



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS-UFAM
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA E FISIOTERAPIA- FEFF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO-
PPGCiMH

ELLEM NARA TANANTA DANTAS

**EFEITO AGUDO DA ESTIMULAÇÃO TRANSESPINHAL POR
CORRENTE CONTÍNUA NA FORÇA E RESISTÊNCIA MUSCULAR
VENTILATÓRIA EM JOVENS E EM PESSOAS IDOSAS: UM ESTUDO
CONTROLADO RANDOMIZADO.**

MANAUS-AM
2025

ELLEM NARA TANANTA DANTAS

**EFEITO AGUDO DA ESTIMULAÇÃO TRANSESPINHAL POR
CORRENTE CONTÍNUA NA FORÇA E RESISTÊNCIA MUSCULAR
VENTILATÓRIA EM JOVENS E EM PESSOAS IDOSAS: UM ESTUDO
CONTROLADO RANDOMIZADO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Área de concentração: Biodinâmica do Movimento Humano

Linha de pesquisa: Avaliação e recuperação funcional

Orientador: Prof. Dr. Renato Campos Freire Júnior

MANAUS-AM
2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

-
- D192e Dantas, Ellem Nara Tananta
 Efeito agudo da estimulação transespinal por corrente contínua na força e resistência muscular ventilatória em jovens e em pessoas idosas: um estudo controlado randomizado. / Ellem Nara Tananta Dantas. - 2025.
 47 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Renato Campos Freire Júnior.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Manaus, 2025.
1. Estimulação por Corrente Contínua. 2. Estimulação da Medula Espinal. 3. Idoso. 4. Adulto Jovem. 5. Força muscular respiratória. I. Freire Júnior, Renato Campos. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano. III. Título
-

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS-UFAM
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA E FISIOTERAPIA- FEFF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO-
PPGCIMH**

Dissertação intitulado (a)

**EFEITO AGUDO DA ESTIMULAÇÃO TRANSESPINHAL POR
CORRENTE CONTÍNUA NA FORÇA E RESISTÊNCIA MUSCULAR
VENTILATÓRIA EM JOVENS E EM PESSOAS IDOSAS: UM ESTUDO
CONTROLADO RANDOMIZADO.**

Elaborada por Ellem Nara Tananta Dantas

BANCA EXAMINADORA

**Professor Dr. Renato Campos Freire Júnior
Presidente da Sessão/Orientador**

**Professora Dra. Isadora Salvador Rocco (UNIFESP)
Membro titular externo**

**Professora Dra. Thaís Jordão Perez Sant'Anna Motta
Membro titular interno**

**Professora Dra. Aline Arcanjo Gomes
Membro suplente interno**

**Professor Dr. Rafael de Oliveira Alvim
Membro suplente interno**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, ao meu Jesus Misericordioso, que esteve ao meu lado todos os dias dessa longa trajetória, e do qual tenho certeza que sabe o tempo certo para todas as coisas acontecerem nessa terra.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas-FAPEAM que me proporcionou aproveitar ao máximo cada etapa do mestrado durante esses 2 anos de formação.

À minha querida e amada avó, Maria da Saúde Fideles Tananta, com quem tenho a felicidade de compartilhar cada conquista. Suas palavras sempre repletas de amor e carinho, presentes em cada ligação que trocávamos, foram fonte constante de força e encorajamento.

À minha mãe, Ellem Fideles Tananta, que sempre atenta à minha saúde, me enviava inúmeras mensagens ao longo do dia. Nas ocasiões de feriado, quando eu conseguia viajar até minha cidade Natal, ela sempre estava no porto me esperando com muitas lágrimas no rosto e o coração transbordando de alegria. Ainda que eu não consiga mensurar o que é a saudade de um filho morando distante, compreendo que por vezes, essa ausência dói profundamente.

Ao meu noivo e futuro esposo, Fabrício da Silva Bentes, com quem compartilho sete anos de vida e muito amor. Desde o momento em que decidi vir a Manaus cursar o mestrado, ele sempre me apoiou incondicionalmente, inclusive financeiramente em muitas ocasiões. Com sua habilidade em computação, frequentemente me salvou em situações difíceis, realizando acessos remotos ao meu computador para atualizar programas ou resolver problemas técnicos.

Ao meu tio, Celcon Nunes Sena Filho, a quem estimo como um pai. Foi ele quem realizou minha mudança completa de Coari para Manaus e me ofereceu todo o suporte necessário ao longo do percurso no mestrado. Fazia questão de trazer de Coari produtos típicos como farinha, peixe, banana, açaí e tapioca, permitindo que, mesmo à distância, eu pudesse saborear a culinária da minha amada cidade natal.

À minha querida e amada irmã, Ellem Mayra Tananta Dantas, que com muito carinho me enviava mensagens repletas de afeto e cuidado. Quando em Manaus, fazia questão de visitar meu apartamento, acompanhada de seu noivo, o Dr. Luciano Finicelli. Suas visitas sempre me alegravam com boas conversas e atenção sincera.

À família da senhora Maria Joana Freitas, com especial agradecimento ao meu amigo Adriel de Freitas Ferreira e à Adrielly de Freitas Ferreira, que me acolheram com amor, humildade e

generosidade em sua residência no período em que estive em Manaus para a arguição do projeto de pesquisa junto à banca do mestrado. Foram para mim uma verdadeira família.

Ao meu amado pai científico, meu amigo e companheiro de todas as horas, professor Dr. Hércules Lázaro Moraes Campos. Tive o privilégio de conhecê-lo durante a graduação no ISB em Coari, vínculo que permanece forte até hoje. Tenho por ele profunda gratidão, carinho e respeito. É uma das pessoas que mais me incentiva na vida. Com seu jeito direto e assertivo, sempre me orientou, me mostrou os caminhos possíveis e as oportunidades que eu poderia trilhar.

Ao meu querido e estimado orientador, Prof. Dr. Guilherme Peixoto Tinoco Arêas, que em nenhum momento me deixou sozinha durante essa jornada. Mesmo à distância, não mediu esforços para me auxiliar, esclarecer dúvidas e orientar cada etapa da execução deste estudo. A dedicação em revisar e corrigir cada palavra escrita, inclusive nos finais de semana, com disponibilidade aos sábados e domingos, sempre com bom humor e respeito mútuo, foi fundamental. A palavra que define minha gratidão é exatamente essa: Gratidão. Agradeço por ter me apresentado à fisioterapia respiratória de uma forma que eu jamais teria conhecido por outros meios. Desenvolver um estudo nessa temática foi sem dúvida, um grande desafio, mas não impossível, e isso só foi possível graças à oportunidade e à confiança que o senhor depositou em mim.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Renato Campos Freire Júnior, que com paciência e atenção, sempre atendeu às minhas demandas, seja no envio de documentos, seja no alinhamento de diversos assuntos por meio de reuniões virtuais. Sua participação foi essencial ao longo de todo o processo. Ter ao meu lado alguém com experiência e expertise em pesquisa foi um verdadeiro privilégio, proporcionando um crescimento pessoal inestimável.

Ao grupo de pesquisa do Laboratório de Fisiologia do Exercício da Universidade Federal do Amazonas, representado pelo Prof. Elder Nascimento Pereira que juntos planejaram e executaram com empenho todas as etapas necessárias para a concretização deste estudo.

Por fim, encerro esta página de agradecimentos estendendo minha gratidão a todos os meus familiares que de forma direta ou indireta contribuíram para que eu chegasse até aqui: Minhas tias amadas: Mariene Fideles Tananta e Raiane Samia Tananta; Meu irmão querido e sua esposa: Willem Tananta Dantas e Laís Ferreira dos Santos; Meu amado e único sobrinho: Wesley Tananta dos Santos; e a grande paixão da minha vida, a minha querida prima/filha: Maria Laura Tananta Martins, a quem tive o privilégio de ver nascer e carregar nos braços.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EECC- Estimulação Elétrica com Corrente Contínua

SNC- Sistema Nervoso Central

ETCC- Estimulação Transcraniana com Corrente Contínua

ETECC: Estimulação Trans Espinhal por Corrente Contínua

TE: Tamanho de Efeito

CC: Estimulação por Corrente Contínua

mA- miliamperes

FP- Função Pulmonar

M1- Córtex Motor Primário

C3-C5- Cervical 3 à 5

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EMTR- Estimulação Magnética Transcraniana Repetitiva

IMC- Índice de Massa Corporal

Hz- Hertz

MAS- Área Motora Suplementar

PEM- Potencial Evocado Motor

CBZ- Carbamazepina

NMDA- N-metil-D-aspartato

DMO- Dextrometorfana

FEFF- Faculdade de Educação Física e Fisioterapia

UFAM- Universidade Federal do Amazonas

PPGCIMH- Programa de Pós Graduação em Ciências do Movimento Humano

TCLE- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

VC- Volume Corrente

VEF1- Volume Expiratório Forçado no Primeiro Segundo

CVF- Capacidade Vital Forçada

GETECC- Grupo Estimulação Trans Espinhal por Corrente Contínua

GS- Grupo Shan

Cm²- Centímetro quadrado

SEPs- Potenciais Somatossensoriais

TEDS- Elétrica diafragmática transcutânea

DPOC- Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

PTN- Estimulação dos Nervos Tibiais Posteriores

TMI- Treinamento Muscular Inspiratório

VI- Volume Inspiratório

PFI- Pico de Fluxo Inspiratório

PAS- Pressão Arterial Sistólica

PAD- Pressão Arterial Diastólica

FC- Frequência cardíaca

SatO₂- Saturação de oxigênio; VEF1

VEF1(%): Volume Expiratório Forçado em 1 segundo como uma Porcentagem do Valor predito

CVF (%): Capacidade Vital Forçada como uma Porcentagem do Valor predito;

VEF1/CVF (%): Razão entre Volume Expiratório Forçado em 1 segundo e Capacidade Vital Forçada como uma Porcentagem.

VVM: Ventilação Voluntária Máxima

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Alterações estruturais do sistema respiratório na população idosa.

Quadro 2: Alterações funcionais do sistema respiratório no envelhecimento humano.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Demonstração das etapas de avaliação das participantes no dia 1 e dia 2.

Figura 2: Demonstração do teste de função pulmonar com uso do espirômetro digital portátil (SPM-A, Contec Medical Systems Co., Ltd., Hebei, China).

Figura 3: Demonstração da randomização das mulheres jovens para o grupo (G) ETECC e grupo (G) Sham.

Figura 4: Demonstração da randomização das voluntárias idosas para o grupo (G) ETECC e grupo (G) Sham.

Figura 5: Demonstração da avaliação da força muscular inspiratória dinâmica por meio do PoweBreathe K5 (HaB International, Ltd., Southam, Inglaterra).

Figura 6: Demonstração da avaliação da resistência muscular ventilatória por meio da ventilação voluntária máxima (VVM), utilizando o espirômetro digital portátil (SPM-A, Contec Medical Systems Co., Ltd., Hebei, China).

Figura 7: Demonstração em vista anterior e posterior dos pontos de aplicação dos eletrodos (cátodo simbolizado pela letra C e ânodo simbolizado pela letra A) e do dispositivo utilizado para eletroestimulação (Microestim Foco Research, NKL, Santa Catarina, Brasil).

Figura 8: Demonstração da medula espinhal em corte transversal onde é possível observar a substância branca (localizada mais externamente) e substância cinzenta (em formato de letra H). A aplicabilidade da ETECC está representada por duas correntes paralelas a medula.

Figura 9: Representação esquemática de um fluxograma representando o processo de recrutamento das voluntárias até a randomização dos grupos e desistência de participantes jovens no grupo ETECC (n=2) e participante idosa no grupo ETECC (N=1).

Figura 10: Mostra o efeito da ETECC em mulheres jovens em relação à resistência muscular (Figura 10.A), força muscular inspiratória medida pelo índice S (Figura 10.B), PFI (Figura 10.C) e volume inspirado durante a manobra do índice S (Figura 10.D).

Figura 11: Mostra o efeito da ETECC em idosas em relação à resistência muscular (Figura 6.A), força muscular inspiratória medida pelo índice S (Figura 6.B), PFI (Figura 6.C) e volume inspirado durante a manobra do índice S (Figura 6.D).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características basais do grupo Sham e grupo ETECC de jovens voluntárias.

Tabela 2: Características basais do grupo Sham e grupo ETECC de voluntárias idosas.

