

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

**EFEITO DA ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR SOBRE
INDICADORES DE PERFORMANCE DURANTE UM EXERCÍCIO SUBMÁXIMO:
ESTUDO CRUZADO RANDOMIZADO**

Por

**Gabrieli Pereira Carvalho
Kailany Almeida Siqueira
Lawra Pereira Teodoro**

Orientador: Arthur Fernandes Gimenes, Esp.

**Campos dos Goytacazes/RJ
Dezembro / 2024**



INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA

Instituto Superior de Educação do CENSA

Créd. SESU/MEC Port.197/2002 . Reconhecimento nº 490/2006 Curso Normal Superior
Reconhecimento nº 507/2006 Curso de Pedagogia

Instituto Tecnológico e das Ciências Sociais Aplicadas e da Saúde do CENSA

Créd. SESU/MEC Port.096/2002 . Reconhecimento nº 4.211/2005 Curso de Administração
Reconhecimento nº 223/2006 Curso de Fisioterapia
Autorização nº 3116/2003 Curso de Engenharia de Produção
Autorização nº 0398/2006 Curso de Arquitetura e Urbanismo
Autorização nº 319/2006 Curso de Psicologia

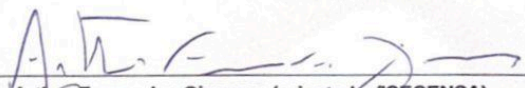
Rua Salvador Correa, 139 - Centro - Campos dos Goytacazes - RJ - 28035-310 - (22) 2726-2727 - www.isecensa.edu.br

CURSO DE GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

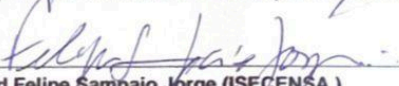
ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

No dia **04 de dezembro de 2024**, nos Institutos Superiores de Ensino do Centro Educacional Nossa Senhora Auxiliadora, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de monografia das alunas **Gabrieli Pereira Carvalho, Kailany Almeida Siqueira e Lawra Pereira Teodoro** do Curso de graduação em **Fisioterapia**, intitulada: **"Efeito da eletroestimulação neuromuscular sobre indicadores de performance durante um exercício submáximo: estudo cruzado randomizado"**.

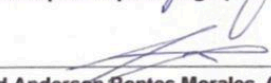
A referida Banca Examinadora, constituída pelos professores **Arthur Fernandes Gimenes (Presidente), Felipe Sampaio Jorge e Anderson Pontes Morales** atribuiu as seguintes notas:


Esp Arthur Fernandes Gimenes (orientador/ISECENSA)

10
Nota


Phd Felipe Sampaio Jorge (ISECENSA)

9,0
Nota

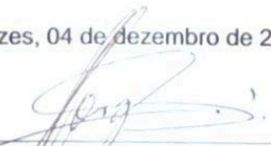

Phd Anderson Pontes Morales (ISECENSA)

10
Nota

Média Final

9,6

Campos dos Goytacazes, 04 de dezembro de 2024.


Prof Felipe Sampaio-Jorge, Phd
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradecemos a Deus, fonte de força e esperança, que nos sustentou ao longo de toda a jornada, permitindo que superássemos os desafios e chegássemos até aqui.

À nossa família, especialmente aos nossos pais, que sempre nos apoiaram, incentivaram e acreditaram no nosso potencial, mesmo nos momentos mais difíceis. Agradeço pela base sólida e pelo amor incondicional que foram essenciais nessa caminhada.

Aos nossos avós, irmãos e demais familiares, que com carinho e apoio, fizeram toda a diferença ao longo dessa trajetória. A presença de vocês foi um alicerce de segurança e motivação.

Aos nossos amigos e voluntários que compartilharam risadas, estudos e desafios durante essa jornada. Vocês tornaram esse percurso mais significativo e agradável.

Agradeço profundamente ao nosso orientador Arthur Fernandes Gimenes, além de todos os professores que contribuíram para nossa formação acadêmica. Suas orientações, dedicação e conhecimento foram cruciais para a realização deste trabalho e para o crescimento pessoal e profissional que alcançamos.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa conquista, o nosso mais sincero agradecimento.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

MT	Terapia Manual
WB-EMS	Eletroestimulação Muscular de Corpo Inteiro
EENM	Eletroestimulação Neuromuscular
CV	Contração Voluntária
UMs	Unidades Motoras
EMS	Estimulação Elétrica Muscular
RFO	Oxidação de Gordura
CHO	Oxidação de Carboidratos
RER	Troca Respiratória
FC	Frequência Cardíaca
DPOC	Doença pulmonar Obstrutiva Crônica
CK	Creatina Quinase
ALT	Alanina Aminotransferase
CKM	Isoenzima Mitocondrial

LISTA DE QUADROS E TABELAS

CAPÍTULO 1: REVISÃO DA LITERATURA

Figura 1 Eletroestimulador de corpo inteiro

Figura 2 Creatina Quinase

CAPÍTULO 2: ARTIGO CIENTÍFICO

Figura 1 Fluxograma

Tabela 1 Idade, massa e estatura

Tabela 2 Índice de massa corporal

Figura 1 BORG

Figura 2 Frequência cardíaca

Figura 3 SPO2

Figura 4 Creatina Quinase

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Eletroestimulação	5
1.2 Creatina Quinase	17

CAPÍTULO 2: ARTIGO CIENTÍFICO

Introdução	26
Objetivo	27
Metodologia	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

CAPÍTULO 1: REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Eletroestimulação

A eletroestimulação neuromuscular (EENM) é um tipo de eletroterapia que constitui-se na estimulação de grupos musculares através de correntes elétricas com eletrodos aplicados na superfície corpórea. Durante a Contração Voluntária (CV), as Unidades Motoras (UMs) são ativadas de menor a maior (fibras musculares tipo I e fibras musculares tipo II), sendo independente da intensidade da corrente a ser aplicada, acontece uma grande exigência metabólica do músculo e gerando uma grande adaptação fisiológica. (GALLEGO LAFUENTE, 2021)

As estratégias de treinamento aplicadas aumentam a força e potência muscular em pessoas com qualidade de vida melhor. Realizar atividades físicas no dia a dia, é importante para que os membros superiores e inferiores sejam fortalecidos e não ocorra de ter fraqueza muscular. O exercício prolongado de estimulação elétrica muscular melhora a força e a capacidade aeróbica em adultos, tanto sedentários quanto saudáveis. (BANERJEE et al., 2005)

A EENM é importante para inúmeros tratamentos que são utilizados na fisioterapia. Podendo ser empregado para acelerar processos de recuperação em inúmeras áreas. Estudos sustentam que o efeito de treinamento está no aprendizado motor ou na facilitação neural por conta da maior quantidade de unidades motoras ativadas, tendo um padrão mais eficaz de recrutamento. VAZ et al. discutem vibrações musculares produzidas durante contrações de músculos esqueléticos humanos, eletricamente estimulados, refletem as estratégias de controle utilizadas pelo sistema nervoso para a produção de força durante contrações voluntárias isométricas. (“Comparação dos efeitos de dois protocolos de estimulação elétrica neuromuscular sobre a força muscular isométrica do quadríceps”, [s.d.])

A WB-EMS, conhecida como mioestimulação elétrica corporal global, representa uma evolução da estimulação elétrica muscular tradicional (EMS), agora possibilitando a ativação sincronizada de vários grupos musculares devido ao

avanço tecnológico. Esta técnica permite até doze canais com corrente retangular, bifásica e simétrica, abrangendo áreas como coxas, braços, glúteos, abdômen, tórax e regiões dorsal, alta e lateral das costas, além de dois canais adicionais personalizáveis, com uma área total de eletrodos de até 2800 cm². O controle desses dispositivos é realizado por meio de software que permite ajustes nos parâmetros e intensidade de cada canal.(PANO-RODRIGUEZ et al., 2019)

A WB-EMS é uma modalidade de treinamento eficiente em termos de tempo, não invasiva e pouco exigente, envolvendo a estimulação simultânea de grandes áreas musculares com intensidade individual dedicada por grupo muscular durante a execução de movimentos voluntários estáticos ou dinâmicos. O WB-EMS sobreposto ao exercício físico permite uma melhora geral .No entanto, o WB-EMS não foi usado para substituir o exercício, mas para complementá-lo e torná-lo mais eficaz.(DI CAGNO et al., 2023)

A WB-EMS pode ser considerada um método de treinamento eficaz em termos de tempo, amigável às articulações e seguro. Isso pode qualificar essa nova tecnologia de treinamento como uma ferramenta promissora para abordar pessoas com problemas de saúde, recursos de tempo limitados e/ou baixa afinidade com exercícios convencionais. Devido ao caráter de resistência da WB-EMS, a maioria dos estudos de coortes sedentárias ou pelo menos não atléticas abordou resultados relacionados a condições ou doenças musculoesqueléticas. No entanto, alguns estudos forneceram evidências consideráveis dos efeitos positivos de uma aplicação padrão de WB-EMS em parâmetros. Entretanto, de um ponto de vista pragmático, a questão da superioridade pode ser menos relevante, já que o WB-EMS deve ser considerado uma opção de treinamento predominantemente adequada para pessoas com recursos de tempo limitados, baixa afinidade ou pouca motivação para se exercitar convencionalmente. Além de sua eficácia, o WB-EMS pode ser considerado uma opção de treinamento viável, atraente e segura, particularmente adequada para pessoas incapazes ou desmotivadas para se exercitar convencionalmente.(GURETZKI et al., 2024)



Figura 1: Dispositivo I-motion, Eletroestimulador de corpo inteiro.

