

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**ANÁLISE DO DANO MUSCULAR E DAS RESPOSTAS
CARDIOMETABÓLICAS APÓS ELETROESTIMULAÇÃO
NEUROMUSCULAR DE CORPO INTEIRO EM INDIVÍDUOS IDOSOS**

Matheus Elias Ferrareze

PORTO ALEGRE

2020

MATHEUS ELIAS FERRAREZE

**ANÁLISE DO DANO MUSCULAR E DAS RESPOSTAS
CARDIOMETABÓLICAS APÓS ELETROESTIMULAÇÃO
NEUROMUSCULAR DE CORPO INTEIRO EM INDIVÍDUOS IDOSOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola Superior de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Simões Dias

PORTO ALEGRE

2020

CIP - Catalogação na Publicação

Ferrareze, Matheus Elias
ANÁLISE DO DANO MUSCULAR E DAS RESPOSTAS
CARDIOMETABÓLICAS APÓS ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR
DE CORPO INTEIRO EM INDIVÍDUOS IDOSOS / Matheus Elias
Ferrareze. -- 2020.
108 f.
Orientador: Alexandre Simões Dias.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de
Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto
Alegre, BR-RS, 2020.

1. Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo
Inteiro. 2. Idosos. 3. Dano Muscular Induzido pelo
Exercício. 4. Respostas Cardiometabólicas. I. Dias,
Alexandre Simões, orient. II. Título.

Porto Alegre, 04 de Dezembro de 2020

PARECER DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO

Aos quatro dias do mês de dezembro de dois mil e vinte ocorreu a Apresentação Pública de Tese do aluno Matheus Elias Ferrareze intitulada “ANÁLISE DO DANO MUSCULAR E DAS RESPOSTAS CARDIOMETABÓLICAS APÓS ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR DE CORPO INTEIRO EM INDIVÍDUOS IDOSOS” do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Dr. Alexandre Simões Dias. Após apresentação do aluno e arguição da banca, o aluno foi aprovado e recebeu o conceito A.

Atenciosamente,

Profa. Dr. Graciele Sbruzzi (UFRGS)



Prof. Dr. Bruno Manfredini Baroni (UFCSPA)



Prof Dr. Alexandre Evangelista (UNINOVE)



**À minha esposa Camila,
por todo o apoio, paciência e amor.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Camila, que me deu forças desde o início para que seguisse com meus objetivos e buscasse novas conquistas. Que me entende na minha forma de lidar com meus desafios e por ser a minha grande companheira e mulher que eu amo.

Agradeço à minha família, especialmente meus pais e meu irmão por todo o apoio e confiança que depositaram em mim, por apoiarem todas as minhas escolhas e pelo conforto e amor de todas as horas.

Agradeço ao meu sogro e minha sogra por estarem sempre presentes, doando carinho e compreensão.

Agradeço aos meus amigos por compreenderem todo esse período que fiquei um pouco mais afastado.

Agradeço ao meu sócio Henrique, por entender que esse momento era importante para o meu desenvolvimento e por “liberar” muitos horários de trabalho para que eu fizesse as coletas.

Agradeço ao meu orientador prof. Alexandre Simões Dias por confiar em mim, abrir as portas para que eu fizesse parte do grupo desde o mestrado, e ter muita paciência e compreensão ao longo dessa caminhada.

Agradeço ao grande parceiro Francimar Ferrari, que a cada dia me ensina mais sobre os grandes diferenciais da tecnologia de eletroestimulação neuromuscular, e que dividiu comigo vários momentos muito importantes nessa história recente de estudos, cursos e eventos, sempre com muita tranquilidade, compreensão e comprometimento. Da mesma forma, não posso deixar de agradecer à Lívia Andrade que abriu as portas da sua casa para me receber e do seu conhecimento para me oferecer quando eu mais precisava. Dois grandes amigos, da academia para a vida!

Agradeço de forma especial aos colegas Samuel Munhoz, Thiago Ramis, Murillo Frazão, Rodrigo Leal, Layane Ayres, Francesco Boeno e Cesar Moritz por todo auxílio ao longo de todo o trabalho. Sem o apoio deles essa conquista não seria possível.

Por fim, gostaria de agradecer do fundo do coração, aos voluntários que toparam participar do estudo e a todos àqueles que, de alguma forma, fizeram parte do meu dia a dia durante esses quatro anos.

RESUMO

Introdução: Estudos têm demonstrado que a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (WB-EMS) pode produzir respostas fisiológicas positivas e ser uma opção interessante para populações idosas com alguma resistência aos exercícios convencionais. No entanto, ainda são escassas as evidências a respeito dos efeitos agudos induzidos por WB-EMS no dano muscular e variáveis cardiometabólicas. Participaram da pesquisa descritiva, do tipo experimental não controlada, 7 homens idosos, inativos fisicamente e sem experiência prévia com WB-EMS. Foi dividida em dois estudos:

Estudo 1: O objetivo foi avaliar o dano muscular induzido por WB-EMS em indivíduos idosos. A intervenção constou de 20 minutos de WB-EMS, sendo os primeiros 5 minutos estímulo com WB-EMS e, nos demais 15 minutos, WB-EMS associada de movimentos funcionais que foram divididos em 3 séries iguais consecutivas. Foram avaliados marcadores de dano muscular (Dor Muscular de Início Tardio - DMIT; Contração Voluntária Máxima Isométrica - CVMI; Espessura Muscular - EM; Ecogenicidade - ECO) nos momentos pré-intervenção (Pré), logo após a intervenção (Pós), 24, 48 e 72 horas depois (24h; 48h; 72h) nos músculos Reto Femoral (RF), Vasto Medial (VM), Vasto Lateral (VL), Vasto Intermédio (VI) e Bíceps Braquial (BB). A análise estatística foi realizada pelo Modelo de Equações de Estimativas Generalizadas (GEE) complementada pelo teste Least Significant Difference (LSD) considerando $p < 0,05$. Foram observados maiores índices de DMIE nos momentos 24, 48 e 72 h após a intervenção, tanto para os extensores do joelho ($p < 0,001$) como flexores do cotovelo ($p < 0,001$), uma diminuição significativa na CVMI de ambos os grupamentos musculares após 24 h ($p = 0,001$), além da diminuição da força seguir sendo observada até 72 h depois nos extensores de joelho. A EM de todos os músculos avaliados teve uma tendência a seguir aumentando até 72 h após a intervenção, assim como a ecogenicidade. O uso da WB-EMS em musculaturas com comprimento muscular reduzido, associada a poucos movimentos e realizados de forma lenta, parece minimizar a ocorrência de

dano muscular e pode contribuir para adaptações neuromusculares apesar da mínima ou ausência de alteração nos tecidos musculares.

Estudo 2: O objetivo foi descrever o impacto da WB-EMS nos aspectos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos em homens idosos. Variáveis ventilatórias, cardiocirculatórias e metabólicas foram determinadas usando um sistema de ergoespirometria de circuito aberto por analisador de gases e uma faixa telemétrica nos momentos pré-intervenção (Pré), seguido do momento de ativação da WB-EMS sem movimentos voluntários (Eletro), da primeira série de movimentos voluntários associados com WB-EMS (E+M1), da segunda série de movimentos associados com WB-EMS (E+M2), da terceira série (E+M3), e de três momentos em repouso após a intervenção com duração de 10 minutos cada (Pós1; Pós2; Pós3). Foram observados incrementos significativos já no momento Eletro quando comparado com o momento Pré em todas as variáveis ($p < 0,001$), com exceção do volume corrente (VT) que só aumenta no momento E+M1 ($p < 0,001$) e do consumo de carboidratos (CHO) que diminui no momento Eletro quando comparado com o Pré ($p < 0,05$). Quando os movimentos voluntários são associados, todas as variáveis aumentam significativamente em relação ao momento Pré ($p < 0,001$) e, com exceção da frequência respiratória (RF) e do consumo de gordura (FAT), também aumentam significativamente em relação ao momento Eletro ($p < 0,001$). Esses resultados sugerem que a adição do uso de WB-EMS pode aumentar significativamente a demanda cardiometabólica de sujeitos idosos.

Palavras-chave: Idosos; Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro; Dano Muscular; Variáveis Cardiometabólicas.

ABSTRACT

Introduction: Studies have shown that whole-body neuromuscular electrical stimulation (WB-EMS) can produce positive physiological responses and be an interesting option for elderly populations with some resistance to conventional exercises. However, the evidence regarding the acute effects induced by WB-EMS on muscle damage and cardiometabolic variables is still scarce. Seven elderly men, physically inactive and with no previous experience with WB-EMS participated in the descriptive, uncontrolled experimental type. It was divided into two studies:

Study 1: The objective was to assess muscle damage induced by WB-EMS in elderly individuals. The intervention consisted of 20 minutes of WB-EMS, with the first 5 minutes being stimulated with WB-EMS and, in the remaining 15 minutes, WB-EMS associated with functional movements that were divided into 3 consecutive equal sets. Muscle damage markers (Late Onset Muscle Pain - DMIT; Maximum Isometric Voluntary Contraction - CVMI; Muscle Thickness - MS; Ecogenicity - ECO) were evaluated in the pre-intervention (Pre), just after the intervention (Post), 24, 48 and 72 hours later (24h; 48h; 72h) in the Rectus Femoris (RF), Vast Medial (VM), Vast Lateral (VL), Vast Intermediate (VI) and Biceps Brachii (BB) muscles. The statistical analysis was performed using the Generalized Estimation Equation Model (GEE) complemented by the Least Significant Difference (LSD) test considering $p < 0.05$. Higher DMIE rates were observed at 24, 48 and 72 h after the intervention, both for knee extensors ($p < 0.001$) and elbow flexors ($p < 0.001$), a significant decrease in CVMI for both muscle groups after 24 h ($p = 0.001$), in addition to the decrease in strength, it was observed up to 72 h later in the knee extensors. The MS of all the muscles evaluated had a tendency to continue increasing up to 72 h after the intervention, as well as echogenicity. The use of WB-EMS in muscles with reduced muscle length, associated with few movements and performed slowly, seems to minimize the occurrence of muscle damage and may contribute to neuromuscular adaptations despite the minimal or absence of changes in muscle tissues.

Study 2: The objective was to describe the impact of WB-EMS on ventilatory, cardiocirculatory and metabolic aspects in elderly men. Ventilatory, cardiocirculatory and metabolic variables were determined using an open circuit ergospirometry system using a gas analyzer and a telemetric band in the pre-intervention moments (Pre), followed by the moment of activation of the WB-EMS without voluntary movements (Electro), from first series of voluntary movements associated with WB-EMS (E + M1), the second series of movements associated with WB-EMS (E + M2), the third series (E + M3), and three moments of rest after the intervention lasting 10 minutes each (Post1; Post2; Post3). Significant increases were already observed at the Electro moment when compared to the Pre moment in all variables ($p < 0.001$), with the exception of the tidal volume (VT) which only increases at the moment E + M1 ($p < 0.001$) and carbohydrate consumption (CHO) that decreases at the moment Electro when compared to the Pre ($p < 0.05$). When voluntary movements are associated, all variables increase significantly in relation to the Pre moment ($p < 0.001$) and, with the exception of respiratory rate (RF) and fat consumption (FAT), also significantly increase in relation to the Electro moment ($p < 0.001$). These results suggest that the addition of the use of WB-EMS can significantly increase the cardiometabolic demand of elderly subjects.

Keywords: Elderly; Whole-body Neuromuscular Electrostimulation; Muscle damage; Cardiometabolic variables.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

WB-EMS	Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro
NMES	Eletroestimulação Neuromuscular
GWB-EMS	Grupo Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro
GC	Grupo Controle
CK	Creatina Quinase
DMIE	Dano Muscular Induzido pelo Exercício
DMIT	Dor Muscular de Início Tardio
IMC	Índice de Massa Corporal
ECN	Escala de Classificação Numérica
RF	Frequência Respiratória
VT	Volume Corrente
VE	Ventilação Minuto
VO2	Consumo de Oxigênio
DC	Débito Cardíaco
a-vO2	Diferença Arteriovenosa de Oxigênio
FC	Frequência Cardíaca
pO2	Pulso de Oxigênio
EEm	Consumo Energético Minuto
EEtot	Consumo Energético Total
FAT	Consumo de Gordura
CHO	Consumo de Carboidrato
GEE	Equações de Estimativas Generalizadas
LSD	Least Significant Difference
CVMI	Contração Voluntária Máxima Isométrica
RF	Reto Femoral
VL	Vasto Lateral
VM	Vasto Medial
VI	Vasto Intermédio
BB	Bíceps Braquial
EM	Espessura Muscular
ASTA	Área de Secção Transversa Anatômica
ECO	Ecogenicidade
VDF	Volume Diastólico Final
VSF	Volume Sistólico Final

O2	Oxigênio
CO2	Gás Carbônico
H2O	Água
EPOC	Consumo de Oxigênio em Excesso Pós Exercício
DP	Desvio Padrão
PSE	Percepção Subjetiva de Esforço

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da vestimenta utilizada para eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (*miha bodytec* – Augsburg, Alemanha).

Artigo 1

Figura 1. Representação da vestimenta utilizada para eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (*miha bodytec* – Augsburg, Alemanha).

Figura 2. Imagem do primeiro momento da intervenção, com voluntário em pé, em posição de preparo, realizando a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro, sem a realização de movimentos voluntários (esquerda); Imagem do voluntário realizando o exercício agachamento, juntamente com a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (direita).

Figura 3. Dor Muscular de Início Tardio (DMIT) dos Extensores do Joelho (esquerda) e dos Flexores do Cotovelo (direita) nos momentos pré-intervenção (pré), logo após intervenção (pós), assim como em 24, 48 e 72 horas após o protocolo de intervenção (24h; 48h; 72h). * indica diferença significativa comparado com o momento pré ($p < 0,001$); a indica diferença entre os momentos ($p < 0,001$); b indica diferença entre os momentos ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Figura 4. Contração Voluntária Máxima Isométrica (CVMI) dos Extensores do Joelho (esquerda) e dos Flexores do Cotovelo (direita) nos momentos pré-intervenção (pré), logo após intervenção (pós), assim como em 24, 48 e 72 horas após o protocolo de intervenção (24h; 48h; 72h). a indica diferença entre os momentos ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Figura 5. Espessura Muscular (EM) do Vasto Medial (VM)(1), do Reto Femoral (RF)(2), do Vasto Lateral (VL)(3), do Vasto Intermédio (VI)(4) e do Bíceps

Braquial (BB)(5) nos momentos pré-intervenção (pré), logo após intervenção (pós), assim como em 24, 48 e 72 horas após o protocolo de intervenção (24h; 48h; 72h). * indica diferença significativa comparado com o momento pré ($p<0,001$); a indica diferença significativa entre os momentos ($p<0,001$); b indica diferença significativa entre os momentos ($p<0,001$). c indica diferença significativa entre os momentos ($p<0,001$); d indica diferença significativa entre os momentos ($p<0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Figura 6. Ecogenicidade (ECO) do Vasto Medial (VM)(1), Vasto Intermédio (VI)(2), do Vasto Lateral (VL)(3), do Reto Femoral (RF)(4) e do Bíceps Braquial (BB)(5) nos momentos pré-intervenção (pré), logo após intervenção (pós), assim como em 24, 48 e 72 horas após o protocolo de intervenção (24h; 48h; 72h). * indica diferença significativa comparado com o momento pré ($p<0,001$); a indica diferença significativa entre os momentos ($p<0,001$); b indica diferença significativa entre os momentos ($p<0,001$). c indica diferença significativa entre os momentos ($p<0,001$); d indica diferença significativa entre os momentos ($p<0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Figura 7. Posição de preparo entre os movimentos, durante a intervenção.

Artigo 2

Figura 1. Representação da vestimenta utilizada para eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (*miha bodytec* – Augsburg, Alemanha).

Figura 2. A. Voluntário em pé, em posição de preparo, realizando a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro, sem a realização de movimentos voluntários; B. Voluntário realizando o exercício agachamento, juntamente com a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro; C. Voluntário em repouso, pós-intervenção.

Figura 3. Frequência Respiratória média (RF)(a), Ventilação Minuto média (VE)(b) e Volume Corrente médio (VT)(c) nos momentos Pré, Eletro, E+M1,

E+M2, E+M3, Pós1, Pós2 e Pós3. * indica diferença significativa comparada com o momento Pré ($p < 0,001$); † indica diferença significativa comparada com o momento Eletro ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Figura 4. Débito Cardíaco médio (DC)(a), Diferença Arteriovenosa de Oxigênio média (a-vO₂)(b), Frequência Cardíaca média (FC)(c), Pulso de Oxigênio médio (pO₂)(d) e Consumo de Oxigênio médio (VO₂)(e) nos momentos Pré, Eletro, E+M1, E+M2, E+M3, Pós1, Pós2 e Pós3. * indica diferença significativa comparada com o momento Pré ($p < 0,001$); † indica diferença significativa comparada com o momento Eletro ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Figura 5. Consumo energético Minuto médio (EE_m)(a), Consumo Energético Total médio (EE_{tot})(b), Consumo de Gordura médio (FAT)(c) e Consumo de Carboidrato médio (CHO)(d) nos momentos Pré, Eletro, E+M1, E+M2, E+M3, Pós1, Pós2 e Pós3. * indica diferença significativa comparada com o momento Pré ($p < 0,001$); † indica diferença significativa comparada com o momento Eletro ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Tabela 1. Grupamentos musculares e parâmetros anatômicos avaliados por meio de ultrassonografia.

Tabela 2. Protocolo de WB-EMS utilizado no estudo.

Tabela 3. Sequência de exercícios realizados na primeira, segunda e terceira séries de movimentos voluntários durante intervenção.

Tabela 4. Características dos participantes avaliados no estudo (Média \pm DP; n = 7).

Artigo 2

Tabela 1. Protocolo de WB-EMS utilizado no estudo.

Tabela 2. Sequência de exercícios realizados na primeira, segunda e terceira séries de movimentos voluntários associados ao estímulo elétrico durante intervenção.

Tabela 3. Características dos participantes avaliados no estudo. (Média \pm DP; n = 7).

SUMÁRIO

1 BASE TEÓRICA.....	19
1.1 INTRODUÇÃO	19
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
1.2.1 Envelhecimento.....	22
1.2.2 Eletroestimulação Neuromuscular (NMES).....	25
1.2.3 Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro (WB-EMS).....	26
1.2.4 Dano Muscular Induzido pelo Exercício (DMIE)	32
1.2.5 Respostas Cardiometabólicas ao Exercício	36
2 JUSTIFICATIVA.....	41
3 OBJETIVOS	42
3.1 OBJETIVO GERAL.....	42
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA BASE TEÓRICA	43
5 ARTIGO 1	50
RESUMO	51
ABSTRACT.....	53
INTRODUÇÃO.....	55
MÉTODOS.....	57
DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	57
CRITÉRIO DE ELEGIBILIDADE.....	57
SELEÇÃO E LOCAL DO ESTUDO.....	58
PROCEDIMENTOS, TESTES E TÉCNICAS	58
Massa, Estatura e Índice de massa corporal (IMC)	58
Percepção Subjetiva de Esforço.....	59
Avaliação do Dano Muscular Induzido pelo Exercício (DMIE).....	59
Avaliação da Dor Muscular de Início Tardio (DMIT).....	59
Contração Voluntária Máxima Isométrica (CVMI)	60
Avaliação da Força de Extensores do Joelho	60
Avaliação da Força de Preensão Manual	60
Imagens de Ultrassonografia.....	60
Espessura Muscular (EM)	61

Ecogenicidade (ECO)	62
INTERVENÇÃO	62
ANÁLISE ESTATÍSTICA	65
RESULTADOS.....	66
DISCUSSÃO	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS	80
LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	81
CONFORMIDADE COM OS PADRÕES ÉTICOS	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
6 ARTIGO 2	86
RESUMO	87
ABSTRACT.....	89
INTRODUÇÃO.....	91
MÉTODOS.....	93
DELINEAMENTO DO ESTUDO	93
CRITÉRIO DE ELEGIBILIDADE	93
SELEÇÃO E LOCAL DO ESTUDO	94
PROCEDIMENTOS, TESTES E TÉCNICAS	94
Massa, Estatura e Índice de massa corporal (IMC)	94
Percepção Subjetiva de Esforço	94
Aspectos Ventilatórios, Cardiocirculatórios e Metabólicos	95
INTERVENÇÃO	96
ANÁLISE ESTATÍSTICA	99
RESULTADOS.....	99
DISCUSSÃO	105
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	109
CONFORMIDADE COM OS PADRÕES ÉTICOS	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
7 CONCLUSÕES GERAIS	113

1 BASE TEÓRICA

1.1 INTRODUÇÃO

A população mundial está envelhecendo. Os idosos estão aumentando em número e compõem uma parcela crescente da população em praticamente todos os países.

A população global com 60 anos ou mais totalizou 962 milhões em 2017, mais de duas vezes maior do que em 1980, quando havia 382 milhões de idosos em todo o mundo. Espera-se que esse número duplique até 2050, quando se prevê chegar a quase 2,1 bilhões. Em 2030, acredita-se que os idosos excedam o número de crianças menores de 10 anos e, em 2050, que haverá mais idosos com 60 anos ou mais do que adolescentes e jovens entre 10 e 24 anos (UNITED NATIONS, 2017).

O envelhecimento pode ser definido como a soma de todas as adaptações e alterações que ocorrem no organismo com o passar dos anos, caracterizado, principalmente, a partir da sexta década de vida. Podem ser citadas como exemplos de alterações a diminuição da capacidade funcional em decorrência da diminuição de componentes de capacidade física como força muscular, resistência aeróbia e coordenação, além do aumento na incidência de doenças crônicas, principalmente as cardiovasculares (ZAGO, 2014).

Diante desse panorama mundial, questionasse sobre a existência de um limite biológico para o aumento da longevidade, ao mesmo tempo que o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento de doenças crônicas e incapacidades seguem ampliando o número de anos vividos (VAUPEL, 2010). Entretanto, as vantagens de se aumentar a longevidade dependerá muito de um fator fundamental que é a saúde. Se esses anos a mais forem dominados por diminuições na capacidade física e mental o resultado para as pessoas mais velhas e para a sociedade tende a ser mais negativo (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

Uma série de estudos epidemiológicos vem mostrando que indivíduos ativos fisicamente tendem a viver melhor e por mais tempo do que os sedentários e que a atividade física funcionaria como uma das estratégias para o controle e tratamento de doenças crônicas e agravos não transmissíveis, cujo aparecimento é intensificado com a idade avançada (PAFFENBARGER, 1993; SCHNOHR; et al., 2003; EKELUND et al., 2016). A atividade física auxilia na manutenção das funções do aparelho locomotor, que possui grande relação com o desempenho das atividades da vida diária e com o nível de autonomia e independência do idoso, além de influenciar diretamente na melhora e/ou manutenção da qualidade de vida dessa população (NASCIMENTO et al., 2008). Porém, mesmo sabidas essas informações, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (2017), os idosos figuram como o grupo de indivíduos menos ativos do Brasil, tendo entre as principais justificativas o fato de não gostarem de fazer exercícios, a falta de tempo e/ou possuírem alguma doença prévia.

Assim, protocolos de exercícios tempo eficientes surgem como boa alternativa para promover a saúde da população brasileira. Nesse sentido, as tecnologias de treinamento alternativas podem ser uma opção. Dentre elas está a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (WB-EMS), que surgiu há pouco mais de 10 anos, e tem se tornando cada vez mais popular nos países da Europa.

Assim como a eletroestimulação neuromuscular local (NMES), porém com uma logística facilitada para a utilização em mais grupos musculares ao mesmo tempo, a tecnologia WB-EMS é capaz de estimular grandes grupos musculares, com intensidades diferentes, simultaneamente, além de possibilitar a realização de exercícios convencionais com movimentos específicos durante a eletroestimulação, associando a contração voluntária com a contração evocada eletricamente (FILIPOVIC et al., 2016).

Apesar de bastante recente, essa tecnologia vem sendo amplamente utilizada como método de treinamento físico, *fitness* e para reabilitação cardiopulmonar e metabólica, particularmente em indivíduos idosos resistentes a métodos convencionais de treinamento físico (KEMMLER et al., 2016a); WITTMANN et al., 2016; VON STENGEL et al., 2015; VAN BUUREN et al., 2015). Embora haja alguma evidência de que as alterações induzidas pela WB-

EMS são favoráveis, é escasso o conhecimento das questões fisiológicas e metodológicas relacionadas ao seu uso, bem como, sobre os efeitos agudos em resposta à WB-EMS.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo verificar os efeitos agudos de uma sessão de treino com eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro nas respostas neuromusculares e cardiometabólicas de indivíduos idosos do sexo masculino, assim dividido:

1 - Analisar o dano muscular induzido por uma sessão de eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em indivíduos idosos do sexo masculino;

2 – Avaliar os efeitos agudos de uma sessão de eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro sobre os aspectos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos de indivíduos idosos do sexo masculino;

Previamente, uma revisão narrativa da literatura será apresentada contextualizando os assuntos citados.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 Envelhecimento

A população mundial está envelhecendo. Os idosos estão aumentando em número e compõem uma parcela crescente da população em praticamente todos os países. De acordo com o World Population Prospects 2019 (UNITED NATIONS, 2019), em 2050, um em cada seis pessoas no mundo terá mais de 65 anos, contra um em cada 11 em 2019, devendo totalizar dois bilhões de pessoas com idade avançada. Em 2017 a população global com 60 anos ou mais totalizou 962 milhões, mais de duas vezes maior do que em 1980, quando havia 382 milhões de idosos em todo o mundo.

De acordo com as Nações Unidas (2019), os idosos deverão exceder o número de crianças menores de 10 anos em 2030 e, em 2050, o número de adolescentes e jovens entre 10 e 24 anos. A maioria das nações do mundo deverá passar por um envelhecimento populacional rápido que apresenta grandes desafios socioeconômicos, bem como oportunidades, para indivíduos, famílias, governos e sociedades (SEALS et al., 2016).

O envelhecimento é um processo fisiológico natural e complexo que pode ser definido como a soma de todas as adaptações e alterações que ocorrem no organismo com o passar dos anos, caracterizado, principalmente, a partir da sexta década da vida e que possui influencia de muitos fatores, alguns dos quais são modificáveis (GREMEAUX et al., 2012).