RESUMO

Objetivo: Avaliar o efeito da Estimulação Transespinhal por Corrente Contínua nos seguimentos de C3-C5 sobre a força muscular inspiratória e a resistência muscular ventilatória em mulheres jovens e idosas saudáveis. **Métodos:** Estudo experimental, duplo-cego e randomizado. Aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Amazonas, registrado sob o CEP nº 66350622.0.0000.5020 e do Registro Brasileiro de Ensaio Clínico (REBEC) no RBR-5nwn9xf. O tamanho da amostra foi calculado com base na força muscular inspiratória dinâmica, medida pelo índice de força (índice S. A população alvo foi jovens do sexo feminino com idade entre 18 e 25 anos e idosas com 60 anos ou mais do sexo feminino. Os participantes alvos foram recrutados por meio de chamada pública nos quadros de aviso da Universidade Federal do Amazonas, redes sociais e demais meios de comunicação. As avaliações dos participantes foram realizadas em dois dias distintos. Na primeira consulta, dados clínicos e mensuração antropométrica como peso, altura, índice de massa corporal (IMC), idade e histórico de saúde foram coletados por meio de um questionário semiestruturado, além da avaliação da função pulmonar. Após a primeira avaliação, os voluntários foram randomizados e no segundo dia foi avaliado a força dinâmica inspiratória e a resistência muscular ventilatória antes e depois da aplicação da estimulação transmedular com corrente contínua (ETECC) ou placebo. Os participantes foram randomizados em proporção de 1:1. O duplo cegamento foi feito como estratégia de controle de viés. **Análise estatística:** A natureza da distribuição das variáveis foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variáveis foi avaliada pelo teste de Levene. Para o TE utilizado os valores de η^2 parcial aceitando os valores pequenos de $0,01 \leq \eta^2 \text{ parcial} < 0,06$, médio $0,06 \eta^2 \text{ parcial} < 0,14$ e Grande $\eta^2 \text{ parcial} \geq 0,14$. O nível de significância aceito foi de $p < 0,05$. **Resultados:** Não foi observado impacto significativo da estimulação elétrica no nervo frênico em participantes jovens para nenhuma variável. Ao contrário do observado em indivíduos jovens, a ETECC teve um impacto significativo nos músculos inspiratórios das idosas. **Conclusão:** As idosas tiveram melhor benefício da ETECC no aumento da força muscular inspiratória e do fluxo inspiratório, quando comparado as mulheres jovens que não obtiveram nenhuma diferença significativa em todas as variáveis analisadas. Esses achados sugerem que futuras pesquisas explorem a aplicabilidade da ETECC sobre a musculatura ventilatória em diferentes faixas etárias, condições clínicas, e com mais dias de eletroestimulação.

Palavras-chave: Estimulação por Corrente Contínua; Estimulação da Medula Espinal; Idoso; Adulto Jovem; Força muscular respiratória.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of Transspinal Direct Current Stimulation in the C3-C5 segments on inspiratory muscle strength and ventilatory muscle endurance in healthy young and elderly women. **Methods:** Experimental, double-blind, randomized study. Approved by the Ethics Committee of the Federal University of Amazonas, registered under CEP No. 66350622.0.0000.5020, and by the Brazilian Clinical Trials Registry (REBEC) under RBR-5nwn9xf. The sample size was calculated based on dynamic inspiratory muscle strength, measured by the strength index (S-index). The target population was young women aged 18 to 25 years and elderly women aged 60 years or older. Participants were recruited through a public call on the Federal University of Amazonas bulletin boards, social media, and other media outlets. Participant assessments were conducted on two separate days. On the first visit, clinical data and anthropometric measurements such as weight, height, body mass index (BMI), age, and health history were collected using a semi-structured questionnaire, in addition to lung function assessment. After the first assessment, volunteers were randomized, and on the second day, dynamic inspiratory strength and ventilatory muscle endurance were assessed before and after transmedullary direct current stimulation (TDCS) or placebo. Participants were randomized in a 1:1 ratio. Double-blinding was used to control bias. **Statistical analysis:** The nature of the distribution of variables was assessed using the Shapiro-Wilk test. The homogeneity of the variables was assessed by Levene's test. For the ET, partial η^2 values were used, accepting small values of $0.01 \leq \text{partial } \eta^2 < 0.06$, medium $0.06 \leq \text{partial } \eta^2 < 0.14$, and large $\text{partial } \eta^2 \geq 0.14$. The significance level accepted was $p < 0.05$. **Results:** No significant impact of electrical stimulation on the phrenic nerve was observed in young participants for any variable. Contrary to what was observed in young individuals, ETECC had a significant impact on the inspiratory muscles of elderly women. **Conclusion:** Elderly women had greater benefit from ETECC in increasing inspiratory muscle strength and inspiratory flow, when compared to young women, who did not obtain any significant difference in all the variables analyzed. These findings suggest that future research explore the applicability of ETECC on the ventilatory muscles in different age groups, clinical conditions, and with more days of electrical stimulation.

Keywords: Direct Current Stimulation; Spinal Cord Stimulation; Elderly; Young Adult; Respiratory muscle strength.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 MULHERES JOVENS E A FUNÇÃO PULMONAR EM REPOUSO	18
2.2 VARIAÇÕES NA FUNÇÃO PULMONAR AO LONGO DO CICLO MENSTRUAL EM MULHERES SAUDÁVEIS	18
2.3 O ENVELHECIMENTO HUMANO	19
2.4 ALTERAÇÕES PULMONARES DURANTE O PROCESSO DE ENVELHECIMENTO	20
2.5 PROCESSO HISTÓRIO DA NEUROMODULAÇÃO	21
2.6 O USO DA ESTIMULAÇÃO TRASCRAIANA COM CORRENTE CONTÍNUA (ETCC) PARA NOVAS PESPECTIVAS.....	22
2.7 O CRESCENTE INTERESSE PELA APLICABILIDADE DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA COM CORRENTE CONTÍNUA	22
2.8 MECANISMO DE AÇÃO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA COM CORRENTE CONTÍNUA.....	23
2.9 ESTIMULAÇÃO TRANSESPINHAL POR CORRENTE CONTÍNUA (ETECC).24	
2.10 EFEITO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA MEDULAR.....	24
2.11 EFEITO DA ETECC SOBRE O SISTEMA MEDULAR	25
2.12 A ETECC E O SISTEMA RESPIRATÓRIO.....	25
3 JUSTIFICATIVA.....	26
4. OBJETIVOS	27
4.1. GERAL	27
4.2. ESPECÍFICOS.....	27
5. MÉTODOS.....	27
5.1. TIPO DO ESTUDO	27
5.2. CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE	27
5.3. TAMANHO DA AMOSTRA	28
5.4. RECRUTAMENTO DOS PARTICIPANTES	28
5.5. AVALIAÇÃO INICIAL	29
5.6. FUNÇÃO PULMONAR.....	29
5.7. RANDOMIZAÇÃO.....	30
5.8. AVALIAÇÃO DA FORÇA DINÂMICA INSPIRATÓRIA.....	31
5.9. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MUSCULAR VENTILATÓRIA.....	32
5.10. PROTOCOLO EXPERIMENTAL.....	32
5.10.1. Estimulação Trans Espinhal por Corrente Contínua.....	32

5.11.	CEGAMENTO DO ESTUDO	33
6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
7.	RESULTADOS.....	34
7.1.	EFEITOS DA ETECC	37
7.1.1.	EFEITO DA ETECC EM JOVENS	37
7.1.2.	EFEITO DA ETECC EM IDOSOS.....	37
8.	DISCUSSÃO.....	38
8.1.	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	42
9.	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

A estimulação elétrica com corrente contínua (EECC) é uma ferramenta utilizada, por comprovadamente, influenciar o sistema nervoso central (SNC) (LEFAUCHEUR et al., 2017). Além disso, pode ser compreendida por uma neuromodulação não invasiva, segura, simples e indolor (GRECCO et al., 2015). A aplicação da corrente pode influenciar alteração na transmissão cortical e subcortical da medula espinhal dependendo do campo que está sendo estimulado (ALBUQUERQUE et al., 2018).

Essa forma de estimulação ocorre por meio de dois eletrodos denominado anódicos e catódicos que fornecem uma corrente de baixa amplitude que varia de 0,5 a 2 miliamperes (mA) (WANG Y et al., 2022). Evidências demonstram que a corrente anódica facilita a despolarização dos neurônios corticais e promove a excitabilidade, ao contrário, a catódica realiza hiperpolarização das membranas neuronais e diminui a excitabilidade neuronal (BATSIKADZE et al., 2013). Esse processo que a corrente promove pode durar algumas horas após a estimulação usando protocolos convencionais (BATSIKADZE et al., 2013).

Considerando o uso da corrente elétrica para influenciar o sistema respiratório, é importante considerar inicialmente que esse sistema é formado por diversos músculos que impulsionam a expansão ou contração da parede torácica durante a respiração, bombeando o ar para dentro e para fora dos pulmões e é controlado por diversos sistemas como a área motora cortical, sistema diencefálico, mas principalmente por núcleos localizados na ponte e no bulbo (DE TROYER et al., 2011). Devido essa complexa relação de controle, aparentemente os efeitos da neuromodulação é um grande desafio.

No entanto, uma nova perspectiva para influenciar o sistema respiratório é a estimulação transespinhal por corrente contínua (ETECC) (LIM et al., 2011; NIÉRAT et al., 2014). Esta é uma ferramenta capaz de induzir a neuromodulação duradoura no sistema nervoso central, mas a divergência e escassez dos estudos sobre a influência da ETECC no comportamento respiratório e sobre a força muscular inspiratória e resistência muscular ventilatória produz uma falta de entendimento mais profundo sobre o impacto da técnica na função ventilatória (TOMCZAK et al., 2013; AZABOU et al., 2013; CARVALHO., 2021; ANDRADE et al., 2022; PEREIRA et al., 2025). Semelhante a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC), os efeitos fisiológicos da ETECC ainda não são completamente compreendidos (KNOTKOVA et al., 2019).

Dois importantes e elegantes estudos demonstram que a ETECC pode modular os circuitos motores espinhas segmentares e aumentar a atividade do nervo frênico, o que sugere possível hipótese do melhor desempenho do sistema muscular respiratório através da estimulação na região cervical de C3 até C5 (LIM et al., 2011; NIÉRAT et al., 2014). Os estudos afirmaram que os estímulos aumentam a atividade elétrica do nervo frênico através da avaliação por potencial evocado, associado ao aumento do volume corrente após a aplicação de ambos os estímulos anódico na região anterior da medula (LIM et al., 2011; NIÉRAT et al., 2014).

No entanto, estudos avaliando se o aumento da excitabilidade frênica traduz em aumento da função musculatura inspiratória através da força muscular inspiratória e resistência muscular ventilatória ainda não foi verificado.

Os músculos responsáveis pela ventilação humana precisam trabalhar de forma íntegra e conjunta para apresentar boa funcionalidade, para isso é necessário considerar a integridade da força muscular e a resistência muscular ventilatória que apresentam grande importância vital (DE SOUZA et al., 2019).

Em indivíduos jovens, a função pulmonar preservada é determinante para o adequado desenvolvimento físico, desempenho aeróbico e manutenção da homeostase frente às demandas metabólicas elevadas, porém com o processo do envelhecimento as alterações fisiológicas progressivas tornam-se evidentes (LI et al. 2012).

No envelhecimento este processo se torna ainda mais importante, pois compreender a capacidade de influenciar o sistema respiratório pode favorecer novas estratégias de tratamento, haja visto que a população está envelhecendo e o processo natural de envelhecer leva a alterações conhecidas e, diversas mudanças funcionais, como perda da massa muscular e diminuição da força dos músculos esqueléticos, incluindo os músculos ventilatórios (SILVA et al., 2013).

Essas mudanças no sistema respiratório que ocorre com o passar dos anos gera menor complacência da caixa torácica, ocasionado pela ossificação da cartilagem dorsal, bem como das articulações costovertebrais, além das alterações morfológicas do tecido conectivo, perda da capacidade elástica pulmonar, contribuindo para maior retenção de ar (SALICIO et al., 2015).

Devido a isso, a pergunta do nosso estudo é: A ETECC é capaz de aumentar a força muscular inspiratória e resistência muscular ventilatória de mulheres jovens e de pessoas idosas após uma aplicação aguda? A nossa hipótese era que a estimulação elétrica influencia igualmente a força muscular inspiratória e a resistência muscular ventilatória em ambas as

faixas etárias. Acreditamos também que através disso, a ETECC possa ser uma ferramenta capaz de ampliar estratégias em novos estudos clínicos no auxílio ao treinamento muscular ventilatório.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão de literatura tem como objetivo verificar estudos voltados para temática a ser estudada. Com isso ela estará subdividida em tópicos para melhor compreensão do leitor.

2.1 MULHERES JOVENS E A FUNÇÃO PULMONAR EM REPOUSO

A função pulmonar em repouso em mulheres jovens é influenciada por diversos fatores fisiológicos, comportamentais e ambientais, sendo a composição corporal um dos determinantes mais relevantes na transição da adolescência para a vida adulta (OLIVEIRA et al., 2019).

Em um estudo realizado por pesquisadores que procuravam verificar a associação entre a composição corporal dos 18 aos 22 anos de idade e a função pulmonar aos 22 anos, os resultados indicaram que níveis elevados de adiposidade corporal, especialmente quando mantidos entre os 18 e 22 anos de idade estão associados a uma redução significativa da função pulmonar em repouso em mulheres jovens (OLIVEIRA et al., 2019).

O aumento do tecido adiposo em jovens não saudáveis e que não realizam nenhuma prática de atividade física traz consequências como o aumento do peso corporal que geralmente está associado a distúrbios respiratórios (LI et al., 2022).

2.2 VARIAÇÕES NA FUNÇÃO PULMONAR AO LONGO DO CICLO MENSTRUAL EM MULHERES SAUDÁVEIS

As alterações dinâmicas nos níveis hormonais de mulheres saudáveis durante as diferentes fases do ciclo menstrual são conhecidas por afetar diversas funções do corpo além do sistema reprodutivo (GOYAL et al., 2017). Os hormônios femininos como a progesterona e o estrogênio apresentam variações ao longo do ciclo menstrual e essa oscilação tem sido apontada como responsável por mudanças nos parâmetros da função pulmonar (GOYAL et al., 2017).

