

Andrieli Barbieri Garlet

**Estimulação Elétrica de Corpo
Inteiro em Pacientes Submetidos a
Transplante de Pulmão: Um Ensaio
Clínico Randomizado**

UFCSPA
Universidade Federal de Ciências da Saúde
de Porto Alegre

Porto Alegre

2026

Estimulação Elétrica de Corpo Inteiro em Pacientes Submetidos a Transplante de Pulmão: Um Ensaio Clínico Randomizado

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre para obtenção do grau de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Della Múa
Plentz

Coorientadora: Dra. Jociane Schardong

Porto Alegre

2026

**Estimulação Elétrica de Corpo Inteiro em Pacientes
Submetidos a Transplante de Pulmão: Um Ensaio Clínico
Randomizado**

BANCA AVALIADORA

Dr. Fabrício Farias da Fontoura
Departamento de Fisioterapia
Universidade La Salle

Dra. Janice Luisa Lukrafka
Departamento de Fisioterapia
Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Dr. Douglas Zaione Nascimento
Departamento de Pneumologia
Santa Casa de Porto Alegre

Porto Alegre
2026

Catálogo na Publicação

Barbieri Garlet, Andrieli

Estimulação Elétrica de Corpo Inteiro em Pacientes Submetidos a Transplante de Pulmão: Um Ensaio Clínico Randomizado / Andrieli Barbieri Garlet. -- 2026.

71 f. : il., tab. ; 30 cm.

Tese (doutorado) -- Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, 2026.

Orientador(a): Rodrigo Della Múa Plentz ;
coorientador(a): Jociane Schardong.

1. Transplante de pulmão. 2. Terapia por estimulação elétrica. 3. Ensaio clínico. I. Título.

Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFCSPA com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTO

Agradeço, em especial, aos meus pais e ao meu irmão, que me acompanharam ao longo desta jornada extensa, marcada por desafios, emoções e conquistas. Sempre estiveram ao meu lado, mesmo diante da ansiedade, da distância e da saudade. Como diz meu pai: *“pequena no tamanho, mas grande na determinação”*, e agora quem diria que aquela menininha estaria finalizando o doutorado?

Agradeço também ao meu namorado e aos meus amigos, que foram meus alicerces emocionais. São 13 anos de muito estudo, compartilhados com risadas, viagens e aprendizados. Muitas vezes, a distância física foi necessária, e ter pessoas que compreendem, apoiam e confortam ao longo desses anos é, sem dúvida, uma verdadeira bênção.

Aos meus orientadores, Rodrigo Plentz e Jociane Schardong, expresso minha profunda gratidão pela oportunidade, pela convivência e pela paciência ao longo desses seis anos entre o mestrado e o doutorado. Meu crescimento profissional só foi possível porque tive as melhores referências em ensino, companheirismo e amizade.

Para que esta pesquisa tão desafiadora se concretizasse, não poderia deixar de agradecer ao meu grupo de pesquisa maravilhoso (Júlia Prusch, Maria Eduarda Cezar, Gustavo de Castro, Gabriela Corrêa, Jean Mesquita, Patrick Mankowski, Natiele Righi, Joanna Assumpção), que não mediram esforços para que as coletas acontecessem, em qualquer turno, final de semana ou feriado. Esse trabalho é de vocês!

Por fim, agradeço à equipe de fisioterapeutas da Reabilitação Pulmonar da Santa Casa de Porto Alegre (Juliessa Florian e Scheila Machado), à equipe da UTI do Hospital Dom Vicente Scherer, em especial, aos fisioterapeutas (Renata Medeiros e Daniel Felber) e à equipe médica dos transplantes (Douglas Nascimento e Jackeline Sousa), que me proporcionaram todo o suporte necessário ao longo desta trajetória.

RESUMO

O transplante pulmonar (TP) objetiva aumentar a sobrevida e melhorar a qualidade de vida de pessoas com doença pulmonar avançada. Entretanto, o paciente submetido ao TP pode incorrer com redução da massa muscular e capacidade física em decorrência da imobilidade e limitações estruturais impostas pela doença. A estimulação elétrica de corpo inteiro (EECI) pode ser uma alternativa para reduzir o impacto negativo do imobilismo e otimizar o processo de reabilitação. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da EECI sobre a força muscular de membros inferiores e mortalidade em pacientes pós TP. Para isso, foi realizado um ensaio clínico randomizado unicego, no qual os pacientes foram randomizados imediatamente após o TP para o grupo controle (GC - fisioterapia convencional) e grupo intervenção (GI - fisioterapia convencional mais EECI). As intervenções começaram após a extubação do paciente transplantado até a alta hospitalar ou no máximo por 15 dias (uma sessão/dia). Ambos os grupos foram avaliados antes do TP para força muscular geral e específica dos membros superiores e inferiores, força pulmonar respiratória e arquitetura muscular. Após o TP, para a força muscular geral, força muscular respiratória, arquitetura muscular e dano muscular. Ao final dos protocolos, todos os testes foram mensurados novamente. O desfecho mortalidade foi monitorado 30, 60 dias e 1 ano após o TP, e o tempo de internação hospitalar foi registrado. Vinte e nove pacientes participaram do estudo, com média de idade GI: $52,7 \pm 13$ e CG: $54,9 \pm 11,8$ anos. Ocorreu uma predominância de pacientes com depressão e ansiedade no GI ($p=0,050$). Observou-se maior preservação no GI em relação à força isométrica do músculo quadríceps e à espessura muscular avaliada por ultrassonografia, embora sem diferenças estatísticas entre os grupos. A força muscular global aumentou significativamente ao longo do tempo em ambos os grupos ($p=0,000$), mas não entre os grupos ($p=0,308$). A força muscular respiratória apresentou um comportamento de redução após a extubação e um aumento gradual ao final dos protocolos, com diferença dentro dos grupos ($p=0,000$). Em relação ao dano muscular, ocorreu uma redução significativa em ambos os grupos para as enzimas Creatina Quinase ($p=0,000$) e Lactato Desidrogenase ($p=0,021$). Foram

registrados 5 óbitos após 1 ano (GI n=2; CG n=3; $p=0,651$). O tempo de permanência na UTI não apresentou diferença significativa ($p=0,847$), enquanto o tempo de internação hospitalar foi 14,79 dias a menos no GI ($p=0,014$). Concluimos que a EECI reduziu o tempo de internação hospitalar e parece ter um efeito protetor sobre a força isométrica máxima do músculo quadríceps e a arquitetura muscular em pacientes hospitalizados após TP.

Palavras-chave: Transplante de pulmão; Terapia por estimulação elétrica; Ensaio clínico.

ABSTRACT

Lung transplantation (LT) aims to increase survival and improve the quality of life of people with advanced lung disease. However, patients undergoing LT may experience a reduction in muscle mass and physical capacity due to immobility and structural limitations imposed by the disease. Whole-body electrical stimulation (WB-EMS) may be an alternative to reduce the negative impact of immobility and optimize the rehabilitation process. The objective of this study was to evaluate the effects of WB-EMS on lower limb muscle strength and mortality in post-LT patients. A single-blind randomized clinical trial was conducted, in which patients were randomized immediately after LT to a control group (CG - conventional physiotherapy) and an intervention group (IG - conventional physiotherapy plus WB-EMS). Interventions began after extubation of the transplanted patient until hospital discharge or for a maximum of 15 days (one session/day). Both groups were evaluated before LT for general and specific muscle strength of the upper and lower limbs, respiratory lung strength, and muscle architecture. After LT, they were evaluated for general muscle strength, respiratory muscle strength, muscle architecture, and muscle damage. At the end of the protocols, all tests were measured again. Mortality was monitored 30, 60 days, and 1 year after the LT, and the length of hospital stay was recorded. Twenty-nine patients participated in the study, with a mean age of 52.7 ± 13 years in the IG group and 54.9 ± 11.8 years in the CG. There was a predominance of patients with depression and anxiety in the IG ($p=0.050$). Greater preservation of isometric quadriceps muscle strength and muscle thickness assessed by ultrasound was observed in the IG, although without statistical differences between the groups. Global muscle strength increased significantly over time in both groups ($p=0.000$), but not between the groups ($p=0.308$). Respiratory muscle strength showed a reduction after extubation and a gradual increase at the end of the protocols, with a difference within the groups ($p=0.000$). Regarding muscle damage, there was a significant reduction in both groups for the enzymes Creatine Kinase ($p=0.000$) and Lactate Dehydrogenase ($p=0.021$). Five deaths were recorded after 1 year (IG $n=2$; CG $n=3$; $p=0.651$). The length of stay in the ICU did not show a significant difference ($p=0.847$), while the length of hospital stay was 14.79 days less in the IG ($p=0.014$). We concluded that WB-EMS

reduced the length of hospital stay and appears to have a protective effect on the maximum isometric strength of the quadriceps muscle and muscle architecture in patients hospitalized after LT.

Key words: Lung Transplantation; Electric stimulation therapy; Clinical Trial.

Objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS)

ODS 3 – Saúde e Bem-Estar

Assegurar vida saudável e promover bem-estar para as pessoas de todas as idades, independente das comorbidades associadas e tratamentos envolvidos. Implementar protocolos de exercício físico com segurança que promova saúde e bem-estar para os pacientes pneumopatas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Spirit Checklist	31
Figura 2 – Flowchart of groups composition, evaluations and intervention.....	34
Figura 3 – Positioning of the electrodes in different muscle groups.....	61
Figura 4 – Consort 2025 Flow Diagram.....	62
Figura 5 – Length of stay in the intensive care unit and hospital in the intervention group (IG) and control group (CG)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Progression protocol for WB-SEM in post-lung transplant patients...	33
Tabela 2 – Characteristics of patients in the study admission	63
Tabela 3 – Values of peripheral muscle strength, respiratory muscle strength and muscle damage (n=29)	64
Tabela 4 – Values of muscle architecture (n=29)	65
Tabela 5 – Values of HR, RR, SpO ₂ , SBP, DBP, dyspnea, fatigue and pain during the whole-body electrostimulation protocol	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CG	Control group
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
CK	Creatine phosphokinase
CSA	Cross-sectional area
DCEP	Disfunção crônica do enxerto pulmonar
EECI	Estimulação elétrica de corpo inteiro
EENM	Estimulação elétrica neuromuscular
ICU	Intensive care unit
IG	Intervention group
ISHLT	Sociedade Internacional de Transplante Cardíaco e Pulmonar
LDH	Lactate dehydrogenase
LP	Lung Transplantation
MEP	Maximum expiratory pressure
MIP	Maximum inspiratory pressure
MRC	Medical Research Council
NMES	Neuromuscular electrical stimulation
SCPA	Santa Casa of Porto Alegre
SpO ₂	Oxygen saturation
STS	Sit-to-stant test
TP	Transplante Pulmonar
WB-EMS	Whole-body electrical muscle stimulation
6MWT	Six-minute walk test

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
REFERÊNCIAS.....	23
2 OBJETIVOS.....	27
3 ARTIGO 1	28
4 ARTIGO 2	40
5 CONCLUSÃO GERAL.....	67
6 IMPACTOS DO TRABALHO	68
ANEXO A	69

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Transplante de Pulmão

Segundo dados da Associação Brasileira de Transplante de Órgãos (ABTO), o número de transplantes de pulmão realizados no Brasil nos últimos anos tem se mantido relativamente estável, com uma média aproximada de 130 transplantes por ano, apesar de oscilações pontuais, como a redução observada durante o período da pandemia de COVID-19. Em 2023, especificamente, foram realizados 103 transplantes de pulmão no país. No mesmo período, 174 indivíduos, sendo 167 adultos e 7 crianças, encontravam-se na lista de espera para o procedimento. O tempo médio de espera por um novo pulmão pode chegar a até três anos, variando conforme a região do país. Entre os principais fatores limitantes destaca-se a concentração dos centros especializados em transplante pulmonar, atualmente restritos a apenas quatro estados brasileiros: São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Ceará (*Associação Brasileira de Transplante de Órgãos*, 2023).