O EMS (Estimulação Elétrica Muscular) é capaz de gerar maior tensão muscular do que o que pode ocorrer na contração voluntária e portanto pode causar degradação muscular muito superior à que o exercício tradicional é capaz de causar. Portanto, foi indicado que o uso do WB-EMS poderia ser um perigo principalmente para pessoas não treinadas, argumentando que aumentar o número de grupos musculares afetados pode ser um fator de risco. (PANO-RODRIGUEZ et al., 2019)

Esse método requer menos energia para induzir contrações musculares involuntárias, tornando o método mais confortável. A aplicação sincronizada de corrente em múltiplos grupos musculares permite exercitar cadeias cinéticas completas de forma harmoniosa e realizar movimentos globais durante o estímulo elétrico. Além disso, é considerada uma alternativa eficiente em termos de relação tempo-benefício, com alta aceitação mesmo entre indivíduos não treinados. Comparada ao exercício tradicional, a EMS pode gerar maior tensão muscular, levando a uma degradação muscular superior àquela provocada pela contração voluntária. Foi constatado que o protocolo de EENM usado como uma forma de aumento da resposta fisiológica com alta frequência buscando provocar contrações musculares tetânicas, já está sendo comprovada a sua efetividade. (ENOKA; AMIRIDIS; DUCHATEAU, 2020)

Esse protocolo de eletroestimulação também tem sido usado em como alternativa ao exercício cardiovascular em pacientes hipoativos com doença pulmonar obstrutiva crônica grave (DPOC) tendo consideravelmente um bom sucesso. Assim como neste estudo, o nosso trabalho também visa comparar as respostas cardiovasculares durante a caminhada normal e com diversas velocidades, tanto com a eletroestimulação quanto sem ela, para podermos investigar qualquer tipo de diferença ou efeito comparativo de ambos os métodos de exercício, algo que consiga justificar o uso preferencial de um método ao invés do outro levando em conta também o débito cardíaco. Neste estudo foram utilizados alguns critérios que podem ser aplicados no nosso trabalho, como: problemas cardíacos, metabólicos ou endócrinos, se tomava algum medicamento conhecido por influenciar no metabolismo energético ou se eram fumantes. Todos os indivíduos necessariamente deveriam ser sedentários e conjuntamente não poderiam ter empregos fisicamente exigentes, foi feito um teste de esforço em cada um monitorando a frequência cardíaca para a inclusão final, nada mais foi do que uma caminhada submáxima na esteira. (GROSSET et al., 2013).

Assim como no estudo observado, compararamos o gasto energético e a oxidação do substrato durante seis minutos onde a contração durou um minuto e o descanso igualmente, o grupo realizou o thruster com EENM e sem, realizadas em dois momentos distintos. Também foi realizado um questionário para sabermos o nível de aptidão física de cada voluntário assim podendo determinar o quão sedentário cada um era. Os pacientes foram orientados a evitar exercícios extenuantes na semana antecedente à intervenção, e a ordem das sessões foi sorteada.

Normalmente cada participante controla a sua amplitude de estimulação, porém eles podem e devem ser encorajados a usá-la tão alto quanto tolerável, a FC pode ser registrada durante os intervalos para que não ocorra interferência. Para o cálculo da oxidação do substrato podemos utilizar a calorimetria indireta para assim conseguir estimar as taxas de oxidação de gordura (RFO) e oxidação de carboidratos (CHO), esses valores podem ser observados durante o repouso e durante a segunda metade do protocolo EENM. Relataram um aumento significativo de 5% na frequência cardíaca após um programa de EENM de 45 minutos nas

extremidades inferiores em pacientes em uma unidade de terapia intensiva devido a polineuropatia de doença crítica. Em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica grave (DPOC), a EENM de alta frequência resultou em um aumento de 129% no \dot{V}_{O_2} após uma intervenção de 21 minutos.(GOLLNICK; HERMANSEN, 1973)

O protocolo EENM pode estar relacionado à baixa frequência de estimulação, mas também pode ser influenciado pela massa muscular estimulada envolvida. Uma maior massa muscular contraída deve levar a uma resposta fisiológica maior, assim dito, compreendemos que o principal passo seria usar novas técnicas de estimulação do músculo cardíaco através da estimulação elétrica do músculo estriado periférico, o que parece relevante diante dos dados anteriormente mencionados, os resultados dos gastos energéticos também estão em linha com as recomendações para alguns casos, melhorando também a manutenção do peso. Questões como dor e (ou) desconforto associadas à aplicação da EENM significam que é difícil aumentar rapidamente a intensidade para produzir altos níveis de força de contração muscular no início de um período.(GALLEGO LAFUENTE, 2021)

Foi levantada a hipótese de que quanto maior o valor da FC durante o exercício em cicloergômetro pode ser devido à menor volume sistólico induzido por um retorno venoso reduzido derivado de compressão de vasos. O método parece capaz de induzir um aumento significativo na FC, \dot{V}_{O_2} e VE, a NMES poderia ajudar a facilitar o envolvimento em atividades físicas voluntárias, através de uma melhora na aptidão cardiorespiratória. (TUCKER; FAULKNER; HORVATH, 1971)

Está bem estabelecido que, para exercícios de baixa intensidade, o trabalho é predominantemente realizado por fibras de contração lenta (tipo I), que possuem uma alta capacidade de oxidação de gordura e baixa capacidade de glicogenólise-glicólise. À medida que a intensidade do exercício aumenta, progressivamente mais fibras de contração rápida (tipo II), que têm alta capacidade e obtêm grande parte de sua energia da glicogenólise-glicólise, são recrutadas.(GOLLNICK et al., 1974)

Conforme já amplamente discutido na literatura, os exercícios convencionais não se mostram suficientemente eficazes para atrair indivíduos sedentários. Nesse contexto, o atual protocolo de Estimulação Elétrica Neuromuscular (EENM) desponta como uma alternativa promissora para promover mudanças no estilo de vida, contribuindo para a melhoria da saúde desses indivíduos. Ademais, as técnicas de EENM podem emergir como um método de exercício alternativo potencialmente eficaz para participantes com sobrepeso e para pessoas com diabetes. A EENM pode sim ser feita sem supervisão em casa e não traz prejuízos às articulações como muitos outros exercícios voluntários, como por exemplo, caminhar, então podemos dizer que a EENM pode e deve ser usada como complemento benéfico ou mesmo como um dos únicos exercícios possíveis em algumas situações específicas. (GROSSET et al., 2013)

Como a tecnologia WB-EMS é uma tecnologia relativamente nova, uma breve introdução será dada. Mais inovador e diferente do EMS local bem estabelecido, o equipamento WB-EMS atual permite a ativação simultânea de até 14–18 regiões ou 8–12 grupos musculares (parte superior das pernas, parte superior dos braços, parte inferior, abdômen, peito, parte inferior das costas, parte superior das costas, latíssimo do dorso e 4 opções livres) com diferentes intensidades selecionáveis. Somando a área estimulada, 2.800 cm² de superfície corporal podem ser ativados simultaneamente. A tensão ou intensidade de corrente mais precisa pode ser selecionada individualmente e modificada durante a sessão de EMS. (KEMMLER et al., 2016)

A eletroestimulação de corpo inteiro (WB-EMS) pode ser uma aceitável, opção de economia de tempo para afetar a massa muscular por seu efeito estimulante direto sobre taxa de síntese de proteína do músculo esquelético pelo menos em idosos menos ativos com deficiência funcional limitações e/ou baixa afinidade esportiva. O treinamento WB-EMS impacta significativamente a massa muscular total e regional comparado com um controle semi-ativo. Nosso secundário. A hipótese era que o treinamento WB-EMS impacta significativamente tanto a massa de gordura abdominal quanto (em menor grau) gordura corporal total em comparação com um controle semi-ativo. (KEMMLER et al., 2014)

O mundo enfrenta um aumento contínuo na prevalência e na gravidade das doenças crônicas, juntamente com a multimorbidade crescente na população adulta. Nesse contexto, é possível observar, por meio de diversos estudos, que a prática de atividade física e o exercício físico se consolidam como, indiscutivelmente, os agentes terapêuticos mais abrangentes para uma população envelhecida e caracterizada pelo sedentarismo. Há um consenso generalizado sobre o fato de que o exercício exerce um impacto positivo na maioria, senão em todos, os fatores de risco, doenças e condições incapacitantes que acometem indivíduos da meia-idade até a terceira idade. Diversas descobertas científicas têm revelado que a atividade física pode influenciar positivamente uma ampla gama de parâmetros, abrangendo aspectos musculoesqueléticos, cardiometabólicos, desempenho físico e função cognitiva. Esses parâmetros demonstram um enorme potencial para impactar a saúde de forma significativa, especialmente em um contexto demográfico que envelhece cada vez mais. (KEMMLER et al., 2018)

Uma parcela considerável da população, que necessita de intervenções para melhorar sua saúde, frequentemente se encontra incapaz ou desmotivada a realizar programas de exercícios com a intensidade necessária. Diversos fatores podem estar relacionados a essa dificuldade, como restrições de tempo, limitações físicas, risco de lesões ou até mesmo uma falta de entusiasmo para engajar-se em tais atividades. Nesse cenário, pode-se afirmar que as tecnologias inovadoras de exercício, que são eficientes em termos de tempo, altamente individualizadas e supervisionadas, representam uma excelente opção para promover a melhoria da saúde e da aptidão física. Um exemplo notável dessa abordagem é a WB-EMS, uma tecnologia que se baseia na estimulação elétrica muscular (EMS) localmente reconhecida, mas que se distingue por atuar simultaneamente em diversos grupamentos musculares, permitindo que cada um receba a intensidade de estímulo adequada conforme a necessidade. (KEMMLER et al., 2018)

Considerando que a WB-EMS envolve volumes de exercício relativamente baixos — apenas 1 a 2 sessões de 20 minutos por semana —, com uma intensidade voluntária reduzida e um alto grau de supervisão e personalização no ambiente de treino, esse método tem o potencial de atrair pessoas que, de outra

forma, apresentariam pouca afinidade com os programas de exercícios convencionais, comumente oferecidos nas clínicas. Existem evidências substanciais de que a WB-EMS tem um efeito benéfico significativo no tratamento da dor lombar, além de ser amplamente reconhecida por sua capacidade de provocar mudanças na força muscular, na capacidade funcional e na redução da fraqueza muscular, tanto em atletas e indivíduos saudáveis, quanto em pessoas acometidas por doenças crônicas. (KEMMLER et al., 2018)

A estimulação elétrica neuromuscular (NMES) é uma técnica amplamente utilizada na reabilitação e fortalecimento muscular, conhecida por sua capacidade de estimular diretamente os músculos, promovendo aumento de força, prevenção ou redução da atrofia muscular por desuso e melhora da função neuromuscular. Estudos demonstraram que a NMES é uma ferramenta eficaz para induzir mudanças significativas na função muscular, o que a torna indispensável em contextos terapêuticos e de treinamento físico. Além disso, a estimulação elétrica funcional (FES), uma variação voltada para auxiliar em tarefas volitivas quando a função neural normal está comprometida ou destruída, mostrou benefícios importantes. Exemplos incluem sua aplicação para melhorar atividades como caminhar, ficar em pé e andar de bicicleta, especialmente em indivíduos com lesão medular (LM). (BEKKI et al., 2021)