Um obstáculo fundamental para alcançar a longevidade ideal é o declínio progressivo da função fisiológica que ocorre com o envelhecimento, o que causa limitações funcionais (por exemplo, mobilidade reduzida) e aumenta o risco de doenças crônicas, incapacidade e mortalidade (SEALS et al., 2016; ZAGO, 2014). Vidas mais longas podem trazer grandes oportunidades, mas essas oportunidades são muito dependentes de pessoas que mantêm boa saúde até a idade avançada, sendo assim, o desafio crescente é manter os idosos de forma independente até o final da vida (SEALS et al., 2016). Porém, as evidências sugerem que muitas pessoas idosas experimentam trajetórias de saúde piores do que sabemos ser possível (BOOTH et al., 2011; MARZETTI et al., 2017). No entanto, os problemas de saúde enfrentados por essa população

são frequentemente associados a condições crônicas que poderiam ser prevenidas ou retardadas por meio do envolvimento em comportamentos saudáveis ao longo da vida (BOOTH et al., 2014; MCPHEE et al., 2016; SEALS et al., 2016).

A função fisiológica prejudicada com o envelhecimento representa uma ameaça à expectativa de saúde e à longevidade ideal de várias perspectivas. Alguns dos efeitos da disfunção fisiológica associada à idade que possuem impactos na saúde podem ser vistos como independentes da doença clínica. Por exemplo, uma redução acelerada na força / potência muscular com o envelhecimento devido à sarcopenia (MARZETTI et al., 2017) e/ou diminuição da atividade física (MANINI et al., 2013), pode, eventualmente, levar a limitações funcionais, como mobilidade reduzida e menor capacidade de realizar atividades básicas da vida diária, conseqüentemente aumentando riscos cardiometabólicos já inerentes ao processo de envelhecimento (CORINA et al., 2019).

Na expectativa de um contínuo aumento da população idosa, é importante buscarmos intervenções que possam ser facilmente implementadas e contribuam para um “envelhecimento bem-sucedido” (GREMEAUX et al., 2012). Além de uma dieta saudável e bem-estar psicossocial, os benefícios da prática regular de exercícios sobre a mortalidade e a prevenção e controle de doenças crônicas que afetam a expectativa e a qualidade de vida estão bem estabelecidos (CUCINOTTA, 2019; MCPHEE et al., 2016). O exercício pode reverter parcialmente os efeitos do processo de envelhecimento nas funções fisiológicas e preservar a reserva funcional do idoso (GALLOZA et al., 2017). Numerosos estudos demonstraram que manter uma quantidade e qualidade mínimas de exercício diminui o risco de morte, previne quedas e aumenta a longevidade e independência funcional (BOOTH et al., 2011; CADORE et al., 2013; FRAGALA et al., 2019; GALLOZA et al., 2017; LOPEZ et al., 2018; MORA et al., 2018).

Embora os benefícios da atividade física pareçam estar diretamente ligados à noção de volume e intensidade de treinamento, novas pesquisas são necessárias em idosos, a fim de desenvolver recomendações mais precisas, tendo em vista que o objetivo principal é promover a adesão à atividade física, em longo prazo, nesta população crescente.

Não bastassem as alterações fisiológicas associadas ao envelhecimento, outro fator importante que tem relação com a diminuição da capacidade funcional, além do aumento na incidência de doenças crônicas e diminuição da qualidade de vida é a quantidade de tempo gasto com atividade física que tende a diminuir progressivamente à medida que envelhecemos (NASCIMENTO et al., 2008) A cada ano mais evidências surgem demonstrando que as intervenções com exercícios podem ser usadas para manter ou restaurar a independência funcional em idosos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017; POST et al., 2018), porém, o baixo nível de atividade física e um estilo de vida sedentário prevalecem cada vez mais na sociedade atual, afetando, especialmente, a população de mais idade (PNAD, 2017).

Ser fisicamente ativo é um dos principais comportamentos de estilo de vida para a saúde e a inatividade física, um grande contribuinte para a mortalidade e morbidade na velhice. Não só está associado ao câncer, doença cardiovascular, obesidade e diabetes, mas a própria inatividade física é um fator de risco para todas as causas de mortalidade (KNIGHT, 2012). Além disso, está associado à perda de massa muscular e densidade óssea, diminuição da capacidade de equilíbrio, diminuição da força e resistência muscular e declínio no desempenho funcional, todos associados à fragilidade e perda de independência na velhice. É consenso de que o aumento da atividade física na vida diária é um fator determinante do envelhecimento ativo e saudável e deve ser recomendado para idosos mais frágeis e sedentários, porém, são relativamente poucos os idosos que se envolvem em atividades físicas regulares ou permanecem ativos a longo prazo (EKELUND et al., 2016).

Devido a restrições de tempo, falta de motivação ou limitações físicas, um grande número de idosos não quer ou não pode realizar exercícios convencionais (KEMMLER; VON STENGEL, 2012). De forma semelhante, essas características são replicadas nos idosos do Brasil, onde, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (2017) os idosos figuram como o grupo de indivíduos menos ativos, tendo entre as principais justificativas o fato de não gostarem de fazer exercícios, a falta de tempo e/ou possuírem alguma doença prévia.

1.2.2 Eletroestimulação Neuromuscular (NMES)

Nesse sentido, as tecnologias de treinamento alternativas podem ser uma opção. Dentre elas está a NMES que consiste em estimular eletricamente células musculares e / ou nervosas para induzir uma ação muscular (HERZIG et al., 2015). A NMES é comumente utilizada em treinamento esportivo para melhorar o desempenho muscular e em medicina de reabilitação para restaurar as propriedades musculares após uma lesão ou cirurgia (MAFFIULETTI, 2010). A aplicação crônica da NMES em um quadro de otimização do desempenho motor pode aumentar a massa muscular, força (GRENIER, 2014), potência (PAILLARD, 2018) e resistência (KIM et al., 1995). Dentro de uma estrutura terapêutica (imobilização pós-operatória do joelho), a NMES pode aumentar as atividades de eletromiografia (TSUDA et al., 2001) e limitar a atrofia (GIBSON et al., 1988), diminuição da força (TARADAJ et al., 2013), e deterioração das habilidades funcionais (ROBERTSON; WARD, 2013). Portanto, a NMES provavelmente atenua ou neutraliza os efeitos evolutivos da sarcopenia, bem como suas consequências funcionais. Poderia permitir que indivíduos idosos superassem suas dificuldades comportamentais, fisiológicas e clínicas. Do ponto de vista comportamental, a NMES poderia compensar a falta de atividade física ou exercício e a redução do desejo de exercer esforço. Do ponto de vista fisiológico, a atrofia seletiva das fibras musculares do tipo II - relacionada ao avanço da idade e, além disso, a redução nas atividades físicas voluntárias intensas que estimulam particularmente as fibras musculares do tipo II poderia ser compensada, pelo menos parcialmente, pois a NMES estimula as fibras espacialmente localizadas no campo de estimulação. Do ponto de vista clínico, a alteração da força muscular e habilidades funcionais (por exemplo, marcha, equilíbrio) poderia ser restaurada, pelo menos parcialmente, através da aplicação crônica da NMES (CVECKA et al., 2015; CAULFIELD et al., 2013) e, portanto, o risco de queda pode diminuir (PAILLARD, 2017). Até o momento, sabe-se que a aplicação crônica e regular da NMES (ou treinamento com NMES) induz efeitos benéficos sobre a massa muscular e o desempenho em idosos (BARBERI et al., 2015; JONES et al., 2016; LANGEARD et al., 2017). É um recurso amplamente utilizado pela fisioterapia como uma técnica de cunho terapêutico, no entanto, esta técnica

apresenta duas importantes limitações, como o desconforto gerado pela estimulação elétrica e a limitada área de recrutamento das fibras musculares, devido a maior ênfase nas fibras superficiais. Assim, para tentar aumentar o recrutamento das fibras musculares mais profundas e/ou de outras áreas superficiais, algumas estratégias podem ser adotadas como, aumentar a intensidade da estimulação durante o treinamento, embora, na maioria das vezes promova ainda maior desconforto, trocar os eletrodos de posição para buscar novas áreas de eletroestimulação, alterar o comprimento do músculo por meio de manipulação articular durante a eletroestimulação ou ainda, associar o movimento voluntário juntamente à corrente elétrica (GONDIN et al., 2005).

Neste contexto, a WB-EMS, uma nova tecnologia que oferece grandes eletrodos para um maior conforto em maiores intensidades, a possibilidade do reposicionamento dos eletrodos, de forma prática, para a estimulação de novas áreas musculares e a grande liberdade e mobilidade articular, surge como uma alternativa interessante para a população idosa.

1.2.3 Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro (WB-EMS)

Em 2007, na expectativa de aumentar os benefícios da técnica de eletroestimulação neuromuscular, uma empresa alemã (*miha Bodytec*) lançou no mercado a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (do inglês *Whole Body Electrostimulation* – WB-EMS)(MIHA-BODYTEC,2020). Com outros desenvolvimentos tecnológicos, a eletroestimulação neuromuscular progrediu de uma estimulação local para um método de treinamento de corpo inteiro, onde vários grupos musculares podem ser treinados simultaneamente através de um sistema de cintas e um colete de eletrodos (por exemplo, *miha Bodytec*, Augsburg, Alemanha)(figura 1).

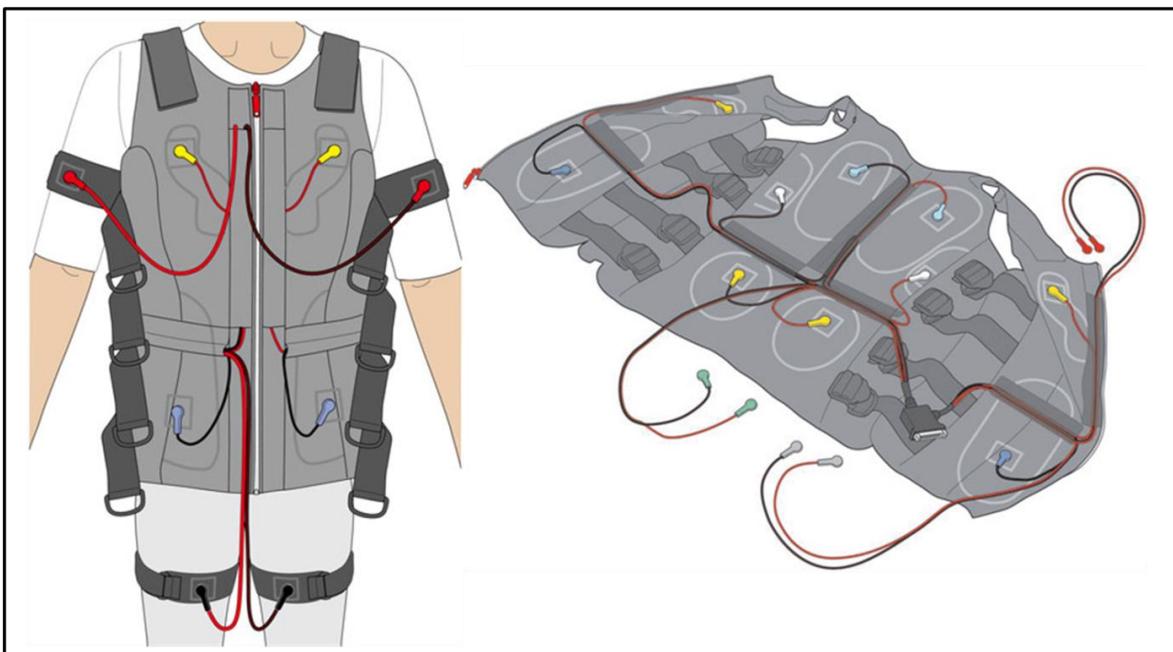


Figura 1. Representação da vestimenta utilizada para eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (*miha bodytec* – Augsburg, Alemanha).

Esta nova tecnologia permite estimular simultaneamente membros superiores e inferiores, glúteos, abdômen e tórax com uma área total de estimulação de cerca de 2.800 cm² (VON STENGEL et al., 2015b). O sistema também permite uma intensidade selecionável e, portanto, oferece uma especificidade de carga para cada uma das regiões estimuladas (KEMMLER; VON STENGEL, 2013).

O formato dos eletrodos em cintas 360° permite a estimulação da musculatura agonista, antagonista e sinergista ao mesmo tempo o que possibilitaria a ativação de uma cadeia muscular inteira simultaneamente (KEMMLER et al., 2010). A possibilidade de realizar exercícios dinâmicos durante a eletroestimulação garantiria um aumento harmônico de força e potência, portanto, também teria uma implicação sobre a capacidade funcional (KEMMLER; VON STENGEL, 2013). Assim, a utilização de treinamentos com baixos volumes semanais (1 a 2 vezes por semana durante aproximadamente 20 minutos), mas com altas intensidades devido ao grande volume muscular estimulado promoveu um crescimento exponencial na utilização da tecnologia na Europa e, atualmente, em mais de 57 países (DIGNITUS, 2020). Em agosto de 2016 os órgãos reguladores nacionais Agência Nacional de Vigilância

Sanitária - Anvisa e Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro liberaram a utilização e a comercialização também no Brasil (DIGNITUS, 2020).

A tecnologia de WB-EMS, embora bastante recente, já vem sendo amplamente utilizada como método de treinamento físico no *fitness* e para reabilitação cardiopulmonar e metabólica, particularmente em indivíduos idosos resistentes a métodos convencionais de treinamento físico. Nesta população, este novo método de treinamento surge como uma promissora tecnologia para promover fortalecimento, potencialização e tonificação muscular, diminuição das taxas de gordura corporal e melhora da capacidade funcional e aptidão física (KEMMLER et al., 2010; KEMMLER; VON STENGEL, 2013; KEMMLER et al., 2014; VON STENGEL et al., 2015; WITTMANN et al., 2016).

Embora ainda existam poucos estudos utilizando a eletroestimulação de corpo inteiro como técnica, a população idosa tem sido o foco de muitas dessas pesquisas. Kemmler et al. (2016b) buscaram determinar o efeito da WB-EMS na obesidade sarcopênica de mulheres com mais de 70 anos. As mulheres participantes do estudo foram divididas em 3 grupos, sendo um grupo (n=24) que realizou a eletroestimulação de corpo inteiro durante 20 minutos, uma vez por semana, durante 6 meses. Outro grupo (n=21) que também realizou a eletroestimulação de corpo inteiro com o mesmo protocolo do grupo 1, porém com um aporte nutricional de 40g/dia de proteína e um terceiro grupo controle que não treinou. Nas variáveis relacionadas à sarcopenia foi observada melhora significativa nos dois grupos intervenção (p=0,001 e 0,046), sem diferença entre eles (p=0,35). A velocidade de marcha aumentou em ambos os grupos de exercícios, embora a melhoria tenha sido significativa apenas para o grupo que não utilizou a suplementação (p=0,026). No grupo controle, a velocidade da marcha diminuiu (p=0,252). Já na força de preensão manual foram observadas pequenas tendências de melhorias para os grupos intervenção (p≥0,59), enquanto que uma piora foi constatada no grupo controle (p=0,003). Utilizando os mesmos indivíduos e protocolos de intervenção, Wittmann et al. (2016) avaliaram os efeitos da WB-SEM na síndrome metabólica de mulheres idosas com obesidade sarcopênica. Foi observada diminuição da circunferência de cintura nos dois grupos intervenção (p=0,004; p=0,053) e manutenção no grupo controle (p=0,963). Paralelamente, a pressão

arterial medial dos grupos intervenção também sofreu melhorias, diminuindo em $-8.1\% \pm 10.1\%$ ($p=0,001$) e $-9.0\% \pm 8.9\%$ ($p=0,001$). Já para triglicérides e glicemia foram observadas pequenas tendências de melhoria, porém não significativas.

Von Stengel et al. (2015) estudaram os efeitos da WB-EMS no combate à osteopenia em mulheres idosas. 76 mulheres com mais de 70 anos e com osteopenia foram divididas de forma randomizada em dois grupos, um grupo que realizou eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro associada de exercícios funcionais (GWB-EMS), 3 vezes a cada duas semanas ao longo de um ano e um grupo controle (GC) que realizou os mesmos exercícios, porém sem a eletroestimulação. Na densidade mineral óssea medida com DEXA foi observada melhora na coluna lombar (GWB-EMS: $0.6 \pm 2.5\%$ vs. GC: $-0.7 \pm 2.5\%$, $p=0,051$), mas não na medida de quadril total (GWB-EMS: $-1.1 \pm 1.9\%$ vs. GC: $-0.8 \pm 2.3\%$, $p=0,771$). No que diz respeito à massa corporal magra, foi observado um aumento de 1.5% ($p=0,006$) e um aumento na força de preensão manual de $8,4\%$ ($p=0,000$) no grupo intervenção em relação ao grupo controle.

Em estudo de 2014 realizado por Kemmler e colaboradores, 76 mulheres com idade média de 75 ± 4 anos foram divididas de forma aleatória em dois grupos. Um grupo (GWB-EMS; $n=38$) foi submetido a treinos com eletroestimulação de corpo inteiro por 18 minutos, 3 vezes a cada duas semanas, durante 54 semanas, enquanto o outro grupo (GC; $n=38$) não realizou nenhum tipo de atividade. Após o período de intervenção, foi possível observar diferenças significativas entre os grupos para massa corporal magra (GWB-EMS: $0,8 \pm 1,8\%$ vs. GC: $-0,8 \pm 2,7\%$; $p=0,008$) e força isométrica máxima (Extensores do Joelho - GWB-EMS: $9,8 \pm 12,9\%$ vs. GC: $0,2 \pm 10,4\%$; $p = 0,003$; Extensores do tronco – GWB-EMS: $10,1 \pm 12,7\%$ vs. GC: $-1,6 \pm 8,6\%$; $p = 0,001$).

Em estudo anterior, Kemmler e Von Stengel (2013) avaliaram 46 mulheres idosas com obesidade abdominal, de acordo com os critérios da Federação Internacional do Diabetes. 23 delas realizaram intervenção com WB-EMS enquanto o outro grupo de mesmo n foi o grupo controle e não realizou atividade. A composição corporal foi avaliada com DEXA para determinar massa muscular apendicular, massa muscular de coxas, gordura

abdominal e gordura de coxas. Depois de 12 meses de intervenção foi possível observar diferença significativa entre os grupos na massa muscular apendicular ($p=0,025$) que diminuiu significativamente no grupo controle ($-0,8\% \pm 2,0\%$; $p=0,047$) e teve uma leve tendência a aumentar no grupo intervenção ($0,5\% \pm 2,0\%$; $p=0,236$). A gordura abdominal apresentou tendências de aumento ($2,4\% \pm 5,8\%$; $p=0,068$) no grupo controle e tendências de diminuição ($-1,2\% \pm 5,7\%$; $p=0,294$) no grupo intervenção, sendo significativa a diferença entre os grupos ($p=0,038$). A mudança na circunferência da cintura ($-1,1 \pm 2,1$ cm no grupo intervenção contra $1,0 \pm 2,8$ cm no grupo controle, $p=0,007$;) confirmou o efeito favorável da eletroestimulação de corpo inteiro na obesidade abdominal. A massa corporal magra das coxas diminuiu significativamente no grupo controle ($-0,9\% \pm 1,9\%$, $p=0,023$) e apresentou leve tendência a aumentar no grupo intervenção ($0,5\% \pm 2,5\%$, $p=0,346$). As diferenças entre os grupos foram significantes ($p=0,033$).

Em 2010, Kemmler et al. avaliaram a taxa metabólica basal, a composição corporal e a força máxima de 30 mulheres pós menopausa treinadas há, pelo menos, 3 anos em exercícios aeróbicos e de força, divididas em dois grupos. O primeiro grupo ($n=15$) considerado controle realizava 4 treinos semanais, sendo dois supervisionados com aproximadamente 60 minutos de duração e dois em casa sem supervisão com aproximadamente 20 minutos, já o grupo considerado intervenção, além dos 4 treinos convencionais citados, realizava mais um treino de 20 minutos com eletroestimulação de corpo inteiro. A taxa metabólica de repouso foi mantida no grupo intervenção ($-0,1 \pm 4,8$ kcal.h⁻¹) e diminuiu no controle ($-3,2 \pm 5,2$ kcal.h⁻¹, $p = 0,038$); embora as diferenças de grupo não tenham sido significativas ($p = 0,095$), houve um tamanho de efeito moderadamente forte ($ES = 0,62$). A soma das dobras cutâneas (28,6%) e a circunferência da cintura (22,3%) diminuíram significativamente no grupo que realizou a eletroestimulação, enquanto que ambos os parâmetros (1,4 e 0,1%, respectivamente) aumentaram no controle ($p = 0,001$). As mudanças de força isométrica dos extensores do tronco e dos extensores dos joelhos diferiram significativamente ($p \leq 0,006$) entre o grupo intervenção e o controle (9,9% vs. -6,4%; 9,6% vs. -4,5%, respectivamente).

O treinamento com WB-EMS tem proposto também resultados mais rápidos com menor tempo e frequência de treinamento do que os métodos de

treinamento convencionais, o que vem se transformando em uma possibilidade bem atraente para diferentes grupos de indivíduos.

Entretanto, os estudos sobre a tecnologia, ainda são escassos e parecem frágeis metodologicamente para sustentar o uso deste recurso em larga escala, como tem acontecido na prática. Alguns relatos de lesão muscular e complicações mais sérias em decorrência de um grande dano muscular, como rabdomiólise (FINSTERER; STÖLLBERGER, 2015; KÄSTNER et al., 2014; STÖLLBERGER; FINSTERER, 2019a), aumentam a preocupação com potenciais riscos associados à tecnologia e demandam a necessidade de se aprofundar os conhecimentos sobre este novo método de treinamento. Com a popularização da utilização da WB-EMS, algumas questões importantes sobre segurança foram levantadas e, assim, o objetivo do estudo de Kemmler et al. (2015) foi determinar aumentos induzidos pela eletroestimulação de corpo inteiro na concentração de creatina quinase (CK) que é um marcador importante de dano muscular. 26 indivíduos atletas sem experiência prévia com eletroestimulação de corpo inteiro realizaram um treino de alta intensidade utilizando o equipamento com uma corrente elétrica bipolar, 85 Hz; 350 μ s; intermitente, durante 20 min. A sessão de treino levou a um aumento do nível de CK no valor de 117 vezes (28.545 ± 33.611 IU / l) da linha de base. Os maiores picos de CK foram detectados após 72-96 h. Apesar desta pronunciada "rabdomiólise de esforço", não foi observado complicações induzidas por rabdomiólise (por exemplo, insuficiência renal aguda, hipercalemia, hipocalcemia). Após 10 semanas de WB-EMS (1 sessão / semana), a reação de CK ao uso intensivo da tecnologia foi significativamente diminuída (906 ± 500 IE / l) e se aproximou da média das respostas de exercício de resistência convencional.

Kästner, Braun e Meyer (2014) publicaram um estudo de caso onde 2 jogadores de futebol, considerados atletas altamente treinados, apresentaram rabdomiólise após uma sessão de WB-EMS. Em 2015, Kemmler et al., observaram aumentos significativos em marcadores de dano muscular, como CK, nas primeiras 10 sessões de treinamento com WB-EMS em uma amostra de homens adultos, e sugeriram cautela no aumento das intensidades nas primeiras sessões de treinamento. Na expectativa de orientar os adeptos do uso da tecnologia, Malnick, Band, Alin e Maffiuletti (2016) se posicionaram ao

publicarem uma carta recomendando a necessidade de mais evidências científicas em relação à eficácia e à segurança da tecnologia e dos métodos utilizados.

Assim, acompanhando a curva de crescimento relacionada à utilização da WB-EMS em todo o mundo e os receios em torno da tecnologia, faz-se necessário um melhor entendimento sobre os efeitos agudos da sua utilização em diferentes sistemas fisiológicos.

1.2.4 Dano Muscular Induzido pelo Exercício (DMIE)

O dano muscular é definido como “lesão ou dano que prejudica a função ou condição muscular” e varia de micro lesão de um pequeno número de fibras musculares a uma ruptura de um músculo inteiro (WARREN et al., 1999).

O DMIE tem sido amplamente estudado e muitos artigos seguem sendo publicados sobre o assunto. Está bem documentado que o exercício excêntrico (quando um músculo em contração é forçado a se alongar enquanto produz tensão) induz danos musculares, principalmente quando são realizadas contrações excêntricas máximas sem que o sujeito tenha sido exposto previamente à contrações semelhantes (CLARKSON; HUBAL, 2002). Assim, essa sobrecarga aumentada pode ser acompanhada por um conjunto de sintomas como perda de força, dor, rigidez e edema (PAULSEN et al., 2012).

Nem sempre é possível incluir análises histológicas em um estudo para investigar danos musculares, porque técnicas especiais e um tempo considerável são necessários para tais análises, além da natureza invasiva da biópsia muscular. Também não é prático determinar “danos musculares” que podem ocorrer em exercícios e atividades diárias por meio de exame histológico. Desta forma, as medidas para quantificar os sintomas típicos (fraqueza muscular, dor muscular, aumento da rigidez muscular, edema muscular) de lesão são comumente usadas como marcadores de dano muscular (NOSAKA et al., 2011). Com base nos sintomas, pode-se supor que o dano muscular foi induzido e os sintomas estão direta ou indiretamente associados a alterações histológicas. No entanto, esses sintomas não indicam necessariamente a magnitude do dano e o tempo de recuperação (CRAMERI et al., 2007; PASCHALIS et al., 2005).

A dor muscular de início tardio (DMIT) é predominantemente induzida por contrações excêntricas ou isométricas em um comprimento muscular longo (FRIDÉN; LIEBER, 2001), e é caracterizada por uma sensação de dor geralmente sentida durante o movimento ou palpação do músculo afetado (CLARKSON; HUBAL, 2002). Normalmente se desenvolve várias horas após o exercício, atinge seu pico em 1–3 dias e desaparece em 7–10 dias após a atividade realizada (CHEUNG et al., 2003). Devido à sua natureza subjetiva, é difícil quantificar a magnitude da dor muscular, mas mesmo não sendo o melhor marcador para avaliar a extensão do dano muscular, ele tem sido usado como o marcador mais “popular” para esse fim, sendo validado e amplamente utilizado (CHEUNG et al., 2003).

