contato com a parte preventiva dos atletas do time de futsal de Marília e times universitários da UNESP e FAMEMA, devido a parcerias com o laboratório. Além disso, o time de futebol MAC passou a realizar avaliações pré temporada durante estes três anos, seguindo o protocolo montado pela nossa equipe.

Recentemente também tive a oportunidade de lecionar três disciplinas na Faculdade de Ensino Superior do Interior Paulista (FAIP), onde passei pela experiência de ter uma turma em mãos e a responsabilidade de repassar conhecimento e aprender junto com eles a tentar me tornar uma profissional melhor a cada dia.

Eu sempre tive a característica de abraçar o mundo; de querer absorver mais a todo instante. De participar do que estava ao meu alcance, mesmo quando isso era sinônimo de sobrecarga. De nunca negar ajuda, de sempre estar à disposição. De sempre tentar ir pelo caminho que achava mais correto, ainda que não fosse o mais fácil; porém, na verdade, eu nunca perdi com isso. Vivi os dois anos de mestrado intensamente e se pudesse resumir minha trajetória na pós-graduação em poucas linhas, ela não se concentraria apenas a este projeto. Ela se concentra no tanto que aprendi, nas experiências, nos alunos, nas coletas, na troca de vivências, em cada paciente e voluntário, nas pessoas que conheci e naquelas que mantenho por perto. E talvez essa seja a melhor parte.

1. INTRODUÇÃO

Um treinamento com ênfase em força muscular pode ser responsável pelo aprimoramento da força máxima e relativa de um indivíduo fisicamente ativo, principalmente quando se dedica a uma prática esportiva (Beato et al., 2021; Hughes et al., 2018; Pardos-Mainer et al., 2021; Suchomel et al., 2016). A força muscular pode ser descrita como um fator limitante e determinante no desempenho esportivo; no grupo muscular do quadríceps, se torna também um critério para retorno ao esporte após lesões recentes de membro inferior (Hasan et al., 2022; Suchomel et al., 2016).

Por ser considerada como um fator de predisposição de lesões e indicador de desempenho, a força muscular de quadríceps se tornou alvo de estudos que buscam determinar qual o melhor método de treinamento de força e resistência muscular, que sejam de maior aplicabilidade clínica e melhora na performance esportiva do indivíduo. Se destaca a importância de um pico de força máxima dentro dos valores normativos, assim como a habilidade de transferir esta força para a função (Ashton et al., 2020; Risberg et al., 2018; Suchomel et al., 2018). Sendo assim, é válido que além da força absoluta máxima, existam ganhos de força reativa, curva força-tempo em acelerações e sua influência na potência e resistência muscular (Cormie et al., 2010; Cormie et al., 2011).

Cargas altas, com cerca de 80% da resistência de uma repetição máxima, são comumente utilizadas para ganho de força para sujeitos treinados nas diretrizes, com o objetivo de aperfeiçoar a capacidade das fibras musculares de exercer força em quaisquer velocidades (American College of Sports Medicine, 2009; Cormie et al., 2011). No entanto, a articulação do joelho recebe sobrecargas contínuas e tende a apresentar lesões articulares em populações saudáveis e atletas de alto rendimento. Visando diminuir a sobrecarga mecânica, porém manter as adaptações neuromusculares, medidas de treinamento com baixa carga são apresentadas como alternativas para esta condição (Patterson et al., 2019).

A intervenção com restrição do fluxo sanguíneo consiste em uma oclusão parcial ou total dos vasos sanguíneos durante o treinamento de força a partir da utilização de um manguito posicionado na porção proximal do membro concomitante a uma baixa carga de resistência (Hedt et al., 2022; Slysz et al., 2016). Acredita-se que os efeitos metabólicos acumulados em um ambiente em situação de hipóxia somado a uma baixa, porém existente, tensão mecânica

contribuam para promover a adaptação do músculo e gere resultados de ganhos de força equivalentes e/ou superiores aos observados após a realização das formas tradicionais de treinamento (Slysz et al., 2016).

Outra alternativa é a estimulação elétrica neuromuscular, modalidade clínica que inicia potenciais de ação em ramos nervosos intramusculares, resultando em uma contração involuntária do músculo (Lepley et al., 2015). Em indivíduos saudáveis, a EENM atua como complemento ao treinamento voluntário ao induzir especificamente a atividade de grandes unidades motoras (Hainaut et al., 1992; Watanabe et al., 2021).

A combinação destas técnicas pode ser recomendada para fortalecimento de membros inferiores; porém, seus protocolos e metodologias se diferem, principalmente, acerca dos efeitos crônicos da associação da restrição do fluxo sanguíneo e da estimulação elétrica neuromuscular (Bergamasco et al., 2022).

Deste modo, o estudo teve como objetivo verificar o efeito do fortalecimento muscular das RFS isolada e quando associada e EENM em comparação ao treinamento convencional, em parâmetros de força, resistência e atividade neuromuscular do músculo quadríceps em indivíduos fisicamente ativos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Força e Resistência Muscular

A função principal da contração do músculo esquelético é resultar na execução de movimento e geração de força muscular (Sweeney & Hammers, 2018). As unidades repetidas de filamentos, denominadas como sarcômeros, são divididas em feixes de fibras musculares que através de diferentes fontes de energia são capazes de produzir força mecânica.

Para que um músculo realize uma contração, é necessário uma fonte de energia e um fornecimento contínuo ou não de ATP para o funcionamento dos processos envolvidos na fisiologia da contração muscular. Essas vias de produção energética são essenciais para uma boa funcionalidade e desempenho esportivo, por viabilizarem não apenas a produção de força, como também o seu ganho posteriormente (Hargreaver & Spriet, 2020). Vias de energia anaeróbias possuem uma potência maior, porém uma menor durabilidade quando comparadas às vias aeróbias (Sahlin et al., 1998); por este motivo, é comum que esforços de alta intensidade, mas de curta duração, se beneficiem predominantemente do ATP fornecido através da degradação da fosfocreatina e glicogênio em lactato, processo considerado anaeróbio. Assim que este esforço se torna contínuo, o metabolismo oxidativo, processo aeróbio, passa a ser a principal fonte de ATP da contração muscular (Hargreaver & Spriet, 2020).

As fibras musculares se dividem em dois principais grupos: fibras tipo I e II, sendo as do tipo II subdivididas em IIa e IIb. Classificação essa derivada de acordo com a velocidade de contração de cada fibra, sendo as do tipo I consideradas lentas e do tipo II de contração rápida. A proporção de tipologia de fibra varia para cada indivíduo e é definida principalmente por fatores genéticos (Hopwood et al., 2023). Fibras de contração rápida geram alta potência e força em curtos períodos de tempo, além de serem maiores, porém facilmente fatigadas; por outro lado, as fibras do tipo I são recomendadas para treinamentos de longos períodos por serem resistentes à fadiga, no entanto são consideradas menores em tamanho (Lievens et al., 2020).

Fibras do tipo I, por exigirem contrações por períodos prolongados, utilizam predominantemente como fonte de energia as vias aeróbias, com o uso de moléculas de oxigênio para produção de força. Por outro lado, fibras de contração rápida se beneficiam de energia anaeróbia como principal via energética, unindo os conceitos de força e resistência à fadiga em

relação às fontes de energia e tipos de fibras musculares (Hargreaves & Spriet, 2020; Hopwood et al., 2023).

A força muscular é caracterizada como a capacidade de produzir força contra uma resistência externa, além de ser expressada através de força isométrica, dinâmica, reativa, entre demais exemplos (Suchomel et al., 2016). Por ser o resultado da contração de fibras, a força muscular se apresenta como uma variável influenciada por fatores morfológicos e neuromusculares, como a área de secção transversa do músculo, recrutamento e sincronização das unidades motoras e a própria atividade neuromuscular; sendo estes fatores que variam de acordo com a especificidade de cada indivíduo (Suchomel et al., 2016; Suchomel et al., 2018).

Deste modo, a força muscular geral de um sujeito não apenas é o resultado de diversos fatores e individualidade, como também essencial para sua saúde. Da mesma forma que a fraqueza muscular pode ser qualificada como preditor de perda de funcionalidade e possui relação direta com a incapacidade, principalmente em idades mais avançadas (Benfica et al., 2018). Além de idosos e indivíduos saudáveis, a força muscular assume sua maior importância em sujeitos fisicamente ativos e atletas, com destaque na prevenção de lesões, fator que assume grande importância em times e equipes de alto rendimento (Suchomel et al., 2018).

Os mecanismos fisiológicos mais conhecidos como responsáveis pelo aumento de força muscular são também multifatoriais e despertam discussões na literatura acerca de frequência, carga, tipo de resistência e quais os melhores programas de treinamento para ganho de força e, principalmente, sua aplicabilidade durante a performance e função do indivíduo (Suchomel et al., 2018). É de comum conhecimento que para promover uma alteração nas fibras musculares, é necessária uma demanda, seja ela mecânica ou metabólica, predominantemente causada por uma resistência ou estímulo externo que cause uma sobrecarga na musculatura. A efetividade do treinamento varia de acordo com a força inicial (Balshaw et al., 2017), a capacidade prévia de treinamento e condicionamento (Buckner et al., 2017) e, como principal fator não mutável, a genética do indivíduo (Hughes et al., 2018; Suchomel et al., 2018).

A máxima potência que um músculo pode produzir durante uma atividade contínua diminui à proporção que a duração deste esforço aumenta. Por este motivo, a resistência muscular é comumente caracterizada como uma atividade de longa duração e baixa intensidade, uma vez que conforme é exigido uma alta potência e força do tecido contrátil, sua resistência tende a

diminuir com o tempo de esforço (Enoka & Duchateau. 2016; Hughes et al., 2018). O exercício de resistência provoca alterações morfológicas nas mitocôndrias que podem aumentar a capacidade respiratória da musculatura envolvida enquanto este resiste à fadiga (Djalalvandi & Scorrano, 2022).

A definição de fadiga, por sua vez, pode ser apresentada como um sintoma capaz de incapacitar as funções mecânicas e resultar na diminuição da ativação voluntária, assim como da função contrátil das fibras (Enoka et al., 2016; Millet, 2011; Tiller et al., 2021). A resistência à esta fadiga contribui principalmente para o desempenho esportivo e prevenção de doenças relacionadas ao avanço da idade; por este motivo, o aumento da resistência muscular também está sendo almejado por indivíduos saudáveis e atletas, com o objetivo de alcançar os benefícios das adaptações neuromusculares e cardiorrespiratórias relacionadas ao exercício de resistência (Cartee et al., 2016; Hughes et al., 2018).

Diante disso, é possível observar como a força e resistência muscular receberam destaque ao se tornarem fatores associados ao desempenho e qualidade de vida, visto que o aumento destas duas variáveis é prioridade em performance esportiva e funcionalidade. Por este motivo, a maioria dos treinos combinam ambos os conceitos, uma vez que exercícios que sejam considerados puramente para ganho de força ou resistência muscular são raros à medida que ambas variáveis possuem sua relevância (Hughes et al., 2018).

2.2. Atividade e Adaptação Neuromuscular

É proposto pela literatura que grande parte do ganho de força muscular nas primeiras semanas de treinamento seja atribuído à adaptações neurais (Vecchio et al., 2018). Por este motivo, é importante considerar a especificidade do exercício, do indivíduo e garantir a sua adaptação em relação à resistência durante o período de treinamento, com o objetivo de se beneficiar dos ganhos derivados das adaptações neurais para prosseguir em um treino progressivo, que atinja posteriormente uma adaptação neuromuscular e propriamente considerada mecânica (Heidel et al., 2022).

O corpo celular de um motoneurônio, juntamente com as fibras musculares inervadas pelo mesmo, compõem uma unidade motora. O recrutamento destas unidades motoras é um dos responsáveis por promover as adaptações musculares, principalmente de força máxima. É

conhecido na literatura que o recrutamento dessas unidades motoras segue o princípio do tamanho; ou seja, unidades motoras menores são recrutadas primeiro, para progressivamente as maiores também serem ativadas, resultando em uma maior produção de força (Schoenfeld et al., 2017). Fibras musculares do tipo I são menores e recrutadas quando é exigido força em menor intensidade; por outro lado, fibras de contração rápida tendem a ser recrutadas apenas diante de uma alta demanda (Henneman et al., 1965). Fisiologicamente, este é um dos motivos para ser sugerido que treinos com altas cargas sejam mais benéficos para ganho de força muscular (Schoenfeld et al., 2017).