A FES oferece não apenas benefícios locais, como o aumento da massa muscular e fortalecimento localizado, mas também contribui para melhorias sistêmicas, como o aumento do metabolismo corporal total em indivíduos com condições neurológicas, como a LM. Pesquisas indicam que a FES pode induzir respostas metabólicas significativas, incluindo a depleção de glicogênio muscular em indivíduos saudáveis, além de melhorar a sensibilidade à insulina em pessoas com LM. De maneira semelhante, a estimulação elétrica terapêutica tem sido associada a mudanças metabólicas e estruturais, destacando-se como uma ferramenta que promove a oxidação de carboidratos, aumento do consumo de energia e captação de glicose em todo o corpo. Em pessoas com diabetes tipo 2, a

NMES demonstrou potencial para melhorar substancialmente o metabolismo da glicose e a sensibilidade à insulina. (BEKKI et al., 2021)

A aplicação combinada de estimulação elétrica (EE) e contrações voluntárias (CV) tem se mostrado mais eficaz do que o uso isolado de qualquer uma dessas técnicas. Um avanço significativo foi o desenvolvimento do sistema de treinamento híbrido (STH), projetado para criar resistência ao movimento de um músculo agonista por meio da força gerada pelo antagonista estimulado eletricamente. Este método inovador tem se mostrado eficaz na promoção de hipertrofia muscular e aumento de força. Estudos indicam que o STH não apenas potencializa os efeitos do exercício, mas também aumenta os níveis de hormônio do crescimento induzidos pelo exercício, especialmente quando combinado com atividades como flexão de joelhos ou ciclismo. (BEKKI et al., 2021)

Kawaguchi et al. relataram que o treinamento com STH, realizado duas vezes por semana durante 12 semanas, resultou em melhora na resistência à insulina em pacientes com doença hepática gordurosa não alcoólica. Recentemente, foi desenvolvido um dispositivo STH para ser usado em combinação com exercícios de caminhada (caminhada STH). A caminhada é uma das atividades físicas mais acessíveis e eficazes para a promoção da saúde, com a vantagem de permitir ajustes na intensidade, variando de leve a vigorosa, apenas alterando a velocidade. Apesar disso, muitas pessoas com distúrbios físicos enfrentam dificuldades para tolerar exercícios de intensidade moderada ou vigorosa recomendados pelas diretrizes de promoção da saúde. (AOKI et al., 2024)

Nesse contexto, o STH combinado com a caminhada representa uma abordagem promissora para melhorar a saúde em populações com limitações físicas, oferecendo uma alternativa ajustável e menos extenuante. Estudos adicionais são necessários para investigar as características e os benefícios específicos da caminhada com STH, especialmente para populações com restrições

funcionais, para consolidar seu papel como uma ferramenta eficaz na promoção da saúde e na reabilitação física. (AOKI et al., 2024)

O exercício de resistência é amplamente reconhecido como uma estratégia eficaz para o fortalecimento muscular, e seu efeito depende diretamente da intensidade da carga aplicada ao músculo. Entre os diferentes tipos de contração muscular, o exercício que envolve contrações excêntricas tem se mostrado superior para aumentar a força muscular. Isso ocorre porque as contrações excêntricas podem gerar cargas musculares mais altas em comparação com as contrações concêntricas ou isométricas. Estudos anteriores destacam as vantagens do exercício excêntrico, incluindo aumentos no torque máximo e melhorias em parâmetros de desempenho relacionados à força. Assim, o exercício excêntrico é frequentemente considerado mais eficiente para fortalecimento muscular do que outras formas de treinamento. (TANAKA et al., 2017)

Além disso, a estimulação elétrica (EE) também tem se mostrado uma ferramenta eficaz para induzir o fortalecimento muscular. A eficácia da EE, assim como no exercício de resistência, está diretamente relacionada à intensidade da carga muscular gerada. Fatores como intensidade da corrente, frequência e forma de onda influenciam significativamente a carga muscular induzida pela EE. A estimulação elétrica de baixa frequência é comumente usada na terapia, mas apresenta limitações, como baixa condutividade nas camadas profundas dos músculos, o que impede a contração muscular efetiva em fibras de contração lenta localizadas profundamente nas extremidades e no tronco. Essas fibras desempenham funções importantes, como estabilidade articular e manutenção da postura. (TANAKA et al., 2017)

Estudos recentes sugerem que a estimulação elétrica de média frequência tem maior potencial para induzir contrações musculares mais fortes nas camadas profundas, especialmente em músculos da panturrilha. Isso destaca o potencial da

EE de média frequência como uma intervenção mais eficaz para fortalecer músculos profundos, comparada à EE de baixa frequência. No entanto, a estimulação elétrica ainda está associada a desconforto e dor, especialmente em intensidades mais altas. Esse desafio limita a capacidade de aumentar a intensidade necessária para alcançar contrações musculares eficazes, ressaltando a necessidade de desenvolver métodos que minimizem a dor enquanto otimizam o fortalecimento muscular. (TANAKA et al., 2017)

Uma solução proposta para superar essas limitações é a combinação de estimulação elétrica com contrações excêntricas voluntárias. Nesse método, um músculo agonista realiza uma contração concêntrica voluntária enquanto o músculo antagonista é estimulado eletricamente para realizar uma contração excêntrica. Embora eficaz, esse tipo de treinamento apresenta desafios, especialmente para pacientes com doenças neuromusculares graves, que podem não ser capazes de gerar forças musculares suficientes para superar a resistência do antagonista estimulado. Além disso, limitações técnicas, como a dificuldade em controlar a amplitude da articulação e a velocidade angular, também comprometem a eficácia desse método. (TANAKA et al., 2017)

A estimulação elétrica nervosa transcutânea (TENS) tem sido amplamente reconhecida como uma das principais ferramentas clínicas para o manejo da dor e a melhoria da funcionalidade em diversas condições dolorosas ao longo dos últimos anos. O conhecimento acumulado sobre a TENS destacou sua eficácia na redução da dor, sendo comumente utilizado na prática clínica como parte de abordagens integradas de tratamento. A aplicação de TENS antes de alongamentos e exercícios terapêuticos tem se mostrado eficaz particularmente, contribuindo para a redução da dor e para a melhoria da amplitude de movimento, dois fatores frequentemente limitantes em pacientes com condições musculoesqueléticas e neurológicas. (ALAHMARI et al., 2020)

Estudos recentes, tanto em modelos animais quanto em pesquisas clínicas, apontam que a TENS não apenas alivia a dor, mas também promove melhorias no equilíbrio, força muscular e espasticidade. Esses efeitos são atribuídos à capacidade da TENS de atividade neuromuscular modular, proporcionando benefícios terapêuticos amplos. Um dos destaques é sua eficácia no alívio da fadiga muscular, uma condição que pode impactar qualidades no controle muscular voluntário, na postura e no equilíbrio. A fadiga muscular, frequentemente associada à redução da funcionalidade, pode ser mitigada com o uso da TENS, melhorando a capacidade funcional geral do indivíduo. (ALAHMARI et al., 2020)

A estimulação elétrica nervosa transcutânea (TENS) demonstrou ser uma abordagem eficaz para melhorar o equilíbrio, a força muscular e a espasticidade. Além disso, a TENS tem um impacto significativo no alívio da fadiga muscular, que desempenha um papel crucial no controle motor voluntário, na manutenção da postura e no equilíbrio geral do corpo. Estudos mostram que o tratamento com TENS foi altamente eficaz na redução da dor no joelho, promovendo um aumento no pool de neurônios motores do músculo quadríceps, o que, por sua vez, desencadeou atividade isométrica mais robusta nesse grupo muscular. (ALAHMARI et al., 2020)

A TENS é capaz de induzir contrações musculares de forma controlada, proporcionando uma ativação mais ampla das fibras musculares de tipo II, conhecidas por sua maior capacidade de gerar força explosiva, em comparação com exercícios voluntários realizados em intensidades semelhantes. Isso não só melhora a força muscular, mas também contribui para o aumento da propriocepção articular, otimizando a percepção da posição das articulações e, consequentemente, o equilíbrio. (ALAHMARI et al., 2020)

Nos últimos anos, o conhecimento acumulado sobre os benefícios da TENS expandiu-se amplamente. Originalmente conhecida como uma ferramenta eficaz

para o alívio da dor em condições clínicas dolorosas, a TENS evoluiu para ser uma das principais intervenções clínicas para melhorar a função e qualidade de vida em diferentes contextos. Como a dor e as limitações na amplitude de movimento são problemas comuns relatados por pacientes, a aplicação da TENS tem se mostrado essencial na prática clínica para reduzir a dor, restaurar a funcionalidade e melhorar o desempenho físico. Esse método continua a ser uma das principais ferramentas terapêuticas tanto para o manejo da dor quanto para a reabilitação musculoesquelética e neuromuscular. (ALAHMARI et al., 2020)

1.2 Creatina Quinase(CK)

A creatina quinase é uma enzima essencial para o metabolismo energético de contração e relaxamento no músculo esquelético. Esta enzima também está correlacionada à fosforilação oxidativa mitocondrial. A distribuição desta enzima é bastante ampla, incluindo músculo esquelético, miocárdio, sistema nervoso central e músculo liso. A creatina quinase tem três isoenzimas principais; CK-MM, CK-MB e CK-BB. A isoenzima mitocondrial (CKm) é a quarta isoenzima que migra eletroforicamente em direção ao cátodo. Além disso, a isoenzima creatina quinase sérica (principalmente CK-MB e CK-BB) e lesões no miocárdio, músculo esquelético, sistema nervoso central, sistema gastrointestinal, sistemas renal e urogenital, ou psicose aguda, intoxicação, gravidez, parto e sangue do cordão umbilical também são explicadas. Um compêndio sobre CK-BB também é feito.(SHOJI, 1995)