Para verificar essas variações, o estudo de ARORA e colaboradores (2014) objetivou verificar os efeitos prováveis das fases folicular, ovulatória e lútea sobre a função pulmonar em mulheres na faixa reprodutiva. Foram avaliadas 40 mulheres, com idade entre 15 e 45 anos, submetidas à espirometria nas três fases do ciclo menstrual. Os testes de função pulmonar, incluindo CVF, VEF1, VEF1/CVF mostraram valores significativamente mais altos na fase lútea em comparação com a fase menstrual, e também superiores na fase folicular em relação à menstrual ($p < 0,04$) (ARORA et al., 2014).

Portanto, a partir desse estudo é possível concluir que os fluxos expiratórios apresentam flutuações significativas ao longo do ciclo menstrual, sendo mais favoráveis na fase lútea, o que deve ser considerado em avaliações com populações que estudarão parâmetros pulmonares (ARORA et al., 2014).

2.3 O ENVELHECIMENTO HUMANO

A população idosa mundial até 2050 será composta por 2 bilhões de indivíduos, o que tem um representativo 22% da população com 60 anos ou mais (NAÇÕES UNIDAS, 2019). No cenário Brasileiro, segundo o Censo demográfico de 2019, os idosos representam 13,5% da população (IBGE, 2019), porém esse percentual crescerá e estimativas apontam que até 2060 a população Brasileira atingirá 58 milhões de indivíduos, onde 32 milhões serão idosos (ALEXANDRINO et al., 2020).

O processo de envelhecer é caracterizado por mudanças fisiológicas que podem afetar diversos órgãos e sistemas do corpo, acarretando prejuízo nas funções exercidas (DANTAS et al., 2023). Considera-se ainda como um processo dinâmico e progressivo, onde há alterações morfológicas, funcionais e bioquímicas, havendo redução da capacidade de adaptação homeostática em situações que exigem sobrecarga funcional, e tornando suscetível a agressões intrínsecas e extrínsecas (DANTAS et al., 2023).

É considerado um evento natural que varia de indivíduo para indivíduo, e os hábitos de vida e herança genética têm influência direta sobre as condições fisiológicas (DARDENGO, et al., 2018). Apesar de ser considerado um processo natural, o envelhecimento pode trazer consigo o aumento de vulnerabilidades e problemas incapacitantes motores e até enfermidades crônicas, o que contribuem para diversos eventos de declínios físico-funcional (PRESTES et al., 2023).

Recomendações para traçar políticas de saúde voltadas a esses idosos devem ser baseadas em suas reais necessidades, incluindo serviços especializados, profissionais capacitados, e estudos que buscam compreender as mudanças que acontecem durante esse processo de envelhecer para melhor organizar e planejar ações de prevenção, reabilitação, tratamento e suporte a esse público crescente (DARDENGO, et al., 2018).

2.4 ALTERAÇÕES PULMONARES DURANTE O PROCESSO DE ENVELHECIMENTO

O sistema respiratório durante o processo de envelhecer apresentará modificações anatômicas e funcionais que são processos naturais do envelhecimento normal do ser humano (OYARZÚN, 2009). As alterações estruturais caracterizam-se por ser um conjunto de modificações fisiológicas que acometem os pulmões, caixa torácica, vasos sanguíneos e sistema musculoesquelético (OYARZÚN, 2009). Para melhor compreensão dessas modificações, visualize o quadro 1.

QUADRO 1: Alterações estruturais do sistema respiratório na população idosa.

PULMÃO	PAREDE TORÁCICA	MÚSCULOS RESPIRATÓRIOS
Aumento do espaço morto	Aumento da rigidez	Redução da força muscular ventilatória
Alargamento e calcificação das cartilagens traqueais e brônquicas	Calcificação das cartilagens costais	Redução da massa muscular ventilatória
Aumento do diâmetro dos ductos alveolares	Calcificação das superfícies articulares das costelas	
Achatamento dos sacos alveolares	Redução do espaço intervertebral	
Redução da superfície alveolar	Aumento da sensibilidade à pressão intra-abdominal	
	Redução da mobilidade do gradil costal	

Fonte: OYARZÚN, 2009

Dentre estes já apresentados, vários são os fatores que podem contribuir para os prejuízos na função pulmonar, dentre eles destacam-se o tabagismo, a poluição ambiental, a exposição profissional a diversas condições de trabalho, e comumente e com maior prevalência as doenças pregressas pulmonares (DARDENGO et al., 2018).

Pensando nesse contexto, alterações funcionais do sistema respiratório nos idosos também acontecem, trazendo uma série de condições não desejadas, caso não haja nenhum tipo de treinamento ou intervenção para o reestabelecimento de seu desempenho (FREITAS, 2013). Para melhor compreensão acerca das alterações funcionais do sistema respiratório nos idosos, segue o quadro 2.

QUADRO 2: Alterações funcionais do sistema respiratório no envelhecimento humano.

ALTERAÇÕES FUNCIONAIS
↓ da complacência da parede torácica
↑ da complacência pulmonar
↓ da capacidade vital
↑ dos volumes residuais
↓ da relação VEF1/CVF
↑ do gradiente artério- alveolar de oxigênio
↓ da pressão arterial de oxigênio
↓ da taxa de fluxo expiratório
↓ da difusão pulmonar de CO ₂
↓ da sensibilidade respiratória a hipóxia e a hipercapnia

*VEF1: Volume expiratório forçado no primeiro segundo; *CVF: Capacidade vital forçada; *CO₂: Gás carbônico
Fonte: OYARZÚN, 2009

Pensando nessas aspectos funcionais e estruturais modificáveis e já bastante conhecido na literatura que torna-se importante propor programas de treinamento que possam contribuir para a capacidade funcional, qualidade de vida e longevidade desses idosos, pois conhecer essas mudanças e conseguir identificar os padrões ventilatórios do envelhecimento saudável são indispensáveis para detectar e prevenir diversas disfunções do sistema muscular respiratório e conseguir manter esses idosos com as funções adequadas baseados em seu contexto de vida (FREITAS, 2013).

2.5 PROCESSO HISTÓRIO DA NEUROMODULAÇÃO

O uso de corrente elétrica usado para fins terapêuticos é muito antigo, surgindo ao século I, onde descargas elétricas de peixes elétricos eram terapeuticamente aplicadas na cabeça dos pacientes onde proporcionava efeitos entorpecentes e alívio das dores relatadas na cabeça (PRIORI, 2003). Com o passar dos anos a estimulação do cérebro por meio de correntes

elétricas passou a ter fins terapêuticos para diminuir os efeitos de distúrbios mentais (PRIORI, 2003).

O recente avanço da tecnologia na neurologia proporcionou a amplitude e formas de aplicações, onde aprimorou técnicas não invasivas para modulação da polarização cerebral, e já considerando esse avanço na tecnologia, destaca-se a Estimulação Trascraniana com Corrente Contínua (ETCC) que é uma técnica que consiste na neuromodulação capaz de induzir mudanças na excitabilidade por até uma hora após o final da estimulação (WANG Y et al., 2022).

2.6 O USO DA ESTIMULAÇÃO TRASCRAIANA COM CORRENTE CONTÍNUA (ETCC) PARA NOVAS PESPECTIVAS

A ETCC é uma técnica capaz de modular a função cerebral, e tornou-se estudo de diversos pesquisadores pelo mundo, pois além de apresentar característica não invasiva, é considerada de simples manuseio aplicada sobre o crânio do paciente (WANG Y et al., 2022).

Para a aplicabilidade dessa corrente são utilizados dois eletrodos de silicone envolvidos por esponja embebida em solução salina, e posicionados na região em que se deseja estimular (BATSIKADZE et al., 2013). A corrente elétrica é contínua e pode variar de 0,4 à 2 mA, permanecendo no local da estimulação por um período de 20 minutos (BATSIKADZE et al., 2013).

Durante esse tempo, a corrente transferida gerará modificações cortical, e de acordo com a polaridade da corrente escolhida, efeitos diferentes serão gerados, pois o estímulo com a corrente anódica provoca um aumento na excitabilidade cortical, enquanto a corrente catódica diminui a excitabilidade neural (WANG Y et al., 2022).

2.7 O CRESCENTE INTERESSE PELA APLICABILIDADE DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA COM CORRENTE CONTÍNUA

Diversos estudos que estão sendo produzidos voltados para o uso da ETCC em diferentes campos experimentais, e muito deles já apontam não apenas para efetividade clínica e terapêutica, como também abertura de possibilidades para melhorar o desempenho físico, metabólico, hemodinâmico, e para fins futuros ser utilizados como recursos ergogênicos para diversas modalidades esportivas (MONTENEGRO et al., 2013).

Dito isto, a crescente procura por estudar a ETCC é objetivando compreender quais efeitos e possíveis mecanismos estão envolvidos nessa modalidade de aplicação, pois apesar de muitos estudos estarem em desenvolvimento, ainda é bastante escasso na literatura a relação entre os canais iônicos, receptores de membrana e os efeitos observados após a ETCC aplicado no sistema muscular respiratório (MONTENEGRO et al., 2013).

Atualmente alguns estudos estão direcionando a aplicabilidade da ETCC em áreas específicas do córtex motor visando efeitos na respiração, e autores já demonstram que a estimulação magnética transcraniana repetitiva (EMTR) usada a 5Hz quando aplicadas na área motora suplementar (AMS) aumentou a amplitude do potencial evocado motor (PEM) diafragmático e os primeiros músculos interósseos dorsais (OLIVEIRA et al., 2021).

Isso sugere que modificações da excitabilidade da AMS podem induzir modificações da excitabilidade do córtex motor primário, e consequentemente o córtex motor do diafragma, pois embora os mecanismos da EMTR e ETCC sejam realizadas de maneiras opostas, esses resultados já demonstram sugestões da ETCC quando aplicada no córtex motor primário pode modificar a excitabilidade e proporcionar benefícios sobre o sistema respiratório dos indivíduos (OLIVEIRA et al., 2021).

2.8 MECANISMO DE AÇÃO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA COM CORRENTE CONTÍNUA

Um primeiro estudo já realizado buscando verificar os efeitos e duração da ETCC anódica e catódica aplicada a M1, utilizando medida de potencial motor evocado (PEM) em dois distintos protocolos de estimulação, onde aplicou-se por 1 e 5 minutos, com intensidade de 0,2 e 1,0 mA e observou-se como resultado que a ETCC anódica com duração de 5 minutos de aplicação aumentou a excitabilidade cortical em torno de 40% após a estimulação, enquanto que a corrente catódica provocou uma redução de 30% do potencial motor evocado (PEM) (NITSCHKE et al., 2000).

Outros estudos também foram realizados buscando verificar os efeitos da ETCC aplicada sobre o M1 fazendo uso da corrente anódica e catódica e observar possíveis interferências de bloqueadores de canais de sódio dependentes de voltagem (carbamazepina - CBZ) e antagonistas de receptor N-metil-D-aspartato (NMDA) (dextrometorfana – DMO) sobre os efeitos da estimulação (LIEBETANZ et al., 2002).

O resultado desse estudo de (LIEBETANZ et al., 2002) também demonstrou que a ETCC com a corrente anódica resultou um aumento da excitabilidade cortical, ao contrário, a corrente catódica o diminuiu. Porém com a administração do DMO os efeitos pós estimulação da corrente catódica e anódica permaneceram, e assim compreende-se do envolvimento dos receptores NMDA na plasticidade neuronal induzidos pelos dois tipos de ETCC. Referente ao CBZ, este supriu apenas os efeitos da ETCC, e apresenta um indicativo de uma maior participação dos canais de sódio nessa forma de estimulação (LIEBETANZ et al., 2002).

2.9 ESTIMULAÇÃO TRANSESPINHAL POR CORRENTE CONTÍNUA (ETECC)

A ETECC é uma técnica não invasiva e nova, sendo capaz de induzir neuromodulação duradoura no SNC do ser humano submetido a esta forma de aplicação (LIM et al., 2011). É realizada por meio de um eletrodo transcutâneo colocado sobre o tronco do indivíduo na região posterior da coluna e um segundo eletrodo colocado em outra localidade do tronco, de maneira que uma corrente elétrica contínua de baixa intensidade flua através da medula espinhal durante um intervalo de tempo predefinido (NIÉRAT et al., 2014).

Recentemente demonstrou-se a possibilidade de modulação não invasiva de neurônios espinhais por meio da ETECC no estudo de Cogiamanian et al., (2008). Uma única estimulação anódica usando 2,5 mA por 15 minutos sobre a região medular torácica resultou na diminuição de forma significativa na amplitude dos potenciais evocados somatossensoriais, tendo uma duração de pelo menos 15 minutos após a aplicação da ETECC (COGIAMANIAN et al., 2008).

2.10 EFEITO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA MEDULAR

Segundo Fehlings et al., (1992) o efeito da estimulação elétrica medular espinhal é semelhante ao efeito quando estimulado o cérebro com corrente contínua, pois a medula é um dos componentes do sistema nervoso central. Há estudos que revelam a melhora na função motora e aumento na excitabilidade do trato corticoespinhal quando a estimulação por corrente contínua (CC) foi aplicada no espaço epidural em modelo animal com lesão medular (WALLACE et al., 1987). Em outros estudos a estimulação da medula espinhal com corrente contínua provocou aumento na excitabilidade do trato corticoespinhal proporcionando ainda o aumento do PEM (SCHLAIER et al., 2007).