A Eletromiografia de Superfície (EMG) é caracterizada por registrar a atividade elétrica que ocorre em um músculo durante a sua contração; como principal função, os dados eletromiográficos são capazes de distinguir o pico de ativação, o desenvolvimento da força muscular e sua posterior fadiga (Gash et al., 2023; Mills, 2005). Análises com eletromiografia demonstram que quando o músculo é exposto a cargas menores, sua amplitude elétrica também tende a ser baixa, compondo a atividade de um exercício de resistência muscular. Porém, em termos de pico de força, ao comparar cargas altas e baixas, a literatura ainda discute seus efeitos e quais seriam os melhores métodos para alcançar as adaptações neurais e mecânicas, tanto em variáveis de pico de força muscular, quanto em resistência à fadiga (Schoenfeld et al., 2017).

2.3. Treinamento para Ganho de Força Muscular

Com o objetivo de aumentar a força muscular, o treinamento resistido abrange contrações repetidas contra uma resistência que sobrecarregue mecanicamente aquela musculatura (Nuzzo, 2023). Entre as implicações deste treinamento, as mais visadas são melhora na qualidade de vida, na performance esportiva e prevenir futuras lesões (Ashton et al., 2020; Kraemer et al., 2017; Roig et al., 2009).

A literatura ainda não chegou em um consenso sobre a carga exata e ideal para sobrecarregar mecanicamente as fibras musculares, porém sem causar um desconforto articular. Classicamente, é recomendado uma carga entre 70-80% de uma repetição máxima, com adaptações perceptíveis entre quatro e doze semanas (Hughes et al., 2018; Folland & Williams, 2007; Schoenfeld et al., 2017). Além de proporcionar maior ganho de força, é discutido que cargas elevadas geram também um aumento no recrutamento de unidades motoras maiores, por exigir

uma alta demanda de força, e assim alcançando as adaptações neuromusculares ideais (Henneman et al., 1965; Schoenfeld et al., 2017).

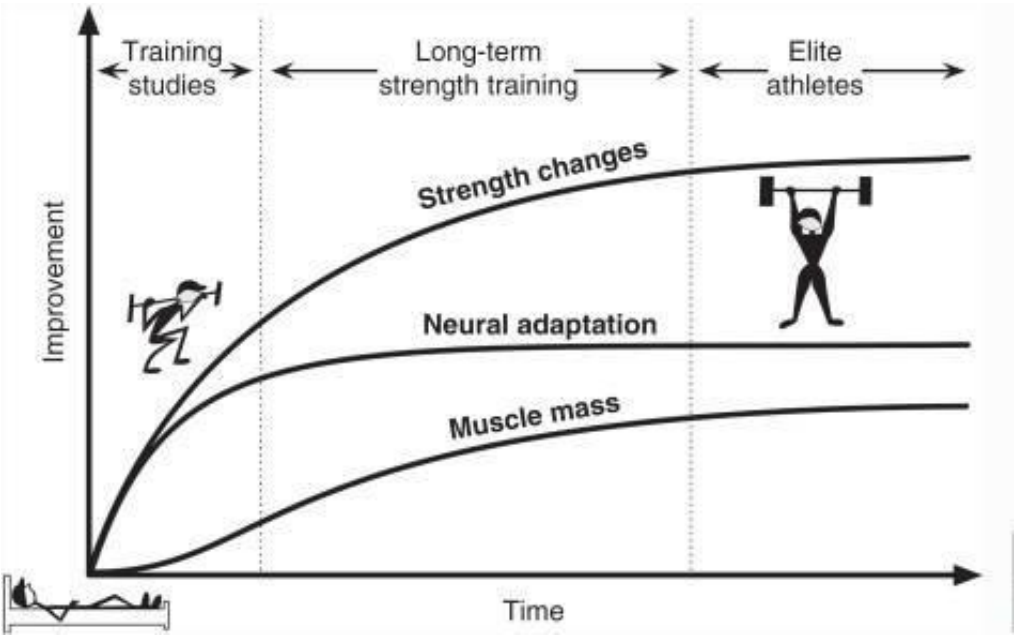


Figura 1: Ilustração de um gráfico do processo de ganho de força muscular, hipertrofia e adaptações neurais (Hughes et al., 2018).

O treinamento de força dinâmica é preferível ao estático para ganho de força muscular, com a justificativa de que a aplicabilidade da força desenvolvida para o esporte e cotidiano seja maior, uma vez que as adaptações neuromusculares serão mais facilmente transferidas (Ashton et al., 2020; Lum & Barbosa, 2019; Suchomel et al., 2018; Westcott, 2012).

Desta forma, as diretrizes do American College of Sports Medicine pontuam que cargas iguais ou maiores que 80% de 1RM são equivalente para um aumento de força máxima (pico) (American College of Sports Medicine, 2009); concomitantemente, existem métodos que abrangem a ideia de altas cargas serem necessárias para um ganho de força e potência, enquanto as cargas baixas são mais associadas ao ganho de resistência, o que corrobora com os conceitos de fisiologia da contração muscular (Coffey, 1946). Compreender como a carga interfere diretamente nos produtos neuromusculares é fundamental para a prescrição do treinamento resistido, com foco no tipo de variável que será almejada ao fim da intervenção (Lacio et al., 2021; Schoenfeld et al., 2017; Schoenfeld et al., 2016). Ao ser considerado uma carga > 80% de uma repetição máxima, para um indivíduo saudável, pode ser uma condição comum; no entanto, em populações lesionadas, com sobrecargas articulares que podem evoluir para uma futura lesão ou doenças

causadas pelo avanço da idade, uma demanda como esta não possui influência apenas nas fibras musculares, como também na biomecânica articular.

2.4. Treinamento de Resistência Muscular

O exercício para aumento de resistência muscular é caracterizado com uma carga consideravelmente leve durante um período de tempo prolongado. Porém, como sobrescrito, são raros os exercícios que contemplem puramente uma condição ou outra. A literatura atual tem demonstrado que exercícios de alta intensidade e curto período também podem levar a adaptações de resistência, assim como o contrário se repete (Holloszy & Coyle, 1984). No entanto, um exercício para aumento da resistência tem como resultados a ampliação do débito cardíaco, no consumo máximo de oxigênio e na atividade mitocondrial (Granata et al., 2016).

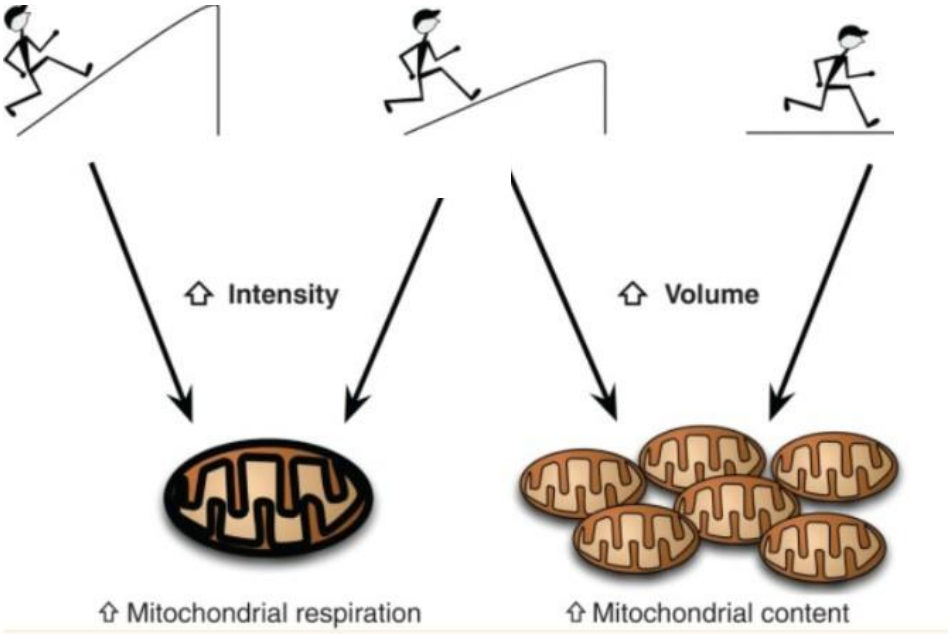


Figura 2: Ilustração do aumento da atividade mitocondrial de acordo com a intensidade e volume do programa de treinamento proposto. (Hughes et al., 2018).

Os programas de treinamento com foco em resistência muscular costumam ser mais abrangentes quando comparados aos treinos de ganho de força. Ainda que contemplem treinos resistidos com uma carga menor ou igual a 30-40% de uma repetição máxima, também são inseridos exercícios de longa duração em pliometria, corrida de longas distâncias e treinos intervalados. Todos visando um gasto energético prolongado, de baixa intensidade e maior recrutamento de fibras musculares do tipo I (Granata et al., 2016).

Por este motivo, muitos são os métodos de treinamento para ganho de resistência e não houve ainda um consenso na literatura de qual seria o melhor a ser utilizado; no entanto, existem comparações nas variáveis de intensidade e volume dos exercícios, sendo os resultados diferentes para cada fator avaliado. Assim como nos treinos de força muscular, é necessário considerar a individualidade do sujeito e aplicabilidade no cotidiano ou esporte em que este estiver inserido.

2.5. Quadríceps

O quadríceps é um grupo muscular composto pelo reto femoral e vastos lateral, medial e intermédio (Flandry & Hommel, 2011); juntamente à articulação femoropatelar são responsáveis por evitarem a anteriorização do membro inferior durante a entrada na fase de apoio do ciclo da marcha (Gait Analysis: Normal and Pathological Function, 2010), ao mesmo compasso em que sua dinâmica de encurtamento-alongamento afeta a produção de força e dissipação de carga da articulação do joelho, responsável por grande parte da biomecânica do membro inferior (Munsch et al., 2022).

Além disso, o quadríceps está entre os grupos musculares mais lesionados em práticas esportivas, principalmente no futebol (Ekstrand et al., 2011; Pérez-Gómez et al., 2022). Um quadríceps com força e resistência muscular dentro dos valores normativos para indivíduos saudáveis torna-se um importante fator de prevenção de lesões recorrentes em atletas como a ruptura do Ligamento Cruzado Anterior (Lepley, 2015). A fraqueza muscular do quadríceps tem sido comumente associada a resultados negativos a curto e longo prazo, como a redução da funcionalidade e qualidade de vida (Lepley, 2015), além da predisposição a desenvolver osteoartrite de joelho precocemente (Erickson et al., 2019; Tourville et al., 2014).

Diante disso, o quadríceps tem sido alvo de estudos em relação à melhor maneira de ganhar força e resistência muscular, com o objetivo de alavancar a funcionalidade, qualidade de vida e desempenho esportivo. Assim como os demais grupos musculares do sistema musculoesquelético, existe a demanda de cargas altas para adaptações neuromusculares; no entanto, a articulação do joelho também se destaca pela complexidade e sobrecarga articular, que gera uma alta taxa de lesões em indivíduos saudáveis e atletas. Diante disso, medidas alternativas de treinamento de força e resistência muscular têm ganhado foco na literatura (Slysz et al., 2016),

com o propósito de investigar se existem maneiras de chegar aos mesmos resultados de cargas elevadas sem causar sobrecargas mecânicas exacerbadas.

2.6. Restrição de Fluxo Sanguíneo

A Restrição de Fluxo Sanguíneo (RFS) é caracterizada pela restrição parcial ou total do fluxo sanguíneo da musculatura envolvida durante uma contração muscular, compondo um exercício resistido (Lorenz, 2021; Scott et al., 2015). A fisiologia da intervenção ainda traz questionamentos na literatura, porém a hipótese mais aceita se baseia no efeito da hipóxia das células musculares durante uma baixa demanda mecânica, que resulta em alterações metabólicas (Martin et al., 2022).

Na fisiologia do exercício resistido, existe um aumento no fluxo sanguíneo; desta forma, ainda que haja uma restrição parcial, as fibras musculares tendem a receber um fluxo maior que uma musculatura não ocluída em repouso. A hipóxia resultante desta restrição, juntamente ao acúmulo venoso, desencadeiam efeitos fisiológicos metabólicos e musculares, a nível local e isquêmico (Bowman et al., 2019). Acredita-se que um ambiente com déficit de oxigênio gere um crescimento muscular, uma vez que promove a liberação do hormônio do crescimento (GH) e IGF-1, ambos relacionados à hipertrofia muscular (Hughes et al., 2017). Além disso, um ambiente celular hipóxico contribui para a síntese proteica e recrutamento de fibras musculares de tipo II, conhecidas pela rápida capacidade contrátil (Bowman et al., 2019; Martin et al., 2022).