A CK é uma enzima compacta de cerca de 82 kDa que é encontrada tanto no citosol quanto na mitocôndria de tecidos onde as demandas de energia são altas. No citosol, CK é composta de duas subunidades polipeptídicas de cerca de 42 kDa, e dois tipos de subunidade são encontrados: M (tipo muscular) e B (tipo cerebral) e Essas subunidades permitem a formação de três isoenzimas específicas do tecido: CK-MB (músculo cardíaco), CK-MM (músculo esquelético) e CK-BB (cérebro). Normalmente, a proporção de subunidades varia com o tipo de músculo:

músculo esquelético: 98% MM e 2% MB e músculo cardíaco: 70-80% MM e 20-30% MB, enquanto o cérebro tem predominantemente BB. Nas mitocôndrias, existem duas formas específicas de CK mitocondrial (Mt-CK): um tipo não sarcoméricas chamado Mt-CK onipresente expresso em vários tecidos, como cérebro, músculo liso e esperma um Mt-CK e sarcoméricas expresso no músculo cardíaco e esquelético. A CK catalisa a fosforilação reversível da creatina em fosfocreatina e do ADP em ATP e, como tal, é importante na regeneração do ATP celular: Fosfocreatina + MgADP + H⁺ ↔ MgATP + creatina .A CK forma o núcleo de uma rede de energia conhecida como circuito da fosfocreatina (PCR) como na Figura 2. Neste circuito, as isoenzimas do citosol são intimamente acopladas à glicólise e produzem ATP para a atividade muscular. A versão MtCK é intimamente acoplada à cadeia de transporte de elétrons e pode usar ATP mitocondrial para regenerar PCR, que prontamente retorna ao citosol para reabastecer PCR citosólico. Este sistema de transporte é crítico para a produção e manutenção do suprimento de energia e está envolvido na regulação do feedback metabólico da respiração . Não é surpreendente, portanto, que o músculo esquelético tenha altos níveis de CK que podem ser responsáveis por até 20% da proteína sarcoplasmática solúvel em músculos específicos. (BAIRD et al., 2012))

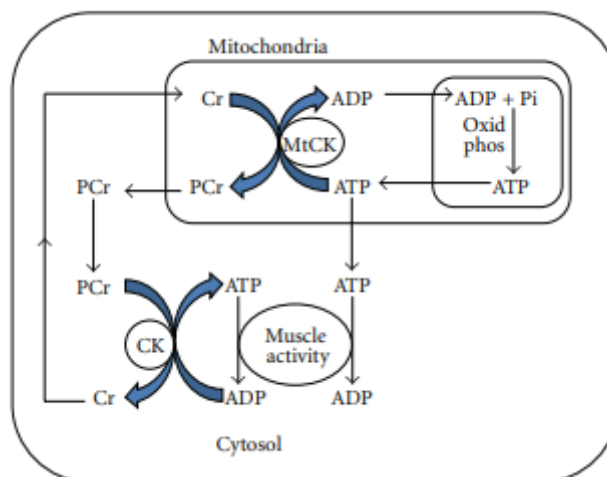


Figura 2: Circuito de fosfocreatina (BAIRD et al., 2012)

A resposta da CK ao exercício é altamente variável, com alguns indivíduos demonstrando elevações significativamente maiores (grupos altamente

respondedores) em comparação com uma resposta média ou normal (NR). Entre os fatores que podem influenciar essa variabilidade estão a composição corporal e o sexo. Estudos indicam que uma maior porcentagem de gordura corporal está associada a uma maior elevação da CK, embora o índice de massa corporal (IMC) não apresente a mesma correlação. Essa relação pode refletir um fenótipo caracterizado por baixos níveis de atividade física habitual, musculatura mal condicionada e maior suscetibilidade a danos musculares. O sexo também desempenha um papel na resposta da CK. Estudos em animais mostram que as fêmeas são consistentemente menos suscetíveis a danos musculares do que os machos. Entretanto, as evidências disponíveis em humanos são inconclusivas, com alguns estudos indicando elevações similares nos níveis de CK sérica entre homens e mulheres após o exercício. (KOCH; PEREIRA; MACHADO, 2014)

Exercícios extenuantes que danificam a estrutura das células musculares esqueléticas no nível do sarcolema e dos discos resultam em um aumento na CK total. Quando a intensidade do exercício é leve a moderada, o tecido muscular é exercitado sem mudanças marcantes na permeabilidade da membrana: quando a intensidade do exercício excede essa faixa, a permeabilidade da membrana muda e as enzimas são liberadas. O limite da faixa de intensidade do exercício que o tecido muscular pode suportar é seu ponto de ruptura: quando a carga excede um certo limite de capacidade muscular. O tempo de liberação e depuração da CK no plasma depende do nível de treinamento, tipo, intensidade e duração do exercício. Os níveis séricos de CK cerca de 2 vezes acima do valor basal ocorrem 8 horas após a força de treinamento. 108 Níveis aumentados de CK após exercício excêntrico estão associados com lesão muscular, com aumento acentuado entre 2 e 7 dias após o exercício. (BRANCACCIO; MAFFULLI; LIMONGELLI, 2007)

Portanto o estudo dos níveis de CK tem grande relevância na medicina esportiva, sendo utilizado como indicador de danos musculares. O exercício intenso, especialmente o que envolve contrações excêntricas (como na corrida em declive ou no levantamento de peso), pode resultar em aumentos significativos nos níveis

de CK sérica, indicando ruptura das células musculares, com danos ao sarcolema e sarcômeros, incluindo a fragmentação do disco Z. A intensidade do exercício desempenha um papel crucial nesse processo, com exercícios de alta intensidade ou duração prolongada causando uma maior liberação de CK para a circulação. Esses aumentos são geralmente visíveis entre 8 e 96 horas após o exercício.(Koch et al., 2014; Brancaccio et al., 2007).

A medição da atividade de CK sérica, juntamente com a determinação do perfil das isoenzimas, é um indicador importante da ocorrência de necrose celular muscular e danos aos tecidos. Embora a elevação da CK seja comumente associada a exercícios intensos, também pode ser resultado de danos em outros tecidos, como o fígado por exemplo, a ALT (Alanina Aminotransferase) pode se tornar elevada quando outros tecidos (por exemplo, fígado) são danificados, dificultando a definição direta se o dano está centrado apenas no tecido muscular . Além disso, as concentrações plasmáticas de CK são condicionadas por muitos fatores relacionados ao exercício, como intensidade, duração, status de treinamento ou experiência, bem como pela genética e gênero, que determinam a quantidade de massa muscular. (PANO-RODRIGUEZ et al., 2019)

Além disso, altos níveis de CK sérica em indivíduos aparentemente saudáveis podem estar correlacionados com o status do treinamento físico, pois dependem do dano sarcomérico: exercícios extenuantes que danificam as células musculares esqueléticas resultam em aumento da CK sérica total. As maiores atividades enzimáticas séricas pós-exercício são encontradas após exercícios prolongados, como corrida de maratona de ultra distância ou exercícios de sustentação de peso e corrida em declive, que incluem contrações musculares excêntricas. A atividade total da CK sérica é marcadamente elevada por 24 h após a sessão de exercícios e, quando os pacientes descansam, ela retorna gradualmente aos níveis basais. Níveis séricos de CK persistentemente aumentados são ocasionalmente encontrados em indivíduos saudáveis e também são marcadamente aumentados nos estágios pré-clínicos de doenças musculares.(BRANCACCIO et al., 2008; BRANCACCIO; MAFFULLI; LIMONGELLI, 2007)

Portanto, os níveis séricos de CK podem ser aumentados devido ao dano muscular tecido como consequência de um treinamento intenso e prolongado. Isso pode ser uma consequência de causas metabólicas e mecânicas. De fato, fibras musculares metabolicamente exauridas apresentam uma diminuição na membrana resistência após um aumento nos íons de cálcio livres internos, o que promove a ativação do canal de potássio. Outro mecanismo poderia ser o dano tecidual local com degeneração sarcomérica da fragmentação do disco Z. CK é um indicador de necrose muscular, aumentando com sua extensão. (KOCH; PEREIRA; MACHADO, 2014)

O estudo da CK na medicina desportiva permite obter informações sobre o estado do músculo. Altos níveis de CK sérica em indivíduos aparentemente saudáveis os assuntos podem ser correlacionados com o estado de treinamento físico. No entanto, se esses níveis persistem em repouso, pode ser um sinal de músculo subclínico doença, que as cargas de treinamento podem evidenciar através do aparecimento de sintomas como fadiga profunda.(BRANCACCIO; MAFFULLI; LIMONGELLI, 2007).

Em geral, a atividade sérica de CK começa a se elevar algumas horas após o exercício de resistência, podendo dobrar em relação aos níveis de repouso dentro de 8 horas. Os níveis continuam a subir, alcançando picos entre 24 e 96 horas após a atividade inicial. No entanto, o limiar de intensidade necessário para induzir esse aumento, o curso temporal dessa elevação e a magnitude do aumento variam consideravelmente entre os indivíduos e são influenciados por fatores intrínsecos e pelas características do exercício realizado. (KOCH; PEREIRA; MACHADO, 2014)

A isoforma CK-MM é amplamente reconhecida como um marcador de miopatias ou lesões musculares induzidas pelo exercício. O esforço físico vigoroso pode aumentar significativamente os níveis de CK circulante, especialmente em

exercícios intensos, predominantemente aqueles que envolvem ações musculares excêntricas (contrações durante o alongamento). Esse tipo de exercício é frequentemente associado a danos no sarcolema e nos sarcômeros, que podem incluir perfurações na membrana celular e alterações nos discos Z. Esses danos ocorrem quando a carga aplicada aos músculos excede os limites aos quais eles estão acostumados, resultando em aumento da permeabilidade da membrana. O aumento da permeabilidade permite o vazamento da CK para o fluido intersticial, de onde ela entra na circulação por meio do sistema linfático. Esse processo indica que o exercício precisa ultrapassar um determinado limite de intensidade para causar um aumento significativo na CK sérica. (KOCH; PEREIRA; MACHADO, 2014)

O aparecimento de creatina quinase (CK) no sangue tem sido geralmente considerado um marcador indireto de dano muscular, particularmente para diagnóstico de condições médicas como infarto do miocárdio, distrofia muscular e doenças cerebrais. No entanto, há controvérsia na literatura sobre sua validade em refletir o dano muscular como consequência do nível e intensidade do exercício físico. Fatores não modificáveis, por exemplo, etnia, idade e gênero, também podem afetar a atividade do tecido enzimático e os níveis séricos subsequentes de CK. A extensão do efeito sugere que os limites superiores aceitáveis dos níveis normais de CK podem precisar ser redefinidos para reconhecer o impacto desses fatores. Há uma necessidade de padronização de protocolos e diretrizes mais fortes que facilitariam maior integridade científica. (BAIRD et al., 2012)