No Brasil, o transplante pulmonar teve início no final da década de 1980, com os primeiros procedimentos realizados em Porto Alegre, que se consolidou como um dos centros pioneiros e de maior volume no país. Apesar dos avanços técnicos e do progressivo amadurecimento dos programas de transplante ao longo das últimas décadas, a atividade nacional permanece quantitativamente limitada quando comparada à de países de alta renda, refletindo a persistência de desafios estruturais, logísticos e relacionados ao acesso ao procedimento (Camargo et al., 2015).

Em contraste com esse cenário nacional, dados internacionais indicam uma tendência de recuperação gradual no número de transplantes pulmonares após o impacto inicial da pandemia. De acordo com o *Annual Data Report* de 2023, elaborado pelo *Scientific Registry of Transplant Recipients* (SRTR) e pela *Organ Procurement and Transplantation Network* (OPTN), observou-se um aumento no número de transplantes de pulmão realizados nos Estados Unidos. Entretanto, esse crescimento ainda não foi suficiente para atingir os volumes nacionais registrados no período pré-pandemia, em 2019. Por outro lado, o

número de novos candidatos adultos adicionados anualmente à lista de espera voltou a crescer após o menor patamar observado em 2020, totalizando 3.161 candidatos incluídos em 2022 (Valapour et al., 2024).

Nesse cenário de oferta limitada de órgãos e demanda crescente, o transplante pulmonar configura-se como uma opção terapêutica indicada para pacientes com doenças pulmonares em estágio avançado. A identificação e seleção dos candidatos são realizadas pelo pneumologista, que encaminha o paciente para ingresso na lista de espera após avaliação criteriosa conduzida por equipe multidisciplinar, composta por serviço social, fisioterapia, cirurgia torácica, enfermagem, nutrição, psiquiatria e pneumologia. O objetivo dessa avaliação é estimar de forma individualizada os potenciais benefícios e riscos do procedimento. No contexto da legislação brasileira, não há critérios de priorização na fila de espera, exceto nos casos de falência aguda do enxerto nos primeiros 30 dias após o transplante pulmonar (Camargo et al., 2015).

A Sociedade Americana de Transplante (American Society of Transplantation - AST) e os Institutos Nacionais de Saúde (National Institutes of Health - NIH) patrocinaram uma conferência de consenso com o objetivo de estabelecer critérios para a listagem de candidatos ao transplante pulmonar. Posteriormente, esses critérios foram reconhecidos e avaliados por importantes sociedades científicas internacionais, incluindo a Sociedade Torácica Americana (American Thoracic Society - ATS), a Sociedade Internacional de Transplante Cardíaco e Pulmonar (International Society for Heart and Lung Transplantation - ISHLT), a Sociedade Respiratória Europeia (European Respiratory Society - ERS) e a Sociedade de Transplante da Austrália e Nova Zelândia (TSANZ). Esse movimento colaborativo deu início a uma ampla discussão multidisciplinar acerca do momento ideal para o encaminhamento de pacientes para avaliação de transplante pulmonar. As recomendações atuais refletem tanto o consenso estabelecido nessa conferência quanto a literatura disponível sobre o tempo apropriado de encaminhamento (Steinman et al., 2001).

De acordo com a ISHLT, são considerados critérios gerais para indicação de transplante pulmonar em adultos com doenças pulmonares crônicas em estágio terminal (Leard et al., 2021):

- 1) Risco elevado de mortalidade (>50%) em até dois anos caso o transplante não seja realizado;
- 2) Alta probabilidade (>80%) de sobrevida mínima de 90 dias após o transplante;
- 3) Alta probabilidade (>80%) de sobrevida em cinco anos sob uma perspectiva médica geral, desde que haja adequada função do enxerto.

As principais doenças que culminam na indicação de transplante pulmonar incluem a doença pulmonar obstrutiva crônica, as doenças pulmonares intersticiais fibrosantes, a fibrose cística e a hipertensão pulmonar, cuja distribuição varia conforme fatores epidemiológicos e regionais. Em estágios avançados, essas condições cursam com deterioração progressiva da função pulmonar e importantes repercussões sistêmicas, como intolerância ao exercício, descondicionamento físico, perda de massa muscular e comprometimento da qualidade de vida, aspectos que influenciam diretamente a elegibilidade, o prognóstico e os desfechos pós-transplante (Leard et al., 2021).

As doenças pulmonares crônicas que frequentemente evoluem para indicação de transplante pulmonar, como a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), a fibrose cística e as bronquiectasias, apresentam em comum alterações fisiopatológicas caracterizadas por inflamação crônica das vias aéreas, hipersecreção mucosa e comprometimento do transporte mucociliar, fatores que favorecem a colonização bacteriana persistente. Na DPOC, a exposição prolongada a partículas e gases nocivos desencadeia inflamação predominantemente neutrofílica, destruição do parênquima pulmonar e aumento da produção de muco, criando um ambiente propício à colonização por microrganismos como *Haemophilus influenzae*, *Streptococcus pneumoniae* e *Moraxella catarrhalis*, além de *Pseudomonas aeruginosa* em estágios mais avançados. Na fibrose cística, as alterações no transporte de íons decorrentes da disfunção do gene CFTR resultam em secreções espessas e desidratadas, com importante prejuízo do clearance mucociliar e colonização precoce e persistente por patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Burkholderia cepacia*. De forma semelhante, nas bronquiectasias, a dilatação irreversível dos brônquios associada à retenção de secreções estabelece um ciclo vicioso de inflamação e infecção recorrente, com colonização frequente por *Haemophilus influenzae*, *Pseudomonas aeruginosa* e

Staphylococcus aureus. A presença de colonização bacteriana crônica nessas condições está associada a exacerbações recorrentes, piora progressiva da função pulmonar e maior complexidade no manejo clínico pré e pós-transplante (Verma et al., 2021; Welp & Bomberger, 2020).

Além disso, os candidatos ao transplante pulmonar devem apresentar doença pulmonar em estágio terminal, de caráter progressivo, incapacitante e irreversível, incluindo, mas não se limitando, às condições descritas a seguir (Shweish & Dronavalli, 2019). Nesse contexto, as principais categorias de doenças candidatas ao transplante pulmonar incluem:

1) Doença pulmonar obstrutiva:

- I. Doença pulmonar obstrutiva crônica;
- II. Deficiência de alfa-1 antitripsina;
- III. Linfangioleiomiomatose (LAM);
- IV. Sarcoidose com pressão média da artéria pulmonar ≤ 30 mmHg;
- V. Bronquiectasia incluindo discinesia ciliar primária.

2) Doença vascular pulmonar:

- I. Hipertensão arterial pulmonar idiopática ou primária;
- II. Síndrome de Eisenmenger;
- III. Hipertensão pulmonar relacionada à doença tromboembólica crônica;
- IV. Doença veno-oclusiva pulmonar.

3) Doença pulmonar infecciosa:

- I. Fibrose cística;
- II. Síndromes de imunodeficiência como deficiência de IgG.

4) Doença pulmonar restritiva:

- I. Fibrose pulmonar idiopática;
- II. Granulomatose eosinofílica;
- III. Sarcoidose com pressão média da artéria pulmonar ≥ 30 mmHg;
- IV. Síndrome de esclerodermia/CREST;
- V. Carcinoma broncoalveolar;
- VI. Síndrome de bronquiolite obliterante (BOS) após transplante de pulmão;

VII. Falha primária do enxerto após transplante de pulmão.

No que se refere às contraindicações absolutas ao transplante pulmonar, a ISHLT estabelece critérios que incluem, entre outros: ausência de aceitação ou adesão do paciente ao procedimento; malignidade com alto risco de recorrência; disfunções orgânicas graves e irreversíveis (renal, hepática ou cardíaca); eventos cardiovasculares ou neurológicos recentes; infecções sistêmicas ativas; infecção tuberculosa ativa; infecção pelo HIV com carga viral detectável; comprometimento funcional severo sem potencial de reabilitação; deterioração cognitiva progressiva; episódios repetidos de não adesão; uso ativo de substâncias, incluindo tabaco e drogas ilícitas; e outras condições médicas graves não controladas que limitem a sobrevida pós-transplante (Leard et al., 2021).

Além disso, a ISHLT descreve fatores de risco considerados elevados ou substancialmente aumentados, que não configuram contraindicações absolutas, mas exigem avaliação criteriosa individualizada. Entre esses fatores destacam-se idade superior a 70 anos, doença arterial coronariana grave, fração de ejeção ventricular esquerda <40%, doença cerebrovascular significativa, dismotilidade esofágica grave, distúrbios hematológicos intratáveis, índice de massa corporal extremo, limitações funcionais com potencial de reabilitação, transtornos psiquiátricos com risco de baixa adesão, sistemas de suporte social inadequados, infecções por patógenos específicos de difícil tratamento, deformidades torácicas significativas, necessidade de suporte extracorpóreo e situações específicas de retransplante (Leard et al., 2021).

Reabilitação no Transplante de Pulmão

Como mencionado anteriormente, os pacientes indicados a realizar o transplante são aqueles com alguma doença pulmonar avançada e enfrentam um quadro de limitação funcional e tolerância reduzida ao exercício que está ligada com dispneia e fadiga (Evans et al., 2009; Spruit et al., 2013). Desse modo, a indicação de reabilitação pulmonar no pré e pós-operatório é de suma importância. Muitos centros de reabilitação, como o local onde foi realizada esta pesquisa, realiza atividades antes de o indivíduo receber o órgão, a fim de

minimizar os sintomas, diminuir a incapacidade, aumentar a qualidade de vida e otimizar o desempenho funcional independente (Takaoka & Weinacker, 2005).

Um estudo conduzido com candidatos ao transplante pulmonar em lista de espera avaliou os efeitos de um programa estruturado de reabilitação com duração de 36 semanas, composto por exercícios aeróbicos e treinamento de fortalecimento muscular (Florian et al., 2013). Ao término da intervenção, os autores observaram um aumento médio de 72 metros na distância percorrida no teste de caminhada de seis minutos, associado a uma redução significativa da dispneia. Esses achados evidenciam o impacto positivo da reabilitação pré-transplante na capacidade funcional e nos sintomas respiratórios, reforçando a relevância da implementação sistemática de programas de reabilitação no período pré-procedimento. Esses achados reforçam a importância da reabilitação pré-transplante como estratégia para otimizar a capacidade funcional e o manejo sintomático antes do procedimento.

Muitos transplantados apresentam um declínio da massa muscular tanto no pré como no pós-operatório em decorrência das limitações físicas que estão expostos (Kyle et al., 2003; Reinsma et al., 2006). Nesse sentido, foi observado que a diminuição da massa muscular (sarcopenia) poderia ser um fator de risco importante de morbidade e de risco modificável no quadro clínico do paciente pós-transplante (Cruz-Jentoft et al., 2010; Hook & Lederer, 2012). No entanto, apesar de haver avaliações para a massa muscular com exames de imagem e testes para a força muscular, ainda não está sendo estudada de maneira isolada a relação entre sarcopenia e pacientes com transplante de pulmão (Cesari et al., 2009; Lauretani et al., 2003). Além disso, fatores pós-transplante, tais como imobilização, mau estado nutricional e tratamento farmacológico podem contribuir para perda de músculo periférico ou disfunção, adicionado a doença pulmonar pré-procedimento, a qual o paciente já pode apresentar descondicionalamento muscular periférico e atrofia (Jaitovich & Barreiro, 2018).

