UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UNIEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MOVIMENTO HUMANO E REABILITAÇÃO- PPGMHR

POTENCIALIZAÇÃO DO DESEPENHO MUSCULAR ESQUELÉTICO ATRAVÉS DE NOVAS TECNOLOGIAS APLICADAS À SAÚDE: NOVOS ACHADOS SOBRE HIPERTOFIA MUSCULAR E A FORÇA INDUZIDOS POR CAMPO ELETROMAGNÉTICO PULSADO

PEDRO AUGUSTO QUERIDO INACIO

Anápolis, GO
2025

UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UNIEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MOVIMENTO HUMANO E REABILITAÇÃO- PPGMHR

PEDRO AUGUSTO QUERIDO INACIO

POTENCIALIZAÇÃO DO DESEPENHO MUSCULAR ESQUELÉTICO ATRAVÉS DE NOVAS TECNOLOGIAS APLICADAS À SAÚDE: NOVOS ACHADOS SOBRE HIPERTOFIA MUSCULAR E A FORÇA INDUZIDOS POR CAMPO ELETROMAGNÉTICO PULSADO

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Movimento Humano e Reabilitação da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA para qualificação no Mestrado em Movimento Humano e Reabilitação.

Orientador: Dr. Alberto Souza de Sá Filho
Co-orientador: Dr. Rodrigo Alvaro Brandão Lopes Martins

Anápolis, GO
2025

I35

Inácio, Pedro Augusto Querido.

Potencialização do desempenho muscular esquelético através de novas tecnologias aplicadas à saúde: novos achados sobre hipertrofia muscular e a força induzidos por campo eletromagnético pulsado / Pedro Augusto Querido Inácio – Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2025. 52p.; il.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Souza de Sá Filho.

Co-Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Álvaro Brandão Lopes Martins

Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em Movimento Humano e Reabilitação – Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica, 2025.

1. Hipertrofia 2. PEMF 3. Força I. Sá Filho, Alberto Souza de II. Martins, Rodrigo Álvaro Brandão Lopes II. Título

CDU 615.8

Catalogação na Fonte
Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038

FOLHA DE APROVAÇÃO

POTENCIALIZAÇÃO DO DESEMPENHO MUSCULAR ESQUELÉTICO ATRAVÉS DE NOVAS TECNOLOGIAS APLICADAS À SAÚDE: NOVOS ACHADOS SOBRE HIPERTOFIA MUSCULAR E A FORÇA INDUZIDOS POR CAMPO ELETROMAGNÉTICO PULSADO

PEDRO AUGUSTO QUERIDO INACIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Movimento Humano e Reabilitação -PPGMHR da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA como requisito parcial à obtenção do grau de **MESTRE**.

Aprovado em 21 de março de 2025.

Linha de Pesquisa: Efeitos Agudos e Crônicos do Exercício Físico (BMH)

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
ALBERTO SOUZA DE SA FILHO
Data: 21/03/2025 19:10:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Alberto Souza de Sá Filho

Documento assinado digitalmente
gov.br
IRANSE OLIVEIRA SILVA
Data: 24/03/2025 18:15:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Iransé Oliveira Silva

Documento assinado digitalmente
gov.br
EDUARDO DA MATTA MELLO PORTUGAL
Data: 24/03/2025 17:47:23-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Eduardo da Matta Mello Portugal

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PEMF	Campo eltromagnetico pulsado
MMII	Membros Inferiores
EM	Espessura Muscular
US	Ultrasson
AST	Aréa de Secção Transvesa
PSE	Percpção Subjetiva de Esforço
ERT	Escala de Recuperação total
HZ	Heartz
RF	Reto Femoral
VL	Vasto Lateral
VT	Volume total
VTLOAD	Volume total de carga
1RM	Uma Repetição Máxima
EXT	Treinamento Resistido em Cadeira Extensora
ICC	Coeficiente de Correlação Intraclasse
ANOVA	Análise de Variância
IC95%	Intervalo de Confiança de 95%
mTOR	Alvo da Rapamicina em Mamíferos
p70S6K	Quinase Ribossômica S6
FOXO	Fator de Transcrição Forkhead
VEGF	Fator de Crescimento Endotelial Vascular

CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL

O avanço das tecnologias aplicadas à saúde tem proporcionado novas estratégias para potencializar o desempenho muscular, especialmente em indivíduos destreinados ou em populações com limitações funcionais. Dentro desse contexto, os campos eletromagnéticos pulsados (PEMF) emergem como uma abordagem inovadora, com potencial para induzir adaptações musculares sem a necessidade de exercícios físicos convencionais. Os estudos apresentados neste trabalho exploram essa temática, investigando os efeitos do PEMF sobre parâmetros de hipertrofia e força muscular, comparando-os ao treinamento resistido tradicional.

No Artigo 1, foi conduzido um estudo piloto para examinar os impactos do PEMF na espessura do músculo reto femoral e na força máxima de mulheres destreinadas ao longo de um protocolo de oito semanas. Cada participante teve uma perna submetida ao PEMF e a outra ao treinamento resistido tradicional, permitindo uma análise intraindivíduo. Os resultados indicaram que ambos os métodos promoveram incrementos na força muscular, sem diferenças significativas entre as intervenções. No entanto, os ganhos em espessura muscular não foram expressivos, sugerindo que a exposição ao PEMF pode necessitar de um período mais longo para desencadear adaptações hipertróficas mensuráveis.

Já o Artigo 2 ampliou essa investigação com um estudo controlado randomizado, incluindo uma amostra maior e analisando não apenas os efeitos na espessura muscular e força máxima, mas também na resistência de força. A pesquisa indicou que o PEMF pode promover adaptações semelhantes ao treinamento resistido, tanto no ganho de força máxima quanto na resistência muscular. Embora as evidências sejam preliminares, os achados reforçam o potencial do PEMF como uma alternativa viável para populações que enfrentam barreiras para a prática de exercícios convencionais.

Juntos, esses estudos contribuem para o entendimento dos efeitos dos campos eletromagnéticos pulsados na musculatura esquelética, abrindo caminho para futuras pesquisas que possam aprofundar a aplicação dessa tecnologia em contextos clínicos e de reabilitação, bem como sua possível utilização como complemento ao treinamento físico tradicional.

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação foi construída a partir de um projeto de extensão, onde coletou-se de forma continuada dados, estabelecendo diferentes parâmetros de desempenho, tendo, sobretudo, as respostas de alteração sobre espessua muscular e força como cerne de estudo. A partir das análises, chegou-se ao primeiro estudo desta dissertação, intitulado: “Uma Nova Tecnologia Baseada em Campos de Pulso Eletromagnético Pode Gerar Ganhos de Força e Hipertrofia Semelhantes ao Treinamento Resistido em Mulheres Não Treinadas? Um Estudo Piloto”, na qual será enviado ao periódico Espanhol: Retos - nuevas tendencias en educación física deporte y recreación (Web of Science Q2). De forma adicional, alinhando-se a temática inicial, gerou-se o segundo trabalho intitulado: “Tecnologias de Campos Eletromagnéticos Pulsáteis Geram Ganhos de Força e Hipetrofia Similares ao Treinamento Resistido? Um Estudo Controlado Randomizado em Participantes Destreinados”, que será devidamente submetido ao periódico J Strength Cond Res (Web of Science Q1).

ARTIGO 1

UMA NOVA TECNOLOGIA BASEADA EM CAMPOS DE PULSO ELETROMAGNÉTICO PODE GERAR GANHOS DE FORÇA E HIPERTROFIA SEMELHANTES AO TREINAMENTO RESISTIDO EM MULHERES NÃO TREINADAS? UM ESTUDO PILOTO

RESUMO

Introdução:O campo eletromagnético pulsátil é uma tecnologia que vem ganhando inúmeros adeptos, é devido aos seus resultados promissores em estudos de modelos animais, como aumento de espessura muscular e manutenção da mesma, existe um interesse científico em saber seus efeitos em pessoas saudáveis.**Métodos:** Este estudo se trata de um modelo piloto com o objetivo de investigar os efeitos de aplicação por 8 semanas de PEMF(campo eletromagnético pulsátil), sobre o músculo reto femoral , em participantes destreinados, investigamos desfechos como aumento de espessura muscular (hipertrofia) e ganho de força, para tal adotamos um modelo dentro do sujeito, onde cada perna foi aleatorizada para o procedimento PEMF é membro contralateral treinamento resistido em cadeira extensora (controle positivo),cinco mulheres (19,6±0,5 idade), participaram do presente estudo, para a avaliação de espessura de reto femoral, ultrassom modo B, medidas em dois locais 30% e 50% do comprimento total referente a coxa, para avaliação de força teste de 1RM em cadeira extensora.**Resultados:**as análises estatísticas de variância ANOVA de medidas repetidas, não detectou diferença significativa para os desfechos de fator tempo para espessura do reto femoral em 30% em nenhuma das condições [$F(1,6)=0,990;p=0,358$],e para o fator grupo também não foi relatada diferença significativa [$F(1,6)=1,546;p=0,260$].Para as medidas de 50% também não foram relatadas diferenças significativas para o fator tempo $p=0,40$ e fator grupo $p=0,382$, para a variável força máxima ambos grupos apresentaram diferença significativa $p<0,05$ no fator tempo, sem diferença entre grupos $p=0,405$. **Conclusão:**Este resultado nos permite ampliar as investigações sobre os efeitos de PEMF em pessoas saudáveis, sendo esta uma possível ferramenta para favorecer marcadores relacionados à saúde e desempenho muscular como aumentos de ganho de força.

Palavras Chaves: hipertrofia, PEMF, força.

ARTICLE 1

CAN A NEW TECHNOLOGY BASED ON ELECTROMAGNETIC PULSE FIELDS GENERATE STRENGTH GAINS AND HYPERTROPHY SIMILAR TO RESISTANCE TRAINING IN UNTRAINED WOMEN? A PILOT STUDY

ABSTRACT

Introduction: The pulsed electromagnetic field is a technology that has been gaining numerous followers. Due to its promising results in studies of animal models, such as increasing and maintaining muscle thickness, there is scientific interest in knowing its effects on healthy people. **Methods:** This study is a pilot model with the objective of investigating the effects of application for 8 weeks of PEMF (pulsed electromagnetic field) on the rectus femoris muscle in untrained participants. We investigated outcomes such as increased muscle thickness (hypertrophy) and strength gain. For this purpose, we adopted a within-subject model, where each leg was randomized to the PEMF procedure and the contralateral limb resistance training on an extensor chair (positive control). Five women (19.6 ± 0.5 age) participated in the present study to assess rectus femoris thickness using B-mode ultrasound, measured at two locations, 30% and 50% of the total length of the thigh. To assess strength, the 1RM test on an extensor chair was performed. **Results:** The statistical analysis of variance (ANOVA) for repeated measures did not detect a significant difference in the time factor outcomes for rectus femoris thickness at 30% in any of the conditions. [$F(1.6)=0.990;p=0.358$], and for the group factor, no significant difference was reported [$F(1.6)=1.546;p=0.260$]. For the 50% measurements, no significant differences were reported for the time factor $p=0.40$ and group factor $p=0.382$. For the maximum strength variable, both groups showed a significant difference $p<0.05$ in the time factor, with no difference between groups $p=0.405$. **Conclusion:** This result allows us to expand the investigations on the effects of PEMF in healthy people, this being a possible tool to favor markers related to health and muscular performance, such as increases in strength gain.

Keywords: hypertrophy, PEMF, strength.

1.0 INTRODUÇÃO

O campo eletromagnético pulsátil (PEMF) emerge como uma abordagem inovadora capaz de induzir contrações musculares sem contato direto com a pele, através da estimulação de fibras nervosas motoras periféricas [1,2]. Seu mecanismo de ação envolve a indução de campos magnéticos alternados que despolarizam diretamente os neurônios motores, promovendo contrações musculares pulsáteis ou tetânicas [3-5]. Esse processo ocorre independentemente de comandos voluntários, e parece ativar vias de sinalização intracelulares associadas à regulação do cálcio, incluindo a ativação de canais dependentes de voltagem e proteínas-chave como mTOR e p70S6K, fundamentais para a síntese proteica e a hipertrofia muscular [6,7]. Inicialmente, essa tecnologia tem sido aplicada no tratamento de osteoporose [8] e recuperação tecidual [9-12], composição corporal, mas, recentemente, tem despertado interesse por seu potencial de influenciar adaptações musculares [13,14].

Algumas evidências sugerem que o PEMF pode induir aumentos sobre a espessura muscular e na densidade de fibras, conforme observado em modelos experimentais e estudos pré-clínicos [15,16]. Em humanos, há uma carência de investigações que analisem seus efeitos em parâmetros tradicionalmente utilizados para mensurar adaptações musculares [2,17], como aumento da espessura muscular e ganhos de força máxima em indivíduos destreinados [1]. Adicionalmente, nenhum estudo investigou tais parâmetros exclusivamente em mulheres.

Tendo em vista essa lacuna na literatura, o presente estudo teve como objetivo investigar os efeitos de oito semanas de aplicação do PEMF sobre a espessura muscular do reto femoral (RF) proximal (RF 30%) e média (RF 50%) em mulheres destreinadas. Secundariamente analisamos as alterações sobre o desempenho de força máxima (1RM), bem como, o comporamento da percepção subjetiva de esforço (PSE). Adicionalmente, apresentaremos um gráfico de inspeção de respondedores e não respondedores as diferentes intervenções.

Para isso, adotou-se um modelo de análise intraindivíduo, no qual uma das pernas foi aleatorizada para a intervenção com PEMF, enquanto a perna contralateral foi submetida ao treinamento resistido tradicional na cadeira extensora (EXT), atuando como controle positivo.

Acreditamos como hipótese que PEMF gerará resultados significativos sobre a espessura muscular RF 30% e RF 50%, bem como, para o desempenho de 1RM após

as oito semanas de intervenção, mas tais resultados não serão diferentes do grupo controle EXT. Em contrapartida, a PSE será significativamente supeiror para o grupo controle.

2.0 MÉTODOS

2.1. Abordagem experimental

Este estudo piloto utilizou os pressupostos descritos no checklist STROBE e seguiu um delineamento experimental intraindivíduo, no qual cada participante teve suas pernas alocadas aleatoriamente para condição PEMF e EXT. O protocolo teve duração total de oito semanas, com avaliações antes e após a intervenção para análise das variáveis de dependentes (espessura muscular de RF e 1RM de extensão de joelho). O estudo foi conduzido conforme as diretrizes da Declaração de Helsinque e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Evangélica de Goiás (nº 6.210.982). Este estudo ocorreu durante o período de agosto até dezembro de 2024.

2.2 Participantes

Cinco mulheres saudáveis, com idade média de 19,6 ± 0,5 anos, foram recrutadas para participar do estudo. Os critérios de inclusão contemplaram indivíduos com idade entre 18 e 25 anos, que não estivessem envolvidos em programas regulares de treinamento resistido nos últimos seis meses e que possuíssem disponibilidade para comparecer ao laboratório duas vezes por semana durante o período da intervenção. Foram excluídas participantes com histórico de lesões musculoesqueléticas prévias em quadril, joelho ou tornozelo, bem como aquelas que faziam uso de suplementos ergogênicos, medicamentos que alterassem o perfil cardiovascular, ou que tivessem histórico de tabagismo ou consumo crônico de álcool.

