



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM FISIOTERAPIA E FUNCIONALIDADE

ROBERTA CATUNDA COSTA

**DIAMOVE: ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA
MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS DE
PACIENTES VENTILADOS MECANICAMENTE**

FORTALEZA

2024

ROBERTA CATUNDA COSTA

DIAMOVE: ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA
MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS DE PACIENTES
VENTILADOS MECANICAMENTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia e Funcionalidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Fisioterapia e Funcionalidade. Linha de pesquisa: Avaliação e Intervenção nos sistemas cardiorrespiratório e neurológico nos diferentes ciclos da vida.

Orientador: Prof. Dr. Magno Markus Ferreira Formiga Gonçalves de Oliveira.

FORTALEZA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C875d Costa, Roberta Catunda.
Diamove: : associação entre medidas de função e estrutura muscular diafragmática e periférica com desfechos de pacientes ventilados mecanicamente. / Roberta Catunda Costa. – 2024.
80 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia e Funcionalidade, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Magno Markus Ferreira Formiga Gonçalves de Oliveira.
1. Insuficiência respiratória. 2. Cuidados Críticos. 3. Força muscular. 4. Ultrassonografia. 5. Diafragma. I. Título.

CDD 615.82

ROBERTA CATUNDA COSTA

**DIAMOVE: ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA
MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS DE
PACIENTES VENTILADOS MECANICAMENTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia e Funcionalidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre. Linha de pesquisa: Avaliação e Intervenção nos sistemas cardiorrespiratório e neurológico nos diferentes ciclos da vida.

Orientador: Prof. Dr. Magno Markus Ferreira Formiga Gonçalves de Oliveira.

Aprovada em: 12/12/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Magno Markus Ferreira Formiga Gonçalves de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rafael Barreto de Mesquita (Membro interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Carla Luciana Batista (Membro externo)
Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE)

DEDICATÓRIA

Dedico esta Dissertação aos meus pais, Iris Catunda e Humberto Simão, que mesmo vindo de origens tão humildes, sempre foram os meus maiores incentivadores e viram na educação, o maior investimento que poderiam dar aos filhos. À minha mãe, Iris Catunda, que conquistou um título universitário com mais de 50 anos e que tão breve me deixou na Pandemia de Covid-19, sempre dedicarei todas as vitórias que tive e terei ao longo da vida, onde estiver. Dedico também à minha tia, Aurília Sampaio, minha segunda mãe, que sempre se orgulha de todas as minhas conquistas, desde criança.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação e Secretaria do Programa de Pós-graduação em Fisioterapia e Funcionalidade da Universidade Federal do Ceará (PPGFISIO-UFC), pela oportunidade acadêmica e em especial aos docentes: Prof. Dr. Rafael Mesquita, Profa. Dra. Camila Leite, Profa. Dra. Daniela Gardano e Prof. Dra. Lidiane Lima, pelas palavras marcantes em momentos importantes. O acolhimento e incentivo de todos os docentes durante minha jornada no PPGFISIO-UFC foi o grande diferencial do Programa.

Ao Prof. Dr. Magno F. Formiga, pela parceria quase que diária e intensa durante os quase 2 anos de Mestrado. Uma grande honra e sorte ser a sua primeira orientanda no PPGFISIO-UFC e poder aprender tanto com um profissional capacitado e ousado em desbravar diferentes horizontes da pesquisa científica. Não poderia deixar de citar o quanto marca positivamente o discente, quando o orientador sonha junto.

Aos professores participantes da banca examinadora da qualificação e da defesa, Profa. Dra. Carla Luciana Batista, Prof. Dr. Wellington Yamaguti e Prof. Dr. Rafael Barreto de Mesquita, pelas valiosas colaborações, sugestões e disponibilidade.

Aos colegas da turma de mestrado, pela amizade que deixou tudo muito mais leve e pelos laços fortes construídos.

À toda a equipe de Reabilitação do Hospital Oto Aldeota, que tanto me ajudou nas coletas e se orgulhou da pesquisa desenvolvida em nossa instituição, trazendo visibilidade à Fisioterapia e práticas baseadas em evidência.

À todos os colegas e gestores do Instituto Oto de Ensino e Pesquisa e do Hospital Oto Aldeota, que sempre me incentivaram, ajudaram e vibraram a cada etapa conquistada, em especial ao Diretor Dr. João Luís Farias, grande incentivador da pesquisa científica na instituição e do meu desenvolvimento profissional.

Por fim, agradeço aos Fisioterapeutas Thayanne Gomes Neves e Hamilton Leite Júnior pela parceria nas coletas do início até o fim, mostrando engajamento e carinho.

“A Educação não transforma o mundo. A Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo” (Paulo Freire).

DESCRIÇÃO DA DISSERTAÇÃO PARA LEIGOS

Na UTI, o uso de ultrassonografia (US) tem ajudado fisioterapeutas e outros profissionais a prever complicações, como a necessidade de novos procedimentos de intubação e o risco de morte. Apesar de existirem vários métodos para avaliar os músculos responsáveis pela respiração, ainda é difícil determinar quando esses músculos estão cansados e fadigados, especialmente após a retirada do tubo respiratório. Além do ultrassom, um teste chamado TIRE (Teste de Endurance Respiratório Incremental) que avalia a força e resistência dos músculos, pode trazer informações importantes.

Nós quisemos descobrir se as medições feitas com ultrassom durante a internação estão relacionadas a complicações graves, como a dependência da respiração artificial, necessidade de traqueostomia (um buraco no pescoço para ajudar a respirar) ou morte. Além disso, o estudo também analisou como essas medições se conectam aos resultados do TIRE, realizado após a extubação.

Foram acompanhados 49 pacientes que precisaram de respiração artificial devido a problemas respiratórios graves. Durante a internação, medimos o tamanho e a força de músculos importantes usando ultrassom, teste de força nas mãos e avaliações de mobilidade. Após a extubação, alguns pacientes fizeram o teste TIRE para medir a resistência e a fadiga dos músculos respiratórios.

Descobrimos que medições como a espessura do diafragma (um músculo essencial para a respiração) estão ligadas a complicações, como maior tempo de dependência do respirador e a necessidade de procedimentos invasivos, como traqueostomia. Após a retirada do tubo de respiração, as variáveis do TIRE, como a resistência dos músculos respiratórios, mostraram conexão com outras avaliações musculares, indicando que podem ser úteis para monitorar a recuperação do paciente.

A combinação de exames musculares e respiratórios pode ajudar a prever complicações em pacientes na UTI. Após a retirada do tubo respiratório, testes como o TIRE são promissores para avaliar a recuperação e a capacidade funcional dos pacientes.

RESUMO

Introdução: As variáveis obtidas via ultrassonografia (US) vem sendo amplamente estudadas na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) em relação a sua capacidade preditora de desfechos negativos como a reintubação e sua correlação com outras ferramentas de avaliação muscular funcional. Apesar dos diversos métodos para avaliar o desempenho dos músculos inspiratórios na UTI, avaliar aspectos dinâmicos permanece desafiador. O *Teste of Incremental Respiratory Endurance* (TIRE) possui variáveis de avaliação de pressões dinâmicas e fadiga muscular, mostrando-se promissor. **Objetivos:** Investigar a associação entre as medidas ultrassonográficas obtidas após a intubação orotraqueal com desfechos negativos da internação, como a dependência da ventilação mecânica (VM), necessidade de TQT e óbito e explorar suas correlações com as variáveis do TIRE obtida após a extubação. **Métodos:** Estudo de coorte e prospectivo, que incluiu indivíduos com mais de 18 anos e menos de 85 anos, ventilados mecanicamente devido à insuficiência respiratória decorrente de patologias clínicas, com histórico de independência funcional prévia. As variáveis espessura diafragmática (ED) e a área de secção transversa do reto femoral (AST do RF) foram medidos por US, a força de prensão palmar (FPP) foi avaliada com um dinamômetro portátil, o TIRE executado com o PrO2 (manômetro de pressão portátil) e a mobilidade através da *ICU Mobility Scale* (IMS). As medidas de US foram realizadas em até 36 horas após a intubação, 7 dias após e em até 24 horas após a extubação. FPP e TIRE foram realizados após a extubação e a avaliação de IMS após a alta da UTI. Os desfechos negativos mensurados foram o de reintubação, tempo de ventilação mecânica acima de 14 dias, necessidade de traqueostomia (TQT) e óbito, além da existência de pelo menos 1 deles. **Resultados:** Foram incluídos 49 participantes, dos quais 59,2% eram de homens, idade média \pm desvio padrão de $67,79 \pm 15,35$ anos. A comparação de médias da ED mensurada após 7 dias de VM foi associada significativamente aos desfechos negativos como a dependência da VM ($p = 0,02$) e a necessidade de TQT ($p = 0,01$), assim como a AST do RF mensurada no mesmo dia com os mesmos desfechos. A fração de espessamento diafragmático (FED), apresentou-se importante para o desfecho Reintubação e Óbito, tanto na comparação de médias como na predição por modelo de regressão logística binominal. Após a extubação, 22 indivíduos foram elegíveis para a realização do TIRE em correlação às variáveis de US, FPP e IMS. Dentre as variáveis do TIRE, destacaram-se a Pressão Inspiratória Máxima Sustentada (SMIP) e, principalmente, o *Fatigue Index Test* (FIT) com correlações moderadas a fortes com as variáveis avaliadas por US como a ED ($r_s = 0,56$, $p = 0,03$), com a FPP ($r_s = 0,51$, $p = 0,04$) com a IMS ($r_s = 0,51$, $p = 0,04$). **Conclusão:** Os resultados sugerem que avaliações combinadas da musculatura periférica e diafragmática, mesmo que após dias do início da VM, podem ser úteis para prever desfechos negativos em terapia intensiva. Após a extubação, as variáveis advindas do TIRE parecem promissoras para monitorar e avaliar a capacidade funcional.

Palavras-chave: Cuidados críticos; Debilidade Muscular; Pressões Respiratórias Máximas; Ultrassonografia; Diafragma.

ABSTRACT

Introduction: Variables obtained through ultrasonography (US) have been widely studied in the Intensive Care Unit (ICU) for their predictive capacity regarding negative outcomes, such as reintubation, and their correlation with other functional muscle assessment tools. Despite the availability of several methods to evaluate the performance of inspiratory muscles in the ICU, assessing dynamic aspects remains challenging. The Test of Incremental Respiratory Endurance (TIRE) includes variables for assessing dynamic pressures and muscle fatigue, showing promise in this context. **Objectives:** To investigate the association between ultrasonographic measurements obtained after orotracheal intubation and negative clinical outcomes, such as dependence on mechanical ventilation (MV), the need for tracheostomy (TQT), and mortality, and to explore their correlations with TIRE variables obtained after extubation. **Methods:** This prospective cohort study included individuals aged over 18 years and under 85 years, who were mechanically ventilated due to respiratory failure caused by clinical conditions, with a history of prior functional independence. The variables diaphragm thickness (DT) and rectus femoris cross-sectional area (RF CSA) were measured using US; handgrip strength (HGS) was assessed with a portable dynamometer; TIRE was performed using the PrO₂ portable pressure manometer; and mobility was evaluated using the ICU Mobility Scale (IMS). US measurements were conducted within 36 hours after intubation, 7 days after intubation, and within 24 hours after extubation. HGS and TIRE assessments were conducted post-extubation, while IMS evaluation was performed upon ICU discharge. The negative outcomes measured included reintubation, MV duration exceeding 14 days, the need for tracheostomy (TQT), mortality, and the presence of at least one of these outcomes. **Results:** The study included 49 participants, 59.2% of whom were male, with a mean age \pm standard deviation of 67.79 ± 15.35 years. A comparison of mean DT values measured after 7 days of MV showed significant associations with negative outcomes such as MV dependence ($p = 0.02$) and the need for TQT ($p = 0.01$). Similarly, RF CSA measured on the same day was associated with the same outcomes. Diaphragmatic thickening fraction (DTF) was identified as significant for predicting reintubation and mortality, both in mean comparisons and in binomial logistic regression modeling. After extubation, 22 individuals were eligible for TIRE testing, which was correlated with US, HGS, and IMS variables. Among the TIRE variables, Sustained Maximum Inspiratory Pressure (SMIP) and, particularly, the Fatigue Index Test (FIT) showed moderate to strong correlations with variables such as DT ($r_s = 0.56$, $p = 0.03$), HGS ($r_s = 0.51$, $p = 0.04$), and IMS ($r_s = 0.51$, $p = 0.04$). **Conclusion:** The results suggest that combined assessments of peripheral and diaphragmatic muscles, even after several days of MV, can be useful in predicting negative outcomes in intensive care. Post-extubation, TIRE-derived variables appear promising for monitoring and evaluating functional capacity.

Keywords: Critical Care; Muscle Weakness; Maximal Respiratory Pressures; Ultrasonography; Diaphragm.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DA LITERATURA

- Figura 1.** Posicionamento para acessar a imagem para mensuração da AST do RF à 2/3 de distância. da espinha ilíaca ântero-superior e a borda superior da patela.....21
- Figura 2.** Uso do transdutor em posição longitudinal para acessar a imagem diafragmática. 22
- Figura 3.** Representação gráfica de um esforço inspiratório máximo e sustentado realizado com o dispositivo e software PrO2 (TIRE). 24

PRODUTO 1: ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS NEGATIVOS DE PACIENTES VENTILADOS MECANICAMENTE.

- Figura 1.** Fluxograma do processo de seleção da amostra.33

PRODUTO 2: AVALIAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DO *TEST OF INCREMENTAL RESPIRATORY ENDURANCE* (TIRE) COM MEDIDAS DE ULTRASSONOGRRAFIA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA, FORÇA DE PREENSÃO PALMAR E MOBILIDADE EM DOENTES CRÍTICOS.

- Figura 1.** Fluxograma do processo de seleção da amostra49

APÊNDICE D - ADAPTAÇÃO PERSONALIZADA EM IMPRESSÃO 3D PARA UTILIZAÇÃO DO PRO2 COM FILTRO BACTERIOLÓGICO

- Figura 4.** PrO2 preparado para a execução do Test of Incremental Respiratory Endurance (TIRE) com a adaptação personalizada entre o aparelho e o filtro bacteriológico.....73
- Figura 5.** Representação gráfica da adaptação construída em impressora 3D para conexão do PrO2 ao filtro bacteriológico.73

LISTA DE TABELAS

PRODUTO 1: ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS NEGATIVOS DE PACIENTES VENTILADOS MECANICAMENTE.

Tabela 1. Cronologia das avaliações realizadas em cada etapa da coleta de dados da amostra.	32
Tabela 2. Características demográficas e clínicas dos participantes.....	34
Tabela 3. Comparação média entre grupos de acordo com a presença ou não dos desfechos negativos (Reintubação e Tempo de VM > 14 dias).....	35
Tabela 4. Comparação média entre grupos de acordo com a presença ou não da necessidade da traqueostomia.	36
Tabela 5. Comparação média entre grupos de acordo com a presença ou não dos desfechos negativos (Óbito e Ocorrência de pelo menos 1 desfecho negativo estudado).	37
Tabela 6. Medidas de Regressão Logística para predição dos desfechos clínicos.	37

PRODUTO 2: AVALIAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DO *TEST OF INCREMENTAL RESPIRATORY ENDURANCE* (TIRE) COM MEDIDAS DE ULTRASSONOGRAFIA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA, FORÇA DE PREENSÃO PALMAR E MOBILIDADE EM DOENTES CRÍTICOS.

Tabela 1. Avaliações realizadas após a extubação e alta da UTI.	48
Tabela 2. Características demográficas e clínicas dos participantes.....	50
Tabela 3. Análise de correlações de MIP com as variáveis obtidas após a extubação.	50
Tabela 4. Análise de correlações de SMIP com as variáveis obtidas após a extubação.	52
Tabela 5. Análise de correlações de ID com as variáveis obtidas após a extubação.	52
Tabela 6. Análise de correlações de FIT com as variáveis obtidas após a extubação.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

AMIB	Associação de Medicina Intensiva Brasileira
AMIB	Associação de Medicina Intensiva Brasileira
APACHE	<i>Acute Physiology and Chronic Health Evaluation</i>
ASSOBRAFIR	Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva
AST	Área de Secção Transversa
AVC	Acidente Vascular Cerebral
CBMI	Congresso Brasileiro de Medicina Intensiva da AMIB
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade Incapacidade e Saúde
CONAFIH	Congresso Nacional Online de Fisioterapia Hospitalar
CONEFIR	Congresso Nordestino de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da ASSOBRAFIR
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
ED	Espessura diafragmática
FAUTI	Fraqueza Adquirida na UTI
FED	Fração de Espessamento Diafragmático
FIT	<i>Fatigue Index Test</i>
ICU	<i>Intensive Care Unit</i>
ID	<i>Inspiratory Duration</i>
IMS	<i>ICU Mobility Scale</i>
IOT	Intubação Orotraqueal
JAF	Jornada Acadêmica de Fisioterapia da UFC
JOCEFIR	Jornada Cearense de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da ASSOBRAFIR
MIP	<i>Maximal Inspiratory Pressure</i>
MRC	<i>Medical Research Council</i>
PEMáx	Pressão Expiratória Máxima
PIMáx	Pressão Inspiratória Máxima
PROSEVA	<i>Proning Severe Acute Respiratory Distress Syndrome Patients</i>
RENOVATE	<i>High-flow nasal catheter therapy versus noninvasive positive-pressure ventilation in acute respiratory failure</i>

RF	Reto Femoral
SAPS	<i>Simplified Acute Physiology Score</i>
SIFIR	Simpósio Internacional de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da ASSOBRAFIR
SIFITI	Simpósio de Fisioterapia em Terapia Intensiva da Sociedade Cearense de Terapia Intensiva
SMIP	<i>Sustained Maximal Inspiratory Pressure</i>
SOCETI	Sociedade Cearense de Terapia Intensiva
SPGF	Semana de Pós-graduação em Fisioterapia e Funcionalidade da UFC
STROBE	<i>Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology</i>
TC6	Teste de Caminhada de 6 minutos
TIRE	<i>Test of Incremental Respiratory Endurance</i>
TQT	Traqueostomia
UFC	Universidade Federal do Ceará
US	Ultrassonografia
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
VEF1	Volume Expiratório Forçado no 1º segundo
VM	Ventilação Mecânica
ZA	Zona de Aposição à Caixa Torácica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
	2.1 A Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e seu impacto na funcionalidade dos indivíduos	18
	2.2 Fraqueza muscular adquirida na UTI.....	19
	2.3 Ultrassonografia (US) muscular e sua utilização na terapia intensiva	20
	2.4 <i>Test of Incremental Respiratory Endurance</i> (TIRE)	23
	2.5 As implicações do Diamove para a prática clínica da reabilitação hospitalar	25
3	OBJETIVOS, MÉTODOS E RESULTADOS.....	27
	3.1 PRODUTO 1: ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS NEGATIVOS DE PACIENTES VENTILADOS MECANICAMENTE.....	28
	3.2 PRODUTO 2: AVALIAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DO <i>TEST OF INCREMENTAL RESPIRATORY ENDURANCE</i> (TIRE) COM MEDIDAS DE ULTRASSONOGRRAFIA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA, FORÇA DE PREENSÃO PALMAR E MOBILIDADE EM DOENTES CRÍTICOS.....	42
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS.....	59
	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DO MESTRADO	63
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	65
	APÊNDICE B – VÍDEO PARA DIVULGAÇÃO DO ESTUDO PARA O PÚBLICO LEIGO	68
	APÊNDICE C – CARDS PARA DIVULGAÇÃO DO ESTUDO PARA O PÚBLICO LEIGO.....	69
	APÊNDICE D – ADAPTAÇÃO PERSONALIZADA EM IMPRESSÃO 3D PARA UTILIZAÇÃO DO PRO2 COM FILTRO BACTERIOLÓGICO.....	73
	ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	74
	ANEXO B – ICU MOBILITY SCALE (IMS).....	78

1 INTRODUÇÃO

A função física dos pacientes na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) é um importante preditor do prognóstico clínico (Herridge; Azoulay, 2023). No entanto, a Fraqueza Muscular Adquirida (FAUTI) é a principal responsável pelos déficits funcionais oriundos da internação em cuidados críticos, podendo variar sua incidência de 25% a 100% dos doentes graves (Baby, George e Osahan, 2021).