Entre estes processos metabólicos, existe a hipótese de uma série de alterações cardiovasculares através da contração muscular, que tendem a aumentar a resistência vascular sistêmica e frequência cardíaca, desencadeando uma ativação do sistema simpático (Loenneke et al., 2011). Efeitos como estes são observados também em exercícios convencionais de alta carga, no entanto, o recrutamento das fibras musculares e produção de força com RFS ocorre através do estresse metabólico supracitado e uma menor sobrecarga mecânica nas articulações.

A hipótese de um ganho de força, resistência e maior recrutamento de UMs se equivalem ou superem os efeitos de treinamento convencional, com uma carga leve, descrita entre 20-40% de 1RM (Patterson et al., 2019). Este cenário de hipóxia viabiliza um maior recrutamento de fibras do tipo II, que se beneficiam predominantemente de vias energéticas anaeróbias; o recrutamento destas fibras comumente só seria realizado em grande escala com cargas elevadas. Diante disto, a

aplicação da RFS diminuiria o estresse articular durante o exercício resistido, porém visando resultados semelhantes, estendendo a intervenção e seus benefícios à populações com alto limiar de dor atual ou histórico de lesões articulares (Martin et al., 2022; Pearson & Hussain, 2015).

2.7. Estimulação Elétrica Neuromuscular

A Estimulação Elétrica Neuromuscular (EENM) é descrita como a aplicação de uma corrente elétrica de estímulos às fibras através de eletrodos posicionados superficialmente na pele, com o principal objetivo de gerar contrações musculares (Mettler et al., 2018). Essa corrente pode levar a uma ativação dos receptores nociceptivos, que induzem por consequência uma sensação dolorosa, porém ao atingir o limiar motor da musculatura, ocorre uma contração involuntária através da indução de potenciais de ação que estimulam os nervos motores (Bax et al., 2005; Martimbianco et al., 2017; Rahmati et al., 2021).

Diante disso, a EENM tem sido destacada como um método eficaz para contribuir com o fortalecimento do quadríceps, sendo útil na diminuição da fraqueza muscular em situações de lesões, para retorno a funcionalidade e prática esportiva (Klika et al., 2022; Sabah & Labib, 2022). Os exemplos mais comuns da aplicabilidade da estimulação elétrica são em reconstrução de ligamento cruzado anterior ou artroplastias de joelho, sendo complementos eficazes nos programas de reabilitação (Klika et al., 2022; Toth et al., 2020).

O mais aceito atualmente é utilizar esta corrente elétrica como complemento, associada a uma contração voluntária, resistida ou não, com o objetivo de ganho de força e hipertrofia muscular em indivíduos saudáveis ou outras populações, como pós operatório ou quadro de dor aguda (Mettle et al., 2018). A EENM sugere que existe um recrutamento seletivo durante a estimulação elétrica, com predominância de fibras do tipo II, de contração rápida; no entanto, com o estímulo elétrico, existe a hipótese de maior ativação de potenciais de ação, estimulando o recrutamento de outras fibras musculares após a fadiga das anteriores, com resultados também na resistência muscular à fadiga (Pinfildi et al., 2018).

Embora não haja um consenso sobre a determinação dos parâmetros ideais de duração de pulso, frequência e formato de onda, a literatura sugere que a EENM seja capaz de produzir 50% da contração voluntária máxima de um indivíduo, em sua maior intensidade dolorosa tolerada. Recomenda-se parâmetros de pulsos retangulares bifásicos, frequência entre 50 e 100Hz e uma

carga mecânica < 60% de uma repetição máxima (Martimbianco et al., 2017; Rahmati et al., 2021).

2.8. Restrição de Fluxo Sanguíneo associada a Estimulação Elétrica Neuromuscular

Diante dos conceitos de treinamento de força, resistência muscular e atividade neuromuscular, ambas as técnicas possuem propostas fisiológicas semelhantes, porém através de mecanismos distintos. Por este motivo, se destaca a importância de quantificar quais são seus efeitos quando combinados. Ambas as intervenções possuem evidência adequadas para programas de reabilitação, quando isolados, porém ao associá-las, é perceptível a escassez de estudos na literatura (Kong et al., 2022).

Em relação ao tipo de fibra muscular predominantemente recrutada e ao baixo estresse mecânico, as intervenções se destacam quando comparadas ao exercício convencional, de alta carga. Perante ao exposto, existe a hipótese de que, quando associados, os efeitos no ganho de força, resistência muscular e recrutamento sejam equivalentes ou até mesmo superiores aos efeitos das técnicas isoladamente ou ao comparados com o exercício convencional (Bergamasco et al., 2022; Natsume et al., 2015; Slysz & Burr, 2018).

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar os efeitos do treinamento de força muscular convencional, com restrição de fluxo sanguíneo isolada e associada à eletroestimulação neuromuscular em indivíduos fisicamente ativos.

3.2. Específicos

Analisar e comparar os efeitos das intervenções nas variáveis de força máxima (pico de torque), resistência (trabalho total) e atividade neuromuscular (recrutamento de unidades motoras e resistência à fadiga) na musculatura do quadríceps.

Hipótese

A hipótese do estudo foi de que a restrição de fluxo sanguínea isolada ou associada à eletroestimulação gerasse efeitos semelhantes ou superiores aos de um treinamento convencional, com uma menor sobrecarga mecânica.

4. MÉTODOS

4.1. Design do Estudo

Trata-se de um ensaio clínico randomizado paralelo, de três braços, duplo cego. O avaliador de resultados pré e após o treinamento e o profissional responsável pela análise estatística foram cegos em relação à intervenção do voluntário. O estudo seguiu o Template for Interventions Descriptions and Replication - TIDieR (Yamato et al., 2016) e o guideline Consolidated Standards of Reporting Trials - CONSORT (Moher et al., 2010) para ensaios clínicos (Anexo 1).

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista - Câmpus de Marília, sob parecer nº 5.809.107, CAAE 63810022.7.0000.5406, atendeu à resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde e foi registrado no Registro de Ensaios Clínicos (RBR-8vvpztm). Os voluntários foram devidamente informados acerca dos procedimentos de avaliação e intervenção do estudo e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) previamente ao início do processo de participação no estudo.

O recrutamento e coleta de dados dos voluntários foram realizados no Centro Especializado em Reabilitação (CER), vinculado à Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Marília, no período entre janeiro e dezembro de 2023.

	Período do Estudo				
	Triagem	**Linha de base**	**Pós-alocação**		
TIMEPOINT	**-T1**	**T0**	**T1**	**T4**	**T8**
INSCRIÇÃO:					
Critérios de elegibilidade	X				
Termo de consentimento	X				
Alocação		X			
INTERVENÇÕES					
Restrição de Fluxo Sanguíneo			X		
Restrição de Fluxo Sanguíneo + Eletroestimulação			X		
Exercício convencional			X		
AVALIAÇÕES					
Força e Resistência Muscular		X			X
Pressão total de oclusão		X			
Eletromiografia de Superfície		X			X
Teste de 1 repetição máxima		X		X	

Figura 3. Itens de protocolo padrão: Declaração de Recomendações para Estudos Internacionais SPIRIT

4.2. Recrutamento

O recrutamento dos voluntários foi realizado através de mídias sociais, predominantemente, além de divulgação da universidade.

4.3. Critérios de Elegibilidade

Foram elegíveis ao estudo indivíduos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 45 anos, que fossem considerados fisicamente *ativos* ou *muito ativos* no escore do Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ), utilizado para caracterização da amostra recrutada; Além do consentimento comprovado pela assinatura do TCLE.

Não foram elegíveis ao estudo: indivíduos com o Índice de Massa Corporal (IMC) igual ou superior a 30, por indicar um sobrepeso que poderia influenciar nos resultados de treinamento; que tivessem feito ingestão de estimulantes, como bebidas alcoólicas e cafeína nas 24h que antecederam as avaliações, com o intuito não diminuir influências externas nos resultados da avaliação; indivíduos com lesão ou trauma em membros inferiores no período de seis meses prévios à avaliação; que apresentassem comprometimentos que impossibilitassem a realização do estudo, como alteração de sensibilidade ou déficit cognitivo, gerando não apenas uma possível alteração nos resultados como a possibilidade de ser lesivo ao voluntário; voluntários com fatores de risco para tromboembolismo (doença de Crohn, fratura prévia de quadril, pelve ou fêmur, cirurgia de grande porte nos últimos seis meses e/ou varizes), história familiar de trombose venosa profunda ou embolia pulmonar e hipertensão, por serem considerados riscos ao serem submetidos a terapia de restrição de fluxo sanguíneo.

4.4. Procedimentos

4.4.1 Avaliação Inicial (T0)

A avaliação inicial foi dividida em dois dias, seguindo o mesmo protocolo e ordem quando realizada pré e após o programa de treinamento.

No primeiro dia, foi realizada a anamnese, com a coleta dos dados pessoais e atropométricos, como idade, sexo, IMC, estatura e massa corporal, qual a regularidade e intensidade da atividade física praticada e aplicado o IPAQ para caracterização da amostra. Em seguida, foi mensurada a pressão arterial sistólica e diastólica em repouso.

Para avaliar a força muscular isocinética, foi utilizado um dinamômetro isocinético Biodex®, modelo System 4 (Biodex Medical Systems, New York – USA). O ambiente de

avaliação foi climatizado e a temperatura mantida entre 22ºC e 24ºC durante todo o procedimento. Foi realizado um aquecimento prévio de cinco minutos de caminhada rápida com progressão de velocidade. Em seguida, o voluntário foi encaminhado para o instrumento de avaliação, sendo posicionado sentado, com flexão de quadril e joelho de 90º e acomodado com faixas inelásticas para evitar compensações durante a avaliação. O eixo do dinamômetro foi posicionado em direção ao côndilo femoral lateral. A almofada de resistência fixada ao nível de 3cm de distância do maléolo medial (Cvjetkovic et al., 2015; Deones & Wiley, 1994).

A força isométrica foi avaliada de maneira simultânea à coleta dos dados eletromiográficos. Posicionado no dinamômetro, o voluntário foi encorajado verbalmente a realizar uma contração isométrica de quadríceps por 30 segundos em duas angulações: 30º e 60º de flexão de joelho, conforme demonstrado na Figura 5. O voluntário foi instruído a realizar o movimento de extensão de joelho contra a resistência do equipamento durante os 30 segundos proposto para cada angulação, em contração isométrica máxima, com tempo de descanso de um minuto entre cada repetição (Dean et al., 2022; Hogrel et al., 2020). A avaliação foi realizada bilateralmente, sendo avaliado primeiro o membro dominante ou que não apresente nenhuma lesão recente (Gomi et al., 2020). Foi utilizado como dado para análise estatística o pico de torque isométrico em ambas as angulações.

Simultaneamente ao teste de força isométrica, foram coletados os dados eletromiográficos das fibras dos músculos: reto femoral, vasto lateral e medial utilizando um equipamento EMG System do Brasil®, São José dos Campos, SP, Brasil, de 8 canais, filtros analógicos passa-faixa com frequência de corte em 10-1000 Hz e calibrados com frequência de amostragem de 2000 Hz, com 16 bits de resolução e amostragem simultânea dos sinais, software para coleta, processamento e armazenamento de dados. O equipamento foi conectado a um computador sem conexão à rede elétrica, para evitar possíveis interferências.

Foram utilizados eletrodos de superfície de Ag/AgCl, em configuração bipolar, com distância de 1 cm entre as barras de captação, acoplados em um pré-amplificador com impedância de entrada de 10 GW, CMRR de 130 dB e ganho de 20 vezes (EMG System do Brasil®).

Antes do início da eletromiografia foi realizada a limpeza da pele com álcool e tricotomia da região para evitar possíveis interferências. Os eletrodos foram posicionados nos músculos seguindo o posicionamento recomendado pelo SENIAM (Surface Electromyogaphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles), conforme demonstrado na Figura 4.

O registro eletromiográfico aconteceu em ambiente silencioso, com luminosidade artificial e temperatura controlada. Um eletrodo de Ag/AgCl auto adesivo, de três centímetros de diâmetro, foi fixado em proeminência óssea da região do punho e foi utilizado como referência para reduzir os ruídos durante a aquisição dos sinais.

A visualização e o processamento digital do sinal eletromiográfico foram realizados simultaneamente a aquisição e os sinais foram normalizados por uma contração voluntária máxima de cinco segundos. Foi utilizado um filtro passa-faixa de 20-1000Hz. Todos os procedimentos de registro e análise do sinal eletromiográfico seguiram o Standards for Reporting EMG Data (Merletti, 1999). Para análise dos dados foram obtidos os valores normalizados de *Root Mean Square* (RMS) e Frequência Mediana (FM) a fim de verificar o recrutamento muscular e o processo de fadiga.



Figura 4: Posicionamento dos Eletrodos de Eletromiografia.