A convocação das voluntárias foi realizada por meio de abordagens diretas e divulgação em uma academia localizada dentro de uma universidade no Centro-Oeste do Brasil. Durante o período de recrutamento, as candidatas passaram por uma triagem inicial e, caso atendessem aos critérios estabelecidos, foram informadas detalhadamente sobre os procedimentos do estudo antes de assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

2.3 Processo de randomização, alocação e desenvolvimento experimental

Após inclusão no estudo, a aleatorização das pernas foi realizada utilizando um sorteio simples para definir qual membro seria submetido ao PEMF e qual realizaria o treinamento resistido tradicional na cadeira extensora. Como estratégia adicional de controle, cada participante foi questionada sobre qual perna utilizaria para chutar uma bola de futebol, permitindo a identificação da perna dominante. Esse critério foi adotado para evitar possíveis influências da dominância lateral sobre os resultados.
A intervenção teve duração total de dez semanas, sendo a primeira destinada à coleta de dados basais e a última reservada para a reavaliação das variáveis dependentes. Imagens de ultrassom do músculo RF, bem como, um teste de 1RM em cadeira extensora foram avaliados. A fase experimental propriamente teve um total de 16 sessões de intervenção, realizadas duas vezes por semana, com um intervalo mínimo de 48 horas entre elas. As cargas de trabalho e a PSE foram registradas a cada sessão de intervenção. O design do estudo é representado na figura 1.

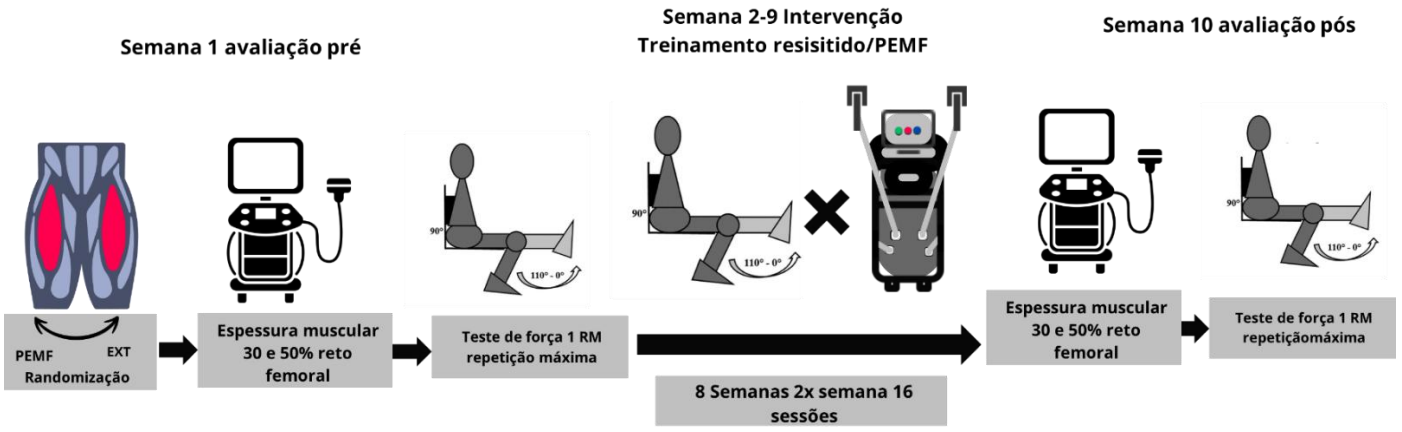


Figura 1. Design do estudo.

2.4 Intervenção com PEMF

Foi utilizado um equipamento portátil de campo eletromagnético pulsátil (Supramaximus Adoxy™, Votorantim, SP, Brazil), composto por quatro manípulos extensíveis. O aparelho oferece ajustes específicos de densidade de fluxo magnético (tesla), frequência (Hz) e tempo de estimulação (segundos). Os estímulos gerados pelo equipamento foram aplicados em duas condições alternadas: submáxima, com pulsos com espaçamento inferior a um segundo; supramáxima ou tetânica, que envolveu contrações sustentadas. O equipamento possui uma capacidade máxima de 7000 teslas por manípulo. Durante a intervenção, as participantes permaneceram

sentadas, com os manípulos posicionados sobre a região anterior da coxa selecionada, cobrindo RF (manípulo côncavo) na porção mais proximal ao quadril.

Nas primeiras sessões, a densidade de fluxo foi estabelecida entre 20 e 25% da capacidade máxima do equipamento, com um tempo total de 30 minutos por sessão. Conforme a intervenção progredia, os níveis de intensidade foram aumentados gradativamente, atingindo 30 a 35% na segunda sessão, 40 a 45% na terceira, e 50 a 55% na quarta sessão. Esse padrão de progressão foi mantido até que, a partir da nona sessão, a densidade de fluxo alcançou 100% da capacidade do equipamento, sendo essa intensidade mantida até a conclusão do protocolo.

A aplicação do PEMF foi conduzida em duas condições alternadas ao longo das sessões. A condição submáxima seguiu um padrão de pulsos com frequência de 4 Hz, com espaçamentos menores que um segundo, enquanto a condição supramáxima consistiu em contrações tetânicas sustentadas, com estímulos de 40 Hz por períodos de 4 segundos. Esses parâmetros foram mantidos constantes em todas as sessões, garantindo a padronização da intervenção.

2.5 Protocolo de treinamento resistido EXT

A perna contralateral ao PEMF foi submetida a um protocolo tradicional de extensão de joelho unilateral na cadeira extensora (Lion Fitness®), servindo como controle positivo. O treinamento ocorreu no mesmo período da intervenção com PEMF, sendo realizado duas vezes por semana, em dias alternados às sessões de PEMF. Cada sessão consistiu em três séries de EXT, utilizando uma carga correspondente a uma faixa de 8 a 12 repetições máximas, com intervalo de um minuto entre as séries.

Antes de iniciar o protocolo, cada participante realizou um aquecimento específico na cadeira extensora, executando de 8 a 10 repetições com 40-50% da carga máxima, seguido por um descanso de um minuto. Caso a participante fosse capaz de executar mais de 12 repetições, a carga era aumentada na série seguinte em incrementos de 1 a 2 kg, utilizando anilhas adicionais acopladas externamente ao sistema de pilhagem da máquina. Por outro lado, caso não atingisse o mínimo de 8 repetições, a carga era reduzida. O movimento era realizado até a falha concêntrica, com uma cadência padronizada de 1 a 2 segundos na fase concêntrica e 2 segundos na fase excêntrica, sem pausas entre as transições.

Durante o treinamento, as participantes eram incentivadas verbalmente, porém sem assistência externa para a execução dos movimentos. Todas as sessões foram supervisionadas por um profissional formado em Educação Física, que não teve acesso aos resultados dos testes iniciais ou finais, garantindo imparcialidade no acompanhamento.

As participantes foram orientadas a não realizar nenhum outro exercício para membros inferiores, estando livres apenas para o condicionamento de membros superiores. Um programa de treinamento foi padronizado por uma equipe especializada contendo os principais grupamentos multiarticulares para o segmento (supino reto, extensão de cotovelo, desenvolvimento com dumbell, puxada alta na polia, remada sentada na polia).

2.5.1 Volume load para EXT

O volume total de treinamento para a extensão de joelho foi monitorado e calculado por meio da equação carga × repetições [18], considerando as três séries executadas por sessão, resultando em um total de seis séries semanais. De acordo com a literatura, essa carga de trabalho é considerada o mínimo necessário para induzir adaptações hipertróficas em indivíduos destreinados [19].

2.6 Procedimentos

2.6.1 Protocolo de 1RM

O teste de uma repetição máxima (1RM) foi conduzido antes e após a intervenção para avaliar os ganhos de força máxima. As participantes passaram por uma série de aquecimentos e tentativas progressivas, seguindo um protocolo padronizado que envolveu: a) exercícios de mobilidade articular específicos para a articulação do joelho; b) aquecimento com cargas leves (aproximadamente 50% da estimativa inicial), seguido de tentativa com 75% da carga estimada; c) primeira tentativa de obtenção da carga máxima possível em uma única repetição. Caso não fosse possível obter a carga máxima, um intervalo de três a cinco minutos foi dado entre uma nova tentativa.

O teste de RM aconteceu em duas visitas diferentes. A primeira visita, a perna foi selecionada e submetida ao teste de forma aleatorizada. Posteriormente, a perna contralateral também era testada após um intervalo de 24-48 horas.

2.6.2 Medidas de Ultrassom

A espessura do músculo reto femoral foi mensurada antes e após a intervenção utilizando ultrassonografia modo B (Mindray M6) acoplada a uma sonda linear L14-6Ns, com frequência ajustável entre 6 e 14 MHz. As medições foram realizadas em dois pontos da coxa, correspondentes a 30% e 50% do comprimento do fêmur, utilizando como referência os marcos anatômicos do trocânter maior e do epicôndilo lateral do fêmur. As imagens foram capturadas por um único avaliador para garantir a padronização das medições. A confiabilidade da medida deste avaliador foi estabelecida previamente [20]. Durante a avaliação, as participantes permaneceram em repouso por 10 minutos, em decúbito dorsal, com o ambiente climatizado a 21°C. Para evitar interferências, foi aplicada uma camada de gel aquoso sobre a pele e na extremidade da sonda, minimizando compressões que pudessem comprometer a precisão das medições.

2.6.3 Escalas de percepção subjetiva de esforço (PSE)

Ao final de cada sessão de treinamento, tanto na extensão de joelho, como na intervenção PEMF, os participantes relatavam sua PSE em relação a atividade (PSE da sessão). Utilizando-se de uma escala adaptada de 0-10 de Borg [21], conforme produzida e descrita por Borg, onde “0” se refere-se à percepção de esforço ‘extremamente leve’, chegando até a “fadiga total” 10.

2.7 Analise Estatística

Por se tratar de um estudo piloto, uma análise descritiva dos dados foi previamente realizada e apresentadas por média ± desvio padrão (DP), bem com, valores de delta (Δ%) e intervalo de confiança ($IC^{95\%}$). Devido a quantidade de participantes, múltiplos testes “t” foram realizados para análise de espessura do RF a 30%/ 50%, aplicando a correção de bonferroni. Uma análise não paramétrica foi realizada para comparação entre as variáveis 1RM pré e pós e entre grupos. Todas as análises foram realizadas no software SPSS 20.0 for Windows® (Chicago, USA) sendo adotado uma significância estatística de p = 0,05.

3.0 RESULTADOS

3.1 Normalidade dos dados

Para o medida de desfecho primário, espessura muscular de RF a 30%, houve normalidade para a condição pré (p = 0,485) e pós (p = 0,995) no grupo PEMF, e pré (p = 0,256) e pós (p = 0,960) no grupo EXT. O mesmo ocorreu para as medidas de RF a 50% para a condição pré (p = 0,859) e pós (p = 0,223) no grupo PEMF e pré (p = 0,908) e pós (p = 0,084) no grupo EXT. Para o desempenho de 1RM, Shapiro-wilk apresentou normalidade para o grupo PEMF na condição pré (p = 0,168) e pós intervenção (p = 0,437). Entretanto, o mesmo não ocorreu para o grupo EXT, apresentando normalidade na condição pós (p = 0,086), mas não na condição pré intervenção (p = 0,037). Por fim, a normalidade para PSE foi testada, sendo observado comportamento normal para o grupo PEMF (p = 0,314) e EXT (p = 0,119).

3.2 Adesão ao protocolo e drop-out

As participantes foram informadas de que a participação no estudo era totalmente voluntária, sem qualquer obrigação de permanência. Durante toda a intervenção, tiveram acesso gratuito ao centro de treinamento poliesportivo, onde foram realizados os testes de força e o treinamento EXT. Além disso, contaram com o acompanhamento presencial de um profissional formado e atuante na área de treinamento resistido. No protocolo de PEMF, por se tratar de um equipamento relativamente novo e de baixa percepção de esforço ou desconforto, a adesão foi favorecida ao longo do estudo. No entanto, apesar dessas medidas, uma voluntária não conseguiu seguir plenamente o cronograma estipulado devido a questões pessoais, ausentando-se de sessões em ambas as intervenções. Para garantir a finalização do protocolo, suas sessões foram reprogramadas até que completasse as 16 sessões propostas. Além disso, duas outras participantes encerraram sua participação antes do término do estudo, concluindo apenas 14 sessões ao longo do período experimental. A caracterização da amostra é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da amostra.

	Idade (anos)	Massa (kg)	Estatura (m)	IMC (kg/m^2)
Média	19,6	55,8	1,66	16,3
DP	0,5	3,8	0,1	8,0

Legenda: IMC = índice de massa corporal.

3.3 Desfecho primário

A Tabela 2 apresenta as alterações de espessura muscular de RF a 30% e 50%, diante da intervenção de PEMF e EXT. Os testes t com correção de bonferroni demontraram diferenças significativas para RF a 30% no grupo EXT para o fator tempo (t = -4,443; p = 0,011), mas não para RF a 50% (t = -1,964; p = 0,121). Para o grupo PEMF, não houve diferenças significativas para RF 30% (t = -0,393; p = 0,714) e RF 50% (t = -1,964; p = 0,121).

Tabela 2. Medidas de espessura de RF para marcação de 30% e 50% diante da intervenção de PEMF e EXT.

#	PEMF				EXT			
	RF30%		RF50%		RF30%		RF50%	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
1	2,00	1,66	1,79	1,82	1,77	1,89	1,57	1,69
2	2,17	2,16	1,54	1,89	1,96	2,11	1,22	1,72
3	1,63	1,83	1,66	1,90	2,02	2,23	1,80	2,02
4	1,94	2,03	2,01	1,95	1,97	2,03	2,13	2,29
5	1,66	1,93	1,93	1,63	1,70	1,77	1,77	1,69
Média	1,88	1,92	1,79	1,84	1,88	2,01	1,70	1,88
Med	1,94	1,93	1,79	1,89	1,96	2,03	1,77	1,72
DP	0,23	0,19	0,19	0,13	0,14	0,18	0,33	0,27
Δ%		2,1%		2,8%		6,9%		10,6%
$IC^{95\%}$	1,59 - 2,16	1,68 - 2,15	1,54 - 2,02	1,68 - 1,99	1,71 - 2,05	1,78 - 2,23	1,28 - 2,11	1,55 - 2,21

Med = mediana; DP = desvio padrão; Δ% = variação percentual pré e pós intervenção; $IC^{95\%}$ = intervalo de confiança para 95%.

Desfecho secundário

A Tabela 3 apresenta as medidas de variação de RM após a intervenção de PEMF e treinamento EXT. O teste de Mann-Whitney não demonstrou diferenças entre grupos na condição pré (Z = -0,527; p = 0,598) e pós (Z = -0,949; p = 0,343). Entretanto, para o fator tempo, houve diferenças significativas para o grupo PEMF (Z = -2,032; p = 0,042) e EXT (Z = -2,023; p = 0,043). A Figura 2 reporta os resultados de volume load total de cada participante do grupo EXT.

Tabela 3. Medidas pré e pós de 1RM.

	PEMF		EXT	
#	Pré	Pós	Pré	Pós
1	36,0	42,0	36,0	44,0
2	35,0	44,0	31,0	40,0
3	33,0	34,0	31,0	47,0
4	32,0	35,0	33,0	40,0
5	44,0	47,0	49,0	62,0
Média	36,0	40,4*	36,0	46,6*
Mediana	35,0	42,0	33,0	44,0
DP	4,7	5,7	7,5	9,1
Δ%		12,2%		29%
$IC^{95\%}$	30,1 - 41,8	33,3 - 47,4	26,6 - 45,3	35,3 - 57,8

DP = desvio padrão; Δ% = variação percentual pré e pós intervenção; $IC^{95\%}$ = intervalo de confiança para 95%.