Embora os mecanismos à ETECC e os efeitos colaterais ainda sejam pouco compreendidos, há estudos que sugeriram que a neurotransmissão do sistema glutamatérgico é alterado após a ETECC, enfatizando que os efeitos posteriores da ETECC ocorrerão via ativação de processos neuronais que finalizam na medula espinhal e são responsáveis pela expressão da potencialização a longo prazo em motoneurônios pós-sinápticos da medula espinhal, e os efeitos após a aplicação da ETECC tem diferença de acordo com a direção da corrente e o posicionamento que estarão os eletrodos (AHMED et al., 2012).

2.11 EFEITO DA ETECC SOBRE O SISTEMA MEDULAR

No estudo de Lim et al., (2011) verificou-se qual o efeito da CC transcutânea não invasiva aplicada a região cervical na alteração da excitabilidade do trato corticoespinhal com amplitudes PEM e na excitabilidade sensório-motora segmentar. E sua descoberta foi que o efeito da CC permaneceu por um período de 2 horas após o final da estimulação, e que a aplicação cervical não invasiva da CC poderia aumentar as amplitudes do PEM que refletem na excitabilidade do trato corticoespinhal.

Cogiamanian et al., (2008) estudou a capacidade que a ETECC tem sobre a indução de mudanças duradouras na condução ao longo das vias sensoriais do sistema medular. Em seu estudo descobriu que a ETECC torácica quando aplicado em indivíduos normais pode modular a condução ao longo das vias somatossensoriais espinhais e tendem a persistir até o término da estimulação, pois a ETECC anódica induz uma depressão com duração de pelo menos 20 minutos do potencial cervicomedular e dos potenciais somatossensoriais (SEPs) e estimulação dos nervos tibiais posteriores (PTN) (COGIAMANIAN et al., 2008).

Contraposto, apesar da tendência de aumento, a ETECC catódica não induz alteração significativa na amplitude do potencial cervicomedular, por que o anódico ETECC faz com que os SEPs do nervo mediano fiquem inalterados, mostrando que a corrente não se espalha para os níveis superiores da medula espinhal ou para o tronco cerebral, e por isso considera-se que a ETECC atua fortemente abaixo do estímulo em nível torácico (COGIAMANIAN et al., 2008).

2.12 A ETECC E O SISTEMA RESPIRATÓRIO

Embora existam poucos estudos voltados para a aplicabilidade da ETECC voltada ao sistema respiratório, o autor Niérat et al., (2014) estudou os efeitos imediatos e duradouros de

uma única sessão de estimulação transcutânea por corrente contínua espinal (ETECC) em humanos saudáveis. O estudo foi duplo-cego, controlado, aleatório e cruzado, onde examinou os efeitos da ETECC aplicados a região de C3-C5 da medula espinal em resposta motora do diafragma provocadas por estimulação magnética transcraniana e respiração espontânea medida por pletismografia de indutância respiratória.

Este demonstrou que tanto a ETECC anódica quanto a catódica são capazes de induzir um aumento progressivo do PEM durante a estimulação, além de aumentar a atividade elétrica do nervo frênico pós a aplicação de ambos os estímulos na região anterior da medula. Niérat et al., (2014) destacou-se ainda a corrente catódica, pois esta induziu um aumento persistente no volume corrente após a ETECC catódica, que diante dessa particularidade o estudo aborda uma perspectiva de aproveitar a neuroplasticidade respiratória como ferramenta terapêutica a tratamentos de diversos distúrbios do sistema respiratório (NIÉRAT et al., 2014).

3 JUSTIFICATIVA

Estudos vêm descrevendo a aplicabilidade do ETCC sobre o M1 visando promover ações benéficas em diversos comportamentos motores (OLIVEIRA et al, 2021), no entanto pouco se sabe a influência sobre a função muscular ventilatória. Estudos tem mostrado que a estimulação medular possa ser uma localização mais eficaz na influência elétrica sobre a função muscular respiratória. Por isso, esse estudo busca conhecer e compreender como a estimulação medular com corrente contínua influencia o sistema muscular ventilatório de mulheres jovens e idosas.

Os estudos que envolvem a estimulação com corrente contínua têm despertado grande interesse social nos últimos anos, pois torna-se uma ferramenta para compreensão da excitabilidade cortical e comportamento em uma variedade de situações clínicas e condições experimentais (BASHIR et al, 2022). Compreender o comportamento do sistema muscular ventilatório quando submetido a intervenção por meio da ETECC contribuirá para programas de saúde que possam incentivar intervenções por meio da ETECC para população jovens e pessoas idosas.

Portanto, compreender o efeito que a ETECC tem sobre a força muscular inspiratória e a resistência muscular em jovens e idosas saudáveis irá auxiliar e contribuir para o avanço científico trazendo conhecimentos aplicáveis à prática clínica e despertar o interesse de pesquisadores sobre a referida temática para que estudos sejam realizados e aprofundados.

4. OBJETIVOS

4.1. GERAL

Investigar o efeito agudo da Estimulação Transespinhal por Corrente Contínua em C3-C5 na função muscular respiratória em mulheres jovens e idosas saudáveis.

4.2. ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da ETECC no aumento da força muscular inspiratória em mulheres jovens e idosas saudáveis;
- Avaliar o efeito da ETECC na resistência muscular ventilatória em mulheres jovens e idosas saudáveis;
- Comparar os tamanhos de efeito do ganho das funções musculares entre mulheres jovens e idosas saudáveis.

5. MÉTODOS

5.1. TIPO DO ESTUDO

Trata-se de um estudo experimental randomizado, duplo-mascarado e controlado por placebo. A escrita seguiu o Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) para estudos não farmacológicos (BOUTRON et al., 2017). O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Amazonas, registrado sob o CEP nº 66350622.0.0000.5020 e do Registro Brasileiro de Ensaio Clínico (REBEC) no RBR-5nwn9xf. O estudo foi realizado no laboratório de fisiologia do exercício da Universidade Federal do Amazonas.

5.2. CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Para o grupo de idosas, o critério de inclusão foi mulheres com idade entre 60 e 80 anos, enquanto para o grupo de jovens, mulheres com idade entre 18 e 25 anos, com o protocolo

experimental realizado logo após o período menstrual considerando as mudanças hormonais que acontecem nesse período. Ambos grupos deveriam ter histórico negativo de doença cardíaca ou pulmonar diagnosticada; não deveriam ser fumantes atuais nem ex-fumantes e não deveriam consumir álcool em excesso.

Os critérios de exclusão incluíram disfunção pulmonar indicada por valores de volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF1) inferiores a 80% do previsto, capacidade vital forçada (CVF) inferior a 80% do previsto e relação VEF1/CVF inferior a 70%, mesmo que as voluntárias não relatassem histórico de doença pulmonar. As voluntárias também foram excluídas caso abandonassem a avaliação ou o protocolo experimental.

5.3. TAMANHO DA AMOSTRA

O tamanho da amostra foi calculado com base no desfecho da força muscular inspiratória dinâmica, medida pelo índice de força (índice S), com foco inovador devido à falta de estudos anteriores que analisassem essa variável em conjunto com a ETECC. Dada essa incerteza inicial, adotou-se um tamanho de efeito (TE) conservador de pequeno a moderado (F de Cohen = 0,25). Utilizando parâmetros estatísticos cuidadosamente selecionados (TE do F de Cohen = 0,25, α = 0,05, $\beta - 1$ = 80%, 2 grupos, 2 medidas), ANOVA two-way (between-within) indicou a necessidade de 34 participantes para jovens e 34 participantes para idosas. Considerando uma taxa de abandono de 20%, o tamanho da amostra necessário foi ajustado para 40 voluntárias por faixa etária, subdivididas em 20 participantes no grupo intervenção e 20 no grupo placebo, resultando em um total de 80 participantes. O cálculo do tamanho da amostra foi realizado utilizando o software G*Power 3.1 (Universidade de Düsseldorf, Düsseldorf, Alemanha).

5.4. RECRUTAMENTO DAS VOLUNTÁRIAS

As voluntárias foram recrutadas por meio de chamada pública nos quadros de aviso da Universidade Federal do Amazonas, redes sociais (WhatsApp e Instagram) e demais meios de comunicação. Após esse processo, os participantes que aceitaram participar do estudo foram orientados a comparecer em uma reunião informativa onde os pesquisadores apresentaram a proposta do estudo, objetivos e agendamento do dia e horário para dar início as avaliações.

Todos receberam para leitura e assinatura o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) que garantia o sigilo das informações coletadas.

5.5. AVALIAÇÃO INICIAL

As avaliações das participantes foram realizadas em dois dias distintos. Na primeira consulta, dados clínicos e mensuração antropométrica como peso, altura, índice de massa corporal (IMC), idade e histórico de saúde foram coletados por meio de um questionário semiestruturado (Figura 1).

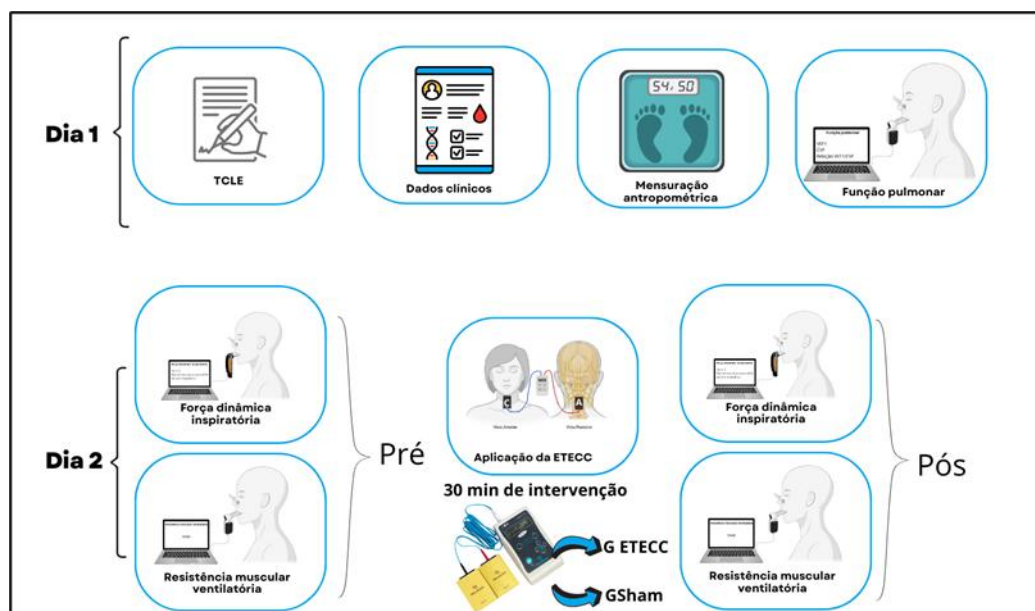


Figura 1: Demonstração das etapas de avaliação das participantes no dia 1 e dia 2. Criado com Canva.com

5.6. FUNÇÃO PULMONAR

A função pulmonar das participantes foi avaliada ainda na primeira consulta (figura 1) por uso da espirometria, utilizando o espirômetro digital portátil (SPM-A, Contec Medical Systems Co., Ltd., Hebei, China) e seguindo as diretrizes da Sociedade Torácica Americana (AMERICAN THORACIC SOCIETY/EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY, 2002) (Figura 2). As variáveis analisadas incluíram VEF1, CVF e relação VEF1/CVF. Foram realizadas, no mínimo, 3 manobras aceitáveis e 2 reprodutíveis, com diferença entre as medidas de até 10%; além disso, o número máximo de repetições foi de 8 testes. Os valores de referência

adotados foram aqueles descritos para a população brasileira e a faixa etária pertinente (PEREIRA et al., 2007).

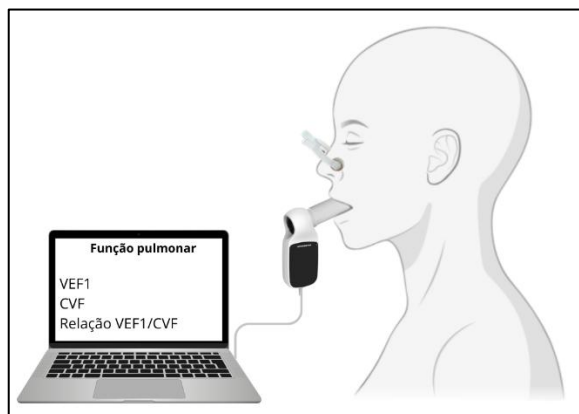


Figura 2: Demonstração do teste de função pulmonar com uso do espirômetro digital portátil (SPM-A, Contec Medical Systems Co., Ltd., Hebei, China). Criado com BioRender.com e Canva.com.

5.7. RANDOMIZAÇÃO

Após a primeira avaliação, as voluntárias foram randomizadas de forma estratificada por um pesquisador que não participou das avaliações e intervenções. As voluntárias foram então alocadas para estímulo e simulação (Figura 3 e 4). Dados de idade, IMC, VEF1, CVF e relação VEF1/CVF foram utilizados para estratificar as voluntárias.