No entanto, níveis elevados de CK sérica ainda estão intimamente associados a danos celulares, ruptura de células musculares ou doenças. Essas perturbações celulares podem causar vazamento de CK das células para o soro sanguíneo. A medição da atividade de CK sérica e a determinação de perfis de isoenzimas ainda são um indicador importante da ocorrência de necrose de células musculares e danos aos tecidos devido a doenças ou traumas. Os níveis básicos de CK sérica em populações em geral são variáveis de 35 a 175 U/L [16], com intervalos de 20 a 16.000 U/L, e essa ampla variação reflete a ocorrência inconsistente de distúrbios

subclínicos e lesões menores, fatores genéticos, estado de atividade física e medicação. Em exemplos de rabdomiólise (dano muscular clinicamente diagnosticado), os níveis de CK foram encontrados em 10.000–200.000 U/L e tão altos quanto 3×10^6 U/L. Esses níveis sinalizam claramente forte perturbação ou desintegração do tecido muscular estriado com vazamento concomitante de constituintes moleculares intracelulares para a circulação. Na ausência de infarto do miocárdio ou doença, os níveis séricos de CK maiores que 5.000 U/L são geralmente considerados indicativos de distúrbios graves no músculo. Foi recomendado que os limites superiores aceitáveis dos níveis normais de CK sejam aumentados em 1,5 vezes os limites atuais e que as investigações de biópsia muscular sejam necessárias apenas quando os níveis forem ≥ 3 vezes maiores que os limites superiores e na ausência de explicações induzidas por exercício. No entanto, não há um padrão universalmente acordado ou aceito. Existem muitas razões possíveis para um diagnóstico de rabdomiólise e níveis elevados de CK que os acompanham.(BAIRD et al., 2012)

Após o exercício intenso, quando o exercício exceder certo limite da capacidade muscular, o extravasamento de CK no líquido intersticial é absorvido pelo sistema linfático, volta para a circulação e permanece elevado por 2 a 6 dias após o exercício. Esta condição é chamada hiperCKemia induzida pelo exercício. No entanto, esta condição não é uniforme e muitos estudos encontraram grande variabilidade interindividual na resposta da atividade sérica de CK após exercícios. As respostas da CK dependem do gênero, idade, estado de treinamento, composição das fibras musculares, e características genéticas. A atividade sérica de CK é um indicador amplamente utilizado para lesões musculares, mas pode variar entre os indivíduos em resposta ao exercício, de modo que uma parcela da população tem um aumento exagerado da atividade sérica de CK.(Pereira, Elton, et al. 2011)

CAPÍTULO 2: ARTIGO CIENTÍFICO

EFEITO DA ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR SOBRE INDICADORES DE PERFORMANCE DURANTE UM EXERCÍCIO SUBMÁXIMO: ESTUDO CRUZADO RANDOMIZADO

Gabrieli Pereira Carvalho¹, Kailany Siqueira Almeida¹, Lawra Pereira Teodoro¹,
Arthur Fernandes Gimenes²

1. Aluno do Curso de Fisioterapia dos Institutos Superiores de Ensino do CENSA (ISECENSA), Campos dos Goytacazes/RJ
2. Professor do curso de Fisioterapia dos Institutos Superiores de Ensino do CENSA (ISECENSA), Campos dos Goytacazes/RJ.

RESUMO:

Introdução: A eletroestimulação neuromuscular (EENM) tem mostrado benefícios em exercícios físicos, como aumento de força, alívio da dor e melhoria do esforço cardiovascular. Estudos indicam que ela pode aumentar o gasto energético, especialmente quando combinada com atividade física, sendo monitorada por indicadores como consumo de oxigênio, frequência cardíaca e creatina quinase (CK). **Objetivo:** Avaliar os efeitos da EENM na performance de exercícios submáximos e seus indicadores em indivíduos ativos. **Metodologia:** Estudo clínico cruzado com 12 voluntários masculinos, divididos em dois grupos: um com EENM de corpo inteiro (WB-EMS) e exercício, e outro apenas exercício. A CK foi analisada antes e 24h e 48h após a intervenção, além de monitoramento da saturação de oxigênio (SPO2) e frequência cardíaca (FC). **Resultados:** O grupo com WB-EMS apresentou aumento significativo nos níveis de CK, indicando maior dano muscular. A FC e a SPO2 mantiveram-se normais, mesmo em exercícios de alta intensidade. A percepção de esforço foi maior após a intervenção, mas sem diferenças significativas entre os grupos. **Conclusão:** A EENM de corpo inteiro foi eficaz em aumentar os níveis de creatina quinase, sugerindo maior potencial para adaptações musculares, sem alterar significativamente a FC ou a saturação de oxigênio.

Palavras-chaves: Fisioterapia, Eletroestimulação, Creatina Quinase, Frequência Cardíaca, Saturação.

EFFECT OF NEUROMUSCULAR ELECTROSTIMULATION ON PERFORMANCE INDICATORS DURING A SUBMAXIMUM EXERCISE: RANDOMIZED CROSSOVER STUDY

Gabrieli Pereira Carvalho, Kailany Siqueira Almeida, Lawra Pereira Teodoro.

Introduction: Neuromuscular electrical stimulation (NMES) has shown benefits in physical exercise, such as increased strength, pain relief, and improved cardiovascular effort. Studies indicate that it can increase energy expenditure, especially when combined with physical activity, and is monitored by indicators such as oxygen consumption, heart rate, and creatine kinase (CK). **Objective:** To evaluate the effects of NMES on submaximal exercise performance and its indicators in active individuals. **Methodology:** A crossover clinical study with 12 male volunteers, divided into two groups: one with whole-body NMES (WB-EMS) combined with exercise, and the other with exercise only. CK was analyzed before and 24h and 48h after the intervention, along with monitoring of oxygen saturation (SPO2) and heart rate (HR). **Results:** The group with WB-EMS showed a significant increase in CK levels, indicating greater muscle damage. HR and SPO2 remained normal, even during high-intensity exercises. Perceived exertion was higher after the intervention, but no significant differences were found between the groups. **Conclusion:** Whole-body NMES was effective in increasing creatine kinase levels, suggesting greater potential for muscle adaptations, without significantly altering HR or oxygen saturation.

Keywords: Physiotherapy, Electrical Stimulation, Creatine Kinase, Heart Rate, Saturation.

INTRODUÇÃO

A eletroestimulação neuromuscular (EENM) apresenta diversas aplicações clínicas cujos objetivos variam desde o incremento do esforço cardiovascular (por meio do acréscimo de demanda metabólica muscular), ganho de força no pós-operatório de procedimentos traumato-ortopédicos, estímulos desconstruturantes e analgésicos, além do incremento do metabolismo energético durante exercícios físicos. As técnicas de EENM de baixa frequência, em particular, podem aumentar significativamente o gasto energético muscular, especialmente quando associadas ao exercício físico ativo. Esta ferramenta, amplamente utilizada por fisioterapeutas, está em constante evolução clínica e científica, por se mostrar eficaz (quando parametrada corretamente) no atingimento dos objetivos citados anteriormente. (GROSSET et al., 2013)

Por eletroestimulação neuromuscular, entende-se o processo de ativação de grupos musculares via utilização de correntes elétricas, fazendo uso de eletrodos aplicados na superfície do corpo ou de maneira percutânea (quando são agulhas aplicadas para cumprir o papel de eletrodos), estimulando a contração das fibras musculares através da geração de potenciais de ação de fibras nervosas intramusculares. (ENOKA; AMIRIDIS; DUCHATEAU, 2020). A possibilidade da utilização da EENM de corpo inteiro (*whole-body electromyostimulation*, WB-EMS) se apresenta como uma modalidade de treinamento eficiente, não invasiva e de baixo impacto, que utiliza a estimulação elétrica de múltiplos grupos musculares simultaneamente, com intensidade ajustada individualmente para cada área muscular, durante a execução de um exercício ou não. Ao ser combinado com o exercício físico convencional, o WB-EMS potencializa os resultados, promovendo uma melhora geral na força, resistência e recuperação muscular, além de auxiliar na tonificação e aumento da massa muscular. Embora o WB-EMS não substitua o exercício físico, ele atua como um complemento, tornando o treinamento mais eficaz e otimizado. (DI CAGNO et al., 2023)

O consumo de oxigênio aumenta de maneira linear durante o exercício incremental até o VO_{2max} ser alcançado. Dado que a medição do consumo de

oxigênio é um indicador da produção aeróbia de ATP, a mensuração do consumo de O₂ em repouso fornece uma estimativa da necessidade energética basal corporal. Em repouso, a necessidade energética total de um indivíduo é relativamente baixa. Um jovem adulto que pesasse 70 kg, por exemplo, consumiria cerca de 0,25 L de oxigênio/minuto. Esse consumo é traduzido em um consumo de O₂ relativo de 3,5 ml de O₂/kg (peso corporal) por minuto. (BRANCACCIO et al., 2008)

É sabido que a maior parte da produção de ATP, destinada a fornecer energia para a contração muscular durante os estágios iniciais de um teste incremental de exercício, derive de fontes aeróbicas. No entanto, à medida que a intensidade do exercício aumenta, os níveis sanguíneos de lactato começam a aumentar de forma exponencial. Isso é observado em indivíduos não treinados em torno de 50-60% do VO₂máx, enquanto em indivíduos treinados é observado em taxas de trabalho mais elevadas, geralmente em torno de 65-80% do VO₂máx. (POWERS; HOWLEY, 2000).

A atividade sérica de CK começa a se elevar algumas horas após o exercício de resistência, podendo dobrar em relação aos níveis de repouso dentro de 8 horas. Os níveis continuam a subir, alcançando picos entre 24 e 96 horas após a atividade inicial. No entanto, o limiar de intensidade necessário para induzir esse aumento, o curso temporal dessa elevação e a magnitude do aumento variam consideravelmente entre os indivíduos e são influenciados por fatores intrínsecos e pelas características do exercício realizado, bem como a sobrecarga imposta durante o mesmo; sendo a modulação desta última variável (i.e. intensidade do exercício) passível de influência através de técnicas e ferramentas fisioterapêuticas como a WB-EMS. (KOCH; PEREIRA; MACHADO, 2014).

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar de forma criteriosa os efeitos da eletroestimulação de corpo inteiro na performance do exercício físico em intensidades submáximas em indivíduos saudáveis, através dos indicadores fisiológicos de performance e adaptação mioarticular.

METODOLOGIA

Desenho

Foi realizado um ensaio clínico cruzado randomizado com 12 voluntários do sexo masculino, ativos classificados através do questionário de classificação do nível de atividade física (IPAQ), com idade entre 18 e 30 anos e índice de massa corpórea (IMC) normal, abaixo e sobrepeso. Foram excluídos do estudo os voluntários portadores de doença cardíaca (cardiomiopatia) e com histórico de trauma osteomioarticular recente (nos últimos 12 meses).