Além da DMIT, outro sintoma bastante comum de ocorrer após a realização de contrações musculares, prioritariamente, excêntricas e/ou isométricas em um comprimento muscular longo é a fraqueza muscular (PROSKE; MORGAN, 2001). A avaliação da força a partir da contração voluntária máxima é considerada o melhor marcador para quantificar o dano muscular. Uma perda de função muscular leve a moderada (20-50% do máximo) com duração de mais de dois dias é avaliada como um indicador típico de dano muscular (PAULSEN et al., 2012). Os músculos danificados estão frequentemente inchados devido ao edema proveniente da hiperemia local promovida pelo exercício, de forma mais aguda, e pela resposta inflamatória promovida pelo dano (RADAELLI et al., 2012). Essas alterações podem ser detectadas por um aumento na espessura ou volume muscular a partir de imagens de ultrassonografia, ressonância magnética e/ou pelo aumento da circunferência (PROSKE; MORGAN, 2001). Da mesma forma, a partir da ultrassonografia é possível ainda avaliar a ecogenicidade, que trata da análise da escala de cinza da imagem obtida do músculo, sendo que imagens com tons mais claros representam maiores índices de dano muscular (MOLINARI et al., 2015).

Recentemente Jubeau et al. (2008) documentaram a verificação de dano muscular induzido por contrações isométricas evocadas por estímulos elétricos e, considerando que a eletroestimulação neuromuscular vem ganhando cada vez mais espaço no treinamento e reabilitação, é importante compreender o perfil de dano muscular a partir da sua utilização.

É fato que a estimulação elétrica induz dano muscular e, de acordo com Aldayel et al. (2010), parece que as contrações isométricas evocadas por eletroestimulação podem induzir dano muscular comparável ao induzido por contrações musculares excêntricas voluntárias.

A magnitude do dano muscular induzido por contrações excêntricas voluntárias depende de uma série de fatores como o músculo em questão, a intensidade, o número, a velocidade, o comprimento do músculo das contrações excêntricas, o estado de treinamento, a idade e sexo dos sujeitos e uso anterior dos músculos que estão sujeitos a contrações excêntricas (NOSAKA et al., 2011). Já o nível de dano proveniente da eletroestimulação sofre interferência de todos os fatores citados, somados aos parâmetros elétricos como frequência, duração, intensidade e a relação On-Off.

Em relação aos parâmetros de contração, a magnitude do dano muscular tende a ser maior com maior comprimento muscular, maior intensidade, maior número e maior velocidade de contrações excêntricas (NOSAKA et al., 2011). Para os parâmetros do estímulo elétrico, maiores frequências tendem a ser responsáveis por maiores alterações nos marcadores de dano muscular como maiores diminuições na força, além de maior DMIT e maior volume muscular (BLACK; MCCULLY, 2008).

Nesse sentido, surgem preocupações com a crescente utilização de equipamentos de WB-EMS que promovem estímulos elétricos em grandes áreas musculares, com altas frequências e intensidades e, ainda, associado a movimentos dinâmicos. Em publicações recentes, Stöllberger e Finsterer (2019b, 2019c, 2019a) apresentam uma série de casos, em diferentes perfis e características de sujeitos, relatando níveis de dano muscular associados a problemas graves como rabdomiólise, sugerindo a necessidade de cautela quanto à administração da tecnologia.

No entanto, a magnitude do dano muscular induzido por contrações isométricas evocadas pelo estímulo elétrico é reduzida na segunda sessão em comparação com a primeira, semelhante ao efeito de proteção que é observado após uma única sessão de exercício excêntrico (ALDAYEL et al., 2010; MACKEY et al., 2011). Sabe-se que, em comparação com a sessão inicial de exercício excêntrico, a sessão subsequente do mesmo exercício realizado dentro de várias semanas resulta em menos danos musculares, e

esse fenômeno é conhecido como “efeito de sessão repetida” (CLARKSON; HUBAL, 2002). Lavender e Nosaka (2008) demonstraram que um exercício excêntrico leve, que não induz mudanças em nenhum dos marcadores indiretos de dano muscular, confere proteção contra danos musculares após um exercício excêntrico mais extenuante realizado 2 dias depois.

Uma vez que foi demonstrado que o dano muscular induzido pelo exercício excêntrico pode ser atenuado pelo pré-condicionamento muscular por contrações isométricas ou contrações excêntricas submáximas que resultam em danos musculares menores ou nenhum (ALDAYEL et al., 2010), é concebível que o pré-condicionamento possa atenuar os danos musculares induzidos por eletroestimulação. Dessa forma, devem ser investigadas as melhores estratégias a fim de redução do dano muscular nas sessões iniciais, como fator de proteção à saúde do sujeito e adaptação ao treinamento, além de verificar se as contrações isométricas evocadas por estímulos elétricos que induzem pouca ou nenhuma indicação de dano muscular ainda podem fornecer efeito protetor contra protocolos de eletroestimulação mais prejudiciais.

O dano muscular potencial no uso de eletroestimulação deve ser conhecido e a WB-EMS deve ser cuidadosamente introduzida no treinamento e na reabilitação de qualquer sujeito. No entanto, parece provável que o dano muscular grave na eletroestimulação seja evitável usando as mesmas estratégias para minimizar o dano muscular induzido pelo exercício excêntrico, portanto, o dano muscular não deve ser considerado um aspecto negativo da estimulação elétrica. Outra questão é se os resultados do treinamento de eletroestimulação são os mesmos quando o dano muscular potencial é minimizado ou eliminado. Pode ser que algum dano muscular seja necessário para maximizar a hipertrofia muscular e o ganho de força.

Mais estudos são necessários para compreender os mecanismos de adaptação e dano muscular induzido por exercício, incluindo aqueles induzidos por estimulação elétrica e com foco em WB-EMS.

1.2.5 Respostas Cardiometabólicas ao Exercício

No que diz respeito aos parâmetros cardiometabólicos, não é de hoje que se investigam os efeitos e mecanismos envolvidos no comportamento cardiorrespiratório e metabólico induzidos pelo exercício físico (CRISAFULLI et al., 2007; HANSEN et al., 1988; WHIPP et al., 1984).

Da maturidade à senescência, há uma deterioração modesta na estrutura e função do sistema respiratório, incluindo a circulação pulmonar. Essas mudanças resultam em alterações nas pressões vasculares pulmonares, resistência vascular pulmonar e trocas gasosas em repouso, mas essas mudanças não parecem limitar o exercício na maioria dos idosos saudáveis, conforme evidenciado pela capacidade de manter a gasometria arterial dentro da faixa de valores normais (BOGAARD et al., 1997). No entanto, o envelhecimento saudável também inclui mudanças na mecânica pulmonar que parecem alterar a resposta do padrão respiratório e ventilatório normal ao exercício, e essa mecânica alterada pode contribuir para a limitação do exercício em idosos por meio de um aumento no custo do trabalho e do oxigênio para respirar (TAYLOR; JOHNSON, 2010).

Em tese, as alterações da circulação pulmonar relacionadas à idade já mencionadas podem conspirar para tornar os idosos mais suscetíveis às alterações das trocas gasosas durante o exercício. Porém, apesar da diminuição da reserva ventilatória com o envelhecimento, o idoso saudável parece ser capaz de manter a ventilação alveolar em um nível que permite a manutenção da gasometria arterial dentro dos limites normais, mesmo durante exercícios intensos (PRIOUX et al., 2000). Essa capacidade de manter a troca gasosa adequada provavelmente ocorre porque as reduções relacionadas à idade, na demanda metabólica máxima de exercício, ocorrem a uma taxa igual ou maior que a taxa de deterioração da reserva ventilatória (OGAWA et al., 1992).

Qualquer exercício físico, durante a sua realização, implica em uma condição de sobrecarga para o sistema cardiometabólico. Independente da atividade executada irá existir a necessidade de um aumento no aporte de oxigênio, a fim de manter a oferta necessária de substâncias nutritivas aos músculos ativos, além dos níveis de metabólitos que aumentam e precisam ser

eliminados. Dessa forma, uma série de ajustes no sistema cardiometabólico e sua relação com os diferentes sistemas do corpo precisam acontecer (WHIPP et al., 1984).

A realização do exercício irá produzir modificações importantes na dinâmica respiratória, resultado de fatores neurais e químicos (BOGAARD et al., 1997), que se manifestam em uma elevação da frequência e da amplitude respiratória (taquipneia e hiperpneia, respectivamente). A frequência respiratória (RF) multiplicada pelo volume corrente (VT) vai resultar na ventilação minuto (VE). Embora aumentem tanto a RF como a VT, a VT é a que possui a maior tendência de aumento. Porém, previamente ao exercício e nos momentos iniciais, ocorrem fenômenos de preparação do organismo aumentando o VE, principalmente à custa da frequência respiratória (YAZBEK et al., 1998).

Tais modificações são proporcionais à intensidade do exercício e irão promover modificações do fluxo sanguíneo de maneira geral. À medida que o exercício acontece, ocorre a vasodilatação dentro dos tecidos ativos devido ao aumento da atividade simpática, juntamente com fatores metabólicos que atuam sobre os nervos quimiossensíveis, além de interagirem, de forma direta, sobre os vasos sanguíneos, diminuindo a resistência periférica (THOMAS; SEGAL, 2004). Com essa redução da resistência periférica, as áreas ativas irão receber um maior aporte sanguíneo e, quando o exercício seguir acontecendo por períodos mais longos, irão ocorrer ajustes de vaso constrição adicionais nos tecidos menos ativos, dessa forma, a pressão de perfusão será mantida de forma adequada, mesmo com o aumento da vasodilatação muscular (BOGAARD et al., 1997). Assim, uma redistribuição adequada do fluxo de sangue será garantida e os tecidos ativos terão suas necessidades garantidas.

Do ponto de vista fisiológico, de acordo com o tempo de duração em que o exercício acontece, existem dois tipos de reação: As ações agudas, responsáveis pelas respostas e efeitos imediatos aos estímulos dos exercícios e as ações ditas crônicas, derivadas de ações cumulativas, progressivas e sistemáticas no organismo.

Independente da característica da ação, para que aconteçam, são necessários ajustes no sistema cardiometabólico e na sua inter-relação com os diferentes sistemas do corpo.

Por meio da análise conjunta dos gases expirados, do trabalho e/ou esforço realizado e do comportamento de variáveis ventilatórias, cardiocirculatórias e metabólicas, pode-se obter parâmetros para direcionamento de cargas e intensidade de treinamento, além de gestão de riscos associados ao aumento do esforço físico (DE PRADO et al., 2006).

Nesse contexto, o consumo de oxigênio (VO_2) é uma variável importante que sinaliza a quantidade de oxigênio (O_2) necessária para suprir a demanda energética de uma determinada atividade. O VO_2 é a relação do débito cardíaco (DC) (frequência cardíaca x volume sistólico) multiplicado pela diferença arterio-venosa de oxigênio ($a-vO_2$). Dessa forma, o controle da frequência cardíaca (FC) durante o exercício é um indicador do nível de intensidade em que o coração está trabalhando, além de ser informação importante para predizer o estado de saúde do sujeito. O músculo cardíaco responderá diretamente à necessidade de oxigênio (O_2) e de fluxo sanguíneo do organismo, que responderá enviando esse fluxo aos músculos e órgãos que necessitem de um maior aporte (YAZBEK et al., 1998).

A FC é uma variável bastante importante e que junto ao VS forma o DC representando a capacidade funcional do sistema cardiocirculatório. O DC é o volume de sangue ejetado do ventrículo esquerdo do coração a cada minuto e é considerado um indicador da capacidade funcional cardiocirculatória. Os dois fatores que determinam o DC são a FC e o VS ($DC = FC \times VS$). A elevação do DC na sua maior parte pode ser atribuída à elevação da FC sobre influência do aumento da atividade do sistema nervoso simpático e a diminuição de atividade do sistema nervoso parassimpático (DE PRADO et al., 2006).

Já o VS é a quantidade de sangue ejetada do ventrículo esquerdo durante uma sístole e seu valor é obtido pela subtração do volume diastólico final (VDF) pelo volume sistólico final (VSF). Uma variável capaz de inferir indiretamente o VS é o pulso de oxigênio (pO_2). O pO_2 é uma variável utilizada pela ergoespirometria, pois demonstra a quantidade de O_2 que é transportada a cada sístole cardíaca e espera-se que o comportamento da sua curva ao longo do exercício seja ascendente (YAZBEK et al., 1998).

Da mesma forma, uma outra variável importante é a $a-vO_2$ que é a diferença entre o conteúdo de O_2 do sangue arterial e venoso misto. Essa variável fisiológica irá refletir a eficiência na extração de O_2 pelo músculo, em níveis periféricos, em função do aumento da atividade metabólica do tecido muscular (CRISAFULLI et al., 2007).

Quanto à utilização de energia durante o exercício, o gasto energético é reconhecido como um importante coadjuvante em programas para a redução da massa corporal. Nesse caso, um ponto interessante a ser observado é o consumo energético por minuto (EEm) e o consumo energético total (EEtot), do início ao fim da atividade, podendo ainda ser monitorado por períodos além do término da atividade onde, após a execução de uma sessão de exercícios, seja aeróbio ou contra-resistência, a taxa metabólica permanece elevada em relação aos valores de repouso, para que o organismo retorne ao seu estado de equilíbrio (BOGAARD et al., 1997; WATANABE et al., 2014). À medida que a intensidade da atividade física aumenta, o EEm também aumenta, com predomínio da utilização de carboidratos (CHO) como substrato energético, inicialmente de forma aeróbia, posteriormente combinando aeróbio e anaeróbio e, finalmente, a utilização de CHO com predomínio anaeróbio. O metabolismo dos CHO e das gorduras (FAT) depende da disponibilidade de O_2 enquanto gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) são produzidos. A utilização de moléculas de FAT para fins energéticos requer significativamente mais O_2 do que a utilização de CHO (WATANABE et al., 2014).

Cabe ressaltar que os diversos estudos disponíveis acerca do consumo energético ainda não são suficientes para determinar o efeito isolado de cada uma das suas variáveis. Devido às inúmeras possibilidades de combinação entre as variáveis das diferentes modalidades de atividade física e exercícios, além da interferência de características individuais, como nível de condicionamento físico, sexo e, principalmente, massa muscular e de gordura corporal. Apesar disso, sabe-se que a variável que mais impacta no gasto energético durante a execução da atividade é o volume total e, no consumo de oxigênio em excesso pós-exercício (EPOC), sugere-se que a intensidade, em função de uma maior interferência na homeostase, seja a variável que gera o maior impacto (CRAIG et al., 2018; CROWE; CAULFIELD, 2011).

A utilização da eletroestimulação neuromuscular na promoção da saúde atualmente tem recebido bastante atenção. Um dos motivos é devido ao padrão específico de recrutamento muscular de características não seletivo e sincrônico onde, em estudos anteriores, foi verificado que a utilização dessa tecnologia poderia aumentar o gasto energético e a oxidação de carboidratos, além do fato da possibilidade de ativação de grandes grupos musculares de forma simultânea que proporcionariam aumentos significativos nas respostas cardiometabólicas durante e após o período de ativação (BANERJEE et al., 2005a, 2005b, 2009; CROWE; CAULFIELD, 2011).

Dessa forma, sabendo que o envelhecimento está associado a uma deterioração progressiva da estrutura e função de todos os sistemas fisiológicos, compreendendo a existência de alterações frequentemente observadas com o exercício em relação ao dano muscular e às variáveis cardiometabólicas e, ainda, com a intenção de entender melhor as respostas fisiológicas da utilização da tecnologia de WB-EMS em idosos, os objetivos do presente estudo são avaliar os efeitos agudos da eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro nos aspectos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos, além de marcadores de dano muscular em indivíduos idosos.

2 JUSTIFICATIVA

Os idosos estão aumentando em número e compõem uma parcela crescente da população em uma série de países em todo o mundo. O desafio é manter os idosos de forma independente e com a melhor saúde possível até o final da vida. Uma série de estudos epidemiológicos vem mostrando que indivíduos ativos fisicamente tendem a viver melhor e por mais tempo do que os sedentários e que a atividade física funcionaria como uma das estratégias para o controle e tratamento de doenças crônicas e agravos não transmissíveis, cujo aparecimento é intensificado com a idade avançada. Porém, os idosos figuram como o grupo de indivíduos menos ativo, tendo entre as principais justificativas as restrições de tempo, falta de motivação ou limitações físicas. Assim, protocolos de exercícios tempo eficientes como tecnologias de treinamento alternativas podem ser uma boa opção para promover a saúde dessa população. Dentre essas tecnologias está a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro que surgiu há aproximadamente uma década como uma forma alternativa de realizar exercício físico objetivando melhorar a condição física e a saúde das pessoas. Apesar das evidências científicas serem limitadas sobre a segurança e a eficácia desta proposta de exercício, vários centros de *fitness*, com a utilização desta técnica, seguem sendo abertos em diferentes países em todo o mundo, tornando essa tecnologia facilmente acessível para a população em geral. Atualmente, mais de 57 países possuem centros que utilizam equipamentos de eletroestimulação de corpo inteiro e, somente na Alemanha (país onde a tecnologia surgiu), já são mais de 2.500 locais de atendimento ao público (DIGNITUS, 2020). No Brasil a tecnologia chegou em 2016 e hoje soma mais de 200 centros trabalhando com eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro no país (DIGNITUS, 2020).

Assim, considerando a necessidade de uma maior compreensão de uma série de parâmetros e respostas fisiológicas com relação à eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro e sua utilização em indivíduos idosos, a realização de um estudo para avaliar os efeitos agudos da sua utilização sobre o dano muscular e os aspectos cardiometabólicos tornam-se pertinentes.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos agudos da eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em indivíduos idosos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o dano muscular induzido por eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em indivíduos idosos (artigo 1).

Avaliar os efeitos agudos da eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro nos aspectos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos em indivíduos idosos (artigo 2).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA BASE TEÓRICA

ALDAYEL, A. et al. Less indication of muscle damage in the second than initial electrical muscle stimulation bout consisting of isometric contractions of the knee extensors. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 4, p. 709–717, 2010.

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, 2005a.

BANERJEE, P. et al. Electrical stimulation of unloaded muscles causes cardiovascular exercise by increasing oxygen demand. **European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation**, v. 12, n. 5, p. 503–508, 2005b.

BANERJEE, P. et al. Prolonged Electrical Muscle Stimulation Exercise Improves Strength, Peak VO₂, and Exercise Capacity in Patients With Stable Chronic Heart Failure. **Journal of Cardiac Failure**, v. 15, n. 4, p. 319–326, 2009.

BARBERI, L.; SCICCHITANO, B. M.; MUSARÒ, A. Molecular and cellular mechanisms of muscle aging and sarcopenia and effects of electrical stimulation in seniors. **European Journal of Translational Myology**, v. 25, n. 4, p. 231, 2015.

BLACK, C. D.; MCCULLY, K. K. Force per active area and muscle injury during electrically stimulated contractions. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 9, p. 1596–1604, 2008.

BOGAARD, H. J. et al. Haemodynamic response to exercise in healthy young and elderly subjects. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 5, p. 435–442, 1997.

BOOTH, F. W.; LAYE, M. J.; ROBERTS, M. D. Lifetime sedentary living accelerates some aspects of secondary aging. **Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 5, p. 1497–1504, 2011.

BOOTH, F. W.; ROBERTS, C. K.; LAYE, M. J. Lack of exercise and chronic disease. **Proceedings of the Ninth Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures**, v. 5, n. 2, p. 159–169, 2014.

CADORE, E. L. et al. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: A systematic review. **Rejuvenation Research**, v. 16, n. 2, p. 105–114, 2013.

CAULFIELD, B. et al. Self directed home based electrical muscle stimulation training improves exercise tolerance and strength in healthy elderly. **Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS**, p. 7036–7039, 2013.

CHEUNG, K.; HUME, P. A.; MAXWELL, L. Treatment Strategies and

- Performance Factors. **Sports Medicine**, v. 33, n. 2, p. 145–164, 2003.
- CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Exercise-induced muscle damage. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 27, n. 3, p. 363-370, 2002.
- CORINA, A. et al. Effects of Aging and Diet on Cardioprotection and Cardiometabolic Risk Markers. **Current Pharmaceutical Design**, v. 25, n. 35, p. 3704–3714, 2019.
- CRAIG E, B. et al. The Metabolic Cardio-Respiratory Effects of Abdominal Electrical Muscle Stimulation. **International Journal of Sports and Exercise Medicine**, v. 4, n. 2, p. 1–10, 2018.
- CRAMERI, R. M. et al. Myofibre damage in human skeletal muscle: Effects of electrical stimulation versus voluntary contraction. **Journal of Physiology**, v. 583, n. 1, p. 365–380, 2007.
- CRISAFULLI, A. et al. Estimating stroke volume from oxygen pulse during exercise. **Physiological Measurement**, v. 28, n. 10, p. 1201–1212, 2007.
- CROWE, L.; CAULFIELD, B. Pushing out the limits of electrical stimulation. A case study in the aggressive use of an alternative to voluntary exercise. **BMJ Case Reports**, p. 1–7, 2011.
- CUCINOTTA, D. The Science of choosing wisely: Should it be applicable to any intervention for healthy and active longevity? **Acta Biomedica**, v. 90, n. 2, p. 357–358, 2019.
- CVECKA, J. et al. Physical Activity in Elderly. **European journal of translational myology**, v. 25, n. 4, p. 249–52, 2015.
- DE PRADO, D. M. L.; DIAS, R. G.; TROMBETTA, I. C. Cardiovascular, ventilatory, and metabolic parameters during exercise: Differences between children and adults. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 87, n. 4, p. 92–97, 2006.
- DIGNITUS, B. Guia do Cliente miha Bodytec. **miha Brasil**, v. 1, n. 1, p. 1–56, 2020.
- EKELUND, U. et al. Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality? A harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women. **The Lancet**, v. 388, n. 10051, p. 1302–1310, 2016.
- FILIPOVIC, A. et al. Effects of a whole-body electrostimulation program on strength, sprinting, jumping, and kicking capacity in elite soccer players. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 15, n. 4, p. 639–648, 2016.
- FINSTERER, J.; STÖLLBERGER, C. Severe rhabdomyolysis after MIHA-bodytec® electrostimulation with previous mild hyper-CK-emia and noncompaction. **International Journal of Cardiology**, v. 180, p. 100–102, 2015.
- FRAGALA, M. S. et al. Resistance Training for Older Adults: Position Statement

From the National Strength and Conditioning Association. **Journal of strength and conditioning research**, v. 33, n. 8, p. 2019–2052, 2019.

FRIDÉN, J.; LIEBER, R. L. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 171, n. 3, p. 321–326, 2001.

GALLOZA, J.; CASTILLO, B.; MICHEO, W. Benefits of Exercise in the Older Population. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America**, v. 28, n. 4, p. 659–669, 2017.

GIBSON, J. N. A.; SMITH, K.; RENNIE, M. J. Prevention of Disuse Muscle Atrophy By Means of Electrical Stimulation: Maintenance of Protein Synthesis. **The Lancet**, v. 332, n. 8614, p. 767–770, 1988.

GONDIN, J. et al. Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 8, p. 1291–1299, 2005.

GREMEAUX, V. et al. Exercise and longevity. **Maturitas**, v. 73, n. 4, p. 312–317, 2012.

GRENIER, S. Does Neuromuscular Electrical Stimulation Improve Muscular Strength Gains of the Vastus Medialis Muscle. **International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 02, n. 04, 2014.

HANSEN, J. E. et al. Oxygen uptake as related to work rate increment during cycle ergometer exercise. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 57, n. 2, p. 140–145, 1988.

HERZIG, D.; MAFFIULETTI, N. A.; ESER, P. The Application of Neuromuscular Electrical Stimulation Training in Various Non-neurologic Patient Populations: A Narrative Review. **PM and R**, v. 7, n. 11, p. 1167–1178, 2015.

JONES, S. et al. Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 10, n. 10, p. CD009419, 2016.

JUBEAU, M. et al. Comparison between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris for growth hormone response and muscle damage. **Journal of Applied Physiology**, v. 104, n. 1, p. 75–81, 2008.

KÄSTNER, A.; BRAUN, M.; MEYER, T. Two Cases of Rhabdomyolysis After Training With Electromyostimulation by 2 Young Male Professional Soccer Players. **Clin J Sport Med**, v. 0, n. 0, p. 1–3, 2014.

KEMMLER, W. et al. Effects of whole-body electromyostimulation on resting metabolic rate, body composition, and maximum strength in postmenopausal women: The training and electrostimulation trial. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 7, p. 1880–1887, 2010.

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**, v. 36, n. 1, p. 395–406, 2014.

KEMMLER, W. et al. Hohe Kreatinkinase-Werte nach exzessiver Ganzkörper-Elektromyostimulation: gesundheitliche Relevanz und Entwicklung im Trainingsverlauf. **Wiener Medizinische Wochenschrift**, v. 165, n. 21–22, p. 427–435, 2015.

KEMMLER, W. et al. Whole-Body Electromyostimulation – The Need for Common Sense! Rationale and Guideline for a Safe and Effective Training. **Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin**, v. 2016, n. 09, p. 218–221, 2016a.

KEMMLER, W. et al. Whole-body electromyostimulation to fight sarcopenic obesity in community-dwelling older women at risk. Results of the randomized controlled FORMOsA-sarcopenic obesity study. **Osteoporosis International**, v. 27, n. 11, p. 3261–3270, 2016b.

KEMMLER, W.; VON STENGEL, S. Alternative exercise technologies to fight against sarcopenia at old age: A series of studies and review. **Journal of Aging Research**, v. 2012, 2012.

KEMMLER, W.; VON STENGEL, S. Whole-body electromyostimulation as a means to impact muscle mass and abdominal body fat in lean, sedentary, older female adults: Subanalysis of the TEST-III trial. **Clinical Interventions in Aging**, v. 8, p. 1353–1364, 2013.

KIM, C. K. et al. Training effects of electrically induced dynamic contractions in human quadriceps muscle. **Aviation Space and Environmental Medicine**, v. 66, n. 3, p. 251–255, 1995.

KNIGHT, J. A. Knight - 2012 - Review Physical Inactivity Associated Diseases and Disorders. v. 42, n. 3, p. 320–337, 2012.

LANGCARD, A. et al. Does neuromuscular electrical stimulation training of the lower limb have functional effects on the elderly?: A systematic review. **Experimental Gerontology**, v. 91, p. 88–98, 2017.

LAVENDER, A. P.; NOSAKA, K. A light load eccentric exercise confers protection against a subsequent bout of more demanding eccentric exercise. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, n. 3, p. 291–298, 2008.

LOPEZ, P. et al. Benefits of resistance training in physically frail elderly: a systematic review. **Aging Clinical and Experimental Research**, v. 30, n. 8, p. 889–899, 2018.

MACKEY, A. L. et al. Sequenced response of extracellular matrix deadhesion and fibrotic regulators after muscle damage is involved in protection against future injury in human skeletal muscle. **The FASEB Journal**, v. 25, n. 6, p. 1943–1959, 2011.