Nesse contexto, a estimulação elétrica neuromuscular (EENM) consiste em um recurso terapêutico destinado a promover contrações musculares por meio da ativação de ramos nervosos intramusculares, utilizando eletrodos de superfície posicionados sobre os pontos motores. A aplicação de estímulos elétricos intermitentes na região muscular permite a geração de contrações

involuntárias, mimetizando parcialmente os efeitos do exercício ativo. A principal indicação clínica da EENM está relacionada à preservação da massa muscular, da força e da função neuromuscular em situações de imobilização prolongada, internação hospitalar ou incapacidade de realização de exercícios voluntários, como observado em pacientes críticos e no pós-operatório de grandes cirurgias (Bein et al., 2015).

A EENM exerce impacto significativo sobre a capacidade funcional de pacientes gravemente enfermos, sobretudo ao atuar como uma estratégia de mobilização precoce durante períodos de imobilização prolongada. De acordo com o posicionamento da Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e em Terapia Intensiva (ASSOBRAFIR), a EENM contribui de forma efetiva para a preservação da massa muscular e da força, desempenhando papel central na prevenção da fraqueza muscular adquirida na unidade de terapia intensiva (FMA-UTI) e da polineuropatia periférica associada ao estado crítico, condições diretamente relacionadas à perda de independência funcional. Evidências compiladas pela entidade indicam que a aplicação da EENM está associada a melhora significativa da força muscular global, avaliada pela escala do *Medical Research Council* (MRC), quando comparada aos cuidados usuais. Além disso, pacientes submetidos à EENM podem apresentar recuperação da força muscular substancialmente mais rápida, até 4,5 vezes superior em relação àqueles que recebem apenas o tratamento convencional, reforçando o potencial dessa intervenção como recurso adjuvante na reabilitação precoce de pacientes críticos (Della Méa Plentz & Sbruzzi, 2020).

Entretanto, a resposta à EENM pode ser modulada por diversos fatores clínicos inerentes ao paciente crítico, os quais influenciam diretamente sua eficácia sobre a capacidade funcional. Condições como edema generalizado e sepse estão associadas a alterações na condução elétrica dos tecidos e à disfunção neuromuscular periférica, podendo reduzir a responsividade muscular aos estímulos elétricos. Além disso, o estado inflamatório sistêmico característico da sepse contribui para o aumento do catabolismo muscular, resistência anabólica e disfunção mitocondrial, fatores que podem limitar os ganhos funcionais mesmo diante da implementação de intervenções terapêuticas precoces (Della Méa Plentz & Sbruzzi, 2020).

O uso de determinados fármacos comumente empregados no manejo do paciente crítico também exerce influência relevante nos resultados da EENM. Vasopressores, ao induzirem vasoconstrição periférica, podem comprometer a perfusão muscular e reduzir a efetividade da estimulação elétrica. De forma semelhante, o uso prolongado de corticosteroides está associado ao desenvolvimento de miopatia induzida por esteroides, caracterizada por perda de massa muscular e diminuição da força, o que pode atenuar a resposta neuromuscular à EENM (Della Mèa Plentz & Sbruzzi, 2020).

Diante desse contexto, além dos efeitos bem estabelecidos da EENM sobre a preservação da massa e da força muscular, evidências recentes também sugerem benefícios em desfechos clínicos relevantes relacionados ao tempo de suporte ventilatório e de hospitalização. Uma revisão sistemática com meta-análise, que incluiu nove ensaios clínicos randomizados e aproximadamente 320 pacientes críticos sob ventilação mecânica, demonstrou que a aplicação da EENM esteve associada a uma redução significativa da duração da ventilação mecânica, com diferença média de cerca de 1,7 dias em comparação aos cuidados usuais (Santoso et al., 2025). De forma complementar, meta-análises mais amplas indicam que essa intervenção pode contribuir para a redução do tempo de permanência na unidade de terapia intensiva e do tempo total de internação hospitalar, com diminuições médias variando entre dois e quatro dias, especialmente quando aplicada precocemente e associada à fisioterapia convencional. Apesar desses achados promissores, os autores ressaltam a heterogeneidade dos protocolos e a necessidade de estudos adicionais com maior rigor metodológico para confirmar tais efeitos em populações específicas, como pacientes submetidos ao transplante pulmonar (Liu et al., 2020).

Com base nesses conhecimentos, estudos envolvendo pacientes transplantados começaram a explorar o uso da EENM como estratégia adjuvante à fisioterapia convencional. Um relato de caso (Sbruzzi et al., 2013) avaliou os efeitos da EENM associada à fisioterapia convencional sobre a espessura do músculo quadríceps femoral em um paciente submetido a transplante cardíaco. Nesse estudo, a fisioterapia convencional foi iniciada no pós-operatório imediato, enquanto a EENM foi incorporada a partir do 36º dia de pós-operatório. O protocolo foi realizado duas vezes ao dia, cinco dias por semana, durante oito

semanas. Os autores observaram aumento significativo da espessura do músculo quadríceps femoral após a intervenção, sugerindo que a EENM pode potencializar os efeitos da reabilitação convencional na recuperação da musculatura periférica em pacientes transplantados.

Resultados semelhantes foram observados em populações de pacientes criticamente doentes. Um destes trabalhos, ao avaliarem a espessura do quadríceps em diferentes períodos de hospitalização, identificaram que a EENM foi capaz de promover aumento da massa muscular apenas em pacientes submetidos a internações prolongadas (superiores a 14 dias), indicando que os efeitos da estimulação elétrica podem ser mais evidentes em cenários de maior catabolismo muscular (Gruther et al., 2008). De forma complementar, outro estudo avaliou a aplicaram EENM duas vezes ao dia por um período de três a dez dias em uma das pernas de pacientes internados em unidade de terapia intensiva, utilizando a perna contralateral como controle. Os autores demonstraram que a perna não estimulada apresentou redução significativa das fibras musculares do tipo I e II, enquanto a perna submetida à EENM manteve sua estrutura muscular, reforçando o papel da estimulação elétrica na prevenção da atrofia muscular associada à imobilização e ao estado crítico (Dirks et al., 2015).

Além do impacto na preservação da massa muscular, evidências também apontam benefícios funcionais da EENM em populações com doenças crônicas. Em uma revisão sistemática em paciente com diagnóstico de insuficiência cardíaca (IC), investigou-se o efeito após a EENM. Os autores concluíram um aumento significativo da distância percorrida no teste de caminhada de seis minutos e melhora da força muscular periférica, com efeitos comparáveis aos obtidos com o exercício aeróbico convencional. Esses achados sugerem que a EENM pode representar uma alternativa terapêutica viável para pacientes com limitações funcionais importantes, incapazes de realizar exercícios físicos tradicionais (Sbruzzia et al., 2010).

De modo semelhante, estudos que avaliaram os efeitos da EENM em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica, tanto de forma isolada quanto associada a programas de reabilitação pulmonar, evidenciaram aumento da tolerância ao exercício, redução da dispneia e diminuição da fadiga muscular

periférica. Esses benefícios foram atribuídos principalmente ao ganho de força do músculo quadríceps e à redução da demanda ventilatória durante atividades funcionais, especialmente quando a EENM foi combinada ao treinamento físico convencional (Wu et al., 2020).

Mais recentemente, uma abordagem inovadora da estimulação elétrica tem sido proposta por meio da estimulação elétrica de corpo inteiro (EECI). Essa modalidade envolve a estimulação simultânea de grandes grupos musculares, incluindo músculos do abdômen, tórax, dorso, glúteos, membros superiores e inferiores. Estudos iniciais foram conduzidos em populações com obesidade, doenças cardiometabólicas, idosos com risco de sarcopenia e pacientes oncológicos, grupos frequentemente incapazes de participar de programas tradicionais de treinamento físico. De modo geral, a EECI demonstrou ser uma intervenção segura, factível e bem tolerada. Em adultos saudáveis, não treinados ou moderadamente treinados, essa modalidade também apresentou efeitos positivos sobre parâmetros de composição corporal, incluindo redução da gordura corporal, aumento da força muscular e melhora da potência muscular, mesmo com protocolos de curta duração, geralmente em torno de 20 minutos por sessão (Kemmler et al., 2021; Teschler & Mooren, 2019).

Apesar do crescente corpo de evidências sobre o uso da EENM e da EECI em diferentes populações clínicas, ainda existem poucos estudos avaliando sua aplicação em pacientes no pós-transplante, e, até o momento, não há evidências específicas em pacientes submetidos ao transplante pulmonar. Entretanto, dados provenientes de estudos com pacientes adultos críticos demonstram que a EENM é capaz de preservar e aumentar a espessura muscular, melhorar a força periférica e promover ganhos na capacidade funcional e no consumo máximo de oxigênio. Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da EECI em pacientes submetidos ao transplante pulmonar, utilizando um dispositivo de suporte neuromuscular avançado, com o intuito de explorar seu potencial como estratégia adjuvante no processo de reabilitação pós-transplante.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Transplante de Órgãos. (2023, September 19). Veículo Oficial Da Associação Brasileira de Transplantes de Órgãos .
<https://site.abto.org.br/transplante-de-pulmao/>
- Bein, T., Bischoff, M., Brückner, U., Gebhardt, K., Henzler, D., Hermes, C., Lewandowski, K., Max, M., Nothacker, M., Staudinger, T., Tryba, M., Weber-Carstens, S., & Wrigge, H. (2015). S2e-Leitlinie: Lagerungstherapie und Frühmobilisation zur Prophylaxe oder Therapie von pulmonalen Funktionsstörungen: Revision 2015: S2e-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI). *Anaesthesist*, 64(Suppl 1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s00101-015-0071-1>
- Camargo, P. C. L. B. de, Teixeira, R. H. D. O. B., Carraro, R. M., Campos, S. V., Afonso, J. E., Costa, A. N., Fernandes, L. M., Abdalla, L. G., Samano, M. N., & Pêgo-Fernandes, P. M. (2015). Transplante pulmonar: Abordagem geral sobre seus principais aspectos. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 41(6), 547–553. <https://doi.org/10.1590/S1806-37562015000000100>
- Cesari, M., Kritchevsky, S. B., Newman, A. B., Simonsick, E. M., Harris, T. B., Penninx, B. W., Brach, J. S., Tylavsky, F. A., Satterfield, S., Bauer, D. C., Rubin, S. M., Visser, M., & Pahor, M. (2009). Added value of physical performance measures in predicting adverse health-related events: Results from the health, aging and body composition study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 57(2), 251–259. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.02126.x>
- Cruz-Jentoft, A. J., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., Martin, F. C., Michel, J. P., Rolland, Y., Schneider, S. M., Topinková, E., Vandewoude, M., & Zamboni, M. (2010). Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 39(4), 412–423. <https://doi.org/10.1093/ageing/afq034>
- Della Méa Plentz, R., & Sbruzzi, G. (2020). INDICAÇÃO E USO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA NEUROMUSCULAR (EENM) NO TRATAMENTO DE PACIENTES ADULTOS CRÍTICOS COM COVID-19. In *Comunicado oficial - ASSOBRAFIR* (pp. 1–10).
- Dirks, M. L., Hansen, D., Van Assche, A., Dendale, P., & Van Loon, L. J. C. (2015). Neuromuscular electrical stimulation prevents muscle wasting in critically ill comatose patients. *Clinical Science*, 128(6), 357–365. <https://doi.org/10.1042/CS20140447>
- Evans, R. A., Singh, S. J., Collier, R., Williams, J. E., & Morgan, M. D. L. (2009). Pulmonary rehabilitation is successful for COPD irrespective of MRC dyspnoea

grade. *Respiratory Medicine*, 103(7), 1070–1075.
<https://doi.org/10.1016/j.rmed.2009.01.009>

Florian, J., Rubin, A., Mattiello, R., Farias Da Fontoura, F., De, J., Camargo, J. P., Jose, P., & Teixeira, Z. (2013). Impact of pulmonary rehabilitation on quality of life and functional capacity in patients on waiting lists for lung transplantation*. *J Bras Pneumol*, 39(3), 349–356.