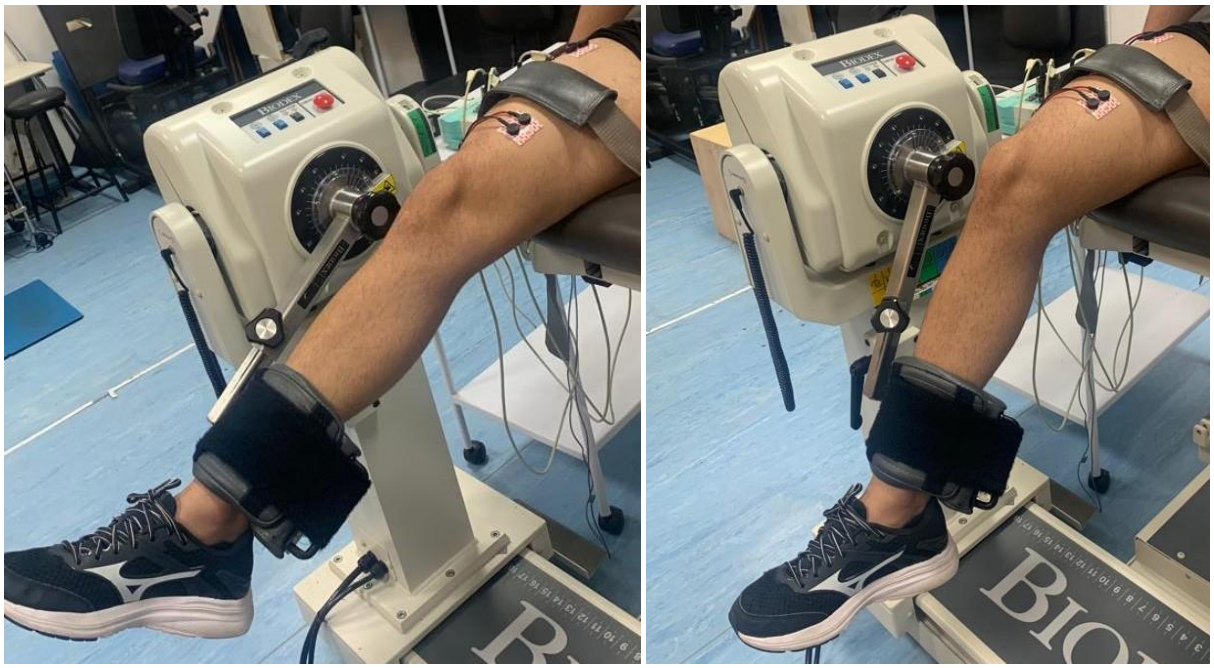


Figura 5: Posicionamento do joelho no dinamômetro para o teste de força isométrica de 30s e eletromiografia em 60º e 30º de flexão de joelho, respectivamente.

No segundo dia, foi mensurada a Pressão Arterial Sistólica de Treino (PAST) através da ultrassonografia em modo doppler vascular (GE Healthcare, Zipf, Áustria). O manguito de pressão foi posicionado na parte proximal da coxa, próximo à prega inguinal e o transdutor na artéria tibial. O manguito foi insuflado até que fosse possível notar através da imagem que o pulso havia sido interrompido, quantificando quando seria a pressão necessária para uma oclusão total do fluxo sanguíneo no membro inferior dominante (Bergamasco et al., 2022; Spitz et al., 2020).

Seguindo o mesmo posicionamento que a avaliação da força isométrica, as medidas isocinéticas foram realizadas sob protocolo concêntrico/concêntrico para avaliação do desempenho muscular em duas velocidades angulares: 60º/s e 300º/s, como demonstrado na Figura 6. Foram realizadas três práticas do movimento sem que houvesse força máxima para familiarização do voluntário com o equipamento; em seguida, foi dado o estímulo verbal para que fosse realizada a força máxima durante o teste de cinco repetições (60º/s), seguido de quinze repetições do segundo protocolo (300º/s). Houve um intervalo de 40 segundos de descanso entre os testes. A avaliação foi realizada bilateralmente, sendo avaliado primeiro o membro dominante ou que não apresentasse nenhuma lesão recente (Cvjetkovic et al., 2015; Gomi et al., 2020; Zvijac et al., 2014). Foram consideradas para análise estatística as variáveis de pico de torque e trabalho total de extensão, em ambas as velocidades angulares.



Figura 6: Posicionamento e execução do teste de dinamometria isocinética.

O teste de uma repetição máxima (1RM) foi realizado com o objetivo de quantificar a carga que seria utilizada durante o treinamento para as três intervenções. O voluntário foi posicionado sentado, com joelhos em flexão aproximada de 90º. O teste foi realizado na mesma cadeira extensora onde o voluntário posteriormente realizou o treinamento de força. pés na largura do quadril e realizará o teste de 1RM na cadeira extensora, sendo instruído a realizar um único movimento de extensão, partindo da posição inicial de flexão até aproximadamente 0º de extensão de joelho, realizando as fases concêntrica e excêntrica com duração de dois segundos cada, sem pausa entre as contrações (Barbalho et al., 2020; Clark et al., 2019). A carga inicial foi baseada no histórico de treinamento do voluntário. Caso o voluntário não fosse capaz de realizar a repetição, a carga foi ajustada até que fosse determinada a carga ideal; entre as tentativas, foi estipulado um tempo de descanso de cinco minutos para evitar fadiga muscular (Schoenfeld et al., 2015).

4.4.2. Avaliação após 4 semanas (T4)

Após um período de quatro semanas de protocolo de treinamento, foi realizado novamente o teste de 1RM, com o objetivo de adaptação da carga após as possíveis adaptações neuromusculares.

4.4.3. Avaliação Final (T8)

Ao fim das oito semanas de protocolo de treinamento, foi realizado todo o processo de reavaliação, assim como em T0, antes do início do treino, exceto pelo teste de 1RM. Assim como previamente, a avaliação foi dividida em dois dias, seguindo a mesma ordem supracitada.

4.4.4. Cálculo Amostral

Para o cálculo da amostra foram utilizados valores prévios do estudo de Bergamasco et al (2021) pelo G*Power 3.1.9.7. Considerando um erro alfa de 0,05 (5%) e um poder de 0,85 (85%), o tamanho estimado necessário para o estudo de avaliação seria necessário uma amostra total de 38 indivíduos.

4.5. Randomização da Amostra

A randomização foi realizada por um profissional diferente dos avaliadores e responsáveis pela intervenção e análise estatística, através de um software online específico, dividido no site em cinco blocos de 12 participantes, randomizados previamente ao recrutamento e avaliação. A randomização foi inserida em envelopes lacrados, opacos e numerados, que foram abertos somente no momento de aplicação da primeira intervenção do voluntário, com o objetivo de manter ao máximo o cegamento dos avaliadores e a aleatoriedade do estudo.

O fluxograma (Figura 7) mostra como os participantes foram randomizados aleatoriamente em três grupos: Grupo RFS; Grupo RFS-E e Grupo Convencional. Além disso, o responsável pela análise estatística também não teve acesso à randomização dos voluntários.

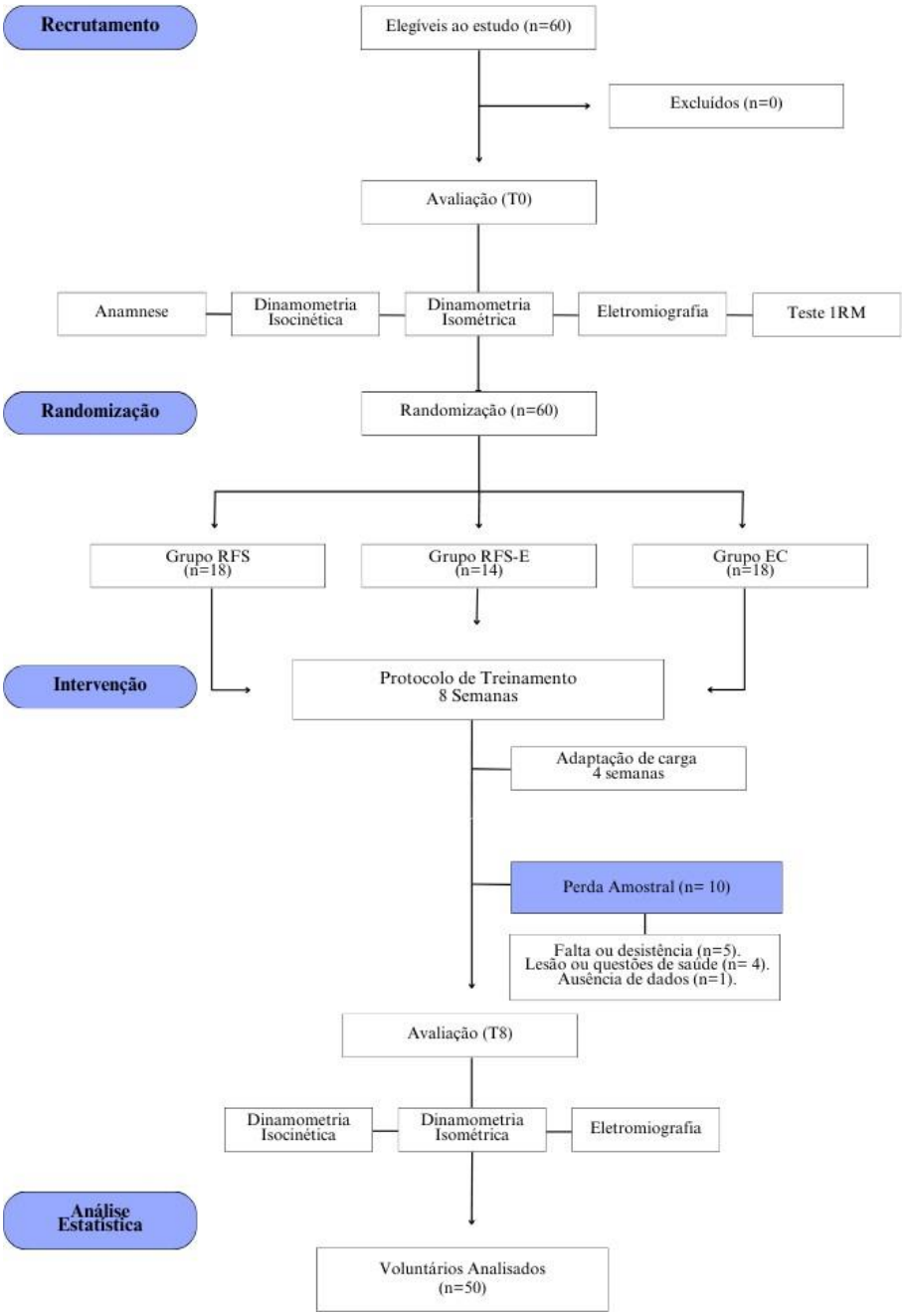


Figura 7: Fluxograma do Estudo.

4.6. Intervenções

4.6.1. Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo.

Os indivíduos randomizados no GRFS foram submetidos à aplicação da intervenção, com o manguito de pressão (Avanutri®) posicionado no 1/3 proximal da coxa, próximo à região da

prega inguinal, semelhante ao procedimento para avaliação da pressão total de treino. Inicialmente, a PAST foi de 50% da pressão total de oclusão para que ocorresse uma restrição individualizada dos voluntários (Kilgas et al., 2022; Hughes et al., 2019; McEwen et al., 2019). Ao passar das semanas, esta pressão foi ajustada em +5% a cada semana de protocolo até atingir os 80%. O protocolo de exercício contou com quatro séries de 30, 15, 15 e 15 repetições de extensão de joelho na cadeira extensora com carga de 30% de 1RM. O manguito manteve a pressão predefinida durante todo o processo, incluindo o tempo de descanso, que foi de um minuto entre as séries. (Noyes et al., 2021; Erickson et al., 2019). O treinamento foi realizado com frequência de duas vezes por semana, por um período de oito semanas completas, totalizando 16 treinos.

4.6.2. Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo associado à Estimulação Elétrica Neuromuscular

Os voluntários randomizados no GRFS-E foram submetidos ao mesmo protocolo de posicionamento, pressão de restrição de fluxo e carga que o GRFS. No entanto, com o complemento da EENM.

Os músculos do quadríceps foram eletroestimulados usando eletrodos bipolares ligados a um estimulador elétrico neuromuscular (Neurodyn II Ibramed®). A corrente de estimulação utilizada foi em forma de onda bifásica assimétrica, com frequência de 50Hz e duração de pulso de 500us, com tempo de contração e descanso de 2 segundos (Sousa, 2018). Os eletrodos retangulares foram posicionados no ponto motor dos respectivos músculos, vasto lateral, vasto medial e reto femoral. A intensidade máxima tolerada pelo voluntário foi usada como referência, porém a partir do limiar motor, determinado pela contração visível do quadríceps (Truong et al., 2017).