Nesse contexto de perdas funcionais durante a internação, a disfunção diafragmática ainda é mais frequente que a fraqueza muscular periférica (Saccheri et al., 2020), estando associada a ventilação mecânica prolongada em até 60% dos pacientes ventilados (Saccheri et al., 2020; Vanhorebeek; Latronico; Van den Berghe, 2020). Assim, quando há falência diafragmática, essa disfunção está associada a piores prognósticos e mortalidade (Saccheri et al., 2020). A falência da musculatura respiratória é de causa multifatorial e tem como principais fatores, a hiperglicemia prolongada, a inflamação sistêmica, a desnutrição, a falência renal, os bloqueadores neuromusculares, as altas doses de corticoesteróides e a própria disfunção causada pelo ventilador mecânico com o desuso muscular (Saccheri et al., 2020; Supinski et al., 2018).

Dentre as avaliações tradicionais da musculatura respiratória, a avaliação das medidas de pressão inspiratória máxima (PIMáx) são tradicionalmente obtidas a fim de refletir a força da musculatura inspiratória de indivíduos (Peterson et al., 2020). A PIMáx se limita a oferecer informações sobre a força dessa musculatura, não contribuindo para o entendimento de outros elementos-chave de performance muscular, como potência, trabalho e resistência muscular (Formiga et al., 2020). Na busca por técnicas mais abrangentes de análise da função muscular respiratória, O Test of Incremental Respiratory Endurance (TIRE) foi desenvolvido para fornecer uma avaliação não só da força, mas também da resistência e da capacidade de trabalho muscular inspiratório, com representação gráfica em tempo real (Formiga et al., 2018). O TIRE inclui medidas de PIMáx que no teste é representada em inglês Maximal Inspiratory Pressure (MIP), pressão inspiratória máxima sustentada (SMIP) e duração inspiratória (ID) obtidas durante um esforço inspiratório máximo e sustentado, uma manobra distinta desse teste (Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2018). A variável SMIP, especificamente, tem um valor discriminatório e prognóstico superior ao fornecido pela MIP em indivíduos com diferentes condições respiratórias (Formiga et al., 2019).

Considerando o diafragma como o principal músculo envolvido na respiração, ferramentas de imagem foram aprimoradas para sua avaliação (Dot et al., 2022). Um excelente

recurso no ambiente hospitalar que é não invasivo e seguro à beira leito é a avaliação muscular por ultrassonografia (US) (Tuinman et al., 2020). A US muscular pode mensurar variáveis úteis para definir condutas como, por exemplo, o melhor momento para a extubação (Parada-Gereda et al., 2023). A avaliação diafragmática por US, pode facilitar a retirada precoce da ventilação mecânica invasiva (VM), diminuindo os riscos de mortalidade, tempo de internação e custos assistenciais (Corradi et al., 2021; Llamas-Álvarez; Tenza-Lozano; Latour-Pérez, 2017; Parada-Gereda et al., 2023).

Na terapia intensiva, uma das variáveis musculares avaliadas pela US, que mais tem sido pesquisada nos últimos anos, é a espessura diafragmática (ED) (Sklar et al., 2020). A ED foi associada a dependência da ventilação mecânica, aumento da mortalidade intra-hospitalar e complicações de falência respiratória como a reintubação (Sklar et al., 2020). A efetividade das variáveis mensuradas pelo US como preditor do sucesso de desmame da ventilação mecânica pode ser evidenciada em metanálises, com uma acurácia satisfatória relatada (Corradi et al., 2021; Llamas-Álvarez; Tenza-Lozano; Latour-Pérez, 2017; Parada-Gereda et al., 2023).

Como citado anteriormente, a redução na funcionalidade do indivíduo em estado crítico pela disfunção muscular adquirida, não é apenas respiratória, mas também periférica (Saccheri et al., 2020). Esse comprometimento funcional está associado à desfechos clínicos desfavoráveis, como óbito e internação prolongada que influenciam na qualidade de vida após a alta hospitalar (Mayer et al., 2020). Essa avaliação estrutural também faz parte da investigação de sarcopenia (Yanagi et al., 2021) e influencia nas metas nutricionais traçadas a cada paciente, devendo ser complementada com as avaliações de força muscular como a dinamometria de preensão palmar (Casey et al., 2022; Yanagi et al., 2021).

As medidas de avaliação da musculatura respiratória e periférica são de fácil condução e acessibilidade de preço, podendo ser uma alternativa à US pelas suas limitações, como o alto custo do aparelho e a dependência da expertise do avaliador no resultado (Santana et al., 2020). Ao comparar as variáveis de US com as de performance muscular inspiratória e força de preensão palmar, busca-se identificar opções úteis em um universo amplo e de realidades diversas como a terapia intensiva brasileira.

Por se tratar de medidas de estrutura e função, é importante também entender se as métricas associadas aos desfechos negativos e impacto na funcionalidade, terão o mesmo comportamento no biótipo brasileiro, tão miscigenado. A investigação dessas comparações e correlações é importante para entender qual a influência dessas métricas na funcionalidade do indivíduo durante a internação e embasar as condutas escolhidas para metas terapêuticas individualizadas e mais assertivas.

Com isso, hipotetizamos que indivíduos com independência funcional prévia, que apresentarem as menores medidas de estrutura e função muscular diafragmática e periférica ou maiores perdas mensuráveis ao longo da internação, estarão mais susceptíveis aos desfechos clínicos negativos, como a reintubação, o maior tempo de internação e a traqueostomia. Hipotetizamos ainda, que nestes mesmos indivíduos, haverá associação estatística entre as medidas obtidas por US e as medidas advindas do TIRE, força de preensão palmar e mobilidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e seu impacto na funcionalidade dos indivíduos

Uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI), consiste em um ambiente que objetiva o cuidado de pacientes graves, críticos, com monitorização contínua dos sinais clínicos e cuidados complexos a eles destinados, permitindo rápidas decisões em situações emergenciais (Rodriguez et al., 2016).

Desde a década de 60, quando foi inaugurada a primeira UTI brasileira, houve um grande aumento na porcentagem da população com acesso à este serviço de saúde. Esta ampliação da abrangência dos serviços hospitalares brasileiros, contribui para uma maior sobrevida dos doentes em nosso país (Rodriguez et al., 2016).

Nos dias atuais, a evolução tecnológica e científica do suporte avançado de vida tem desempenhado um importante papel no aumento da sobrevida dos pacientes na UTI (Vanhorebeek; Latronico; Van den Berghe, 2020). Com a redução da mortalidade, os sobreviventes da UTI experimentam outras disfunções como as desordens neuromusculares (Vanhorebeek; Latronico; Van den Berghe, 2020). É cada vez mais comum a ocorrência de sobreviventes de doenças críticas, cujas complicações decorrentes da permanência prolongada na UTI contribuem para desencadeamento de desordens neuromusculares, piora nas habilidades funcionais, aumento dos custos assistenciais e redução da qualidade de vida após a alta hospitalar (Jolley, Bunnell e Hough, 2016).

A UTI é o ambiente hospitalar mais complexo no qual o paciente grave está inserido diante de diversos contextos tecnológicos, terapias medicamentosas e labilidade do quadro clínico (Jolley, Bunnell e Hough, 2016). A perda aguda da função da musculatura esquelética, por exemplo, ocorre rapidamente durante os estágios iniciais após a admissão do doente (Vanhorebeek; Latronico; Van den Berghe, 2020). Essa disfunção pode ser agravada pela evolução da própria doença de base e imobilidade no leito, bem como intensidade e duração inadequadas da reabilitação física (Jolley, Bunnell e Hough, 2016).

Dentro desta unidade fechada, o paciente experimenta diversas interações complexas entre patologia, comorbidades, tratamentos, organizações e rotinas das equipes multidisciplinares, afastamento da família e dependência funcional (Wintermann et al., 2019). A alteração da imagem corporal, as incapacidades funcionais básicas, as dificuldades de retorno ao trabalho e a pobre rede de suporte social podem contribuir para ocorrência, em longo prazo, de redução do status físico funcional, disfunção cognitiva, ansiedade, depressão e transtorno de estresse pós-traumático (Robinson et al., 2019). Familiares daqueles que foram gravemente

doentes, também, continuam a serem afetados pelas mudanças prejudiciais na cognição, saúde mental e física, enfrentada por seus parentes após terapia intensiva (McPeake; Mikkelsen, 2018). Tudo isso influencia também no quadro posterior à sua alta hospitalar, com queda na sua qualidade de vida, e também na de familiares e amigos (Robinson et al., 2019).

Todas estas e outras alterações estão categorizadas nos domínios da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) que classifica estas interações entre a condição de saúde, estrutura corporal, função, atividade, participação e meio ambiente (Mayer et al., 2020). A interação negativa dos seus componentes com a condição de saúde, como pode ocorrer no internamento prolongado na UTI, é conceituada como incapacidade (Mayer et al., 2020).

2.2 Fraqueza muscular adquirida na UTI

A fraqueza muscular adquirida na UTI (FAUTI) é conceituada como a perda de função e massa muscular bilateralmente, acompanhada de miopatia e polineuropatia, de etiologia diferente da causa da internação (Jolley, Bunnell e Hough, 2016). A FAUTI acomete musculatura periférica, (de proximal para distal) e respiratória, sendo a sepse, a disfunção orgânica, ventilação mecânica prolongada e imobilidade, alguns dos principais fatores de risco (Chen; Huang, 2024; Fazzini et al., 2023). O desenvolvimento da FAUTI está associado à desfechos negativos como a falha de extubação (Thille et al., 2020), aumento do tempo de internação, ventilação mecânica, custos hospitalares e mortalidade (Lad et al., 2020; Piva; Fagoni; Latronico, 2019). Dentro os fatores de risco gerais para o desenvolvimento da FAUTI, podemos classificá-los como modificáveis e não modificáveis (Chen; Huang, 2024). Os desfechos funcionais da FAUTI são heterogêneos e intimamente ligados aos status pré-internação na UTI, interferindo na qualidade de vida (Lad et al., 2020).

Dentre os fatores de risco modificáveis, temos a imobilidade, certas drogas utilizadas (como corticoesteróides, sedativos e bloqueadores neuromusculares), hiperglicemia e a administração de nutrição parenteral (evidenciando a importância do status nutricional) (Chen; Huang, 2024). E dentre os não modificáveis, temos o grau de gravidade da doença, sepse, resposta inflamatória, disfunção de múltiplos órgãos, idade avançada, sexo feminino, altos níveis de lactato sérico, debilidade do status funcional prévio e os longos períodos inevitáveis de ventilação mecânica (Chen; Huang, 2024).

A fisiopatologia da FAUTI é complexa e tem muitos fatores envolvidos (Chen; Huang, 2024), com os principais marcadores sendo a resposta inflamatória, alteração do equilíbrio protéico, disfunção bioenergética, atrofia e alterações histológicas da musculatura e

degeneração do axônio neuronal (Fazzini et al., 2023). A atrofia muscular severa afeta tanto fibras do tipo I como fibras do tipo II, com perda preferencial e significativa de miosina em relação a actina, desorganização do sarcômero e hipoexcitabilidade elétrica da célula muscular (Lad et al., 2020).

Até o momento, não há uma ferramenta em que haja um consenso sobre ser o padrão ouro para o diagnóstico de FAUTI (Wang; Wu; Wang, 2021). Com relação à avaliação da musculatura periférica, pode ser realizada de várias maneiras: teste muscular manual com o Medical Research Council (MRC), sendo o mais aceito e utilizado; eletrofisiologia com estudos de condução nervosa; dinamometria de preensão palmar; escalas funcionais com a ICU Mobility Scale (IMS), testes funcionais como o Teste de Caminhada de 6 minutos (TC6) e exames de imagem como a ultrassonografia (Vanhorebeek; Latronico; Van den Berghe, 2020). Já para a análise da musculatura respiratória, há os testes de Pressão Inspiratória Máxima (PIMáx) e Pressão Expiratória Máxima (PEMáx), amplamente difundidos, Pressão transdiafragmática (voluntário ou com estimulação do nervo frênico), Pressão do tubo endotraqueal com estimulação do nervo frênico ou exames de imagem, com destaque para a ultrassonografia à beira leito (Jolley, Bunnell e Hough, 2016).

2.3 Ultrassonografia (US) muscular e sua utilização na terapia intensiva

Atualmente, a US é uma importante ferramenta para detectar mudanças patológicas na musculatura, tanto periférica como respiratória, que podem refletir a lipossustituição muscular ou a fibrose (Wijntjes; van Alfen, 2021). Esta é uma técnica não invasiva, sem radiação e que pode ser utilizada à beira leito, com avaliação das imagens de modo quantitativo, em suas espessuras, ângulos e áreas e qualitativo, em sua ecointensidade ou escalas visuais (Jolley, Bunnell e Hough, 2016). Tanto a avaliação da musculatura periférica como da musculatura respiratória, são viáveis, de reprodutibilidade confiável, com correlações muito fortes intra e inter examinadores, apresentando boa acurácia (Molina-Hernández et al., 2023; Tourel et al., 2020; Zhang et al., 2021).

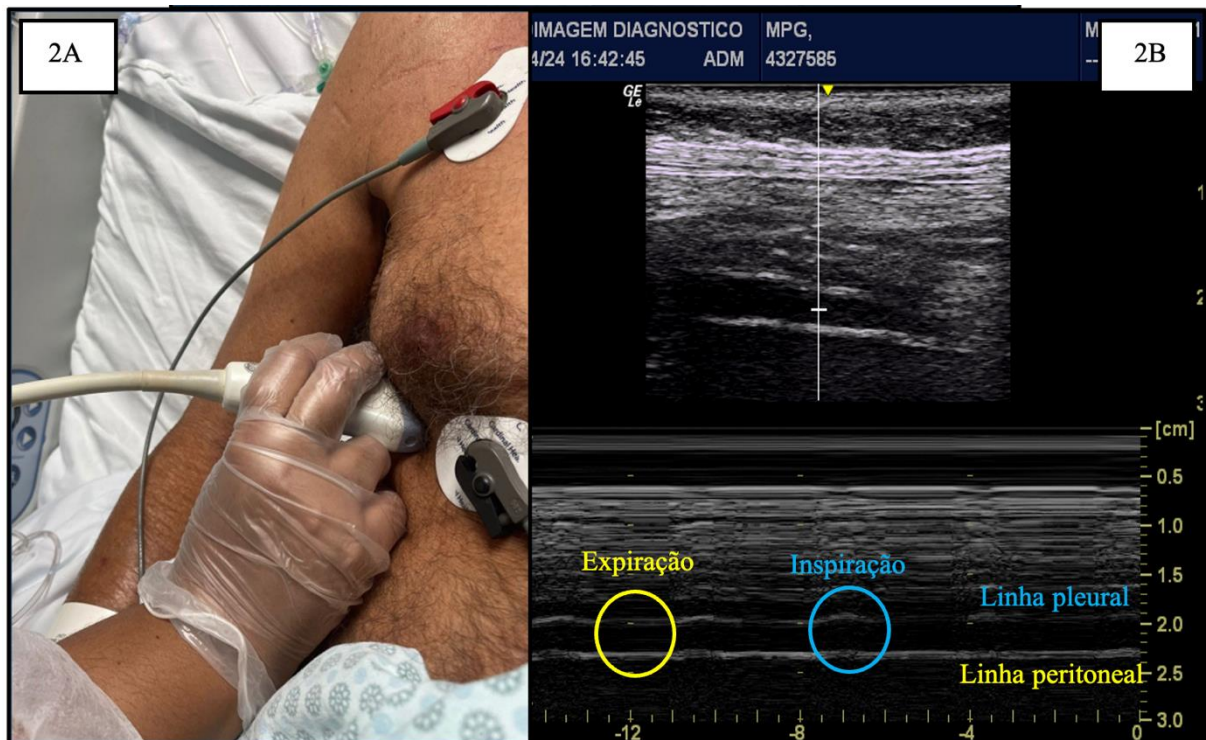
Diante da importância da musculatura de membros inferiores e seu impacto na qualidade de vida do paciente, a avaliação sonográfica desta musculatura se torna fundamental no contexto de FAUTI (Mayer et al., 2020). As medidas sonográficas de espessura e área de secção transversa de reto femoral e tibial anterior conseguem ser preditoras da FAUTI e se relacionam com a capacidade de realização do teste de sentar e levantar de 5 repetições e a força de preensão palmar (Guzmán-David et al., 2023; Mayer et al., 2020).

A área de secção transversa (AST) do reto femoral (RF), espessura diafragmática (ED) e fração de espessamento diafragmático (FED) são mensuradas com o transdutor linear de alta frequência (7-13 MHz) (Pardo et al., 2018). Na figura 1, observa-se o posicionamento para a mensuração da AST do RF, com o indivíduo na posição supina, com joelhos e músculos relaxados, o transdutor é orientado transversalmente em relação ao eixo longitudinal da coxa (Pardo et al., 2018). A figura 2 mostra o transdutor sobre a zona de aposição à caixa torácica (ZA) entre o oitavo e o nono espaço intercostal, entre a linha axilar anterior e a linha axilar média para a mensuração da ED e FED (Santana et al., 2020; Sklar et al., 2020). A ED é medida desde o centro da linha pleural até o centro da linha peritoneal, registrada em milímetros (mm) nos modos B e M ao final da expiração (Santana et al., 2020; Sklar et al., 2020). A FED é a medida da ED na inspiração, subtraída da ED na expiração e seu resultado é dividido pela ED na expiração x 100 (Santana et al., 2020; Sklar et al., 2020).

Figura 1. Posicionamento para acessar a imagem para mensuração da AST do RF à 2/3 de distância.



Figura 2. Uso do transdutor em posição longitudinal para acessar a imagem diafragmática.



Legenda: Em 2A observa-se o transdutor em posição longitudinal para acessar a imagem diafragmática. Em 2B, A ED é medida desde o centro da linha pleural até o centro da linha peritoneal na expiração e a FE sendo a medida durante a inspiração subtraída da ED, dividida pela ED x 100, registradas em milímetros (mm) no modo M.

Em se tratando de musculatura respiratória, mesmo que o padrão ouro para a detecção de disfunção diafragmática seja a estimulação do nervo frênico e a avaliação da pressão transdiafragmática, a US se destaca como uma confiável alternativa não invasiva (Yao et al., 2024). A ultrassonografia diafragmática é uma modalidade de point of care que consegue avaliar o diafragma tanto no aspecto dimensional, em sua espessura como funcionalmente, com a mobilidade e a fração de espessamento (Grassi et al., 2020).

O US é uma ferramenta de referência para a detecção de mudanças na espessura diafragmática ao longo da utilização da ventilação mecânica e reflete a atividade do diafragma (Grassi et al., 2020). A espessura diafragmática pode quantificar a atividade contrátil do diafragma e sua avaliação pode quantificar a atrofia por desuso ou a sobrecarga por aumento de trabalho ventilatório inadequado (Goligher et al., 2015).

Desfechos impactantes na terapia intensiva, como o prolongamento da ventilação mecânica, a reintubação, a traqueostomia e o óbito estão associados à disfunção diafragmática (Grassi et al., 2020).

O atraso em outro desfecho importante como a intubação, inclui riscos como a atrofia diafragmática, desenvolvimento de pneumonias e a decisão do momento oportuno

necessita de índices que possam nortear o sucesso do procedimento (McCool, Oyieng'o e Koo, 2020).

A espessura diafragmática mensurada pela US é uma importante variável para a extubação, assim como sua avaliação ao longo dos dias de intubação, tornando a técnica uma adjuvante à tomada de decisão, reduzindo o tempo de ventilação mecânica (McCool, Oyieng'o e Koo, 2020). Por ser o principal músculo da respiração, a correlação das medidas sonográficas de estrutura diafragmática com as pressões respiratórias máximas geradas se tornam fundamentais em momentos como a extubação (Yamada et al., 2024). A PIMáx e a PEMáx tem correlação estatisticamente significativa com a mobilidade diafragmática, porém ainda se faz necessário investigar melhor estas relações com outras variáveis (Yamada et al., 2024).