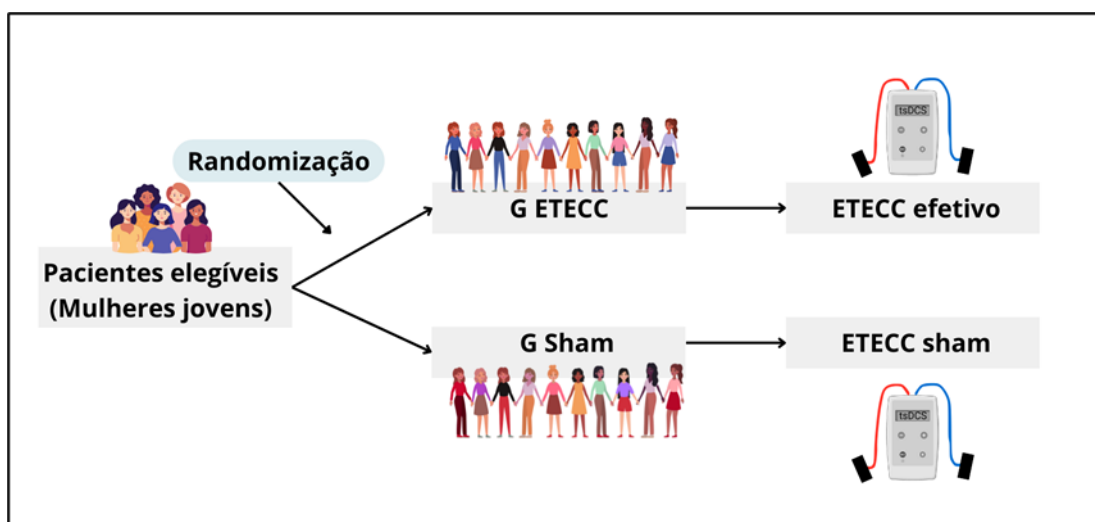


Figura 3: Demonstração da randomização das mulheres jovens para o grupo (G) ETECC e grupo (G) Sham. Criado com Canva.com.

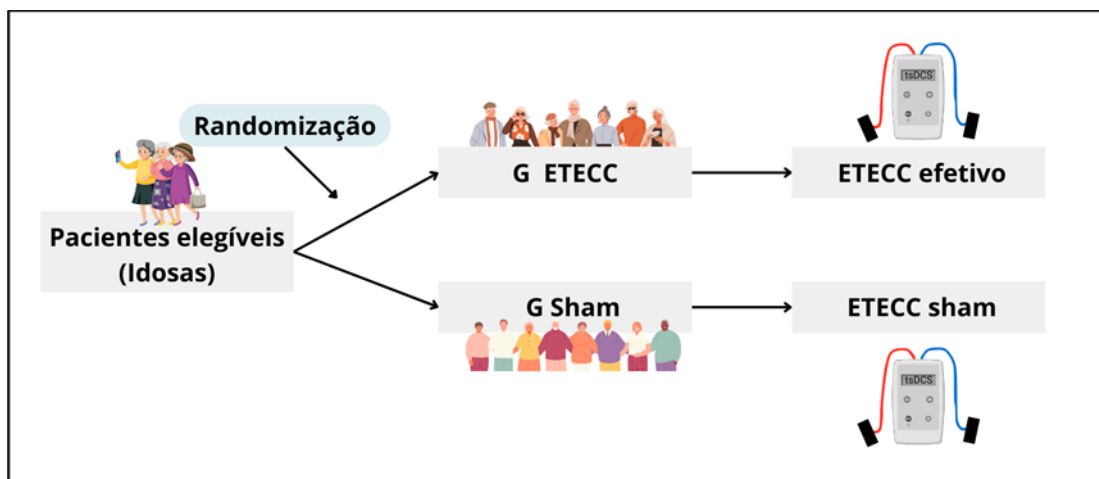


Figura 4: Demonstração da randomização das voluntárias idosas para o grupo (G) ETECC e grupo (G) Sham. Criado com Canva.com.

5.8. AVALIAÇÃO DA FORÇA DINÂMICA INSPIRATÓRIA

No segundo dia a força muscular inspiratória dinâmica foi mensurada pelo índice de força (índice S), utilizando o dispositivo eletrônico de carga linear PoweBreathe K5 (HaB International, Ltd., Southam, Inglaterra), de acordo com as metodologias anteriores (KOWALSKI & KLUSIEWICZ, 2023). As avaliações foram realizadas solicitando-se as participantes que realizasse 5 inspirações máximas, após 5 inspirações de aquecimento, contra a resistência fornecida pelo dispositivo, com um tempo entre inspirações de 4,5 segundos. Elas foram encorajadas a realizar o esforço máximo durante o teste, recebendo o estímulo por comando verbal. As avaliações foram realizadas antes e após a aplicação da estimulação ou falsa estimulação. Além disso, o PowerBreathe K5 mediu outras variáveis juntamente com a variável Índice S, como pico de fluxo inspiratório (PFI) e volume inspiratório (VI). Ambos os valores foram adquiridos nos valores mais altos da variável Índice S (Figura 5).

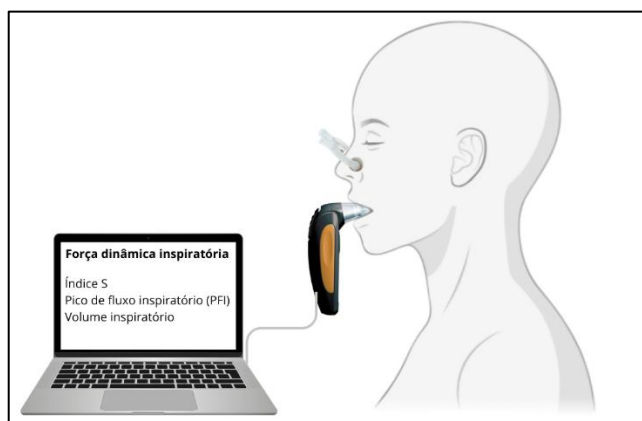


Figura 5: Demonstração da avaliação da força muscular inspiratória dinâmica por meio do PoweBreathe K5 (HaB International, Ltd., Southam, Inglaterra). Criado com BioRender.com e Canva.com.

5.9. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MUSCULAR VENTILATÓRIA

A avaliação da resistência muscular ventilatória foi realizada por meio da ventilação voluntária máxima (VVM) prevista por espirômetro digital portátil (SPM-A, Contec Medical Systems Co., Ltd., Hebei, China). As avaliações foram realizadas solicitando-se as participantes que realizasse três vezes o teste de VVM por 12 segundos para cada teste. Elas foram encorajadas a realizar esforço máximo, recebendo o estímulo por comando verbal. A avaliação da VVM foram realizadas antes e após a aplicação da estimulação ou falsa estimulação. Os voluntários seguiram os padrões da American Thoracic Society (AMERICAN THORACIC SOCIETY/EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY, 2002) e os valores de referência adotados foram aqueles descritos para a população brasileira e a faixa etária relevante (Figura 6).

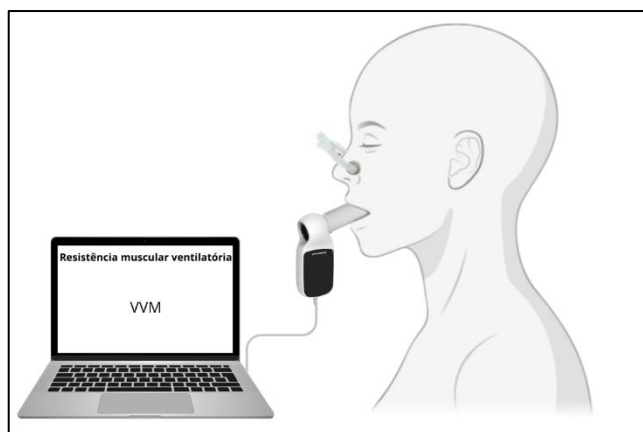


Figura 6: Demonstração da avaliação da resistência muscular ventilatória por meio da ventilação voluntária máxima (VVM), utilizando o espirômetro digital portátil (SPM-A, Contec Medical Systems Co., Ltd., Hebei, China). Criado com BioRender.com e Canva.com.

5.10. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

5.10.1. Estimulação Trans Espinhal por Corrente Contínua

A ETECC foi aplicada por um dispositivo de eletroestimulação (Microestim Foco Research, NKL, Santa Catarina, Brasil). O cátodo foi posicionado na região anterior do pescoço, logo abaixo do ângulo cervicomentoniano, e o ânodo foi posicionado na coluna cervical posterior, ao nível das vértebras C3-C5 (LEE et al.,2015 e NIÉRAT et al.,2014) (Figura 7 e 8). As participantes receberam estimulação elétrica a 2 mA utilizando um eletrodo de esponja embebido em solução salina com uma área de 35 cm², produzindo uma densidade de

corrente de aproximadamente $0,08 \text{ mA/cm}^2$ (NIÉRAT et al.,2014). Para receber a estimulação elas deveriam ficar na posição sentada, confortavelmente. O protocolo incluiu um aumento de 30 segundos, 20 minutos de estimulação elétrica e um decréscimo de 30 segundos. As voluntárias que receberam estímulo simulado foram submetidas ao mesmo protocolo de estimulação, mas após 60 segundos de estimulação, o estímulo foi interrompido, com estímulos elétricos sublimiares espalhados durante os 30 minutos de aplicação.

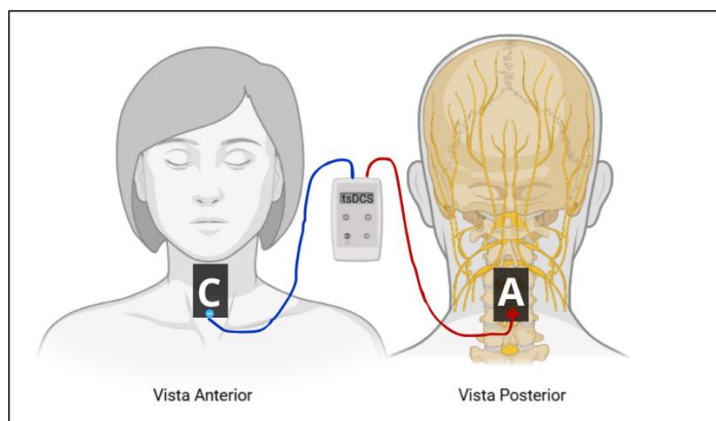


Figura 7: Demonstração em vista anterior e posterior dos pontos de aplicação dos eletrodos (cátodo simbolizado pela letra C e ânodo simbolizado pela letra A) e do dispositivo utilizado para eletroestimulação (Microestim Foco Research, NKL, Santa Catarina, Brasil). Criado com BioRender.com e Canva.com.

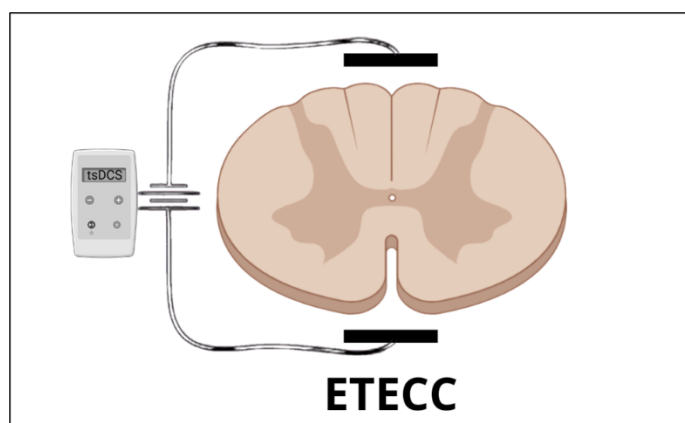


Figura 8: Demonstração da medula espinhal em corte transversal onde é possível observar a substância branca (localizada mais externamente) e substância cinzenta (em formato de letra H). A aplicabilidade da ETECC está representada por duas correntes paralelas a medula. Criado com BioRender.com e Canva.com.

5.11. MASCARAMENTO DO ESTUDO

O estudo foi caracterizado por duplo-mascarado. No primeiro mascaramento, os pesquisadores responsáveis pela aplicação e avaliação não tinham conhecimento sobre o grupo de alocação das participantes (estimulação ou simulação), pois para ligar o dispositivo de neuromodulação era necessário um código de estimulação e falso estímulo. Um pesquisador

independente, que estava fora do laboratório, indicou um código a ser utilizado no dispositivo de eletroestimulação. No segundo mascaramento, as voluntárias também não sabiam em qual grupo seriam alocados (estimulação ou falsa simulação).

6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente, a natureza da distribuição das variáveis foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variáveis foi avaliada pelo teste de Levene. As medidas de tendência central e dispersão foram organizadas, e as variáveis com distribuição normal foram descritas como média e desvio-padrão, enquanto as variáveis com distribuição não normal foram descritas como mediana e amplitude de variação. Os principais modelos de pesquisa concentraram-se na análise da média, utilizando o teste *t* de *Student* e o teste ANOVA *two-way (between-within) post hoc* de Bonferroni. Para o TE utilizado os valores de η^2 parcial aceitando os valores pequenos de $0,01 \leq \eta^2 \text{ parcial} < 0,06$, médio $0,06 \leq \eta^2 \text{ parcial} < 0,14$ e Grande $\eta^2 \text{ parcial} \geq 0,14$. As análises foram realizadas utilizando os programas estatísticos Jamovi (Jamovi project, Sidney, Austrália) e Graphpad Prism v.7.0 (Graphpad, Califórnia, EUA). O nível de significância aceito foi de $p < 0,05$.