O trabalho de coleta de dados foi realizado no Laboratório de Pesquisa em Fisioterapia Neuromusculoesquelética (LAPEFIN), no município de Campos dos Goytacazes, RJ.

Este estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa e foi realizado nos Institutos Superiores de Ensino do CENSA (ISECENSA). Os voluntários foram apresentados ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) antes do início de sua participação na presente coleta de dados.

Intervenção

O estudo foi dividido em dois momentos de intervenção, aos quais os voluntários foram alocados de maneira randomizada. Na primeira etapa, os indivíduos foram submetidos a intervenção ou com o uso da eletroestimulação de corpo inteiro (grupo WB-EMS) mais exercício ou sem este recurso, apenas realizando agachamento seguido de desenvolvimento (grupo exercício). No grupo WB-EMS foi utilizada $T = 500\mu\text{seg}$; rampa de subida 5 segundos, com TON: 60 seg; TOFF: 60 seg; na intensidade máxima tolerada por cada indivíduo; na segunda etapa, foi realizada a conduta oposta àquela realizada inicialmente.

Todos os voluntários foram submetidos ao exercício “thruster”, com e sem a aplicação de eletroestimulação elétrica neuromuscular de corpo inteiro (WB-EMS). A

ordem de aplicação ou controle foi realizada através de randomização por sorteio, com *washout* de intervalo de 1 semana, tempo necessário para que os voluntários pudessem se recuperar adequadamente.

O exercício (em ambos os grupos) se deu com o uso de halteres de 5kg em cada mão, sendo a atividade realizada ao longo de 6 séries, alternando entre 1 minuto de execução e 1 minuto de descanso, após aquecimento realizado por meio de 3 séries de 10 repetições do gestual do thruster, sem o uso de carga adicional ou eletroestimulação.

Para a realização da WB-EMS, o protocolo iniciou com a utilização de estimulação elétrica de corpo inteiro com o iMotion, dispositivo de eletroestimulação muscular (EMS) projetado para otimizar o desempenho físico por meio do uso de um macacão de eletroestimulação que conta com 22 eletrodos que emitem impulsos elétricos para mais de 350 músculos simultaneamente, utilizando corrente alternada passível de modulação em sua frequência, tempo de pulso e rampas de entrega de corrente.

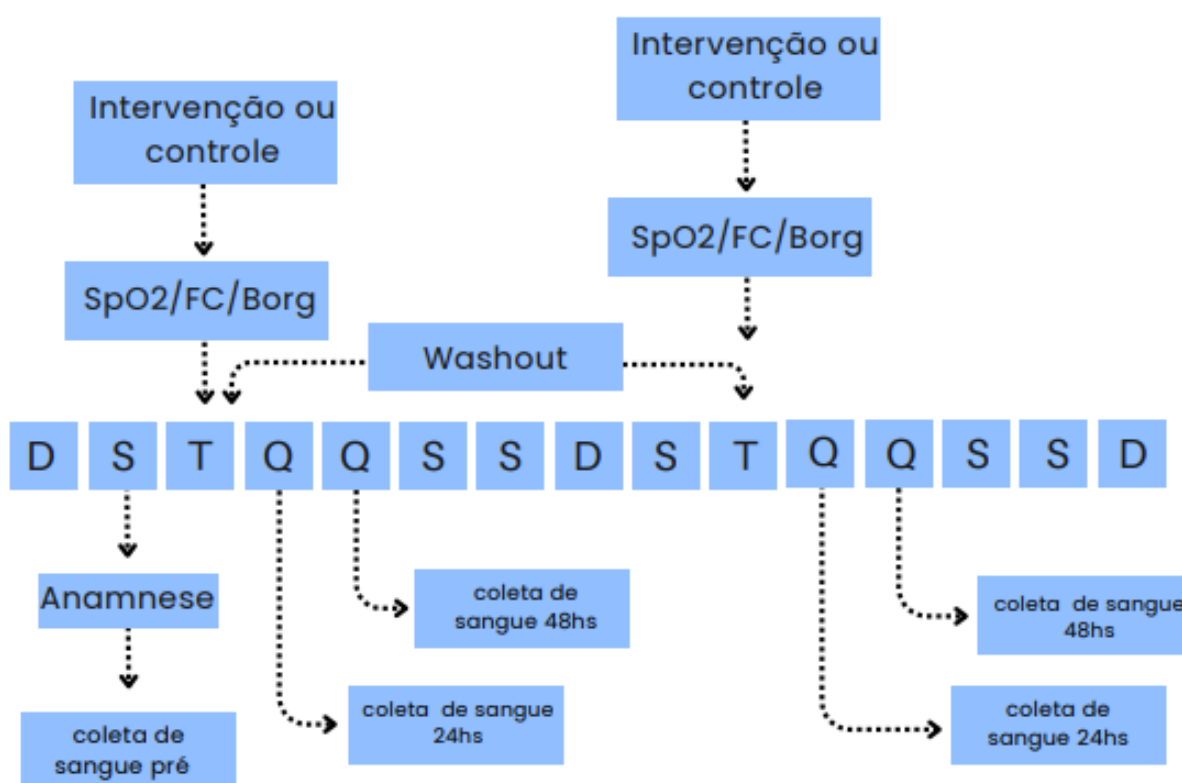


Figura 1: Fluxograma do procedimento de coleta de dados.

Anamnese

Uma semana antes do início das coletas foi realizada a anamnese e antropometria dos voluntários com o uso de uma balança mecânica e estadiômetro, para registrar as informações de medida da massa corporal (kg), estatura (cm) e posterior determinação do Índice de massa corporal (IMC). Neste mesmo dia uma coleta de sangue foi realizada no laboratório de Química do ISECENSA. Esta primeira amostra foi designada como coleta de “creatina quinase PRÉ”, e foi submetida para a análise bioquímica com o objetivo de subsequente comparação com os momentos pós intervenção.

Após 24h e 48h da primeira etapa de avaliação, novas amostras de sangue foram coletadas para análise da CK. Os indivíduos tiveram 1 semana de descanso para recuperação até a próxima fase do estudo. Após esse período foi realizada nova etapa e, novamente, mais duas coletas de sangue com 24h e 48h pós intervenção, para estudo da CK. Simultaneamente às avaliações realizadas, foram coletados dados referentes à frequência cardíaca, saturação de oxigênio e percepção de esforço utilizando a escala de Borg. Essas medições foram realizadas antes e após a intervenção em ambos os grupos, com o objetivo de obter parâmetros adicionais para uma análise mais ampla e detalhada dos resultados.

Foram colhidos aproximadamente 4 ml de sangue da veia cubital mediana para todas as amostras (PRÉ, Pós 24h e Pós 48h), posteriormente separadas em dois tubos. O plasma e o soro serão obtidos por centrifugação (Centrifuga Basic®, São Paulo, Brasil) a 2.500 rpm, em 4°C, por 20 minutos, sendo prontamente armazenados à temperatura de -20° C no Laboratório de Química e Biomolecular dos Institutos Superiores de Ensino do Censa (ISECENSA-RJ). Foi realizada a análise de marcador sérico de dano muscular a CK para ambos os grupos, em todas as coletas. Para estas análises foram utilizados Kits comerciais CK NAC

(Labtest – Brasil), com um analisador semi-automático BIO 200 (Bio Plus®, São Paulo, Brasil). As dosagens das amostras foram separadas em duplicatas.

A coleta sanguínea foi feita por um profissional técnico de análises clínicas e por um acadêmico do Curso de Graduação de Enfermagem do ISECENSA. Foram utilizadas seringas descartáveis de capacidade de 10ml e tubos de coleta da Labor Import, sem vácuo, com capacidade de 6 ml com anticoagulante jateado na parede EDTA K3.

Resultados

Tabela 1: Idade, massa e estatura nos grupos de exercício convencional (exercise) e estimulação elétrica de corpo inteiro (WB-EMS).

	Idade	Massa	Estatura
Válido	12	12	12
Faltando	0	0	0
Média	22.000	69.833	1.729
Desvio Padrão	1.595	9.213	0.083
Mínimo	19.000	55.000	1.640
Máximo	24.000	83.000	1.900

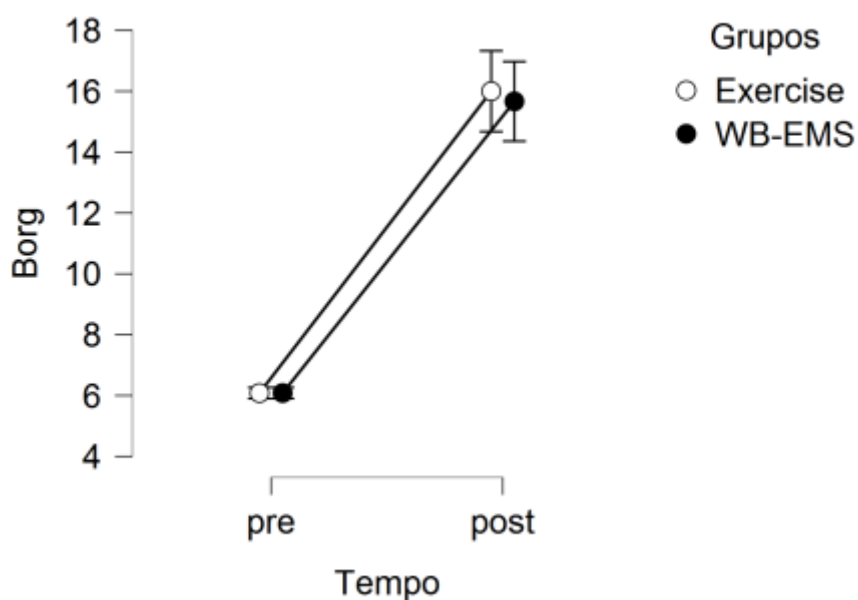
A amostra do estudo foi composta por 12 voluntários ativos que apresentaram uma faixa etária e estatura jovem e homogênea respectivamente, observando-se um grupo fisicamente pouco heterogêneo.

Tabela 2: Índice de massa corporal dos grupos de exercício convencional (Exercise) e estimulação elétrica de corpo inteiro (WB-EMS)

IMC	Frequência	Percentual	Percentual Válido	Percentual Acumulado
Abaixo	1	8.333	8.333	8.333
Normal	8	66.667	66.667	75.000
Sobrepeso	3	25.000	25.000	100.000
Válido	0	0.000		
Total	12	100.000		

Em relação à massa corporal dos participantes, foi possível identificar variação entre 55 a 83 kg, com média próxima à 70 kg e desvio padrão indicando variabilidade moderada de peso.