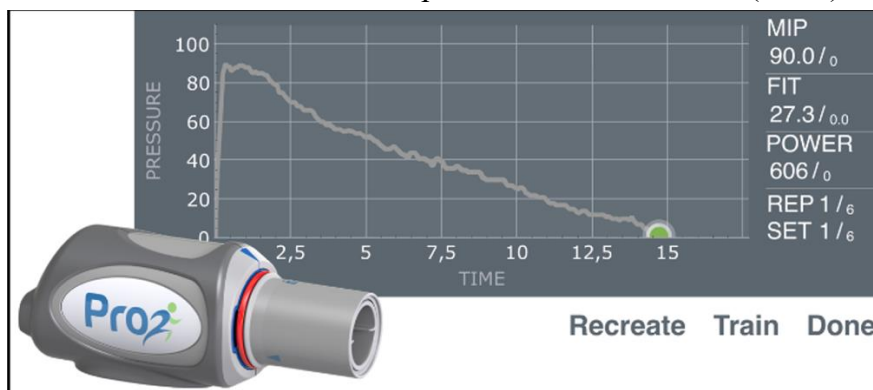
As variáveis da US diafragmática, como a Mobilidade e a Fração de Espessamento (FE) de espessamento tem tido melhor acurácia para prever o sucesso da extubação que a medida de PIMáx (Poddighe et al., 2024). Já em pacientes com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), as medidas sonográficas diafragmáticas de espessura e mobilidade apresentaram correlação negativa com as medidas de volume residual e a fração de espessamento demonstrou uma correlação positiva com o Volume Expiratório Forçado no 1º segundo (VEF1) (Schulz et al., 2022).

2.4 Test of Incremental Respiratory Endurance (TIRE)

O TIRE é um novo teste que inclui a mensuração de muitas variáveis além da PIMáx, fornecendo uma avaliação mais abrangente do que apenas força muscular, mas refletindo também trabalho muscular inspiratória, resistência muscular e propensão à fadiga muscular inspiratória através das medidas SMIP, ID e FIT, respectivamente (Formiga et al., 2018). No TIRE, a PIMáx é representada pela sigla em inglês MIP.

O TIRE é realizado através de um manômetro de pressão eletrônico que utiliza tecnologia sem fio para se conectar a um computador, tablet ou smartphone contendo o software TIRE. O software fornece aos usuários uma representação gráfica em tempo real conforme eles realizam a manobra inspiratória necessária (Figura 3) (Formiga et al., 2018). O PrO2 tem um vazamento de 2 mm que fornece uma resistência fixa ao fluxo inspiratório e evita o fechamento glótico durante o esforço inspiratório máximo (Formiga et al., 2019). Para realizar a manobra, os participantes são instruídos a expirar completamente e, em seguida, inspirar com força através do dispositivo, gerando o máximo de pressão possível dentro de 1 a 2 segundos da inspiração (Formiga et al., 2019). Eles também são instruídos a continuar a inspirar profundamente pelo maior tempo possível (Formiga et al., 2019).

Figura 3. Representação gráfica de um esforço inspiratório máximo e sustentado realizado com o dispositivo e software Pro2 (TIRE).



Legenda: Neste exemplo, o usuário atingiu uma P_{Imáx} de 90 cmH₂O, uma SMIP de 606 PTU, uma DI de 15 s e um FIT de 27,3.

A medida SMIP é obtida de um esforço que se inicia a partir do volume residual e acaba na capacidade pulmonar total do participante, refletindo a área sob a curva em PTU (unidade de pressão-tempo) no gráfico apresentado na Figura 3 (Formiga et al., 2019). A medida P_{Imáx} (ou MIP), por sua vez, é registrada em cmH₂O e representa o pico de pressão gerado pelo participante durante o início do esforço inspiratório máximo a partir do volume residual (Formiga et al., 2019). A medida ID documentará a duração total da inspiração completa por tentativa em segundos. Por fim, a medida FIT é uma variável derivada das medidas de ID e SMIP, com pontuações mais altas indicando menor suscetibilidade à fadiga muscular inspiratória (Formiga et al., 2019).

As variáveis SMIP, DI e FIT têm apresentado uma relevância clínica e preditiva superior quando comparadas à variável P_{Imáx} em diferentes populações (Formiga et al., 2019). Em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica, bronquiectasia, insuficiência cardíaca e após lesão medular traumática, correlações mais fortes foram observadas entre essas variáveis adicionais de performance muscular inspiratória e medidas de função pulmonar, capacidade funcional de exercício, sintomatologia, qualidade de vida relacionada à saúde, saúde mental, níveis séricos de marcadores inflamatórios e índices específicos de prognóstico, destacando um maior valor associativo das medidas obtidas via TIRE quando em comparação com medidas mais clássicas como P_{Imáx} (Formiga et al., 2019).

No contexto da terapia intensiva, estudos recentes também ressaltam a utilidade do método TIRE para avaliar a performance muscular inspiratória em pacientes críticos. (Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2023). Estes estudos confirmam reduções significativas nas medidas

de performance inspiratória tanto na alta da UTI quanto na alta hospitalar (Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2023). Além disso, as medidas obtidas via TIRE têm mostrado um valor preditivo relevante em relação a testes de função muscular periférica, como o teste de sentar e levantar de 1 minuto, oferecendo insights valiosos sobre aspectos de funcionalidade e prognóstico dos pacientes em ambientes de terapia intensiva (Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2023).

2.5 As implicações do Diamove para a prática clínica da reabilitação hospitalar

Como abordado nas outras subseções da revisão de literatura, os sobreviventes de doenças graves, após a permanência prolongada em UTI, possuem alto risco de adquirir incapacidades funcionais que podem persistir de meses a anos, representando parcela da sociedade que aumenta custos em Saúde e não retorna ao trabalho (Herridge; Azoulay, 2023). O estado de saúde pré-UTI, os fatores demográficos e de tratamento do estado crítico parecem ser determinantes importantes para a magnitude da disfunção física durante a fase pós-UTI (Herridge; Azoulay, 2023). Não há até o momento, nenhum consenso ou score desenvolvido para a predição da perda funcional e comprometimento da funcionalidade na UTI, como o Simplified Acute Physiology Score (SAPS) e o Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE) para a mortalidade, por exemplo. Vale salientar também que, na atualidade, a mensuração de performance das UTIs brasileiras realizada pela Associação de Medicina Intensiva Brasileira (AMIB), não contempla a eficiência em prevenir ou reabilitar sequelas funcionais.

A identificação precoce da perda de aspectos funcionais que impactam a funcionalidade, auxilia no planejamento de estratégias preventivas, evitando o agravamento ou o surgimento de maiores incapacidades funcionais. Partindo de uma análise adequada dos fatores de risco e a previsão do destino destes indivíduos sobreviventes, os resultados desta pesquisa podem colaborar com a alocação de recursos financeiros e sociais de maneira mais eficiente para essa população. Além disso, estabelecer associações úteis para a prática clínica contribui para o estabelecimento de protocolos e gerenciamento dos serviços de Saúde com práticas baseadas em evidências.

Então, pensando nos objetivos do estudo, o nome Diamove foi concebido como um nome ao projeto que pudesse se relacionar com suas idéias principais: diafragma e movimento. A escolha de nomear o projeto científico que deu origem à esta Dissertação de Mestrado seguiu e se inspirou na tendência observada em grandes estudos publicados na área de Terapia Intensiva como, por exemplo, RENOVATE (High-flow nasal catheter therapy versus

noninvasive positive-pressure ventilation in acute respiratory failure), PROSEVA (Proning Severe Acute Respiratory Distress Syndrome Patients), entre outros. Estas pesquisas inspiradoras, frequentemente utilizam nomenclaturas criativas e temáticas para reforçar a identidade e o propósito dos estudos.

3 OBJETIVOS, MÉTODOS E RESULTADOS

Os objetivos, métodos, resultados e conclusão serão apresentados nos produtos científicos, na seção posterior, na língua Portuguesa, com resumo também disposto na língua Inglesa. Os produtos encontram-se dispostos pelo modelo sugerido pelo Programa de Pós-graduação em Fisioterapia e Funcionalidade da Universidade Federal do Ceará (PPGFISIO-UFC) e sofrerão adequações às revistas internacionais nos quais serão submetidos.

3.1 PRODUTO 1: ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS NEGATIVOS DE PACIENTES VENTILADOS MECANICAMENTE.

RESUMO

OBJETIVO: Investigar a associação entre as medidas ultrassonográficas diafragmáticas e da musculatura periférica obtidas após a intubação orotraqueal com desfechos negativos durante a internação. **DESENHO:** Estudo de coorte e prospectivo. **LOCAL:** Unidades de Terapia Intensiva (UTI) de hospital privado em Fortaleza, Ceará. **PARTICIPANTES:** Indivíduos com mais de 18 anos até 85 anos ventilados mecanicamente devido à insuficiência respiratória decorrente de patologias clínicas, com histórico de independência funcional prévia. **INTERVENÇÕES:** As variáveis de Espessura Diafragmática (ED), Fração de Espessamento Diafragmático (FED) e a área de secção transversa do reto femoral (AST do RF) foram medidos por US nas primeiras 36 horas, após 7 dias de intubação e após a extubação. **PRINCIPAIS DESFECHOS:** Os desfechos negativos mensurados foram a reintubação, tempo de ventilação mecânica acima de 14 dias, necessidade de traqueostomia (TQT) e óbito. **RESULTADOS:** Foram incluídos 49 participantes, dos quais 59,2% eram de homens, idade média \pm desvio padrão de $67,79 \pm 15,35$ anos. A comparação de médias da ED mensurada após 7 dias de VM foi associada significativamente aos desfechos negativos como a dependência da VM ($p = 0,02$) e a necessidade de TQT ($p = 0,01$), assim como a AST do RF mensurada no mesmo dia com os mesmos desfechos. A FED apresentou-se importante para o desfecho Reintubação e Óbito, tanto na comparação de médias como na predição por modelo de regressão logística binominal. **CONCLUSÕES:** Os resultados sugerem que avaliações combinadas de musculatura periférica e diafragmática, mesmo que após dias do início da VM, podem ser úteis para uma monitorização mais abrangente e impactar positivamente os desfechos do paciente crítico.

PALAVRAS-CHAVE: Cuidados críticos; Debilidade Muscular; Ultrassonografia; Diafragma.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To investigate the association between diaphragmatic and peripheral muscle ultrasonographic measurements obtained after orotracheal intubation and negative outcomes during hospitalization. **DESIGN:** Prospective cohort study. **SETTING:** Intensive Care Units (ICU) of a private hospital in Fortaleza, Ceará, Brazil. **PARTICIPANTS:** Individuals aged 18 to 85 years undergoing mechanical ventilation due to respiratory failure from clinical conditions, with a history of prior functional independence. **INTERVENTIONS:** Diaphragm Thickness (DT), Diaphragmatic Thickening Fraction (DTF), and the cross-sectional area of the rectus femoris (RF-CSA) were measured by ultrasound within the first 36 hours, after 7 days of intubation, and post-extubation. **MAIN OUTCOMES:** Negative outcomes included reintubation, mechanical ventilation lasting more than 14 days, the need for tracheostomy (TQT), and death. **RESULTS:** A total of 49 participants were included, 59.2% of whom were male, with a mean age \pm standard deviation of 67.79 ± 15.35 years. The mean DT measured after 7 days of mechanical ventilation was significantly associated with negative outcomes such as prolonged mechanical ventilation dependence ($p = 0.02$) and the need for TQT ($p = 0.01$), as was the RF-CSA measured at the same time point. DTF was found to be relevant for predicting reintubation and death, both in mean comparisons and in logistic regression models.

CONCLUSIONS: The findings suggest that combined assessments of peripheral and diaphragmatic musculature, even several days after the initiation of mechanical ventilation, may be useful for more comprehensive monitoring and positively impact the outcomes of critically ill patients.

KEYWORDS: Critical Care; Muscle Weakness; Ultrasonography; Diaphragm.

INTRODUÇÃO

Dentre as disfunções físicas desenvolvidas durante a estadia na Unidade de Terapia Intensiva (UTI), a fraqueza muscular adquirida na UTI (FAUTI) é um importante preditor do prognóstico clínico e funcional durante a internação do paciente e está associada aos piores desfechos (Chen; Huang, 2024; Herridge; Azoulay, 2023). A FAUTI tem sua incidência de 25% a 100% dos doentes graves e está associada a gravidade da doença e fatores pessoais como as comorbidades e a função física prévia (Baby; George; Osahan, 2021; Chen; Huang, 2024). A FAUTI acomete tanto a musculatura periférica quando a respiratória, sendo a disfunção diafragmática ainda mais frequente e estando associada em até 60% da ventilação mecânica (VM) prolongada dos pacientes críticos ventilados (Saccheri et al., 2020). Esta disfunção tem origem multifatorial, porém a ventilação mecânica e suas limitações à mobilidade ativa, tanto de musculatura periférica como respiratória, possui um papel de grande impacto no aumento do risco de desenvolver FAUTI (Saccheri et al., 2020).

Então, na busca por mais recursos que possam avaliar a musculatura do doente crítico ainda nas horas iniciais e sem a necessidade de contração voluntária, a ultrassonografia (US) à beira leito tem se tornado uma ferramenta viável, segura e útil para o diagnóstico das disfunções musculares e acompanhamento da sua evolução (Casey et al., 2022). Tanto a US diafragmática quanto a US da musculatura de membros inferiores possuem correlação com desfechos clínicos e funcionais, como o sucesso da extubação e o desempenho em testes físicos como dinamometria de preensão palmar, respectivamente (Casey et al., 2022; Guzmán-David et al., 2023; Yao et al., 2024). Uma das mensurações que podem ser feitas ainda com o doente sedado é da espessura diafragmática (ED) basal mensurada por US (Yao et al., 2024). Os menores valores mensurados de ED estão associados à complicações e desfechos negativos durante a internação hospitalar, como o aumento do tempo de internação, reinternações, aumento do tempo de ventilação mecânica e óbito (Sklar et al., 2020).

Diante do exposto, a análise detalhada dessas medidas estruturais e funcionais e suas associações com os desfechos negativos em momentos importantes da internação do doente crítico ventilado mecanicamente, como as primeiras horas de intubação e a extubação, pode ser útil para definir condutas, otimizar cuidados e nortear o momento de cada terapêutica.

Por se tratar de medidas de estrutura e função, precisa-se explorar se as métricas associadas aos desfechos negativos e impacto na funcionalidade em pesquisas estrangeiras, terão o mesmo comportamento no biótipo brasileiro.

Supomos que quanto menor for a ED basal, além de maior seu declínio em medidas posteriores e menor ED e Fração de Espessamento (FED) após a extubação, mais a medida estará associada à desfechos negativos como o tempo prolongado de ventilação mecânica, reintubação, necessidade de traqueostomia e óbito. Hipotetizamos ainda, que quanto menor for a Área de Secção Transversa (AST) do Reto Femoral (RF), além de maior seu declínio em mensurações posteriores e após a extubação, mais a medida estará associada aos mesmos desfechos negativos que as medidas diafragmáticas.

Investigar a associação entre as medidas ultrassonográficas diafragmáticas e da musculatura periférica obtidas após a intubação orotraqueal com desfechos negativos durante a internação, como a reintubação, tempo de ventilação mecânica acima de 14 dias, necessidade de traqueostomia (TQT) e óbito.

MÉTODOS

Desenho do estudo e amostra

Estudo observacional de coorte, analítico, descritivo e prospectivo. Os indivíduos foram recrutados por conveniência e, uma vez considerados elegíveis para participar do estudo, suas famílias foram abordadas para o consentimento para que se iniciassem as coletas. Foram avaliados todos os pacientes que preenchessem os critérios de inclusão dentro do período da pesquisa. O número de indivíduos foi coletado ao longo do tempo proposto e em concordância com amostras reduzidas observadas na literatura, pela complexidade em pesquisas na área. A pesquisa foi realizada em um único centro, nas UTIs Adulto de um hospital privado da cidade de Fortaleza-CE, de Agosto de 2023 a Outubro de 2024. As UTIs da instituição possuem categorias como clínicas, cardiológicas e cirúrgicas, porém mesmo que alocado em UTI não clínica pelo gerenciamento de leitos, apenas os pacientes que se enquadravam ao critério de inclusão, foram avaliados. Foram colhidos índices prognósticos, variáveis demográficas, clínicas e demais mensurações pertinentes em prontuário eletrônico, nas primeiras 36 horas de internação da UTI e em todos os momentos de avaliação ou desfecho. Foi utilizado para a apresentação desta pesquisa o checklist Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) para estudos observacionais (Malta et al., 2010).

Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos na pesquisa indivíduos maiores de 18 anos e menores que 85 anos, ventilados mecanicamente por insuficiência respiratória oriunda de patologias clínicas tratáveis (Pneumonias, Sepsis, descompensação de doenças crônicas como o Enfisema Pulmonar e etc), internados nas UTIs Adulto da instituição de coleta com histórico de independência funcional prévia (informação coletada em prontuário e confirmada com o familiar no momento do consentimento) e sem prognóstico de óbito iminente. Foram excluídos aqueles indivíduos que: não puderam ser avaliados em suas primeiras 36 horas de VM, utilizaram menos de 72 horas de VM após a intubação, utilizaram VM nos últimos 30 dias por mais de 48 horas; desistiram de participar ou não consentiram, apresentaram alguma condição clínica que impediu ou contraindicou as avaliações em alguma das etapas ou não se obteve variáveis confiáveis.

Medidas

Avaliação do músculo diafragma e reto femoral

A ultrassonografia foi realizada com um equipamento portátil (Fujifilm Sonosite Edge II, Fujifilm, Washington, EUA) com um transdutor linear de alta frequência (7-13 MHz). Para avaliação da cúpula diafragmática direita, o indivíduo estava posição supina, com cabeceira a 45°, então, 3 imagens foram obtidas e calculadas a média dos valores (Santana et al., 2020). O transdutor foi disposto sobre a zona de aposição à caixa torácica (ZA) entre o oitavo e o nono espaço intercostal, entre a linha axilar anterior e a linha axilar média. A ED foi medida desde o centro da linha pleural até o centro da linha peritoneal, registrada em milímetros (mm) no modo M ao final da expiração (Santana et al., 2020; Sklar et al., 2020). A FED foi mensurada com a medida da ED na inspiração, subtraída da ED na expiração, com o resultado dividido pela ED na expiração e multiplicado por 100 (Santana et al., 2020).

Para avaliar o músculo quadríceps femoral direito o indivíduo encontrava-se na posição supina, com elevação da cabeceira a 45°, joelhos e músculos relaxados, para avaliar o músculo reto femoral em sua AST (Pardo et al., 2018). O transdutor foi orientado transversalmente em relação ao eixo longitudinal do braço ou coxa para obtenção de uma imagem em corte transversal, criando assim um ângulo reto com a superfície da pele (Pardo et al., 2018). Foi calculada a média dos valores de 3 imagens e registrados em centímetros. A imagem do músculo RF foi acessada à 2/3 de distância da espinha íliaca ântero-superior e a borda superior da patela (Casey et al., 2022; Pardo et al., 2018).

As imagens por US, foram realizadas por avaliador único treinado, com mais de 50 exames realizados e cursos na área.

Desfechos negativos mensurados

Os desfechos negativos mensurados foram: dependência da ventilação mecânica prolongada > 14 dias (permanência na VM por mais de 14 dias após a intubação), reintubação (nova intubação orotraqueal em até 48 horas após a extubação); necessidade de traqueostomia (quando o indivíduo não conseguiu elegibilidade para extubação e foi traqueostomizado), óbito e a incidência de pelo menos 1 dos desfechos citados.

Os desfechos negativos são avaliados prospectivamente através do prontuário eletrônico da instituição em que a pesquisa foi realizada.

Cronologia das avaliações

A avaliação dos indivíduos se realizou em 2 etapas, podendo se estender em 3 etapas, caso o participante tenha conseguido evoluir para a extubação. Após a elegibilidade confirmada, consentimento assinado pela família e sua independência funcional prévia visualizada em prontuário eletrônico, confirmadas com as informações familiares, houve a coleta das variáveis estudadas, nos momentos dispostos na Tabela 1.

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará, CAAE 70992223.4.00005054 (ANEXO A). Todos os responsáveis pelos participantes receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A) que foi lido, discutido e assinado antes de qualquer procedimento do protocolo.

Tabela 1. Cronologia das avaliações realizadas em cada etapa da coleta de dados da amostra.

	Após a intubação	Após 7 dias da intubação	Após a extubação	Coleta dos Desfechos Clínicos
Marco temporal	Em até 36 horas após a intubação orotraqueal (iOT)	Após 7 dias da iOT	Em até 24 horas após a extubação, caso houver	Ao longo da internação hospitalar
Variáveis	ED após a intubação em milímetros (mm) AST do RF após a intubação em centímetros (cm ²)	ED 7 dias após a intubação em milímetros (mm) AST do RF após 7 dias da intubação em centímetros (cm ²)	ED após a extubação em milímetros (mm) AST do RF após a extubação em centímetros (cm ²) FED após a extubação em %	Reintubação Ventilação mecânica > 14 dias Necessidade de TQT Óbito

Legenda: iOT = Intubação Orotraqueal; ED = Espessura Diafragmática; AST do RF= Área de Secção Transversa do Reto Femoral; FED = Fração de Espessamento Diafragmático; TQT = Traqueostomia.