O treinamento foi realizado com frequência de duas vezes por semana, por um período de oito semanas completas, totalizando 16 treinos.

4.6.3. Grupo Exercício Convencional

Os voluntários randomizados no GEC foram submetidos ao treinamento considerado como padrão, recomendado pelas diretrizes; foram realizados na mesma cadeira extensora da avaliação de 1RM o protocolo de três séries de dez repetições com carga de 70% de 1RM, com descanso de um minuto entre as séries (American College of Sports Medicine, 2009).

4.7. Análise Estatística

Os dados foram analisados como um ensaio clínico pelo conceito de protocolo (até completar as 8 semanas) e a análise estatística realizada utilizando o software GraphPad Prism versão 9.0.2, com avaliadores e estatísticos cegos. Os dados foram avaliados por meio de técnicas estatísticas exploratórias, verificando inicialmente a a normalidade e a homogeneidade dos dados através do teste de Shapiro-Wilk e em seguida foram adotadas as análises estatísticas apropriadas para as variáveis. Um teste Anova one-way foi utilizado para verificar a diferença entre os grupos no que se refere à caracterização da amostra.

Foram considerados para aplicação dos testes a presença de três grupos de intervenção: Grupo Exercício Convencional – GEC, Grupo Grupo Restrição do Fluxo Sanguíneo – GRFS e Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo associado e eletroestimulação (GRFS-E). Foi utilizado o teste ANOVA two-way para comparação por grupo e por tempo (pré e pós intervenção) e adotado nível de significância de 0,05 para todas as análises estatísticas.

Os valores de RMS (root mean square) e frequência mediana (FM) foram obtidos na contração isométrica voluntária máxima de 30 segundos em uma angulação de extensão de joelho de 60°, sendo o valor no domínio do tempo normalizado pelo pico do sinal. Foi calculado o Índice de Fadiga da Eletromiografia (EMGFI), obtido pela relação Fmed 3ª janela/ Fmed 1ª janela da mesma contração isométrica de 30 segundos. Os valores de RMS foram normalizados pelo pico máximo de cada sinal.

Os valores de pico de torque e trabalho total foram obtidos no dinamômetro isocinético nas velocidades de 60º/s e 300º/s, respectivamente. Os dados foram normalizados pela massa corporal do voluntário (pico de torque/massa corporal), seguido da extração de uma média aritmética e desvio padrão de cada grupo. Posteriormente, foi calculada a diferença percentual destes valores, considerando a média dos valores normalizados pós intervenção subtraídos da média dos valores normalizados pré intervenção (delta).

5. RESULTADOS

Um total de 60 participantes considerados fisicamente ativos pelo IPAC foram avaliados e randomizados nos três grupos de intervenção: grupo exercício convencional (GEC), grupo restrição de fluxo sanguíneo (GRFS) e grupo restrição de fluxo sanguíneo associado à eletroestimulação neuromuscular (GRFS-E).

Foram excluídos do estudo dez participantes, sendo cinco deles por ausência em treinos consecutivos, quatro deles por doença ou lesão que impediu a realização do treinamento e um participante foi excluído em decorrência da ausência de dados durante a coleta. A amostra final foi composta por 50 voluntários de ambos os sexos, com variáveis antropométricas e de idade demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização da amostra e dados antropométricos:

	Idade (anos)	**Massa corporal (Kg)**	**Estatura (m)**	**IMC (Kg/m²)**
	Md (25-75%)	Méd ± DP	Méd ± DP	Méd ± DP
GEC (n=18)	20 [20-24]	67,52 ± 12,22	1,72 ± 0,08	22,79 ± 2
GRFS (n=18)	22 [19,75-24,25]	69,22 ± 12,14	1,67 ± 0,09	22,63 ± 1,67
GRFS-E (n=14)	20 [19-22]	72,6 ± 13,28	1,71 ± 0,09	22,83 ± 2,3
p	0,33	0,5	0,28	0,15
	Sexo Feminino (%)	**Sexo Masculino (%)**	**p**	
GEC	52,63%	47,37%	0,052	
GRFS	72,22%	27,78%	0,059	
GRFS-E	53,33%	46,67%	0,5	

GEC: Grupo Exercício Convencional; GRFS: Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo; GRFS-E: Grupo Restrição de Fluxo Sanguíneo associado à Eletroestimulação; Kg: quilogramas; m: Metros; IMC: Índice de Massa Corporal; Méd: média; DP: Desvio Padrão; Md: Mediana e intervalo interquartil [25%-75%]

Na Tabela 2, são apresentados os resultados da variável de Pico de Torque (PT) normalizada pela massa corporal de cada voluntário e adotado como medida de força muscular e Trabalho Total (TT), também normalizado com a massa corporal e elegido como medida de resistência muscular,

seguido de um delta de variação dos valores normalizados de cada participante. Após a comparação intra e intergrupo, não houve diferença significativa nas variáveis de força e resistência muscular, assim como nos valores de delta de variação das mesmas variáveis (p>0,05) tanto nos membros dominantes quanto nos não dominantes.

Tabela 2: Resultados das variáveis de força e resistência muscular.

		GEC (n=18)		GRFS (n=18)		GRFS-E (n=14)		
		Méd. DP	**%**	**Méd. DP**	**%**	**Méd. DP**	**%**	**pDELTA**
Pico de Torque/MC D (%)	T0	260,63 +-48,73	7,83	222,64 +-54,04	8,01	250,62 +-48,36	4,46	0,76
	T8	281,03 +-62		240,47 +-64,39		261,81 +-55,75		
Pico de Torque/MC ND (%)	T0	257,87 +-47,31	4,82	221,22 +-55,76	3,1	262,09 +-64,02	1,11	0,72
	T8	270,30 +-61,63		228,07 +-55,07		265,1 +-63,17		
Trabalho Total/MC D (J)	T0	828,70 +-236,89	28,24	790,07 +-371,03	16,08	881,00 +-262,58	12,43	0,36
	T8	1062,71 +-283,92		917,10 +-164,09		990,53 +-312,87		
Trabalho Total/MC ND (J)	T0	859,06 +-253,45	26,68	750,57 +-293,12	23,17	873,15 +-228,15	17,87	0,57
	T8	1088,27 +-340,51		924,49 +-265,77		1029,14 +-277,94		

Legenda: n: Número; GRFS: Grupo restrição de fluxo sanguíneo; GRFS-E: Grupo restrição de fluxo sanguíneo associado à eletroestimulação; GEC: Grupo exercício convencional. T0: Avaliação pré treinamento; T8: Avaliação pós treinamento. Méd.: Média; DP: Desvio padrão; M.: Membro; PT: Pico de torque; TT: Trabalho total; MC: Massa corporal; %: porcentagem; J: Joules.

Nas tabelas 3, 4 e 5 são observados os resultados dos parâmetros de RMS, adotados como variáveis de atividade neuromuscular durante a contração muscular sustentada nos músculos reto femoral, vasto medial e vasto lateral, respectivamente e os deltas de variação de cada variável. Não houve diferença significante intra e intergrupos (p>0,05), exceto para o RMS do vasto medial no teste de contração sustentada a 30º de flexão de joelho do membro não dominante em relação ao GEC e GRFS-E (pDELTA: 0,03).

Tabela 3: Resultados das variáveis de RMS no músculo reto femoral.

		GEC (n=18)		GRFS (n=18)		GRFS-E (n=14)		
		Méd. DP	%	Méd. DP	%	Méd. DP	%	pDELTA
30º D	T0	17,27 +-3,73	2,49	18,46 +-6,80	-2,65	15,80 +-4,60	19,05	0,29
	T8	17,70 +-5,58		17,97 +-2,69		18,81 +-3,19		
30º ND	T0	16,39 +-6,12	-3,23	16,20 +-3,52	6,54	15,89 +-4,78	10,57	0,4
	T8	15,86 +-4,56		17,26 +-3,29		17,57 +-5,46		
60º D	T0	19,59 +-5,84	-4,85	19,92 +-5,34	-1,26	18,37 +-4,27	4,74	0,68
	T8	18,64 +-5,17		19,67 +-5,38		19,24 +-5,52		
60º ND	T0	18,52 +-4,01	5,72	21,17 +-12	-7,23	18,11 +-3,33	3,81	0,47
	T8	19,58 n+-5,88		19,64 +-4,45		18,80 +-2,83		

Legenda: n: Número; GRFS: Grupo restrição de fluxo sanguíneo; GRFS-E: Grupo restrição de fluxo sanguíneo associado à eletroestimulação; GEC: Grupo exercício convencional. T0: Avaliação pré treinamento; T8: Avaliação pós treinamento. Méd.: Média; DP: Desvio padrão; D: Membro dominante; ND: Membro não dominante.

Tabela 4: Resultados das variáveis de RMS no músculo vasto medial.

		GEC (n=18)		GRFS (n=18)		GRFS-E (n=14)		
		Méd. DP	%	Méd. DP	%	Méd. DP	%	pDELTA
30º D	T0	18,30 +-13,80	-14,75	14,10 +-3,74	10,28	13,63 +-5,25	13,5	0,25
	T8	15,60 +-2,77		15,55 +-2,72		15,47 +-1,57		
30º ND	T0	15,50 +-2,32	-12,84	14,23 +-2,74	2,25	14,04 +-2,56	9,69	**0,03***
	T8	13,51 +-3,55		14,55 +-3,10		15,40 +-2,84		
60º D	T0	15,44 +-3,67	1,3	15,70 +-2,48	-0,13	15,79 +-2,84	-3,61	0,86
	T8	15,64 +-2,48		15,68 +-2,28		15,22 +-4,00		
60º ND	T0	16,13 +-2,11	-1,84	14,17 +-2,33	13,34	15,98 +-2,65	0,88	0,21
	T8	16,03 +-2,50		16,06 +-4,28		16,12 +-1,41		

Legenda: n: Número; GRFS: Grupo restrição de fluxo sanguíneo; GRFS-E: Grupo restrição de fluxo sanguíneo associado à eletroestimulação; GEC: Grupo exercício convencional. T0: Avaliação pré treinamento; T8: Avaliação pós treinamento. Méd.: Média; DP: Desvio padrão; D: Membro dominante; ND: Membro não dominante; ***p<0,05.**

Tabela 5: Resultados das variáveis de RMS no músculo vasto lateral.

		GEC (n=18)		GRFS (n=18)		GRFS-E (n=14)		
		Méd. DP	%	Méd. DP	%	Méd. DP	%	pDELTA
30º D	T0	17,09 +-3,72	-3,28	16,20 +-2,46	0,86	15,93 +-3,85	12,24	0,49
	T8	16,53 +-3,39		16,34 +-3		17,88 +-4,70		
30º ND	T0	15,56 +-3,49	-4,31	16,36 +-4,26	1,16	16,54 +-4,34	-0,24	0,8
	T8	14,89 +-4,95		16,55 +-2,87		16,50 +-5,11		
60º D	T0	17,17 +-3,80	-6,35	17,53 +-3,84	3,88	15,67 +-2,80	5,42	0,38
	T8	16,08 +-3,54		18,21 +-4,08		16,52 +-4,43		
60º ND	T0	16,82 +-3,69	2,79	17,53 +-4,17	-3,02	20,45 +-6,72	-14,67	0,15
	T8	17,29 +-4,18		17,00 +-3,75		17,45 +-3,74		

Legenda: n: Número; GRFS: Grupo restrição de fluxo sanguíneo; GRFS-E: Grupo restrição de fluxo sanguíneo associado à eletroestimulação; GEC: Grupo exercício convencional. T0: Avaliação pré treinamento; T8: Avaliação pós treinamento. Méd.: Média; DP: Desvio padrão; D: Membro dominante; ND: Membro não dominante; ***p<0,05.**

Nas tabelas 6, 7 e 8 são observados os resultados dos parâmetros de índice de fadiga da eletromiografia, calculados através do cálculo de delta da frequência mediana das contrações sustentadas em 30º e 60º de flexão de joelho, seguido pelos deltas de variação de cada variável dos músculos reto femoral, vasto medial e vasto lateral respectivamente. Não houve diferença significante intra e intergrupos (p>0,05), exceto para o IFE do vasto lateral, que apresentou diferença significante de diminuição do índice de fadiga quando comparados os deltas do GRFS e GRFS-E (pDELTA: 0,02) no teste em 30º do membro dominante e a 60º do membro não dominante.