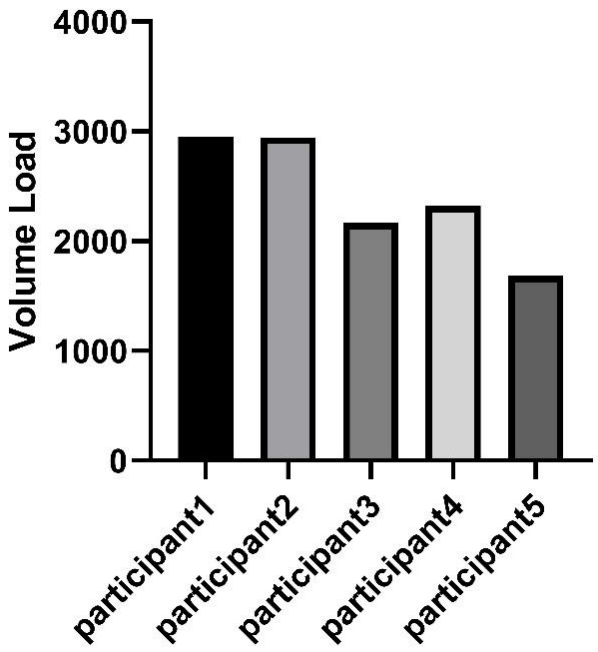


Figura 2: Volume Load individual de cada participante; média da carga total individual, multiplicada pela média das repetições totais.

Por fim, a Figura 3 apresenta a PSE de cada participante frente as diferentes intervenções. O teste de Mann-Whitney demonstrou diferenças significativas entre a intervenção de PEMF e EXT (Z = -2,643; p = 0,008), em favor de PEMF, resultando em uma magnitude de esforço amplamente reduzida [PEMF: 3,0 (IC95%: 2,1 a 4,2);

EXT: 8,0 (6,7 a 9,2)]. A Figura 4 apresenta os respondedores e não respondedores aos procedimentos de PEMF e EXT.

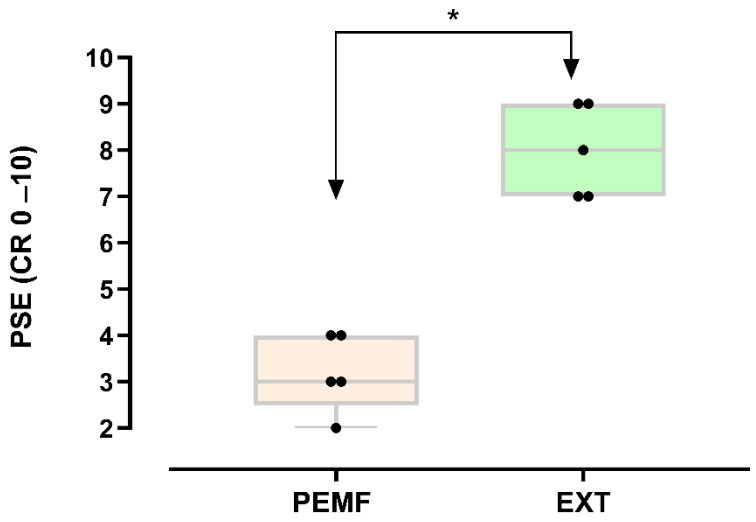


Figura 3: PSE de cada participante frente as diferentes intervenções.

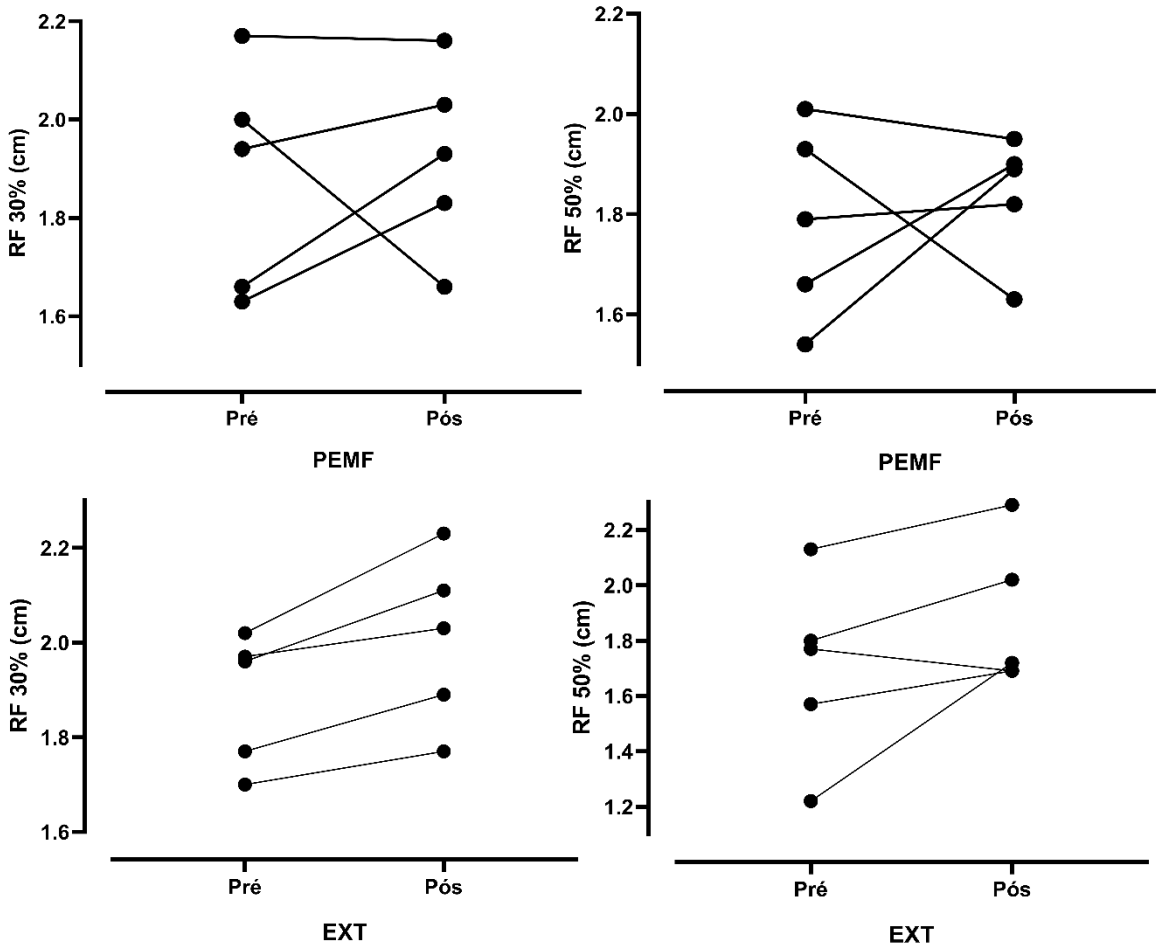


Figura 4: representa o efeito pré e pós, para mediada de espessura muscular das

participantes diante de ambos os protocolos de intervenção.

CONSIDERAÇÃO FINAL

O presente estudo teve como objetivo investigar os efeitos da aplicação de um protocolo de oito semanas de PEMF sobre a espessura muscular do reto femoral e os ganhos de força máxima em mulheres destreinadas, comparando seus efeitos ao treinamento resistido tradicional em EXT. Nossos achados indicam que, embora o PEMF tenha promovido incrementos significativos na força máxima, os efeitos sobre a espessura muscular não foram estatisticamente diferentes do grupo controle, contrariando a hipótese inicial de que ambos os métodos poderiam induzir hipertrofia muscular em um período relativamente curto.

Ainda assim, a similaridade dos ganhos de força entre os grupos sugere que o PEMF pode atuar como um estímulo alternativo para o desenvolvimento da força, possivelmente por meio de mecanismos neuromusculares, sem o desconforto associado ao treinamento resistido convencional. Adicionalmente, a PSE foi significativamente menor no grupo PEMF, o que pode favorecer a adesão à intervenção em populações com restrições à prática de exercícios convencionais.

Apesar da ausência de efeitos robustos sobre a espessura muscular neste estudo piloto, os dados sugerem que protocolos mais longos e com ajustes na intensidade dos estímulos podem ser necessários para que o PEMF induza adaptações hipertróficas mais evidentes. Dessa forma, investigações futuras devem explorar não apenas a duração da intervenção, mas também a influência de diferentes parâmetros de estimulação sobre a ativação muscular e a síntese proteica.

Em suma, nossos achados reforçam o potencial do PEMF como ferramenta inovadora para o aprimoramento da força muscular em indivíduos destreinados, podendo representar uma alternativa viável para populações que enfrentam barreiras na realização do treinamento resistido tradicional. No entanto, novos estudos com amostras ampliadas e maior controle metodológico são necessários para validar e expandir essas conclusões.

REFERENCIAS

1. Kinney BM, Lozanova P. High intensity focused electromagnetic therapy evaluated by magnetic resonance imaging: Safety and efficacy study of a dual tissue effect based non-invasive abdominal body shaping. Lasers Surg Med. 2019;51(1):40-6.

2. Jacob CI, Paskova K. Safety and efficacy of a novel high-intensity focused electromagnetic technology device for noninvasive abdominal body shaping. J Cosmet Dermatol. 2018;17(5):783-7.

3. Samuels JB, Pezzella A, Berenholz J, Alinsod R. Safety and Efficacy of a Non-Invasive High-Intensity Focused Electromagnetic Field (HIFEM) Device for Treatment of Urinary Incontinence and Enhancement of Quality of Life. Lasers Surg Med. 2019;51(9):760-6.

4. Bogataj U, Gros N, Kljajic M, Acimovic R, Malezic M. The rehabilitation of gait in patients with hemiplegia: a comparison between conventional therapy and multichannel functional electrical stimulation therapy. Phys Ther. 1995;75(6):490-502.

5. Han TR, Shin HI, Kim IS. Magnetic stimulation of the quadriceps femoris muscle: comparison of pain with electrical stimulation. Am J Phys Med Rehabil. 2006;85(7):593-9.

6. DiBernardo B, Chilukuri S, McCoy JD, Katz B, Goldberg DJ. High-Intensity Focused Electromagnetic Field With Synchronized Radiofrequency Achieves Superior Gluteal Muscle Contouring Than High-Intensity Focused Electromagnetic Field Procedure Alone. Aesthet Surg J Open Forum. 2023;5:ojac087.

7. Duncan D, Dinev I. Noninvasive Induction of Muscle Fiber Hypertrophy and Hyperplasia: Effects of High-Intensity Focused Electromagnetic Field Evaluated in an In-Vivo Porcine Model: A Pilot Study. Aesthet Surg J. 2020;40(5):568-74.

8. Cicek F, Tastekin B, Baldan I, Tokus M, Pelit A, Ocal I, et al. Effect of 40 Hz Magnetic Field Application in Posttraumatic Muscular Atrophy Development on Muscle Mass and Contractions in Rats. Bioelectromagnetics. 2022;43(8):453-61.

9. Chang K, Chang WH. Pulsed electromagnetic fields prevent osteoporosis in an ovariectomized female rat model: a prostaglandin E2-associated process. Bioelectromagnetics. 2003;24(3):189-98.

10. Sert C, Mustafa D, Duz MZ, Aksen F, Kaya A. The preventive effect on bone loss of 50-Hz, 1-mT electromagnetic field in ovariectomized rats. J Bone Miner Metab. 2002;20(6):345-9.

11. Jing D, Zhai M, Tong S, Xu F, Cai J, Shen G, et al. Pulsed electromagnetic fields promote osteogenesis and osseointegration of porous titanium implants in bone defect repair through a Wnt/beta-catenin signaling-associated mechanism. Sci Rep. 2016;6:32045.

12. Cai J, Li W, Sun T, Li X, Luo E, Jing D. Pulsed electromagnetic fields preserve bone architecture and mechanical properties and stimulate porous implant osseointegration by promoting bone anabolism in type 1 diabetic rabbits. Osteoporos Int. 2018;29(5):1177-91.

13. Tabrah F, Hoffmeier M, Gilbert F, Jr., Batkin S, Bassett CA. Bone density changes in osteoporosis-prone women exposed to pulsed electromagnetic fields (PEMFs). J Bone Miner Res. 1990;5(5):437-42.

14. Zhai M, Jing D, Tong S, Wu Y, Wang P, Zeng Z, et al. Pulsed electromagnetic fields promote in vitro osteoblastogenesis through a Wnt/beta-catenin signaling-associated mechanism. Bioelectromagnetics. 2016;37(3):152-62.

15. Leonardo PS, Cardoso KRdS, Vieira RdP, Ruiz-Silva C, Coelho CdF, Martins PSLL, et al. Applications of Pulsed Electromagnetic Field Therapy in Skeletal-Muscle System: An Integrative Review. Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal. 2023;21:1-11.

16. Nunes JP, Kassiano W, Costa BDV, Mayhew JL, Ribeiro AS, Cyrino ES. Equating Resistance-Training Volume Between Programs Focused on Muscle Hypertrophy. Sports Med. 2021;51(6):1171-8.

17. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 2016;46(11):1689-97.

18. van der Zwaard S, Hooft Graafland F, van Middelkoop C, Lintmeijer LL. Validity and Reliability of Facial Rating of Perceived Exertion Scales for Training Load Monitoring. J Strength Cond Res. 2023;37(5):e317-e24.

19. Nunes JP. Can lizards become alligators? Muscle fibre type and other factors that may influence (or not) hypertrophy responsiveness after resistance training. 2023;601(16):3447-8.

20. Pickering C, Kiely J. Do Non-Responders to Exercise Exist-and If So, What Should We Do About Them? Sports Med. 2019;49(1):1-7.

21. Mansourian M, Shanei A. Evaluation of Pulsed Electromagnetic Field Effects: A Systematic Review and Meta-Analysis on Highlights of Two Decades of Research In Vitro Studies. Biomed Res Int. 2021;2021:6647497.

22. Yang J, Sun L, Fan X, Yin B, Kang Y, An S, et al. Pulsed electromagnetic fields alleviate streptozotocin-induced diabetic muscle atrophy. Mol Med Rep. 2018;18(1):1127-33.

23. Petecchia L, Sbrana F, Utzeri R, Vercellino M, Usai C, Visai L, et al. Electro-magnetic field promotes osteogenic differentiation of BM-hMSCs through a selective action on Ca(2+)-related mechanisms. Sci Rep. 2015;5:13856.

24. Lee MR, Jung SM, Bang H, Kim HS, Kim YB. Association between muscle strength and type 2 diabetes mellitus in adults in Korea: Data from the Korea national health and nutrition examination survey (KNHANES) VI. Medicine (Baltimore). 2018;97(23):e10984.

25. Westcott WL. Resistance training is medicine: effects of strength training on health. Curr Sports Med Rep. 2012;11(4):209-16.