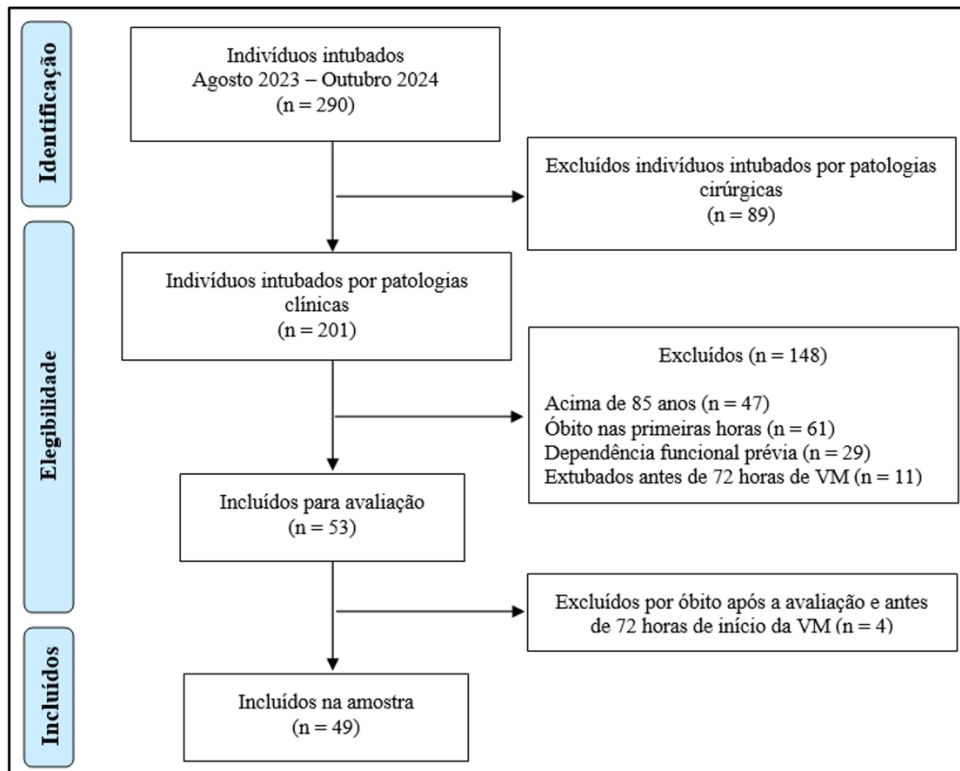
Análise dos dados

Todas as análises foram realizadas com IBM SPSS *Statistics for Windows*, versão 24 (Armonk, Nova York, EUA). As características de base da amostra do estudo foram analisadas e resumidas por meio de estatística descritiva. A normalidade dos dados foi atestada através do teste Shapiro-Wilk. A distribuição dos achados determinou se o método de comparação de médias foi o Teste T de Student ou U de Mann Whitney. A amostra foi dividida de acordo com a ausência e presença de cada desfecho estudado. A significância estatística foi definida em um nível alfa de 0,05. As variáveis que apresentaram significância estatística após os testes de comparação, tiveram seu potencial de predição, analisados pela regressão logística binominal.

RESULTADOS

Foram incluídos um total de 53 pacientes e excluídos 4 indivíduos que não completaram 72 horas de VM, deixando uma amostra de 49 pacientes para a análise (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma do processo de seleção da amostra.



Legenda: VM = Ventilação Mecânica.

A amostra geral apresentou 59,2% de homens, idade média \pm desvio padrão de $67,79 \pm 15,35$ anos, IMC de $26,31 \pm 6,19$ kg/m² e escore SAPS 3 de $68,46 \pm 18,06$ na admissão.

O tempo médio de duração da VM foi de $18,91 \pm 19,58$ dias, o tempo médio de internação na UTI foi de $22,49 \pm 17,45$ dias e o tempo médio de internação hospitalar foi de $37,22 \pm 34,46$. A ED basal média foi de $2,23 \pm 0,73$ mm. O tempo médio até as primeiras avaliações por US após a intubação, foi de $19,24 \pm 8,59$ dias.

Na Tabela 2, observam-se as características demográficas e clínicas da amostra, constando de uma população idosa, cuja metade possuía alguma pneumopatia prévia como enfisema pulmonar, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e asma, entre outros. Outro aspecto importante apresentado na Tabela 2, foi a utilização de corticoesteróides por mais de 24 horas por uma parte significativa dos indivíduos avaliados.

Tabela 2. Características demográficas e clínicas dos participantes.

Variáveis	Amostra
Indivíduos (n)	49
Idade (anos)	$67,79 \pm 15,35$
Sexo masculino	59,2%
IMC (kg/m ²)	$26,31 \pm 6,19$
SAPS3	$66,82 \pm 19,48$
Charlson	$2,95 \pm 2,23$
Existência de pneumopatia prévia	55,1%
Principais causas da intubação	
Sepse	22,4%
Pneumonia	16,3%
AVC	8,2%
Cardiopatias (Infarto, Insuficiência Cardíaca Congestiva e etc)	8,2%
Pneumopatia descompensada (DPOC, Asma e etc)	8,2%
Outras	36,7%
Uso de corticoesteróides > 24 horas	71,4%
Uso de bloqueador neuromuscular > 24 horas	38,8%
ED pós-iOT (mm)	$2,30 \pm 0,74$
AST do RF pós-iOT (cm ²)	$0,65 \pm 0,52$
Teve pelo menos 1 dos desfechos negativos	65,3%

Legenda: IMC = Índice de Massa Corpórea; SAPS = *Simplified Acute Physiology Score*; AVC = Acidente Vascular Cerebral, DPOC = Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica; ED pós-iOT = Espessura diafragmática em até horas após a intubação; AST do RF pós-iOT = Área de Secção Transversa do Reto Femoral em até 36 horas após a intubação.

Na Tabela 3, há uma comparação das variáveis entre os grupos que sofreram ou não reintubação e também entre os grupos que apresentaram ou não tempo de VM prolongado > 14 dias. As variáveis obtidas após a extubação (ED pós-ext, FED pós-ext e AST do RF pós-ext) apresentaram diferença estatisticamente significativa em suas médias para o desfecho

reintubação, demonstrando uma relação negativa com o desfecho e quanto menor suas medidas, maior a chance de reintubação. Para o desfecho tempo de VM > 14 dias, as medidas obtidas após 7 dias de intubação (ED pós-7d e AST do RF pós-7d), além da FED pós-ext, apresentaram diferença estatisticamente significativa e relações negativas, também demonstrando que quanto menor suas mensurações, mais dependência da VM por mais de 14 dias.

Tabela 3. Comparação média entre grupos de acordo com a presença ou não dos desfechos negativos (Reintubação e Tempo de VM > 14 dias).

Variáveis	Reintubação			Tempo de VM > 14 dias		
	Sim	Não	p-valor	Sim	Não	p-valor
Amostra (n)	6	16		21	28	
ED pós-iOT (mm)	1,90 ± 0,75	2,3 ± 0,72	0,19	2,15 ± 0,72	2,41 ± 0,75	0,22
ED pós-7d (mm)	2,50 ± 1,17	0,19 ± 0,90	0,25	1,85 ± 0,96	2,60 ± 0,80	0,02*
AST do RF pós-iOT (cm²)	0,61 ± 0,63	0,66 ± 0,49	0,37	0,55 ± 0,38	0,73 ± 0,60	0,44
AST do RF pós-7d (cm²)	0,63 ± 0,69	0,45 ± 0,28	0,95	0,35 ± 0,20	0,80 ± 0,58	0,01*
ED pós-ext (mm)	1,61 ± 0,51	2,48 ± 0,96	0,02*	1,90 ± 0,30	2,32 ± 0,99	0,38
FED pós-ext (%)	62,84 ± 30,3	24,63 ± 17,3	0,00*	29,00 ± 20	94,73 ± 7,4	0,00*
AST do RF pós-ext (cm²)	0,31 ± 0,15	0,70 ± 0,54	0,04*	0,33 ± 0,12	0,64 ± 0,52	0,33

Legenda: ED pós-iOT = Espessura Diafragmática em até após a intubação; ED pós-7d = Espessura Diafragmática 7 dias após a intubação; AST do RF pós-iOT = Área de Secção Transversa do Reto Femoral basal em até 36 horas após a intubação; AST do RF pós-7d = Área de Secção Transversa do Reto Femoral 7 dias após a intubação; ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação e AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação.

Na Tabela 4, há uma comparação das variáveis entre os grupos que tiveram ou não a necessidade de serem traqueostomizados. Destacam-se as duas medidas obtidas após 7 dias de intubação orotraqueal ED pós-7d e AST do RF pós-7d com uma diferença estatisticamente significativa e relação negativa com indivíduos com menores valores mensurados, indicando maior número de TQT.

Tabela 4. Comparação média entre grupos de acordo com a presença ou não da necessidade da traqueostomia.

Variáveis	Necessidade de TQT		
	Sim	Não	p-valor
Amostra (n)	19	30	
ED pós-iOT (mm)	2,12 ± 0,73	2,42 ± 0,74	0,14
ED pós-7d (mm)	1,76 ± 0,78	2,67 ± 1,02	0,01*
AST do RF pós-iOT (cm²)	0,49 ± 0,29	0,76 ± 0,60	0,20
AST do RF2 pós-7d (cm²)	0,33 ± 0,19	0,79 ± 0,54	0,00*

Legenda: TQT = Traqueostomia; ED pós-iOT = Espessura Diafragmática em até após a intubação; ED pós-7d = Espessura Diafragmática 7 dias após a intubação; AST do RF pós-iOT = Área de Secção Transversa do Reto Femoral basal em até 36 horas após a intubação; AST do RF pós-7d = Área de Secção Transversa do Reto Femoral 7 dias após a intubação.

*p < 0,05.

Na Tabela 5, há uma comparação das variáveis entre os grupos que foram à óbito e também entre os grupos que apresentaram ou não pelo menos 1 dos desfechos negativos estudados. As variáveis obtidas após a extubação (ED pós-ext, FED pós-ext) apresentaram diferença estatisticamente significante em suas médias para o desfecho Óbito, com indivíduos com as menores medidas apresentando maior número de óbitos. Para aqueles que tiveram pelo menos 1 desfecho negativo, a medida obtida após 7 dias da iOT (ED pós-7d), além da ED pós-ext e FED pós-ext, apresentaram diferença estatisticamente significativa com relação negativa entre medidas e a existência de pelo menos 1 desfecho negativo mensurado.

Nas variáveis que apresentaram significância estatística em relação ao desfecho mensurado, foram realizadas regressões logísticas binárias para confirmação do poder preditor (Tabela 6). Algumas medidas se destacaram em determinados desfechos como com a FED pós-ext, onde há uma relação negativa e significativa ($\beta = -0,068$, $p = 0,021$) com R^2 de Nagelkerke de 50,7% e modelo estatisticamente significativo ($p = 0,002$) para a Reintubação. No desfecho de Tempo de VM > 14 dias, AST do RF pós-7d tem uma relação negativa e significativa ($\beta = -4,07$, $p = 0,045$) com R^2 de Nagelkerke de 35,6% e modelo estatisticamente significativo ($p = 0,006$). Para prever a Necessidade de TQT, tanto ED pós-7d, quanto AST do RF pós-7d apresentaram bons modelos preditivos, com relação preditiva e significativa estatisticamente. FED pós-ext apresenta modelo preditivo significativo e relação negativa para o desfecho Óbito e na análise da predição de pelo menos 1 dos desfechos negativos estudados, ED pós-7d e ED pós-ext, destacam-se por terem demonstrado bons modelos de predição.

Tabela 5. Comparação média entre grupos de acordo com a presença ou não dos desfechos negativos (Óbito e Ocorrência de pelo menos 1 desfecho negativo estudado).

Variáveis	Óbito			Pelo menos 1 desfecho negativo		
	Sim	Não	p-valor	Sim	Não	p-valor
Amostra (n)	27	22		32	17	
ED pós-iOT (mm)	2,22 ± 0,72	2,40 ± 0,77	0,45	2,19 ± 0,73	2,51 ± 0,73	0,17
ED pós-7d (mm)	1,93 ± 0,89	2,50 ± 1,07	0,22	1,88 ± 0,82	3,38 ± 0,79	0,00*
AST do RF pós-iOT (cm²)	0,57 ± 0,41	0,76 ± 0,62	0,43	0,57 ± 0,44	0,81 ± 0,63	0,21
AST do RF2 pós-7d (cm²)	0,53 ± 0,46	0,28 ± 0,74	0,45	0,49 ± 0,43	0,49 ± 0,26	0,59
ED pós-ext (mm)	1,69 ± 0,45	2,51 ± 0,99	0,02*	1,68 ± 0,43	2,63 ± 0,99	0,00*
FED pós-ext (%)	26,72 ± 17,6	57,01 ± 36,9	0,01*	24,75 ± 17,9	52,88 ± 32,2	0,01*
AST do RF pós-ext (cm²)	0,37 ± 0,15	0,70 ± 0,57	0,21	0,38 ± 0,17	0,73 ± 0,59	0,17

Legenda: ED pós-iOT = Espessura Diafragmática em até após a intubação; ED pós-7d = Espessura Diafragmática 7 dias após a intubação; AST do RF pós-iOT = Área de Secção Transversa do Reto Femoral basal em até 36 horas após a intubação; AST do RF pós-7d = Área de Secção Transversa do Reto Femoral 7 dias após a intubação; ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação e AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação. *p < 0,05.

Tabela 6. Medidas de Regressão Logística para predição dos desfechos clínicos.

Desfechos	Variável (preditor)	β	p-valor	R ² de Nagelkerke (%)
Reintubação	ED pós-ext (mm)	-21,78	0,052	34
	FED pós-ext (%)	-0,068	0,021*	50,7
	AST do RF pós-ext (cm ²)	-4,63	0,10	19,4
Tempo de VM > 14 dias	ED pós-7d (mm)	-8,66	0,072	10,9
	FED pós-ext (%)	-2,19	0,994	100
	AST do RF pós-7d (cm ²)	-4,07	0,045*	35,6
Necessidade de TQT	ED pós-7d (mm)	-11,54	0,035*	27,2
	AST do RF pós-7d (cm ²)	-5,09	0,027*	42
Óbito	ED pós-ext (mm)	-19,00	0,060	20,1
	FED pós-ext (%)	-0,045	0,040*	32,5

continua...

...continuação

Desfechos	Variável (preditor)	β	p-valor	R² de Nagelkerke (%)
Pelo menos 1	ED pós-7d (mm)	-14,75	0,019*	38,5
desfecho	ED pós-ext (mm)	-25,49	0,030*	43,5
negativo				

Legenda: ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação e AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação; ED pós-7d = Espessura Diafragmática 7 dias após a intubação; AST do RF pós-7d = Área de Secção Transversa do Reto Femoral 7 dias após a intubação.

DISCUSSÃO

Com os 49 indivíduos incluídos, com independência funcional prévia, a comparação média das variáveis categorizadas de acordo com a ocorrência ou não de determinado desfecho negativo, deu destaque à algumas das variáveis avaliadas por US. Há diferença nas medidas de ED pós-7d que apresentou significância estatística em suas comparações médias para desfechos de Tempo de VM > 14 dias, Necessidade de TQT e Ocorrência de pelo menos 1 dos desfechos negativos, com os dois últimos corroborados pela regressão logística binária. A ED pós-ext consegue predizer bem a ocorrência de pelo menos um dos desfechos negativos estudados, relacionando-se negativamente com a mensuração de sua espessura. A FED pós-ext foi a única variável a ter capacidade de predição na regressão logística binária e que apresentou diferença significativa estatisticamente tanto no desfecho Reintubação, como no desfecho Óbito. Ainda precisa de destaque, o resultado da variável de avaliação da musculatura periférica, AST do RF pós-7d, que além de apresentar diferença estatística na comparação de suas médias na Necessidade de TQT, demonstrou uma relação negativa significante na capacidade preditora da traqueostomia no curso da internação do doente crítico.

Os resultados encontrados na medida da espessura diafragmática mensurada após 7 dias de iOT, em detrimento à medida inicial demonstram que alterações na ED ao longo do tempo de internação pode ocasionar vulnerabilidade aos desfechos negativos. Isso enfatiza a importância da monitorização desta variável por US, mesmo que seu valor inicial seja favorável. Em nossos achados com indivíduos funcionalmente independentes previamente, não observamos uma relação das medidas iniciais e desfechos negativos, como outros estudos (Dianti et al., 2020; Goligher et al., 2018; Sklar et al., 2020) que não enfatizaram a função física prévia, corroborando que mesmo sem ter realizado uma avaliação inicial, é válida a mensuração estrutural por US ao longo do tempo de VM.

A Fração de Espessamento diafragmático, por se tratar de uma medida de capacidade contrátil, é amplamente estudada e possui relacionamento negativo com as falhas

de extubação (Llamas-Álvarez; Tenza-Lozano; Latour-Pérez, 2017; Poddighe et al., 2024; Samanta et al., 2017). Recentes metanálises (Parada-Gereda et al., 2023; Poddighe et al., 2024) a tornam uma medida promissora com melhor acurácia para a predição da incapacidade do desmame da VM e reintubação, em mensurações durante o teste de respiração espontânea pré-extubação (Parada-Gereda et al., 2023; Poddighe et al., 2024). O que chama a atenção em nossos resultados é que a variável estudada é realizada horas após a extubação e mesmo assim encontrou robustez estatística na predição de desfechos negativos importante, como a reintubação. Esta variável mensurada por US, sugere ser valiosa em complicações respiratórias graves, que possuem alto impacto no prognóstico clínico e funcional dos doentes críticos.

Por fim, as medidas da área de secção transversa de reto femoral já se destacam em estudos anteriores (Casey et al., 2022; Gustafson et al., 2023, 2024; Parry et al., 2020) com associações com prognósticos ruins, porém as suas relações com a musculatura respiratória ainda não estão bem estabelecidas. Esses achados sugerem que a avaliação da musculatura periférica pode complementar o acompanhamento do diafragma via US. Novamente, assim como ED pós-iOT, a medida inicial de AST do RF pós-iOT não apresentou diferença significativa na comparação de suas médias, nos desfechos negativos deste estudo. Isso é um dado importante visto que estávamos avaliando indivíduos com independência funcional para as atividades da vida diária.

Apesar dos resultados promissores, mesmo com tamanho amostral reduzido, esta pesquisa apresenta algumas limitações quanto à ausência de mais dados de acompanhamento longitudinal como parâmetros nutricionais e de ventilação mecânica. Esses dados poderiam fornecer um melhor detalhamento das correlações das variáveis e desfechos ao longo do tempo, assim como suas relações com as mudanças no estado clínico ou funcional. Outro ponto importante é que não houve registro ou consideração da intensidade da reabilitação física ou se houve recursos utilizados, o que pode ter tido algum impacto na precisão dos modelos estatísticos. Pesquisas futuras com amostras maiores são necessárias para explorar o impacto de intervenções precoces na musculatura diafragmática e periférica, como a estimulação elétrica transcutânea e os desfechos negativos estudados.

CONCLUSÃO

Este estudo destaca as variáveis diafragmáticas avaliadas em indivíduos brasileiros e previamente independentes funcionalmente, como importantes marcadores de prognósticos negativos, com implicações diretas na previsão dos desfechos estudados. Além disso, os resultados sugerem que avaliações da musculatura diafragmática, mesmo que após dias do

início da VM, podem ser úteis para uma monitorização mais abrangente e precisa. Portanto, a adoção de estratégias de monitorização destas variáveis e medidas preventivas que preservem essas musculaturas, pode minimizar comprometimentos funcionais ainda na internação, acelerar a reabilitação de disfunções e conseqüentemente reduzir o impacto negativo na funcionalidade pós-alta.

REFERÊNCIAS

BABY, S.; GEORGE, C.; OSAHAN, N. M. Intensive Care Unit-acquired Neuromuscular Weakness: A Prospective Study on Incidence, Clinical Course, and Outcomes. **Indian Journal of Critical Care Medicine**, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 1006–1012, 2021. Disponível em: <https://www.ijccm.org/doi/10.5005/jp-journals-10071-23975>.