Tabela 6: Resultados das variáveis do índice de fadiga da eletromiografia no músculo reto femoral.

		GEC (n=18)		GRFS (n=18)		GRFS-E (n=14)		
		Méd. DP	%	Méd. DP	%	Méd. DP	%	pDELTA
30º D	T0	0,83 +-0,16	-2,41	0,80 +-0,13	-2,5	0,80 +-0,11	-3,75	0,85
	T8	0,81 +-0,17		0,78 +-0,10		0,77 +-0,13		
30º ND	T0	0,83 +-0,17	-4,82	0,83 +-0,13	-3,61	0,84 +-0,19	-1,19	0,85
	T8	0,79 +-0,12		0,80 +-0,11		0,83 +-0,14		
60º D	T0	0,78 +-0,11	2,56	0,73 +-0,11	5,48	0,78 +-0,13	-3,85	0,36
	T8	0,80 +-0,14		0,77 +-0,09		0,75 +-0,09		
60º ND	T0	0,72 +-0,10	6,94	0,75 +-0,09	1,33	0,77 +-0,19	5,19	0,86
	T8	0,77 +-0,08		0,76 +-0,10		0,81 +-0,13		

Legenda: n: Número; GRFS: Grupo restrição de fluxo sanguíneo; GRFS-E: Grupo restrição de fluxo sanguíneo associado à eletroestimulação; GEC: Grupo exercício convencional. T0: Avaliação pré treinamento; T8: Avaliação pós treinamento. Méd.: Média; DP: Desvio padrão; D: Membro dominante; ND: Membro não dominante.

Tabela 7: Resultados das variáveis do índice de fadiga da eletromiografia no músculo vasto medial.

		GEC (n=18)		GRFS (n=18)		GRFS-E (n=14)		
		Méd. DP	%	Méd. DP	%	Méd. DP	%	pDELTA
30º D	T0	0,89 +-0,09	1,12	0,85 +-0,09	0	0,89 +-0,07	0	0,92
	T8	0,90 +-0,09		0,85 +-0,10		0,89 +-0,09		
30º ND	T0	0,88 +-0,12	2,27	0,87 +-0,09	-1,15	0,94 +-0,06	-7,45	0,07
	T8	0,90 +-0,09		0,86 +-0,08		0,87 +-0,09		
60º D	T0	0,85 +-0,22	8,24	0,86 +-0,08	1,16	0,91 +-0,08	0	0,16
	T8	0,92 +-0,08		0,87 +-0,09		0,91 +-0,28		
60º ND	T0	0,84 +-0,22	7,14	0,88 +-0,09	2,27	0,91 +-0,11	-5,49	0,2
	T8	0,90 +-0,13		0,90 +-0,12		0,86 +-0,07		

Legenda: n: Número; GRFS: Grupo restrição de fluxo sanguíneo; GRFS-E: Grupo restrição de fluxo sanguíneo associado à eletroestimulação; GEC: Grupo exercício convencional. T0: Avaliação pré treinamento; T8: Avaliação pós treinamento. Méd.: Média; DP: Desvio padrão; D: Membro dominante; ND: Membro não dominante.

Tabela 8: Resultados das variáveis do índice de fadiga da eletromiografia no músculo vasto lateral.

		GEC (n=18)		GRFS (n=18)		GRFS-E (n=14)		
		Méd. DP	%	Méd. DP	%	Méd. DP	%	pDELTA
30º D	T0	0,88 +-0,12	1,14	0,86 +-0,12	2,33	0,89 +-0,05	-8,99	**0,02***
	T8	0,89 +-0,08		0,88 +-0,08		0,81 +-0,08		
30º ND	T0	0,90 +-0,11	2,22	0,88 +-0,14	-3,41	0,93 +-0,12	-9,68	0,08
	T8	0,92 +-0,09		0,85 +-0,14		0,84 +-0,11		
60º D	T0	0,90 +-0,17	3,33	0,86 +-0,10	1,16	0,88 +-0,07	-9,09	0,7
	T8	0,93 +-0,10		0,87 +-0,07		0,80 +-0,23		
60º ND	T0	0,88 +-0,13	3,41	0,89 +-0,10	5,62	0,90 +-0,12	-6,67	**0,02***
	T8	0,91 +-0,11		0,94 +-0,15		0,84 +-0,08		

Legenda: n: Número; GRFS: Grupo restrição de fluxo sanguíneo; GRFS-E: Grupo restrição de fluxo sanguíneo associado à eletroestimulação; GEC: Grupo exercício convencional. T0: Avaliação pré treinamento; T8: Avaliação pós treinamento. Méd.: Média; DP: Desvio padrão; D: Membro dominante; ND: Membro não dominante; ***p<0,05.**

6. DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou os efeitos do treinamento resistido do músculo quadríceps da maneira convencional e carga elevada em comparação ao treinamento com baixa carga e a intervenção restrição do fluxo sanguíneo quando isolada e associada à eletroestimulação neuromuscular. Dentro dos resultados esperados, a hipótese do estudo seria de igualdade ou superioridade nas variáveis de força, resistência muscular e atividade neuromuscular nas intervenções de baixa carga em relação ao treinamento resistido convencional, que prioriza uma alta carga de resistência com a finalidade de atingir estas adaptações neuromusculares.

Como principais achados, não houve uma diferença significativa em relação aos grupos isolados ou comparados. Não houve ganho de força muscular isocinética e resistência, ou diferença significativa no recrutamento muscular e no índice de fadiga avaliado através da eletromiografia após as oito semanas de treinamento.

Li et al. (2023), também realizaram uma comparação entre treinamento convencional e com a aplicação de restrição de fluxo sanguíneo; como principais achados, também não houve ganho de força muscular no grupo com exercício convencional, corroborando com o presente estudo. No entanto, os voluntários sob condições de restrição de fluxo sanguíneo, obtiveram ganhos consideráveis após a intervenção. O treinamento também seguiu oito semanas de duração, no entanto, todos os participantes passaram por um rodízio de exercícios, que mudaram toda semana, com o objetivo de evitar a adaptação das fibras contráteis ao treinamento resistido e trazer sobrecarga durante todo o processo, diferente do processo de intervenção deste estudo que realizou a extensão de joelho resistida como medida durante todo o período. A força máxima do quadríceps pode ser melhorada sob a sobrecarga metabólica causada pela RFS a níveis mais elevados quando as fibras são expostas à fadiga fisiológica, e Li et al. (2023), optaram pelo exercício até a falha do músculo quadríceps, o que ressalta a diferença de metodologia.

Kong et al. (2022) também realizaram um estudo de comparação entre os tipos de treinamento de quadríceps, incluindo o convencional, restrição de fluxo sanguíneo e eletroestimulação neuromuscular. Foi observado aumento significativo nos parâmetros de força e resistência nos grupos de RFS e associado à eletroestimulação, avaliados com metodologia semelhante ao presente estudo. No entanto, as cargas eram também adaptadas a cada semana de treinamento, estendidas por 12 semanas, o que difere do do presente estudo em relação ao tempo

de treinamento. Fisiologicamente, as adaptações neuromusculares como força e resistência, tendem a se manifestar a partir de oito semanas de treinamento constante, ressaltando a hipótese de haver um ganho maior a partir deste período. Entretanto, a partir da escassez de estudos que associam a RFS com eletroestimulação neuromuscular em diferentes frequências e parâmetros, a restrição de fluxo sanguíneo permanece como uma boa opção para ganho de força e resistência muscular, principalmente na população que possui a preferência por uma menor sobrecarga articular (Cant et al., 2020). Um treinamento com maior variação de métodos de recrutamento associado à sobrecarga metabólica e um período superior a 12 semanas de treinamento é priorizado aos resultados de força muscular.

Em relação à atividade neuromuscular, Lauber et al. (2021) encontraram resultados que não corroboram com o presente estudo; aumento na ativação muscular após os exercícios de baixa carga e sobrecarga metabólica em comparação ao exercício convencional. Porém, os autores optaram por um treinamento de força isométrico, que melhor se assemelha com a forma de avaliação através da eletromiografia de superfície. Sendo assim, durante o treinamento, as fibras musculares foram recrutadas e sobrecarregadas constantemente no mesmo método de contração muscular a que foram avaliadas após o período de treinamento. Wortman et al. (2021) também não encontraram diferença significativa na atividade neuromuscular entre o grupo de treinamento convencional e com RFS. Por outro lado, foram avaliados os efeitos agudos de ambas as intervenções.

Como principais achados, o presente estudo observou um aumento no delta de variação do índice de fadiga da eletromiografia no grupo que associou RFS e eletroestimulação em relação ao grupo que realizou apenas a restrição do fluxo sanguíneo. Os resultados de Wortman et al. (2021) também encontraram um aumento da taxa de fadiga do quadríceps após o protocolo de treinamento, através da avaliação dos dados eletromiográficos, porém nos voluntários que passaram apenas pela sobrecarga metabólica da RFS. Husmann et al. (2018) encontraram resultados que corroboram com os supracitados, onde o desenvolvimento da fadiga muscular durante os exercícios de baixa carga foi exacerbado quando o fluxo sanguíneo foi restringido. Após alguns minutos de contração isométrica, foi observada uma diminuição no desenvolvimento de fadiga, o que pressupõe um estímulo adaptativo para o crescimento muscular, após o declínio da função neuromuscular e sua rápida recuperação, resultado que levou os autores a compreenderem que os exercícios com sobrecarga metabólica são ideais para ganho de força

muscular e hipertrofia a longo prazo, porém não para uma possível melhora no índice de fadiga muscular (Husmann et al., 2018).

Cada vez que uma fibra muscular é ativada, um potencial de ação é disparado e conduzido pelo nervo motor. Esse sinal elétrico é emitido pela fibra muscular e detectado pela eletromiografia. Quando a fadiga é analisada, as variáveis de frequência, principalmente frequência mediada, refletem o nível de recrutamento das fibras e sua velocidade média de condução, uma vez que essa velocidade diminui proporcionalmente ao tempo de contração sustentada e a torna uma opção de avaliação de fadiga (Skrzat et al., 2020). Uma vez que a eletroestimulação neuromuscular possui como principal hipótese fisiológica a maior ativação de potenciais de ação e estímulo de recrutamento (Pindifildi et al., 2018), é pressuposto que a eletroestimulação gere uma maior ativação de potenciais de ação, o que provoca simultaneamente contrações musculares voluntárias e involuntárias durante todo o período das quatro séries propostas pelo protocolo de treinamento com RFS. Com um nível de recrutamento e velocidade média de condução altos, a velocidade de contração tende a diminuir mais rapidamente, influenciando diretamente na variável de frequência mediana avaliada pela eletromiografia.

Diante dos presentes achados, se evidencia a necessidade de novos estudos que comparem a associação entre a eletroestimulação neuromuscular e a restrição de fluxo sanguíneo com outras técnicas de fortalecimento para a musculatura do quadríceps e quais seus efeitos na atividade neuromuscular e força a longo prazo, a partir de 12 semanas de treinamento, principalmente na população fisicamente ativa. Ambas as técnicas já possuem evidências na literatura de sua eficácia, porém ao associarmos seus benefícios a uma quase nula sobrecarga mecânica, a hipótese de adaptações neuromusculares crônicas e relevantes requerem atenção e maior número de estudos que comprovem seu real benefício.

7. CONCLUSÃO

Foi possível concluir que oito semanas de treinamento de força, não foram capazes de modificar os parâmetros de força, resistência, ativação muscular e índice de fadiga eletromiográfica no músculo quadríceps em nenhum dos métodos de treinamento avaliados. Além disso, foi possível concluir que, em relação à amostra considerada, não houve superioridade entre os métodos de treinamento de força muscular em indivíduos fisicamente ativos.

8. REFERÊNCIAS

ACSM American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. Med. Sci. Sports Exerc. 2009;41:687–708.

Ashton R.E., Tew G.A., Aning J.J., Gilbert S.E., Lewis L., Saxton J.M. Effects ofshort-term, medium-term and long-term resistance exercise training on cardiometabolic health outcomes in adults: Systematic review with meta-analysis. Br. J. Sports Med. 2020;54:341–348.

Balshaw TG, Massey GJ, Maden-Wilkinson TM, Morales-Artacho AJ, McKeown A, Appleby CL, et al. Changes in agonist neural drive, hypertrophy and pre-training strength all contribute to the individual strength gains after resistance training. Eur J Appl Physiol. 2017;117(4):631–40.

Barbalho, M., Coswig, V., Souza, D., Serrão, J. C., Hebling Campos, M., & Gentil, P. (2020). Back Squat vsHip Thrust Resistance-training Programs in Well-trained Women. International Journal of Sports Medicine, 41(5), 306–310. https://doi.org/10.1055/a-1082-1126

Bax, L., Staes, F., & Verhagen, A. (2005). Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 35(3), 191–212.