Material Suplementar

Checklist CERT

(https://drive.google.com/file/d/18EJaBXkjr3O7oJtUw1A-SZuhoXl942pB/view?usp=drive_link)

ARTIGO 2

TECNOLOGIAS DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS PULSÁTEIS GERAM GANHOS DE FORÇA E HIPETROFIA SIMILARES AO TREINAMENTO RESISTIDO? UM ESTUDO CONTROLADO RANDOMIZADO EM PARTICIPANTES DESTREINADOS

RESUMO

INTRODUÇÃO: O campo eletromagnético pulsátil (PEMF) estimula proteínas-chave na síntese proteica em modelos animais. Efeito semelhantes são evidenciados em humanos. PEMF também parece melhorar a força e resistência muscular em idosos. Contudo, ainda não se explorou tais efeitos em jovens destreinados, nem sua influência sobre a espessura muscular (EM) e ganhos de força em membros inferiores, ressaltando a necessidade de estudos mais aprofundados. **OBJETIVO:** Investigar 8 semanas de terapia PEMF sobre EM do reto femoral (RF) proximal (RF30%), médio (RF50%) e vasto lateral médio (VL50%), ganho de força máxima (1RM) e resistência de força (60%1RM) em participantes destreinados, não vinculados a treinamento nos últimos 6 meses, em comparação ao grupo paralelo de treinamento resistido (TR). **MÉTODOS:** 18 participantes (5 homens e 13 mulheres) foram aleatoriamente alocados para a terapia PEMF (n=10; idade=22,9±2,4; massa corporal=63,0±11,4) ou TR em cadeira extensora bilateral (EXT, n=8; idade=23,2±3,9; massa corporal=66,5±13,7) por 8 semanas (3x/sem). Em PEMF, os manípulos foram posicionados sobre RF e VL, com densidade de fluxo entre 2800 a 7000 Teslas, a 4Hz/4seg e contração tetânica de 40Hz/4seg, durante 30 min. Para EXT, foram realizadas 3 séries de extensão de joelho bilateral, com cargas relativas entre 8-12 execuções máximas (1 minuto intervalo). Avaliou-se 1RM e 60%1RM em cadeira extensora unilateral, além da EM em ambas as pernas, via ultrassom Modo B. **RESULTADOS:** A ANOVA 2x2 indicou aumento para EM do RF30% direita pós intervenção (p=0,006), mas não entre grupos (p=0,570). A perna esquerda não mostrou melhora (p>0,05). Para o RF50% da perna direita, não houve diferenças no fator tempo (p=0,090) ou grupo (p=0,247). Para o VL50% esquerdo, foi evidenciado melhora pós intervenção (p=0,032), mas para o lado direito (p>0,05). Não houve diferenças entre grupos (p=0,741). Wilcoxon demonstrou aumentos de 1RM com PEMF na perna direita (p=0,012), esquerda (p=0,035). Para EXT, 1RM na perna direita (p=0,034), esquerda (p=0,018) foi melhorado. Mann-Whitney não apresentou diferenças entre grupos para a medida de 1RM direita e esquerda na condição pré e pós (p=0,448; p=0,573). Para 60%1RM, houve diferenças em ambas as pernas no grupo PEMF e EXT (p=0,011; p=0,018). Mann-Whitney não mostrou diferenças entre grupos para ambas as pernas 60%1RM (p=0,392; p=0,858). **CONCLUSÃO:** O PEMF promoveu adaptações semelhantes às observadas em TR em relação à EM, 1RM e 60%1RM.

Palavras-chave: PEMF, HIFEM, espessura muscular, força muscular.

ARTICLE 2

PULSATILE ELECTROMAGNETIC FIELD TECHNOLOGIES GENERATE STRENGTH GAINS AND HYPETROPHY SIMILAR TO RESISTANCE TRAINING? A RANDOMIZED CONTROLLED STUDY IN UNTRAINED PARTICIPANTS

ABSTRACT

INTRODUCTION: Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) therapy has been shown to stimulate key proteins involved in protein synthesis in animal models, with similar effects observed in humans. Additionally, PEMF appears to enhance muscle strength and endurance in older adults. However, its effects on untrained young individuals, particularly its influence on muscle thickness (MT) and lower-limb strength gains, remain unexplored, highlighting the need for further research. **OBJECTIVE:** To investigate the effects of eight weeks of PEMF therapy on the proximal (RF30%) and mid (RF50%) rectus femoris (RF) and mid vastus lateralis (VL50%) muscle thickness, maximal strength (1RM), and strength endurance (60%1RM) in untrained participants with no resistance training engagement in the last six months, compared to a parallel resistance training (RT) group. **METHODS:** Eighteen participants (5 men and 13 women) were randomly assigned to PEMF therapy (n=10; age=22.9±2.4 years; body mass=63.0±11.4 kg) or bilateral leg extension training (EXT, n=8; age=23.2±3.9 years; body mass=66.5±13.7 kg) for eight weeks (3x/week). In the PEMF group, applicators were positioned over the RF and VL, delivering a magnetic flux density of 2800 to 7000 Teslas at 4Hz/4s and tetanic contraction at 40Hz/4s for 30 minutes. The EXT group performed three sets of bilateral knee extensions at 8-12 repetition maximum loads (1-minute rest intervals). Assessments included 1RM and 60%1RM unilateral knee extension performance, as well as MT measurements via B-mode ultrasound for both legs. **RESULTS:** A 2×2 ANOVA indicated a significant post-intervention increase in RF30% thickness in the right leg ($p=0.006$), but no differences between groups ($p=0.570$). The left leg showed no significant improvement ($p>0.05$). For RF50% of the right leg, no significant differences were found over time ($p=0.090$) or between groups ($p=0.247$). VL50% thickness increased post-intervention in the left leg ($p=0.032$), but not in the right leg ($p>0.05$), with no differences between groups ($p=0.741$). Wilcoxon tests revealed significant 1RM strength gains in the PEMF group for both the right ($p=0.012$) and left legs ($p=0.035$). The EXT group also showed significant improvements in 1RM for the right ($p=0.034$) and left legs ($p=0.018$). However, Mann-Whitney tests indicated no significant differences between groups in pre- and post-intervention 1RM for the right ($p=0.448$) and left legs ($p=0.573$). For 60%1RM, both PEMF and EXT groups exhibited significant increases in both legs ($p=0.011$; $p=0.018$), but Mann-Whitney analysis showed no significant differences between groups ($p=0.392$; $p=0.858$). **CONCLUSION:** PEMF therapy induced muscle adaptations comparable to those observed with RT in terms of muscle thickness, maximal strength (1RM), and strength endurance (60%1RM). These findings suggest PEMF as a potential alternative or complementary strategy for muscle development in untrained individuals.

Keywords: PEMF, HIFEM, muscle thickness, muscle strength.

INTRODUÇÃO

As terapias baseadas em campo eletromagnético pulsátil (PEMF) abrangem um amplo espectro de utilidades na área da saúde [22], se baseando na promoção de campos eletromagnéticos que despolarizam o tecido muscular de forma independente, repercutindo em contrações submáximas ou tetânicas [1,2]. A crescente adesão ao PEMF se deve, em grande parte, ao fato de sua aplicação não gerar efeitos térmicos e ser indolor, diferentemente de outras abordagens convencionais baseadas em correntes elétricas [3-5].

A literatura ainda é razoavelmente incipiente sobre a temática, e suas respostas crônicas que em sua maioria abrangiam finalidades estéticas [2,17], portanto, tais respostas emergem como uma potencial alternativa dentro das ciências da saúde [23]. Por exemplo, PEMF tem sido empregado no tratamento de doenças ósseas, promovendo a cicatrização e, mais recentemente, demonstrando potencial para o aumento da força e da massa óssea em modelos animais [9-12]. Esses achados também reverberam em mulheres na pós-menopausa diagnosticadas com osteoporose [8], promovendo a regulação do metabolismo ósseo [24].

Especificamente, poucos estudos avaliaram desfechos relacionados à composição corporal e alterações sobre o tecido muscular. Por exemplo, Jacob et al., [2] demonstraram que o uso do PEMF podem promover reduções significativas na circunferência abdominal. Corroborando esses achados, Kinney et al., [1] investigaram os efeitos do PEMF sobre o tecido muscular e adiposo da região abdominal, utilizando ressonância magnética. Os resultados indicaram uma redução média de 18,6% na espessura do tecido adiposo ($p<0,0001$) e um aumento de 15,4% na espessura do músculo reto abdominal, sugerindo que, além da redução da gordura localizada, o PEMF pode favorecer o fortalecimento muscular e induzir a hipertrofia. Essa hipótese é reforçada por estudos recentes realizados em modelos animais [15,16].

Apesar disso, falta ainda robustez sobre os efeitos de aplicações de PEMF no tocante as alterações de espessura muscular, ganhos de força máxima e resistência de força, alguns dos atributos essencialmente relacionados a saúde. Dessa forma, tem cabimento explorar seus efeitos em populações destreinadas, a fim de estabelecer potenciais avanços para a saúde. O presente estudo teve como objetivo primário avaliar os possíveis ganhos de espessura do músculo reto femoral (RF)

proximal (RF30%) e médio (RF50%) e vasto lateral médio (VL50%), frente a aplicação contínua de PEMF vs. tradicional treinamento de força em cadeira extensora (EXT) por 8 semanas. Secundariamente, o desenvolvimento de força máxima (1RM) e a resistência de força de extensão de joelho a 60% de 1RM foram também avaliadas (60% 1RM). Utilizou-se o grupo EXT como controle positivo. A análise de respondedores e não respondedores complementa com a representação visual as medidas de força individuais de cada participante.

Levantamos aqui duas hipóteses, que tanto o protocolo PEMF como EXT irão promover aumento de espessura muscular de RF30% e RF50%, mas não para VL50% (H^1). Nossa segunda hipótese é que ambos protocolos proporcionarão ganhos de força de 1RM de extensão de joelhos e resistência de força para o movimento de extensão de joelho (H^2).

MÉTODOS

Abordagem Experimental

Este estudo caracteriza-se como um ensaio experimental crônico, randomizado e controlado realizado em 8 semanas, conduzido ao longo do ano de 2024, nas dependências de uma universidade localizada na região Centro-Oeste de Goiás, Brasil. Todas as etapas seguiram as recomendações e diretrizes estabelecidas pela Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, sendo o estudo devidamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAEE: 69796523.7.0000.5076, nº 6.210.982).

Os participantes foram recrutados por conveniência dentro da universidade, por meio de convites pessoais realizados pelos pesquisadores, além da divulgação de informações sobre a pesquisa em grupos acadêmicos e redes sociais. Antes de iniciar o protocolo experimental, todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), contendo informações detalhadas sobre os procedimentos, bem como os possíveis riscos e desconfortos associados ao estudo. Além da versão escrita do TCLE, todas as informações foram explicadas verbalmente aos participantes, garantindo total compreensão dos aspectos envolvidos.

Após a aceitação e o esclarecimento dos riscos inerentes ao exercício físico, os participantes passaram por uma triagem criteriosa para a verificação dos critérios

de inclusão e exclusão. O fluxo de entrada e saída dos participantes no estudo está descrito detalhadamente no Fluxograma 1 nos resultados.

Design do Estudo

Após a seleção, os participantes foram alocados aleatoriamente por sorteio em um dos dois grupos experimentais – PEMF ou EXT. O protocolo teve duração total de 10 semanas sendo a primeira e última destinadas para os testes e análises das variáveis de desfechos primários e secundários. Os participantes treinaram 3x por semana por um tempo máximo de 30 min. 24 sessões de treinamento ao todo foram realizadas para cada grupo. A descrição das sessões detalhadas de PEMF e EXT são apresentados na sessão de intervenção. O protocolo PEMF foi realizado em ambiente de temperatura controlada entre 21 e 23º, enquanto que o protocolo EXT foi realizado em uma academia de ginástica com temperatura ambiente, que variou entre 23 e 26º. A Figura 1 apresenta o desenho do estudo.

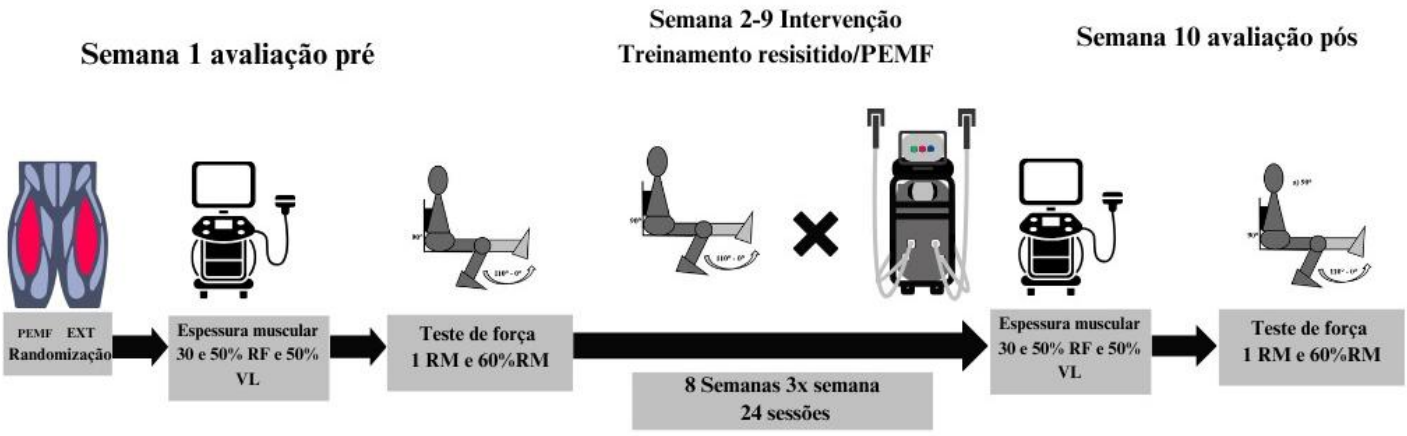


Figura 1. Desenho do estudo

Participantes

Foram recrutados participantes de ambos os sexos, destreinados, com idade entre 18 e 35 anos. Como critério de inclusão, os voluntários não poderiam estar vinculados a nenhum tipo de intervenção de treinamento resistido nos últimos seis meses, embora indivíduos com alguma familiarização prévia com esse tipo de exercício não fossem excluídos. Além disso, era necessário que os participantes fossem saudáveis e não apresentassem histórico de lesões prévias em quadril, joelho ou tornozelo. Foram excluídos da pesquisa indivíduos que faziam uso de suplementos

ergogênicos, possuíam histórico de etilismo ou tabagismo, ou não cumprissem pelo menos 90% das sessões previstas de treinamento.

Na etapa de recrutamento, 22 participantes atenderam aos critérios e foram incluídos no estudo. Entretanto, ao longo das semanas, quatro participantes se retiraram da pesquisa, permanecendo apenas 18 participantes (5 homens e 13 mulheres).

Intervenção experimental com PEMF

Foi utilizado um equipamento portátil de campo eletromagnético pulsátil (Supramaximus Adoxy™ - Registro ANVISA: 82149139003), composto por quatro manípulos extensíveis, sendo dois côncavos e dois planos. O aparelho dispõe de três modos de operação predefinidos pelo fabricante: *Warm Up Mode, Sport Mode* e *Professional Mode*. Para este estudo, optou-se pelo uso exclusivo do modo Professional, uma vez que permite a personalização dos parâmetros de aplicação, incluindo a porcentagem da carga utilizada, medida em densidade de fluxo magnético (tesla), a frequência (Hz) e o tempo total de estímulo (segundos).

Os estímulos gerados pelo equipamento foram aplicados em duas condições distintas, alternadas ao longo das sessões. A condição submáxima foi caracterizada por um padrão pulsátil, no qual o espaçamento entre os pulsos foi inferior a um segundo, enquanto a condição supramáxima consistiu em contrações tetânicas sustentadas por um período pré-determinado. O equipamento forneceu uma carga máxima de 7000 teslas por manípulo, sendo as intensidades percentuais ajustadas com base nesse referencial.

A intervenção com PEMF foi realizada três vezes por semana, sempre às segundas, quartas e sextas-feiras, no mesmo período do dia, com um intervalo de 48 horas entre as sessões. Cada sessão teve duração de 30 minutos, durante os quais os participantes permaneceram sentados próximos ao equipamento. Os manípulos foram posicionados sobre ambas as coxas, cobrindo uma área significativa do RF e das estruturas musculares adjacentes (VL). O manípulo côncavo foi fixado sobre o ventre muscular do RF, especificamente na porção mais próxima ao quadril, de modo a garantir uma abrangência eficaz sobre a musculatura-alvo. Para assegurar a estabilidade da aplicação, os manípulos foram fixados com tiras de velcro, permitindo o mínimo de movimento possível sem comprometer o conforto dos participantes ou

gerar qualquer tipo de oclusão vascular. A Tabela 1 apresenta as configurações detalhadas do protocolo adotado ao longo das sessões de intervenção.