CASEY, P. et al. The current use of ultrasound to measure skeletal muscle and its ability to predict clinical outcomes: a systematic review. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 2298–2309, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jcsm.13041>.

CHEN, J.; HUANG, M. Intensive care unit-acquired weakness: Recent insights. **Journal of Intensive Medicine**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 73–80, 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2667100X2300049X>.

DIANTI, J. et al. Association of Mortality with Neuromuscular Blockade Differs according to Baseline Diaphragm Thickness. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, [s. l.], v. 202, n. 12, p. 1717–1720, 2020. Disponível em: <https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/rccm.202004-1157LE>.

GOLIGHER, E. C. et al. Mechanical Ventilation-induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. **American journal of respiratory and critical care medicine**, [s. l.], v. 197, n. 2, p. 204–213, 2018. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28930478>.

GUSTAFSON, O. et al. Musculoskeletal health state and physical function of intensive care unit survivors: protocol for a UK multicentre prospective cohort study (the MSK-ICU study). **BMJ open**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. e071385, 2023. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36731924>.

GUSTAFSON, O. D. et al. The impact of musculoskeletal ill health on quality of life and function after critical care: a multicentre prospective cohort study. **Anaesthesia**, [s. l.], v. 79, n. 8, p. 821–828, 2024. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38536762>.

GUZMÁN-DAVID, C. A. et al. Ultrasound assessment of muscle mass and correlation with clinical outcomes in critically ill patients: a prospective observational study. **Journal of ultrasound**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 879–889, 2023. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37783892>.

HERRIDGE, M. S.; AZOULAY, É. Outcomes after Critical Illness. **The New England journal of medicine**, [s. l.], v. 388, n. 10, p. 913–924, 2023. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36884324>.

LLAMAS-ÁLVAREZ, A. M.; TENZA-LOZANO, E. M.; LATOUR-PÉREZ, J. Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome: Systematic Review and Meta-Analysis. **Chest**, [s. l.], v. 152, n. 6, p. 1140–1150, 2017. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28864053>.

MALTA, M. et al. Iniciativa STROBE: subsídios para a comunicação de estudos observacionais. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 559–565, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102010000300021&lng=pt&tlng=pt.

PARADA-GEREDA, H. M. et al. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. **Critical Care**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 174, 2023. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-023-04430-9>.

PARDO, E. et al. Reliability of ultrasound measurements of quadriceps muscle thickness in critically ill patients. **BMC Anesthesiology**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 205, 2018. Disponível em: <https://bmcanesthesiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12871-018-0647-9>.

PARRY, S. M. et al. Evaluating Physical Functioning in Survivors of Critical Illness: Development of a New Continuum Measure for Acute Care*. **Critical Care Medicine**, [s. l.], v. 48, n. 10, p. 1427–1435, 2020. Disponível em: <https://journals.lww.com/10.1097/CCM.00000000000004499>.

PODDIGHE, D. et al. Accuracy of respiratory muscle assessments to predict weaning outcomes: a systematic review and comparative meta-analysis. **Critical Care**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 70, 2024. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-024-04823-4>.

SACCHERI, C. et al. ICU-acquired weakness, diaphragm dysfunction and long-term outcomes of critically ill patients. **Annals of Intensive Care**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1, 2020. Disponível em: <https://annalsofintensivecare.springeropen.com/articles/10.1186/s13613-019-0618-4>.

SAMANTA, S. et al. Diaphragm thickening fraction to predict weaning—a prospective exploratory study. **Journal of Intensive Care**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 62, 2017. Disponível em: <https://jintensivecare.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40560-017-0258-4>.

SANTANA, P. V. et al. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. **Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia**, [s. l.], v. 46, n. 6, p. e20200064, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33237154>.

SKLAR, Michael C et al. Association of Low Baseline Diaphragm Muscle Mass With Prolonged Mechanical Ventilation and Mortality Among Critically Ill Adults. **JAMA network open**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. e1921520, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32074293>.

YAO, X.-Y. et al. Ultrasound assessment of diaphragmatic dysfunction in non-critically ill patients: relevant indicators and update. **Frontiers in Medicine**, [s. l.], v. 11, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2024.1389040/full>.

3.2 PRODUTO 2: AVALIAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DO *TEST OF INCREMENTAL RESPIRATORY ENDURANCE* (TIRE) COM MEDIDAS DE ULTRASSONOGRRAFIA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA, FORÇA DE PREENSÃO PALMAR E MOBILIDADE EM DOENTES CRÍTICOS.

RESUMO

OBJETIVO: Explorar as correlações do *Test of Incremental Respiratory Endurance* (TIRE) após a extubação e as variáveis estruturais e funcionais advindas da ultrassonografia (US) muscular, além da força muscular periférica e mobilidade em doentes críticos. **DESENHO:** Estudo de coorte prospectivo. **LOCAL:** Unidades de Terapia Intensiva (UTI) de hospital privado em Fortaleza, Ceará. **PARTICIPANTES:** Indivíduos com mais de 18 anos até 85 anos ventilados mecanicamente devido à insuficiência respiratória decorrente de patologias clínicas, com histórico de independência funcional prévia. **INTERVENÇÕES:** As variáveis de US foram mensuradas por um transdutor linear de alta frequência em até 24 horas após a extubação, juntamente com o TIRE através do PrO₂ (manômetro de pressão portátil) e a Força de Preensão Palmar (FPP) com um dinamômetro portátil. A mobilidade foi mensurada após a alta da Unidade de Terapia Intensiva (UTI). **PRINCIPAIS DESFECHOS:** As variáveis advindas do TIRE são a *Maximal Inspiratory Pressure* (MIP), *Sustained Maximal Inspiratory Pressure* (SMIP), *Inspiratory Duration* (ID) e *Fatigue Index Test* (TIRE). As medidas avaliadas via US são a Espessura Diafragmática após a extubação (ED pós-ext), Fração de Espessamento Diafragmático na Extubação (FED pós-ext), Área de Secção Transversa após a extubação (AST do RF pós-ext). A força muscular periférica foi avaliada pela Força de Preensão Palmar (FPP) e a mobilidade pela *ICU Mobility Scale* (IMS). **RESULTADOS:** Após a extubação, 22 indivíduos foram elegíveis para a realização do TIRE em correlação às variáveis de US, FPP e IMS. Dentre as variáveis do TIRE, destacaram-se a Pressão Inspiratória Máxima Sustentada (SMIP) e, principalmente, o *Fatigue Index Test* (FIT) com correlações moderadas a fortes com as variáveis avaliadas por US como a ED ($rs = 0,56$, $p = 0,03$), com a FPP ($rs = 0,51$, $p = 0,04$) com a IMS ($rs = 0,51$, $p = 0,04$). **CONCLUSÕES:** O FIT se destacou por apresentar correlação positiva com ED pós-ext, FPP, AST do RF pós-ext e IMS. As variáveis advindas do TIRE parecem ser úteis e promissoras para monitorar e avaliar a capacidade funcional dos indivíduos em estado crítico.

PALAVRAS-CHAVE: Cuidados críticos; Força Muscular; Pressões Respiratórias Máximas; Ultrassonografia; Diafragma.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To explore the correlations between the *Test of Incremental Respiratory Endurance* (TIRE) following extubation and the structural and functional variables obtained through muscular ultrasound (US), as well as peripheral muscle strength and mobility in critically ill patients. **DESIGN:** Prospective cohort study. **SETTING:** Intensive Care Units (ICU) of a private hospital in Fortaleza, Ceará, Brazil. **PARTICIPANTS:** Individuals aged 18 to 85 years who were mechanically ventilated due to respiratory failure caused by clinical conditions, with a history of prior functional independence. **INTERVENTIONS:** US variables were measured using a high-frequency linear transducer within 24 hours after extubation, alongside TIRE assessments using the PrO₂ (portable pressure manometer) and Handgrip Strength (HGS) using a portable dynamometer. Mobility was assessed after discharge from the

Intensive Care Unit (ICU). **MAIN OUTCOMES:** TIRE variables included Maximal Inspiratory Pressure (MIP), Sustained Maximal Inspiratory Pressure (SMIP), Inspiratory Duration (ID), and the Fatigue Index Test (FIT). The US measurements included Diaphragmatic Thickness after extubation (DT post-ext), Diaphragmatic Thickening Fraction at extubation (DTF post-ext), and Rectus Femoris Cross-Sectional Area after extubation (RF CSA post-ext). Peripheral muscle strength was evaluated using Handgrip Strength (HGS), and mobility was assessed using the ICU Mobility Scale (IMS). **RESULTS:** After extubation, 22 individuals were eligible for TIRE assessments in correlation with US variables, HGS, and IMS. Among the TIRE variables, Sustained Maximal Inspiratory Pressure (SMIP) and particularly the Fatigue Index Test (FIT) showed moderate to strong correlations with US variables such as DT ($r_s = 0.56$, $p = 0.03$), HGS ($r_s = 0.51$, $p = 0.04$), and IMS ($r_s = 0.51$, $p = 0.04$). **CONCLUSIONS:** The FIT stood out by demonstrating positive correlations with Diaphragmatic Thickness after extubation (DT post-ext), Handgrip Strength (HGS), Rectus Femoris Cross-Sectional Area after extubation (RF CSA post-ext), and the ICU Mobility Scale (IMS). TIRE-derived variables appear to be useful and promising tools for monitoring and evaluating the functional capacity of critically ill individuals.

KEYWORDS: Critical Care; Muscle Strength; Maximal Respiratory Pressures; Ultrasonography; Diaphragm.

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, para a análise da função da musculatura inspiratória, são obtidas medidas de pressão inspiratória máxima (P_{Imáx}) a fim de refletir a força muscular inspiratória de indivíduos (Formiga et al., 2018). Esta variável limitar-se a oferecer informações sobre a força dessa musculatura, não contribuindo para o entendimento de outros componentes no que se entende da performance muscular, como potência, trabalho e resistência muscular (Formiga et al., 2020). O Test of Incremental Respiratory Endurance (TIRE) é uma nova e tecnológica abordagem que representa uma avaliação mais robusta dessa musculatura, uma vez que além de dados de força muscular, a manobra fornece informações sobre outros componentes de performance muscular inspiratória, como resistência e capacidade de trabalho (Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2023). Além de valores de P_{Imáx}, que no aparelho está com a sigla em inglês MIP, o TIRE fornece medidas de pressão inspiratória máxima sustentada (SMIP), duração inspiratória (ID), e Fatigue Index Test (FIT), uma medida indireta de suscetibilidade à fadiga muscular inspiratória (Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2023).

No contexto da Unidade de Terapia Intensiva (UTI), o método TIRE também foi capaz de mensurar reduções significativas nas medidas de performance inspiratória tanto na alta da UTI quanto na alta hospitalar (Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2023). Suas variáveis tem demonstrado valor preditivo em relação à testes funcionais como o teste de sentar e levantar, o que parece oferecer uma nova ferramenta de avaliação sobre aspectos de funcionalidade e prognóstico dos pacientes críticos, podendo ser aplicados àqueles em ventilação mecânica (VM)

(Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2023).

O desenvolvimento de fraqueza muscular respiratória na UTI está associado à desfechos negativos como a falha de extubação (Thille et al., 2020), que contribui para o aumento do tempo de internação, ventilação mecânica, custos hospitalares e mortalidade (Lad et al., 2020; Piva; Fagoni; Latronico, 2019). O momento após a extubação, pela sua propensão à fadiga muscular respiratória, precisa ser avaliado sob o aspecto de pressões dinâmicas, pela incapacidade das pressões estáticas de prever reintubações em muitos indivíduos (Poddighe et al., 2024). A ocasião da extubação é bastante estudada sob a ótica de variáveis advindas da US, como a espessura diafragmática e a fração de espessamento, já possuindo melhores acurácias predictoras de falha que a PIMáx (Poddighe et al., 2024). A força de preensão palmar (FPP) também aparece como uma variável que se relaciona com a falência de extubação, limitação da mobilidade e piora da qualidade de vida (Cottureau et al., 2021; Gopinath et al., 2017; Nagaoka et al., 2021).

A análise desta temática pode ser útil para definir condutas, otimizar cuidados e nortear o momento de cada terapêutica. Assim, hipotetizamos que o melhor desempenho no teste de performance muscular inspiratória estará associado às melhores variáveis avaliadas após a extubação, como a força de preensão palmar (FPP), espessura diafragmática após a extubação (EDext), fração de espessamento diafragmático após a extubação (FEDext), área de secção transversa do reto femoral após a extubação (AST do RFext) e mobilidade na alta da UTI pela ICU Mobility Scale (IMS).

Objetivamos explorar as correlações entre as variáveis advindas do TIRE dentro de até 24 horas após a extubação e as variáveis estruturais e funcionais: EDext, FEDext, AST do RFext e FPP e IMS.

MÉTODOS

Desenho do estudo e amostra

Estudo observacional de coorte, analítico, descritivo e prospectivo. Os indivíduos foram recrutados por conveniência e, uma vez considerados elegíveis para participar do estudo, suas famílias foram abordadas para o consentimento para que se iniciassem as coletas. Foram avaliados todos os pacientes que preenchessem os critérios de inclusão dentro do período da pesquisa. O número de indivíduos foi coletado ao longo do tempo proposto. Devido ao ineditismo de algumas variáveis (advindas do TIRE) nesta população, não há pesquisas anteriores para fins de comparação amostral. A pesquisa foi realizada em um único centro, nas UTIs Adulto de um hospital privado da cidade de Fortaleza-CE, de Agosto de 2023 a Outubro

de 2024. As UTIs da instituição possuem categorias como clínicas, cardiológicas e cirúrgicas, porém mesmo que alocado em UTI não clínica pelo gerenciamento de leitos, apenas os pacientes que se enquadravam ao critério de inclusão, foram avaliados. Foram colhidos índices prognósticos, variáveis demográficas, clínicas e demais mensurações pertinentes em prontuário eletrônico, nas primeiras 36 horas de internação da UTI e em todos os momentos de avaliação ou desfecho. Foi utilizado para a apresentação desta pesquisa o checklist Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) para estudos observacionais (Malta et al., 2010).

Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos na pesquisa indivíduos maiores de 18 anos, ventilados mecanicamente por insuficiência respiratória oriunda de patologias clínicas tratáveis (Pneumonias, Sepsis, descompensação de doenças crônicas como o Enfisema Pulmonar e etc), internados nas UTIs Adulto da instituição de coleta com histórico de independência funcional prévia (informação coletada em prontuário e confirmada com o familiar no momento do consentimento) e sem prognóstico de óbito iminente. Foram excluídos aqueles indivíduos que: não foram extubados, não puderam ser avaliados em suas primeiras 24 horas após extubação, utilizaram menos de 72 horas de VM após a intubação, utilizaram VM nos últimos 30 dias por mais de 48 horas; desistiram de participar ou não consentiram, apresentaram alguma condição clínica que impediu ou contraindicou as avaliações ou não se obteve variáveis confiáveis.

Medidas

Avaliação do músculo diafragma e reto femoral

As imagens mensuradas por US, foram realizadas por avaliador único treinado, com mais de 50 exames realizados e cursos na área.

A ultrassonografia cinesiológica foi realizada com um equipamento portátil (Fujifilm Sonosite Edge II, Fujifilm, Washington, EUA) com um transdutor linear de alta frequência (7-13 MHz). Para avaliação da cúpula diafragmática direita, o indivíduo estava posição supina, com cabeceira a 45°, então, 3 imagens foram obtidas e calculadas a média dos valores (Santana et al., 2020). O transdutor foi disposto sobre a zona de aposição à caixa torácica (ZA) entre o oitavo e o nono espaço intercostal, entre a linha axilar anterior e a linha axilar média. A ED foi medida desde o centro da linha pleural até o centro da linha peritoneal, registrada em milímetros (mm) no modo M ao final da expiração (Santana et al., 2020; Sklar et al., 2020). A FED foi mensurada com a medida da ED na inspiração, subtraída da ED na

expiração, com o resultado dividido pela ED na expiração e multiplicado por 100 (Santana et al., 2020).

Para avaliar o músculo quadríceps femoral direito o indivíduo encontrava-se na posição supina, com elevação da cabeceira a 45°, joelhos e músculos relaxados, para avaliar o tamanho do músculo reto femoral em sua AST (Pardo et al., 2018). O transdutor foi orientado transversalmente em relação ao eixo longitudinal do braço ou coxa para obtenção de uma imagem em corte transversal, criando assim um ângulo reto com a superfície da pele (Pardo et al., 2018). Foi calculada a média dos valores de 3 imagens e registrados em centímetros. A imagem do músculo RF foi acessada à 2/3 de distância da espinha íliaca ântero-superior e a borda superior da patela (Casey et al., 2022; Pardo et al., 2018).

Após a conclusão da retirada da ventilação mecânica ou extubação em até 24 horas da extubação com a avaliação das variáveis de área de secção transversa (AST) do músculo reto femoral (RF) ou AST do RFext e EDext por US, além de força muscular periférica (FPP) por dinamometria de preensão palmar e performance inspiratória pelo TIRE através do PrO2. Antes da coleta das variáveis ocorreu a aplicação de uma avaliação rápida da consciência com critérios abordados por (Nakanishi et al., 2020). Nesta avaliação o paciente precisa obedecer a 3 de 5 comandos em duas avaliações consecutivas (abra/feche os olhos, olhe para mim, abra a boca e ponha a língua para fora, balance a cabeça e levante as sobrancelhas quando eu contar até 5) para prosseguir com os testes (Pardo et al., 2018).

Avaliação da força muscular periférica por dinamometria de preensão palmar

Para a realização do teste de força manual, os indivíduos foram posicionados verticalmente com ombros em rotação neutra, braços alinhados com a lateral do tórax e cotovelo a 90°. Foi utilizado um dinamômetro manual, digital (Dinamômetro de Pressão Manual, modelo M-90, Jamar, EUA) e a medida realizada na mão dominante, solicitando aos indivíduos que apertem o aparelho em sua força máxima por 2 a 3 segundos. Ao repetir-se por 3 vezes, com intervalo de 30 segundos de descanso entre as medidas, foi considerado o valor mais alto, em quilogramas (Kg) (Benton; Spicher; Silva-Smith, 2022) .

Avaliação da performance muscular inspiratória

Através do PrO2 (PRO2-FIT, PRO2HEALTH, Inc., Cleveland, EUA), um manômetro de pressão eletrônico contendo o software de medida, foi realizado o TIRE, por um tubete e filtros descartáveis (Formiga et al., 2019). Os sujeitos, em uso de clipe nasal e sentados com as costas apoiadas no leito hospitalar, foram instruídos a expirar completamente e, em

seguida, inspirar com força através do dispositivo, gerando o máximo de pressão possível dentro de 1 a 2 segundos da inspiração, pelo maior tempo possível (Formiga et al., 2019). Uma única sessão de avaliação consistiu em 3-5 tentativas sequenciais com intervalos de descanso de 60 segundos entre os esforços e o maior valor de FIT dentre as tentativas foi escolhido para as análises propostas (Formiga et al., 2018, 2019).

A SMIP, registrada em cmH₂O foi obtida de um esforço que se inicia a partir do volume residual (VR) e até a capacidade pulmonar total (CPT) do participante, refletindo a área sob a curva em PTU (unidade de pressão-tempo) (Formiga et al., 2018). A ID (ou tempo inspiratório) documentou a duração total da inspiração completa por tentativa em segundos (Formiga et al., 2018).

O FIT é uma medida utilizada para avaliar a suscetibilidade à fadiga dos músculos inspiratórios (Formiga et al, 2023). No contexto do teste TIRE, o FIT é calculado a partir da curva de pressão-tempo gerada. A fórmula do FIT considera a área (SMIP) total e o tempo (ID) total necessário para completar a manobra do TIRE, comparando-os com a área e o tempo específicos utilizados para a inspiração de uma demanda pré-definida do aparelho de mover 500 ml de volume corrente (Formiga et al, 2023). Assim, o FIT é expresso como uma relação combinada de SMIP e ID, sendo calculado como $FIT = (\text{área total} * \text{tempo total}) / (\text{área}_{500\text{ml}} * \text{tempo}_{500\text{ml}})$. Valores mais altos de FIT indicam uma menor propensão à fadiga muscular inspiratória (Formiga et al, 2023). As medidas advindas do TIRE foram reportadas no texto com suas siglas originárias em língua estrangeira por ainda não possuírem validação em língua portuguesa (Formiga et al., 2019).