7. RESULTADOS

Na pesquisa inicial, das 59 voluntárias idosas avaliadas quanto à elegibilidade, 19 foram excluídas (4 não atenderam aos critérios e 15 retiraram o consentimento à participação no estudo), totalizando 40 voluntárias. Das 60 voluntárias jovens, 40 foram randomizadas (3 apresentavam contraindicações clínicas, 4 retiraram o consentimento para participar, 7 abandonaram o estudo e 6 apresentaram VEF1/CVF inferior a 70%), totalizando 40 voluntárias. Após a seleção dos critérios de inclusão e exclusão, 40 idosas foram randomizadas, 20 para o grupo ETECC e 20 para o grupo Sham. No grupo de mulheres jovens, 40 voluntárias foram randomizadas, 20 para o grupo ETECC e 20 para o grupo Sham. No protocolo experimental, duas voluntárias jovens do grupo ETECC abandonaram o estudo antes da ETECC, totalizando em 18 jovens para o grupo ETECC. E no grupo ETECC das idosas, uma voluntária abandonou o estudo antes da ETECC, totalizando em 19 idosas para o grupo ETECC. (Figura 9).

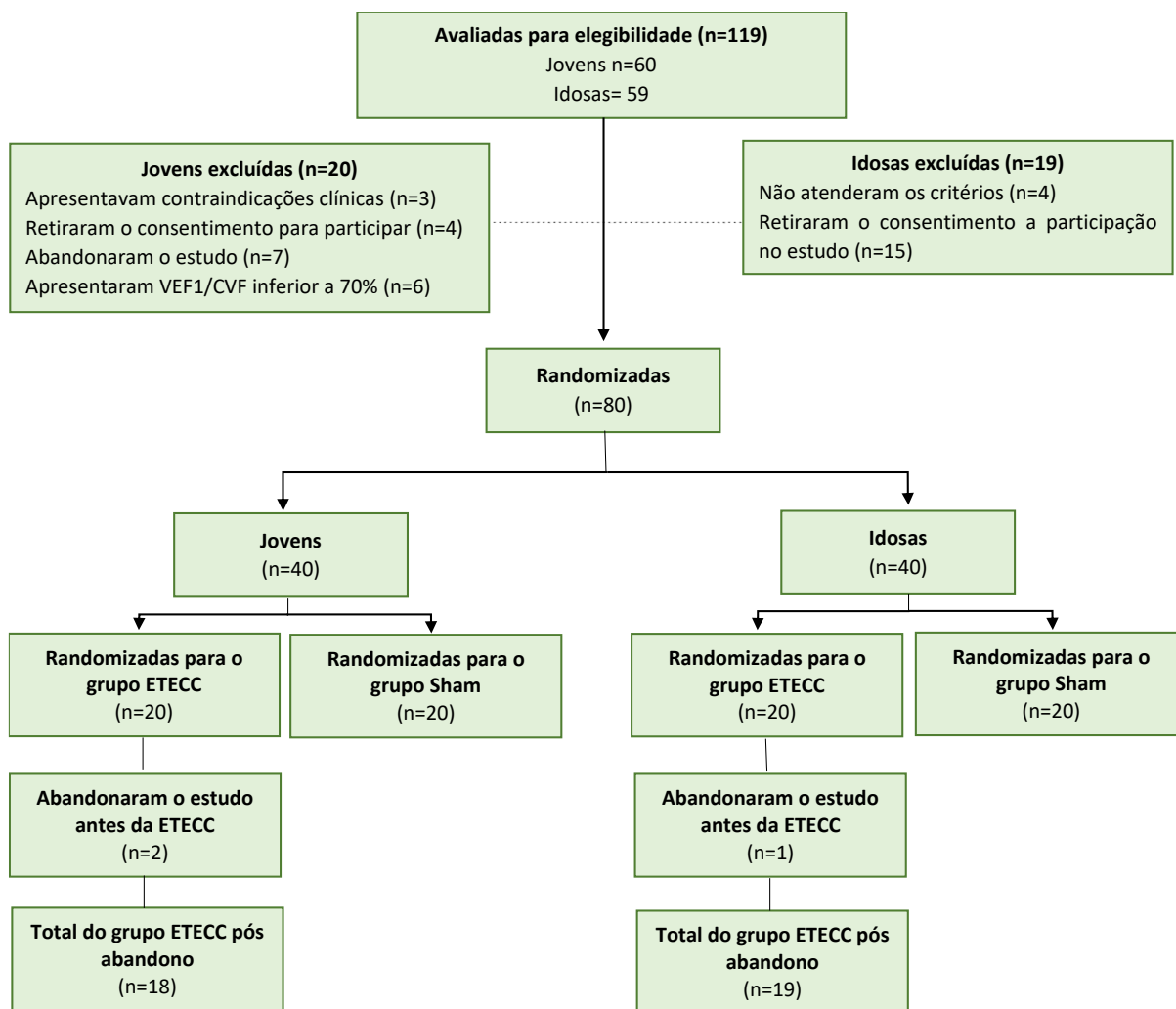


Figura 9: Representação esquemática de um fluxograma representando o processo de recrutamento das voluntárias até a randomização dos grupos e desistência de participantes jovens no grupo ETECC (n=2) e participante idosa no grupo ETECC (N=1). Criação do próprio autor.

Os resultados dos experimentos foram divididos em grupos de mulheres jovens e idosas.

A tabela 1 mostra as características basais de ambos os grupos de jovens voluntárias. Não houve diferenças significativas em termos de idade, IMC e principais parâmetros ventilatórios entre os grupos. Em relação à idade, as voluntárias do grupo intervenção tinham $18,9 \pm 1,8$ anos e as voluntárias do grupo simulado tinham $19,0 \pm 1,8$ anos. Em relação à massa corporal, os valores de IMC foram semelhantes em ambos os grupos (grupo simulado = $25,6 \pm 6,7$ kg/m²; grupo intervenção tinha $21,1 \pm 4,3$ kg/m²). A função pulmonar também foi homogênea entre os grupos.

A tabela 2 mostra as características basais de ambos os grupos de voluntárias idosas. Não foi possível observar diferenças significativas em termos de idade, IMC e nos principais parâmetros ventilatórios entre os grupos. Em relação à idade, as voluntárias do grupo

intervenção tinham $66 \pm 3,4$ anos e as voluntárias do grupo simulado tinham $68 \pm 5,0$ anos. Em relação à massa corporal, os valores de IMC foram semelhantes em ambos os grupos (grupo simulado = $28,7 \pm 10$ kg/m²; grupo intervenção tinha $26,7 \pm 4,8$ kg/m²). Em relação à função pulmonar, não foi observada diferença entre os grupos em todas as variáveis de função pulmonar.

Tabela 1: Características basais do grupo Sham e grupo ETECC de jovens voluntárias.

	Grupo Sham (n= 20)	Grupo ETECC (n=18)	Valor de <i>p</i>
Idade (anos)	$19,0 \pm 1,8$	$18,9 \pm 1,8$	0,86
IMC (kg/m ²)	$25,6 \pm 6,7$	$21,1 \pm 4,3$	0,09
PAS (mmHg)	$109 \pm 10,9$	$106 \pm 8,6$	0,30
PAD (mmHg)	74 ± 10	$72 \pm 6,7$	0,43
FC (bpm)	86 ± 13	86 ± 14	0,98
SatO ₂ (%)	$96 \pm 1,0$	$98 \pm 4,6$	0,16
VEF ₁	$3,41 \pm 0,51$	$3,25 \pm 0,41$	0,30
VEF1 predito (%)	107 ± 11	102 ± 9	0,76
CVF	$4,07 \pm 0,64$	$3,79 \pm 0,47$	0,15
CVF predito (%)	113 ± 12	109 ± 7	0,43
VEF ₁ /CVF (%)	$84 \pm 5,0$	$86 \pm 2,4$	0,18

IMC: Índice de massa corporal; PAS: Pressão Arterial Sistólica; PAD: Pressão Arterial Diastólica; FC: Frequência cardíaca; SatO₂: Saturação de oxigênio; VEF₁: Volume Expiratório Forçado em 1 segundo; VEF1(%): Volume Expiratório Forçado em 1 segundo como uma Porcentagem do Valor predito; CVF: Capacidade Vital Forçada; CVF (%): Capacidade Vital Forçada como uma Porcentagem do Valor predito; VEF₁/CVF (%): Razão entre Volume Expiratório Forçado em 1 segundo e Capacidade Vital Forçada como uma Porcentagem.

Tabela 2: Características basais do grupo Sham e grupo ETECC de voluntárias idosas.

	Grupo Sham (n= 20)	Grupo ETECC (n=19)	Valor de <i>p</i>
Idade (anos)	$68 \pm 5,0$	$66 \pm 3,4$	0,78
IMC (kg/m ²)	$28,7 \pm 10$	$26,7 \pm 4,8$	0,13
PAS (mmHg)	140 ± 10	133 ± 9	0,29
PAD (mmHg)	82 ± 9	84 ± 7	0,32
FC (bpm)	72 ± 8	73 ± 9	0,88
SatO ₂ (%)	$97 \pm 1,0$	$97 \pm 2,0$	0,98
VEF ₁	$1,71 \pm 0,2$	$1,79 \pm 0,3$	0,65
VEF1 predito (%)	122 ± 15	128 ± 12	0,19
CVF	$2,05 \pm 0,3$	$2,10 \pm 0,4$	0,15
CVF predito (%)	119 ± 18	109 ± 15	0,21
VEF ₁ /CVF (%)	$82 \pm 1,3$	$83 \pm 1,8$	0,77

IMC: Índice de massa corporal; PAS: Pressão Arterial Sistólica; PAD: Pressão Arterial Diastólica; FC: Frequência cardíaca; SatO₂: Saturação de oxigênio; VEF₁: Volume Expiratório Forçado em 1 segundo; VEF1(%): Volume Expiratório Forçado em 1

segundo como uma Porcentagem do Valor predito; CVF: Capacidade Vital Forçada; CVF (%): Capacidade Vital Forçada como uma Porcentagem do Valor predito; VEF₁/CVF (%): Razão entre Volume Expiratório Forçado em 1 segundo e Capacidade Vital Forçada como uma Porcentagem.

7.1. EFEITOS DA ETECC

Observamos o efeito da ETECC em duas faixas etárias: mulheres jovens e idosas. Observou-se uma diferença na resposta entre as faixas etárias, que será discutida em uma subseção separada.

7.1.1. EFEITO DA ETECC EM JOVENS

Não foi observado impacto significativo da estimulação elétrica em nenhuma variável estudada das participantes jovens, com um pequeno TE entre as variáveis, sugerindo uma baixa probabilidade de resultados de erro do tipo II na resposta aguda à estimulação (Figura 10).

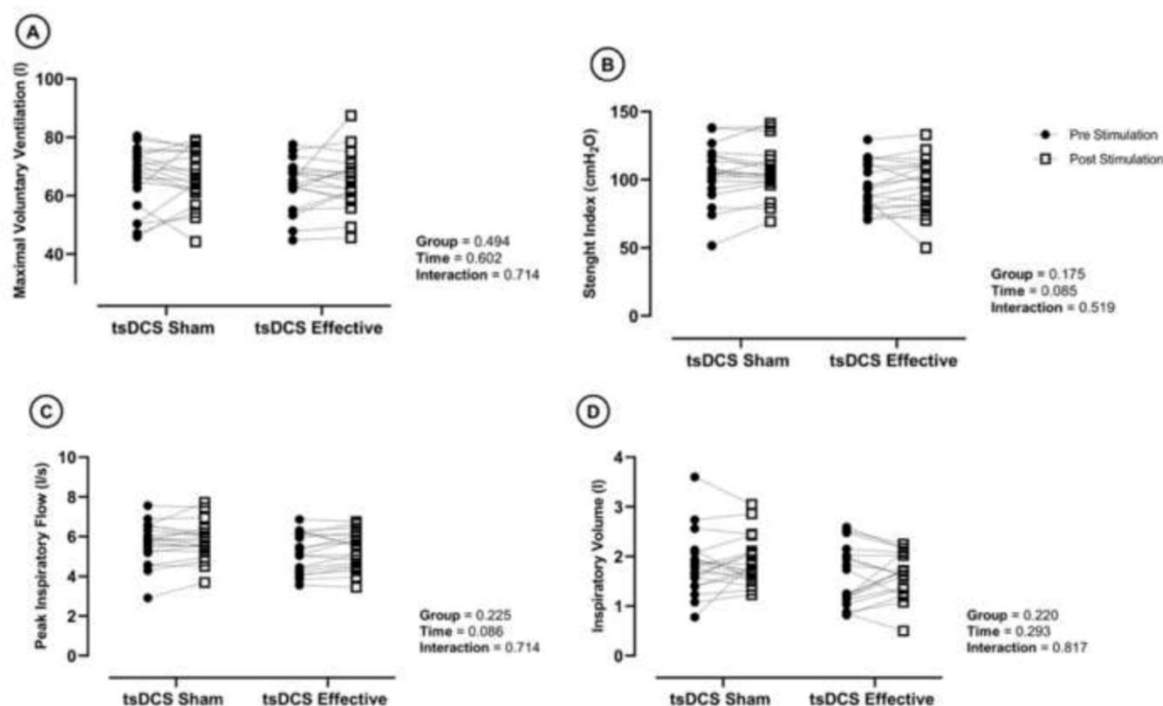


Figura 10: Mostra o efeito da ETECC em mulheres jovens em relação à resistência muscular (Figura 10.A), força muscular inspiratória medida pelo índice S (Figura 10.B), PFI (Figura 10.C) e volume inspirado durante a manobra do índice S (Figura 10.D).