Beato M, Maroto-Izquierdo S, Turner AN, Bishop C. Implementing Strength Training Strategies for Injury Prevention in Soccer: Scientific Rationale and Methodological Recommendations. Int J Sports Physiol Perform. 2021 Mar 1;16(3):456-461.

Bergamasco, J. G. A., Alvarez, I. F., Biazon, T. M. P. C., Ugrinowitsch, C., & Augusto Libardi, C. (2022). Effects of Blood Flow Restriction Combined With Resistance Training or Neuromuscular Electrostimulation on Muscle Cross-Sectional Area. Journal of sport rehabilitation, 31(3), 319–324.

Benfica, P. D. A., Aguiar, L. T., Brito, S. A. F., Bernardino, L. H. N., Teixeira-Salmela, L. F., & Faria, C. D. C. M. (2018). Reference values for muscle strength: a systematic review with a descriptive meta-analysis. Brazilian journal of physical therapy, 22(5), 355–369.

Bordessa, J. M., Hearn, M. C., Reinfeldt, A. E., Smith, T. A., Baweja, H. S., Levy, S. S., & Rosenthal, M. D. (2021). Comparison of blood flow restriction devices and their effect on quadriceps muscle activation. Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine, 49, 90–97.

Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, et al. Proximal, distal, and contralateral effects of blood flow restriction training on the lower extremities: a randomized controlled trial. Sports Health. 2019; 11:149–56.

Buckner SL, Mouser JG, Jessee MB, Dankel SJ, Mattocks KT, Loenneke JP. What does individual strength say about resistance training status? Muscle Nerve. 2017;55:455–7.

Cant, VJ., Dawe-Coz, A., Aoun, E., & Esculier, J. F. (2020). Quadriceps strengthening with blood flow restriction for the rehabilitation of patients with knee conditions: A systematic review with meta-analysis. Journal of back and musculoskeletal rehabilitation, 33(4), 529–544.

Cartee, G. D., Hepple, R. T., Bamman, M. M., & Zierath, J. R. (2016). Exercise Promotes Healthy Aging of Skeletal Muscle. Cell metabolism, 23(6), 1034–1047.

Clark, N. C., Reilly, L. J., & Davies, S. C. (2019). Intra-rater reliability, measurement precision, and inter-test correlations of 1RM single-leg leg-press, knee-flexion, and knee-extension in uninjured adult agility-sport athletes: Considerations for right and left unilateral measurements in knee injury c. Physical Therapy in Sport, 40, 128–136.

Coffey T.H. Delorme method of restoration of muscle power by heavy resistance exercises. Treat. Serv. Bull. Can. Dep. Veterans' Aff. 1946;1:8–11

Cvjetkovic, D. D., Bijeljac, S., Palija, S., Talic, G., Radulovic, T. N., Kosanovic, M. G., & Manojlovic, S. (2015). Isokinetic Testing in Evaluation Rehabilitation Outcome After ACL Reconstruction. Medical Archives (Sarajevo, Bosnia and Herzegovina), 69(1), 21–23.

Dean, R. S., Dephillipo, N. N., Kiely, M. T., Schwery, N. A., Monson, J. K., & Laprade, R. F. (2022). Femur Length is Correlated with Isometric Quadriceps Strength in Post-Operative Patients. International Journal of Sports Physical Therapy, 17(4), 628–635. https://doi.org/10.26603/001C.35704

Deones, V. I., & Steven C. Wiley, T. W. (1994). Assessment of Quadriceps Muscle Performance by a hand-held Dynamometer and an Isokinetic Dynamometer. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 20(6).

Djalalvandi, A., Scorrano, L. (2022). Mitochondrial dynamics: roles in exercise physiology and muscle mass regulation. Current Opinion in Physiology 27:100550.

Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *The American journal of sports medicine*, *39*(6), 1226–1232.

Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating Fatigue to Human Performance. Medicine and science in sports and exercise, 48(11), 2228–2238.

Erickson, L. N., Lucas, K. C. H., Davis, K. A., Jacobs, C. A., Thompson, K. L., Hardy, P. A., Andersen, A. H., Fry, C. S., & Noehren, B. W. (2019). Effect of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Strength, Morphology, Physiology, and Knee Biomechanics Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Physical therapy*, *99*(8), 1010–1019.

Flandry, F., & Hommel, G. (2011). Normal anatomy and biomechanics of the knee. Sports medicine and arthroscopy review, 19(2), 82–92.

Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 37(2), 145–168.

Gash MC, Kandle PF, Murray IV, Varacallo M. Physiology, Muscle Contraction. 2023 Apr 1. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan–. PMID: 30725825.

"Gait Analysis: Normal and Pathological Function." *Journal of Sports Science & Medicine* vol. 9,2 353. 1 Jun. 2010

Gomi, M., Hirano, M., & Kato, M. (2020). Validity of isometric muscle strength measurements of the shoulder joint using a hand-held dynamometer and belt: A comparison with an isokinetic dynamometer. The Journal of Physical Therapy Science, 30(2), 120–124. https://doi.org/10.1589/rika.30.317

Granata, C., Oliveira, R. S., Little, J. P., Renner, K., & Bishop, D. J. (2016). Mitochondrial adaptations to high-volume exercise training are rapidly reversed after a reduction in training volume in human skeletal muscle. FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology, 30(10), 3413–3423.

Hainaut, K., & Duchateau, J. (1992). Neuromuscular electrical stimulation and voluntary contraction. Sports Medicine, 14(2), 100–113.

Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature metabolism*, *2*(9), 817–828.

Hasan, S., Alonazi, A., Anwer, S., Jamal, A., Parvez, S., Alfaiz, F. A. S., & Li, H. (2022). Efficacy of Patellar Taping and Electromyographic Biofeedback Training at Various Knee Angles on Quadriceps Strength and Functional Performance in Young Adult Male Athletes with Patellofemoral Pain Syndrome: A Randomized Controlled Trial. Pain research & management, 2022, 8717932.

Hedt, C., McCulloch, P. C., Harris, J. D., & Lambert, B. S. (2022). Blood Flow Restriction Enhances Rehabilitation and Return to Sport: The Paradox of Proximal Performance. Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation, 4(1), e51–e63.

Heidel, K. A., Novak, Z. J., & Dankel, S. J. (2022). Machines and free weight exercises: a systematic review and meta-analysis comparing changes in muscle size, strength, and power. The Journal of sports medicine and physical fitness, 62(8), 1061–1070.

Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Excitability and inhibitibility of motoneurons of different sizes. J Neurophysiol. 1965;28(3):599–620.

Hogrel, J. Y., Benveniste, O., & Bachasson, D. (2020). Routine monitoring of isometric knee extension strength in patients with muscle impairments using a new portable device: Crossvalidation against a standard isokinetic dynamometer. Physiological Measurement, 41(1), 0–8. https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab6b49

Hopwood, H. J., Bellinger, P. M., Compton, H. R., Bourne, M. N., & Minahan, C. (2023). The Relevance of Muscle Fiber Type to Physical Characteristics and Performance in Team-Sport Athletes. *International journal of sports physiology and performance*, *18*(3), 223–230.

Hughes, D. C., Ellefsen, S., & Baar, K. (2018). Adaptations to Endurance and Strength Training. Cold Spring Harbor perspectives in medicine, 8(6), a029769.

Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, et al. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. Br. J. Sports Med. 2017; 51:1003–11.

Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., Paton, B., & Patterson, S. D. (2019). Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. Sports Medicine, 49(11), 1787–1805.

Husmann, F., Mittlmeier, T., Bruhn, S., Zschorlich, V., & Behrens, M. (2018). Impact of Blood Flow Restriction Exercise on Muscle Fatigue Development and Recovery. Medicine and science in sports and exercise, 50(3), 436–446.

Kilgas, M. A., Yoon, T., McDaniel, J., Phillips, K. C., & Elmer, S. J. (2022). Physiological Responses to Acute Cycling With Blood Flow Restriction. Frontiers in Physiology, 13(March), 20–30. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.800155

Klika, A. K., Yakubek, G., Piuzzi, N., Calabrese, G., Barsoum, W. K., & Higuera, C. A. (2022). Neuromuscular Electrical Stimulation Use after Total Knee Arthroplasty Improves Early Return to Function: A Randomized Trial. The journal of knee surgery, 35(1), 104–111.

Kong, D. H., Jung, W. S., Yang, S. J., Kim, J. G., Park, H. Y., & Kim, J. (2022). Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation and Blood Flow Restriction in Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. International journal of environmental research and public health, 19(22), 15041.

Kraemer W.J., Ratamess N.A., Flanagan S.D., Shurley J.P., Todd J.S., Todd T.C. Understanding the science of resistance training: An evolutionary perspective. Sports Med. 2017;47:2415–2435.

Lacio, M., Vieira, J. G., Trybulski, R., Campos, Y., Santana, D., Filho, J. E., Novaes, J., Vianna, J., & Wilk, M. (2021). Effects of Resistance Training Performed with Different Loads in Untrained and Trained Male Adult Individuals on Maximal Strength and Muscle Hypertrophy: A Systematic Review. International journal of environmental research and public health, 18(21), 11237.

Lauber, B., König, D., Gollhofer, A., & Centner, C. (2021). Isometric blood flow restriction exercise: acute physiological and neuromuscular responses. BMC sports science, medicine & rehabilitation, 13(1), 12.

Lepley LK. Deficits in quadriceps strength and patient-oriented outcomes at return to activity after ACL reconstruction: A review of the current literature. *Sports Health.* 2015;**7**:231–238.

Lievens, E., Klass, M., Bex, T., & Derave, W. (2020). Muscle fiber typology substantially influences time to recover from high-intensity exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985), 128*(3), 648–659.

Li, X., Li, J., Qing, L., Wang, H., Ma, H., & Huang, P. (2023). Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled external pilot study. BMC musculoskeletal disorders, 24(1), 360.

Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, et al. Potential safety issues with blood flow restriction training. Scand. J. Med. Sci. Sports. 2011; 21:510–8.

Lorenz, Daniel S et al. “Blood Flow Restriction Training.” Journal of athletic training vol. 56,9 (2021): 937-944. doi:10.4085/418-20

Lum, D., & Barbosa, T. M. (2019). Brief Review: Effects of Isometric Strength Training on Strength and Dynamic Performance. International journal of sports medicine, 40(6), 363–375.

Martimbianco, A. L. C., Torloni, M. R., Andriolo, B. N., Porfírio, G. J., & Riera, R. (2017). Neuromuscular electrical stimulation (NMES) for patellofemoral pain syndrome. The Cochrane database of systematic reviews, 12(12), CD011289.

Martin, Peter Mitchell DO; Bart, Ryan M. DO, DipABLM; Ashley, Robert L. MD; Velasco, Teonette PT, DPT, OCS; Sábio, Sean R. MD, CAQSM, RMSK, FAAFP . Uma Visão Geral da Fisiologia da Restrição do Fluxo Sanguíneo e Considerações Clínicas. Relatórios atuais de medicina esportiva 21(4):p 123-128, abril de 2022.

McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2019). Why is it Crucial to Use Personalized Occlusion Pressures in Blood Flow Restriction (BFR) Rehabilitation? Journal of Medical and Biological Engineering, 39(2), 173–177. https://doi.org/10.1007/s40846-018-0397-7.

Merletti, R. Standards for Reporting EMG Data. Journal of Electromyography and Kinesiology, 1999. Fev. 1999: 9(1):III-IV.

Mettler, J. A., Magee, D. M., & Doucet, B. M. (2018). High-Frequency Neuromuscular Electrical Stimulation Increases Anabolic Signaling. Medicine and science in sports and exercise, 50(8), 1540–1548.

Millet GY. Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons? The flush model. Sports Med. 2011;41(6):489–506.

Mills K. R. (2005). The basics of electromyography. Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry, 76 Suppl 2(Suppl 2), ii32–ii35.

Moher D, Hopewell S, Schulz KF, Montori V, Gøtzsche PC, Devereaux PJ, Elbourne D, Egger M, Altman DG, for the CONSORT Group. CONSORT 2010 Explanation and Elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trial.

Munsch, A. E., Evans-Pickett, A., Davis-Wilson, H., Pietrosimone, B., & Franz, J. R. (2022). Quadriceps Muscle Action and Association With Knee Joint Biomechanics in Individuals with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Journal of applied biomechanics, 38(5), 328–335.

Natsume, T., Ozaki, H., Saito, A. I., Abe, T., & Naito, H. (2015). Effects of Electrostimulation with Blood Flow Restriction on Muscle Size and Strength. Medicine and science in sports and exercise, 47(12), 2621–2627.