Tabela 1. Protocolo de intervenção PEMF.

N° da Sessão	Densidade de Fluxo	Tempo	Frequência SUB		Frequência SUPRA	
	(%)	(min)	(Hz)	(seg)	(Hz)	(seg)
#1	20-25	30	4	4	40	4
#2	30-35	30	4	4	40	4
#3	40-45	30	4	4	40	4
#4	50-55	30	4	4	40	4
#5	60-65	30	4	4	40	4
#6	70-75	30	4	4	40	4
#7	80-85	30	4	4	40	4
#8	90-95	30	4	4	40	4
#9 a #24	100	30	4	4	40	4

Subtítulo: SUB = padrão de sobrecarga pulsátil submáxima; SUPRA = padrão tetânico de contração sustentada. Obs.: Densidade de fluxo medida em Tesla. Total do equipamento é de 7000 Teslas por manípulo.

Intervenção controle

A fim de estabelecer um controle positivo, foi alocado um grupo paralelo de intervenção destinado à realização de treinos de extensão de joelhos unilaterais na cadeira extensora (EXT). O protocolo seguiu o mesmo período de intervenção do grupo PEMF, sendo conduzido três vezes por semana, às segundas, quartas e sextas-feiras (sempre no mesmo período do dia). Os treinos ocorreram nos turnos matutino e vespertino, entre 06:00-09:00 e 14:00-16:00, de forma individualizada, garantindo a interação exclusiva entre o instrutor e cada participante. Todas as sessões foram supervisionadas por um profissional formado em Educação Física, especializado em força e condicionamento, que não possuía conhecimento prévio sobre os possíveis desfechos da investigação.

O protocolo consistiu em três séries de extensão de joelho unilateral, utilizando cargas ajustadas dentro de uma zona de repetições de 8 a 12 execuções máximas, com um intervalo de um minuto entre as séries. O equipamento utilizado foi uma cadeira extensora da linha Lion Fitness®, cujo sistema de sobrecarga é baseado no acréscimo de placas. Neste caso, antes do início do estudo, o equipamento foi desmontado para aferição do peso real de cada incremento, sendo identificado que as duas primeiras placas correspondiam a 5 kg cada, enquanto as demais possuíam

acréscimos de 7 kg.

Durante a execução do exercício, os participantes eram posicionados no equipamento com as costas totalmente apoiadas no encosto do banco, mantendo contato constante entre a região lombar e glútea com as superfícies acolchoadas. As alças laterais eram seguradas firmemente para evitar qualquer movimento compensatório. O apoio de espuma era posicionado entre os maléolos medial e lateral, permitindo a execução do movimento de extensão do joelho. Para garantir um alinhamento biomecânico adequado, foi traçada uma linha visual entre a articulação patelofemoral e o eixo de roldana da máquina, a qual possuía ajustes individualizados nos pontos de tornozelo, joelho e costas, sendo adaptada conforme as características antropométricas de cada participante.

Antes da realização da primeira série, os participantes executavam um aquecimento específico no próprio equipamento, realizando de 8 a 10 repetições com cargas leves, correspondentes a aproximadamente 40-50% da carga máxima, seguido por um intervalo de um minuto.

Para as séries principais, oito a doze repetições foram realizadas. Caso o participante ultrapassasse doze repetições na primeira série, o exercício era interrompido e, na série subsequente, havia um acréscimo de 1 a 2 kg por meio da adição de anilhas externas ao sistema de placas do equipamento. De forma inversa, se o participante não atingisse o mínimo de oito repetições, a carga era reduzida na mesma proporção. Todas as séries foram executadas até a falha concêntrica. A cadência do movimento foi padronizada, sendo recomendada uma velocidade de 1 a 2 segundos para a fase concêntrica e de 2 segundos para a fase excêntrica, sem pausas entre as transições das fases do movimento.

Os participantes recebiam incentivo verbal do instrutor ao longo da execução, porém sem assistência externa para mobilização da carga. O instrutor manteve-se próximo ao participante durante todo o treinamento, controlando a progressão da carga, o número de séries e repetições, além do intervalo de descanso. Todos os participantes, independentemente do grupo ao qual pertenciam, foram instruídos a não realizar nenhum outro tipo de exercício para membros inferiores ao longo do estudo, sendo permitida apenas a realização de exercícios voltados para os membros superiores.

Um programa de treinamento complementar foi padronizado por uma equipe

especializada, contemplando exercícios multiarticulares, como supino reto, extensão de cotovelo, desenvolvimento com halteres, puxada alta na polia e remada sentada na polia. Além disso, foram orientados a manter seus hábitos de vida sem introduzir novas práticas que pudessem atuar como variáveis de confusão, como o início de outras modalidades esportivas, o uso de suplementos alimentares ou mudanças abruptas nos padrões dietéticos.

Variáveis de desfecho

Como variáveis de desfecho primário, a espessura muscular dos músculos RF foi determinada a uma distância correspondente a 30% e 50% do comprimento do fêmur, enquanto a espessura do VL foi determinada na marcação de 50% do comprimento femoral.

Como desfecho secundário, a força máxima foi avaliada a partir do teste de uma repetição máxima (1RM) unilateral na cadeira extensora. Adicionalmente, a resistência de força foi mensurada a partir do número total de repetições realizadas até a falha muscular sob uma carga correspondente a 60% do 1RM. A análise de respondedores e não respondedores complementa com a representação visual as medidas de força individuais de cada participante.

Procedimentos de Testagem

Análise de Bioimpedância

Para a caracterização da amostra, foi empregada uma ficha de identificação contendo informações sobre sexo, idade e medidas de massa corporal. Além disso, procedeu-se a uma análise da composição corporal utilizando o método de bioimpedância (Thera Science, São José dos Campos, SP, Brasil), seguindo rigorosamente critérios de preparo para o teste. Estes incluíram: manutenção de um período de jejum mínimo de quatro horas antes do teste; abstenção de atividades físicas extenuantes nas 24 horas precedentes ao exame; esvaziamento da bexiga pelo menos 30 minutos antes da realização do teste; abstenção de consumo de bebidas alcoólicas nas 48 horas anteriores ao teste; suspensão de medicamentos diuréticos nos sete dias anteriores ao procedimento; e repouso em decúbito dorsal por pelo menos 5 a 10 minutos antes da execução do teste. O procedimento de bioimpedância foi conduzido de maneira uniforme para todos os participantes,

garantindo a consistência metodológica em todas as fases do estudo. Este método permitiu a estimativa do percentual de gordura corporal (%), da massa magra (kg), massa muscular (kg) e da água corporal total (L).

Protocolo de 1RM e 60% 1RM

As pernas foram testadas unilateralmente, sendo selecionadas aleatoriamente por sorteio. Após um intervalo de 24 horas, a perna contralateral foi avaliada seguindo o mesmo procedimento de EXT.

O protocolo de determinação de 1RM foi conduzido previamente e estruturado em etapas sequenciais. Inicialmente, os participantes realizaram exercícios de mobilidade articular voltados à articulação envolvida, seguidos por um aquecimento específico no equipamento, simulando o movimento de extensão unilateral do joelho. Em seguida, foi realizada uma primeira tentativa com aproximadamente 50% da carga estimada pelo próprio participante, permitindo a execução de 6 a 8 repetições, com um intervalo de três minutos para recuperação. Posteriormente, a carga foi ajustada para 75% da estimativa inicial, sendo permitidas de 3 a 5 repetições, seguidas de mais três minutos de intervalo. Após essa fase preparatória, foi iniciada a primeira tentativa para a realização de 1RM. Caso o participante conseguisse executar mais de uma repetição, foi concedido um intervalo de cinco minutos, seguido de uma nova tentativa, com incrementos progressivos de carga.

A progressão da carga foi realizada em acréscimos de 7 kg quando os participantes eram capazes de realizar mais de uma repetição. Para garantir maior precisão na determinação da carga máxima, foram utilizadas anilhas adicionais, acopladas externamente ao sistema de pilhagem da máquina, com variações de 1, 2, 3, 4 ou 5 kg. O protocolo de 1RM foi aplicado em duas sessões distintas.

Na mesma sessão em que os testes de 1RM foram realizados, os participantes realizaram um protocolo de 60% 1RM. Após a finalização do teste de 1RM, foi concedido um período de descanso passivo de 10 minutos. A carga correspondente a 60% 1RM foi calculada neste intervalo de tempo. Essa carga de trabalho foi ajustada sem o conhecimento dos participantes, a fim de garantir cegamento e não interferir nos resultados do teste.

Durante o teste de 60% 1RM, os participantes foram instruídos a realizar o maior número possível de repetições unilaterais utilizando o mesmo equipamento do

teste de 1RM. Para padronizar a execução, a fase concêntrica da extensão do joelho foi conduzida em um tempo aproximado de 1 a 2 segundos, seguido pela fase excêntrica com a mesma cadência, sem pausas entre as transições. O posicionamento dos participantes foi mantido idêntico ao adotado no teste de 1RM. O teste foi finalizado quando o participante tentasse executar uma nova repetição, mas não conseguisse completá-la. Durante toda a execução, foram permitidos incentivos verbais, entretanto, não houve qualquer assistência externa para facilitar o movimento ou auxiliar na realização das repetições.

Medidas de Ultrassom

A ultrassonografia modo B, modelo M6 da Mindray, foi utilizada para a determinação da espessura do músculo reto femoral (RF) e vasto lateral (VL), por meio de uma sonda linear modelo L14-6Ns, com frequência ajustável entre 6 e 14 megahertz (MHz). A avaliação da espessura muscular do RF foi conduzida em dois pontos distintos da coxa, correspondentes a 30% e 50% do comprimento total do fêmur, enquanto para o vasto lateral, a medição foi realizada na marca de 50% do comprimento femoral [25]. Para a correta localização dos pontos anatômicos de referência, foram adotados como marcos o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur, utilizando uma fita métrica antropométrica da marca Sanny® para garantir a padronização das medições. Todas as análises e coletas de imagens foram conduzidas por um único pesquisador, assegurando a consistência metodológica e minimizando a variabilidade inter avaliador.

Durante o protocolo de aquisição das imagens, os participantes permaneceram em repouso por um período de 10 minutos, deitados em uma maca em posição de decúbito dorsal, em um ambiente climatizado a 21°C. Os membros inferiores permaneceram relaxados ao longo de todo o procedimento. Após a marcação precisa dos pontos de interesse, foi aplicada uma camada generosa de gel aquoso de ultrassom sobre a pele e na extremidade da sonda, com o objetivo de otimizar a qualidade da captação das imagens. Durante a obtenção das imagens, foram tomadas precauções para evitar a compressão excessiva do tecido muscular pela sonda, a fim de não comprometer a fidelidade das medições.

Para garantir a estabilidade postural dos participantes e minimizar interferências por movimentos involuntários, foi solicitado que permanecessem

completamente imóveis durante o exame. Caso ocorressem movimentos passivos de rotação externa ou interna dos membros inferiores, foi aplicada uma fita de velcro ao redor dos tornozelos, na linha dos maléolos medial e lateral, a fim de mantê-los em posição neutra.

Cegamento dos protocolos

O estudo adotou uma estratégia parcial de cegamento para minimizar possíveis vieses tanto por parte dos participantes quanto dos pesquisadores. Os voluntários alocados no grupo EXT não tinham conhecimento sobre a existência e os procedimentos do grupo submetido à intervenção com PEMF, e a mesma condição foi aplicada aos participantes do grupo PEMF em relação ao EXT. Além disso, os participantes foram também cegados através da eliminação visual da carga utilizada para 60% 1RM. Por fim, para reduzir interferências relacionadas aos desfechos do estudo, o grupo EXT foi conduzido por um pesquisador externo, que não teve acesso aos dados basais ou finais dos testes, garantindo que sua atuação fosse neutra e sem influência sobre os resultados. O grupo PEMF foi conduzido apenas pelo pesquisador principal, sem acesso a outros investigadores.

Adicionalmente, o investigador líder da equipe não teve acesso aos dados de nenhum dos grupos até que o estudo fosse finalizado. Os dados foram tratados de forma cega.

Procedimento de randomização e alocação

A randomização dos participantes foi em diferentes etapas. A primeira foi realizada por meio de um sorteio simples, no qual cada voluntário teve suas pernas alocadas aleatoriamente para o procedimento de teste de 1RM. A segunda foi realizada para alocação nos dois grupos experimentais: PEMF ou EXT. O sorteio foi conduzido utilizando números correspondentes às duas condições experimentais, garantindo que a distribuição fosse equilibrada e sem viés de seleção. A alocação foi realizada logo após a assinatura do TCLE e a coleta inicial de dados antropométricos e testes de força. Para evitar a influência da dominância do membro inferior sobre os resultados, os participantes foram questionados sobre qual perna utilizariam para chutar uma bola de futebol, permitindo a identificação da perna dominante. Esse critério foi adotado para garantir que não houvesse um favorecimento sistemático de

um dos membros durante a alocação.

Tamanho do estudo

O tamanho amostral foi determinado com base nos seguintes parâmetros: Família de testes = *F tests;* Teste estatístico = *ANOVA repeated measures, within-between interaction;* Tipo de análise = *A priori compute required sample size. Os inputs* de análise foram*: Effect size = 0,40;* alfa = *0.05; Power = 0,85; Número de grupos = 2; Número de medidas = 2,* totalizando 18 participantes no total.

Análise Estatísticas

As distribuições e a normalidade dos dados foram analisadas a partir dos testes de Shapiro-Wilk. Os dados analíticos de base foram apresentados em média e desvio padrão, assim como os dados de desfecho primário. Entretanto, para os desfechos secundários, os dados foram expressos por mediana e Intervalos de confiança ($IC^{95\%}$). A ANOVA de medidas repetidas foi empregada para comparar os valores de espessura muscular (RF30%, RF50% e VL50% para ambas as pernas). O teste de Wilcoxon foi usado para comparar as análises no fator tempo para 1RM e 60% 1RM. As comparações entre grupos se deram através do teste U de Mann-Whitney para as mesmas variáveis. O tamanho do efeito foi determinado a partir do cálculo do eta quadrado parcial (η2p). Foi adotado um nível de significância de $p < 0,05$. Todas as análises foram feitas no pacote estatístico IBM SPSS versão 25. As análises gráficas foram realizadas pelo software GraphPad Prism (Versão 8).

RESULTADOS

Informações gerais

As variáveis demográficas e antropométricas foram testadas quanto a normalidade do comportamento gaussiano. A normalidade foi atestada para todas as variáveis. A Tabela 2 apresenta o nível de significância relacionado a tais variáveis.

Tabela 2. Análise de normalidade das variáveis demográficas e antropométricas

	Idade (anos)	Altura (cm)	Massa Corporal (kg)	Massa livre (kg)	Gordura (%)
PEMF	p = 0,327	p = 0,849	p = 0,062	p = 0,172	p = 0,249
EXT	p = 0,060	p = 0,616	p = 0,323	p = 0,353	p = 0,500

PEMF = campo eletromagnético pulsátil; EXT = grupo tradicional de treinamento resistido (cadeira

extensora).

O comportamento de distribuição das variáveis dependentes primárias, espessura muscular de RF30%, RF50%, VL50% e 1RM, em ambas as pernas, foi devidamente testado. A Tabela 3 apresenta se a normalidade das variáveis dependentes de espessura muscular foi violada ou preservada. A Tabela 4 apresenta apresenta se a normalidade das variáveis dependentes de força e resistência de força.

Tabela 3. Análise de normalidade das variáveis dependentes; espessura muscular.