Mobilidade

A avaliação da mobilidade foi realizada após a alta da UTI se deu através da ICU Mobility Scale (IMS) (ANEXO B). Esta escala funcional é observacional, variando progressivamente de 0 a 10, onde 0 caracteriza-se disfunção total da mobilidade e 10 a mobilidade máxima da escala que é a deambulação sem assistência (Martínez-Camacho et al., 2024).

Cronologia das avaliações

A avaliação dos indivíduos se realizou em até 24 horas após a extubação. Após a elegibilidade confirmada, consentimento assinado pela família e sua independência funcional prévia visualizada em prontuário eletrônico, confirmadas com as informações familiares, houve a coleta das variáveis estudadas, nos momentos dispostos na Tabela 1.

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará, CAAE 70992223.4.00005054 (ANEXO A). Todos os responsáveis pelos participantes receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A) que foi lido, discutido e assinado antes de qualquer procedimento do protocolo.

Tabela 1. Avaliações realizadas após a extubação e alta da UTI.

	Após a extubação	Após a alta da UTI	Coleta dos dados relacionados à internação
Marco temporal	Em 24 horas após a extubação	Em até 24 horas após a alta da UTI	Ao longo da internação hospitalar e antes da alta hospitalar
Variáveis	ED pós-ext ou após a extubação em milímetros (mm) AST do RF pós-ext ou após a extubação em centímetros (cm ²) FED pós-ext ou após a extubação em % FPP (kg) Variáveis do TIRE (MIP em cmH ₂ O, SMIP em PTU, ID em segundos e FIT)	IMS de alta da UTI	Características da amostra, desfechos clínicos e funcionais

Legenda: UTI = Unidade de Terapia Intensiva; ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação; AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação, FPP = Força de prensão palmar; MIP = Pressão Inspiratória Máxima, SMIP = Pressão Inspiratória Máxima Sustentada, ID = Duração Inspiratória, FIT = *Fatigue Index Test*; IMS = *ICU Mobility Scale*.

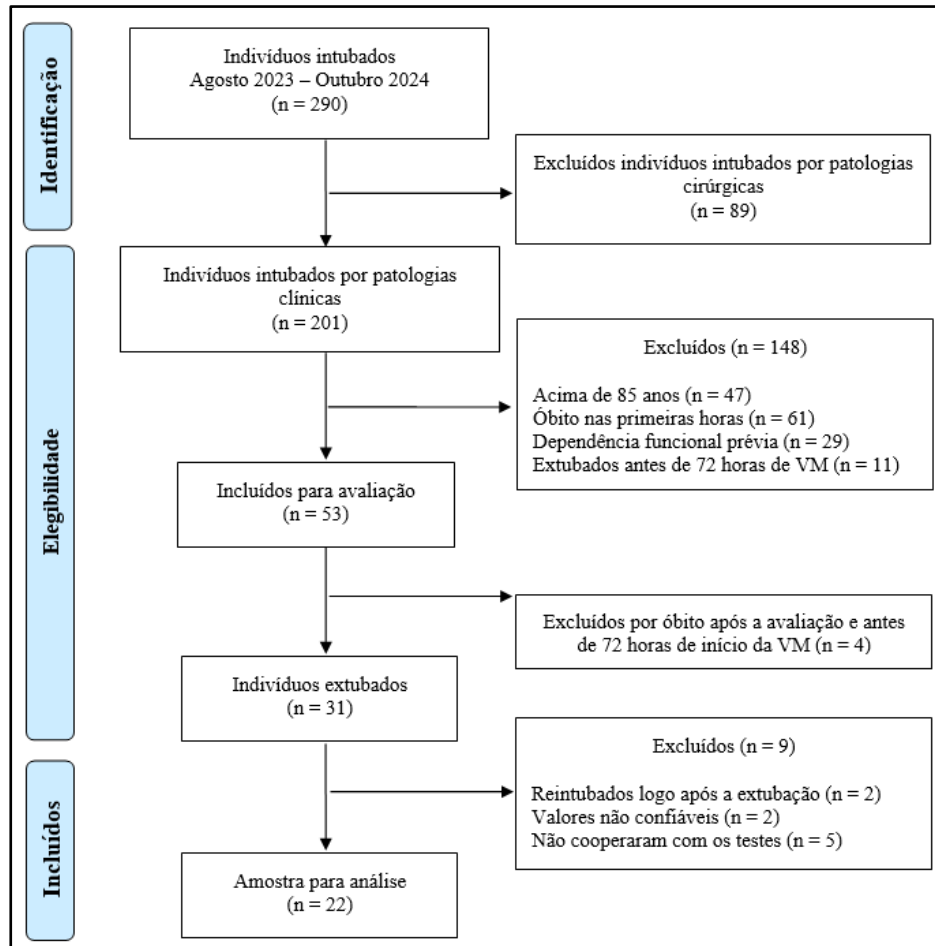
Análise dos dados

Todas as análises foram realizadas com IBM SPSS *Statistics for Windows*, versão 24 (Armonk, Nova York, EUA). As características de base da amostra do estudo foram analisadas e resumidas por meio de estatística descritiva. A normalidade dos dados foi atestada através do teste Shapiro-Wilk. As variáveis foram dispostas em dados médios com desvio padrão e para a escala de IMS em mediana acompanhada de intervalos de confiança, pela disposição em números inteiros refletindo uma progressão de mobilidade. A distribuição dos achados determinou se o método de correlação foi o de Pearson ou Spearman. A significância estatística foi definida em um nível alfa de 0,05.

RESULTADOS

Foram incluídos um total de 53 pacientes, destes apenas 31 foram extubados e restaram 22 para análise (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma do processo de seleção da amostra.



Legenda: VM = Ventilação Mecânica.

A amostra geral apresentou 58,6% de homens, idade média \pm desvio padrão de $64,90 \pm 16,60$ anos e IMC de $24,10 \pm 7,35$ kg/m² na admissão. O tempo médio de duração da VM foi de $12,10 \pm 15,90$ dias, o tempo médio de internação na UTI foi de $17,50 \pm 15,80$ dias e o tempo médio de internação hospitalar foi de $31,90 \pm 33,40$ dias.

Na Tabela 2, observam-se as características clínicas da amostra, constando de uma população idosa, com mais da metade possuindo alguma pneumopatia prévia como enfisema pulmonar, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e asma, entre outros. Outro aspecto importante apresentado na Tabela 2, foi a utilização de corticoesteróides por mais de 24 horas por uma parte significativa dos indivíduos avaliados.

Tabela 2. Características demográficas e clínicas dos participantes.

Variáveis	Amostra
Amostra (n)	22
SAPS3	66,40 ± 15,50
Charlson	2,90 ± 2,06
Existência de pneumopatia prévia	62,1%
Principais causas da intubação	
<i>Sepse</i>	24,1%
<i>Distúrbios neurológicos (Convulsões, RNC e etc)</i>	13,8%
<i>AVC</i>	10,3%
<i>Cardiopatias (Infarto, Insuficiência Cardíaca Congestiva e etc)</i>	10,3%
<i>Pneumopatia descompensada (DPOC, Asma e etc)</i>	10,3%
<i>Outras</i>	31,2%
Uso de corticoesteróides > 24 horas	69%
Uso de bloqueador neuromuscular > 24 horas	31%
MIP médio (cmH ₂ O)	29,63 ± 15,16
SMIP médio (PTU)	92,54 ± 82,96
ID (segundos)	3,95 ± 2,27
FIT	2,27 ± 1,98
ED pós-ext médio (mm)	2,27 ± 0,94
FED pós-ext médio (%)	34,98%
AST do RF pós-ext médio (cm ²)	0,60 ± 0,50
IMS (mediana)	7 (0-11)
FPP médio (Kg)	14,15 ± 8,46

Legenda: SAPS = *Simplified Acute Physiology Score*; RNC = Rebaixamento do nível de consciência; AVC = Acidente Vascular Cerebral, DPOC = Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica; MIP = Pressão Inspiratória Máxima, SMIP = Pressão Inspiratória Máxima Sustentada, ID = Duração Inspiratória, FIT = *Fatigue Index Test*; ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação; AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação; IMS = *ICU Mobility Scale*; FPP = Força de preensão palmar.

Nas tabelas a seguir, foram dispostos os resultados das realizadas correlações com cada variável advinda do TIRE com as demais medidas de US e FPP, todas colhidas após a extubação, além da IMS de alta da UTI. Na Tabela 3, estão apresentadas as correlações de Spearman entre MIP e as demais variáveis, apresentando correlação significativa forte com FPP.

Tabela 3. Análise de correlações de MIP com as variáveis obtidas após a extubação.

Variáveis	rs	p-Valor
MIP (cmH ₂ O) x ED pós-ext (mm)	0,18	0,43
MIP (cmH ₂ O) x FED pós-ext (mm)	0,33	0,15

continua...

...continuação

Variáveis	rs	ρ-Valor
MIP (cmH ₂ O) x FPP (Kg)	0,79	<0,00*
MIP (cmH ₂ O) x AST do RF pós-ext (cm ²)	0,35	0,11
MIP (cmH ₂ O) x IMS	0,33	0,15

Legenda: MIP = Pressão Inspiratória Máxima, ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação; FPP = Força de prensão palmar; AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação; IMS = *ICU Mobility Scale*.

* $\rho < 0,05$.

Na tabela 4, correlacionamos as medidas de SMIP advindas do TIRE com as demais variáveis, com correlação estatisticamente significante com a FPP mensurada após a extubação.

Em relação a duração da inspiração, observamos uma correlação significativa com a IMS de alta da UTI, o que pode sugerir que há uma maior capacidade de gerar uma inspiração profunda e sustentá-la naqueles indivíduos que saem da UTI mais reabilitados (Tabela 5).

Tabela 4. Análise de correlações de SMIP com as variáveis obtidas após a extubação.

Variáveis	rs	ρ-Valor
SMIP (PTU) x ED pós-ext (mm)	0,29	0,19
SMIP (PTU) x FED pós-ext (mm)	0,19	0,40
SMIP (PTU) x FPP (Kg)	0,59	0,02*
SMIP (PTU) x AST do RF pós-ext (cm ²)	0,36	0,10
SMIP (PTU) x IMS	0,56	0,01*

Legenda: SMIP = Pressão Inspiratória Máxima Sustentada; ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação; FPP = Força de prensão palmar; AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação; IMS = *ICU Mobility Scale*.

* $\rho < 0,05$.

Por fim, na Tabela 6, o FIT encontrou boas correlações de moderadas a fortes com as variáveis estudadas, inclusive a única das medidas advindas do TIRE há se correlacionar com variáveis de US.

Tabela 5. Análise de correlações de ID com as variáveis obtidas após a extubação.

Variáveis	rs	ρ-Valor
ID (segundos) x ED pós-ext (mm)	0,33	0,14
ID (segundos) x FED pós-ext (mm)	0,30	0,56
ID (segundos) x FPP (Kg)	0,29	0,29
ID (segundos) x AST do RF pós-ext (cm ²)	0,19	0,39
ID (segundos) x IMS	0,45	0,04*

Legenda: ID = Duração Inspiratória; ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação; FPP = Força de prensão palmar; AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação; IMS = *ICU Mobility Scale*.
* $\rho < 0,05$.

Tabela 6. Análise de correlações de FIT com as variáveis obtidas após a extubação.

Variáveis	rs	ρ-Valor
FIT x ED pós-ext (mm)	0,46	0,03*
FIT x FED pós-ext (mm)	0,25	0,28
FIT x FPP (Kg)	0,51	0,04*
FIT x AST do RF pós-ext (cm ²)	0,43	0,04*
FIT x IMS	0,61	0,04*

Legenda: FIT: *Fatigue Index Test*; ED pós-ext = Espessura Diafragmática horas após a extubação; FED pós-ext = Fração de Espessamento Diafragmático horas após a extubação; FPP = Força de prensão palmar; AST do RF pós-ext = Área de Secção Transversa do Reto Femoral horas após a extubação; IMS = *ICU Mobility Scale*.
* $\rho < 0,05$.

DISCUSSÃO

Este estudo é pioneiro no Brasil ao investigar as correlações entre medidas de performance muscular inspiratória obtidas por meio do TIRE (MIP, SMIP, ID e FIT) e variáveis estruturais e funcionais avaliadas até 24 horas após a extubação em pacientes críticos. Nossos resultados revelam achados importantes que ampliam a compreensão sobre o papel dessas medidas na avaliação funcional em pacientes na UTI.

Os dados mostram que a MIP, tradicionalmente usada para avaliar a força muscular inspiratória em terapia intensiva (Formiga et al., 2019; Goligher et al., 2015), apresentou uma correlação significativa apenas com força muscular de membros superiores (i.e., FPP), mas não com variáveis como mobilidade (i.e., IMS) ou espessura diafragmática (i.e., EDext) (Bohannon,

2019; Casey et al., 2022). Por outro lado, SMIP, ID e FIT, que exploram aspectos adicionais da performance muscular, como capacidade de trabalho, endurance e resistência à fadiga, mostraram associações mais abrangentes (Dosbaba et al., 2023; Formiga et al., 2023). As correlações significativas entre SMIP e variáveis como FPP e IMS sugerem que a capacidade de trabalho muscular inspiratório está intimamente ligada à mobilidade funcional e força global, aspectos fundamentais para a recuperação pós-extubação (Boelens; Melchers; van Zanten, 2022; Martínez-Camacho et al., 2024). De forma semelhante, o ID foi associado significativamente à mobilidade, destacando a potencial relevância da endurance muscular inspiratória para o desempenho funcional. Esses achados corroboram com os de Dosbaba et al (2023), que recentemente demonstraram o valor associativo dessas variáveis adicionais de performance muscular inspiratória em terapia intensiva (Dosbaba et al., 2023).

O FIT, por sua vez, demonstrou múltiplas associações significativas com EDext, FPP, AST do RFext e IMS. Este achado reforça que a resistência à fadiga da musculatura inspiratória, avaliada pelo FIT, é um importante indicador de função muscular esquelética e mobilidade global (Dosbaba et al., 2023). A associação do FIT com EDext é particularmente relevante, sugerindo que a espessura diafragmática, frequentemente subestimada na prática clínica (Sklar et al., 2020), pode ser um preditor funcional crucial.

A ausência de correlação entre MIP e IMS, enquanto SMIP, ID e FIT apresentaram associações significativas com essa variável é um dos achados mais notáveis deste estudo. A IMS reflete a capacidade de mobilidade funcional no ambiente da UTI (Boelens; Melchers; van Zanten, 2022; Martínez-Camacho et al., 2024; Parry et al., 2020; Siao et al., 2024), e sua relação com as medidas que avaliam não apenas a força, mas também a resistência e a capacidade de trabalho, aponta para a limitação de se utilizar a MIP isoladamente como um indicador funcional em pacientes críticos (Poddighe et al., 2024). Esses resultados sugerem que o uso de métricas como SMIP, ID e FIT podem oferecer uma visão mais abrangente do estado funcional e prognóstico desses pacientes.

Nossos achados corroboram com estudos internacionais que destacam a importância de se avaliar aspectos dinâmicos e de resistência da musculatura respiratória em pacientes críticos, em vez de se limitar à avaliação da força máxima estática (Poddighe et al., 2024; Siao et al., 2024). Adicionalmente, os resultados sublinham a necessidade de incorporar medidas mais robustas de performance muscular inspiratória na prática clínica para melhor compreender e prever a recuperação funcional de pacientes críticos, especialmente em cenários de reabilitação pós-extubação.

Um outro ponto relevante é o contraste entre o uso do dispositivo PrO2, que permite a obtenção das medidas do TIRE, e a ultrassonografia como ferramentas de avaliação em terapia intensiva. A ultrassonografia é amplamente reconhecida por sua capacidade de mensurar de forma precisa a estrutura muscular, tanto diafragmática quanto periférica (O'Hara et al., 2020; Wijntjes; van Alfen, 2021). No entanto, apesar de sua precisão, a ultrassonografia é uma técnica que demanda tempo, elevado nível de expertise do operador e equipamentos relativamente caros, tornando sua implementação em larga escala desafiadora, especialmente em UTIs com recursos limitados (Santana et al., 2020). Por outro lado, o PrO2 se destaca por ser uma ferramenta mais econômica, portátil e de fácil utilização, permitindo avaliações rápidas e consistentes da performance muscular inspiratória. A utilização do PrO2 pode ser uma alternativa prática e eficaz para complementar ou mesmo substituir a ultrassonografia em certos contextos, particularmente quando o foco é monitorar a função muscular inspiratória e a recuperação funcional de pacientes críticos.

Apesar dos achados promissores, este estudo tem limitações. A amostra foi relativamente pequena, o que pode limitar a generalização dos resultados. Estudos futuros com amostras maiores e seguimento longitudinal são necessários para confirmar nossas observações e explorar o impacto de intervenções específicas, como o treinamento muscular inspiratório, sobre diferentes aspectos da performance muscular inspiratória e desfechos funcionais em UTIs.

CONCLUSÕES

As variáveis advindas do TIRE apresentaram correlações positivas com variáveis de US, FPP e IMS, em especial o FIT. Estas medidas parecem ser úteis e promissoras para monitorar e avaliar a capacidade funcional dos indivíduos em estado crítico. Isso sugere que essas informações podem ser utilizadas na customização de metas terapêuticas individualizadas e precoces, otimizando a funcionalidade do indivíduo ainda na internação hospitalar. Novas pesquisas precisam ser realizadas, com amostras maiores e mais variáveis correlacionadas, para que se possa entender a validade preditora do TIRE.

REFERÊNCIAS

BENTON, M. J.; SPICHER, J. M.; SILVA-SMITH, A. L. Validity and reliability of handgrip dynamometry in older adults: A comparison of two widely used dynamometers. *PloS one*, [s. l.], v. 17, n. 6, p. e0270132, 2022. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35727792>.

BOELENS, Y. F. N.; MELCHERS, M.; VAN ZANTEN, A. R. H. Poor physical recovery after critical illness: incidence, features, risk factors, pathophysiology, and evidence-based therapies. **Current opinion in critical care**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 409–416, 2022. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35796071>.

BOHANNON, R. W. Considerations and Practical Options for Measuring Muscle Strength: A Narrative Review. **BioMed research international**, [s. l.], v. 2019, p. 8194537, 2019. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30792998>.

CASEY, P. et al. The current use of ultrasound to measure skeletal muscle and its ability to predict clinical outcomes: a systematic review. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 2298–2309, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jcsm.13041>.

COTTEREAU, G. et al. Handgrip strength to predict extubation outcome: a prospective multicenter trial. **Annals of Intensive Care**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 144, 2021. Disponível em: <https://annalsofintensivecare.springeropen.com/articles/10.1186/s13613-021-00932-3>.

DOSBABA, F. et al. A temporal examination of inspiratory muscle strength and endurance in hospitalized COVID-19 patients. **Heart & lung : the journal of critical care**, [s. l.], v. 60, p. 95–101, 2023. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36934476>.

FORMIGA, M. F. et al. Beyond inspiratory muscle strength: Clinical utility of single-breath work capacity assessment in veterans with COPD. **Respiratory medicine**, [s. l.], v. 147, p. 13–18, 2019. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30704693>.

FORMIGA, M. F. et al. Novel versus Traditional Inspiratory Muscle Training Regimens as Home-Based, Stand-Alone Therapies in COPD: Protocol for a Randomized Controlled Trial. **International journal of chronic obstructive pulmonary disease**, [s. l.], v. 15, p. 2147–2155, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32982207>.

FORMIGA, M. F. et al. Reliability and validity of the test of incremental respiratory endurance measures of inspiratory muscle performance in COPD. **International journal of chronic obstructive pulmonary disease**, [s. l.], v. 13, p. 1569–1576, 2018. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29805255>.

FORMIGA, M. F. et al. Role of the Inspiratory Muscles on Functional Performance From Critical Care to Hospital Discharge and Beyond in Patients With COVID-19. **Physical Therapy**, [s. l.], v. 103, n. 8, 2023. Disponível em: <https://academic.oup.com/ptj/article/doi/10.1093/ptj/pzad051/7185578>.

GOLIGHER, E. C. et al. Evolution of Diaphragm Thickness during Mechanical Ventilation. Impact of Inspiratory Effort. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, [s. l.], v. 192, n. 9, p. 1080–1088, 2015. Disponível em: <https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/rccm.201503-0620OC>.