7.1.2. EFEITO DA ETECC EM IDOSOS

Ao contrário do observado em jovens, a ETECC teve um impacto significativo nos músculos inspiratórios das idosas. A figura 11.A mostra que a estimulação elétrica não influenciou a resistência muscular por meio da VVM medida por espirometria. No entanto, a figura 11.B mostra um aumento na força inspiratória no grupo de estimulação (Tempo: $p=0,001$), com os seguintes valores (Grupo Intervenção: Pré: $77,0 \pm 16$ mmH₂O; Pós: $85,7 \pm 18$ mmH₂O; post hoc: $p=0,014$) e grande TE (η^2 parcial do tempo = 0,253). Da mesma forma, observou-se um aumento no PFI no grupo de intervenção (Tempo: $p = 0,003$) na Figura 11.C, acompanhando o aumento da força muscular inspiratória (Grupo de Intervenção: Pré: $4,35 \pm 1,0$ L/s; Pós: $4,81 \pm 0,6$ L/s; post hoc: $p = 0,021$) e um TE maior (η^2 parcial do tempo = 0,221). Por fim, o aumento da força inspiratória e do fluxo inspiratório não se traduziu em aumento do VI durante o teste, como observado na Figura 11.D.

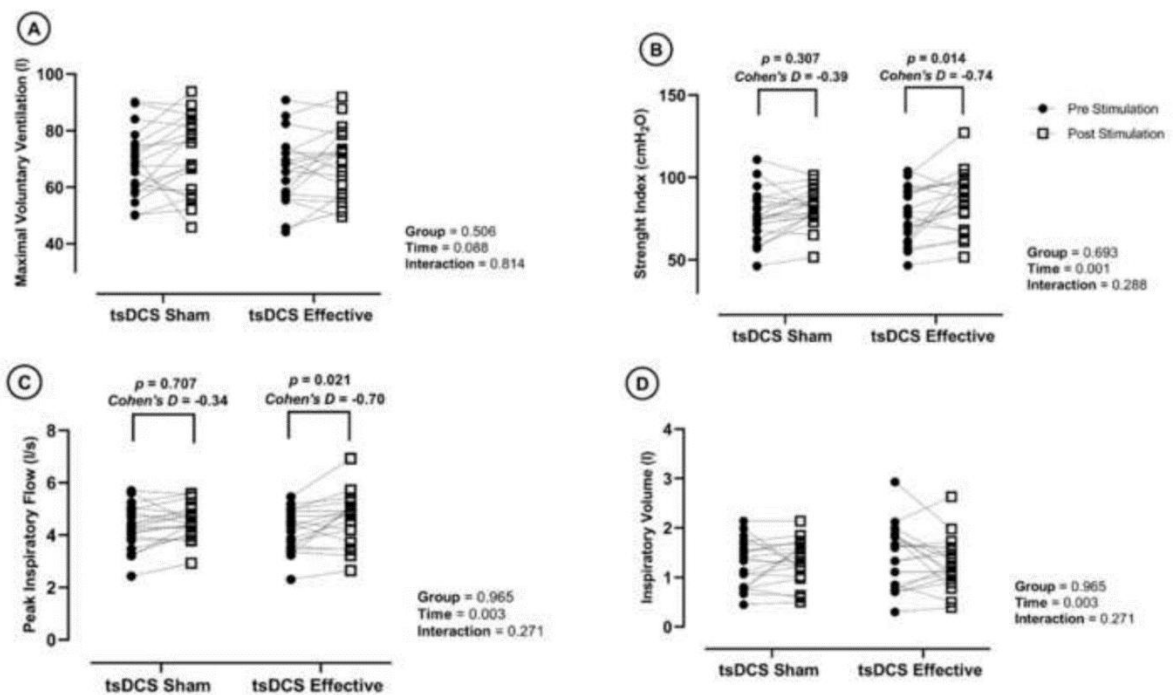


Figura 11: Mostra o efeito da ETECC em idosas em relação à resistência muscular (Figura 6.A), força muscular inspiratória medida pelo índice S (Figura 6.B), PFI (Figura 6.C) e volume inspirado durante a manobra do índice S (Figura 6.D).

8. DISCUSSÃO

Sumarização

Este é o primeiro estudo a avaliar a força muscular inspiratória e a resistência muscular ventilatória em mulheres jovens e idosas saudáveis com a ETECC em C3-C5. Os nossos achados demonstram que a ETECC proporcionou mais aumento da força muscular inspiratória e no fluxo inspiratório em idosas do que em mulheres jovens. Enquanto as idosas apresentaram um aumento da força dos músculos inspiratórios e aumento do fluxo inspiratório pelo S-index, as mulheres jovens não apresentaram nenhuma mudança significativa e considerável nessas variáveis. Assim como não houve mudança significativa em ambas as populações quando avaliada a resistência muscular ventilatória por meio da VVM. Além disso na avaliação do PFI medido pelo S-index em ambos os grupos, os dados demonstram que a ETECC não foi capaz de influenciar nenhuma mudança significativa no aumento do VI nas mulheres jovens ou idosas.

Efeito da ETECC nas voluntárias jovens

Nas mulheres jovens a ausência de efeitos significativos da ETECC nas variáveis analisadas pode ser atribuída ao fato de apresentarem níveis normais e preservados dessas capacidades para a faixa etária, sendo, talvez de forma hipotética, necessário mais dias de estimulação ou aplicação de protocolos repetidos para induzir mudanças fisiológicas relevantes. Essa hipótese é reforçada pelos achados de FAVA DE LIMA et al. (2022), que também não observaram efeitos estatisticamente significativos da ETECC sobre o controle postural em jovens saudáveis durante a postura ortostática estática. Isso reforça que a eficácia da ETECC parece depender não apenas do local de aplicação e da modalidade de avaliação funcional, mas principalmente do perfil funcional basal dos indivíduos e da quantidade de dias da estimulação (FAVA DE LIMA et al., 2022).

Estudo demonstra que populações jovens e saudáveis, cuja integridade neuromuscular e sensorio-motora está preservada, pode haver uma menor responsividade a protocolos agudos de neuromodulação, uma vez que não há déficit funcional a ser restaurado ou potencializado (AWOSIKA et al., 2019). KUCK et al., (2018) destacaram a importância de direcionar a aplicação da ETECC a populações com declínio funcional instalado como o envelhecimento ou patologias neuromusculares nas quais há maior potencial de benefício clínico (KUCK et al., 2018).

É possível que a escolha de mulheres jovens saudáveis para este estudo tenha dificultado as alterações das variáveis observadas por ETECC, como já descrito na literatura por diversos autores (AWOSIKA et al., 2019; MAGALHÃES et al., 2012; FAVA DE LIMA et al., 2022), e

que reforçam que indivíduos jovens saudáveis não conseguem se beneficiar da neuromodulação produzida pela estimulação elétrica medular, pois é necessário considerar a fisiologia e anatomia do participante, como idade, sexo, altura, peso, as condições clínicas e a metodologia adotada (FAVA DE LIMA et al., 2022).

Efeito da ETECC nas voluntárias idosas

Nos achados das voluntárias idosas em que o processo de envelhecimento está associado à redução progressiva da força muscular inspiratória e da resistência ventilatória (DANTAS et al., 2023), a aplicação de uma única sessão de ETECC foi suficiente para promover aumento significantes no S-index e PFI, possivelmente em razão de particularidades fisiológicas e da sucessibilidade neural que variam com o envelhecimento. Levando em conta os feitos da ETECC nas idosas, o estudo de RAHMAN et al., (2022) a qual procurou verificar os efeitos terapêuticos da ETECC e da estimulação de corrente pulsada transespinhal na modulação de funções motoras, autonômicas e respiratórias em indivíduos com lesão medular, demonstrou efeitos positivos sobre o sistema respiratório como o aumento do volume corrente, ativação do nervo frênico, modulação de vias corticoespinhais e sensório-motora, e melhora funcional da musculatura respiratória (RAHMAN et al., 2022).

Embora nosso estudo não tenha semelhança com o estudo de (RAHMAN et al., (2022), conseguimos afirmar que a ETECC apresenta um efeito positivo na modulação do sistema respiratório, possivelmente por ativar o nervo frênico e conseguir produzir mecanismos de excitabilidade neural, reafirmando o resultado desses efeitos nas voluntárias idosas.

Estudo demonstra que a estimulação transcraniana por corrente contínua causa depressão na área cortical e excitação na área corticoespinhal, de modo que efeitos de curto e longo prazo são percebidos nas vias corticofrênica e lemniscal (GÓMEZ-SORIANO et al., 2019). Diferentemente, estudo do nosso grupo de pesquisa mostrou que a estimulação bilateral catódica na área motora cortical foi capaz de aumentar a força muscular inspiratória em idosas (PEREIRA et al., 2025), no entanto a aplicação requer mais de um aparelho o que pode ser dispendioso na prática clínica. Diferentemente, o efeito da ETECC já era defendido pelo estudo pioneiro de NIÉRAT et al., (2014) que ofereceu evidências inéditas que a ETECC pode modular a excitabilidade dos motoneurônios frênicos, a quais são essenciais para a ativação do diafragma de forma direta e pode ser aplicado apenas com aparelho de neuromodulação. O estudo de (LIM et al., 2011 e NIÉRAT et al., 2014) trouxeram que uma única sessão de ETECC aplicada nos

segmentos C3–C5 é capaz de modular a excitabilidade corticofrênica e os parâmetros neuromecânicos respiratórios em humanos saudáveis. Ambas as polaridades da ETECC (anodal e catodal) promoveram um aumento progressivo na amplitude dos PEM que persistiu por pelo menos 15 minutos após o término da estimulação (NIÉRAT et al., 2014). No entanto nos estudos de ambos os grupos, a aplicação foi realizada em voluntários jovens. Mesmo assim, esses achados podem trazer luz e auxiliar os nossos resultados de que a ETECC apresentou efeito positivo pós-intervenção nas voluntárias idosas.

Os achados no estudo de DEMOULE et al., (2008) que investigou os efeitos de um treinamento respiratório voluntário de curta duração sobre a plasticidade do controle corticospinal do diafragma em indivíduos saudáveis, demonstrou que o treinamento voluntário do diafragma é capaz de induzir plasticidade de curto prazo na via corticospinal, evidenciada por alterações na excitabilidade cortical e na organização funcional do córtex motor respiratório. Esse comportamento fornecem uma base neurofisiológica importante para a interpretação dos resultados do nosso estudo ao comprovarem que a via corticospinal respiratória apresenta plasticidade funcional induzida por treinamento voluntário, mesmo em curto prazo (DEMOULE et al., 2008). A partir disso, levanta-se uma hipótese que novos estudos utilizando o ETECC associada a técnica de treinamento respiratório pode facilitar ao aumento da força muscular inspiratória com maior magnitude ou após menores sessões de treinamento e aumentar a capacidade de plasticidade neuromuscular e potencializar a funcionalidade do músculo inspiratório.

Por outro lado, estudo que investigou os efeitos imediatos de uma sessão de estimulação elétrica diafragmática transcutânea (TEDS) no padrão respiratório de pacientes com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) apresentou em seus resultados efeitos benéficos da TEDS no padrão respiratório, especialmente em pacientes mais comprometidos funcionalmente como aqueles com menor saturação de oxigênio e maior frequência cardíaca basal (CANCELLIERO-GAIAD et al., 2013). Os pacientes apresentaram melhora ventilatória significativa, indicando que indivíduos com maior déficit respiratório basal são mais responsivos à intervenção elétrica (CANCELLIERO-GAIAD et al., 2013). Isso reforça a importância desse estudo com voluntários com doenças respiratórias crônicas e avaliar o custo efetividade e o tamanho de efeito da aplicação de correntes em diferentes localidades nessas populações.

Embora nenhuma mudança estatisticamente significativa na VVM tanto em mulheres jovens quanto nas idosas tenha sido induzida pela ETECC, não se pode afirmar que a ETECC

com polaridade catódica pode não ter efeito sobre a resistência dos músculos ventilatório, assim como para ausência de aumento no volume inspirado medido por meio do S-index em ambos os grupos. Além disso, podemos afirmar que a ETECC não influencia no aumento do volume de ar inspirado. É possível que uma sessão de eletroestimulação não tenha sido suficiente para influenciar essas variáveis, precisando de maiores estudos para afirmar esse comportamento. Além disso, a VVM pode não ser a melhor estratégia metodológica para avaliar a resistência após a aplicação da ETECC.