MAFFIULETTI, N. A. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. **European Journal of Applied Physiology**, v. 110, n. 2, p. 223–234, 2010.

MALNICK, S. D. H. et al. It's time to regulate the use of whole body electrical stimulation. **BMJ (Online)**, v. 352, n. March, p. 2016, 2016.

MANINI, T.; HONG, S.; CLARK, B. Aging and muscle: a neuron's perspective. **Bone**, v. 23, n. 1, p. 1–7, 2013.

NASCIMENTO, M. C. et al. Nível de atividade física e as principais barreiras percebidas por idosos de Rio Claro / Level of Physical Activity and Main Barriers Perceived By Older People Living in Rio Claro. v. 19, n. 1, p. 109–118, 2008.

MARZETTI, E. et al. Sarcopenia: an overview. **Aging Clinical and Experimental Research**, v. 29, n. 1, p. 11–17, 2017.

MCPHEE, J. S. et al. Physical activity in older age: perspectives for healthy ageing and frailty. **Biogerontology**, v. 17, n. 3, p. 567–580, 2016.

MOLINARI, F. et al. Advances in Quantitative Muscle Ultrasonography Using Texture Analysis of Ultrasound Images. **Ultrasound in Medicine and Biology**, v. 41, n. 9, p. 2520–2532, 2015.

MORA, J. C.; VALENCIA, W. M. Exercise and Older Adults. **Clinics in Geriatric Medicine**, v. 34, n. 1, p. 145–162, 2018.

NOSAKA, K. et al. Muscle damage induced by electrical stimulation. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 10, p. 2427–2437, 2011.

OGAWA, T. et al. Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. **Circulation**, v. 86, n. 2, p. 494–503, 1992.

PAFFENBARGER, R. S. The New England Journal of Medicine Downloaded from nejm.org on March 29, 2011. For personal use only. No other uses without permission. Copyright © 1993 Massachusetts Medical Society. All rights reserved. **New England Journal of Medicine**, v. 329, n. 14, p. 977–986, 1993.

PAILLARD, T. Relationship between muscle function, muscle typology and postural performance according to different postural conditions in young and older adults. **Frontiers in Physiology**, v. 8, n. AUG, p. 1–6, 2017.

PAILLARD, T. Training Based on Electrical Stimulation Superimposed Onto Voluntary Contraction Would be Relevant Only as Part of Submaximal Contractions in Healthy Subjects. **Frontiers in Physiology**, v. 9, n. October, p. 1–4, 2018.

PASCHALIS, V. et al. Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 184–188, 2005.

PAULSEN, G. et al., Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? **Exercise-induced muscle damage and inflammation**, v. 18, n. SUPPL. 1, p. 1, 2012.

POST, D. et al. Exercise physiology in aged care: Perceptions and acceptability from the perspectives of family members and care staff in the residential aged care environment. **Dementia**, 2018.

PRIOUX, J. et al. Effect of ageing on the ventilatory response and lactate kinetics during incremental exercise in man. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 81, n. 1–2, p. 100–107, 2000.

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

RADAELLI, R. et al., Time course of strength and echo intensity recovery after resistance exercise in women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 9, p. 2577–2584, 2012.

ROBERTSON, V. J.; WARD, A. R. Vastus Medialis Electrical Stimulation to Improve Lower Extremity Function Following a Lateral Patellar Retinacular Release. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 32, n. 9, p. 437–446, 2013.

SCHNOHR, P.; SCHARLING, H.; JENSEN, J. S. Changes in leisure-time physical activity and risk of death: An observational study of 7,000 men and women. **American Journal of Epidemiology**, v. 158, n. 7, p. 639–644, 2003.

SEALS, D. R.; JUSTICE, J. N.; LAROCCA, T. J. Physiological geroscience: Targeting function to increase healthspan and achieve optimal longevity. **Journal of Physiology**, v. 594, n. 8, p. 2001–2024, 2016.

STÖLLBERGER, C.; FINSTERER, J. Side effects of whole-body electro-myostimulation. **Wiener Medizinische Wochenschrift**, v. 169, n. 7–8, p. 173–180, 2019a.

STÖLLBERGER, C.; FINSTERER, J. Acute myopathy as a side effect of electrostimulation. **Wiener Medizinische Wochenschrift**, v. 169, n. 7–8, p. 181–182, 2019b.

STÖLLBERGER, C.; FINSTERER, J. Side effects of and contraindications for whole-body electro-myostimulation: A viewpoint. **BMJ Open Sport and Exercise Medicine**, v. 5, n. 1, p. 1–5, 2019c.

TARADAJ, J. et al. The effect of neuromuscular electrical stimulation on quadriceps strength and knee function in professional soccer players: Return to sport after ACL reconstruction. **BioMed Research International**, v. 2013, 2013.

TAYLOR, B. J.; JOHNSON, B. D. The pulmonary circulation and exercise responses in the elderly. **Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 31, n. 5, p. 528–538, 2010.

THOMAS, G. D.; SEGAL, S. S. Neural control of muscle blood flow during exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 97, n. 2, p. 731–738, 2004.

TSUDA, E. et al. The American Journal of Sports Medicine Direct Evidence of the Anterior Cruciate Ligament-Hamstring Reflex Arc in Humans *. **Sports Medicine**, v. 29, n. 1, p. 83–87, 2001.

UNITED NATIONS, WORLD POPULATION AGEING, 2019. **World Population Ageing 2019**. [s.l: s.n.].

UNITED NATIONS. **World Population Ageing [highlights]**. [s.l: s.n.].

VAN BUUREN, F. et al. Electrical Myostimulation (EMS) Improves Glucose Metabolism and Oxygen Uptake in Type 2 Diabetes Mellitus Patients—Results from the EMS Study. **Diabetes Technology & Therapeutics**, v. 17, n. 6, p. 413–419, 2015.

VAUPEL, J. W. Biodemography of human ageing. **Nature**, v. 464, n. 7288, p. 536–542, 2010.

VON STENGEL, S. et al. Whole-body electromyostimulation to fight osteopenia in elderly females: The randomized controlled training and electrostimulation trial (TEST-III). **Journal of Osteoporosis**, v. 2015, 2015a.

WARREN, G. L.; LOWE, D. A.; ARMSTRONG, R. B. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. **Sports Medicine**, v. 27, n. 1, p. 43–59, 1999.

WATANABE, K.; TANIGUCHI, Y.; MORITANI, T. Metabolic and cardiovascular responses during voluntary pedaling exercise with electrical muscle stimulation. **European journal of applied physiology**, v. 114, n. 9, p. 1801–1807, 2014.

WHIPP, B. J.; WARD, S. A.; WASSERMAN, K. Ventilatory responses to exercise and their control in man. **American Review of Respiratory Disease**, v. 129, n. 2 SUPPL., 1984.

WITTMANN, K. et al. Impact of whole body electromyostimulation on cardiometabolic risk factors in older women with sarcopenic obesity: The randomized controlled FORMOsA-sarcopenic obesity study. **Clinical Interventions in Aging**, v. 11, p. 1697–1706, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global strategy and action plan on ageing and health**. [s.l: s.n.].

YAZBEK, P. et al. Ergoespirometria. Teste de Esforço Cardiopulmonar, Metodologia e Interpretação. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 71, n. 5, p. 719–724, 1998.

ZAGO, A. S. Exercício físico e o processo saúde-doença no envelhecimento. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 13, n. 1, p. 153–158, 2014.

5 ARTIGO 1

Dano muscular induzido por eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em indivíduos idosos: Um estudo piloto.

Título em inglês: Muscle damage induced by whole body electromyostimulation in elderly individuals: a pilot study.

Autores e instituições:

Matheus Elias Ferrareze¹, Samuel Munhoz¹, Francimar Ferrari¹, Thiago Ramis¹, Álvaro Reischak de Oliveira¹ e Alexandre Simões¹

¹ Programa de Pós Graduação em Ciências do Movimento Humano - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, BRASIL.

Instituição e endereço onde o trabalho foi realizado:

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola Superior de Educação Física, Fisioterapia e Dança - ESEFID

Rua Felizardo, 750. Bairro Jardim Botânico. Porto Alegre, RS, Brasil.
CEP: 90690-200.

Autor correspondente:

Matheus Elias Ferrareze

Rua Domingos Crescêncio, 965, apto 303, Bairro Santana

Porto Alegre – RS / CEP 90650-090

Tel: +55 51 998324241 E-mail: matferrareze@hotmail.com

RESUMO

Introdução: A tecnologia WB-EMS, embora bastante recente, vem sendo amplamente utilizada como método de condicionamento físico e reabilitação, particularmente em indivíduos idosos resistentes a métodos convencionais de treinamento físico. No entanto, ainda existe uma falta considerável de evidências a respeito dos efeitos agudos induzidos por WB-EMS e possíveis fatores de risco relacionados ao nível de dano muscular.

Objetivo: Avaliar o dano muscular induzido por eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em indivíduos idosos.

Metodologia: Estudo descritivo, do tipo experimental não controlado. Amostra composta por 7 homens idosos, inativos fisicamente e sem experiência prévia com WB-EMS. A intervenção constou de 20 minutos de WB-EMS, sendo os primeiros 5 minutos somente o estímulo com WB-EMS e, nos demais 15 minutos, WB-EMS associada de movimentos funcionais que foram divididos em 3 séries iguais consecutivas. Foram avaliados marcadores indiretos de dano muscular (Dor Muscular de Início Tardio - DMIT; Contração Voluntária Máxima Isométrica - CVMI; Espessura Muscular - EM; Ecogenicidade - ECO) nos momentos pré-intervenção (Pré), logo após a intervenção (Pós), 24, 48 e 72 horas depois (24h; 48h; 72h) nos músculos Reto Femoral (RF), Vasto Medial (VM), Vasto Lateral (VL), Vasto Intermédio (VI) e Bíceps Braquial (BB). A análise estatística foi realizada pelo Modelo de Equações de Estimativas Generalizadas (GEE) complementada pelo teste Least Significant Difference (LSD) e o nível de significância adotado foi de 5% ($p < 0,05$).

Resultados: Foram observados maiores índices de DMIE nos momentos 24, 48 e 72 h após a intervenção, tanto para os extensores do joelho ($p < 0,001$) como flexores do cotovelo ($p < 0,001$). Observou-se também uma diminuição significativa na CVMI de ambos os grupamentos musculares após 24 h ($p = 0,001$), além da diminuição da força seguir sendo observada até 72 h depois nos extensores de joelho. A EM de todos os músculos avaliados teve uma tendência a seguir aumentando até 72 h após a intervenção, assim como a ecogenicidade.

Considerações Finais: O uso da eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em musculaturas com comprimento muscular reduzido, associada a poucos movimentos e realizados de forma lenta, parece minimizar a ocorrência de dano muscular e pode contribuir para adaptações neuromusculares apesar da mínima ou ausência de alteração nos tecidos musculares.

Palavras-chave: Idosos; Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro; Dano Muscular.

ABSTRACT

Introduction: The WB-EMS technology, although quite recent, has been widely used as a method of physical conditioning and rehabilitation, particularly in elderly individuals resistant to conventional methods of physical training. However, there is still a considerable lack of evidence regarding the acute effects induced by WB-EMS and possible risk factors related to the level of muscle damage.

Objective: To evaluate markers of muscle damage induced by whole-body electrostimulation in elderly individuals.

Methodology: Descriptive, uncontrolled experimental type study. Sample composed of 7 elderly men, physically inactive and without previous experience with WB-EMS. The intervention consisted of 20 minutes of WB-EMS, the first 5 minutes being only the stimulus with WB-EMS and, in the remaining 15 minutes, WB-EMS associated with functional movements that were divided into 3 consecutive equal series. Indirect markers of muscle damage (Delayed Onset Muscle Soreness - DMIT; Maximum Isometric Voluntary Contraction - CVMI; Muscle Thickness - MS; Ecogenicity - ECO) were evaluated in the pre-intervention moments (Pre), just after the intervention (Post), 24 , 48 and 72 hours later (24h; 48h; 72h) in the Rectus Femoris (RF), Vast Medial (VM), Vast Lateral (VL), Vast Intermediate (VI) and Biceps Brachii (BB) muscles. The statistical analysis was performed using the Generalized Estimation Equation Model (GEE) complemented by the Least Significant Difference (LSD) test and the level of significance adopted was 5% ($p < 0.05$).

Results: Higher DMIE rates were observed at 24, 48 and 72 h after the intervention, both for knee extensors ($p < 0,001$) and elbow flexors ($p < 0,001$). There was also a significant decrease in CVMI in both muscle groups after 24 h ($p = 0,001$), but the decrease in strength continued to be observed until 72 h later in the knee extensors. The EM of all the muscles evaluated had a tendency to continue increasing until 72 h after the intervention, as well as echogenicity.

Final Considerations: The use of WB-EMS in muscles with reduced muscle length, associated with few movements and performed slowly, seems to minimize the occurrence of muscle damage and may contribute to

neuromuscular adaptations despite the minimal or absence of changes in tissues muscle.

Keywords: Elderly; Whole Body Electrostimulation; Muscle damage.

INTRODUÇÃO

O processo de envelhecimento está associado a um declínio gradual em vários sistemas fisiológicos, incluindo o sistema neuromuscular (MARZETTI et al., 2017). Com isso, uma diminuição na massa muscular, força e capacidade funcional são observadas com o passar da idade e, paralelamente, uma redução gradual nas capacidades de realizar atividades de vida diária e aumento do índice de mortalidade (ROMERO-ARENAS et al., 2013). As tendências demográficas, associadas a um aumento na proporção de idosos na população (UNITED NATIONS, 2019), demonstram a necessidade do desenvolvimento de novas estratégias para a manutenção de um envelhecimento saudável.

Sabe-se dos inúmeros benefícios para a saúde que a manutenção de um bom condicionamento físico proporciona (FRAGALA et al., 2019; MCPHEE et al., 2016) e, assim, a participação contínua em atividades físicas e exercícios direcionados seriam uma solução óbvia, não fosse a baixa adesão dessa população aos programas oferecidos (IBGE, 2017).

Uma série de estudos epidemiológicos vem mostrando que indivíduos ativos fisicamente tendem a viver melhor e por mais tempo do que os sedentários e que a atividade física funcionaria como uma das estratégias para o controle e tratamento de doenças crônicas e agravos não transmissíveis, cujo aparecimento é intensificado com a idade avançada (PAFFENBARGER et al., 1993; SCHNOHR et al., 2003; EKELUND et al., 2016).

O desafio essencial, na expectativa de uma maior adesão aos programas de saúde, está no desenvolvimento de opções que não envolvam investimento excessivo de tempo por parte do idoso, mas ainda promovam melhorias na força e potência muscular (CAULFIELD et al., 2013).

Desenvolvimentos recentes na tecnologia de eletroestimulação neuromuscular (NMES) sugerem que ela pode fornecer uma solução potencial a esse respeito. Até muito recentemente, a NMES era usada principalmente no campo de reabilitação para a realização de contrações musculares, apenas de forma localizada. Mas atualmente, com uma logística facilitada para a utilização em mais grupos musculares ao mesmo tempo, a tecnologia de

eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (WB-EMS) é capaz de estimular grandes grupos musculares, com intensidades diferentes, simultaneamente, além de possibilitar a realização de exercícios convencionais com movimentos específicos durante a eletroestimulação, associando a contração voluntária com a contração evocada eletricamente (FILIPOVIC et al., 2016).

A tecnologia WB-EMS, embora bastante recente, vem sendo amplamente utilizada como método de condicionamento físico e reabilitação, particularmente em indivíduos idosos resistentes a métodos convencionais de treinamento físico (KEMMLER et al., 2016a; WITTMANN et al., 2016; VON STENGEL et al., 2015; VAN BUUREN et al., 2015).

Um protocolo de treinamento bastante comum utilizando a tecnologia de WB-EMS consiste em aproximadamente 1,5 sessões de treinamento por semana (1 sessão a cada 4 dias), cada uma com duração de apenas 20 minutos. Com uma relação de carga elétrica de 4–6 segundos de corrente contra 4 segundos de intervalo de descanso (FILIPOVIC et al., 2012), o que significa 10-12 minutos sob carga com 8 –10 minutos de descanso.

De fato, considerando o volume baixo de exercícios, a baixa frequência semanal proposta, a baixa intensidade voluntária e o alto grau de supervisão e individualização, a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro aparece como uma opção interessante e pode atrair pessoas com baixa afinidade aos programas de exercícios convencionais (KEMMLER; VON STENGEL, 2013; PANO-RODRIGUEZ et al., 2019; WITTMANN et al., 2016).

No entanto, ainda existe uma falta considerável de evidências a respeito dos efeitos agudos induzidos por WB-EMS e possíveis fatores de risco relacionados ao nível de dano muscular.

O dano muscular induzido pelo exercício (DMIE) é um fenômeno bem conhecido que está intimamente relacionado ao tipo e a intensidade do treinamento realizado (ESTON et al., 2003; FRIDÉN; LIEBER, 2001; PROSKE; MORGAN, 2001). Com respostas importantes especialmente à fase excêntrica do movimento, uma série de alterações fisiológicas são observadas e podem durar algumas horas ou até mesmo dias (ESTON et al., 2003; PROSKE; MORGAN, 2001).

Devido ao recrutamento de uma grande área muscular e a uma proporção relativamente alta de movimentos excêntricos, recentemente, alguns relatos de caso sugeriram que uma sessão inicial de treino muito intensa com a utilização de eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro está predisposta a produzir mudanças em vários níveis fisiológicos relacionadas a um nível de dano muscular substancial (FINSTERER; STÖLLBERGER, 2015; KÄSTNER et al., 2014) podendo ser considerado um fator de risco, principalmente em populações de maior idade (KEMMLER et al., 2019; STÖLLBERGER; FINSTERER, 2019).

De acordo com a literatura existente, não é claro o comportamento da magnitude, da evolução e da recuperação do dano muscular na população idosa após uma sessão de WB-EMS. Portanto, a fim de gerar conclusões sobre essas questões, o objetivo desse estudo foi avaliar o dano muscular induzido por eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em indivíduos idosos.

MÉTODOS

DELINEAMENTO DO ESTUDO

Foi realizado um estudo descritivo, do tipo experimental não controlado, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (nº 3.585.519) e todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido antes do início dos testes.

CRITÉRIO DE ELEGIBILIDADE

Foram inseridos no estudo indivíduos sedentários do sexo masculino, com mais de 60 anos, que não realizavam nenhum tipo de treinamento físico de forma sistemática por, pelo menos, 3 meses anteriores ao estudo, sem experiência com eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro, sem comprometimento cardíaco ou pulmonar e que não realizassem nenhum

tratamento medicamentoso que pudesse interferir nas variáveis do estudo. Além disso, os sujeitos deveriam estar aptos a realizar todos os testes do estudo. Foi realizado um teste pré-estudo que consistia na execução de 3 movimentos de agachamento livre, até 90° de flexão dos joelhos, onde os indivíduos não deveriam apresentar nenhum relato de dor. Este teste tinha o objetivo de garantir que os movimentos do protocolo de intervenção pudessem ser realizados na mesma amplitude por todos os indivíduos incluídos no estudo. Foram excluídos todos os indivíduos que apresentaram contraindicações absolutas e/ou relativas à realização dos testes e intervenções. Dificuldade de compreensão dos procedimentos propostos também foi considerado fator de exclusão.

SELEÇÃO E LOCAL DO ESTUDO

Os sujeitos foram selecionados de forma aleatória, após divulgação da pesquisa em grupos de encontro de idosos por meio de cartazes, convite formal com a presença do pesquisador e em redes sociais. Todos os testes foram realizados no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) na UFRGS entre outubro de 2019 e março de 2020.

PROCEDIMENTOS, TESTES E TÉCNICAS

Massa, Estatura e Índice de massa corporal (IMC)

A massa corporal foi mensurada por meio de balança antropométrica (Filizola®, São Paulo, Brasil; precisão de 100g) e a estatura medida por meio de um estadiômetro, com precisão de 5 mm, acoplado à balança. O IMC foi calculado por meio do coeficiente entre a massa corporal e a estatura dos indivíduos ao quadrado, e expresso em kg/m². Para a realização das medidas o indivíduo deveria manter-se relaxado, com os braços posicionados ao lado do corpo e os pés unidos, a fim de manter o padrão e evitar erros nas medidas.

Percepção Subjetiva de Esforço

A fim de avaliar a percepção subjetiva de esforço dos participantes do estudo após a intervenção, foi utilizada uma escala de classificação numérica (ECN). Imediatamente após os 20 minutos de intervenção foi apresentado ao sujeito um quadro dividido em 11 colunas, numeradas de 0 a 10. As colunas numeradas de 0 a 2 representaram cansaço leve, de 3 a 7 cansaço moderado e de 8 a 10 cansaço intenso. Os indivíduos foram orientados a indicar qual a coluna que melhor representava sua percepção de cansaço naquele momento (GALLASCH; ALEXANDRE, 2007).

Avaliação do Dano Muscular Induzido pelo Exercício (DMIE)

O nível de DMIE dos voluntários foi avaliado em cinco momentos (pré, pós, 24h, 48h, 72h) através de quatro métodos de determinação indireta do dano muscular: (1) avaliação subjetiva da dor muscular de início tardio (DMIT); (2) avaliação da capacidade de produção de força máxima isométrica; (3) avaliação da espessura muscular a partir de ultrassonografia; (4) avaliação da intensidade do sinal da imagem de ultrassonografia.

Avaliação da Dor Muscular de Início Tardio (DMIT)

A avaliação da DMIT foi realizada por meio de uma escala de classificação numérica (ECN). Antes de cada sessão de coleta, um mesmo pesquisador instruiu, de maneira padronizada, os sujeitos a realizarem uma contração isométrica submáxima dos extensores do joelho e dos flexores do cotovelo, a fim de marcar na ECN um número ao qual melhor refletiu a dor ou desconforto muscular que sentiram em cada grupamento muscular. A escala era formada por números de zero a dez, onde o zero representava “sem dor” e o dez “máxima dor”. A quantificação da dor foi determinada pelo número marcado pelo indivíduo (KANDA et al., 2013). Para auxiliar na classificação da percepção de dor, o quadro era apresentado de forma colorida e ilustrado com “faces” representativas de diferentes níveis de desconforto.

Contração Voluntária Máxima Isométrica (CVMI)

Avaliação da Força de Extensores do Joelho

Para a análise da CVMI dos extensores de joelho foi utilizada uma célula de carga HBM do Brasil acoplada a uma cadeira extensora Cybergym. Os sujeitos foram posicionados sentados na cadeira extensora, com o quadril e joelhos flexionados (90°). Após familiarização com o protocolo, os indivíduos realizaram três CVMI de extensão de joelhos com duração de cinco segundos e um intervalo de 2 minutos entre cada contração e o maior valor foi registrado para análise posterior (AAGAARD et al., 2002).

Avaliação da Força de Preensão Manual

Para a avaliação da força de preensão manual, os indivíduos estavam sentados, com o cotovelo do lado dominante posicionado a 90°, segurando um dinamômetro hidráulico de mão (*Saehan Grip*). Os sujeitos foram orientados a fazerem uma preensão manual o mais rápido e mais forte possível, sustentando essa força por 5 segundos. Foram repetidas três contrações voluntárias máximas isométricas sendo registrado o maior valor (REIS; ARANTES, 2011).

Imagens de Ultrassonografia

As avaliações com ultrassonografia foram realizadas por um avaliador experiente com amplo domínio da técnica e da aparelhagem, sendo que somente este avaliador atuou nestes testes. A aquisição das imagens foi feita através de um aparelho de ultrassonografia (Toshiba, SP, Brasil), programado em B-modo. O procedimento foi feito com os voluntários em decúbito dorsal, com os braços relaxados ao longo do corpo, através da captura de três imagens, no plano transversal para cada músculo. Os critérios anatômicos adotados para a determinação dos locais de coleta são encontrados na tabela 1.

Tabela 1: Grupamentos musculares e parâmetros anatômicos avaliados por meio de ultrassonografia.

Grupamento Muscular Avaliado	Parâmetros Anatômicos
Extensores do joelho (RF, VL, VI)	50% do comprimento do fêmur (trocânter maior até a fenda côndilo-tibial).*
Extensores do joelho (VM)	30% do comprimento do fêmur (fenda côndilo-tibial até o trocanter maior)
Flexores do cotovelo (BB)	60% do comprimento do úmero: do acrômio da escápula até o epicôndilo lateral do úmero.*

RF: Reto Femoral; VL: Vasto Lateral; VI: Vasto Intermédio; VM: Vasto Medial; BB: Bíceps Braquial. * (MIYATANI et al., 2004)

A sonda foi embebida em um gel de transmissão solúvel em água promovendo contato acústico sem deprimir a superfície da pele.

Para garantir que imagens posteriores fossem realizadas no local anatômico exato foram consideradas marcações de protuberâncias ósseas (MIYATANI et al., 2004), além da realização de marcações com caneta demográfica na pele do sujeito, no local onde a sonda foi posicionada, que foram reforçadas a cada sessão.

As imagens foram analisadas no *software Image J (National Institute of Health, EUA)* por um mesmo avaliador, sendo que os arquivos também foram codificados para que o avaliador não tivesse acesso ao voluntário ou momento em questão.

A média entre as medidas das três imagens realizadas para cada músculo foi considerada para a espessura e para o grau de ecogenicidade do RF, VL, VM, VI e BB.

Espessura Muscular (EM)

Para a EM, foi traçada uma linha ao longo da área dos músculos que ia da aponeurose superficial até a aponeurose profunda. Posteriormente, foi feita

uma média das medidas de cada uma das 3 imagens para chegar à espessura média da área de secção transversa anatômica (ASTA) de cada músculo.

Ecogenicidade (ECO)

A mensuração do dano muscular também foi realizada através da medida da intensidade do grau de esbranquiçamento do músculo a partir da análise das imagens em plano transverso. O método consiste na quantidade de pontos brancos e pretos presentes em uma imagem do músculo avaliado (DRAGHI et al., 2013). Cada região de interesse foi classificada quantitativamente através do cálculo do valor médio de uma escala de cinza (0 – preto; 255 – branco) obtido por meio de um histograma.

O aumento nos valores representa uma coloração mais próxima do branco, o que tem sido adotado como um marcador indireto de dano muscular.

No caso do presente estudo, foi utilizada a área de secção transversa anatômica total de cada músculo para a determinação do grau de ECO.