Gruther, W., Benesch, T., Zorn, C., Paternostro-Sluga, T., Quittan, M., Fialka-Moser, V., Spiss, C., Kainberger, F., & Crevenna, R. (2008). Muscle wasting in intensive care patients: Ultrasound observation of the M. quadriceps femoris muscle layer. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 40(3), 185–189.
<https://doi.org/10.2340/16501977-0139>

Hook, J. L., & Lederer, D. J. (2012). Selecting lung transplant candidates: Where do current guidelines fall short? *Expert Review of Respiratory Medicine*, 6(1), 51–61. <https://doi.org/10.1586/ers.11.83>

Jaitovich, A., & Barreiro, E. (2018). Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease what we know and can do for our patients. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 198(2), 175–186.
<https://doi.org/10.1164/rccm.201710-2140CI>

Kemmler, W., Shojaa, M., Steele, J., Berger, J., Fröhlich, M., Schoene, D., von Stengel, S., Kleinöder, H., & Kohl, M. (2021). Efficacy of Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) on Body Composition and Muscle Strength in Non-athletic Adults. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 12, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.640657>

Kyle, U. G., Nicod, L., Romand, J. A., Slosman, D. O., Spiliopoulos, A., & Pichard, C. (2003). Four-year follow-up of body composition in lung transplant patients. *Transplantation*, 75(6), 821–828.
<https://doi.org/10.1097/01.TP.0000054689.50879.36>

Lauretani, F., Roberto Russo, C., Bandinelli, S., Bartali, B., Cavazzini, C., Di Iorio, A., Maria Corsi, A., Rantanen, T., Guralnik, J. M., Ferrucci, L., & Di Iorio, A. (2003). Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol*, 95, 1851–1860.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00246.2003.-Sarcopenia>

Leard, L. E., Holm, A. M., Valapour, M., Glanville, A. R., Attawar, S., Aversa, M., Campos, S. V., Christon, L. M., Cypel, M., Dellgren, G., Hartwig, M. G., Kapnadak, S. G., Kolaitis, N. A., Kotloff, R. M., Patterson, C. M., Shlobin, O. A., Smith, P. J., Solé, A., Solomon, M., ... Ramos, K. J. (2021). Consensus document for the selection of lung transplant candidates: An update from the International Society for Heart and Lung Transplantation. *Journal of Heart and Lung Transplantation*, 40(11), 1349–1379.
<https://doi.org/10.1016/j.healun.2021.07.005>

- Liu, M., Luo, J., Zhou, J., & Zhu, X. (2020). Intervention effect of neuromuscular electrical stimulation on ICU acquired weakness: A meta-analysis. *International Journal of Nursing Sciences*, 7(2), 228–237.
<https://doi.org/10.1016/j.ijnss.2020.03.002>
- Reinsma, G. D., ten Hacken, N. H. T., Grevink, R. G., van der Bij, W., Koëter, G. H., & van Weert, E. (2006). Limiting Factors of Exercise Performance 1 Year After Lung Transplantation. *Journal of Heart and Lung Transplantation*, 25(11), 1310–1316. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2006.08.008>
- Santoso, R. E., Madjid, A. S., Sedono, R., & Marcelia, M. (2025). Impact of neuromuscular electrical stimulation (NMES) on duration of mechanical ventilation in ICU patients: A systematic review and meta-analysis. *Anaesthesia, Pain and Intensive Care*, 29(1), 61–69.
<https://doi.org/10.35975/apic.v29i1.1887>
- Sbruzzi, G., Coronel, C. C., Nicolodi, G., Pinto, A. C., Martins, V., Rover, M., & Plentz, R. D. M. (2013). Reabilitação com estimulação elétrica funcional pós-transplante cardíaco: uma nova abordagem. *Revista Da Sociedade de Cardiologia Do Estado Do Rio Grande Do Sul*, 28, 3–6.
<https://www.researchgate.net/publication/259714698>
- Sbruzzia, G., Ribeiro, R. A., Schaan, B. D., Signori, L. U., Silva, A. M. V., Irigoyen, M. C., & Plentz, R. D. M. (2010). Functional electrical stimulation in the treatment of patients with chronic heart failure: A meta-analysis of randomized controlled trials. *European Journal of Preventive Cardiology*, 17(3), 254–260.
<https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e328339b5a2>
- Shweish, O., & Dronavalli, G. (2019). Indications for lung transplant referral and listing. *Journal of Thoracic Disease*, 11, S1708–S1720.
<https://doi.org/10.21037/jtd.2019.05.09>
- Spruit, M. A., Singh, S. J., Garvey, C., Zu Wallack, R., Nici, L., Rochester, C., Hill, K., Holland, A. E., Lareau, S. C., Man, W. D. C., Pitta, F., Sewell, L., Raskin, J., Bourbeau, J., Crouch, R., Franssen, F. M. E., Casaburi, R., Vercoulen, J. H., Vogiatzis, I., ... Wouters, E. F. M. (2013). An official American thoracic society/European respiratory society statement: Key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 188(8), e13–e64. <https://doi.org/10.1164/rccm.201309-1634ST>
- Steinman, T. I., Becker, B. N., Frost, A. E., Olthoff, K. M., Smart, F. W., Suki, W. N., & Wilkinson, A. H. (2001). GUIDELINES FOR THE REFERRAL AND MANAGEMENT OF PATIENTS ELIGIBLE FOR SOLID ORGAN TRANSPLANTATION. *TRANSPLANTATION*, 71(9), 1189–1204.
- Takaoka, S. T., & Weinacker, A. B. (2005). The value of preoperative pulmonary rehabilitation. *Thoracic Surgery Clinics*, 15(2 SPEC. ISS.), 203–211.
<https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2005.02.001>

- Teschler, M., & Mooren, F. C. (2019). (Whole-Body) Electromyostimulation, Muscle Damage, and Immune System: A Mini Review. In *Frontiers in Physiology* (Vol. 10, pp. 1–7). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01461>
- Valapour, M., Lehr, C. J., Schladt, D. P., Smith, J. M., Swanner, K., Weibel, C. J., Weiss, S., & Snyder, J. J. (2024). *OPTN/SRTR 2022 Annual Data Report: Lung*. Organ Procurement and Transplantation Network (OPTN) and Scientific Registry of Transplant Recipients (SRTR). http://srtr.transplant.hrsa.gov/annual_reports/Default.aspx
- Verma, S., Mathew, J. L., & Ray, P. (2021). Comparison of respiratory pathogen colonization and antimicrobial susceptibility in people with cystic fibrosis bronchiectasis versus non-cystic fibrosis bronchiectasis: a protocol for a systematic review. *Systematic Reviews*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01557-6>
- Welp, A. L., & Bomberger, J. M. (2020). Bacterial Community Interactions During Chronic Respiratory Disease. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.00213>
- Wu, X., Hu, X., Hu, W., Xiang, G., & Li, S. (2020). Effects of neuromuscular electrical stimulation on exercise capacity and quality of life in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Bioscience Reports*, 40(5), 1–12. <https://doi.org/10.1042/BSR20191912>

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da EECI em pacientes submetidos à transplante de pulmão.

Objetivos Específicos

Avaliar os efeitos da EECI sobre: a resposta cardiorrespiratória, força muscular de membros superiores e inferiores, força muscular respiratória, espessura muscular, capacidade funcional, dor muscular, percepção subjetiva de esforço (fadiga), dano muscular, tempo de permanência hospitalar e taxa de mortalidade.

STUDY PROTOCOL

Open Access



Whole-body electrical stimulation in patients undergoing lung transplantation in Southern Brazil: study protocol of a single-center randomized controlled trial

Andrieli Barbieri Garlet^{1,2}, Rodrigo Della Méa Plentz^{1,2}, Natiele Camponogara Righi^{1,2} and Jociane Schardong^{1,2,3*} 

Abstract

Background Lung transplantation (LT) is indicated to increase the survival and quality of life of people with advanced lung disease. However, these patients often experience muscle mass loss and reduced physical capacity due to immobility and disease-related limitations. Whole-body electrical muscle stimulation (WB-EMS) emerges as an alternative to optimize rehabilitation. This study aims to evaluate the effects of WB-EMS combined with conventional physical therapy compared to physical therapy alone on the muscle strength of hospitalized patients after LT.

Methods This is a single-center, randomized, parallel-group study with a 1:1 allocation to either the intervention group (conventional physical therapy +WB-EMS) or the control group (conventional physical therapy alone). A total of 26 adult patients, aged 18 to 65, on the lung transplant waiting list at Santa Casa of Porto Alegre hospital will be recruited by a trained physiotherapist. They must not have any musculoskeletal limitations that would prevent them from performing the preoperative functional tests. Randomization will take place postoperatively, after extubation. The WB-EMS protocol will consist of daily sessions until 15 sessions are completed or until hospital discharge. The outcome assessors will be blinded. Both groups will be evaluated before the lung transplant for muscle thickness (ultrasound) and muscle strength (general—Medical Research Council and limb specific—dynamometry, hand grip, sit-to-stand test), respiratory muscle strength (manovacuometry), and functional capacity (6-min walk test). After the lung transplant, blood samples will be collected for biochemical markers, in addition to re-evaluating muscle strength (MRC) and thickness, including respiratory muscle strength. At the end of the protocol, all tests will be performed again. Mortality will be tracked at 30 and 60 days and 1-year post-transplant, and the length of hospital stay will be recorded.

Discussion This is the first study to investigate the effects of WB-EMS in lung transplant patients. The results may offer new avenues for rehabilitation in this population. The findings will be disseminated through peer-reviewed scientific journals, conferences, and appropriate social media platforms.

Trial registration number ClinicalTrials.gov NCT06249334. Registered on November 2023

Keywords Lung diseases, Electric stimulation therapy, Clinical trial

*Correspondence:
Jociane Schardong
joci_fisioufsm@yahoo.com.br
Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2025. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, which permits any non-commercial use, sharing, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if you modified the licensed material. You do not have permission under this licence to share adapted material derived from this article or parts of it. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Introduction

Background and rationale {6a}

Lung transplantation (LT) is a therapeutic option for people with severe end-stage lung disease, aiming to increase survival and improve quality of life. Candidates for transplantation include those with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), cystic fibrosis, idiopathic pulmonary fibrosis, and pulmonary arterial hypertension, as they have a greater degree of physical limitation and ventilatory failure [1, 2].

The *International Society of Heart and Lung Transplantation* (ISHLT) recorded 2569 lung transplants in 2021. These numbers are much lower when compared to other types of transplants, due to the difficulty in finding donors who meet the criteria for organ donation. The average global life expectancy in 2025 was just 5 to 7 years, and 17% of all patients who underwent transplants died in the first-year post-transplant [3, 4].