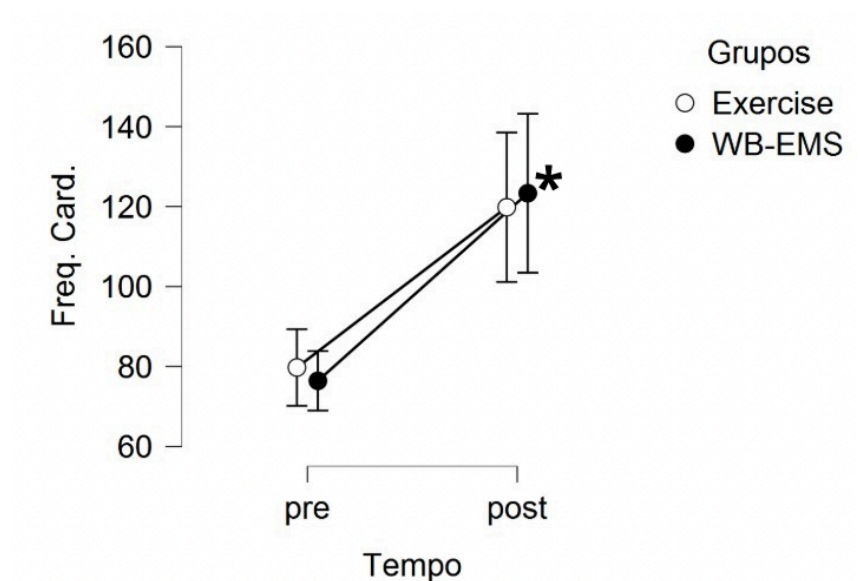
Figura 1: Alterações na percepção de esforço antes e depois (pré e pós-intervenção) nos grupos de exercício convencional (Exercise) e estimulação elétrica de corpo inteiro (WB-EMS).



A pontuação na escala de percepção de esforço de Borg expressou aumento significativo entre os momentos pré e pós, porém sem alteração elevada na comparação entre o grupo exercício e o grupo WB-EMS. A diferença de ambos no

momento pós é pequena, indicando que os efeitos de ambos protocolos são comparáveis nessa variável.

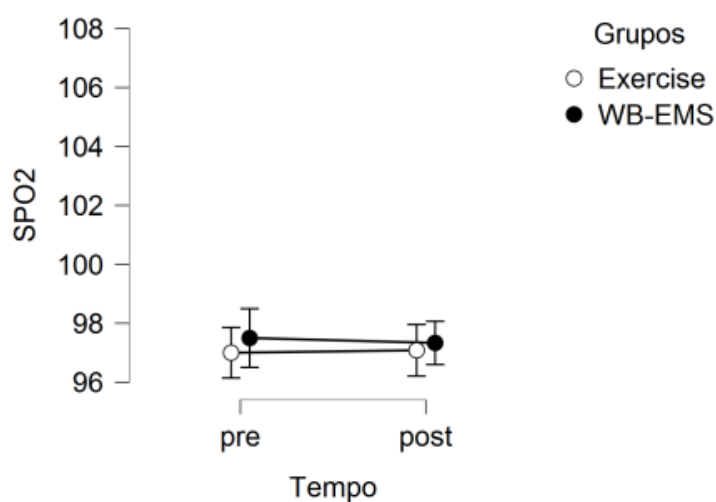
Figura 2: Alterações na frequência cardíaca antes e depois (pré e pós-intervenção) nos grupos de exercício convencional (Exercise) e estimulação elétrica de corpo inteiro (WB-EMS).



(*) Indica significação de diferença significativa entre os grupos testados ($p < 0,05$)

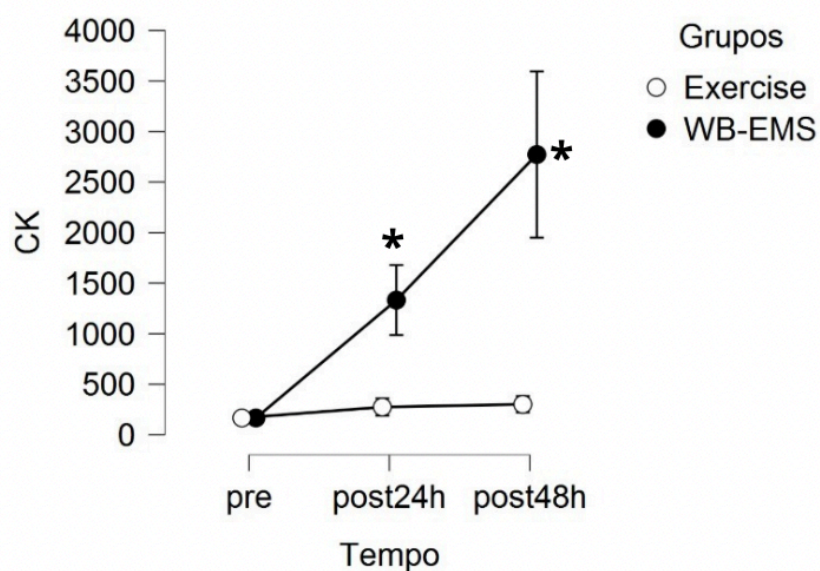
Na avaliação da FC, notou-se aumento significativo em ambos os grupos, novamente, nos momentos pré e pós intervenção, com o grupo WB-EMS apresentando uma média levemente superior à do outro grupo na fase pós intervenção. A análise dos desvios padrões (SD) indica grande variabilidade nos dois grupos, especialmente no momento pós intervenção, quando ambos protocolos aumentam a FC indicando assim uma intensificação do esforço físico durante a intervenção, conforme esperado de todo estímulo de exercício submáximo (com aumento ligeiramente maior no grupo WB-EMS).

Figura 3: Alterações nos níveis de saturação ao longo do tempo (pré, 24h pós e 48h pós-intervenção) nos grupos de exercício convencional (Exercise) e estimulação elétrica de corpo inteiro (WB-EMS).



Os valores de SPO2 se mantiveram estáveis para ambos os grupos entre os momentos pré e pós exercício, indicando que ambos protocolos utilizados não impactaram significativamente a saturação de oxigênio dos participantes, reforçando que a WB-EMS se iguala ao exercício submáximo isolado em termos de manutenção da oxigenação durante a realização das atividades.

Figura 4. Alterações nos níveis séricos de creatina quinase (CK) ao longo do tempo (pré, 24h pós e 48h pós-intervenção) nos grupos de exercício convencional (Exercise) e estimulação elétrica de corpo inteiro (WB-EMS).



(*) Indica significação estatística entre os grupos testados ($p < 0,05$)

Quanto à análise da CK, pode-se observar nos três momentos de avaliação, uma diferença em seus níveis séricos principalmente no momento pós 48 horas. No grupo exercício este aumento dos níveis de CK foi de caráter moderado, indicando um impacto fisiológico típico de exercícios físicos submáximos; todavia, no grupo WB-EMS, foi observado aumento significativo da presença de CK, o que implica numa resposta fisiológica intensa à presença da estimulação eletromuscular de corpo inteiro agregada a atividade performada, evidenciando maior dano muscular e estresse metabólico em comparação a execução somente do exercício tradicional.

Quando comparados os grupos em todos os momentos pós intervenção, a resposta da CK no grupo WB-EMS se apresentou de forma muito mais expressiva e com significância estatística frente ao exercício isolado, cuja resposta se manteve dentro do esperado para indivíduos ativos.

Discussão

O presente estudo observou que indivíduos treinados, ao manterem uma sobrecarga elevada no exercício executado, nos dois momentos da coleta de dados (intervenção e controle), apresentaram uma resposta importante de aumento nos níveis séricos de CK, de modo este incremento se apresentou significativamente maior com a utilização da WB-EMS.

É sabido que indivíduos treinados, em sua maioria, já possuem adaptações fisiológicas ao treino, o que resulta em respostas menos acentuadas a novos estímulos, quando comparados a indivíduos não treinados. Estes últimos, por sua vez, tendem a apresentar respostas mais intensas devido à ausência de adaptações prévias. Neste estudo, analisamos especificamente indivíduos treinados e observamos que o aumento mais expressivo dos níveis de CK, ocorreu como resultado da sobrecarga proporcionada pela corrente elétrica, que impôs uma maior demanda contrátil dos músculos ativos durante o exercício. Esses achados reforçam

o impacto do WB-EMS como um método eficaz para intensificar o estresse muscular, mesmo em indivíduos previamente adaptados ao treinamento. (BAIRD et al., 2012)

Através da manutenção da intensidade constante durante ambos os momentos da intervenção, foi possível observar os níveis de pico de CK predominantemente após 72 horas dos exercícios, conforme esperado após a oferta de sobrecarga muscular. Ademais, características individuais, como sexo e idade, não demonstraram impacto significativo sobre os níveis máximos de CK. Contudo, foi notável a forte correlação entre maiores níveis de CK após 72h com o advento da eletroestimulação aplicada durante o exercício, sugerindo um maior potencial de dano muscular e, portanto, melhor predição de resposta de adaptação mioarticular dos indivíduos quando estes foram submetidos à WB-EMS. Tais resultados obtidos mostraram-se similares aos relatados conforme Teschler et al. (2024), as diferenças interindividuais em danos musculares após uma única sessão de eletroestimulação de corpo inteiro de alta intensidade podem estar associadas a fatores como a composição corporal e a intensidade do estímulo, reforçando a influência da WB-EMS no aumento dos marcadores de dano muscular. (TESCHLER et al., 2024)

O presente trabalho também observou que, apesar de aplicada a indivíduos já ativos, a WB-EMS obteve resposta mais robusta na oferta de sobrecarga do exercício, portanto destacando a WB-EMS como recurso valioso para intensificar a sobrecarga fisiológica de treinamento enquanto mantém intensidades percebidas iguais às aquelas de exercícios performados sem o uso da corrente elétrica, ainda que em populações já adaptadas ao treinamento, maximizando os benefícios de treino enquanto minimiza riscos de cargas excessivas. (TESCHLER et al., 2024)