8.1. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O estudo focou exclusivamente em mulheres (Jovens e idosas). Isso limita a generalização dos resultados para homens, já que diferenças fisiológicas e hormonais podem influenciar a resposta à ETECC. No entanto, a utilização de apenas um sexo facilita ao aumento da validação interna, importante para a fase do estudo.

9. CONCLUSÃO

Conclui-se com esse estudo que as idosas foram as únicas que tiveram benefícios da ETECC no aumento da força muscular inspiratória e do fluxo inspiratório, quando comparado as mulheres jovens. Esses achados sugerem que futuras pesquisas explorem a aplicabilidade da ETECC sobre a musculatura ventilatória em diferentes faixas etárias, condições clínicas, e com mais dias de eletroestimulação, pois permitirá esclarecer os mecanismos subjacentes envolvidos e consolidar seu uso como recurso terapêutico na reabilitação respiratória.

REFERÊNCIAS

- AHMED, Zaghoul; WIERASZKO, Andrzej. Trans-spinal direct current enhances corticospinal output and stimulation-evoked release of glutamate analog, D-2, 3-3H-aspartic acid. **Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 9, p. 1576-1592, 2012.
- ALBUQUERQUE, Plínio Luna et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation and trans-spinal direct current stimulation associated with treadmill exercise in spinal cord and cortical excitability of healthy subjects: A triple-blind, randomized and sham-controlled study. **PloS one**, v. 13, n. 3, p. e0195276, 2018.
- ALEXANDRINO, Arthur et al. Evaluation of the clinical-functional vulnerability index in older adults. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 22, n. 06, p. e190222, 2019.
- AMERICAN THORACIC SOCIETY et al. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*, v. 166, p. 518-624, 2002.
- ANDRADE, Suellen Marinho et al. Efficacy and safety of HD-tDCS and respiratory rehabilitation for critically ill patients with COVID-19 The HD-RECOVERY randomized clinical trial. **Brain Stimulation**, v. 15, n. 3, p. 780-788, 2022.
- AREIAS, Guilherme de Souza et al. Concurrent validity of the static and dynamic measures of inspiratory muscle strength: comparison between maximal inspiratory pressure and s-index. **Brazilian journal of cardiovascular surgery**, v. 35, n. 4, p. 459-464, 2020.
- ARORA, Dimple Bajaj et al. Expiratory flow rate changes during menstrual cycle. **Pakistan Journal of Physiology**, v. 10, n. 3-4, p. 3-5, 2014.
- AWOSIKA, Oluwole O. et al. Transcutaneous spinal direct current stimulation improves locomotor learning in healthy humans. **Brain stimulation**, v. 12, n. 3, p. 628-634, 2019.
- AZABOU, Eric et al. Transcranial direct-current stimulation reduced the excitability of diaphragmatic corticospinal pathways whatever the polarity used. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v. 189, n. 1, p. 183-187, 2013.
- BASHIR, Shahid et al. Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over the primary motor cortex (M1) enhances motor response inhibition and visual recognition memory. **Medical Science Monitor Basic Research**, v. 28, p. e934180-1, 2022.
- BATSIKADZE, Giorgi et al. Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans. **The Journal of physiology**, v. 591, n. 7, p. 1987-2000, 2013.
- BOUTRON, Isabelle et al. CONSORT statement for randomized trials of nonpharmacologic treatments: a 2017 update and a CONSORT extension for nonpharmacologic trial abstracts. **Annals of internal medicine**, v. 167, n. 1, p. 40-47, 2017.
- CANCELLIERO-GAIAD, Karina M. et al. Acute effects of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation on respiratory pattern in COPD patients: cross-sectional and

comparative clinical trial. **Brazilian journal of physical therapy**, v. 17, n. 06, p. 547-555, 2013.

CARVALHO, Priscila De et al. Noninvasive Neuromodulation Techniques in Difficult Tracheostomy Weaning of Patients With Spinal Cord Injury Report of Two Cases. **Chest**, 2021.

COGIAMANIAN, Filippo et al. Effect of spinal transcutaneous direct current stimulation on somatosensory evoked potentials in humans. **Clinical Neurophysiology**, v. 119, n. 11, p. 2636-2640, 2008.

DANTAS, Ellem Nara Tananta et al. Life purpose before and during the COVID-19 pandemic in elderly physical activity practitioners in the interior of Amazonas State: a longitudinal study. **Revista Brasileira de Crescimento e Desenvolvimento Humano**, v. 33, n. 3, 2023.

DARDENGO, Cassia Figueiredo Rossi; MAFRA, Simone Caldas Tavares. Os conceitos de velhice e envelhecimento ao longo do tempo: contradição ou adaptação?. **Revista de ciências humanas**, n. 2, 2018.

DE TROYER, André; BORIEK, Aladin M. Mechanics of the respiratory muscles. **Comprehensive Physiology**, v. 1, n. 3, p. 1273-1300, 2011.

DEMOULE, Alexandre et al. Short-term training-dependent plasticity of the corticospinal diaphragm control in normal humans. **Respiratory physiology & neurobiology**, v. 160, n. 2, p. 172-180, 2008.

FAVA DE LIMA, Felipe; SILVA, Cristiano Rocha; KOHN, Andre Fabio. Transcutaneous spinal direct current stimulation (tsDCS) does not affect postural sway of young and healthy subjects during quiet upright standing. **Plos one**, v. 17, n. 4, p. e0267718, 2022.

FEHLINGS, Michael G.; TATOR, Charles H. The effect of direct current field polarity on recovery after acute experimental spinal cord injury. **Brain research**, v. 579, n. 1, p. 32-42, 1992.

FERREIRA, Fernanda Vargas; CIELO, Carla Aparecida; TREVISAN, Maria Elaine. Força muscular respiratória, postura corporal, intensidade vocal e tempos máximos de fonação na doença de Parkinson. **Revista CEFAC**, v. 14, p. 361-368, 2012.

FREITAS, Elizabete Viana de. PY, Ligia. **Tratado de Geriatria e Gerontologia**. 2013.

GÓMEZ-SORIANO, Julio et al. Non-invasive spinal direct current simulation for spasticity therapy following spinal cord injury: mechanistic insights contributing to long-term treatment effects. **The Journal of physiology**, v. 597, n. 8, p. 2121, 2019.

GOYAL, Manish; DWIVEDI, S. K.; RAJPUT, Ajit Singh. Effects of different phases of menstrual cycle on lung functions in young girls of 18-24 years age. **International Journal of Research in Medical Sciences**, v. 5, n. 2, p. 612-618, 2017.

GRAHAM, Brian L. et al. Standardization of spirometry 2019 update. An official American thoracic society and European respiratory society technical statement. *American journal of respiratory and critical care medicine*, v. 200, n. 8, p. e70-e88, 2019. Standardization of

spirometry 2019 update. An official American thoracic society and european respiratory society technical statement. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 200, e70–e88. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1590ST>.

GRECCO, Leandro H. et al. Transcutaneous spinal stimulation as a therapeutic strategy for spinal cord injury: state of the art. *Journal of Neurorestoratology*, v. 3, p. 73-82, 2015.

IBGE. Indicadores IBGE. Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínuos. 2019

JORGE, Juliana Sofia Serra. Espirometria na prática laboratorial: a experiência do laboratório de fisiopatologia respiratória do Hospital Distrital da Figueira da Foz. *Espirometria na prática laboratorial*, 2019.

KNOTKOVA, Helena et al. (Ed.). **Practical guide to transcranial direct current stimulation: principles, procedures and applications.** Springer, 2019.

KOWALSKI, Tomasz; KLUSIEWICZ, Andrzej. POWERbreathe® S-Index Test—guidelines and recommendations for practitioners. *Biomedical Human Kinetics*, v. 15, n. 1, p. 225-228, 2023.

KUCK, Alexander et al. Changes in H-reflex recruitment after trans-spinal direct current stimulation with multiple electrode configurations. *Frontiers in neuroscience*, v. 12, p. 151, 2018.

LEE, A., Chang, W.H., Lee, M.J., Kim, M.S., Kim, Y.H., 2015. Dual-mode noninvasive brain stimulation over prefrontal cortices on working memory in stroke patients. *Brain Stimul.: Basic Transl. Clin. Res. Neuromodul.* 8, 359. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.01.157>.

LI, Chun-wei et al. Pathogenesis of sarcopenia and the relationship with fat mass: descriptive review. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, v. 13, n. 2, p. 781-794, 2022.

LI, L. I. et al. Age-associated changes in pulmonary function: a comparison of pulmonary function parameters in healthy young adults and the elderly living in Shanghai. *Chinese medical journal*, v. 125, n. 17, p. 3064-3068, 2012.

LIEBETANZ, David et al. Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. *Brain*, v. 125, n. 10, p. 2238-2247, 2002.

LIM, Chai-Young; SHIN, Hyung-Ik. Noninvasive DC stimulation on neck changes MEP. *Neuroreport*, v. 22, n. 16, p. 819-823, 2011.

MAGALHÃES, Fernando Henrique; KOHN, André Fabio. Imperceptible electrical noise attenuates isometric plantar flexion force fluctuations with correlated reductions in postural sway. *Experimental brain research*, v. 217, n. 2, p. 175-186, 2012.

MINARIK, Tamas et al. Effects of anodal transcranial direct current stimulation on visually guided learning of grip force control. *Biology*, v. 4, n. 1, p. 173-186, 2015.

NAÇÕES UNIDAS. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas. Divisão de População. **Perspectivas da População Mundial**. 2019.

NIÉRAT, Marie-Cécile; SIMIŁOWSKI, Thomas; LAMY, Jean-Charles. Does trans-spinal direct current stimulation alter phrenic motoneurons and respiratory neuromechanical outputs in humans? A double-blind, sham-controlled, randomized, crossover study. **Journal of Neuroscience**, v. 34, n. 43, p. 14420-14429, 2014.

NITSCHKE, Michael A.; PAULUS, Walter. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **The Journal of physiology**, v. 527, n. Pt 3, p. 633, 2000.

OLIVEIRA, Maria Itamara da Silva et al. Efeitos da eletroestimulação na função musculovenilatória em humanos: revisão de escopo. **Revista Neurociências**, v. 29, p. 1-27, 2021.

OLIVEIRA, Paula Duarte et al. **Body composition from 18 to 22 years and pulmonary function at 22 years—1993 Pelotas Birth Cohort**. **PLoS One**, v. 14, n. 6, p. e0219077, 2019.

OYARZÚN, Manuel. Función respiratoria en la senectud. **Revista médica de Chile**, v. 137, n. 3, p. 411-418, 2009.

PEREIRA, C.A.C., Sato, T., Rodrigues, S.C., 2007. New reference values for forced spirometry in adult Brazilians of white race. **J. Bras. Pneumol.** 33, 397–406. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132007000400008>.

PEREIRA, Carlos Alberto de Castro; SATO, Taeko; RODRIGUES, Sílvia Carla. Novos valores de referência para espirometria forçada em brasileiros adultos de raça branca. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 33, p. 397-406, 2007.

PEREIRA, Elder Nascimento et al. The acute effect of bilateral cathodic transcranial direct current stimulation on respiratory muscle strength and endurance. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v. 332, p. 104382, 2025.

PRESTES, Yandra Alves et al. Perfil cognitivo de idosos domiciliados de uma cidade no interior do Amazonas: Cognitive profile of elderly people living in a city in the interior of Amazonas. **Saúde em Redes**, v. 9, n. sup6, p. 4356-4356, 2023.

PRIORI, Alberto. Brain polarization in humans: a reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability. **Clinical neurophysiology**, v. 114, n. 4, p. 589-595, 2003.

RAHMAN, Md Akhlasur et al. Trans-spinal electrical stimulation therapy for functional rehabilitation after spinal cord injury. **Journal of clinical medicine**, v. 11, n. 6, p. 1550, 2022.

SALAZAR-MARTÍNEZ, Eduardo et al. Influence of inspiratory muscle training on ventilatory efficiency and cycling performance in normoxia and hypoxia. **Frontiers in Physiology**, v. 8, p. 133, 2017.

SALICIO, Viviane Martins Mana et al. Função respiratória em idosos praticantes e não praticantes de hidroterapia. **Journal of Health Sciences**, v. 17, n. 2, 2015.

SCHLAIER, Jürgen R. et al. Effects of spinal cord stimulation on cortical excitability in patients with chronic neuropathic pain: a pilot study. **European Journal of Pain**, v. 11, n. 8, p. 863-868, 2007.

SILVA, Soraia Micaela et al. Comparação da força muscular respiratória entre idosos após acidente vascular cerebral. **CEP**, v. 5001, p. 100, 2013.

TOMCZAK, Corey R.; GREIDANUS, Krista R.; BOLIEK, Carol A. Modulation of chest wall intermuscular coherence: effects of lung volume excursion and transcranial direct current stimulation. **Journal of Neurophysiology**, v. 110, n. 3, p. 680-687, 2013.

WALLACE, Christopher M.; TATOR, Charles H.; PIPER, Ian. Recovery of spinal cord function induced by direct current stimulation of the injured rat spinal cord. **Neurosurgery**, v. 20, n. 6, p. 878-884, 1987.

WANG, Yifan et al. Transcranial direct current stimulation of bilateral dorsolateral prefrontal cortex eliminates creativity impairment induced by acute stress. **International Journal of Psychophysiology**, v. 171, p. 1-11, 2022.