	Pré Intervenção					
	RF30% Dir (cm)	RF30% Esq (cm)	RF50% Dir (cm)	RF50% Esq (cm)	VL50% Dir (cm)	VL50% Esq (cm)
PEMF	p = 0,739	p = 0,897	p = 0,071	p = 0,149	p = 0,134	p = 0,687
EXT	p = 0,101	p = 0,296	p = 0,377	p = 0,686	p = 0,887	p = 0,758
	Pós Intervenção					
	RF30% Dir (cm)	RF30% Esq (cm)	RF50% Dir (cm)	RF50% Esq (cm)	VL50% Dir (cm)	VL50% Esq (cm)
PEMF	p = 0,310	p = 0,762	**p = 0,007***	p = 0,494	p = 0,574	p = 0,271
EXT	**p = 0,002***	p = 0,039	p = 0,190	p = 0,687	p = 0,476	p = 0,594

Tabela 4. Análise de normalidade das variáveis dependentes; 1RM e 60% 1RM.

	Pré Intervenção			
	1RM Dir (kg)	1RM Esq (kg)	60% 1RM Dir (kg)	60% 1RM Esq (kg)
PEMF	p = 0,333	p = 0,009	p = 0,239	p = 0,883
EXT	p = 0,959	p = 0,219	p = 0,081	p = 0,468
	Pós Intervenção			
	1RM Dir (kg)	1RM Esq (kg)	60% 1RM Dir (kg)	60% 1RM Esq (kg)
PEMF	p = 0,246	p = 0,086	**p = 0,002***	**p = 0,008***
EXT	**p = 0,016***	**p = 0,026***	**p = 0,004***	p = 0,444

Para o processo de análise dos dados, a comparação das variáveis demográficas e atropométricas seguiram pressopostos paramétricos (teste t independente). Para as variáveis dependentes de espessura muscular, como o padrão de comportamento dos dados em sua maioria não violou a normalidade, tais variáveis foram tratadas parametricamente (ANOVA 2x2 de medidas repetidas). Por fim, como a maioria das variáveis de força violaram a normalidade, 1RM e 60% 1RM foram tratados não parametricamente (teste de Wilcoxon para análise temporal e

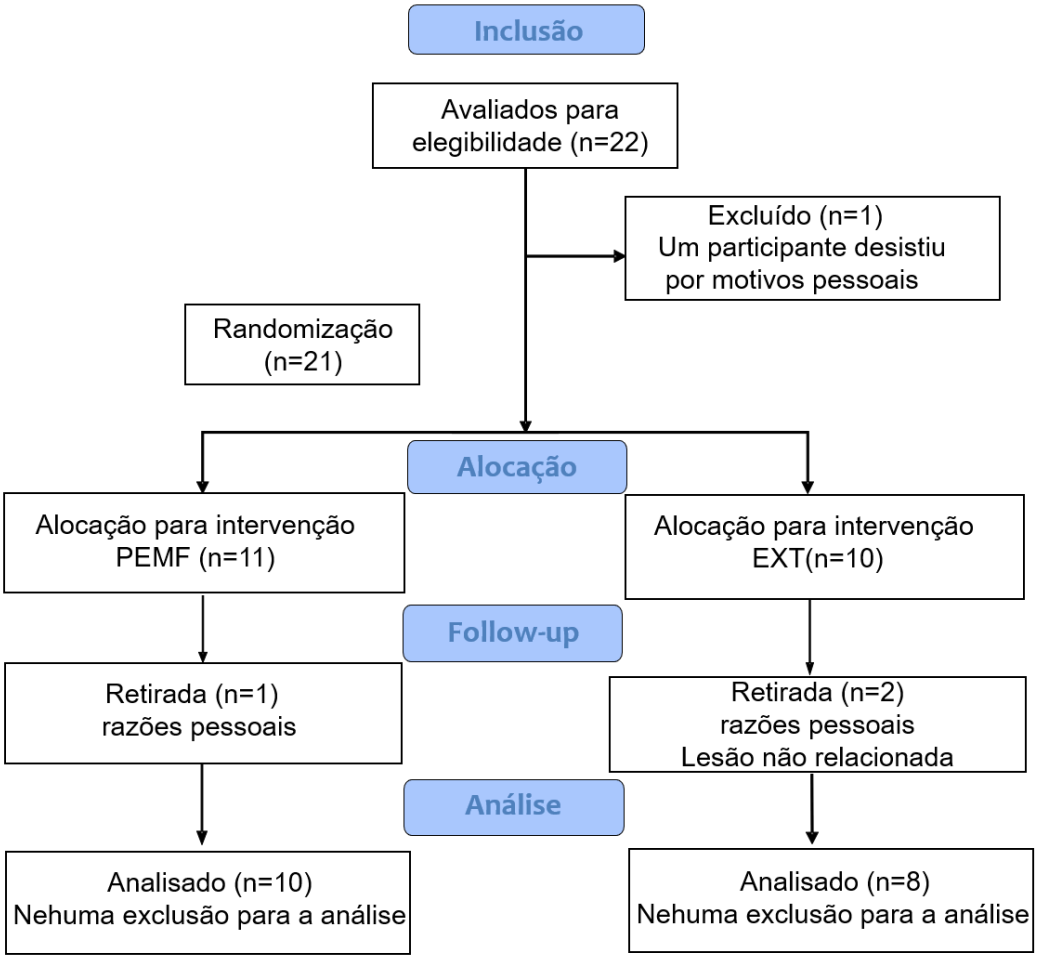
Mann-Whitney para determinar diferenças entre grupos). Os dados para tais variáveis foram apresentados por mediana e ($IC^{95\%}$).

A Tabela 5 apresenta os dados demográficos e antropométricos dos participantes. A comparação entre grupos de intervenções (PEMF e EXT) foi realizada por um teste T para amostras independentes. Foi observado diferenças significativas apenas para gorgura percentual (p = 0,033), sugerindo igualdade de baseline para as variáveis dependentes primárias e secundárias. O fluxograma 1 apresenta o fluxo de entrada e exclusão dos participantes.

Tabela 5: Dados demográficos e de caracterização antropométrica dos participantes.

	PEMF	**EXT**	**PEMF**	**EXT**	**PEMF**	**EXT**
	Média ± DP		Média ± DP		Média ± DP	
	(Homens)		(Mulheres)		(Geral)	
Idade (anos)	23,7 ± 2,7	23,0 ± 7,0	22,3 ± 2,3	22,3 ± 2,7	22,9 ± 2,4	23,2 ± 3,9
Massa Corporal (kg)	72,5 ± 10,1	78,5 ± 12,0	56,7 ± 7,1	62,5 ± 12,5	63,0 ± 11,4	66,5 ± 13,7
Estatura (cm)	1,76 ± 0,04	1,71 ± 0,01	1,65 ± 0,04	1,60 ± 0,05	1,69 ± 0,07	1,63 ± 0,07
Massa Magra (kg)	42,5 ± 3,1	43,6 ± 5,0	39,2 ± 4,8	35,4 ± 6,5	40,5 ± 4,3	37,4 ± 6,9
Gordura (%)	21,4 ± 3,8	23,7 ± 5,2	23,8 ± 7,1	30,5 ± 8,2	22,8 ± 5,8	**30,1 ± 7,3***
RF30% Dir (cm)	2,48 ± 0,18	2,50 ± 0,81	1,92 ± 0,20	1,90 ± 0,08	2,14 ± 0,30	2,05 ± 0,40
RF30% Esq (cm)	2,49 ± 0,35	2,57 ± 0,66	1,98 ± 0,28	1,81 ± 0,30	2,19 ± 0,39	2,00 ± 0,50
RF50% Dir (cm)	1,89 ± 0,33	1,57 ± 0,12	2,07 ± 0,72	1,84 ± 0,21	1,70 ± 0,27	1,90 ± 0,30
RF50% Esq (cm)	1,97 ± 0,29	2,16 ± 0,66	1,72 ± 0,17	1,88 ± 0,28	1,82 ± 0,25	1,95 ± 0,37
VL50% Dir (cm)	2,49 ± 0,46	2,23 ± 0,11	1,98 ± 0,22	2,16 ± 0,26	2,18 ± 0,41	2,17 ± 0,22
VL50% Esq (cm)	2,49 ± 0,18	2,34 ± 0,61	2,02 ± 0,22	2,01 ± 0,33	2,21 ± 0,31	2,09 ± 0,39
1RM Dir (kg)	62,0 ± 15,2	52,0 ± 9,9	37,3 ± 6,83	36,8 ± 9,1	47,2 ± 16,3	40,6 ± 11,1
1RM Esq (kg)	63,2 ± 24,5	47,0 ± 7,0	37,8 ± 8,0	31,5 ± 3,2	48,0 ± 20,2	35,3 ± 8,1
60% 1RM Dir (reps)	14,0 ± 3,1	15,0 ± 4,2	12,0 ± 2,1	10,8 ± 1,4	12,8 ± 2,6	11,8 ± 2,8
60% 1RM Esq (reps)	11,7 ± 2,2	14,5 ± 0,7	12,0 ± 1,7	10,5 ± 2,8	11,9 ± 1,8	11,5 ± 3,0

PEMF = Campo eletromagnético pulsátil; EXT = tradicional treinamento de força em cadeira extensora; RF30% Dir = espessura de reto femoral proximal direito; RF30% Esq = espessura de reto femoral proximal esquerdo; RF50% Dir = espessura de reto femoral médio direito; RF50% Esq = espessura de reto femoral médio esquerdo; 1RM Dir = carga máxima para 1 repetição na perna direita; 1RM Esq = carga máxima para 1 repetição na perna esquerda; 60% 1RM Dir = resistência de força até a falha na carga de 60% de 1RM na perna direita; 60% 1RM Esq = resistência de força até a falha na carga de 60% de 1RM na perna esquerda; A normalidade dos dados foi atestada para as condições pré exercício e foram expressos por média e desvio padrão. **(*)** diferenças significativas entre grupos.



Fluxograma 1. Fluxo de entrada, saída e exclusão dos participantes.

Desfecho Primário

Análises de espessura muscular

A ANOVA de medidas repetidas indicou diferença significativa para espessura muscular do RF 30% direita para fator tempo ($F_{1,16}$ = 9,976; p = 0,006; η2p = 0,384), mas não entre grupos (p = 0,570) ou interação grupo x tempo ($F_{1,16}$ = 0,295; p = 0,594; η2p = 0,018). Para RF 50% direita, não houve diferenças significativas para o fator tempo ($F_{1,16}$ = 3,258; p = 0,090; η2p = 0,169), grupo (p = 0,247) ou interação grupo x tempo ($F_{1,16}$ = 0,174; 0,683; η2p = 0,011). Para VL 50% também não ficou evidenciado diferenças significativas para o fator tempo ($F_{1,16}$ = 4,063; p = 0,061; η2p = 0,203), grupo (p = 0,741) ou interação grupo tempo ($F_{1,16}$ = 0,768; p = 0,394; η2p = 0,046).

Não houve diferenças signficativas para espessura muscular do RF 30% esquerdo para fator tempo ($F_{1,16}$ = 0,356; p = 0,559; η2p = 0,022), grupo (p = 0,411) ou interação grupo x tempo ($F_{1,16}$ = 0,151; p = 0,703; η2p = 0,009); da mesma forma

ocorreu para RF 50% esquerdo para fator tempo ($F_{1,16}$ = 1,961; p = 0,180; η2p = 0,109), grupo (p = 0,491) ou interação grupo x tempo ($F_{1,16}$ = 0,657; p = 0,429; η2p = 0,039). Para VL 50% esquerdo, houve diferenças para o fator tempo ($F_{1,16}$ = 10,823; p = 0,005; η2p = 0,404), mas não entre grupo (p = 0,526) ou interação grupo x tempo (F1,16 = 0,012; p = 0,913; η2p = 0,001).

Os resultados de alterações pré e pós intervenção com PEMF e EXT são apresentadas detalhadamente na Figura 2 e 3, respectivamente.

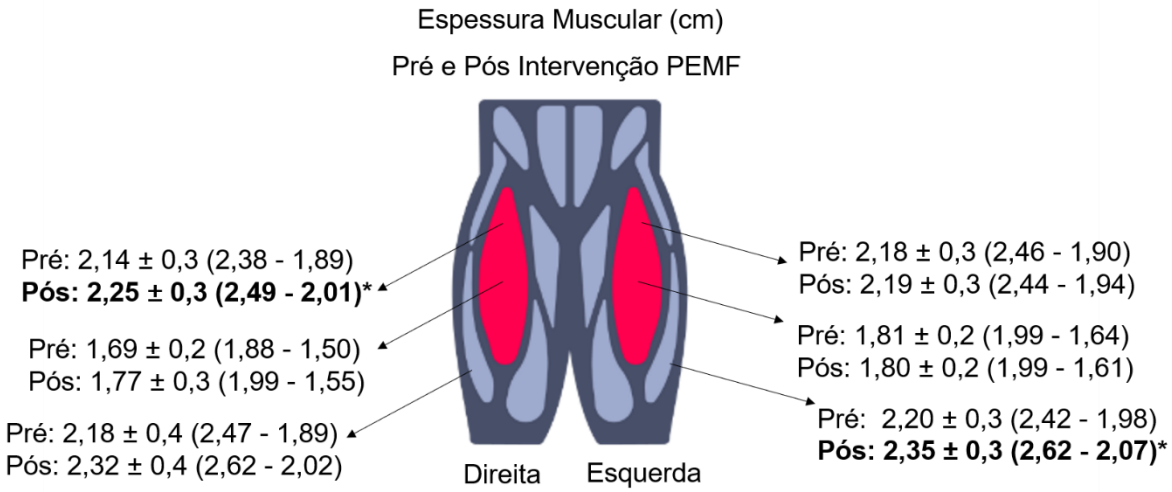


Figura 2. Respostas de espessura muscular após 8 semanas de PEMF.

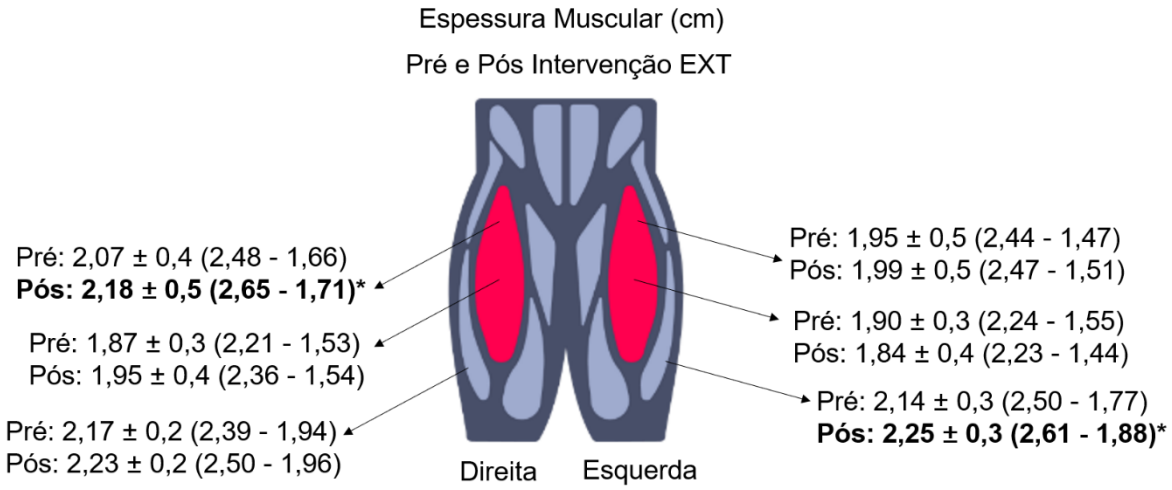


Figura 3. Respostas de espessura muscular após 8 semanas de EXT.