INTERVENÇÃO

Todos os sujeitos foram submetidos a uma sessão de 20 minutos de eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro associada a movimentos voluntários. Durante a intervenção, os indivíduos utilizaram o equipamento miha (*miha Bodytec* – Augsburg, Alemanha), onde 8 grupos musculares foram estimulados eletricamente de forma simultânea: coxas, braços, glúteos, porção lombar, porção escapular, área do latíssimo do dorso, abdômen e peitoral (figura 1).

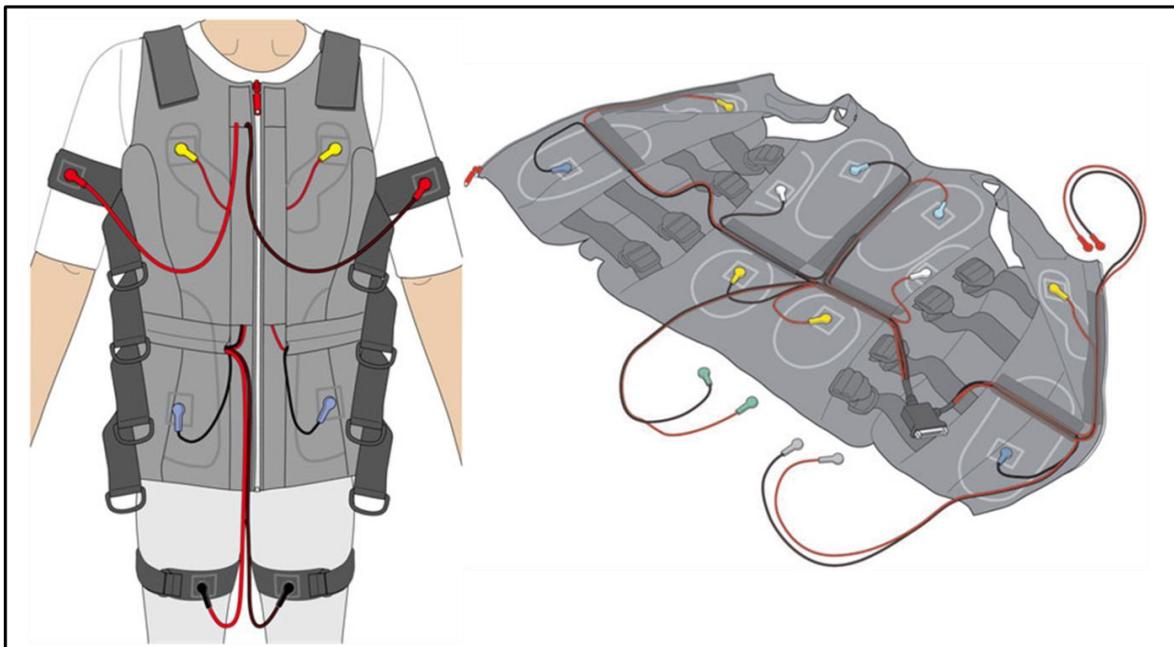


Figura 1. Representação da vestimenta utilizada para eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (miha Bodytec – Augsburg, Alemanha).

Foi aplicada uma corrente de baixa frequência com onda quadrada, pulsada, bifásica e simétrica, em uma frequência de 85Hz e 350 μ s de largura de pulso, com 4 segundos de tempo ON, 4 segundos de tempo OFF e uma rampa de subida de 0,4 segundos (tabela 2).

Tabela 2. Protocolo de WB-EMS utilizado no estudo.

PARÂMETROS	PROTOCOLO WB-EMS
Frequência de Pulso	85 Hz
Largura de Pulso	350 μ s
Tempo ON	4 s
Tempo OFF	4 s
Rampa de Subida	0,4 s
Duração Total	20 min

WB-EMS = Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro;

Juntamente com o estímulo elétrico, os sujeitos realizaram movimentos voluntários, de acordo com o protocolo do estudo, com cadência de movimento

controlada por sinal luminoso do próprio equipamento de eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro.

Os 20 minutos de intervenção foram realizados com os sujeitos em pé, respeitando a seguinte sequência:

- 1) 0 a 5 minutos – Sujeitos em pé, em posição de preparo (joelhos levemente flexionados e cotovelos flexionados em 45°), sem a realização de nenhum movimento voluntário, apenas o estímulo elétrico, na máxima intensidade tolerada por cada um dos voluntários (figura 2 - esquerda);
- 2) 5 a 10 minutos – Primeira série da sequência de exercícios (tabela 1)(figura 2 – direita);
- 3) 10 a 15 minutos – Segunda série da sequência de exercícios (tabela 1)(figura 2 – direita);
- 4) 15 a 20 minutos – Terceira série da sequência de exercícios (tabela 1)(figura 2 – direita).

Nos últimos 40 segundos de cada um dos momentos (0 a 5 min; 5 a 10 min; 10 a 15 min), os sujeitos não realizavam movimentos voluntários e a intensidade de todos os eletrodos era ajustada, buscando atingir a máxima intensidade de estímulo elétrico tolerada em cada um dos 8 pares de eletrodos, de acordo com escala de percepção subjetiva.



Figura 2. Imagem do primeiro momento da intervenção, com voluntário em pé, em posição de preparo, realizando a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro, sem a realização de

movimentos voluntários (esquerda); Imagem do voluntário realizando o exercício agachamento, juntamente com a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (direita).

Tabela 3. Sequência de exercícios realizados na primeira, segunda e terceira séries de movimentos voluntários durante intervenção.

Repetições	Exercícios	Tempo total	Observação
8	Agachamento 90°	1,04 min	A descida do movimento era realizada em 4 segundos durante o tempo On; A subida do movimento era realizada em 4 segundos durante o tempo Off.
8	Flexão de tronco	1,04 min	A flexão do tronco era realizada em 4 segundos durante o tempo On; A extensão do tronco era realizada em 4 segundos durante o tempo Off.
8	Flexão e extensão lateral de ombros	1,04 min	A flexão era realizada em 4 segundos durante o tempo On; A extensão era realizado durante 4 segundos no tempo On seguinte.
8	Flexão e extensão de cotovelos	1,04 min	A flexão e a extensão eram realizadas em 2 segundos cada, a cada tempo On;

ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis foram descritas por média e erro padrão e comparadas ao longo do tempo pelo Modelo de Equações de Estimativas Generalizadas (GEE) complementada pelo teste *Least Significant Difference* (LSD). O nível de significância adotado foi de 5% ($p < 0,05$) e as análises foram realizadas no programa SPSS versão 21.0.

RESULTADOS

A tabela 3 mostra as características referentes à idade e composição corporal dos sujeitos (n=7), juntamente com a percepção subjetiva de esforço (PSE) questionada aos sujeitos imediatamente após a realização da intervenção.

Tabela 4. Características dos participantes avaliados no estudo (Média ± DP; n = 7).

VARIÁVEL	MÉDIA ± DP
Idade (anos)	69,1 ± 7,12
Massa (kg)	79,46 ± 8,26
Estatura (m)	1,73 ± 0,08
IMC (kg/m ²)	26,67 ± 3,67
PSE	7,71 ± 0,49

IMC = Índice de Massa Corporal; DP = Desvio Padrão; PSE = Percepção subjetiva de esforço.

Com relação à DMIT foram observadas diferenças significativas entre o momento pré-intervenção e os momentos 24 h, 48 h e 72 h, indicando maiores índices de dor nos momentos 24 h, 48 h e 72 h após a intervenção, assim como no momento 24 h quando comparado com o momento pós quando avaliados os extensores do joelho ($p < 0,001$). Da mesma forma, quando avaliados os flexores do cotovelo, verificou-se diferenças significativas entre o momento pós e os momentos 24 h e 48 h, resultando em maiores níveis de dor nos momentos de 24 h e 48 h ($p < 0,001$) (figura 3).

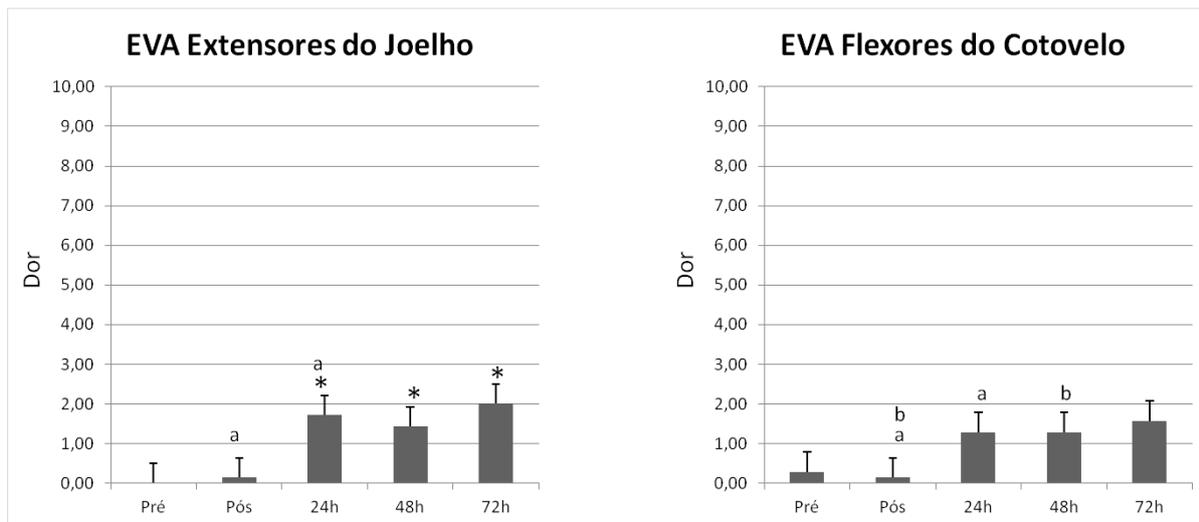


Figura 3. Dor Muscular de Início Tardio (DMIT) nos Extensores do Joelho (esquerda) e dos Flexores do Cotovelo (direita) nos momentos pré intervenção (pré), logo após intervenção (pós), assim como em 24, 48 e 72 horas após o protocolo de intervenção (24h; 48h; 72h). * indica diferença significativa comparado com o momento pré ($p < 0,001$); a indica diferença entre os momentos ($p < 0,001$); b indica diferença entre os momentos ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Após análise da capacidade de produção de força, foi observada uma diferença significativa na força produzida entre os momentos 48 h e 72 h após a intervenção dos extensores do joelho ($p = 0,001$), além de uma tendência crescente à diminuição de força logo após a intervenção, e início de retorno aos padrões normais após, aproximadamente, 72 horas. Quando avaliada a força de preensão manual verificou-se uma tendência à diminuição da força após a intervenção, com diferença significativa do momento pós em relação ao momento 24 h ($p = 0,027$) sugerindo um retorno aos padrões de força inicial após 24 horas do momento da intervenção (figura 4).

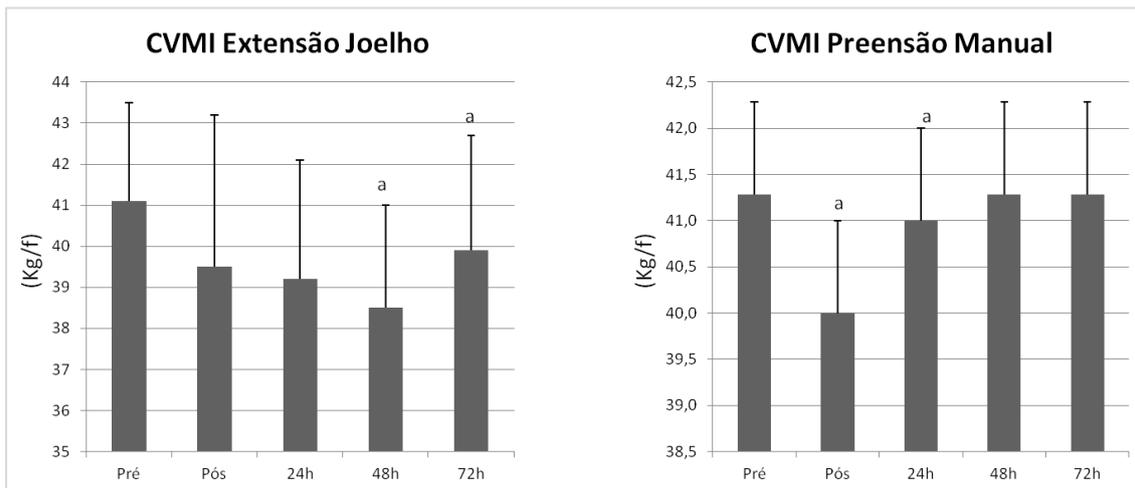


Figura 4. Contração Voluntária Máxima Isométrica (CVMI) nos Extensores do Joelho (esquerda) e dos Flexores do Cotovelo (direita) nos momentos pré intervenção (pré), logo após intervenção (pós), assim como em 24, 48 e 72 horas após o protocolo de intervenção (24h; 48h; 72h). a indica diferença entre os momentos ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Nas medidas de EM para o VM foram encontradas diferenças significativas entre o momento pré e os momentos 24 h, 48 h e 72 h com demonstrativos de maiores espessuras nos momentos após a intervenção ($p < 0,01$). Além das diferenças já citadas, também foi observada entre os momentos pós e 24 h e pós e 48 h, acompanhando a tendência de maiores espessuras nos momentos de 24 h e 48 h ($p < 0,01$)(figura 5.1).

Semelhante ao achado para o VM, quando analisado o RF foram encontradas diferenças significativas entre o momento pré e os momentos 24h, 48h e 72h, além de diferença entre os momentos 48h e 72h, com maiores espessuras sendo apresentadas quanto maior o tempo pós-intervenção ($p < 0,01$) (figura 5.2).

Na análise do VL foi observada diferença significativa entre o momento pré e os momentos 48h e 72h, entre os momentos pós e 72h e os momentos 24h e 48h ($p < 0,01$) (figura 5.3).

Já no VI foram observadas diferenças entre o momento pós e 48h; momento pós e 72 horas; momentos 24h e 72h; momentos 48h e 72h ($p < 0,01$) (figura 5.4).

Nas medidas do BB foram encontradas diferenças significativas entre o momento pré e os momentos pós, 48h e 72h com maiores espessuras sendo apresentadas após a intervenção; entre os momentos pós e 24h com

diminuição da espessura e, voltando a aumentar o valor da espessura muscular entre os momentos 24h e 48h e entre os momentos 24h e 72h ($p < 0,001$) (figura 5.5).

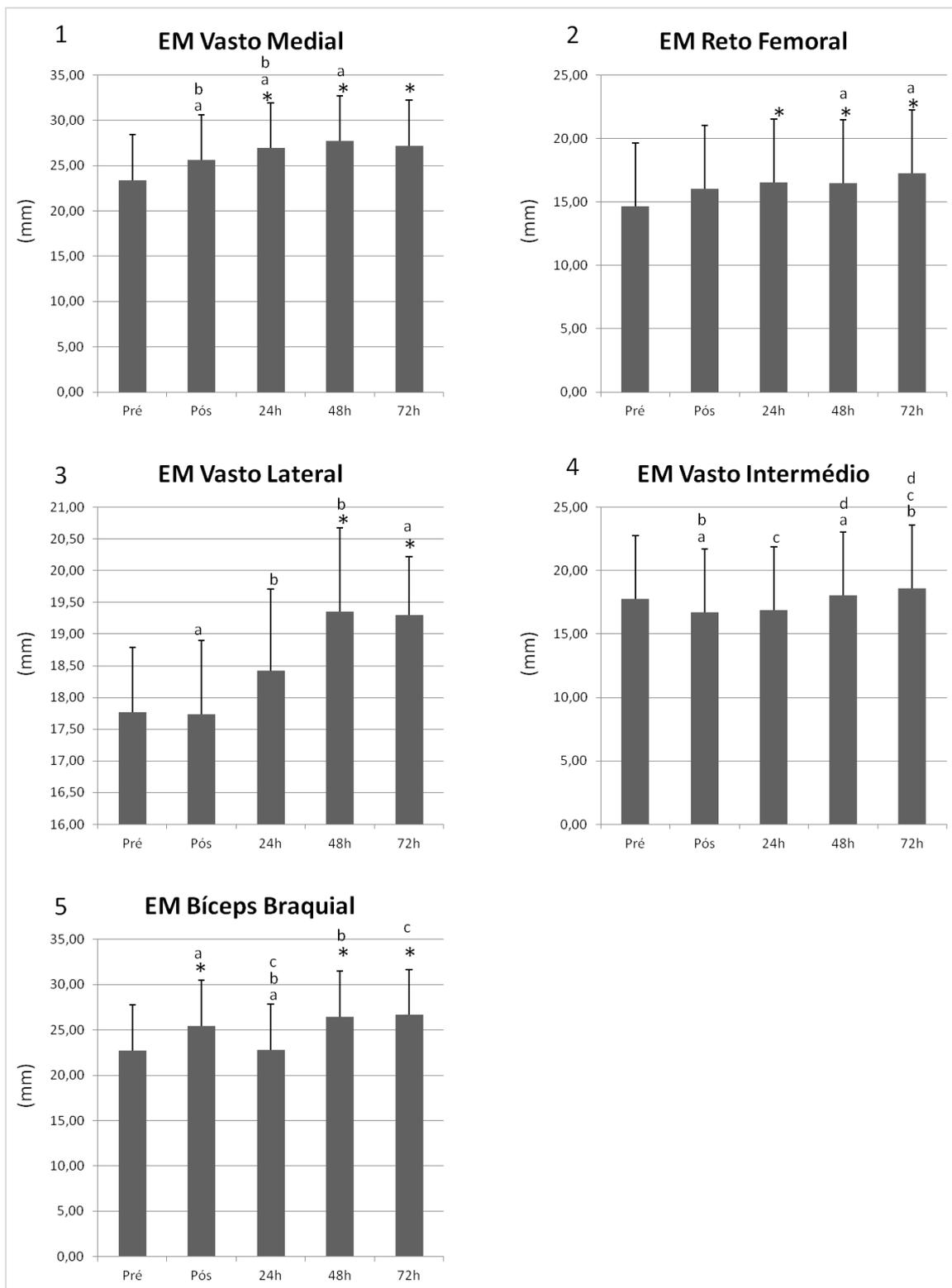


Figura 5. Espessura Muscular (EM) do Vasto Medial (VM)(1), do Reto Femoral (RF)(2), do Vasto Lateral (VL)(3), do Vasto Intermédio (VI)(4) e do Bíceps Braquial (BB)(5) nos momentos pré-intervenção (pré), logo após intervenção (pós), assim como em 24, 48 e 72 horas após o protocolo de intervenção (24h; 48h; 72h). * indica diferença significativa comparado com o momento pré ($p < 0,001$); a indica diferença significativa entre os momentos ($p < 0,001$); b indica diferença significativa entre os momentos ($p < 0,001$). c indica diferença significativa entre os momentos ($p < 0,001$); d indica diferença significativa entre os momentos ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

Na avaliação da intensidade do sinal da imagem de ecografia foram observadas diferenças significativas para o VM quando comparado o momento pré com o momento pós, sendo observado valor maior após a intervenção ($p < 0,001$). Também foram observadas diferenças comparando o momento pós e 48 h, pós e 72h e entre os momentos 24h e 48h, sendo todas essas comparações com diminuição de valores ao longo do tempo ($p < 0,001$)(figura 6.1).

Quando avaliada a musculatura VI foi observada diferença estatisticamente significativa entre o momento pré e os momentos pós, 48h e 72h; também foi observada diferença entre os momentos 24h e 48h, onde em todas as comparações, quanto maior o tempo após a intervenção, maiores valores foram apresentados ($p < 0,01$)(figura 6.2).

Já para a musculatura VL não foram encontradas diferenças significativas entre os momentos, porém é possível observar uma pequena tendência de aumento dos valores do ECO nos momentos pós e 24h (figura 6.3).

Quando analisado o RF, também não foram encontradas diferenças significativas, porém foi verificada uma tendência de diminuição dos valores nos momentos pós e 24h (figura 6.4).

Na análise dos diferentes momentos para a musculatura BB foi observada diferença significativa entre o momento pré e os momentos 48h e 72h, além de uma diferença entre os momentos pós e 72h ($p < 0,05$), seguindo uma tendência de aumento dos valores a medida que o tempo após a intervenção aumenta (figura 6.5).

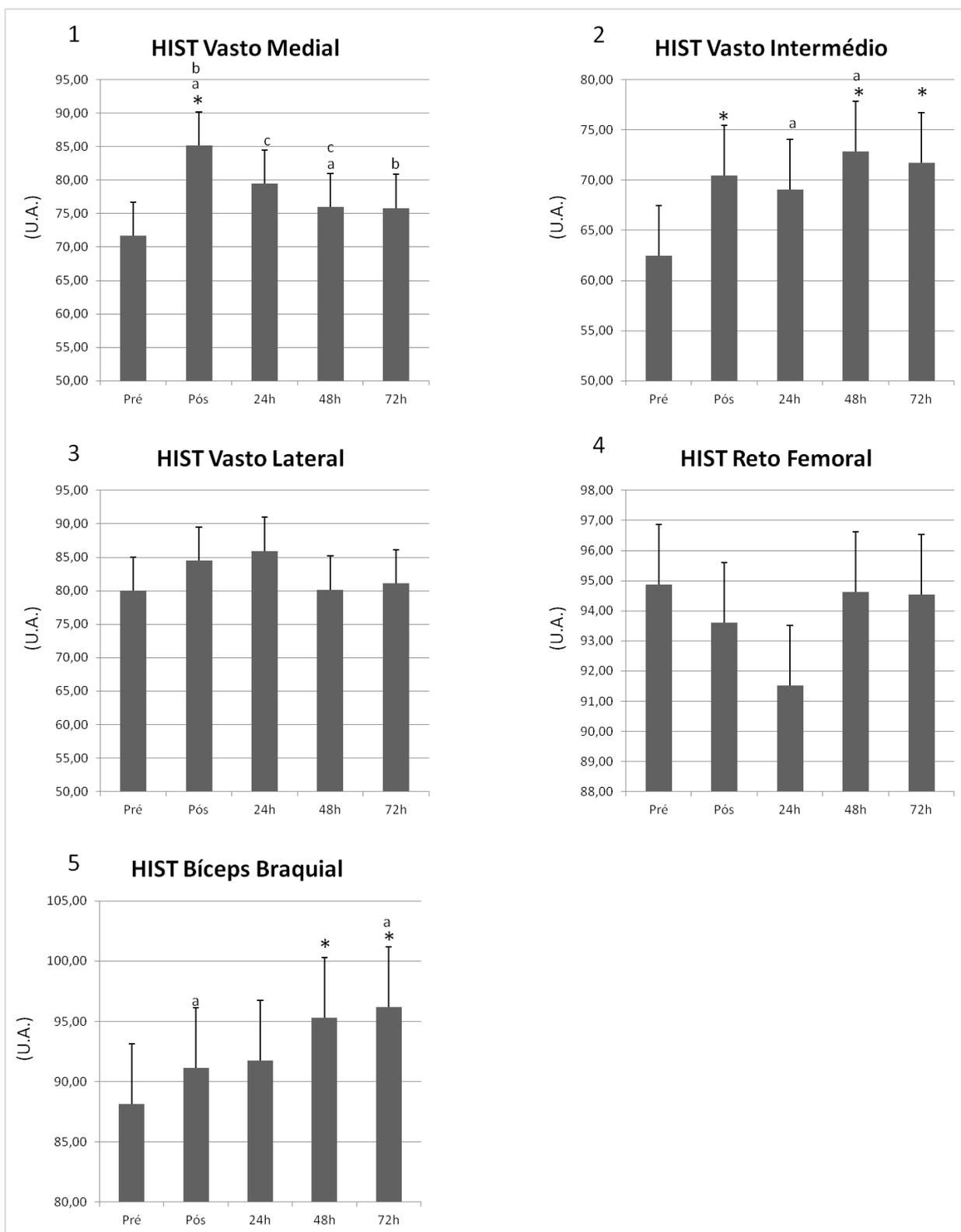


Figura 6. Ecogenicidade (ECO) do Vasto Medial (VM)(1), Vasto Intermédio (VI)(2), do Vasto Lateral (VL)(3), do Reto Femoral (RF)(4) e do Bíceps Braquial (BB)(5) nos momentos pré-intervenção (pré), logo após intervenção (pós), assim como em 24, 48 e 72 horas após o protocolo de intervenção (24h; 48h; 72h). * indica diferença significativa comparado com o momento pré ($p < 0,001$); a indica diferença significativa entre os momentos ($p < 0,001$); b indica diferença significativa entre os momentos ($p < 0,001$); c indica diferença significativa entre os momentos ($p < 0,001$); d indica diferença significativa entre os momentos ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

DISCUSSÃO

No presente estudo, ao final da intervenção, a percepção subjetiva de esforço dos sujeitos apresentou uma média de $7,71 \pm 0,49$ em uma escala de 0 a 10, classificando a intervenção no limite entre um esforço moderado a intenso, mesmo que tenham sido realizados movimentos relativamente simples, de forma lenta e sem nenhuma carga extra além do peso corporal e dos estímulos elétricos.

Os resultados das avaliações da DMIT nos extensores do joelho apresentaram um aumento gradual dos níveis de dor nas primeiras 24 horas após a intervenção ($p=0,004$), que permaneceram elevados nas 72 horas seguintes ao momento pré ($p=0,043$). Mesmo 72 horas após a intervenção ainda foram observados níveis de DMIT significativamente maiores do que os níveis relativos ao momento pré eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro associada a movimentos voluntários. Da mesma forma, quando analisados os flexores do cotovelo, também foi observado um aumento gradual dos níveis de dor nas primeiras 24 horas, sendo significativamente maiores do que o momento logo após a intervenção ($p=0,038$) e permanecendo elevados pelas próximas 72 horas após a realização da eletroestimulação associada a movimentos voluntários. Esses achados corroboram com Cheung; Hume e Maxwell (2003) que citam que a DMIT normalmente se desenvolve várias horas após o exercício, atinge seu pico em 1–3 dias e desaparece em 7–10 dias após o exercício. Além disso, ela é predominantemente induzida por contrações excêntricas ou isométricas (características enfatizadas na presente intervenção) com o músculo alongado (NOSAKA et al., 2011).

Entretanto, a média de dor tardia apresentada no estudo, para os dois grupamentos musculares avaliados, não passou de 2 que ainda é considerada uma dor leve, em uma escala de 0 a 10, e clinicamente pouco significativa representando um leve desconforto.