Noyes, F. R., Barber-Westin, S. D., & Sipes, L. (2021). Blood Flow Restriction Training Can Improve Peak Torque Strength in Chronic Atrophic Postoperative Quadriceps and Hamstrings Muscles. Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, 37(9), 2860–2869.

Nuzzo J. L. (2023). Narrative Review of Sex Differences in Muscle Strength, Endurance, Activation, Size, Fiber Type, and Strength Training Participation Rates, Preferences, Motivations, Injuries, and Neuromuscular Adaptations. Journal of strength and conditioning research, 37(2), 494–536.

Pardos-Mainer E, Lozano D, Torrontegui-Duarte M, Cartón-Llorente A, Roso-Moliner A. Effects of Strength vs. Plyometric Training Programs on Vertical Jumping, Linear Sprint and Change of Direction Speed Performance in Female Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2021 Jan 6;18(2):401.

Patterson SD, Hughes L, Warmington S, et al. Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. Front. Physiol. 2019; 10:533.

Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med*. 2015; 45 (2): 187–200.

Pérez-Gómez, J., Adsuar, J. C., Alcaraz, P. E., & Carlos-Vivas, J. (2022). Physical exercises for preventing injuries among adult male football players: A systematic review. *Journal of sport and health science*, *11*(1), 115–122.

Pinfildi, C. E., Andraus, R. A. C., Iida, L. M., & Prado, R. P. (2018). NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION OF MEDIUM AND LOW FREQUENCY ON THE QUADRICEPS FEMORIS. Acta ortopedica brasileira, 26(5), 346–349.

Pyka, G., Lindenberger, E., Charette, S., & Marcus, R. (1994). Muscle strength and fiber adaptations to a year-long resistance training program in elderly men and women. Journal of gerontology, 49(1), M22–M27.

Rahmati, M., Gondin, J., & Malakoutinia, F. (2021). Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation on Quadriceps Muscle Strength and Mass in Healthy Young and Older Adults: A Scoping Review. Physical therapy, 101(9), pzab144.

Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B., & Reid, W. D. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. British journal of sports medicine, 43(8), 556–568.

Risberg, M. A., Steffen, K., Nilstad, A., Myklebust, G., Kristianslund, E., Moltubakk, M. M., & Krosshaug, T. (2018). Normative Quadriceps and Hamstring Muscle Strength Values for Female, Healthy, Elite Handball and Football Players. Journal of strength and conditioning research, 32(8), 2314–2323.

Sabah, H. M. A. E., & Labib, H. S. A. (2022). Assessment of neuromuscular electrical stimulation effect on contralateral quadriceps muscle. Journal of bodywork and movement therapies, 31, 84–89.

Sahlin, K., Tonkonogi, M. & Söderlund, K. Energy supply and muscle fatigue in humans. Acta Physiol. Scand. 162, 261–266 (1998).

Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. Journal of strength and conditioning research, 31(12), 3508–3523.

Schoenfeld, B. J., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., & Sonmez, G. T. (2015). Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in WellTrained Men. Journal of Strength and Conditioning Research, 29(10), 2954–2963.

Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. Sports Med. Auckl NZ. 2015; 45:313–25.

Skrzat, JM, Carp, SJ, Dai, T, Lauer, R, Hiremath, SV, Gaeckle, N, Tucker, CA. Uso de eletromiografia de superfície para medir a fadiga muscular em pacientes em um hospital de cuidados agudos, Fisioterapia , Volume 100, Edição 6, Junho de 2020, páginas 897–906.

Slysz, J. T., & Burr, J. F. (2018). The Effects of Blood Flow Restricted Electrostimulation on Strength and Hypertrophy. Journal of sport rehabilitation, 27(3), 257–262.

Sousa, N. T. A. d. (2018). Análise da eficácia da estimulação elétrica neuromuscular durante a oclusão do fluxo sanguíneo, no desempenho funcional e hipertrofia muscular, em atletas de basquete de alto rendimento. Ensaio clínico randomizado cego.

Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 48(4), 765–785.

Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. Sports Med. 2016;46(10):1419–49.

Sweeney, H. L., & Hammers, D. W. (2018). Muscle Contraction. Cold Spring Harbor perspectives in biology, 10(2), a023200.

Tiller, N. B., Elliott-Sale, K. J., Knechtle, B., Wilson, P. B., Roberts, J. D., & Millet, G. Y. (2021). Do Sex Differences in Physiology Confer a Female Advantage in Ultra-Endurance Sport?. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 51(5), 895–915.

Toth, M. J., Tourville, T. W., Voigt, T. B., Choquette, R. H., Anair, B. M., Falcone, M. J., Failla, M. J., Stevens-Lapslaey, J. E., Endres, N. K., Slauterbeck, J. R., & Beynnon, B. D. (2020). Utility of Neuromuscular Electrical Stimulation to Preserve Quadriceps Muscle Fiber Size and Contractility After Anterior Cruciate Ligament Injuries and Reconstruction: A Randomized, Sham-Controlled, Blinded Trial. The American journal of sports medicine, 48(10), 2429–2437.

Tourville TW, Jarrell KM, Naud S, Slauterbeck JR, Johnson RJ, Beynnon BD. Relação entre força isocinética e alterações na largura do espaço articular tibiofemoral após reconstrução do ligamento cruzado anterior . *Sou J Sports Med* . 2014; 42 :302–311.

Truong, A. D., Kho, M. E., Brower, R. G., Feldman, D. R., Colantuoni, E., & Needham, D. M. (2017). Effects of neuromuscular electrical stimulation on cytokines in peripheral blood for

healthy participants: a prospective, single-blinded Study. Clinical Physiology and Functional Imaging, 37(3), 255–262. https://doi.org/10.1111/cpf.12290

Vecchio A, Ubeda A, Sartori M, Azorin JM, Felici F & Farina D (2018d). Central nervous system modulates the neuromechanical delay in a broad range for the control of muscle force. J Appl Physiol 125, 1404–1410.

Yamato, T., Maher, C., Saragiotto, B., Moseley, A., Hoffmann, T., Elkins, M., & Abbott, J. H. (2016). The TIDieR Checklist Will Benefit the Physical Therapy Profession. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, *46*(6), 402–404. https://doi.org/10.2519/jospt.2016.0108

Watanabe, K., Takada, T., Kawade, S., & Moritani, T. (2021). Effect of exercise intensity on metabolic responses on combined application of electrical stimulation and voluntary exercise. Physiological Reports, 9(3), 1–9.

Westcott W.L. Resistance training is medicine: Effects of strength training on health. Curr. Sports Med. Rep. 2012;11:209–216.

Wortman, R. J., Brown, S. M., Savage-Elliott, I., Finley, Z. J., & Mulcahey, M. K. (2021). Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. The American journal of sports medicine, 49(7), 1938–1944.

Zvijac, J. E., Toriscelli, T. A., Merrick, W. S., Papp, D. F., & Kiebzak, G. M. (2014). Isokinetic concentric quadriceps and hamstring normative data for elite collegiate American football players participating in the NFL scouting combine. Journal of Strength and Conditioning Research, 28(4), 875–883. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a20f19

9. ANEXOS

Anexo I - Parecer consubstanciado do Comitê de Ética e Pesquisa

UNESP - FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS - CAMPUS DE MARÍLIA

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA COM RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO ASSOCIADO A ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO

Pesquisador: CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 63810022.7.0000.5406

Instituição Proponente: Faculdade de Filosofia e Ciências/ UNESP - Campus de Marília

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.809.107

Apresentação do Projeto:

O projeto EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA COM RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO ASSOCIADO A ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO foi submetido em 09/11/2022,CAAE: 63810022.7.0000.5406, tendo como pesquisador responsável a Dra Cristiane Rodrigues Pedroni. O projeto apresenta todos os elementos textuais para análise ética, com boa contextualização do tema e embasado cientificamente com bibliografia atualizada, deixa claro hipótese e justificativa do estudo. Também apresenta os procedimentos metodológicos, os quais estão bem descritos, delineados e de acordo com os objetivos que pretende alcançar.

Caracteriza-se como uma pesquisa de ensaio clínico que tem como temática principal o desempenho muscular após tratamentos específicos (restrição de fluxo sanguíneo e estimulação elétrica neuromuscular do quadríceps).

A amostra será composta por 60 participantes fisicamente ativos, que serão submetido em avaliações do torque muscular, atividade eletromiográfica e exames de imagem (ultrassom).

Objetivo da Pesquisa:

Avaliar os efeitos do treinamento de força com restrição de fluxo sanguíneo associado a estimulação elétrica neuromuscular de quadríceps em sujeitos fisicamente ativos.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Pode ser que você sinta algum desconforto muscular durante a aplicação das técnica ou após algumas horas, pois ele é baseado na execução de exercícios de fortalecimento, ou seja, é possível sentir algum tipo de "queimação" durante o esforço ou dor nos músculos trabalhados nos dias seguintes, sintomas semelhantes ao percebido quando se faz um plano de fortalecimento em academia. Outro desconforto possível é a pressão causada pelo manguito de oclusão do fluxo sanguíneo ou pela sensação de "choque" causada pelo equipamento de eletroestimulação. Porém, independente de qual grupo você for sorteado a participar, nenhum desses desconfortos, se acontecer, será grande nem prejudicial, tampouco impedem que você execute qualquer exercício durante ou após o protocolo. Também pode ser que você se canse durante os exercícios já que estaremos tentando fortalecer sua musculatura da coxa com carga (pesos). No entanto, se isso acontecer, em poucas horas você estará recuperado(a), independente de qual grupo participar. De qualquer forma, caso qualquer desconforto ou caso sua sensação de fadiga seja excessiva, sua participação será interrompida e você será encaminhado para o nosso setor de reabilitação para que possamos utilizar técnicas precisas de fisioterapia para recuperação do seu músculo ou para diminuição da dor ou de qualquer outro tipo de desconforto que possa sentir. É importante que saiba que todas as avaliações e intervenções são métodos seguros e estão embasados na literatura científica e você também terá todo o suporte necessário por parte dos pesquisadores caso haja alguma intercorrência ou dúvida a respeito da sua participação.

Também destacamos que vamos executar treino de fortalecimento dos músculos das suas duas pernas, porém só uma será sorteada para receber a restrição de fluxo com ou sem eletroestimulação. Isso significa que, apesar de obter benefício direto de fortalecimento nas duas pernas, o resultado da pesquisa pode indicar que praticar o exercício com uma dessas técnicas pode ser mais vantajoso ou não oferece nenhum benefício a mais do que apenas o exercício. No entanto, a respeito de melhora específica de uma técnica a pesquisadora informa que cada voluntário será informado, ao final da pesquisa, qual foi o resultado, e terá o oferecimento de continuidade do treinamento, com o recurso mais "vantajoso" caso, de fato, isso seja identificado, até que as diferenças entre os membros fiquem em níveis clínicos aceitáveis, além de orientações para adotar os procedimentos na rotina de treinos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa, estruturada como um ensaio clínico, está bem delimitada e contribuirá para aumentar o conhecimento sobre uma possibilidade de intervenção que pode potencializar o ganho no desempenho muscular e atlético.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Que todos os termos/documentos obrigatórios foram apresentados de forma satisfatória na Plataforma Brasil.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

O CEP da FFC da UNESP de MARÍLIA, após acatar o parecer do membro relator previamente aprovado para o presente estudo e atendendo a todos os dispositivos das resoluções 466/2012, 510/2016 e complementares, bem como ter aprovado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido como também todos os anexos incluídos na pesquisa, resolve APROVAR a pesquisa "EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA COM RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO ASSOCIADO A ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO".

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2024918.pdf	07/12/2022 09:07:36		Aceito
Declaração de Pesquisadores	compromissoCEP.pdf	07/12/2022 09:07:18	CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	finalnovotcle.pdf	07/12/2022 09:06:46	CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	novotcle.pdf	09/11/2022 16:33:11	CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI	Aceito
Cronograma	Cronograma.pdf	29/09/2022 16:08:18	CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	autorizacao.pdf	27/09/2022 16:36:13	CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura	FINALPROJETOOCLUSAO.pdf	27/09/2022 16:35:21	CRISTIANE RODRIGUES	Aceito

Investigador	FINALPROJETOOCLUSAO.pdf	27/09/2022 16:35:21	PEDRONI	Aceito
Folha de Rosto	firostoassinad.pdf	27/09/2022 16:30:17	CRISTIANE RODRIGUES PEDRONI	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

MARILIA, 12 de Dezembro de 2022

Assinado por:
Rachel Cristina Vesu Alves
(Coordenador(a))