Desfechos Secundários

A Tabela 6 apresenta os dados detalhados de mediana e $IC^{95\%}$ para 1RM e

60% 1RM pré e pós intervenção com PEMF e EXT. As Figuras 4A e 4B apresentam os respondendores e não respondedores a intervenção de PEMF e EXT.

Análises de 1RM

O teste de Wilcoxon comparou os as medianas pré e pós intervenção com PEMF, sendo observado diferenças signficativas para extensão de joelho da perna direita (Z = -2,527; p = 0,012) e esquerda (Z = -2,103; p = 0,035). O mesmo ocorreu para o grupo EXT, sendo evidenciados diferenças significativas para 1RM de extensão de joelho da perna direita (Z = -2,120; p = 0,034) e esquerda (Z = -2,366; p = 0,018). O teste de Mann-Whitney não apresentou diferenças entre grupos para medida de 1RM na perna direita para condição pré (U = 31,500; Z = -0,759; p = 0,448) e pós exercício (U = 33,500; Z = -0,578; p = 0,573). O mesmo ocorreu para a condição pré (U = 23,500; Z = -1,470; p = 0,142) e pós exercício (U = 31,500; Z = -0,757; p = 0,449) para a perna esquerda.

Análise de repetições a 60% 1RM

Para 60% 1RM na perna direita (Z = -2,552; p = 0,011) e esquerdo (Z = -2,366; p = 0,018), o teste de Wilcoxon apresentou diferenças significativas para o grupo PEMF. O mesmo ocorreu para 60% 1RM na perna direita (Z= -2,536 p=0,011) e esquerda (Z= -2536 p=0,011) para o grupo EXT. O teste U de Mann-Whitney não mostrou diferenças significativas entre grupos tanto na condição pré: 60% 1 RM da perna direita (U = 30,500 p=0,392), quanto para 60% 1 RM da perna esquerda (U = 38,000 p=0,858).

Tabela 6. Análise comparativa de 1RM e 60% 1RM entre intervenções

Intervenção	Pré Intervenção		Pós Intervenção	
(PEMF)	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
1RM (kg)	43,0 (35,5 – 58,8)	40,5 (33,5 – 62,4)	**46,5 (39,8 – 65,5)***	**46,0 (36,4 – 68,3)***
60%1RM (reps)	12,0(10,9 – 14,6)	11,5 (10,5 – 13,2)	**16,0 (12,6 – 24,3)***	**14,5 (11,8 – 22,3)***
(EXT)				
1RM (kg)	41,5 (31,3 – 49,9)	33,5 (28,5 – 42,1)	**45,0 (30,9 – 65,7)***	**41,0 (31,2 – 59,7)***
60%1RM (reps)	11,5 (9,5 – 14,2)	11,5 (8,9 – 14,0)	**12,5 (10,1 – 21,3)***	**15,5 (12,2 – 21,2)***

Dados expressos em mediana e ($IC^{95\%}$). **(*)** diferenças para o fator tempo. Os grupos não difereiram significativamente.

Efeitos adversos tratamento PEMF

Os efeitos adversos da intervenção com PEMF foram monitorados ao longo de todas as sessões, que seguiram um horário fixo e um padrão de posicionamento dos manípulos, semelhante ao princípio de sobrecarga progressiva adotado no treinamento resistido. Durante as primeiras sessões, a intensidade do fluxo magnético foi ajustada em níveis mais baixos (25 a 30% de densidade de fluxo), com incrementos graduais ao longo do protocolo, o que facilitou a adaptação dos participantes e favoreceu a adesão ao tratamento. Nenhum efeito adverso foi relatado, incluindo elevação da temperatura corporal no local de aplicação, coceira, dor ou outros desconfortos geralmente associados a tratamentos baseados em estimulação elétrica.

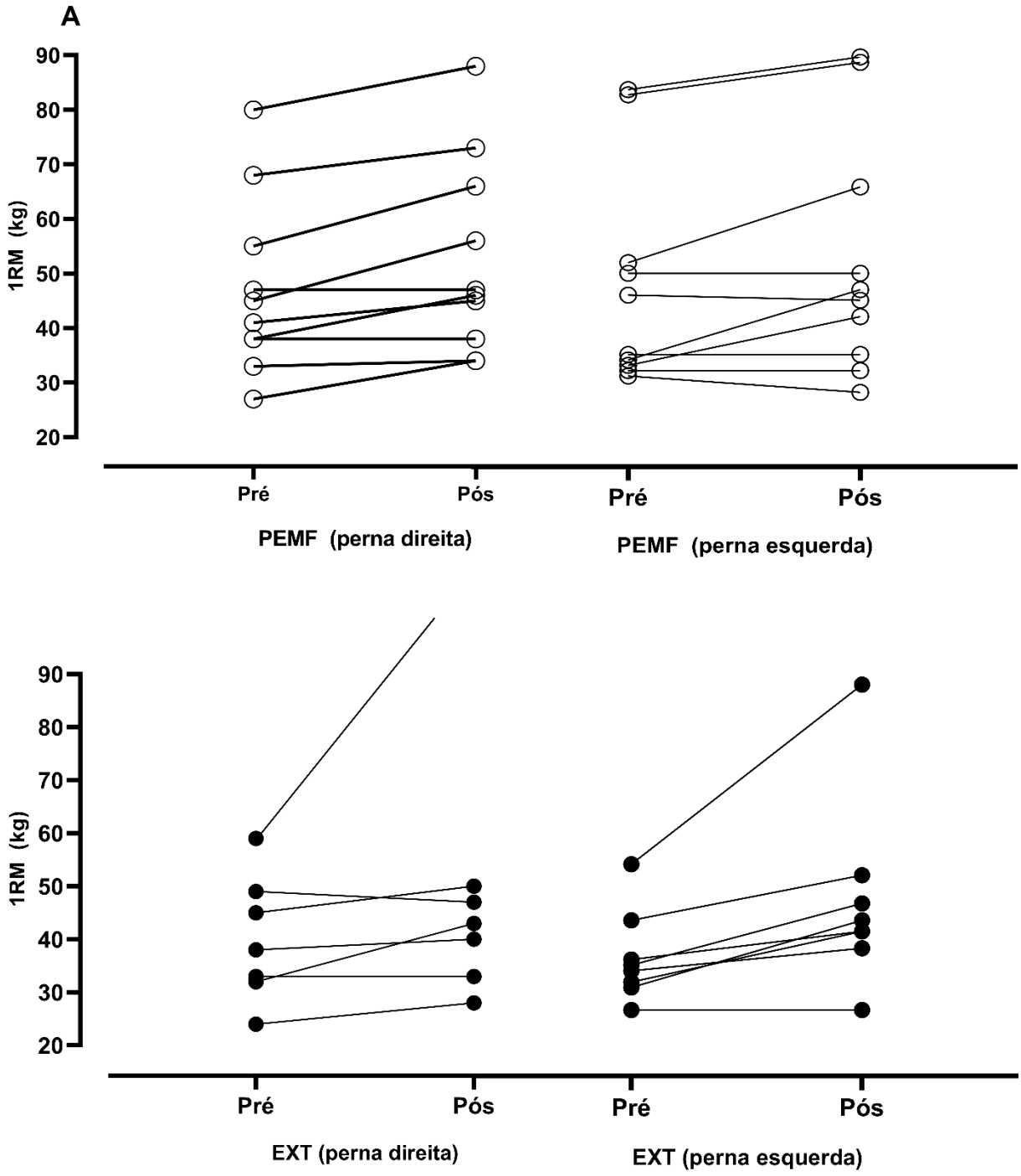


Figura 4A: Respondedores e não respondedores para 1RM em ambas as intervenções.

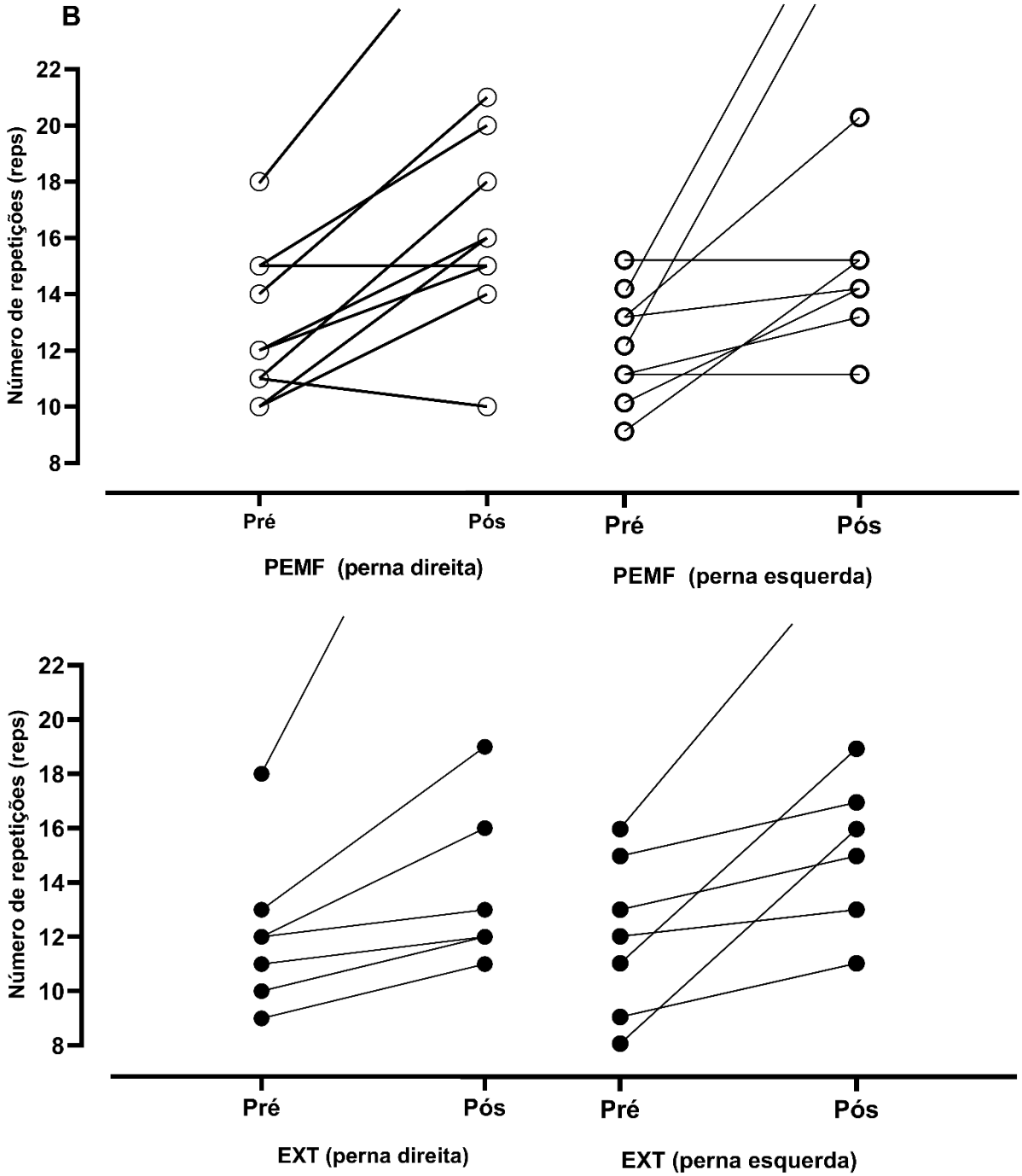


Figura 4B: Respondedores e não respondedores para o número de repetições a 60% 1RM.

DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos da intervenção com PEMF em comparação ao treinamento de força tradicional (EXT) sobre a espessura muscular do RF 30% e 50%, bem como do VL 50%. Além disso, avaliou-se o desempenho de 1RM na extensão de joelho e o número de repetições realizadas a

60% 1RM. Nesse contexto, este estudo se destaca como pioneiro na investigação do potencial do PEMF como promotor de ganhos na espessura muscular e no desempenho de força em indivíduos destreinados. Nossa hipótese principal (H^1) não foi plenamente confirmada, uma vez que apenas a espessura muscular de RF 30% da perna direita e VL 50% da perna esquerda apresentaram diferenças significativas entre os grupos. Por outro lado, a hipótese secundária (H^2) foi corroborada, pois ambos os grupos demonstraram ganhos significativos no desempenho de 1RM e no número de repetições a 60% 1RM em ambas as pernas.

Diante desses achados, podemos inferir que a estratégia PEMF pode representar uma alternativa viável ao treinamento resistido tradicional, promovendo adaptações estruturais e funcionais similares em indivíduos destreinados. Vale destacar que somos um dos primeiros na literatura em apresentar significativos efeitos adaptativos sobre RF e VL, assim como, a utilizar a medida de ultrassom como estratégia de avaliação. Apesar disso, tal condição também nos limita quando tentamos comparar nossos achados aos disponíveis na literatura.

Desfechos primários

O estudo preliminar de Duncan e Dinev [15], analisaram os efeitos da intervenção de PEMF, indicando um aumento significativo na densidade da massa muscular (20,56%) em modelo animal. Entretanto, apesar do alinhamento com nossos resultados, devemos ter cautela ao extrapolar tais desfechos para nossa população. Em humanos, a análise torna-se razoavelmente escassa. Mas, em linha com nossos achados, o estudo de Kinney e Lozanova [1] avaliaram a eficácia e segurança da tecnologia de PEMF de alta intensidade sobre a composição corporal e alterações teciduais abdominais. Dois meses após a intervenção, houve uma redução de 18,6% na espessura do tecido adiposo, acompanhada de um aumento de 15,4% na espessura do músculo reto abdominal e uma redução de 10,4% na diástase do reto abdominal. Essas alterações não foram associadas a mudanças na dieta ou no peso corporal dos participantes, sugerindo que os efeitos foram diretamente atribuídos ao tratamento com PEMF.

Jacob e Paskova, de forma menos rigorosa, atestaram a eficácia de intervenções com PEMF desmontrando redução significativa da circunferência da cintura (4,37 cm) e a melhora da satisfação em 91% na aparência abdominal e 92%

expressando satisfação com os resultados após três meses. Apesar disso, o rigor metodológico empregado no estudo, é de baixa qualidade, dificultando a comparação dos resultados.

De fato, nosso estudo foi o primeiro a abordar medidas via ultrassom para detectar modificações estruturais. Dessa forma, é importante destacar que, embora as avaliações de espessura muscular por ultrassonografia apresentem boa validade e reprodutibilidade, conforme observado por Stausholm et al., [25], trata-se de uma métrica unidimensional, o que pode torná-la pouco sensível a variações sutis, dificultando a detecção estatisticamente significativa frente a pequenas mudanças [26]. Enes et al., [27], demonstram que frente a medidas de área de secção transversa, efeitos significativos de adaptação ao exercício são manifestados. No entanto, a própria medida de espessura muscular via ultrassom parece não ser sensível o suficiente para atingir significância estatística diante das variações existentes. Os autores ainda relataram que os incrementos sobre o músculo, variaram em média 0.5cm para VL ($IC^{95\%}$: -0.2 – 1.4), embora os efeitos adaptativos de espessura muscular tenham sido mais modestos em nosso estudo (PEMF: 0,15 cm; EXT: 0,11 cm para o VL 50%). Apesar destes limitadores, nosso estudo fortalece a ideia de que PEMF produz efeitos similares ao tradicional TR.