É importante salientar que avaliar o grau e a intensidade da dor na população idosa pode ser uma tarefa difícil, pois esse grupo de indivíduos tende a negar a dor, devido acreditar que faz parte da vida em idade avançada ou, até mesmo, por associar dor a doenças graves ou morte (JONES et al.,

2016). Déficits cognitivos ou sensoriais também podem dificultar a identificação da dor na população idosa (HADJISTAVROPOULOS et al., 2014). Ainda, apesar da DMIT ser um sintoma de lesão muscular, uma série de autores relata a necessidade de cautela na sua utilização, pois, devido ser um instrumento de avaliação de forma indireta, não necessariamente reflete a magnitude do dano muscular e o tempo de recuperação (NOSAKA et al., 2002a; PASCHALIS et al., 2005). Ainda assim, a DMIT pode não ser o marcador mais confiável da extensão do dano muscular, mas tem sido usada como o marcador mais “popular” para avaliação de dano muscular (NOSAKA et al., 2011). Nesse sentido, acredita-se que uma combinação de marcadores possa descrever melhor o dano muscular do que a utilização de um único marcador de forma isolada.

A diminuição da força resultante do dano muscular parece ser uma constante observada em diversos estudos, com diferentes populações (JUBEAU et al., 2011; NOSAKA et al., 2001) e é um dos marcadores indiretos mais fidedignos para avaliação do dano muscular (WARREN et al., 1999). Embora tenha existido uma diminuição significativa na capacidade de produção de força nos momentos após a intervenção, a máxima redução observada foi de 6,33% entre os momentos pré e 48h para os extensores de joelho e de 3,15% entre os momentos pré e pós para a preensão manual, que, clinicamente, não é algo tão representativo, uma vez que se define como redução de força leve a moderada quando é observada uma diminuição de 20-50% do máximo, com recuperação total entre 2 e 5 dias (PAULSEN et al., 2012).

Nesse sentido, Aldayel et al. (2010) investigaram o dano muscular induzido por contrações isométricas evocadas por estímulo elétrico dos extensores do joelho utilizando pulsos retangulares bifásicos simétricos com frequência de 75 Hz, duração de pulso de 400 μ s, e relação 5 – 15s on-off. Uma contração isométrica foi evocada a cada 20s por 45 vezes. A amplitude de estimulação (intensidade) foi gradualmente aumentada em direção ao nível máximo tolerável de cada sujeito para induzir a geração de força máxima. Imediatamente após a eletroestimulação, a força de contração isométrica voluntária máxima diminuiu abaixo da linha de base, em aproximadamente 30%, corroborando com os achados de Paulsen et al., (2012).

Nosaka e Sakamoto (2001) e Philippou et al. (2003) advertem sobre a necessidade de considerar o comprimento muscular como um dos fatores que afetam a magnitude do dano muscular em contrações excêntricas e/ou isométricas. Nosaka et al. (2002b) relataram que o dano muscular foi mínimo após 30 contrações isométricas evocadas por eletroestimulação dos flexores do cotovelo a 90° do ângulo da articulação do cotovelo. Em contraste, Jubeau et al. (2011) encontraram mudanças significativas nos marcadores de dano muscular (diminuições prolongadas na força da contração voluntária máxima isométrica e amplitude de movimento, desenvolvimento de dor muscular de início tardio, aumentos na atividade de CK sérica) após 50 contrações isométricas a 160°, evocadas eletricamente na intensidade máxima tolerada, sendo 180° a extensão total do cotovelo. É possível que o maior número de contrações (50 vs. 30) tenha contribuído para a diferença, porém o principal fator provável foi o comprimento do músculo (JUBEAU et al., 2011).

Além do volume dos grupos musculares estimulados, o modo de ação e os mecanismos da WB-EMS não parecem diferir de maneira relevante da NMES. Portanto, em geral, é razoável transferir os resultados das intervenções com NMES ao tópico de WB-EMS (FILIPOVIC et al., 2011), pelo menos sob a premissa de protocolos de estimulação comparáveis. Dessa forma, especulativamente, o comprimento do músculo pode ser uma das explicações para ter sido observada apenas uma pequena diminuição da força dos grupamentos musculares testados após a intervenção. O período total da intervenção somou 150 contrações com duração de 4s cada, número bem superior aos estudos citados, porém, na grande maioria do tempo da intervenção, os músculos testados eram estimulados de forma isométrica, em posição de encurtamento (flexores do cotovelo, 93,25% do tempo na posição encurtada; Extensores do joelho, 83,75% do tempo na posição encurtada (figura 7). Assim, mesmo utilizando a máxima intensidade tolerada e com um grande número de contrações, verificou-se um impacto pequeno sobre a capacidade de produção de força de forma aguda nesses grupamentos musculares.

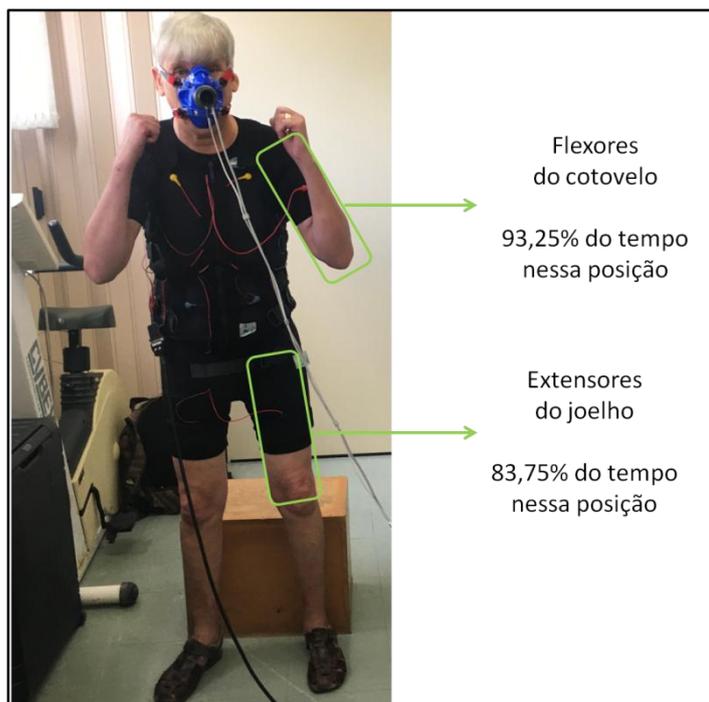


Figura 7. Posição de preparo entre os movimentos, durante a intervenção.

Em estudo recente Fouré et al. (2020) avaliaram 10 sujeitos jovens (27 ± 4 anos, 173 ± 10 cm, 69 ± 10 kg, 4 mulheres) na expectativa de determinar se a modulação do comprimento muscular é uma estratégia relevante para minimizar o dano muscular induzido por estimulação elétrica neuromuscular. Para isso, compararam duas sessões de eletroestimulação, sendo 40 contrações isométricas de extensores de joelho evocadas pelo estímulo elétrico, onde, aleatoriamente, um dos joelhos estava posicionado em 50° (musculatura mais encurtada) e o outro em uma posição de 100° (musculatura mais alongada). Marcadores indiretos de dano muscular como CVMI e volume muscular foram avaliados antes, além de dois, quatro e sete dias após a intervenção em cada membro. Embora a intensidade de estimulação tenha sido semelhante durante a sessão em ambos os membros, a produção de força registrada após a intervenção foi significativamente menor nos músculos que estavam em posição alongada quando comparados com os que estavam em posição mais encurtada, além de que, nos dias seguintes, a força dos músculos que estavam em posição mais alongada seguiu diminuindo, enquanto que o grupamento muscular que estava em posição mais encurtada não apresentou nenhuma mudança significativa. Respostas semelhantes

aconteceram em relação ao volume muscular, onde no grupamento muscular que estava em posição alongada foram observados aumentos no volume em todos os momentos avaliados, enquanto que no grupamento muscular que estava em posição mais encurtada, nenhuma alteração foi encontrada. Dessa forma os autores concluem o estudo sugerindo que, para a mesma intensidade de eletroestimulação, as contrações isométricas evocadas pelo estímulo elétrico resultam em alterações nos tecidos musculares menores, que podem estar relacionadas a uma menor tensão de cisalhamento intramuscular, quando o exercício é realizado com a musculatura em um comprimento muscular mais curto (FOURÉ et al., 2020), reforçando, assim, a ideia anterior de que o posicionamento de “preparo” dos sujeitos do estudo (com a musculatura avaliada permanecendo a maior parte do tempo em posição de encurtamento) pode ter relação com a pequena expressão de marcadores relacionados ao dano muscular.

Uma outra hipótese que pode ser gerada é que exercícios excêntricos envolvendo um alto número de repetições e maiores velocidades estão associados a grandes alterações estruturais na fibra muscular (PAULSEN et al., 2012), portanto, o fato de ter sido realizado um pequeno número de movimentos voluntários, de forma lenta, em cada grupamento muscular durante a intervenção, também pode estar relacionado ao fato de ter sido observada apenas uma pequena diminuição da força muscular nos momentos pós intervenção.

Além disso, o fato de os sujeitos não possuírem experiência prévia com a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro, fato que pode diminuir a sensação de segurança e, de certa forma, antecipar a percepção de máxima intensidade tolerada. Assim, é possível que a intensidade oferecida ao longo da intervenção tenha sido menor do que a máxima tolerada de fato.

Além dos marcadores indiretos de dano muscular citados, o presente estudo também avaliou a espessura muscular e a ecogenicidade a partir de imagens de ultrassonografia. Considerando os resultados avaliados, foi possível verificar que, nas medidas de espessura muscular, foram encontradas diferenças significativas entre os momentos em todos os músculos avaliados (VM, RF, VL, VI, BB). Os maiores valores medidos foram encontrados nos momentos de 48h e 72h após a intervenção, sendo observados aumentos

máximos em relação ao basal de 4,29 mm (VM-48h), 2,60 mm (RF-72h), 1,58 mm (VL-48h), 0,85 mm (VI-72h) e 3,92 mm (BB-72h).

O aumento da espessura muscular é um marcador que dimensiona o inchaço e o edema em decorrência do dano muscular, possivelmente gerado pela intervenção realizada, exceto no momento pós (0h) do estudo, onde o aumento da EM estaria mais relacionado ao influxo de sangue para o músculo (hiperemia ativa) que foi exercitado a fim de suprir a necessidade metabólica (CLARKSON; HUBAL, 2002). Embora existam diferenças importantes entre esses 5 músculos, foi observado uma tendência semelhante entre eles em relação à EM relacionada ao edema proveniente do quadro de dano muscular após a intervenção

Na avaliação da intensidade do sinal da imagem de ecografia também foram observadas diferenças significativas entre os momentos para o VM, VI e BB sendo observado valores maiores nos momentos pós intervenção. Contudo, os períodos em que foram encontradas diferenças na EM, não foram os mesmos em que foram detectadas na ECO, além de que o VL apresentou apenas uma tendência ao aumento e o RF sequer respondeu com aumento da ECO. Se ambos os marcadores são sensíveis ao edema do processo inflamatório, pela lógica, não deveríamos observar esse tipo de comportamento. Entretanto, vários marcadores de dano muscular possuem respostas temporais diferentes (CLARKSON; HUBAL, 2002), e embora uma série de autores justifiquem o aumento da EM e da ECO ao edema e processo inflamatório, cada um pode apresentar um pico de resposta diferente, principalmente devido à falta de esclarecimentos dos mecanismos envolvidos no aumento da ECO (FUJIKAKE et al., 2009). Em estudo, Reimers et al., (1995) demonstraram a variabilidade da ECO dependente do tipo de contração realizada. Em contrações isométricas houve redução da ECO, enquanto que nas contrações dinâmicas houve um aumento, sugerindo que ainda existe a necessidade de mais estudos para avaliar o impacto do exercício na ECO.

Essas características discutidas podem ter repercutido em um menor índice de dano muscular quando comparado o estudo atual com estudos prévios já existentes na literatura.

No entanto, outro ponto importante a ser relatado é o fato da magnitude do dano muscular induzido por contrações isométricas evocadas pelo estímulo

elétrico ser reduzida na segunda sessão em comparação com a primeira, semelhante ao efeito de proteção que é observado após uma única sessão de exercício excêntrico (ALDAYEL et al., 2010; MACKEY et al., 2011). Sabe-se que, em comparação com a sessão inicial de exercício excêntrico, a sessão subsequente do mesmo exercício realizado dentro de várias semanas resulta em menos danos musculares, e esse fenômeno é conhecido como “efeito de sessão repetida” (CLARKSON; HUBAL, 2002). Lavender e Nosaka (2008) demonstraram que um exercício excêntrico leve que não induz mudanças em nenhum dos marcadores indiretos de dano muscular confere proteção contra danos musculares após um exercício excêntrico mais extenuante realizado 2 dias depois.

O dano muscular potencial no uso de WB-EMS deve ser conhecido e essa tecnologia deve ser cuidadosamente introduzida no treinamento e na reabilitação da população idosa. No entanto, parece provável que o dano muscular grave na WB-EMS seja evitável usando as mesmas estratégias para minimizar o dano muscular induzido pelo exercício excêntrico, portanto, o dano muscular não deve ser considerado um aspecto negativo da estimulação elétrica. Outra questão é se os resultados do treinamento utilizando WB-EMS são os mesmos quando o dano muscular potencial é minimizado ou eliminado. Pode ser que algum dano muscular seja necessário para maximizar a hipertrofia muscular e o ganho de força, porém o fato de controlar os níveis de dano muscular, principalmente nas sessões iniciais, pode ser uma estratégia inteligente para garantir segurança e uma maior aderência dos idosos no programa de treinamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em musculaturas com comprimento muscular reduzido, associada a poucos movimentos e realizados de forma lenta, parece minimizar a ocorrência de dano muscular e pode contribuir para adaptações neuromusculares apesar da mínima ou ausência de alteração nos tecidos musculares. Portanto,

eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro realizada com essas características parece ser de maior interesse para a utilização com a população idosa, condicionada ou não.

Deve-se ressaltar que o uso generalizado, entretanto, requer evidências ainda mais detalhadas sobre outros mecanismos subjacentes e possíveis efeitos negativos aos outros sistemas.

RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

Os sintomas associados ao dano muscular podem perdurar por alguns dias e, por serem consideravelmente incômodos, poderiam reduzir a aderência de idosos em programas de treinamento. Portanto, formas de minimizar esses efeitos do processo inflamatório ocasionado pelas microlesões poderiam não apenas reduzir esse desconforto gerado pelo exercício, mas também aumentar a aderência em programas de treinamento. Isso tornaria o trabalho mais eficiente, principalmente para indivíduos que precisam recuperar suas condições de saúde mais rapidamente como é o caso dos idosos (CHEUNG et al., 2003).

Dessa forma, mesmo admitindo a necessidade de mais estudos que confirmem os achados atuais, acredita-se que é possível estabelecer alguns direcionamentos relacionados ao controle do nível de dano muscular em sujeitos idosos que utilizam a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro associado a movimentos voluntários:

- Priorizar exercícios com amplitudes reduzidas;
- Priorizar a eletroestimulação com as musculaturas em posições mais encurtadas;
- Evitar um grande número de repetições de movimentos;
- Evitar a realização de movimentos com velocidades altas.

LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Existem certas limitações no estudo que podem ser levadas em consideração. Primeiramente, o n avaliado pode ser aumentado com a intenção de verificar resultados com menor variabilidade e maior significância; Marcadores bioquímicos como a creatina quinase seriam interessantes de serem avaliados para uma resposta mais clara sobre os efeitos da eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro sobre o dano muscular; A inclusão de um grupo controle a fim de facilitar a análise sobre os efeitos reais provocados pela utilização da tecnologia.

CONFORMIDADE COM OS PADRÕES ÉTICOS

CONFLITO DE INTERESSE - O autor está ciente de potencial conflito de interesse por possuir empresa que utiliza a mesma tecnologia do estudo e por ter recebido remuneração por cursos e palestras ministrados para a empresa fabricante do equipamento miha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, P. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 4, p. 1318–1326, 2002.

ALDAYEL, A. et al. Less indication of muscle damage in the second than initial electrical muscle stimulation bout consisting of isometric contractions of the knee extensors. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 4, p. 709–717, 2010.

FILIPOVIC, A. et al. Electromyostimulation — A systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 9, p. 2600–2614, 2011.

CAULFIELD, B. et al. Self directed home based electrical muscle stimulation training improves exercise tolerance and strength in healthy elderly. **Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS**, p. 7036–7039, 2013.

CHEUNG, K.; HUME, P. A; MAXWELL, L. Treatment Strategies and Performance Factors. **Sports Medicine**, v. 33, n. 2, p. 145–164, 2003.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Exercise-induced muscle damage. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 27, n. 3, p. 363-370, 2002.

DRAGHI, F. et al. Muscle injuries: Ultrasound evaluation in the acute phase. **Journal of Ultrasound**, v. 16, n. 4, p. 209–214, 2013.

EKELUND, U. et al. Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality? A harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women. **The Lancet**, v. 388, n. 10051, p. 1302–1310, 2016.

ESTON, R.; BYRNE, C.; TWIST, C. Muscle function after exercise-induced muscle damage: Considerations for athletic performance in children and adults. n. January, 2003.

FILIPOVIC, A. et al. Electromyostimulation - A systematic review of the effects of different electromyostimulation methods on selected strength parameters in trained and elite athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 9, p. 2600–2614, 2012.

FILIPOVIC, A. et al. Effects of a whole-body electrostimulation program on strength, sprinting, jumping, and kicking capacity in elite soccer players. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 15, n. 4, p. 639–648, 2016.

FINSTERER, J.; STÖLLBERGER, C. Severe rhabdomyolysis after MIHA-bodytec® electrostimulation with previous mild hyper-CK-emia and

noncompaction. **International Journal of Cardiology**, v. 180, p. 100–102, 2015.

FOURÉ, A. et al. Muscle alterations induced by electrostimulation are lower at short quadriceps femoris length. **European Journal of Applied Physiology**, v. 120, n. 2, p. 325–335, 2020.

FRAGALA, M. S. et al. Resistance Training for Older Adults: Position Statement From the National Strength and Conditioning Association. **Journal of strength and conditioning research**, v. 33, n. 8, p. 2019–2052, 2019.

FRIDÉN, J.; LIEBER, R. L. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 171, n. 3, p. 321–326, 2001.

FUJIKAKE, T.; HART, R.; NOSAKA, K. Changes in B-mode Ultrasound Echo Intensity Following Injection of Bupivacaine Hydrochloride to Rat Hind Limb Muscles in Relation to Histologic Changes. **Ultrasound in Medicine and Biology**, v. 35, n. 4, p. 687–696, 2009.

GALLASCH, C. H.; ALEXANDRE, N. M. C. The measurement of musculoskeletal pain intensity: a comparison of four methods. **Revista gaúcha de enfermagem / EENFUFGRS**, v. 28, n. 2, p. 260–265, 2007.

HADJISTAVROPOULOS, T. et al. Pain assessment in elderly adults with dementia. **The Lancet Neurology**, v. 13, n. 12, p. 1216–1227, 2014.

IBGE. **Sports and Physical Activity Practices in 2015**. [s.l.: s.n.].

JONES, M. R. et al. Pain in the Elderly. **Current Pain and Headache Reports**, v. 20, n. 4, p. 1–9, 2016.

JUBEAU, M. et al. Comparison in muscle damage between maximal voluntary and electrically evoked isometric contractions of the elbow flexors. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 2, p. 429–438, 2011.

KANDA, K. et al. Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. **Exercise Immunology Review**, v. 19, p. 72–85, 2013.

KÄSTNER, A.; BRAUN, M.; MEYER, T. Two Cases of Rhabdomyolysis After Training With Electromyostimulation by 2 Young Male Professional Soccer Players. **Clin J Sport Med**, v. 0, n. 0, p. 1–3, 2014.

KEMMLER, W. et al. Whole-Body Electromyostimulation – The Need for Common Sense! Rationale and Guideline for a Safe and Effective Training. **Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin**, v. 2016, n. 09, p. 218–221, 2016.

KEMMLER, W. et al. Recommended contraindications for the use of non-medical WB-electromyostimulation. **Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin**, v. 70, n. 11, p. 278–282, 2019.

KEMMLER, W.; VON STENGEL, S. Whole-body electromyostimulation as a means to impact muscle mass and abdominal body fat in lean, sedentary, older

female adults: Subanalysis of the TEST-III trial. **Clinical Interventions in Aging**, v. 8, p. 1353–1364, 2013.

LAVENDER, A. P.; NOSAKA, K. A light load eccentric exercise confers protection against a subsequent bout of more demanding eccentric exercise. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, n. 3, p. 291–298, 2008.

MACKEY, A. L. et al. Sequenced response of extracellular matrix deadhesion and fibrotic regulators after muscle damage is involved in protection against future injury in human skeletal muscle. **The FASEB Journal**, v. 25, n. 6, p. 1943–1959, 2011.

MARZETTI, E. et al. Sarcopenia: an overview. **Aging Clinical and Experimental Research**, v. 29, n. 1, p. 11–17, 2017.

MCPHEE, J. S. et al. Physical activity in older age: perspectives for healthy ageing and frailty. **Biogerontology**, v. 17, n. 3, p. 567–580, 2016.

MIYATANI, M. et al. The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. **European Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 2–3, p. 264–272, 2004.

NOSAKA, KAZUNORI; SAKAMOTO, K. Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. **MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE®**, n. 21, 2001.

NOSAKA, K. et al. Muscle damage induced by electrical stimulation. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 10, p. 2427–2437, 2011.

NOSAKA, K.; NEWTON, M.; SACCO, P. Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 12, n. 6, p. 337–346, 2002a.

NOSAKA, K.; NEWTON, M.; SACCO, P. Responses of human elbow flexor muscles to electrically stimulated forced lengthening exercise. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 174, n. 2, p. 137–145, 2002b.

PAFFENBARGER, R. S. The New England Journal of Medicine Downloaded from nejm.org on March 29, 2011. For personal use only. No other uses without permission. Copyright © 1993 Massachusetts Medical Society. All rights reserved. **New England Journal of Medicine**, v. 329, n. 14, p. 977–986, 1993.

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, 2019.

PASCHALIS, V. et al. Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 184–188, 2005.

PAULSEN, G.; MIKKELSEN, U. R.; RAASTAD, T.; PEAKE, J. M. Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and

regeneration following eccentric exercise? **Exercise-induced muscle damage and inflammation**, v. 18, n. SUPPL. 1, p. 1, 2012.

PHILIPPOU, A.; MARIDAKI, M.; BOGDANIS, G. C. Angle-specific impairment of elbow flexors strength after isometric exercise at long muscle length. **Journal of Sports Sciences**, v. 21, n. 10, p. 859–865, 2003.

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

REIMERS, C. D. et al. The influence of exercise on the sonogram of skeletal muscles. **Ultraschall in der Medizin**, v. 16, n. 2, p. 79–83, 1995.

REIS, M. M.; ARANTES, P. M. M. Medida da força de preensão manual- validade e confiabilidade do dinamômetro saehan. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 18, n. 2, p. 176–181, 2011.

ROMERO-ARENAS, S. et al. Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. **Experimental Gerontology**, v. 48, n. 3, p. 334–340, 2013.

SCHNOHR, P.; SCHARLING, H.; JENSEN, J. S. Changes in leisure-time physical activity and risk of death: An observational study of 7,000 men and women. **American Journal of Epidemiology**, v. 158, n. 7, p. 639–644, 2003.

STÖLLBERGER, C.; FINSTERER, J. Side effects of whole-body electro-myostimulation. **Wiener Medizinische Wochenschrift**, v. 169, n. 7–8, p. 173–180, 2019.

UNITED NATIONS, WORLD POPULATION AGEING, 2019. **World Population Ageing 2019**. [s.l.: s.n.].

VAN BUUREN, F. et al. Electrical Myostimulation (EMS) Improves Glucose Metabolism and Oxygen Uptake in Type 2 Diabetes Mellitus Patients—Results from the EMS Study. **Diabetes Technology & Therapeutics**, v. 17, n. 6, p. 413–419, 2015.

VON STENGEL, S. et al. Whole-body electromyostimulation to fight osteopenia in elderly females: The randomized controlled training and electrostimulation trial (TEST-III). **Journal of Osteoporosis**, v. 2015, 2015.

WARREN, G. L.; LOWE, D. A.; ARMSTRONG, R. B. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. **Sports Medicine**, v. 27, n. 1, p. 43–59, 1999.

WITTMANN, K. et al. Impact of whole body electromyostimulation on cardiometabolic risk factors in older women with sarcopenic obesity: The randomized controlled FORMOsA-sarcopenic obesity study. **Clinical Interventions in Aging**, v. 11, p. 1697–1706, 2016.

6 ARTIGO 2

Impacto da eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro nos aspectos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos de homens idosos: Um estudo piloto.

Título em inglês: Impact of whole body electromyostimulation on ventilatory, cardiocirculatory and metabolic factors in older men: a pilot study.

Autores e instituições:

Matheus Elias Ferrareze¹, Samuel Munhoz¹, Murillo Frazão¹, Francimar Ferrari Ramos¹ e Alexandre Simões Dias¹

¹ Programa de Pós Graduação em Ciências do Movimento Humano - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, BRASIL.

Instituição e endereço onde o trabalho foi realizado:

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola Superior de Educação Física, Fisioterapia e Dança - ESEFID
Rua Felizardo, 750. Bairro Jardim Botânico. Porto Alegre, RS, Brasil. CEP: 90690-200.

Autor correspondente:

Matheus Elias Ferrareze

Rua Domingos Crescêncio, 965, apto 303, Bairro Santana

Porto Alegre – RS / CEP 90650-090

Tel: +55 51 998324241 E-mail: matferrareze@hotmail.com

RESUMO

Introdução: O baixo nível de atividade física e um estilo de vida sedentário prevalecem cada vez mais na sociedade atual, afetando, especialmente, a população de mais idade. Neste contexto, estudos têm demonstrado que a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (WB-EMS) pode produzir respostas fisiológicas positivas e ser uma opção interessante para populações com alguma resistência aos exercícios convencionais.

Objetivo: Assim, o objetivo do estudo foi descrever o impacto da WB-EMS nos aspectos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos em homens idosos.

Metodologia: Estudo descritivo, do tipo experimental não controlado. Amostra composta por 7 homens idosos inativos fisicamente e sem experiência prévia com WB-EMS. Variáveis ventilatórias, cardiocirculatórias e metabólicas foram determinadas usando um sistema de ergoespirometria de circuito aberto por analisador de gases (*Quark CPET®*, COSMED, Itália) e uma faixa telemétrica (*S610, Polar Electro Oy, Finland*) nos momentos pré-intervenção (Pré), seguido do momento de ativação da WB-EMS sem movimentos voluntários (Eletro), da primeira série de movimentos voluntários associados com WB-EMS (E+M1), da segunda série de movimentos associados com WB-EMS (E+M2), da terceira série (E+M3), e de três momentos em repouso após a intervenção com duração de 10 minutos cada (Pós1; Pós2; Pós3).