A major risk factor for posttransplant patient morbidity is reduced muscle strength and mass (sarcopenia) [5, 6]. In addition, factors such as immobilization, poor nutritional status, and the pharmacological treatment itself can contribute to peripheral muscle loss or dysfunction. Furthermore, the condition before LT of patients with severe lung disease is characterized by physical deconditioning and muscular atrophy, which are important predictive factors in recovery after LT [3].

Whole-body electrical stimulation (WB-EMS) may be a strategy to reverse sarcopenia and restore the individual's functionality immediately after PT. This therapy stimulates agonist and antagonist muscles simultaneously in a short period, covering approximately 70% of the body surface area [7]. Studies with obese people, those with cardiometabolic diseases, elderly people, and cancer patients have already shown that WB-EMS is an effective and safe therapy for individuals who do not adapt to conventional training programs [8–11].

Despite the lack of evidence on the use of WB-EMS in patients undergoing LT, numerous studies demonstrate the benefits of neuromuscular electrical stimulation (NMES) in isolated muscle groups of critically ill patients, who have lung disease or severe heart disease. Some of the benefits of this therapy are maintaining and increasing muscle thickness, as well as increased strength, functional capacity, and maximum oxygen consumption (VO₂) [12]. Considering the gap in the literature, the objective of this protocol is to evaluate, through a randomized, single-blind clinical trial, the effects of WB-EMS in patients undergoing LT on lower limb muscle strength.

Objectives {7}

The primary objective is to evaluate whether WB-EMS combined with conventional physiotherapy improves lower limb muscle strength compared to conventional physiotherapy alone in patients undergoing LT.

Secondary objectives include evaluating effects on the following:

- Upper limb and global muscle strength
- Respiratory muscle strength
- Muscle architecture assessed by ultrasound
- Functional capacity
- Biochemical markers of muscle damage
- Safety outcomes (hemodynamic stability, perceived exertion, pain)
- Length of hospital stay
- Mortality at 30 days, 60 days, and 1-year post-LT

Hypothesis

WB-EMS plus conventional physiotherapy will be superior to conventional physiotherapy alone in improving lower limb muscle strength and selected secondary outcomes.

Trial design {8}

This is a single-center, randomized, parallel-group, superiority trial with 1:1 allocation to intervention (conventional physiotherapy plus WB-EMS) or control (conventional physiotherapy). Randomization will occur postoperatively after extubation.

Methods: participants, interventions, and outcomes

Study setting {9}

The trial will be conducted at Santa Casa of Porto Alegre (SCPA), Southern Brazil, including the Dom Vicente Scherer Hospital, the intensive care unit (ICU), and wards.

This study protocol is in its first version and was designed according to the Standard Protocol Items: Recommendations for Intervention Trials (SPIRIT) statement (Fig. 1). The SPIRIT Checklist for Trials is in the Additional file. The research project was approved by the Research Ethics Committee of the SCPA (CAAE: 63342222.7.0000.5335; report number 5.682.486) and the Federal Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (CAAE: 63342222.7.3001.5345; report number 5.754.078), and the protocol was registered on the ClinicalTrials.gov platform (NCT06249334). All patients must sign an informed consent form before

TIMEPOINT**	Study Period						
	Enrolment	Allocation	Post-allocation (Days)				Close-out
	-t ₁	0	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄
ENROLMENT:							
Eligibility screen	X						
Informed consent	X						
Allocation		X					
INTERVENTIONS:							
Conventional physiotherapy plus WB-EMS*				—————			
Conventional Physiotherapy							
ASSESSMENTS:							
Functional tests ¹	X						X
Functional tests ²			X				
Muscle Injury ³			X				X
Vital signs				X	X	X	
Visual Analog Scale				X	X	X	
Borg Scale				X	X	X	

Fig. 1 SPIRIT checklist. Legend: *WB-EMS, whole-body electrical stimulation. ¹Specific muscle thickness and strength for upper and lower limbs, respiratory lung strength, and functional capacity. ²Overall muscle thickness and strength. ³Creatine phosphokinase (CK) and lactate dehydrogenase (LDH)

undergoing any procedure, which will be administered by a trained physiotherapist.

Eligibility criteria {10}

The study population will consist of patients with chronic lung disease (pulmonary fibrosis, COPD, cystic fibrosis, bronchiectasis, and lymphangioleiomyomatosis) on the list for unilateral or bilateral LT at the SCPA, and who are connected to the pulmonary rehabilitation outpatient clinic for a period equal to or greater than 3 months.

Participants fulfilling all the following inclusion criteria are eligible for the study:

- 1) Individuals wflo are active on tfile transplant list at tfile outpatient clinic
- 2) Patient wflose disease stage does not limit tfile ability to perform functional testing prior to surgery
- 3) Patient is between tfile ages of 18 and 65 years witfl no restrictions on gender.

4) After tfile transplant, tfile patient must still meet tfile following inclusion criteria:

- a) Individuals wflo underwent invasive mecflanical ventilation (IMV) for less tflan 7 days after LT and are extubated
- b) Hemodynamic stability (mean arterial pressure > 60 mmHg witflout tfile use of vasoactive drugs or witfl low to moderate doses, 1–5 µg/kg/min and 5–10 µg/kg/min respectively, and fleart rate between 60 and 100 bpm)

The presence of any one of the following criteria will lead to the exclusion of the participant:

- 1) Patients wflo present disabling musculoskeletal cflanges tflat prevent pfphysical assessments from being performed
- 2) Individuals wflo do not understand tfile initial assessment instructions

3) After tfile transplant, tfile patient must still meet tfile following inclusion excluded:

- a) Patients with severe psychomotor agitation
- b) Recent acute myocardial infarction (24 fl)
- c) Uncontrolled arrhythmias
- d) Stroke
- e) Decompensated heart failure
- f) Acute renal failure
- g) Temporary transcutaneous pacemaker
- fl) In a feverish state
- i) Periphral vascular clanges in tfile lower limbs, e.g., as untreated deep vein thrombosis and epidermal lesions on tfile tfligfls tflat make it impossible to place self-adhesive electrodes for electrical stimulation.

Who will take informed consent? {26a}

Written informed consent will be obtained by a trained physiotherapist prior to participation.

Additional consent provisions for collection and use of participant data and biological specimens {26b}

Data will be anonymized. Researchers interested in accessing the data must submit a formal request, which will be reviewed in accordance with ethical and regulatory guidelines.

Interventions

Explanation for choice of comparator {6b}

Control participants will receive conventional physiotherapy, which represents standard care for LT patients.

Intervention description {11a}

The protocols are applied from the time the transplant patient is extubated until hospital discharge or for a maximum of 15 days (one session/day) if the hospitalization period is extended.

Patients may be allocated to one of two groups: the conventional physiotherapy group (CG), which will receive only the unit's routine physiotherapy (twice a day), under the orientation of the hospital physiotherapists, or the intervention group (IG), which will receive two sessions of conventional physiotherapy per day plus WB-EMS (applied by a trained physiotherapist).

Control group (CG)

In conventional physiotherapy, procedures aim to achieve early mobilization to avoid secondary

complications, maintenance of joint range of motion, maintenance/gain of muscle strength through exercise, and bronchial hygiene and pulmonary expansion. The sessions will last 30 min, and each proposed exercise will be performed in three sets of 10 repetitions. The following movements will be worked on, respecting the amplitude of each joint: flexion and extension of knees and hips, adduction and abduction of hips, flexion and extension of shoulders, and sit-to-stand exercises. The patient will be transferred from bed to chair, as well as orthostasis training, aiming at functional independence and walking. The respiratory techniques will be based on insufflation breathing techniques, thoracic maneuvers for bronchial hygiene, and cough stimulation [13].

Intervention group (IG)

WB-EMS will be performed using the ReCare® equipment (Visuri, MG, Brazil), which has 12 channels for intensity control in different muscle groups, reaching a maximum pulse duration of 10,000 μ s and up to 240-mA intensity. For this purpose, self-adhesive electrodes will be positioned bilaterally on the quadriceps femoris, hamstrings, tibialis anterior, biceps brachii, triceps brachii, and lower rectus abdominis muscles. The electrical parameters set on the equipment will depend on the electrodiagnosis of each patient; however, a frequency of 75 Hz will be adopted, and the intensity will be adjusted to cause visible muscle contraction or at the maximum limit of the patient's tolerance [14, 15]. The sequence of exercises will begin with the patient lying on their back on the bed and their knees flexed at 60° with a wedge. From the 1st to the 5th session, knee extension and elbow flexion movements will be performed, followed by hip flexion and elbow extension. From the 6th to the 10th session, the patient will do the same exercises sitting in the chair, with the addition of abdominal exercises (hands on the forehead, flexing the trunk towards the thighs). The last phase of the protocol, from the 11th to the 15th session, will include sit-to-stand exercises, according to the patient's tolerance. The number of contractions expected in each session can be seen in Table 1.

Criteria for discontinuation {11b}

Vital signs will be monitored continuously during interventions to ensure the safety of therapy. Hemodynamic decompensation (systolic pressure with a reduction >20 mmHg and diastolic pressure >10 mmHg or

Table 1 Progression protocol for WB-EMS in post-lung transplant patients

	Session	Contraction time	Resting time	Total session time	Number of contractions
Week 1	1	0.5 s	15 s	15 min	45
	2	0.5 s	15 s	15 min	45
	3	0.5 s	15 s	15 min	45
	4	0.5 s	15 s	15 min	45
	5	0.5 s	15 s	15 min	45
Week 2	1	0.5 s	15 s	20 min	60
	2	0.5 s	15 s	20 min	60
	3	0.5 s	15 s	20 min	60
	4	0.5 s	15 s	20 min	60
	5	0.5 s	15 s	20 min	60
Week 3	1	0.5 s	10 s	20 min	80
	2	0.5 s	10 s	20 min	80
	3	0.5 s	10 s	20 min	80
	4	0.5 s	10 s	20 min	80
	5	0.5 s	10 s	20 min	80

heart rate with an increase > 30 bpm compared to baseline), a significant drop in peripheral arterial oxygen saturation, tachypnea, respiratory effort, sweating, and malaise reported by the patient will be considered criteria for discontinuation of WB-EMS. Furthermore, if any major adverse effect occurs as a result of the interventions proposed in this protocol, the researchers will notify the medical team responsible for the patient, and the protocol will be reviewed and, if necessary, interrupted.

Strategies to improve adherence {11c}

To promote adherence and minimize deviations from protocol interventions, the following strategies will be renewed:

- 1) Daily monitoring in both groups
- 2) All patients must complete at least 8 of the 15 WB-EMS or conventional physical therapy sessions provided by the protocol.

Relevant concomitant care {11d}

There were no restrictions; however, the CG will be prohibited from using external equipment for pain management or strengthening, including TENS units or electrical muscle stimulation, during the protocol. This parameter ensures uniformity in interventions among all participants.

Posttrial care {30}

No additional posttrial care is required. Patients will continue standard rehabilitation as per hospital policy.

Outcomes {12}

Lower limb muscle strength will be considered the primary outcome of the study. Secondary outcomes will be upper limb muscle strength, overall strength, respiratory muscle strength, muscle architecture, functional capacity, muscle damage, safety based on cardiorespiratory repercussions, pain, length of hospital stay, and mortality.