Apesar de não analisarmos mecanismos moleculares, parece que os mesmos não são diferentes do tradicional treinamento resistido. Por inferência, é possível criar um racional sobre os efeitos do PEMF, uma vez que em modelo animal isso já tenha sido investigado [15]. O mecanismo de ação pode estar fundamentado na indução de despolarização direta os neurônios motores periféricos, estimulando a contração muscular de maneira intensa e repetida. Esse processo leva a uma ativação muscular mais ampla em comparação à estímulos nervosos convencionais, favorecendo adaptações estruturais e funcionais nos músculos tratados. Além disso, esse processo resulta na liberação direta de acetilcolina na junção neuromuscular, desencadeando a abertura dos canais de cálcio dependentes de voltagem, permitindo um potente influxo de cálcio [28]. Assim, a contração muscular pode ser induzida não apenas pela ativação neuronal, mas também por modificações diretas no potencial de membrana das fibras musculares, possibilitando a formação de pontes cruzadas, independentemente de um estímulo neural convencional [14].

Adicionalmente, tanto PEMF quanto EXT parecem capazes de desencadear

respostas fisiológicas, que induzem a fosforilação de proteínas chaves, relacionadas a síntese proteica como a rapamacina em mamíferos - Mtor1 [29]. A estratégia de campo eletromagnético também parecem inibir reguladores de degradação como FOXO [29]. Outro importante achado, foi a presença de neovascularização no tecido muscular tratado em animais, evidenciada por um aumento na formação de novos capilares. Esse fenômeno pode representar uma resposta adaptativa que transcende a perspectiva estrutural, contribuindo para liberação de importantes fatores de crescimento, tal como, VEGF [15].

Desfechos secundários

O aumento da força máxima em 1RM observado no grupo PEMF sugere que a tecnologia de campo eletromagnético pode induzir adaptações neurais de maneira similar ao treinamento resistido tradicional (EXT), e isso é uma importante novidade. Embora os ganhos de força também possam estar associados a modificações estruturais, como as observadas para RF e VL, acreditamos que, como todas as pernas apresentaram desfechos positivos, melhorando sua performance, os incrementos no desempenho de 1RM sejam predominantemente atribuídos a adaptações neurais, especialmente nas fases iniciais de um programa de treinamento em participantes destreinados [30] . Essas adaptações incluem a melhoria na ativação das unidades motoras, coordenação intramuscular, inibição de antagonista, dentre outros efeitos, resultando em um aumento da capacidade de produção de força sem necessariamente envolver hipertrofia muscular significativa [18]. Está claro que a estimulação promovida pelo PEMF parece atuar diretamente sobre os neurônios motores periféricos, não envolvendo diretamente a voluntariedade da contração. No entanto, os feedbacks aferentes em diferentes níveis, não isentam o sistema nervoso central de suas funções e ajustes [31]. Esse efeito pode ser especialmente relevante para populações que enfrentam dificuldades para realizar treinamentos convencionais, como idosos ou pacientes em reabilitação, que poderiam se beneficiar da ativação muscular induzida pelo campo eletromagnético [13,14].

A literatura é ainda carece sobre ao uso de PEMF no contexto da força. No entanto, algumas evidências sugerem que nossas observações possam ser replicadas em diferentes populações. Por exemplo, o estudo conduzido por Leonardo et al., [13] avaliou os efeitos de PEMF sobre a força muscular e na funcionalidade de

idosos sarcopênicos, e demonstrou expressivos ganhos após 12 sessões de intervenção. Houve um aumento médio de 27% na força muscular, confirmado por análise de dinamometria, com todos os participantes apresentando variações positivas ($p < 0,001$). Assim como em nosso estudo, a análise comparativa entre os membros inferiores indicou ganhos para ambas as pernas ($p = 0,429$). Além disso, o tempo médio de execução do teste Timed Up and Go foi significativamente reduzido, passando de 40,0 ± 10,0 segundos para 22,0 ± 6,0 segundos após o tratamento ($p = 0,005$), representando uma melhora funcional de aproximadamente 47%. Tal resultado indica melhor eficiência neuromuscular, favorecendo a locomoção dos participantes idosos. Vale destacar que a manutenção de força assim como elevar tal valência é um importante marcador que se associa a efeitos protetores cardiovasculares e de saúde [32,33].

O presente estudo identificou um aumento expressivo no número de repetições realizadas com 60% 1RM, sem diferenças entre os grupos. Esses achados se alinham com as observações de Gerson et al., [34] que evidenciaram que o treinamento de membros inferiores, realizado em diferentes configurações de repetições, resulta em melhorias nas adaptações de força máxima e endurance muscular, com o treinamento com altas repetições sendo mais eficaz em favor da resistência de força. No grupo PEMF, um número elevado de contrações musculares tetânicas foi requerido ao longo dos 30 min de intervenção, o que se alinha aos achados anteriores de Gerson et al., [34]. Adicionalmente, a literatura sugere que a exposição ao campo eletromagnético pode estimular a regulação do cálcio intracelular, ativando vias de sinalização que promovem a eficiência contrátil e a resistência à fadiga, o que pode explicar os resultados obtidos [28,29].

Então, considerando o racional de que PEMF induza a melhora da resistência de força, podemos inferir que a adaptação ao treinamento melhorou a eficiência energética, e possivelmente adaptou o ambiente intracelular da fibra muscular, a ponto de favorecer a tolerância a fadiga. Nossos resultados abrem um leque para futuras investigações utilizados o PEMF como um possível promotor de adaptações celulares, e pesquisas futuras com outras populações, assim como, “n” amostral mais robustos são requeridos.

Limitações

Este estudo apresenta algumas limitações que, embora não diminuam seu mérito como uma abordagem pioneira e inovadora para promover adaptações musculares, devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, os achados não podem ser generalizados para populações que não foram contempladas na amostra, como indivíduos recreacionalmente treinados ou atletas de elite, tornando necessárias investigações específicas para esses grupos. Outra limitação relevante diz respeito ao controle de variáveis externas que poderiam influenciar os desfechos primários, em especial a alimentação dos participantes. Embora tenha sido recomendado que mantivessem seus padrões alimentares e estilo de vida inalterados ao longo do estudo, não foi realizado um acompanhamento detalhado por meio de recordatórios alimentares ou controle rigoroso da ingestão nutricional. Assim, estudos futuros devem considerar um monitoramento mais preciso desse fator, a fim de minimizar possíveis interferências nos resultados. Por fim, reconhecemos que a perda amostral ao longo da intervenção pode ter impactado os achados, reduzindo o poder estatístico das análises. Apesar disso, os dados obtidos fornecem evidências iniciais valiosas para direcionar futuras pesquisas sobre os efeitos do PEMF, com a necessidade de estudos mais robustos e com amostras maiores para aprofundar a compreensão de suas aplicações e benefícios.

CONCLUSÃO

A terapia PEMF promove similares aumentos de espessura muscular e ganhos sobre o desmpenho de 1RM, assim como resistência de força de membro inferiores em participantes destreinados. Mais evidencias devem emergir para que possamos respaldar e extrapolar tais achados para outras populações.

REFERENCIAS

1. Kinney BM, Lozanova P. High intensity focused electromagnetic therapy evaluated by magnetic resonance imaging: Safety and efficacy study of a dual tissue effect based non-invasive abdominal body shaping. *Lasers Surg Med*. **2019**;51(1):40-46.10.1002/lsm.23024
2. Jacob CI, Paskova K. Safety and efficacy of a novel high-intensity focused electromagnetic technology device for noninvasive abdominal body shaping. *J Cosmet Dermatol*. **2018**;17(5):783-787.10.1111/jocd.12779
3. Samuels JB, Pezzella A, Berenholz J, Alinsod R. Safety and Efficacy of a Non-Invasive High-Intensity Focused Electromagnetic Field (HIFEM) Device for Treatment of Urinary Incontinence and Enhancement of Quality of Life. *Lasers Surg Med*. **2019**;51(9):760-766.10.1002/lsm.23106

4. Bogataj U, Gros N, Kljajic M, Acimovic R, Malezic M. The rehabilitation of gait in patients with hemiplegia: a comparison between conventional therapy and multichannel functional electrical stimulation therapy. *Phys Ther*. **1995**;75(6):490-502.10.1093/ptj/75.6.490
5. Han TR, Shin HI, Kim IS. Magnetic stimulation of the quadriceps femoris muscle: comparison of pain with electrical stimulation. *Am J Phys Med Rehabil*. **2006**;85(7):593-599.10.1097/01.phm.0000223239.93539.fe
6. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*. **2007**;37(2):145-168.10.2165/00007256-200737020-00004
7. Baz-Valle E, Balsalobre-Fernandez C, Alix-Fages C, Santos-Concejero J. A Systematic Review of The Effects of Different Resistance Training Volumes on Muscle Hypertrophy. *J Hum Kinet*. **2022**;81199-210.10.2478/hukin-2022-0017
8. Tabrah F, Hoffmeier M, Gilbert F, Jr., Batkin S, Bassett CA. Bone density changes in osteoporosis-prone women exposed to pulsed electromagnetic fields (PEMFs). *J Bone Miner Res*. **1990**;5(5):437-442.10.1002/jbmr.5650050504
9. Chang K, Chang WH. Pulsed electromagnetic fields prevent osteoporosis in an ovariectomized female rat model: a prostaglandin E2-associated process. *Bioelectromagnetics*. **2003**;24(3):189-198.10.1002/bem.10078
10. Sert C, Mustafa D, Duz MZ, Aksen F, Kaya A. The preventive effect on bone loss of 50-Hz, 1-mT electromagnetic field in ovariectomized rats. *J Bone Miner Metab*. **2002**;20(6):345-349.10.1007/s007740200050
11. Jing D, Zhai M, Tong S *et al.* Pulsed electromagnetic fields promote osteogenesis and osseointegration of porous titanium implants in bone defect repair through a Wnt/beta-catenin signaling-associated mechanism. *Sci Rep*. **2016**;632045.10.1038/srep32045
12. Cai J, Li W, Sun T, Li X, Luo E, Jing D. Pulsed electromagnetic fields preserve bone architecture and mechanical properties and stimulate porous implant osseointegration by promoting bone anabolism in type 1 diabetic rabbits. *Osteoporos Int*. **2018**;29(5):1177-1191.10.1007/s00198-018-4392-1
13. Leonardo PS, Cardoso KR, Silva BO *et al.* Evaluation of pulsed electromagnetic field therapy to improve muscle strength and functional aspects in the elderly: A pilot study. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*. **2023**;21:12931-7.10.17784/mtprehabjournal.2023.21.1252
14. Leonardo PS, Cardoso KR, Vieira RP *et al.* Applications of Pulsed Electromagnetic Field Therapy in Skeletal-Muscle System: An Integrative Review. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*. **2023**;211-11.https://doi.org/10.17784/mtprehabjournal.2023.21.1252
15. Duncan D, Dinev I. Noninvasive Induction of Muscle Fiber Hypertrophy and Hyperplasia: Effects of High-Intensity Focused Electromagnetic Field Evaluated in an In-Vivo Porcine Model: A Pilot Study. *Aesthet Surg J*. **2020**;40(5):568-574.10.1093/asj/sjz244
16. Cicek F, Tastekin B, Baldan I *et al.* Effect of 40 Hz Magnetic Field Application in Posttraumatic Muscular Atrophy Development on Muscle Mass and Contractions in Rats. *Bioelectromagnetics*. **2022**;43(8):453-461.10.1002/bem.22429
17. DiBernardo B, Chilukuri S, McCoy JD, Katz B, Goldberg DJ. High-Intensity Focused Electromagnetic Field With Synchronized Radiofrequency Achieves Superior Gluteal Muscle Contouring Than High-Intensity Focused

Electromagnetic Field Procedure Alone. *Aesthet Surg J Open Forum*. **2023**;5ojac087.10.1093/asjof/ojac087

18. Nunes JP, Kassiano W, Costa BDV, Mayhew JL, Ribeiro AS, Cyrino ES. Equating Resistance-Training Volume Between Programs Focused on Muscle Hypertrophy. *Sports Med*. **2021**;51(6):1171-1178.10.1007/s40279-021-01449-2
19. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. **2016**;46(11):1689-1697.10.1007/s40279-016-0543-8
20. Stausholm MB, da Silva KR, Inacio PA *et al.* Reliability of ultrasound assessment of the rectus femoris muscle thickness: intra-rater, inter-rater, and inter-day analysis accounting for age and sex. *BMC Musculoskelet Disord*. **2024**;25(1):916.10.1186/s12891-024-08033-5
21. van der Zwaard S, Hooft Graafland F, van Middelkoop C, Lintmeijer LL. Validity and Reliability of Facial Rating of Perceived Exertion Scales for Training Load Monitoring. *J Strength Cond Res*. **2023**;37(5):e317-e324.10.1519/JSC.0000000000004361
22. Nussbaum EL, Houghton P, Anthony J, Rennie S, Shay BL, Hoens AM. Neuromuscular Electrical Stimulation for Treatment of Muscle Impairment: Critical Review and Recommendations for Clinical Practice. *Physiother Can*. **2017**;69(5):1-76.10.3138/ptc.2015-88
23. Mansourian M, Shanei A. Evaluation of Pulsed Electromagnetic Field Effects: A Systematic Review and Meta-Analysis on Highlights of Two Decades of Research In Vitro Studies. *Biomed Res Int*. **2021**;20216647497.10.1155/2021/6647497
24. Zhai M, Jing D, Tong S *et al.* Pulsed electromagnetic fields promote in vitro osteoblastogenesis through a Wnt/beta-catenin signaling-associated mechanism. *Bioelectromagnetics*. **2016**;37(3):152-162.10.1002/bem.21961
25. Stausholm MB, da Silva KR, Inácio PA *et al.* Reliability of ultrasound assessment of the rectus femoris muscle thickness: intra-rater, inter-rater, and inter-day analysis accounting for age and sex. *BMC Musculoskeletal Disorders*. **2024**;25(1):916.10.1186/s12891-024-08033-5
26. Haun CT, Vann CG, Roberts BM, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Roberts MD. A Critical Evaluation of the Biological Construct Skeletal Muscle Hypertrophy: Size Matters but So Does the Measurement. *Front Physiol*. **2019**;10247.10.3389/fphys.2019.00247
27. Enes A, Correa CL, Bernardo MF *et al.* Does increasing the resistance-training volume lead to greater gains? The effects of weekly set progressions on muscular adaptations in females. *J Sports Sci*. **2025**;1-12.10.1080/02640414.2025.2459003
28. Petecchia L, Sbrana F, Utzeri R *et al.* Electro-magnetic field promotes osteogenic differentiation of BM-hMSCs through a selective action on Ca(2+)-related mechanisms. *Sci Rep*. **2015**;513856.10.1038/srep13856
29. Yang J, Sun L, Fan X *et al.* Pulsed electromagnetic fields alleviate streptozotocin-induced diabetic muscle atrophy. *Mol Med Rep*. **2018**;18(1):1127-1133.10.3892/mmr.2018.9067
30. Sale DG. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*. **1988**;20(5 Suppl):S135-145.10.1249/00005768-198810001-00009

31. Sá Filho A, Silva WA. *Variáveis Manipuláveis do Treinamento Resistido para Hipertrofia Muscular* (Ed. Kelps, Goiânia, **2024**).
32. Carbone S, Kirkman DL, Garten RS *et al.* Muscular Strength and Cardiovascular Disease: AN UPDATED STATE-OF-THE-ART NARRATIVE REVIEW. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention*. **2020**;40(5):302-309.10.1097/HCR.0000000000000525
33. Lopez-Jaramillo P, Lopez-Lopez JP, Tole MC, Cohen DD. Muscular Strength in Risk Factors for Cardiovascular Disease and Mortality: A Narrative Review. *Anatol J Cardiol*. **2022**;26(8):598-607.10.5152/AnatolJCardiol.2022.1586
34. Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK *et al.* Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol*. **2002**;88(1-2):50-60.10.1007/s00421-002-0681-6