Resultados: Foram observados incrementos significativos já no momento Eletro quando comparado com o momento Pré em todas as variáveis ($p < 0,001$), com exceção do volume corrente (VT) que só aumenta no momento E+M1 ($p < 0,001$) e do consumo de carboidratos (CHO) que diminui no momento Eletro quando comparado com o Pré ($p < 0,05$). Quando os movimentos voluntários são associados, todas as variáveis aumentam significativamente em relação ao momento Pré ($p < 0,001$) e, com exceção da frequência respiratória (RF) e do consumo de gordura (FAT), também aumentam significativamente em relação ao momento Eletro ($p < 0,001$).

Considerações Finais: Esses resultados sugerem que a adição do uso de WB-EMS pode aumentar significativamente a demanda cardiometabólica de sujeitos idosos.

Palavras-chave: Idosos; Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro; Variáveis Cardiometabólicas.

ABSTRACT

Introduction: The low level of physical activity and a sedentary lifestyle are increasingly prevalent in today's society, especially affecting the older population. In this context, studies have shown that whole body electrostimulation (WB-EMS) can produce positive physiological responses and be an interesting option for populations with some resistance to conventional exercises.

Objective: The aim of the study was to describe the impact of WB-EMS on ventilatory, cardiocirculatory and metabolic aspects in elderly men.

Methodology: Descriptive, uncontrolled experimental type study. Sample composed of 7 elderly men physically inactive and without previous experience with WB-EMS. Ventilatory, cardiocirculatory and metabolic variables were determined using an open circuit ergospirometry system using a gas analyzer (Quark CPET[®], COSMED, Italy) and a telemetric range (S610, Polar Electro Oy, Finland) in the pre-intervention moments (Pré), followed by the moment of activation of the WB-EMS without voluntary movements (Eletro), the first series of voluntary movements associated with WB-EMS (E+M1), the second series of movements associated with WB-EMS (E+M2), third series (E+M3), and the three moments at rest after the intervention (Pós1; Pós2; Pós3).

Results: Significant increases were already observed at the Eletro moment when compared to the Pré moment in all variables ($p < 0,001$), except for the tidal volume (VT) which only increases at the E+M1 ($p < 0,001$) moment and the carbohydrate consumption (CHO) which decreases at the Eletro moment when compared to Pré ($p < 0,05$). When voluntary movements are associated, all variables increase significantly in relation to the Pré ($p < 0,001$) moment and those, with the exception of respiratory rate (RF) and fat consumption (FAT), also significantly increase in relation to the Eletro moment ($p < 0,001$).

Final Considerations: These results suggest that the addition of the use of WB-EMS may increase the cardiometabolic demand of elderly subjects.

Keywords: Elderly; Whole Body Electromiostimulation; Cardiometabolic variables.

INTRODUÇÃO

A população mundial está envelhecendo. De acordo com o *World Population Prospects 2019* (UNITED NATIONS, 2019), em 2050, um em cada seis pessoas no mundo terá mais de 65 anos, contra um em 11 em 2019. A maioria das nações do mundo deverá passar por um envelhecimento populacional rápido e o desafio atual é manter os idosos de forma independente e funcional até o final da vida (SEALS et al., 2016)

Os problemas de saúde enfrentados por essa população são frequentemente associados a condições crônicas que poderiam ser prevenidas ou retardadas por meio do envolvimento em comportamentos saudáveis ao longo da vida (BOOTH et al., 2014; MCPHEE et al., 2016; SEALS et al., 2016). A atividade física e o exercício são indiscutivelmente o agente terapêutico mais abrangente para uma sociedade em processo de envelhecimento e fundamentalmente sedentária. Há um consenso na literatura atual de que o exercício afeta positivamente a maioria, senão todos, os fatores de risco para doenças e condições incapacitantes de meia idade e idade avançada (PEDERSEN; SALTIN, 2006), podendo, ainda, reverter parcialmente os efeitos do envelhecimento nas funções fisiológicas e preservar a reserva funcional do idoso (GALLOZA et al., 2017). Porém, o baixo nível de atividade física e um estilo de vida sedentário prevalecem cada vez mais na sociedade atual, afetando, especialmente, a população de mais idade (PNAD, 2017). Devido à restrições de tempo, falta de motivação ou limitações físicas, um grande número de idosos não quer ou não pode realizar exercícios convencionais (KEMMLER; VON STENGEL, 2012; RODRIGUES et al., 2017).

Neste contexto, estudos têm demonstrado que a eletroestimulação neuromuscular (NMES) de baixa frequência (4Hz), realizada em músculos dos membros inferiores sem carga externa, pode produzir uma resposta fisiológica, de forma aguda, semelhante ao exercício aeróbico em intensidades leves a moderadas em adultos saudáveis (BANERJEE et al., 2005a). Isso sugere possíveis aplicações da NMES em populações parcialmente incapazes ou com dificuldades de participar de exercícios físicos voluntários para a promoção da saúde e aptidão física.

Da mesma forma, a NMES com maior frequência e intensidade que, classicamente, é utilizada para fins de fortalecimento muscular periférica em ambientes de reabilitação (DOUCET et al., 2012; MAFFIULETTI et al., 2018) também parece ser capaz de estimular uma resposta fisiológica aguda consistente com o exercício cardiovascular (THEUREL et al., 2007). Vanderthommen et al., (2002) demonstraram que a aplicação de NMES em alta frequência (50 Hz) pode causar maior demanda metabólica do que ações musculares voluntárias, possivelmente devido a níveis mais elevados de fluxo sanguíneo local e consumo de oxigênio em comparação com contrações voluntárias de mesma intensidade. Essas diferenças têm sido atribuídas principalmente ao padrão específico de recrutamento de unidades motoras imposto pela NMES, ou seja, não seletivo, que permite que unidades motoras rápidas sejam ativadas em níveis de força mais baixos, padrão de recrutamento espacialmente fixado e sincrônico (GREGORY; BICKEL, 2005).

Considerando estes achados e pela característica de recrutar grande volume muscular ao mesmo tempo, a eletroestimulação de corpo inteiro (WB-EMS) se torna uma possibilidade nova e interessante. Baseada nos princípios da NMES, mas sendo possível abordar até dez grupamentos musculares de forma simultânea, com intensidades específicas e combinação de contrações musculares ativas e passivas (KEMMLER; VON STENGEL, 2012), hipoteticamente, poderia apresentar resultados tão ou mais interessantes do que a NMES, considerando o incremento de trabalho em variáveis respiratórias e cardiometabólicas.

De fato, considerando o volume baixo de exercícios, a baixa frequência semanal proposta, a baixa intensidade voluntária e o alto grau de supervisão e individualização que normalmente é observado nos centros que utilizam essa tecnologia; a WB-EMS pode atrair pessoas com baixa afinidade aos programas de exercícios convencionais e ser uma opção interessante na expectativa de manutenção e/ou melhora da saúde e condicionamento físico (PANO-RODRIGUEZ et al., 2019).

No entanto, existe uma lacuna considerável na literatura a respeito dos efeitos agudos induzidos pela eletroestimulação de corpo inteiro especialmente em idosos. Assim, o presente estudo tem o objetivo de descrever o impacto da

eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro nos aspectos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos em homens idosos.

MÉTODOS

DELINEAMENTO DO ESTUDO

Foi realizado um estudo descritivo, do tipo experimental não controlado, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (nº 3.585.519) e todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido antes do início dos testes.

CRITÉRIO DE ELEGIBILIDADE

Foram considerados elegíveis para o estudo indivíduos sedentários do sexo masculino, com mais de 60 anos, sem treinamento físico de forma sistemática por, pelo menos, 3 meses anteriores ao estudo, sem nenhum tipo de experiência com eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro, sem comprometimento cardíaco ou pulmonar e que não realizassem nenhum tratamento medicamentoso que pudesse interferir nas variáveis do estudo. Além disso, os sujeitos deveriam estar aptos a realizar todos os testes do estudo e, para isso, realizar um teste pré-estudo que consistia na execução de 3 movimentos de agachamento livre, até 90° de flexão dos joelhos, sem o relato de dor, a fim de garantir que os movimentos do protocolo de intervenção pudessem ser realizados na mesma amplitude por todos da amostra.

Excluídos todos os participantes que apresentaram contraindicações absolutas e/ou relativas à realização dos testes e intervenções e aqueles com dificuldade de compreensão e execução dos procedimentos propostos.

SELEÇÃO E LOCAL DO ESTUDO

Os participantes foram selecionados de forma aleatória, após divulgação da pesquisa em grupos de encontro de idosos por meio de cartazes, convite formal com a presença do pesquisador e em redes sociais. Todos os testes foram realizados no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) na UFRGS no período de outubro de 2019 a março de 2020.

PROCEDIMENTOS, TESTES E TÉCNICAS

Massa, Estatura e Índice de massa corporal (IMC)

A massa corporal foi mensurada por meio de balança antropométrica (Filizola®, São Paulo, Brasil; precisão de 100g) e a estatura medida por meio de um estadiômetro, com precisão de 5 mm, acoplado à balança. O IMC foi calculado por meio do coeficiente entre a massa corporal e a estatura dos indivíduos ao quadrado, e expresso em kg/m². Para a realização das medidas o indivíduo deveria manter-se relaxado, com os braços posicionados ao lado do corpo e os pés unidos, a fim de manter o padrão e evitar erros nas medidas.

Percepção Subjetiva de Esforço

A fim de avaliar a percepção subjetiva de esforço dos participantes do estudo após a intervenção, foi utilizada uma escala de classificação numérica (ECN). Imediatamente após os 20 minutos de intervenção foi apresentado ao sujeito um quadro dividido em 11 colunas, numeradas de 0 a 10. As colunas numeradas de 0 a 2 representaram cansaço leve, de 3 a 7 cansaço moderado e de 8 a 10 cansaço intenso. Os indivíduos foram orientados a indicar qual a coluna que melhor representava sua percepção de cansaço naquele momento (GALLASCH; ALEXANDRE, 2007).

Aspectos Ventilatórios, Cardiocirculatórios e Metabólicos

As variáveis ventilatórias analisadas foram: (frequência respiratória - FR; volume corrente - VT; ventilação minuto - VE), as cardiocirculatórias (consumo de oxigênio - $\dot{V}O_2$; débito cardíaco - DC; diferença arteriovenosa - $a-v\dot{V}O_2$; frequência cardíaca - FC; pulso de oxigênio - pO_2) e metabólicas (consumo energético total - EEtot; consumo de gordura - FAT; consumo de carboidrato - CHO). Todas foram determinadas usando um sistema de ergoespirometria de circuito aberto por analisador de gases (*Quark CPET®*, COSMED, Itália). O analisador de gases foi ligado uma hora antes de cada teste para estabilização. Em seguida foi realizada a calibração manual dos gases.

Uma faixa telemétrica foi posicionada para monitorar continuamente a frequência cardíaca dos participantes (*S610, Polar Electro Oy, Finland*).

As variáveis ventilatórias, cardiocirculatórias e metabólicas foram avaliadas em 8 momentos distintos, são eles:

1. Pré - Registro das variáveis durante 10 minutos prévios à intervenção, com os sujeitos parados em pé;
2. Eletro - 0 a 5 minutos da intervenção, onde os sujeitos permaneciam parados em pé, na posição de "preparo" (figura 2.A) com o estímulo elétrico sendo realizado;
3. E+M1 - 5 a 10 minutos da intervenção, onde os sujeitos realizavam a primeira série da sequência de exercícios associados com o estímulo elétrico (figura 2.B);
4. E+M2 - 10 a 15 minutos da intervenção, onde os sujeitos realizavam a segunda série da sequência de exercícios associados com o estímulo elétrico (figura 2.B);
5. E+M3 - 15 a 20 minutos da intervenção, onde os sujeitos realizavam a terceira série da sequência de exercícios associados com o estímulo elétrico (figura 2.B);
6. Pós 1 - 0 a 10 minutos pós-intervenção, onde os sujeitos permaneciam em repouso, sentados (figura 2.C);
7. Pós 2 - 10 a 20 minutos pós-intervenção, onde os sujeitos permaneciam em repouso, sentados (figura 2.C);

8. Pós 3 – 20 a 30 minutos pós-intervenção, onde os sujeitos permaneciam em repouso, sentados (figura 2.C);

INTERVENÇÃO

Todos os participantes foram submetidos a uma sessão de 20 minutos de eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro associada a movimentos voluntários. Durante a intervenção, os indivíduos utilizaram o equipamento MIHA® (*Miha Bodytec – Augsburg, Alemanha*), onde oito grupos musculares foram estimulados eletricamente de forma simultânea: coxas, braços, glúteos, porção lombar, porção escapular, área do latíssimo do dorso, abdômen e peitoral (figura 1).

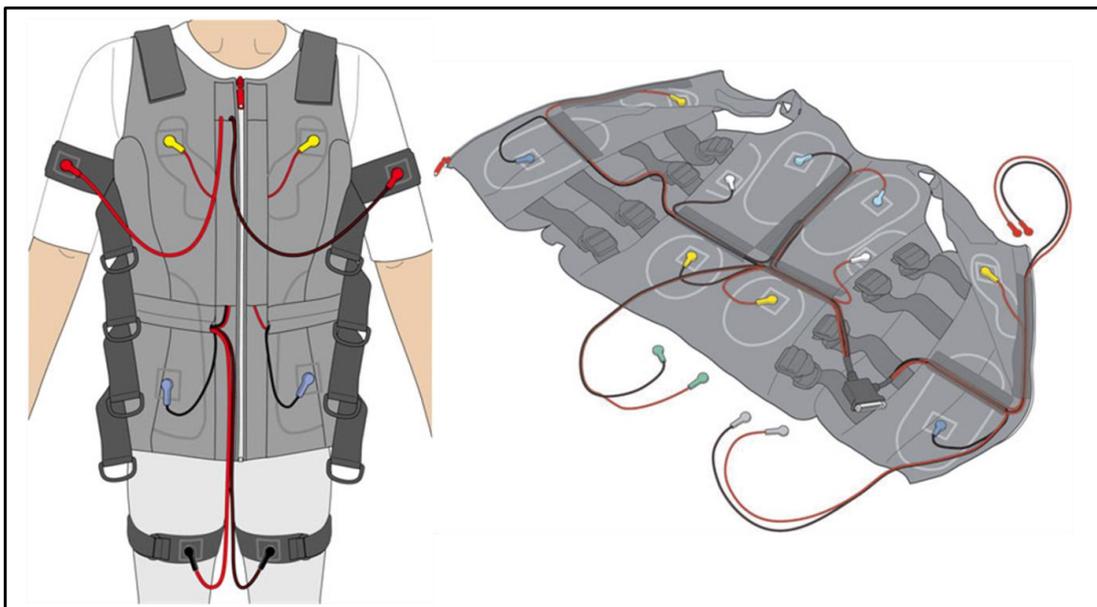


Figura 1. Representação da vestimenta utilizada para eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (*miha Bodytec – Augsburg, Alemanha*).

Foi aplicada uma corrente de baixa frequência com onda quadrada, pulsada, bifásica e simétrica, em uma frequência de 85 Hz e 350 μ s de largura de pulso, com 4 segundos de tempo ON, 4 segundos de tempo OFF e uma rampa de subida de 0,4 segundos (tabela 1).

Tabela 1. Protocolo de WB-EMS utilizado no estudo.

PARÂMETROS	PROTOCOLO WB-EMS
Frequência de Pulso	85 Hz
Largura de Pulso	350 μ s
Tempo ON	4 s
Tempo OFF	4 s
Rampa de Subida	0,4 s
Duração Total	20 min

WB-EMS = Eletroestimulação Neuromuscular de Corpo Inteiro.

Juntamente com o estímulo elétrico, os sujeitos realizaram movimentos voluntários, de acordo com o protocolo do estudo, com cadência de movimento controlada por sinal luminoso do próprio equipamento de eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro.

A intervenção durou 20 minutos e foi realizada com os participantes na posição de pé, respeitando a seguinte sequência:

- 0 a 5 minutos – De pé, em posição de preparo (joelhos levemente flexionados e cotovelos flexionados em 45°), sem a realização de nenhum movimento voluntário, apenas o estímulo elétrico, na máxima intensidade tolerada por cada um dos voluntários (figura 2.A);

- 5 a 10 minutos – Primeira série da sequência de exercícios (tabela 2), associados com o estímulo elétrico (Figura 2.B):

- 10 a 15 minutos – Segunda série da sequência de exercícios (tabela 2), associados com o estímulo elétrico (Figura 2.B);

- 15 a 20 minutos – Terceira série da sequência de exercícios (tabela 2), associados com o estímulo elétrico (Figura 2.B).

Nos últimos 40 segundos de cada um dos momentos (0 a 5 min; 5 a 10 min; 10 a 15 min), os sujeitos não realizavam movimentos voluntários e a intensidade de todos os eletrodos foi ajustada, buscando atingir a máxima intensidade de estímulo elétrico tolerada em cada um dos oito pares de eletrodos, de acordo com escala de percepção subjetiva de esforço.

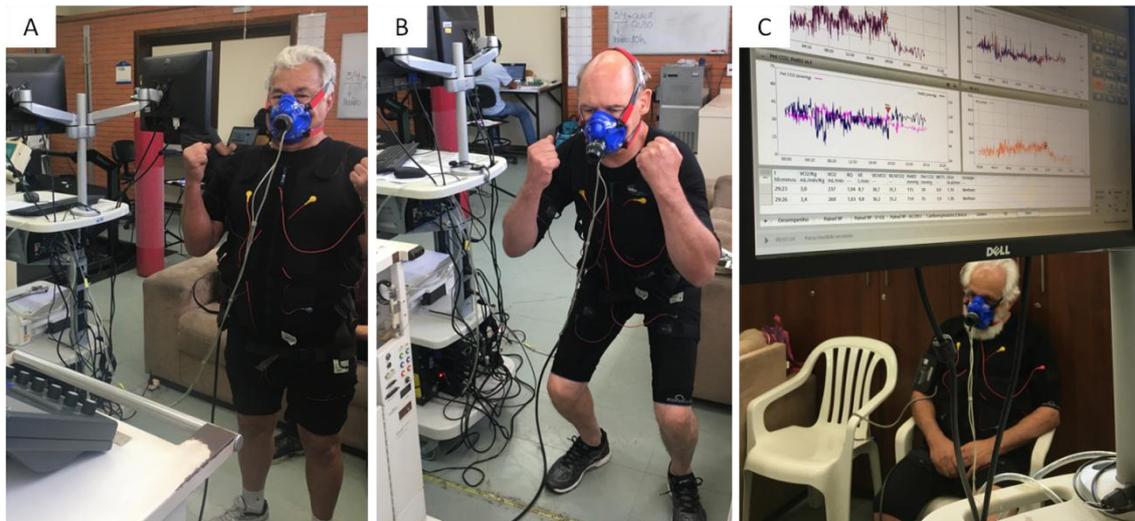


Figura 2. A. Voluntário em pé, em posição de preparo, realizando a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro, sem a realização de movimentos voluntários; B. Voluntário realizando o exercício agachamento, juntamente com a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro; C. Voluntário em repouso, pós-intervenção.

Tabela 2. Sequência de exercícios realizados na primeira, segunda e terceira séries de movimentos voluntários associados ao estímulo elétrico durante intervenção.

Repetições	Exercícios	Tempo total	Observação
8	Agachamento 90°	1,04 min	A descida do movimento era realizada em 4 segundos durante o tempo On; A subida do movimento era realizada em 4 segundos durante o tempo Off.
8	Flexão de tronco	1,04 min	A flexão do tronco era realizada em 4 segundos durante o tempo On; A extensão do tronco era realizada em 4 segundos durante o tempo Off.
8	Flexão e extensão lateral de ombros	1,04 min	A flexão era realizada em 4 segundos durante o tempo On; A extensão era realizado durante 4 segundos no tempo On seguinte.
8	Flexão e extensão de cotovelos	1,04 min	A flexão e a extensão eram realizadas em 2 segundos cada, a cada tempo On;

ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis foram descritas por média e erro padrão e comparadas ao longo do tempo pelo Modelo de Equações de Estimativas Generalizadas (GEE) complementada pelo teste *Least Significant Difference* (LSD). O nível de significância adotado foi de 5% ($p < 0,05$) e as análises foram realizadas no programa SPSS versão 21.0.

RESULTADOS

Quatorze participantes foram inicialmente recrutados para a coleta dos dados, entretanto, apenas 10 concluíram todos os testes e, desses, somente sete foram descritos no estudo. Tanta perda amostral está diretamente relacionada à necessidade de isolamento social devido a pandemia da COVID-19.

A tabela 3 mostra as características referentes à idade, composição corporal e percepção subjetiva do esforço dos participantes do estudo.

Tabela 3. Características dos participantes avaliados no estudo. (Média \pm DP; n = 7).

VARIÁVEL	MÉDIA \pm DP
Idade (anos)	69,1 \pm 7,12
Massa (kg)	79,46 \pm 8,26
Estatura (m)	1,73 \pm 0,08
IMC (kg/m ²)	26,67 \pm 3,67
PSE	7,71 \pm 0,49

IMC = Índice de Massa Corporal; DP = Desvio Padrão; PSE – Percepção subjetiva de esforço.

Com relação aos aspectos ventilatórios, quando avaliada a variável Frequência Respiratória (RF) foi observada diferença quando comparado os momentos Eletro, E+M1, E+M2, E+M3 e Pós 1 ($p < 0,001$) apresentando valores significativamente maiores do que o momento Pré (figura 3.a). Da mesma

forma, na Ventilação Minuto (VE), notou-se valores significativamente maiores nos momentos Eletro, E+M1, E+M2, E+M3 e Pós 1 quando comparados com o momento Pré ($p < 0,001$). Além dessas diferenças, foi observado também que os valores avaliados nos momentos E+M1, E+M2 e E+M3 foram significativamente maiores do que o momento Eletro que foi maior do que os momentos Pós 2 e Pós 3 ($p < 0,001$) (figura 3.b). Já para a variável Volume Corrente (VT), somente os momentos E+M1, E+M2, E+M3 e Pós 1 diferiram do momento Pré e do momento Eletro ($p < 0,001$) (figura 3.c).

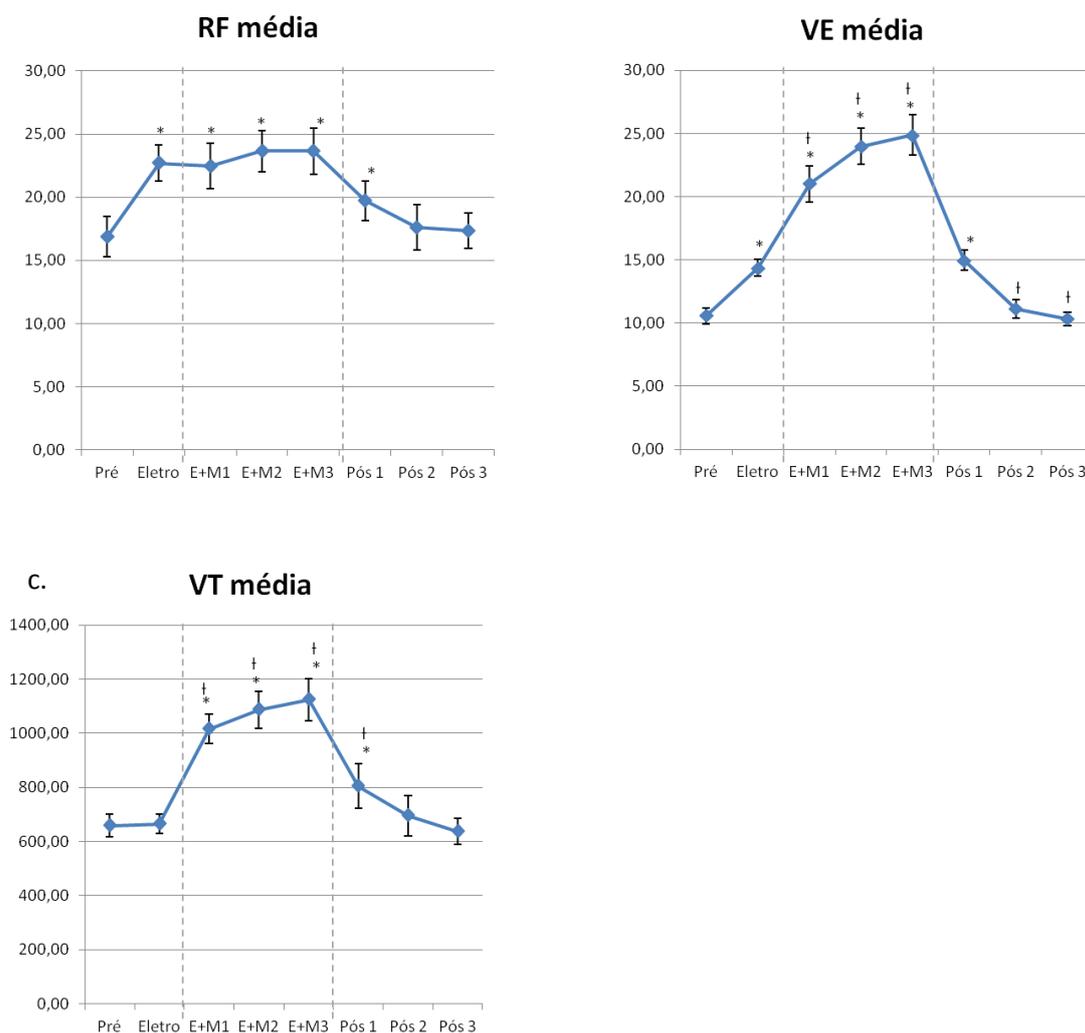


Figura 3. Frequência Respiratória média (RF)(a), Ventilação Minuto média (VE)(b) e Volume Corrente médio (VT)(c) nos momentos Pré, Eletro, E+M1, E+M2, E+M3, Pós1, Pós2 e Pós3. * indica diferença significativa comparada com o momento Pré ($p < 0,001$); † indica diferença significativa comparada com o momento Eletro ($p < 0,001$). Os valores representados são média±EP.