Participant timeline {13}

The assessments will take place at four times: before the LT (in the outpatient clinic), after extubation (in the ICU), during WB-EMS sessions, and at the time of hospital discharge or after 15 sessions (in the ward). Before the LT, the following assessments will be performed: muscle architecture, peripheral muscle strength, respiratory muscle strength, and functional capacity. After extubation, only respiratory muscle strength, muscle strength using the Medical Research Council (MRC) scale, muscle architecture, and muscle damage will be assessed since the patient is unable to collaborate in the execution of the other tests. Before hospital discharge or at the end of the 15 sessions, muscle architecture, peripheral muscle strength, respiratory muscle strength, functional capacity, muscle damage, and length of hospital stay will be

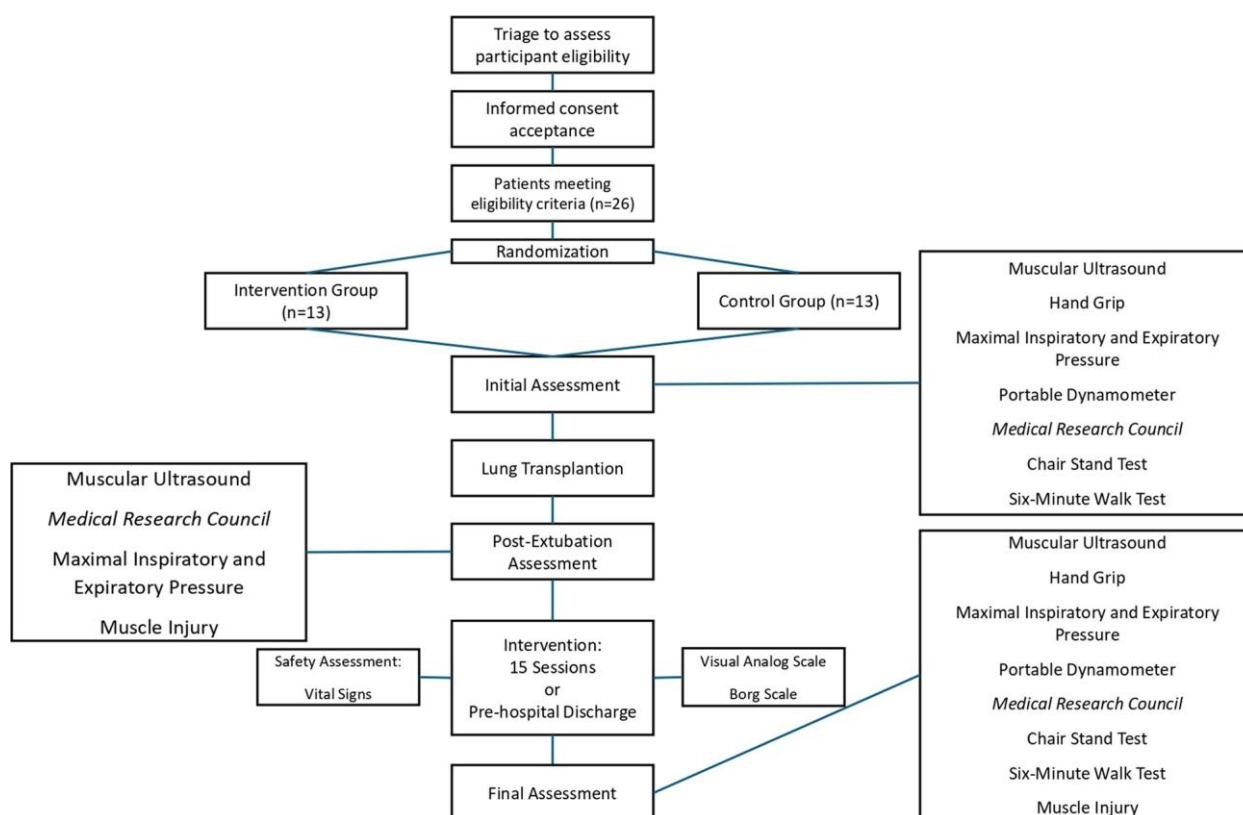


Fig. 2 Flowchart of groups' composition, evaluations, and intervention

reassessed. Therapy safety, patient perception of effort, and muscle pain will be recorded during WB-EMS applications. The flowchart of group composition, assessment, and intervention procedures is presented in Fig. 2.

Sample size {14}

The sample size was calculated using the G*Power® software version 3.1 and was based on the study by Vivodze et al. [16] which evaluated the effect of NMES in patients with severe decompensation of COPD. Maximum voluntary muscle strength assessed by a strain gauge tensiometer (Dempo Technologies Co; Treviso, Italy) connected to a digital recorder was adopted as the outcome to estimate sample size, using the mean difference and standard deviation of the control and intervention groups (61 ± 36 kg), with an alpha error of 5% and power of 80%. Therefore, the sample size was estimated at 13 patients per group. Anticipating losses, 17 patients will be recruited per group.

Recruitment {15}

Participants will be recruited among patients listed for LT at SCPA. During the pre-selection visit, researchers will explain the clinical trial, clarifying the tests performed during the study and the informed consent form.

Assignment of interventions: allocation

Sequence generation {16a}

Randomization will be performed using the website www.random.org (1:1 allocation and simple randomization).

Concealment mechanism {16b}

Randomization will be performed in the immediate post-operative period for patients who were admitted to the ICU of the Dom Vicente Scherer Hospital of SCPA from December 2024 to December 2025.

Implementation {16c}

Outcome assessors will remain blinded.

Assignment of interventions: blinding

Who will be blinded {17a}

This study evaluates an intervention in which participants from both allocation groups may reside in the same ICU or ward, making it impossible to blind either the participant or the staff to their group assignment. Additionally, the nature of the intervention, which includes a training component delivered by the staff,

precludes blinding for these groups. However, the sequence of numbers will be generated by a researcher “blind” to the study. Patient allocation will only be revealed by the external researcher prior to the start of the protocol to the physiotherapists involved in the intervention in order to ensure the concealment of the random sequence. Outcome assessors will be blind to the order of protocols performed.

Procedure for unblinding {17b}

There is no anticipated need to unblind the study staff regarding outcome data until the analyses are completed.

Data collection and management

Plans for assessment {18a}

The evaluators will be previously trained to perform the assessments and masked for patient allocation.

Prior to the assessments, medical records will be consulted to collect demographic and anthropometric data, medical diagnosis, previous comorbidities, and medications used by patients. Below is a description of how each assessment will be performed:

Muscle strength

To assess muscle strength, the Medical Research Council (MRC) scale will be used, as well as handgrip measurement using a manual dynamometer and isometric quadriceps and arm flexor strength using a portable dynamometer. Furthermore, the 10-repetition sit-to-stand test (10-STST) will be performed as an indirect measure of lower limb muscle strength.

The MRC scale scores for each muscle group are as follows: 0 = absence of contraction, 1 = flicker or trace of contraction, 2 = performance of active movement without the force of gravity, 3 = active movement against gravitational force, 4 = active movement against gravity and against resistance; and 5 = indicates normal muscle strength. The total score ranges from 0 (for tetraplegia) to 60 points (for preserved muscle strength). A score < 48 is conclusive of muscle weakness acquired in the ICU [17].

The assessment of the palmar handgrip will be performed using an analog hydraulic dynamometer (Jamar®, Lafayette Instrument, USA) by measuring the maximum isometric force applied to the device. The patient will remain seated, with the knee flexion angle at 90°, the shoulder positioned in adduction and neutral rotation, and the elbow flexed at 90°, with the forearm in half pronation and neutral wrist. The arm should be kept suspended, without support, and with the hand positioned on the dynamometer, which will be held by the evaluator.

Three measurements will be taken with a recovery period of 1 min, the right and left arms being evaluated alternately, and the largest measurement of each limb being considered as the record of the palmar grip strength, as long as there is no variation greater than 10% between them [18].

To assess quadriceps isometric strength, the patient will be seated with the knee flexed at a 60-degree angle and instructed to extend the knee against the equipment positioned on the leg and maintain the contraction for 5 s [19, 20]. To assess the isometric strength of the arm flexors, the patient will also be seated, with the forearm positioned and fixed at a 90° flexion angle and instructed to perform isometric flexion of the arm against the equipment and hold it for the same period. Three measurements will be taken, the highest of them being recorded as maximum isometric strength, as long as there is no variation greater than 10%. The equipment used for this assessment will be the digital dynamometer from MedEor MedTech® (SP Tech, Santa Catarina, Brazil).

The 10-STST will begin with the patient sitting in an armless chair with the torso erect and arms crossed over the chest. The patient will be instructed to stand up and return to the sitting position as quickly as possible to perform 10 complete and consecutive repetitions, with verbal encouragement. The evaluator will time the total time [21].

Respiratory muscle strength

Respiratory muscle strength will be measured using a digital manovacuometer (MVD 300, Homed®). The test will be performed with the patient in a sitting position using a nose clip. To measure maximum inspiratory pressure (MIP), a slow maximum expiration will be requested until the residual volume is reached, followed by a deep and forced inspiration against an occluded valve. Maximum expiratory pressure (MEP) will be measured by a slow maximum inspiration until total lung capacity is reached, followed by a forced expiration against an occluded valve. Each procedure will be repeated five times with a 2-min interval between each measurement. The highest value will be considered as long as there is no difference greater than 10% between them [22].

Muscle architecture

The assessment of muscle architecture will be performed by acquiring ultrasound images of the vastus lateralis, rectus femoris, biceps brachii, and rectus abdominis muscles, using a high-resolution ultrasound device (Vivid-i®, GE, USA) and a linear array probe (38 mm, 3–12 MHz). Patients will be positioned in the supine position, with arms and legs extended and completely relaxed. Three images will be obtained with the ultrasound transducer

positioned longitudinally over the muscle fibers of each muscle to assess muscle thickness. To assess cross-sectional area (CSA), the transducer will be positioned transversely. Specifically, the muscle thickness of the vastus lateralis, rectus femoris, and rectus abdominis will be assessed, in addition to the cross-sectional area of the rectus femoris and biceps brachii.

To assess the thickness of the vastus lateralis and rectus femoris, the intermediate point between the greater trochanter and the lateral condyle of the femur will be used as a reference point, according to the characteristics of the patients [23]. To assess the muscular architecture of the rectus femoris, the image will be performed at 70% using as reference the midpoint between the greater trochanter and the lateral condyle of the femur [24, 25].

To assess the CSA of the biceps brachii, the maximum circumference will be measured following the midline of the anterior surface with the arm in the supine position. Measurements will be taken at 66% of the distance from the medial acromion of the scapula to the cubital fossa [26].

To measure the thickness of the rectus abdominis, the patient will remain in a supine position with the transducer positioned in the midline of the abdomen, 2 cm above the navel to identify the linea alba. The transducer will be moved laterally to the right until the rectus abdominis muscle is visible and then adjusted in the cranial and caudal directions until the maximum thickness of the muscle is identified. The measurement will be taken at the end of expiration, as it is a respiratory muscle [27].

For each muscle, three images will be taken, and minimal pressure will be applied to the transducer to avoid image deformation. Furthermore, maps will be made on plastic sheets, identifying anatomical points and signs on the patient's skin to ensure that subsequent assessments are performed in the same locations. All images will be analyzed later using ImageJ software.

Functional capacity

Functional capacity will be assessed using the six-minute walk test (6MWT) and will follow the recommendations of the American Thoracic Society [28].

The patient will be instructed to walk as far as possible for 6 min in a 30-m flat corridor, and the distance covered in meters will be recorded. In each minute of the test, the patient will be verbally encouraged through standardized phrases. Running will not be allowed. The patient will be instructed to stop the test if he or she experiences symptoms such as pain in the lower limbs, tachycardia, or any other symptom of discomfort. Blood pressure, heart rate,

respiratory rate, peripheral oxygen saturation (SpO₂), and perception of dyspnea and fatigue will be measured using the modified Borg scale at the beginning and end of the test [29].