GOPINATH, B. et al. Handgrip strength and its association with functional independence, depressive symptoms and quality of life in older adults. **Maturitas**, [s. l.], v. 106, p. 92–94, 2017. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29150172>.

LAD, H. et al. Intensive Care Unit-Acquired Weakness: Not just Another Muscle Atrophiying Condition. **International journal of molecular sciences**, [s. l.], v. 21, n. 21, p. 1–30, 2020.

Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33105809>.

MALTA, M. et al. Iniciativa STROBE: subsídios para a comunicação de estudos observacionais. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 559–565, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102010000300021&lng=pt&tlng=pt.

MARTÍNEZ-CAMACHO, M. Á. et al. Prolonged intensive care: muscular functional, and nutritional insights from the COVID-19 pandemic. **Acute and Critical Care**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 47–60, 2024. Disponível em: <http://accjournal.org/journal/view.php?doi=10.4266/acc.2023.01284>.

NAGAOKA, S. et al. Low handgrip strength is associated with reduced functional recovery and longer hospital stay in patients with osteoporotic vertebral compression fractures: a prospective cohort study. **European geriatric medicine**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 767–775, 2021. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33469814>.

NAKANISHI, N. et al. Upper limb muscle atrophy associated with in-hospital mortality and physical function impairments in mechanically ventilated critically ill adults: a two-center prospective observational study. **Journal of intensive care**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 87, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33292655>.

O'HARA, D. N. et al. Ultrasonographic modeling of diaphragm function: A novel approach to respiratory assessment. **PloS one**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. e0229972, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32163474>.

PARDO, E. et al. Reliability of ultrasound measurements of quadriceps muscle thickness in critically ill patients. **BMC Anesthesiology**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 205, 2018. Disponível em: <https://bmcanesthesiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12871-018-0647-9>.

PARRY, S. M. et al. Evaluating Physical Functioning in Survivors of Critical Illness: Development of a New Continuum Measure for Acute Care*. **Critical Care Medicine**, [s. l.], v. 48, n. 10, p. 1427–1435, 2020. Disponível em: <https://journals.lww.com/10.1097/CCM.00000000000004499>.

PIVA, S.; FAGONI, N.; LATRONICO, N. Intensive care unit–acquired weakness: unanswered questions and targets for future research. **F1000Research**, [s. l.], v. 8, p. 508, 2019. Disponível em: <https://f1000research.com/articles/8-508/v1>.

PODDIGHE, D. et al. Accuracy of respiratory muscle assessments to predict weaning outcomes: a systematic review and comparative meta-analysis. **Critical Care**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 70, 2024. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-024-04823-4>.

SANTANA, P. V. et al. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. **Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia**, [s. l.], v. 46, n. 6, p. e20200064, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33237154>.

SIAO, S.-F. et al. Inability to Sit-to-Stand in Medical ICUs Survivors: When and Why We Should Care. **Critical care medicine**, [s. l.], v. 52, n. 12, p. 1828–1836, 2024. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/39258981>.

SKLAR, Michael C et al. Association of Low Baseline Diaphragm Muscle Mass With Prolonged Mechanical Ventilation and Mortality Among Critically Ill Adults. **JAMA network open**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. e1921520, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32074293>.

THILLE, A. W. et al. Role of ICU-acquired weakness on extubation outcome among patients at high risk of reintubation. **Critical Care**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 86, 2020. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-020-2807-9>.

WIJNTJES, J.; VAN ALFEN, N. Muscle ultrasound: Present state and future opportunities. **Muscle & Nerve**, [s. l.], v. 63, n. 4, p. 455–466, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mus.27081>.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados fazem parte do projeto chamado Diamove, pesquisa desenvolvida no âmbito da Pós-Graduação em Fisioterapia e Funcionalidade da Universidade Federal do Ceará (PPGFISIO-UFC), na área de Terapia Intensiva. Esta área ainda é pouco explorada cientificamente pelos fisioterapeutas brasileiros, que muitas vezes, baseiam suas condutas em parâmetros estabelecidos para populações estrangeiras.

Um dos principais pontos fortes deste projeto foi a utilização de tecnologias inovadoras pelos fisioterapeutas para avaliar a estrutura e a função muscular de indivíduos brasileiros em Unidades de Terapia Intensiva (UTI). As variáveis escolhidas para a avaliação e seus momentos de mensuração foram cuidadosamente selecionadas, levando em consideração seu impacto na funcionalidade dos pacientes durante os cuidados críticos e após a alta hospitalar.

O Diamove proporcionou a análise de relações estatísticas entre parâmetros de ultrassonografia muscular periférica, diafragmática e desfechos clínicos em indivíduos previamente funcionalmente independentes, mas que necessitaram de ventilação mecânica devido a patologias clínicas. Vale destacar ainda o caráter inovador da avaliação do *Test of Incremental Respiratory Endurance* (TIRE) realizada logo após a extubação, com o destaque do *Fatigue Index Test* (FIT) como um índice promissor para medir a propensão à fadiga muscular pós-extubação.

Além disso, é relevante ressaltar a criação de uma adaptação personalizada em impressão 3D (APÊNDICE D), que permitiu a utilização do PrO2 (manômetro de pressão digital utilizado no TIRE) com a segurança adicional de um filtro bacteriológico na UTI. Essa inovação autoral foi compartilhada com outros centros universitários e já está sendo utilizada em pesquisas com o mesmo equipamento.

Por fim, o Diamove contribuiu para a incorporação da ultrassonografia muscular na avaliação de pacientes críticos pelos fisioterapeutas da instituição privada onde a amostra foi analisada. Os resultados da pesquisa possibilitaram o estabelecimento de novos parâmetros para os protocolos locais, além de enriquecer a capacitação dos fisioterapeutas, melhorar o cuidado ao paciente e aumentar a visibilidade e confiança no serviço de fisioterapia. O projeto almejou estabelecer relações úteis para compreender para qual tipo de paciente os recursos físicos, financeiros e humanos devem ser otimizados, contribuindo para que a prática baseada em evidências na Fisioterapia em Terapia Intensiva possa minimizar ou prevenir os impactos na funcionalidade humana advindos da internação em estado crítico.

REFERÊNCIAS

- BABY, S.; GEORGE, C.; OSAHAN, N. M. Intensive Care Unit-acquired Neuromuscular Weakness: A Prospective Study on Incidence, Clinical Course, and Outcomes. **Indian Journal of Critical Care Medicine**, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 1006–1012, 2021. Disponível em: <https://www.ijccm.org/doi/10.5005/jp-journals-10071-23975>.
- CASEY, P. et al. The current use of ultrasound to measure skeletal muscle and its ability to predict clinical outcomes: a systematic review. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 2298–2309, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jcsm.13041>.
- CORRADI, F. et al. Diaphragmatic thickening fraction as a potential predictor of response to continuous positive airway pressure ventilation in Covid-19 pneumonia: A single-center pilot study. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, [s. l.], v. 284, n. January, p. 103585, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1569904820302445>.
- DOSBABA, F. et al. A temporal examination of inspiratory muscle strength and endurance in hospitalized COVID-19 patients. **Heart & lung : the journal of critical care**, [s. l.], v. 60, p. 95–101, 2023. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36934476>.
- DOT, I. et al. Association between histological diaphragm atrophy and ultrasound diaphragm expiratory thickness in ventilated patients. **Journal of Intensive Care**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 40, 2022. Disponível em: <https://jintensivecare.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40560-022-00632-5>.
- FAZZINI, B. et al. The rate and assessment of muscle wasting during critical illness: a systematic review and meta-analysis. **Critical Care**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 2, 2023. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-022-04253-0>.
- FORMIGA, M. F. et al. Beyond inspiratory muscle strength: Clinical utility of single-breath work capacity assessment in veterans with COPD. **Respiratory medicine**, [s. l.], v. 147, p. 13–18, 2019. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30704693>.
- FORMIGA, M. F. et al. Novel versus Traditional Inspiratory Muscle Training Regimens as Home-Based, Stand-Alone Therapies in COPD: Protocol for a Randomized Controlled Trial. **International journal of chronic obstructive pulmonary disease**, [s. l.], v. 15, p. 2147–2155, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32982207>.
- FORMIGA, M. F. et al. Reliability and validity of the test of incremental respiratory endurance measures of inspiratory muscle performance in COPD. **International journal of chronic obstructive pulmonary disease**, [s. l.], v. 13, p. 1569–1576, 2018. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29805255>.
- FORMIGA, M. F. et al. Role of the Inspiratory Muscles on Functional Performance From Critical Care to Hospital Discharge and Beyond in Patients With COVID-19. **Physical Therapy**, [s. l.], v. 103, n. 8, 2023. Disponível em: <https://academic.oup.com/ptj/article/doi/10.1093/ptj/pzad051/7185578>.
- GOLIGHER, E. C. et al. Mechanical Ventilation-induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. **American journal of respiratory and critical care medicine**, [s. l.], v. 197, n. 2, p. 204–213, 2018. Disponível em:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28930478>.

GRASSI, A. et al. Assisted mechanical ventilation promotes recovery of diaphragmatic thickness in critically ill patients: a prospective observational study. **Critical care (London, England)**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 85, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32164784>.

GUZMÁN-DAVID, C. A. et al. Ultrasound assessment of muscle mass and correlation with clinical outcomes in critically ill patients: a prospective observational study. **Journal of ultrasound**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 879–889, 2023. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37783892>.

HERRIDGE, M. S.; AZOULAY, É. Outcomes after Critical Illness. **The New England journal of medicine**, [s. l.], v. 388, n. 10, p. 913–924, 2023. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36884324>.

JOLLEY, S. E.; BUNNELL, A. E.; HOUGH, C. L. ICU-Acquired Weakness. **Chest**, [s. l.], v. 150, n. 5, p. 1129–1140, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0012369216475756>.

LAD, H. et al. Intensive Care Unit-Acquired Weakness: Not just Another Muscle Atrophying Condition. **International journal of molecular sciences**, [s. l.], v. 21, n. 21, p. 1–30, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33105809>.

LLAMAS-ÁLVAREZ, A. M.; TENZA-LOZANO, E. M.; LATOUR-PÉREZ, J. Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome: Systematic Review and Meta-Analysis. **Chest**, [s. l.], v. 152, n. 6, p. 1140–1150, 2017. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28864053>.

MAYER, K. P. et al. Acute skeletal muscle wasting and dysfunction predict physical disability at hospital discharge in patients with critical illness. **Critical care (London, England)**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 637, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33148301>.

MCCOOL, F. D.; OYIENG'O, D. O.; KOO, P. The Utility of Diaphragm Ultrasound in Reducing Time to Extubation. **Lung**, [s. l.], v. 198, n. 3, p. 499–505, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s00408-020-00352-3>.

MCPEAKE, J.; MIKKELSEN, M. E. The Evolution of Post Intensive Care Syndrome. **Critical Care Medicine**, [s. l.], v. 46, n. 9, p. 1551–1552, 2018.

MOLINA-HERNÁNDEZ, N. et al. Ultrasonographic reliability and repeatability of simultaneous bilateral assessment of diaphragm muscle thickness during normal breathing. **Quantitative Imaging in Medicine and Surgery**, [s. l.], v. 13, n. 10, p. 6656–6667, 2023. Disponível em: <https://qims.amegroups.com/article/view/116590/html>.

PARADA-GEREDA, H. M. et al. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. **Critical Care**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 174, 2023. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-023-04430-9>.

PARDO, E. et al. Reliability of ultrasound measurements of quadriceps muscle thickness in critically ill patients. **BMC Anesthesiology**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 205, 2018. Disponível em:

<https://bmcanesthesiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12871-018-0647-9>.

PETERSON, S. J. et al. Relationship Between Respiratory Muscle Strength, Handgrip Strength, and Muscle Mass in Hospitalized Patients. **Journal of Parenteral and Enteral Nutrition**, [s. l.], v. 44, n. 5, p. 831–836, 2020. Disponível em: <https://aspenjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jpen.1724>.

PODDIGHE, D. et al. Accuracy of respiratory muscle assessments to predict weaning outcomes: a systematic review and comparative meta-analysis. **Critical Care**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 70, 2024. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-024-04823-4>.

ROBINSON, C. C. et al. Quality of life after intensive care unit: a multicenter cohort study protocol for assessment of long-term outcomes among intensive care survivors in Brazil. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, [s. l.], v. 30, n. 4, 2019.

RODRIGUEZ, A. H. et al. Características epidemiológicas e causas de óbitos em pacientes internados em terapia intensiva. **Revista Brasileira de Enfermagem**, [s. l.], v. 69, n. 2, p. 229–234, 2016.

SACCHERI, C. et al. ICU-acquired weakness, diaphragm dysfunction and long-term outcomes of critically ill patients. **Annals of Intensive Care**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1, 2020. Disponível em: <https://annalsofintensivecare.springeropen.com/articles/10.1186/s13613-019-0618-4>.

SANTANA, P. V. et al. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. **Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia**, [s. l.], v. 46, n. 6, p. e20200064, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33237154>.

SCHULZ, A. et al. Comparison of Ultrasound Measurements for Diaphragmatic Mobility, Diaphragmatic Thickness, and Diaphragm Thickening Fraction with Each Other and with Lung Function in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. **International journal of chronic obstructive pulmonary disease**, [s. l.], v. 17, p. 2217–2227, 2022. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36118281>.

SKLAR, Michael C et al. Association of Low Baseline Diaphragm Muscle Mass With Prolonged Mechanical Ventilation and Mortality Among Critically Ill Adults. **JAMA network open**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. e1921520, 2020. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32074293>.

SUPINSKI, G. S. et al. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. **Chest**, [s. l.], v. 153, n. 4, p. 1040–1051, 2018. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28887062>.

THILLE, A. W. et al. Role of ICU-acquired weakness on extubation outcome among patients at high risk of reintubation. **Critical Care**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 86, 2020. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-020-2807-9>.

TOUREL, C. et al. Reliability of standardized ultrasound measurements of quadriceps muscle thickness in neurological critically ill patients: a comparison to computed tomography measures. **Journal of Rehabilitation Medicine**, [s. l.], v. 52, n. 3, p. 0, 2020. Disponível em: <https://medicaljournalssweden.se/jrm/article/view/3784>.

TUINMAN, P. R. et al. Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients-a narrative review. **Intensive care medicine**, [s. l.], v. 46, n. 4, p. 594–605, 2020. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00134-019-05892-8>.

VANHOREBEEK, I.; LATRONICO, N.; VAN DEN BERGHE, G. ICU-acquired weakness. **Intensive care medicine**, [s. l.], v. 46, n. 4, p. 637–653, 2020. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00134-020-05944-4>.

WANG, T.-H.; WU, C.-P.; WANG, L.-Y. Impact of peripheral muscle strength on prognosis after extubation and functional outcomes in critically ill patients: a feasibility study. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 16082, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-95647-7>.

WIJNTJES, J.; VAN ALFEN, N. Muscle ultrasound: Present state and future opportunities. **Muscle & Nerve**, [s. l.], v. 63, n. 4, p. 455–466, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mus.27081>.

WINTERMANN, G. B. et al. Impact of post-traumatic stress symptoms on the health-related quality of life in a cohort study with chronically critically ill patients and their partners: Age matters. **Critical Care**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 1–10, 2019.

YAMADA, T. et al. Relationship Between Diaphragm Thickness, Thickening Fraction, Dome Excursion, and Respiratory Pressures in Healthy Subjects: An Ultrasound Study. **Lung**, [s. l.], v. 202, n. 2, p. 171–178, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s00408-024-00686-2>.

YANAGI, N. et al. Assessment of Sarcopenia in the Intensive Care Unit and 1-Year Mortality in Survivors of Critical Illness. **Nutrients**, [s. l.], v. 13, n. 8, p. 2726, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/8/2726>.

YAO, X.-Y. et al. Ultrasound assessment of diaphragmatic dysfunction in non-critically ill patients: relevant indicators and update. **Frontiers in Medicine**, [s. l.], v. 11, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2024.1389040/full>.

ZHANG, W. et al. Changes in muscle ultrasound for the diagnosis of intensive care unit acquired weakness in critically ill patients. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 18280, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-97680-y>.

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DO MESTRADO

Participação em eventos científicos como apresentadora de temas livres:

- XXVIII CBMI – Congresso Brasileiro de Medicina Intensiva da Associação de Medicina Intensiva Brasileira (AMIB), Florianópolis, 2023.
- I SIFITI – Simpósio de Fisioterapia em Terapia Intensiva da Sociedade Cearense de Terapia Intensiva / Associação de Medicina Intensiva Brasileira (SOCETI / AMIB, Fortaleza, 2023.
- XXI SIFR – Simpósio Internacional de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva (ASSOBRAFIR), Brasília, 2024.
- IV JOCEFIR – Jornada Cearense de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da ASSOBRAFIR, Fortaleza, 2024.

Participação em eventos como palestrante:

- VI CONEFIR – Congresso Nordeste de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da ASSOBRAFIR – CONEFIR, Fortaleza, 2023.
- I SIFITI – Simpósio de Fisioterapia em Terapia Intensiva da SOCETI/AMIB, Fortaleza, 2023.
- Jornada Acadêmica ASSOBRAFIR CE, Fortaleza, 2023.
- IV JOCEFIR – Jornada Cearense de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da ASSOBRAFIR, Fortaleza, 2024.

Cursos de capacitação como facilitadora:

- 1º Curso de capacitação em Ultrassonografia Diafragmática para Fisioterapeutas da Rede Oto, Fortaleza, 2024.
- Aula sobre Ultrassonografia Cinesiológica na disciplina de Exames Complementares na Pós-graduação em Fisioterapia em Terapia Intensiva da Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

Cursos de capacitação como aluna:

- Mini curso de Ultrassonografia Diafragmática durante o - VI Congresso Nordeste de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva – CONEFIR, Fortaleza, 2023.
- Curso de capacitação em Ultrassonografia Cinesiológica *Hands On*, Fortaleza, 2023.

Participação como avaliadora:

- VIII JAF / I SPGF Jornada Acadêmica de Fisioterapia / Semana de Pós-graduação em

Fisioterapia e Funcionalidade da Universidade Federal do Ceará (UFC), Avaliadora de temas livres em formato pôster, Fortaleza 2024.

Premiações:

- II CONAFIH – Congresso Nacional Online de Fisioterapia Hospitalar, 2023, 1º lugar em Terapia Intensiva Adulto.
- XXI SIFIR – Simpósio Internacional de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da ASSOBRAFIR, Brasília, 2024 (2º lugar na Comunicação Oral em Terapia Intensiva Adulto e 1º lugar em Pôster Temático em Gestão e Empreendedorismo).
- IV JOCEFIR – Jornada Cearense de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva da ASSOBRAFIR, Fortaleza, 2024 (1º lugar em Tema Livre Oral).

Homenagem:

- Homenagem como Fisioterapeuta Intensivista em Sessão Solene pelo Departamento de Fisioterapia da SOCETI / AMIB durante o I SIFITI, Fortaleza, 2023.