Referente aos aspectos cardiocirculatórios, o Débito Cardíaco (DC) apresentou valores significativamente maiores do que o momento Pré nos momentos Eletro, E+M1, E+M2, E+M3 e Pós 1 ($p < 0,001$). Já em relação ao momento Eletro, foram observados valores maiores nos momentos E+M1, E+M2, E+M3, além de valores significativamente menores nos momentos Pós 2 e Pós 3 ($P < 0,001$) (figura 4.a). Quando avaliada a Diferença Arteriovenosa (a-vO₂) ($p < 0,001$) (figura 4.b), a Frequência Cardíaca (FC) ($p < 0,001$) (figura 4.c), o Pulso de Oxigênio (pO₂) ($p < 0,001$) (figura 4.d) e o Consumo de Oxigênio (VO₂) ($p < 0,001$) (figura 4.e), os mesmos padrões de diferenças foram encontrados, onde os momentos Eletro, E+M1, E+M2, E+M3 e Pós 1 diferiram do momento Pré apresentando valores significativamente maiores e o momento Eletro foi significativamente menor que os momentos E+M1, E+M2, E+M3 ($p < 0,001$) e significativamente maior que os momentos Pós 2 e Pós 3 ($p < 0,001$).

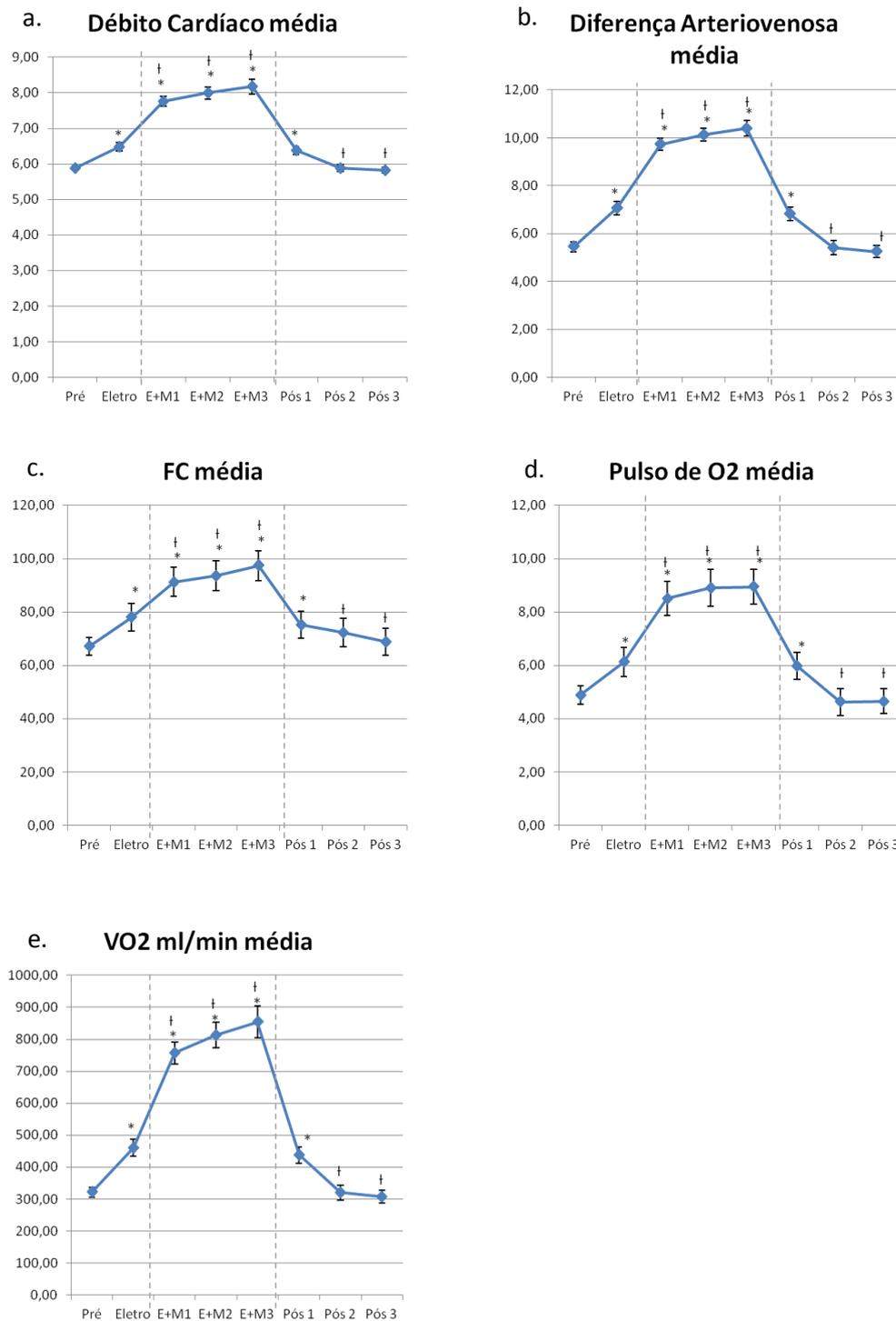


Figura 4. Débito Cardíaco médio (DC)(a), Diferença Arteriovenosa de Oxigênio média (a-vO₂)(b), Frequência Cardíaca média (FC)(c), Pulso de Oxigênio médio (pO₂)(d) e Consumo de Oxigênio médio (VO₂)(e) nos momentos Pré, Eletro, E+M1, E+M2, E+M3, Pós1, Pós2 e Pós3. * indica diferença significativa comparada com o momento Pré (p<0,001); † indica diferença significativa comparada com o momento Eletro (p<0,001). Os valores representados são média±EP.

Considerando os aspectos metabólicos, o Consumo Energético médio (EE_m) apresentou valores significativamente maiores nos momentos Eletro, E+M1, E+M2, E+M3 e Pós 1 em relação ao momento Pré (p<0,001). Já o

momento Eletro foi significativamente menor que os momentos E+M1, E+M2, E+M3 e significativamente maior que os momentos Pós 2 e Pós 3 ($p < 0,001$) (figura 5.a). Quanto ao Consumo Energético Total (EEtot), todos os momentos apresentaram resultados significativamente maiores que o momento Pré e que o momento Eletro, com exceção dos resultados do próprio momento Eletro que foram significativamente menores que o momento pré ($p < 0,001$) (figura 5.b). Quando avaliado o Consumo de Gordura (FAT) foi possível observar uma diferença significativa entre os momentos Eletro e Pós 3 ($p < 0,05$) apresentando resultados maiores quando comparado ao momento Pré, além de uma diferença significativa entre os momentos E+M2, E+M3, Pós 1 e Pós 2 com valores menores quando comparados com o momento Eletro ($p < 0,001$) (figura 5.c). De forma inversa ao que foi visto no FAT, o Consumo de Carboidrato (CHO) apresentou valores significativamente menores nos momentos Eletro e Pós 3 quando comparados com o momento Pré ($p < 0,05$) e valores maiores para os momentos E+M2, E+M3, Pós 1 e Pós 2 quando comparados com o momento Eletro ($p < 0,001$) (figura 5.d).

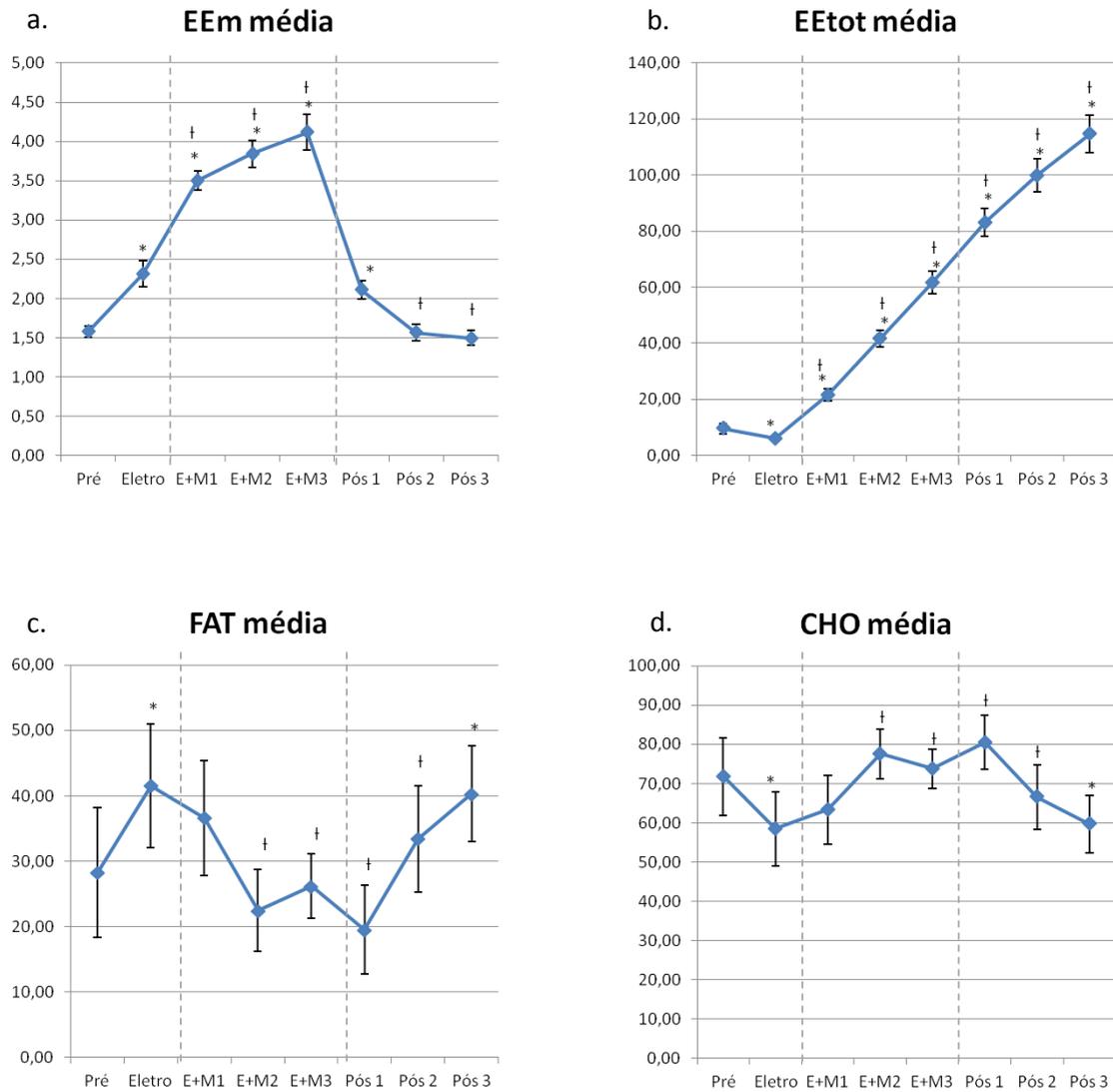


Figura 5. Consumo energético Minuto médio (EEm)(a), Consumo Energético Total médio (EEtot)(b), Consumo de Gordura médio (FAT)(c) e Consumo de Carboidrato médio (CHO)(d) nos momentos Pré, Eletro, E+M1, E+M2, E+M3, Pós1, Pós2 e Pós3. * indica diferença significativa comparada com o momento Pré ($p < 0,001$); † indica diferença significativa comparada com o momento Eletro ($p < 0,001$). Os valores representados são média \pm EP.

DISCUSSÃO

Até o momento, nenhum estudo de pesquisa determinou especificamente quais são os efeitos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos da WB-EMS, com e sem a realização de movimentos voluntários associados.

Assim, nessa série de casos foi possível demonstrar que homens idosos submetidos à eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro apresentaram uma percepção de esforço moderada a intensa ($7,71 \pm 0,49$) após intervenção, mesmo que tenham sido realizados movimentos relativamente simples, de forma lenta e sem nenhuma carga extra além do peso corporal e dos estímulos elétricos. Esse resultado indica que a intervenção com WB-EMS, associada à movimentos voluntários, durante 20 minutos, constitui uma atividade física que exige uma maior demanda metabólica, semelhante ao observado em estudos prévios como no apresentado por Boccia et al., (2017) onde foram avaliados 10 jovens (23 ± 2 anos), moderadamente treinados, durante intervenções com WB-EMS associada com exercícios com peso corporal (5 exercícios), com duração total de apenas 15 minutos, e foi observado que a intervenção resultou em uma atividade vigorosa (6,6 MET) para os sujeitos.

No presente estudo observou-se também o impacto sobre as variáveis ventilatórias onde a FR apresentou um aumento de 25,74% ($p < 0,001$) a partir da ativação da WB-EMS e manteve-se aumentada durante o início dos movimentos voluntários. Já o VT demonstrou aumento apenas quando as séries de movimentos voluntários iniciaram. Considerando a VE ($VE = VT \times FR$) que é a resultante dessas duas variáveis, e o fato dela ter apresentado um incremento significativo nos seus valores já no momento Eletro (somente WB-EMS, sem a realização de movimentos voluntários), entende-se que esse pronto aumento tenha sido em função da subida da FR. O aumento importante da ventilação, já no início da intervenção, pode estar associado aos produtos do metabolismo em função do recrutamento prioritário de fibras do tipo 2, que é observado em contrações evocadas por estímulos elétricos, em função de um padrão específico de recrutamento de unidades motoras imposto pela

tecnologia, ou seja, não seletivo, espacialmente fixado e sincrônico (GREGORY; BICKEL, 2005). Além disso, quimiorreceptores, em função da demanda metabólica aumentada e mecanorreceptores e nociceptores, a partir de um estímulo aferente, também podem estar estimulando o aumento da ventilação (LAHIRI; FORSTER, 2003).

A realização do exercício produz modificações na dinâmica respiratória que se traduzem em taquipneia e hiperpneia (aumento na frequência e na amplitude respiratória, respectivamente) com isso, pretende-se satisfazer às grandes necessidades de O_2 existentes durante a atividade física. A regulação da respiração durante o exercício é o resultado da combinação de fatores neurais e químicos (BOGAARD et al., 1997).

Sobre o impacto do exercício nas variáveis cardiocirculatórias, no presente estudo, foi observado um comportamento onde o DC, FC, a- VO_2 , pO_2 e VO_2 estiveram aumentados desde o momento Eletro até 10 minutos Pós intervenção. Em função de uma demanda metabólica aumentada, o DC se elevou com a intenção de aumentar a oferta de oxigênio para o tecido muscular e retirar o gás carbônico. Considerando que o DC é a multiplicação da FC pelo volume sistólico ($DC = FC \times pO_2$), parte desse aumento pode ser explicado por cada uma dessas variáveis. Pela elevação da FC que, para suprir o aumento da demanda metabólica, foi estimulada a partir de um incremento da atividade simpática e, da mesma forma, pelo PO_2 que também aumenta a fim de elevar o DC. Uma vez que a FC e o volume sistólico aumentam, o DC se eleva, consequentemente impactando no incremento do VO_2 (BOGAARD et al., 1997).

Dessa forma, entendendo que o VO_2 é a resultante do DC multiplicado pela a- VO_2 ($VO_2 = DC \times a-VO_2$), e a a- VO_2 também teve seus valores elevados durante a intervenção, pressupõe-se que tanto o DC quanto a a- VO_2 impactaram para que o VO_2 aumentasse.

A a- VO_2 é a variável que reflete a extração de oxigênio pelo músculo em função da atividade metabólica do tecido muscular. Alguns fatores que explicariam o ocorrido no atual estudo são o aumento nos níveis de desoxihemoglobina (hemoglobina sem o O_2) e a redução dos níveis de oxihemoglobina (hemoglobina com O_2), pois o oxigênio foi extraído pelo tecido muscular; Outro fator seria o efeito BOHR, por conta do aumento da

temperatura muscular (com a mudança de temperatura existe uma alteração na afinidade com a hemoglobina facilitando sua extração); E o aumento da vasodilatação no sentido das artérias irrigarem o músculo, levando mais oxigênio que acabará sendo extraído.

Esse comportamento foi esperado, visto que a realização de qualquer exercício físico pressupõe o estabelecimento de uma situação de sobrecarga para o sistema cardiocirculatório. Sabe-se que no início e até imediatamente antes de começar qualquer atividade física ocorrem alterações cardiovasculares agudas a partir dos centros nervosos que proporcionam um aumento significativo na frequência e na força de bombeamento do coração, bem como promovem alterações no fluxo sanguíneo, que são proporcionais à intensidade do exercício (THOMAS; SEGAL, 2004).

Considerando as variáveis metabólicas, os resultados do presente estudo indicaram que a adição da ativação muscular pela utilização de WB-EMS aumentou significativamente a demanda metabólica em repouso e quando adicionada a movimentos voluntários controlados, esse aumento foi ainda mais expressivo. A partir do início da WB-EMS o consumo energético (EE_m) aumentou em 31,9% ($p < 0,001$) em relação ao repouso. Após a adição de séries de movimentos voluntários, o incremento da demanda metabólica seguiu aumentando em relação ao repouso; 54,9% ($p < 0,001$) na primeira série, 58,9% ($p < 0,001$) na segunda série e 61,7% ($p < 0,001$) na terceira série. Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores que mostram que a ativação de grandes músculos de membros inferiores via NMES aumentou significativamente as respostas metabólicas e cardiovasculares durante e após o período de ativação (BANERJEE et al., 2005b, 2005a, 2009; CROWE; CAULFIELD, 2011). Como consequência, a utilização de gordura (FAT) como substrato energético durante o período Eletro aumentou significativamente ($p < 0,001$) enquanto que o uso de carboidratos (CHO) diminuiu ($p < 0,001$). A FAT é utilizada prioritariamente durante a ativação das fibras tipo 1 ou 2^a, ou seja, para ela ser utilizada é preciso uma via oxidativa, por outro lado, o CHO é utilizado tanto na via oxidativa quanto glicolítica. Quando a WB-EMS é ligada, o uso de FAT aumenta e, a medida que o exercício vai sendo feito e a intensidade vai aumentando, as fibras de força vão sendo recrutadas cada vez mais e conseguimos observar uma inversão, onde o consumo da FAT como

substrato energético vai caindo e o CHO vai aumentando. Deixamos de usar mais a via oxidativa e passamos a usar mais a glicolítica. O interessante é que após o exercício ainda tem uma demanda metabólica mais glicolítica, e apenas depois de 10 minutos é que começa a se inverter a prioridade de utilização dos substratos energéticos. A atividade acumulada é maior, pois cada vez mais fibras de força (glicolíticas) estão sendo recrutadas.

Além dessas alterações observadas, também foi notado que o consumo energético total (EE_{tot}) segue sendo incrementado em todos os momentos da intervenção e, inclusive, nos momentos pós intervenção. Pelo fato de, mesmo após a atividade ter terminado, existe uma manutenção do consumo energético elevado, priorizando a via oxidativa, o que justificaria a recomendação para programas de emagrecimento. Esses achados são apoiados por dois estudos anteriores que mostram que a ativação dos estímulos elétricos de baixa frequência na musculatura de membros inferiores (sem a realização de movimentos voluntários associados) pode aumentar significativamente o consumo energético, a oxidação de carboidratos e a captação de glicose em todo o corpo, aumentando o metabolismo anaeróbio (HAMADA et al., 2003, 2004) e por um estudo semelhante ao estudo atual em termos do dispositivo tecnológico utilizado e das configurações dos parâmetros do estímulo elétrico, onde Kemmler et al., (2010) usaram uma frequência de estimulação de 85 Hz com um tempo ON de 4 s e com exercícios voluntários sendo realizados. O gasto energético medido por calorimetria indireta durante o exercício com e sem ativação da WB-EMS mostrou um consumo de energia significativamente maior em 17% durante a ativação da WB-EMS ($p = 0,008$).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até o momento, não há outros estudos que examinaram os efeitos da WB-EMS nas propriedades ventilatórias, cardiocirculatórias e metabólicas de sujeitos idosos. No entanto, esses resultados sugerem que a adição do uso de WB-EMS pode aumentar a demanda cardiometabólica de sujeitos idosos.

É importante levarmos em consideração essas particularidades apresentadas pelo organismo dos sujeitos idosos, em que o correto entendimento dos aspectos ventilatórios, cardiocirculatórios e metabólicos, durante a utilização de WB-EMS é de suma importância para uma correta utilização. Dessa forma, um programa de treinamento físico baseado na utilização dessa tecnologia para a população idosa merece atenção e cuidados em sua formulação.

Estudos futuros devem determinar se o uso crônico de WB-EMS adicionada ou não de um programa de exercícios voluntários para população idosa pode aumentar significativamente as adaptações positivas sobre a função cardiometabólica como normalmente observadas durante o treinamento aeróbico ou de resistência.

LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Existem certas limitações no estudo que podem ser levadas em consideração. Primeiramente, o n avaliado pode ser aumentado com a intenção de verificar resultados com menor variabilidade e maior significância; E a inclusão de um grupo controle facilitaria a análise sobre os efeitos reais provocados pela utilização da tecnologia.

CONFORMIDADE COM OS PADRÕES ÉTICOS

CONFLITO DE INTERESSE - O autor está ciente de potencial conflito de interesse por possuir empresa que utiliza a mesma tecnologia do estudo e por ter recebido remuneração por cursos e palestras ministrados para a empresa fabricante do equipamento miha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANERJEE, P. et al. Electrical stimulation of unloaded muscles causes cardiovascular exercise by increasing oxygen demand. **European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation**, v. 12, n. 5, p. 503–508, 2005a.

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, 2005b.

BANERJEE, P. et al. Prolonged Electrical Muscle Stimulation Exercise Improves Strength, Peak VO₂, and Exercise Capacity in Patients With Stable Chronic Heart Failure. **Journal of Cardiac Failure**, v. 15, n. 4, p. 319–326, 2009.

BOCCIA, G. et al. Oxygen consumption and muscle fatigue induced by whole-body electromyostimulation compared to equal-duration body weight circuit training. **Sport Sciences for Health**, v. 13, n. 1, p. 121–130, 2017.

BOGAARD, H. J. et al. Haemodynamic response to exercise in healthy young and elderly subjects. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 5, p. 435–442, 1997.

BOOTH, F. W.; ROBERTS, C. K.; LAYE, M. J. Lack of exercise and chronic disease. **Proceedings of the Ninth Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures**, v. 5, n. 2, p. 159–169, 2014.

CROWE, L.; CAULFIELD, B. Pushing out the limits of electrical stimulation. A case study in the aggressive use of an alternative to voluntary exercise. **BMJ Case Reports**, p. 1–7, 2011.

DOUCET, B. M.; LAM, A.; GRIFFIN, L. Neuromuscular Electrical Stimulation for Skeletal Muscle Function. **Yale Journal of Biology and Medicine**, v. 85, n. 2, p. 201–215, 2012.

GALLASCH, C. H.; ALEXANDRE, N. M. C. The measurement of musculoskeletal pain intensity: a comparison of four methods. **Revista gaúcha de enfermagem / EENFUFGRS**, v. 28, n. 2, p. 260–265, 2007.

GALLOZA, J.; CASTILLO, B.; MICHEO, W. Benefits of Exercise in the Older Population. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America**, v. 28, n. 4, p. 659–669, 2017.

GREGORY, C. M.; BICKEL, C. S. Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. **Physical Therapy**, v. 85, n. 4, p. 358–364, 2005.

HAMADA, T. et al. Enhancement of whole body glucose uptake during and after human skeletal muscle low-frequency electrical stimulation. **Journal of Applied**

Physiology, v. 94, n. 6, p. 2107–2112, 2003.

HAMADA, T. et al. Electrical stimulation of human lower extremities enhances energy consumption, carbohydrate oxidation, and whole body glucose uptake. **Journal of Applied Physiology**, v. 96, n. 3, p. 911–916, 2004.

KEMMLER, W. et al. Effects of whole-body electromyostimulation on resting metabolic rate, body composition, and maximum strength in postmenopausal women: The training and electrostimulation trial. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 7, p. 1880–1887, 2010.

KEMMLER, W.; VON STENGEL, S. Alternative exercise technologies to fight against sarcopenia at old age: A series of studies and review. **Journal of Aging Research**, v. 2012, 2012.

LAHIRI, S.; FORSTER, R. E. CO₂/H⁺ sensing: Peripheral and central chemoreception. **International Journal of Biochemistry and Cell Biology**, v. 35, n. 10, p. 1413–1435, 2003.

MAFFIULETTI, N. A. et al. Clinical Use of Neuromuscular Electrical Stimulation for Neuromuscular Rehabilitation: What Are We Overlooking? **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 99, n. 4, p. 806–812, 2018.

MCPHEE, J. S. et al. Physical activity in older age: perspectives for healthy ageing and frailty. **Biogerontology**, v. 17, n. 3, p. 567–580, 2016.

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, 2019.

PEDERSEN, B. K.; SALTIN, B. Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 16, n. SUPPL. 1, p. 3–63, 2006.

RODRIGUES, I. B. et al. Facilitators and barriers to exercise adherence in patients with osteopenia and osteoporosis: a systematic review. **Osteoporosis International**, v. 28, n. 3, p. 735–745, 2017.

SEALS, D. R.; JUSTICE, J. N.; LARocca, T. J. Physiological geroscience: Targeting function to increase healthspan and achieve optimal longevity. **Journal of Physiology**, v. 594, n. 8, p. 2001–2024, 2016.

THEUREL, J. et al. Differences in cardiorespiratory and neuromuscular responses between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris muscle. **Respiratory Physiology and Neurobiology**, v. 157, n. 2–3, p. 341–347, 2007.

THOMAS, G. D.; SEGAL, S. S. Neural control of muscle blood flow during exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 97, n. 2, p. 731–738, 2004.

UNITED NATIONS, WORLD POPULATION AGEING, 2019. **World Population Ageing 2019**. [s.l.: s.n.].

VANDERTHOMMEN, M. et al. Blood flow variation in human muscle during

electrically stimulated exercise bouts. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 83, n. 7, p. 936–941, 2002.

7 CONCLUSÕES GERAIS

A partir da realização dessa tese pode-se concluir que:

O uso da eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro em musculaturas com comprimento muscular reduzido, associada a poucos movimentos e realizados de forma lenta, parece minimizar a ocorrência de dano muscular e pode contribuir para adaptações neuromusculares apesar da mínima ou ausência de alteração nos tecidos musculares. Portanto, eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro realizada com essas características parece ser de maior interesse para a utilização com a população idosa, condicionada ou não.

Os resultados encontrados sugerem ainda que a adição do uso de eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro pode aumentar a demanda cardiometabólica de sujeitos idosos.

Dessa forma, um programa de treinamento físico baseado na utilização dessa tecnologia torna-se uma opção interessante para a população idosa, entretanto, deve-se ressaltar que o uso generalizado requer evidências ainda mais detalhadas sobre outros mecanismos subjacentes e possíveis efeitos negativos aos outros sistemas.