Safety

To assess therapy safety, the cardiorespiratory response will be checked before, during, and immediately after the interventions using the patient's vital signs (systolic and diastolic blood pressure, heart rate, and SpO₂). The perception of exertion will also be recorded using the modified Borg scale, where 0 indicates no exertion or dyspnea and 10 indicates maximum exertion [30].

Muscle damage

The biochemical markers creatine phosphokinase (CK) and lactate dehydrogenase (LDH) will be evaluated by enzymatic methodology using the ADVIA® 1800 equipment. Blood samples will be collected in EDTA tubes and centrifuged for 15 min at 3000 g. After separation, the plasma will be used to perform the analyses.

Muscle pain

To assess muscle pain, the visual analogue scale will be used, where zero indicates no pain and 10 indicate severe pain [31]. The patient will be asked about their pain before starting therapy, after 10 min, and at the end of the session.

Length of hospital stay

To assess the total length of hospital stay, the days between the patient's admission and hospital discharge will be counted.

Mortality

To assess the mortality rate from all causes, the cumulative rate of deaths occurring after 30 days, 60 days, and 1 year from the date of the transplant will be counted. These data will be collected through telephone contact with the patient or family members.

Plans to promote participant and complete follow-up {18b}

Upon enrollment in the study, the research team will encourage participants to adhere to the intervention and complete the follow-up. Clear and respectful communication will be emphasized throughout, highlighting the importance of each participant's contribution to the study. In the event that a participant discontinues the intervention or withdraws from the study, the research team will request permission to collect available follow-up data, if ethically and practically feasible.

Data management {19}

Any risks to study participants will be mitigated by ensuring that all recruitment and data collection are managed by an appropriately trained and experienced research team. The recruitment team will comprise physiotherapists with extensive experience in research and clinical practice.

Patient participation is limited to the period of hospitalization. Data will be collected at enrollment and will continue for a 1-year follow-up period, with defined collection points. All data will be stored in a secure environment, and the data linkage software will be protected to ensure security and privacy. Outcome information will be collected at hospital discharge and during the 1-year follow-up, using the hospital's electronic system or by telephone contact with the patient or their family.

Confidentiality {27}

To maintain privacy, only de-identified data is used for analysis and publication of results. All data sharing activities will strictly follow ethical guidelines, ensuring no identifiable information is disclosed to third parties without explicit participant consent. The commitment to confidentiality will extend beyond the study period, with all data securely stored for a defined duration before systematic destruction.

Plans for biological specimens {33}

Blood samples (CK and LDH) will be drawn at day 0 (prior to treatment initiation) and at day 15 (last day of treatment). Blood samples will be drawn according to standard procedures and analyzed immediately at the hospital. No genetic/molecular analyses are planned.

Data analysis

Statistical methods for primary and secondary outcomes {20a}

Categorical variables will be presented as absolute and relative frequencies, and quantitative variables will be presented as mean and standard deviation or median and interquartile range (P25–P75), according to their distribution. Normality will be verified by the Shapiro-Wilk test. The chi-square test, Fisher's exact test, Mann-Whitney test, and *t*-test will be used to compare groups at baseline, according to the nature and distribution of the variables. Mixed repeated-measures ANOVA will be used for multiple comparisons between treatment protocols, where we will seek to investigate the effects of time $\times$ group and time $\times$ group interactions. Statistical analysis will be conducted following intention-to-treat principles. The significance level adopted will be 5% ($p \leq 0.05$), and the analyses will be performed using SPSS statistical

software (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY, USA: IBM Corp.).

Interim analyses {21b}

Not applicable: This study does not include interim analyses, as the intervention poses no risk to participants and will not require early termination. All analyses will be conducted after the completion of the study.

Methods for additional analyses (e.g., subgroup analyses) {20b}

Subgroup analyses will be examined only if the sample size is adequate.

Handling missing data {20c}

Missing data will be reported. No imputation is planned.

Access to protocol, data, and code {31c}

De-identified data is available on reasonable request and ethics approval.

Oversight and monitoring

Composition of the coordinating center and trial steering committee {5d}

There was no formal steering committee; oversight was provided by principal investigators.

Composition of the data monitoring committee and its role and reporting structure {21a}

Due to limited resources, our study does not have a data monitoring committee. The Human Research Ethics Committee of the SCPA and Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre does not require this committee, given the low-risk nature of interventions and outcomes.

Adverse event reporting {22}

This study involves minimal known risks, including reactions such as temporary hyperemia at the electrode site, hypotension during exercise, or muscle fatigue, which will be documented in all sessions. Serious adverse events will be reported to the ethics committee, and the study will be interrupted.

Frequency and plans for auditing trial conduct {23}

Due to limited resources, our study does not plan to conduct audit trials. However, oversight will instead be maintained through regular internal monitoring by the core research team.

Protocol amendments {25}

Any changes that occur in the study protocol during the recruitment of volunteers or data collection will be communicated to the institution's ethics committee and ClinicalTrials.gov.

Dissemination {31a}

The findings will be shared by participating institutions, policy makers, and the academic community to promote quality monitoring and efficient use of this technology with transplant patients.

Discussion

This article describes a WB-EMS protocol in post-LT patients and aims to evaluate lower limb muscle strength and mortality. Thus, our results may provide new insights into the rehabilitation of post-LT patients, demonstrating whether WB-EMS will add value to conventional physical therapy care and whether it has positive effects on the outcomes evaluated.

The work has the potential to identify the profile of the patient who is being placed on the transplant list and understand their main commitment after surgery. Furthermore, it can make important contributions to care in the first sessions in the ICU and propose a reproducible model to be incorporated into the routine.

Limitations of this study include the time between pre-transplant evaluation and the start of the treatment protocol, due to the wait for a compatible organ, in addition to the different underlying lung diseases presented by the patients, lack of blinding of the therapist and patients due to the nature of the interventions, and complications that are part of the intensive care environment that may prevent the application of the protocol.

Trial status

This study protocol is in its first version, registered at ClinicalTrials.gov on November 28, 2023. Recruitment began in December 2024, and the approximate completion date is December 2025. Any necessary changes to this protocol will be reported to the Research Ethics Committee of SCPA and Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre. All authors will have access to the final study dataset.

Abbreviations

LT	Lung transplantation
WB-EMS	Whole-body electrical stimulation
SCPA	Santa Casa of Porto Alegre
NMES	Neuromuscular electrical stimulation
CG	Conventional physiotherapy group
IG	Intervention group
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
ICU	Intensive care unit

Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s13063-025-09177-y>.

Supplementary Material 1.

Acknowledgements

None.

Authors' contributions {31b}

ABG conceived of the study, designed, planned, and wrote the manuscript. RDMP and NCR conceived, designed, planned, and revised the study. JS conceived of the study, designed, planned, wrote, and revised the manuscript. All authors read and approved the manuscript.

Funding {4}

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Data availability {29}

The data will be available from the corresponding author upon reasonable request.

Declarations**Ethics approval and consent to participate {24}**

The protocol has been approved by all local institutional ethics committees. All methods were carried out in accordance with relevant guidelines and regulations. Research involving human participants, human material, or human data is conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. The authors confirmed that informed consent will be obtained from all participants.

Consent for publication {32}

All volunteers will be informed about the publication and the importance of the study, and this will be clearly explained to them.

Competing interests {28}

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Santa Casa of Porto Alegre (SCPA), Porto Alegre, Rio Grande Do Sul, Brazil.

²Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Porto Alegre, Rio Grande Do Sul, Brazil. ³Service of Physiotherapy, 295 Professor Annes Dias Street, Porto Alegre, Rio Grande Do Sul 90020-090, Brazil.

Received: 28 May 2025 Accepted: 24 September 2025

Published online: 05 December 2025

References

- Hoffman M, Chaves G, Amorim Ribeiro-Samora G, Rodrigues Britto R, Franco Parreira V. Effects of pulmonary rehabilitation in lung transplant candidates: a systematic review. *BMJ Open*. 2017;7(2):e013445. Available from: <http://bmjopen.bmj.com/>.
- Rochester CL, Holland AE, Alison JA, Carlin B, Bauldoff G, Bhatt SP, et al. Pulmonary rehabilitation for adults with chronic respiratory disease an Official American thoracic society clinical practice guideline. *Am J Respir Crit Care Med*. 2023;208(4):E7-26.
- Lund LH, Edwards LB, Kucheryavaya AY, Benden C, Dipchand AI, Goldfarb S, et al. The registry of the international society for heart and lung transplantation: thirty-second official adult heart transplantation report - 2015; focus theme: early graft failure. *J Heart Lung Transplant*. 2015;34(10):1244-54.
- Kotloff RM, Thabut G. Lung transplantation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2011;184(2):159-71.
- Hook JL, Lederer DJ. Selecting lung transplant candidates: where do current guidelines fall short? *Expert Rev Respir Med*. 2012;6(1):51-61.

6. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 2010;39(4):412–23.
7. Righi NC, Scharndong J, Plentz RDM. Aplicabilidade da Estimulação elétrica de corpo inteiro na fisioterapia traumato-ortopédica. In: Silva MF, Barbosa RI, editors. PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia Traumato-Ortopédica. 7th ed. 2024. p. 11–24.
8. Teschler M, Mooren FC. (Whole-body) electromyostimulation, muscle damage, and immune system: a mini review. *Frontiers in Physiology*. Frontiers Media S.A.; 2019. p. 1–7.
9. Kemmler W, Shojaa M, Steele J, Berger J, Fröhlich M, Schoene D, et al. Efficacy of whole-body electromyostimulation (WB-EMS) on body composition and muscle strength in non-athletic adults: a systematic review and meta-analysis. *Front Physiol*. 2021;12:1–17.
10. de Oliveira TMD, Felício DC, Filho JE, Fonseca DS, Durigan JLQ, Malaguti C. Effects of whole-body electromyostimulation on health indicators of older people: systematic review and meta-analysis of randomized trials. *J Bodyw Mov Ther*. 2022;1(31):134–45.
11. Schink K, Herrmann HJ, Schwappacher R, Meyer J, Orlemann T, Waldmann E, et al. Effects of whole-body electromyostimulation combined with individualized nutritional support on body composition in patients with advanced cancer: a controlled pilot trial. *BMC Cancer*. 2018;18(886):1–17.
12. Hill K, Cavalheri V, Mathur S, Roig M, Janaudis-Ferreira T, Robles P, et al. Neuromuscular electrostimulation for adults with chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018;2018(5):CD010821.
13. Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, Zu Wallack R, Nici L, Rochester C, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;188(8):e13–64.
14. Jones S, Man WDC, Gao W, Higginson IJ, Wilcock A, Maddocks M. Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;2016(10):1–61.
15. Sbruzzi G, Coronel CC, Nicolodi G, Pinto AC, Martins V, Rover M, et al. Reabilitação com estimulação elétrica funcional pós-transplante cardíaco: uma nova abordagem. *Revista da Sociedade de Cardiologia do Estado do Rio Grande do Sul*. 2013;28:3–6. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/259714698>.
16. Vivodtzev I, Pépin JL, Vottero G, Mayer V, Porsin B, Lévy P, et al. Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD*. *Chest*. 2006;129(6):1540–8.
17. Hermans G, Van den Bergh G. Clinical review: intensive care unit acquired weakness. *Crit Care*. 2015;19(1):1–9.
18. Dias JA, Ovando AC, Kolkamp W, Junior NGB. Força de preensão palmar: métodos de avaliação e fatores que influenciam a medida. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*. 2010;12(3):209–16.
19. de Vasconcelos RA, Bevilacqua-Grossi D, Shimano AC, Paccola J, Salvini TF, Prado CL, et al. Confiabilidade e Validade de um dinamômetro Isométrico Modificado na Avaliação do Desempenho Muscular em Indivíduos com Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior. *Rev Bras Ortop*. 2009;44(3):214–24.
20. ACIVA; ACIVA- Associação Empresarial do Vale de Araranguá. 2021. Dinamômetro manual portátil. Available from: <https://acivaarangua.com.br/noticia/4003/aciva-inspira-empresa-da-incubadora-de-arara-nova-com-produto-que-mede-dor-e-forca-muscular>. Cited 2022 Apr 22.
21. Bennell K, Dobson F, Hinman R. Measures of physical performance assessments: self-paced walk test (SPWT), stair climb test (SCT), six-minute walk test (6MWT), chair stand test (CST), timed up & go (TUG), sock test, lift and carry test (LCT), and car task. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011;63(SUPPL. 11):S350–70.
22. Souza RBde. Pressões respiratórias estáticas máximas. *J Pneumol*. 2002;28(Supl 3):S155–65.
23. Baroni BM, Rodrigues R, Franke RA, Geremia JM, Rassier DE, Vaz MA. Time course of neuromuscular adaptations to knee extensor eccentric training. *Int J Sports Med*. 2013;34(10):904–11.
24. Fritsch CG, Dornelles MP, Severo-Silveira L, Marques VB, Rosso IdeA, Baroni BM. Effects of low-level laser therapy applied before or after plyometric exercise on muscle damage markers: randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Lasers Med Sci*. 2016;31(9):1935–42.
25. Silva PE, Livino De Carvalho K, Melo L, Vieira L. Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiopulmonar e Fisioterapia em Terapia Intensiva. 2018. p. 73–120. Ultrassonografia musculoesquelética - bases teóricas para avaliação da arquitetura muscular em pacientes criticamente enfermos. Available from: <https://portal.secad.artmed.com.br/artigo/ultrassonografia-musculoesqueletica-%E2%80%94-bases-teoricas-para-avaliacao-da-arquitetura-muscular-em-pacientes-criticamente-enfermos>. Cited 2024 Jan 10.
26. Jenkins NDM, Miller JM, Buckner SL, Cochrane KC, Bergstrom HC, Hill EC, et al. Test-retest reliability of single transverse versus panoramic ultrasound imaging for muscle size and echo intensity of the biceps brachii. *Ultrasound Med Biol*. 2015;41(6):1584–91.
27. McCaughey EJ, Jonkman AH, Boswell-Ruys CL, McBain RA, Bye EA, Hudson AL, et al. Abdominal functional electrical stimulation to assist ventilator weaning in critical illness: a double-blinded, randomised, sham-controlled pilot study. *Crit Care*. 2019;23(1):261.
28. American Thoracic Society; ATS statement. Guidelines for the Six-Minute Walk Test. *Am J Respir Care Med*. 2002;166:111–7. Available from: www.atsjournals.org.
29. Brito RR, Probst VS, Dornelas De Andrade AF, Samora GAR, Hernandez NA, Marinho PEM, et al. Reference equations for the six-minute walk distance based on a Brazilian multicenter study. *Braz J Phys Ther*. 2013;17(6):556–63.
30. Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sports*. 2006;16(1):57–69.
31. Martinez JE, CentolaGrassi D, Marques LG. Análise da aplicabilidade de três instrumentos de avaliação de dor em distintas unidades de atendimento: ambulatório, enfermagem e urgência. *Rev Bras Reumatol*. 2011;51(4):299–308.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

4 ARTIGO 2

WHOLE-BODY ELECTRICAL STIMULATION IN PATIENTS UNDERGOING LUNG TRANSPLANTATION: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL

Andrieli Barbieri Garlet¹, Jociane Schardong^{1,2}, Júlia Schoenfeld Prusch^{1,2}, Maria Eduarda Souza Cezar^{1,2}, Jean Mesquita^{1,2}, Gustavo de Castro Barroso^{1,2}, Patrick Mankowski da Silva^{1,2}, Rodrigo Della Múa Plentz¹

¹Federal University of Health Sciences of Porto Alegre, (UFCSPA), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

²Santa Casa of Porto Alegre (SCPA), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

(Formatado conforme normas do periódico *Jornal Brasileiro de Pneumologia* –
Fator de Impacto 3)

Artigo com dados inéditos não publicados

5 CONCLUSÃO GERAL

A EECI quando aplicada juntamente com a fisioterapia de rotina em pacientes pós TP, reduz o tempo de internação hospitalar. Ao avaliar a força isométrica de quadríceps, embora não tenha havido diferença estatística entre os grupos, observou-se uma maior perda no GC. Além disso, ao analisar as medidas obtidas por ultrassonografia, observou-se que o GI foi capaz de preservar moderadamente a espessura do músculo reto femoral direito e apresentou um efeito ligeiramente menor no reto femoral esquerdo. O impacto na área de secção transversa dos músculos foi de moderado a grande, indicando que, embora haja algum efeito protetor, este permanece limitado em termos de preservação da massa muscular.

Não foram observadas alterações nos sinais vitais que excedessem os limites fisiológicos esperados após as sessões de EECI e, ocorreu uma redução nos níveis de CK e LDH ao longo do tempo, independentemente do protocolo aplicado, reforçando a segurança das intervenções.

Ao avaliar os efeitos na força muscular respiratória observou-se um padrão semelhante entre os grupos, caracterizado por uma redução nos valores imediatamente após a extubação, seguida por um aumento gradual na avaliação pós-intervenção, sem atingir os níveis basais pré-operatórios.

Quando avaliado os efeitos sobre o tempo de UTI, a força muscular dos membros superiores, da preensão manual e da força muscular geral, não ocorreu efeitos significativos em ambos os grupos.

Por fim, EECI associado a fisioterapia de rotina pode ser considerada uma estratégia promissora dentro dos programas de reabilitação precoce na unidade de terapia intensiva e internação, uma vez que, consiste em uma modalidade terapêutica alternativa ao exercício convencional, segura, bem tolerada e capaz de otimizar a recuperação dessa população.

6 IMPACTOS DO TRABALHO

Este estudo é o primeiro ensaio clínico randomizado a investigar os efeitos do EECI em pacientes submetidos a TP durante a hospitalização. Os resultados demonstram um impacto clínico relevante, especialmente pela redução significativa do tempo de internação hospitalar no GI, quando comparado ao grupo que recebeu apenas fisioterapia convencional. Esse achado representa um benefício direto para a recuperação física e psicológica dos pacientes, além de contribuir para otimizar recursos hospitalares e reduzir potenciais custos relacionados ao cuidado pós-transplante.

Considerando esses achados, indicam que o EECI é uma estratégia viável, segura e potencialmente benéfica para acelerar a recuperação funcional e reduzir a permanência hospitalar em pacientes submetidos a TP. Assim, o estudo sugere possibilidades para protocolos mais longos, capazes de explorar se ganhos funcionais mais robustos podem ser alcançados no médio e longo prazo.

Anexo A

Parecer Consubstanciado do CEP

IRMANDADE DA SANTA CASA
DE MISERICORDIA DE PORTO
ALEGRE - ISCMPA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Estimulação elétrica de corpo inteiro em pacientes submetidos a transplante de pulmão: Ensaio Clínico Randomizado.

Pesquisador: Rodrigo Della Múa Plentz

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 63342222.7.0000.5335

Instituição Proponente: Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre - ISCMPA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.682.486

Apresentação do Projeto:

A descrição do projeto não se altera após reavaliação.

Objetivo da Pesquisa:

A descrição do projeto não se altera após reavaliação.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

De acordo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A descrição do projeto não se altera após reavaliação.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

A descrição do projeto não se altera após reavaliação.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

A pesquisa encontra-se de acordo com a Norma vigente Resolução 466/12 para pesquisa em seres humanos.

Considerações Finais a critério do CEP:

Após reavaliação do protocolo acima descrito, o presente comitê não encontrou óbices quanto ao desenvolvimento do estudo em nossa Instituição e poderá ser iniciado a partir da data deste parecer.

Endereço: R. Profª Annes Dias, 295 Hosp. Dom Vicente Scherer
Bairro: 6º andar - Centro **CEP:** 90.020-090
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3214-8571 **Fax:** (51)3214-8571 **E-mail:** cep@santacasa.tche.br

IRMANDADE DA SANTA CASA
DE MISERICORDIA DE PORTO
ALEGRE - ISCMPA



Continuação do Parecer: 5.682.486

1 – Para o início do projeto de pesquisa, o investigador deverá apresentar o Parecer Consubstanciado de aprovação pelo CEP/ISCMPA à chefia do serviço onde será realizada a pesquisa.

2- Solicitações de acesso aos dados de prontuários, crachá e demais pedidos devem ser encaminhados ao endereço de e-mail: pesquisa@santacasa.org.br

3 - O pesquisador responsável deverá encaminhar a este CEP (ISCMPA), relatórios de andamento dos projetos desenvolvidos na ISCMPA, relatórios parciais (pesquisas com duração superior à 6 meses), relatórios finais (ao término da pesquisa) e os resultados obtidos (cópia da publicação).

4 - Informamos que o CEP ISCMPA mudou seu endereço:

Av. Osvaldo Aranha, nº 80, sala 17
Centro Administrativo da Santa Casa, 2º andar
Bairro Centro Histórico, Porto Alegre - RS

Horário de atendimento:
De segunda à sexta-feira, das 9h às 12h e das 13:30h às 17h.

Telefone: (051) 3214-8571
E-mail: cep@santacasa.tche.br

Salientamos que este CEP permanece sob coordenação do Dr. João Carlos Goldani.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1945154.pdf	04/10/2022 12:31:24		Aceito
Outros	Carta_resposta_ISCMPA.pdf	04/10/2022 12:30:41	Rodrigo Della Méa Plentz	Aceito
Orçamento	orcamento.pdf	15/09/2022 23:01:17	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito

Endereço: R. Profº Annes Dias, 295 Hosp. Dom Vicente Scherer
Bairro: 6º andar - Centro **CEP:** 90.020-090
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3214-8571 **Fax:** (51)3214-8571 **E-mail:** cep@santacasa.tche.br

**IRMANDADE DA SANTA CASA
DE MISERICORDIA DE PORTO
ALEGRE - ISCMPA**



Continuação do Parecer: 5.682.486

Outros	entrega_de_relatorio_UFCSPA.pdf	15/09/2022 22:57:11	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
Outros	termo_de_anuencia_UFCSPA.pdf	15/09/2022 22:56:27	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
Cronograma	cronograma.pdf	15/09/2022 22:31:10	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Doutorado_Andrieli.pdf	15/09/2022 22:21:37	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
Outros	formulario_de_inscricao.pdf	15/09/2022 22:17:45	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
Outros	declaracao_utilizacao_de_prontuarios.p df	15/09/2022 22:15:27	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
Outros	declaracao_de_confidencialidade.pdf	15/09/2022 22:14:53	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
Declaração de Manuseio Material Biológico / Biorepositório / Biobanco	declaracao_material_biologico.pdf	15/09/2022 21:34:45	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	15/09/2022 21:31:58	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	15/09/2022 21:31:42	Andrieli Barbieri Garlet	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita apreciação da CONEP:

Não

PORTO ALEGRE, 04 de Outubro de 2022

**Assinado por:
JOÃO CARLOS GOLDANI
(Coordenador(a))**

Endereço: R. Profº Annes Dias, 295 Hosp. Dom Vicente Scherer
Bairro: 6º andar - Centro **CEP:** 90.020-090
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3214-8571 **Fax:** (51)3214-8571 **E-mail:** cep@santacasa.tche.br