Desenvolvimento de patente:

- Desenvolvimento e criação de peça adaptadora em impressora 3D (APÊNDICE D) para a utilização de manômetro de pressão eletrônico utilizado no DIAMOVE para que o mesmo pudesse ser utilizado na Unidade de Terapia Intensiva com filtro respiratório bacteriológico. Patente ainda em processo de submissão.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado por ROBERTA CATUNDA COSTA a participar como responsável pelo participante da pesquisa intitulada “ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS DE PACIENTES VENTILADOS MECANICAMENTE”. Você não deve autorizar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

A pesquisa se realizará em duas etapas. Primeiramente, avaliará através da ultrassonografia a estrutura do músculo diafragma, responsável pela respiração e do músculo quadríceps, principal músculo da coxa e responsável pela extensão do joelho, nas primeiras 24 horas em que o participante da pesquisa estiver em ventilação mecânica. A segunda etapa acontecerá após a retirada da ventilação mecânica e avaliará, novamente, a estrutura do músculo diafragma e do quadríceps por ultrassonografia, além de avaliar a força muscular respiratória e sua performance por um aparelho eletrônico (PrO₂) e da preensão da palma da mão por um aparelho chamado dinamômetro. Na alta da UTI, será realizado o teste de sentar e levantar, que avalia quantas vezes o participante consegue sentar e levantar do leito por 1 minuto, cuja execução é comum na rotina da terapia intensiva. Na alta hospitalar serão, novamente, avaliadas a força muscular respiratória e sua performance pelo PrO₂, força de preensão da palma da mão pelo dinamômetro e o desempenho no teste de sentar e levantar. Todos os equipamentos utilizados serão higienizados com solução de álcool 70% e o PrO₂ contará com bucal e filtros descartáveis para avaliação das medidas respiratórias, pois precisará que o participante puxe o ar, pela boca, através do aparelho. O ultrassom é um equipamento não invasivo, de avaliação em contato com a pele por um transdutor por meio de gel condutor, à base de água, não alergênico, não radioativo, sendo indolor em toda a sua avaliação. O dinamômetro de preensão palmar é um aparelho que mensura a força muscular da mão no momento em que o participante aperta a mola do aparelho, também não causando dor ou desconforto. O PrO₂ tem desconforto mínimo próprio de qualquer avaliação que peça força respiratória para puxar o ar ou inexistente pois ocorre em um tempo mínimo e de acordo com a tolerância do participante. Todas essas medidas objetivam avaliar a associação delas com desfechos como: dependência da ventilação mecânica > 14 dias, reintubação em até 7 dias; necessidade de traqueostomia, internação prolongada > 30 dias, reinternação na UTI, infecções respiratórias, reinternação em até 30 dias após alta hospitalar, óbito e alta hospitalar para que possamos entender melhor como contribuir para reduzir o tempo das internações, reinternações, favorecendo a tomada de decisão terapêutica mais assertiva e centrada no paciente. Além disso, os indivíduos envolvidos na pesquisa receberão avaliação da musculatura periférica (coxa e preensão palmar) e diafragmática com equipamentos modernos, avaliando estrutura e função, ao longo da internação, de forma gratuita, com todos esses dados mensurados sendo utilizados apenas para esta pesquisa. Haverá, ainda, a pesquisa em prontuário de dados sobre diagnósticos, resultados de exames, drogas utilizadas, sinais vitais e demais informações rotineiras registradas em pacientes de terapia intensiva.

Essa pesquisa envolve **riscos mínimos** pois utiliza avaliações amplamente empregadas em pesquisas e na prática clínica, sem apresentar eventos adversos importantes. Pode existir risco de desconforto breve e momentâneo relacionado à realização do esforço inspiratório máximo e sustentado previsto pelo protocolo TIRE com o PrO₂. Contudo, os participantes serão avaliados previamente quanto às contraindicações clínicas e quanto ao risco para eventos adversos, e serão informados que poderão interromper os testes em caso de desconforto. Os demais aparelhos utilizados para obtenção das variáveis (US e Dinamômetro de preensão palmar) são não-invasivos, livres de radiação, indolor, podendo ser utilizados à

beira leito, sendo todos de uso rotineiro pela equipe multiprofissional na terapia intensiva. O teste de sentar e levantar também faz parte das rotinas de avaliação de pacientes hospitalizados, não apresentando eventos adversos graves, sendo de fácil aplicabilidade em pouco espaço físico e à beira leito. Vale ressaltar que todas as mensurações serão realizadas em ambiente hospitalar, controlado e com a monitorização de sinais vitais.

Referente aos **benefícios**, espera-se contribuir para entender como as variáveis avaliadas se relacionam com os desfechos encontrados, ajudando a preencher uma lacuna de conhecimento sobre o curso da internação do doente crítico. Os resultados poderão contribuir para utilização de medidas de baixo custo e mais acessíveis para a realidade da terapia intensiva brasileira. O estudo de variáveis que contribuem para medidas preditoras dos desfechos e complicações da estadia na UTI, podem reduzir o alto custo das internações, reinternações e favorecer a tomada de decisão centrada no paciente. Além disso, os indivíduos envolvidos na pesquisa receberão avaliação da musculatura periférica e diafragmática com equipamentos modernos, avaliando estrutura e função, ao longo da internação. Destacamos ainda, que a qualquer momento o participante/responsável pelo participante poderá recusar-se a continuar participando da pesquisa e poderá retirar o seu consentimento, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo. Garantimos que as informações conseguidas através da participação não permitirão a identificação da sua pessoa/familiar, exceto aos responsáveis pela pesquisa, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.

Endereço d(os, as) responsável(is) pela pesquisa:

Nome: Roberta Catunda Costa

Instituição: Departamento de Fisioterapia/Universidade Federal do Ceará - UFC

Endereço: Rua Major Weyne, 1440 – Campus do Porangabussu – Rodolfo Teófilo – CEP 60430-160 – Fortaleza – Ceará

Telefones para contato: 85 999937073

Nome: Magno Markus Ferreira Formiga Gonçalves de Oliveira

Instituição: Departamento de Fisioterapia/Universidade Federal do Ceará - UFC

Endereço: Rua Major Weyne, 1440 – Campus do Porangabussu – Rodolfo Teófilo – CEP 60430-160 – Fortaleza – Ceará

Telefones para contato: 83 998697414

ATENÇÃO: Se você tiver alguma consideração ou dúvida, sobre a participação do seu familiar na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8344/46. (Horário: 08:00-12:00 horas de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

O abaixo assinado _____, _____ anos, RG: _____, declara que é de livre e espontânea vontade que está como participante/responsável pelo(a) participante de uma pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Fortaleza, ____/____/____

Nome do participante da pesquisa

Nome do responsável pelo participante da pesquisa

Data: ____ / ____ / ____

Assinatura (ou impressão datiloscópica): _____



Nome da testemunha (se o voluntário não souber ler)

Data: ____ / ____ / ____

Assinatura (ou impressão datiloscópica): _____

Nome do profissional que aplicou o TCLE

Data: ____ / ____ / ____

Assinatura: _____

Nome do pesquisador responsável pela pesquisa:

Roberta Catunda Costa

Data: ____ / ____ / ____

Assinatura: _____

**APÊNDICE B – VÍDEO PARA DIVULGAÇÃO DO ESTUDO PARA O PÚBLICO
LEIGO**



https://www.canva.com/design/DAGdnADFKco/E0o6Qr5OsZJXSF9Tp2T6bg/view?utm_content=DAGdnADFKco&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=unique_links&utm_id=hce7cf4ef9e

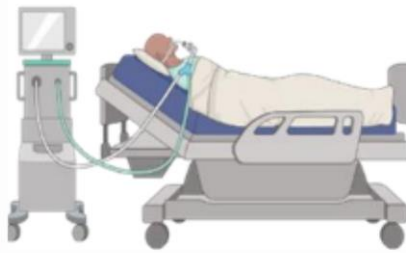
APÊNDICE C – CARDS PARA DIVULGAÇÃO DO ESTUDO PARA O PÚBLICO LEIGO



PRODUTO 1: OBJETIVOS

01

Investigar a associação entre as medidas de ultrassonografia muscular e o que acontece nos desfechos dos pacientes que estavam intubados em ventilação mecânica (respiração artificial).



PRODUTO 1: O QUE ENCONTRAMOS?

Amostra: 49 Pacientes com tubo de respiração artificial (intubação)



Ultrassonografia da área do músculo da coxa

Após 7 dias de intubação, quanto MENOR o músculo da coxa:

- MAIOR a chance de ficar na respiração artificial (35%)
- MAIOR a chance precisar de traqueostomia (46%)



Músculo da coxa e diafragma (respiração) avaliados por ultrassom



Ultrassonografia do músculo diafragma

Quanto MENOR a capacidade de contração do diafragma após a retirada da respiração artificial:

- MAIOR a chance de retornar para a respiração artificial (50%)
- MAIOR a chance de óbito (32%)

PRODUTO 2: OBJETIVOS

02

Explorar as correlações entre as variáveis de um teste de performance respiratória dentro de até 24 horas após a retirada da respiração artificial (extubação) e ultrassonografia muscular, força muscular e a capacidade de se mover.



PRODUTO 2: O QUE ENCONRAMOS?

Amostra: 22 Pacientes retirados do tubo de respiração artificial (extubação)

Realizando o TIRE =
Teste de Performance
Inspiratória

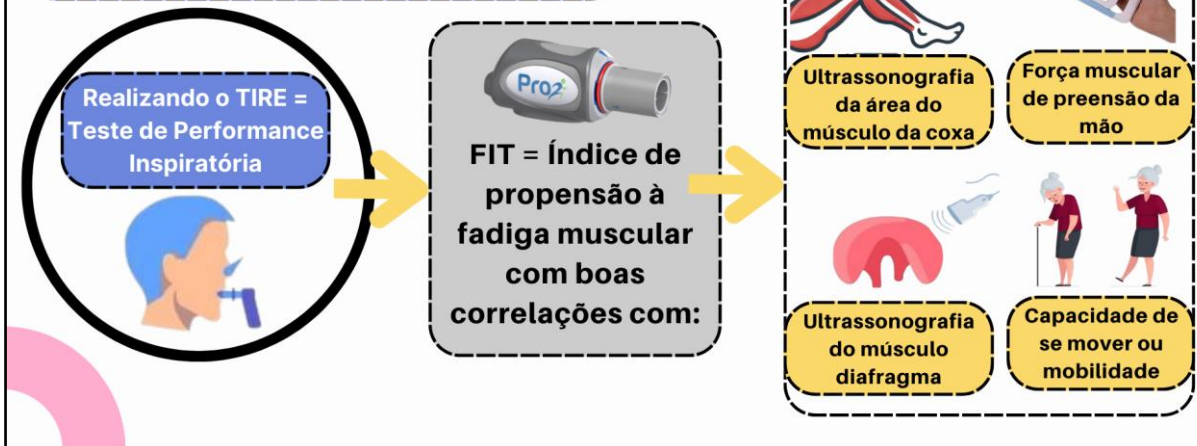
FIT = Índice de propensão à fadiga muscular com boas correlações com:

Ultrassonografia da área do músculo da coxa

Força muscular de preensão da mão

Ultrassonografia do músculo diafragma

Capacidade de se mover ou mobilidade



APLICAÇÃO NA PRÁTICA E RELEVÂNCIA

- Avaliar os músculos na UTI pode ajudar a saber quem mais precisa da Fisioterapia para se recuperar mais rápido;
- A fadiga muscular após o uso do respirador artificial precisa ser mais explorada;
- O treinamento respiratório precisa estar na nossa rotina de exercícios!

O Diamove inseriu a avaliação dos músculos por ultrassom na UTI de um grande hospital de Fortaleza!

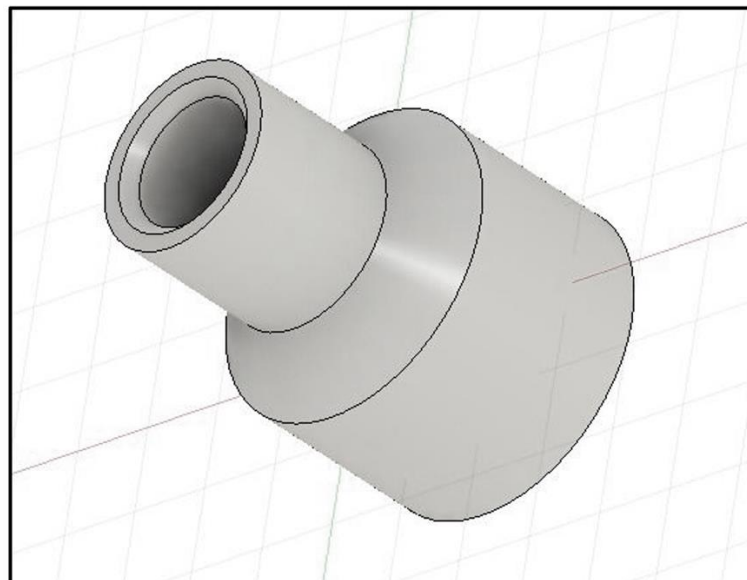
**OBRIGADA!**

APÊNDICE D – ADAPTAÇÃO PERSONALIZADA EM IMPRESSÃO 3D PARA UTILIZAÇÃO DO PRO2 COM FILTRO BACTERIOLÓGICO

Figura 4. PrO2 preparado para a execução do Test of Incremental Respiratory Endurance (TIRE) com a adaptação personalizada entre o aparelho e o filtro bacteriológico.



Figura 5. Representação gráfica da adaptação construída em impressora 3D para conexão do PrO2 ao filtro bacteriológico.



ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO
CEARÁ PROPESQ - UFC



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ASSOCIAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE FUNÇÃO E ESTRUTURA MUSCULAR DIAFRAGMÁTICA E PERIFÉRICA COM DESFECHOS DE PACIENTES VENTILADOS MECANICAMENTE

Pesquisador: ROBERTA CATUNDA COSTA

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 70992223.4.0000.5054

Instituição Proponente: Departamento de Fisioterapia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.190.218

Apresentação do Projeto:

A fraqueza muscular é a principal responsável pelos déficits funcionais oriundos da internação em cuidados críticos, podendo variar sua incidência de 25% a 100% dos doentes graves e possui causa multifatorial, sendo originária de distúrbios inflamatórios, miogênicos, neurogênicos ou uma combinação de todos. A avaliação muscular por ultrassonografia (US) é um recurso à beira leito que pode mensurar marcadores da musculatura periférica (espessura e área de secção transversal) e diafragmática (espessura, mobilidade e fração de espessamento), sendo útil para avaliar tanto disfunção como atrofia, além de suas mudanças ao longo da internação. Este projeto se propõe a avaliar a associação entre medidas de estrutura e função muscular diafragmática e periférica com os desfechos de pacientes ventilados mecanicamente em ambiente hospitalar.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Geral

Avaliar a associação entre medidas de estrutura e função muscular diafragmática e periférica com os desfechos de pacientes ventilados mecanicamente.

Objetivos Específicos

Identificar correlações entre as variáveis mensuradas de performance respiratória, força

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Teófilo

UF: CE

Município: FORTALEZA

CEP: 60.430-275

Telefone: (85)3366-8344

E-mail: comepe@ufc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO
CEARÁ PROPESQ - UFC



Continuação do Parecer: 6.190.218

muscular periférica e US diafragmática e de quadríceps com as características de exames clínicos, antropométricos, índices preditivos, biomarcadores, drogas, dispositivos, além das demais medidas usuais na terapia intensiva que forem pertinentes ao quadro clínico;

Determinar se o tempo de ventilação mecânica tem consequências nos parâmetros mensurados de performance respiratória, força muscular periférica e US diafragmática e de quadríceps;

Comparar o desempenho funcional ao longo da internação nos momentos avaliatórios;

Acompanhar as complicações e os desfechos clínicos, como óbitos, internação prolongada, reintubações, traqueostomias, dependência da ventilação mecânica, infecções e reinternações dos indivíduos ao longo da internação.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

risco de desconforto breve e momentâneo relacionado à realização do esforço inspiratório máximo e sustentado previsto pelo protocolo TIRE com o PrO₂. Contudo, os participantes serão avaliados previamente quanto às contraindicações clínicas e quanto ao risco para eventos adversos, e serão informados que poderão interromper os testes em caso de desconforto. O teste de sentar e levantar também faz parte das rotinas de avaliação de pacientes hospitalizados, não apresentando eventos adversos graves, sendo de fácil aplicabilidade em pouco espaço físico e à beira leito.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um estudo observacional de corte, analítico, descritivo e prospectivo. Os indivíduos serão recrutados por conveniência e, uma vez considerados elegíveis para participar do estudo, realizarão uma série de testes e medidas divididos em 2 etapas da coleta de dados.

Benefícios:

espera-se contribuir para entender como as variáveis avaliadas se relacionam com os desfechos encontrados, ajudando a preencher uma lacuna de conhecimento sobre o curso da internação do doente crítico. Os resultados poderão contribuir para utilização de medidas de baixo custo e mais acessíveis para a realidade da terapia intensiva brasileira detalhes sobre os momentos de avaliação e as medidas de desfecho que serão coletadas em cada um deles

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos necessários para submissão neste CEP foram devidamente apresentados.

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000
Bairro: Rodolfo Teófilo **CEP:** 60.430-275
UF: CE **Município:** FORTALEZA
Telefone: (85)3366-8344 **E-mail:** comepe@ufc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO
CEARÁ PROPESQ - UFC



Continuação do Parecer: 6.190.218

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

aprovado sem pendencias

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2162646.pdf	20/06/2023 12:38:58		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Roberta_Final.pdf	20/06/2023 12:35:14	MAGNO MARKUS FERREIRA FORMIGA GONCALVES DE	Aceito
Outros	Carta_Apreciacao.pdf	20/06/2023 12:32:53	MAGNO MARKUS FERREIRA FORMIGA GONCALVES DE	Aceito
Outros	Termo_de_compromisso.pdf	20/06/2023 12:31:35	MAGNO MARKUS FERREIRA FORMIGA GONCALVES DE	Aceito
Declaração de concordância	Concordancia.pdf	20/06/2023 12:30:34	MAGNO MARKUS FERREIRA FORMIGA GONCALVES DE	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_MF.pdf	20/06/2023 12:28:05	MAGNO MARKUS FERREIRA FORMIGA GONCALVES DE	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	20/06/2023 11:40:17	MAGNO MARKUS FERREIRA FORMIGA GONCALVES DE	Aceito
Outros	Fiel.pdf	19/06/2023 19:21:43	ROBERTA CATUNDA COSTA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Autorizacao.pdf	19/06/2023 19:20:38	ROBERTA CATUNDA COSTA	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	19/06/2023 19:19:43	ROBERTA CATUNDA COSTA	Aceito
Cronograma	Cronograma.pdf	19/06/2023 19:19:00	ROBERTA CATUNDA COSTA	Aceito

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Teófilo

CEP: 60.430-275

UF: CE **Município:** FORTALEZA

Telefone: (85)3366-8344

E-mail: comepe@ufc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO
CEARÁ PROPESQ - UFC



Continuação do Parecer: 6.190.218

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FORTALEZA, 19 de Julho de 2023

Assinado por:

FERNANDO ANTONIO FROTA BEZERRA
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Teófilo

CEP: 60.430-275

UF: CE **Município:** FORTALEZA

Telefone: (85)3366-8344

E-mail: comepe@ufc.br

ANEXO B – ICU MOBILITY SCALE (IMS)

NÍVEL	CLASSIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO
0	Nada (deitado no leito)	Rolado passivamente ou exercitado passivamente pela equipe, mas não se movimentando ativamente.
1	Sentado no leito, exercícios no leito	Qualquer atividade no leito, incluindo rolar, ponte, exercícios ativos, cicloergômetro e exercícios ativo assistidos; sem sair do leito ou sentado à beira do leito.
2	Transferido passivamente para a cadeira (sem ortostatismo)	Transferência para cadeira por meio de guincho, elevador ou passante, sem ortostatismo ou sem sentar à beira do leito.
3	Sentado à beira do leito	Pode ser auxiliado pela equipe, mas envolve sentar ativamente à beira do leito e com algum controle de tronco.
4	Ortostatismo	Sustentação do peso sobre os pés na posição ortostática, com ou sem ajuda. Pode ser considerado o uso do guincho ou prancha ortostática.
5	Transferência do leito para cadeira	Ser capaz de dar passos ou arrastar os pés na posição em pé até a cadeira. Isto envolve transferir ativamente o peso de uma perna para outra para ir até a cadeira. Se o paciente já ficou em pé com auxílio de algum equipamento médico, ele deve andar até a cadeira (não aplicável se o paciente é levado por algum equipamento de elevação)
6	Marcha estacionária (à beira do leito)	Ser capaz de realizar marcha estacionária erguendo os pés de forma alternada (deve ser capaz de dar no mínimo 4 passos, dois em cada pé), com ou sem auxílio
7	Deambular com auxílio de	O paciente consegue se distanciar pelo menos

	2 ou mais pessoas	5 metros do leito/ cadeira com auxílio de 2 ou mais pessoas
8	Deambular com auxílio de 1 pessoa	O paciente consegue se distanciar pelo menos 5 metros do leito/ cadeira com o auxílio de 1 pessoa
9	Deambulação independente com auxílio de um dispositivo de marcha	O paciente consegue se distanciar pelo menos 5 metros do leito/ cadeira com o uso de dispositivos de marcha, mas sem o auxílio de outra pessoa. Em indivíduos cadeirantes, este nível de atividade implica em se locomover com a cadeira de rodas de forma independente por 5 metros para longe do leito/ cadeira.
10	Deambulação independente sem auxílio de um dispositivo de marcha	O paciente consegue se distanciar pelo menos 5 metros do leito/ cadeira sem o uso de dispositivos de marcha ou o auxílio de outra pessoa.

Fonte: Martínez-Camacho et al., 2024.