Diferentemente do presente estudo, que demonstrou benefícios significativos da WB-EMS em indivíduos ativos, uma pesquisa que avaliou a técnica em indivíduos com risco cardiometabólico elevado não identificou resultados

expressivos ou favoráveis quanto aos níveis de CK. Essa discrepância evidencia como as respostas ao mesmo protocolo podem variar de acordo com o perfil dos participantes. No caso de indivíduos ativos, a WB-EMS foi eficaz, resultando em adaptações positivas. Já em populações mais velhas ou de meia-idade, com condições metabólicas comprometidas, os resultados pareceram menos pronunciados, sugerindo que o efeito da técnica pode ser limitado por fatores relacionados ao estado de saúde e ao condicionamento físico desses grupos ou ainda pela necessidade de melhor adequação da dose de estímulo elétrico oferecido durante a terapêutica. (GURETZKI et al., 2024)

Ainda assim, o artigo mencionado analisou valores basais semelhantes aos do presente estudo e, de maneira consistente, não encontrou diferenças significativas que tornassem a WB-EMS uma técnica desfavorável em quaisquer das situações analisadas. Isso reforça que, apesar das variações nos resultados em função do perfil dos participantes, a WB-EMS não apresenta efeitos negativos significativos que pressuponham riscos aos indivíduos. Esses achados sugerem que a WB-EMS pode ser altamente eficaz em populações jovens e ativas, onde há maior capacidade de resposta adaptativa ao estímulo. Contudo, em populações com condições preexistentes ou maior fragilidade física, como no caso de risco cardiometabólico elevado, sua eficácia pode ser limitada, demandando estudos adicionais para determinar protocolos mais específicos e adequados a essas populações. Assim, o presente estudo contribui para reforçar a necessidade de personalizar a aplicação da WB-EMS, considerando as características individuais e os objetivos terapêuticos de cada grupo. (GURETZKI et al., 2024)

Conforme o estudo de Di Cagno et al. (2022), os efeitos da eletroestimulação de corpo inteiro (WB-EMS) foram analisados por meio de biomarcadores séricos de desempenho físico e fadiga em pacientes com Parkinson. O estudo focou na análise de alfa-sinucleína nos níveis séricos pré e pós-intervenção, diferentemente de nosso trabalho, que avaliou a CK, o artigo comprovou então que o WB-EMS permite personalizar intervenções de acordo com os perfis dos participantes e seus

objetivos terapêuticos. Essa flexibilidade destaca seu potencial como uma técnica promissora para pessoas saudáveis e para aquelas com condições clínicas específicas, como o Parkinson. (DI CAGNO et al., 2023)

É relevante destacar que o estudo sobre Parkinson, quando comparado ao nosso, realizou testes de aptidão física antes e após os procedimentos, utilizando avaliações como o teste de sentar e levantar e o teste de levantar e andar para mensurar o desempenho físico. Por outro lado, no presente estudo, foram coletados dados sobre a percepção de esforço por meio da escala de Borg, além de medições de frequência cardíaca (FC) e saturação de oxigênio (SPO2) nos momentos pré e pós-intervenção. (BOUGEA et al., 2019)

Uma observação relevante foi a melhoria nos mecanismos bioenergéticos em decorrência da intervenção aeróbica com WB-EMS, evidenciada por mudanças positivas nos níveis séricos de alfa-sinucleína. Esses resultados corroboram os achados do presente estudo, que também indicaram benefícios importantes, como a redução da fadiga e a melhoria na eficiência bioenergética. (CANCELA et al., 2012)

Tanto o estudo de Di Cagno et al. quanto o nosso destacam a eficácia da WB-EMS em promover bons estímulos fisiológico-funcionais. Ademais, a WB-EMS permite intervenções individualizadas, atendendo a diferentes perfis de participantes e objetivos terapêuticos, o que a torna uma técnica promissora para pessoas saudáveis e para pacientes com condições clínicas específicas, como o Parkinson. (DI CAGNO et al., 2023)

Conclusão

Este estudo constatou que a eletroestimulação de corpo inteiro (WB-EMS) foi eficaz no aumento dos níveis de creatina quinase (CK) em um grupo quando em

comparação ao controle, o que sugere que a intervenção tem um potencial significativo para promover maiores adaptações musculares. Embora a WB-EMS tenha mostrado ser eficaz no aumento do dano muscular, ela não causou alterações significativas nos níveis de frequência cardíaca ou saturação de oxigênio, o que sugere que o protocolo utilizado não sobrecarregou o sistema cardiovascular dos participantes. Portanto, a combinação de WB-EMS com exercícios físicos pode ser uma estratégia interessante para indivíduos que buscam otimizar o ganho muscular sem sobrecarregar de forma deletéria o desempenho cardiovascular, especialmente em populações com necessidades específicas, como idosos ou indivíduos com limitações físicas. A continuidade de pesquisas que venham a investigar a resposta fisiológica sob diferentes intensidades de WB-EMS e em populações diferentes (bem como analisando outros indicadores fisiológicos) deve ser ponto interesse para elucidar os pormenores desta técnica e embasar sua prescrição de maneira ainda mais ampla.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAHMARI, K. A. et al. Effectiveness of Low-Frequency Stimulation in Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Techniques for Post Ankle Sprain Balance and Proprioception in Adults: A Randomized Controlled Trial. **BioMed Research International**, v. 2020, n. 1, p. 9012930, 1 jan. 2020.

AOKI, H. et al. Sensor Arrays for Electrochemical Detection of PCR-Amplified Genes Extracted from Cells Suspended in Environmental Waters. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 24, n. 22, 8 nov. 2024.

BAIRD, M. F. et al. Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. **Journal of nutrition and metabolism**, v. 2012, p. 960363, 11 jan. 2012.

BANERJEE, P. et al. Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength and aerobic capacity in healthy sedentary adults. **Journal of applied physiology**, v. 99, n. 6, p. 2307–2311, dez. 2005.

BEKKI, M. et al. Electrically Stimulated Eccentric Contractions during Walking Increases Oxygen Uptake. **The Kurume medical journal**, v. 66, n. 2, p. 93–100, 21 jul. 2021.

BOUGEA, A. et al. Plasma alpha-synuclein levels in patients with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. **Neurological Sciences**, v. 40, n. 5, p. 929–938, 4 fev. 2019.

BRANCACCIO, P. et al. Serum enzyme monitoring in sports medicine. **Clinics in sports medicine**, v. 27, n. 1, p. 1–18, vii, jan. 2008.

BRANCACCIO, P.; MAFFULLI, N.; LIMONGELLI, F. M. Creatine kinase monitoring in sport medicine. **British medical bulletin**, v. 81-82, p. 209–230, 14 jun. 2007.

CANCELA, J. M. et al. The Senior Fitness Test as a functional measure in Parkinson's disease: A pilot study. **Parkinsonism & Related Disorders**, v. 18, n. 2, p. 170–173, 1 fev. 2012.

Comparação dos efeitos de dois protocolos de estimulação elétrica neuromuscular sobre a força muscular isométrica do quadríceps. [s.d.].

DI CAGNO, A. et al. Whole body-electromyostimulation effects on serum biomarkers, physical performances and fatigue in Parkinson's patients: A randomized controlled trial. **Frontiers in aging neuroscience**, v. 15, p. 1086487, 9 fev. 2023.

ENOKA, R. M.; AMIRIDIS, I. G.; DUCHATEAU, J. Electrical Stimulation of Muscle: Electrophysiology and Rehabilitation. **Physiology**, v. 35, n. 1, p. 40–56, 1 jan. 2020.

GALLEGO LAFUENTE, A. **A efetividade da aplicação de eletroestimulação no aumento de força muscular do quadríceps em indivíduos sedentários e saudáveis: uma revisão de literatura.** [s.l.] [s.n.], 2021.

GOLLNICK, P. D. et al. Selective glycogen depletion in skeletal muscle fibres of man following sustained contractions. **The Journal of physiology**, v. 241, n. 1, p. 59–67, ago. 1974.

GOLLNICK, P. D.; HERMANSEN, L. Biochemical adaptations to exercise: anaerobic metabolism. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 1, p. 1–43, 1973.

GROSSET, J.-F. et al. Comparative effect of a 1 h session of electrical muscle stimulation and walking activity on energy expenditure and substrate oxidation in obese subjects. **Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme**, v. 38, n. 1, p. 57–65, jan. 2013.

GURETZKI, E. et al. Effects of Whole-Body Electromyostimulation on Metabolic Syndrome in Adults at Moderate-to-High Cardiometabolic Risk-A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 24, n. 21, 22 out. 2024.

KEMMLER, W. et al. Impact of whole-body electromyostimulation on body composition in elderly women at risk for sarcopenia: the Training and ElectroStimulation Trial (TEST-III). **Age (Dordrecht, Netherlands)**, v. 36, n. 1, p. 395–406, fev. 2014.

KEMMLER, W. et al. Effects of Whole-Body Electromyostimulation versus High-Intensity Resistance Exercise on Body Composition and Strength: A Randomized Controlled Study. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2016, n. 1, p. 9236809, 1 jan. 2016.

KEMMLER, W. et al. Efficacy and Safety of Low Frequency Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) to Improve Health-Related Outcomes in Non-athletic Adults. A Systematic Review. **Frontiers in Physiology**, v. 9, p. 346218, 23 maio 2018.

KOCH, A. J.; PEREIRA, R.; MACHADO, M. The creatine kinase response to resistance exercise. **Journal of musculoskeletal & neuronal interactions**, v. 14, n. 1, p. 68–77, mar. 2014.

PANO-RODRIGUEZ, A. et al. Effects of whole-body ELECTROMYOSTIMULATION on health and performance: a systematic review. **BMC complementary and alternative medicine**, v. 19, n. 1, p. 1–14, 24 abr. 2019.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho.** [s.l.: s.n.].

SHOJI S. [Creatine kinase (CK)]. **Nihon rinsho. Japanese journal of clinical medicine**, v. 53, n. 5, p. 1136–1140, maio 1995.

TANAKA, M. et al. Effects of eccentric contractions induced electrical stimulation training system on quadriceps femoris muscle. **International journal of clinical medicine**, v. 08, n. 09, p. 519–533, 2017.

TESCHLER, M. et al. Inter-individual differences in muscle damage following a single bout of high-intense whole-body electromyostimulation. **Frontiers in sports and active living**, v. 6, p. 1454630, 23 out. 2024.

TUCKER, A.; FAULKNER, M. E.; HORVATH, S. M. Electrocardiography and lung function in brass instrument players. **Archives of environmental health**, v. 23, n. 5, p. 327–334, nov. 1971.