UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação

Lucinara Martins Silva Tallarico

AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO MUSCULAR NO DESMAME PROLONGADO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA EM PACIENTES TRAQUEOSTOMIZADOS

Belo Horizonte

2025

Lucinara Martins Silva Tallarico

AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO MUSCULAR NO DESMAME PROLONGADO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA EM PACIENTES TRAQUEOSTOMIZADOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física Fisioterapia e Terapia Ocupacional - EEFFTO da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciências da Reabilitação.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Velloso

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Marques Tonella

Belo Horizonte

2025

T147a Tallarico, Lucinara Martins Silva
2025 Avaliação da função muscular no desmame prolongado de ventilação mecânica em pacientes traqueostomizados [recurso eletrônico] / Lucinara Martins Silva Tallarico. – 2025.
1 recurso online (131 f.: il.): pdf.

Orientador: Marcelo Velloso
Coorientador: Rodrigo Marques Tonella

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Inclui bibliografia.

1. Pulmões – Doenças obstrutivas – Teses. 2. Respiradores (Medicina) – Teses. 3. Desmame do respirador – Teses. 4. Fisioterapia. I. Velloso, Marcelo. II. Tonella, Rodrigo Marques. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. IV. Título.

CDU: 615.825

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Sheila Margareth Teixeira Adão, CRB 6: n° 2106, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação da função muscular em desmame prolongado de ventilação mecânica em pacientes traqueostomizados.

LUCINARA MARTINS SILVA TALLARICO

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, como requisito para obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, área de concentração DESEMPENHO FUNCIONAL HUMANO.

Aprovada em 01 de julho de 2025, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Marcelo Velloso - Orientador
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof(a). Rodrigo Marques Tonella
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof(a). Ligia dos Santos Roceto Ratti
Universidade Estadual de Campinas

Prof(a). Cristino Carneiro Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof(a). Raquel Annoni
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof(a). Carolina Kosour
Universidade Federal de Alfenas

Belo Horizonte, 1 de julho de 2025.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, pela oportunidade de chegar até aqui e por colocar no meu caminho pessoas maravilhosas que tornaram essa jornada mais leve e especial. São elas:

Minha mãe, Maria Helena, que é parte fundamental em toda a minha vida e esteve ao meu lado em cada passo dessa jornada, sempre com amor e dedicação. Ao meu pai, João que já não está mais entre nós, mas que lutou com todas as forças para que esse momento se tornasse realidade. Se hoje eu pudesse lhe dizer algo, seria que, o seu sonho foi realizado. E toda a minha família que sempre esteve ao meu lado, apoiando e acreditando em mim, meu mais sincero agradecimento.

Ao meu orientador, Professor Marcelo Velloso, eu gostaria de agradecê-lo pela oportunidade que me foi dada, por não me deixar desistir em um dos momentos mais difíceis da minha vida. Sua orientação e seu incentivo fizeram toda a diferença.

E ao meu coorientador, Professor Rodrigo Marques Tonella por, muitas vezes, ter sido mais do que um professor — um verdadeiro amigo. Sua paciência, carinho, dedicação e companheirismo fizeram toda a diferença na minha jornada. Você nunca deixou que eu desistisse e me ajudou a acreditar até naquilo que parecia impossível. Este momento é tão meu quanto seu, e sou muito grata pelas inúmeras oportunidades de aprendizado que você me proporcionou ao longo desse caminho, que foi árduo, mas que você o tornou mais leve.

A Professora Giane Ribeiro Samora gostaria de agradecê-la pela contribuição inestimável na assessoria estatística.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação, os meus agradecimentos, por não medirem esforços para nos proporcionar o conhecimento necessário à construção dessa tese, em especial às professoras, Mariana Maia Oliveira Sunemi pelo carinho e incentivo sempre presente

e Fabiana Ribeiro Ferreira pelo cuidado, atenção e sensibilidade em um momento tão difícil da minha vida.

Aos fisioterapeutas, médicos horizontais e residentes da cirurgia, enfermeiros, técnicos de enfermagem, secretárias e psicóloga do CTI do Hospital Risoleta Tolentino Neves, agradeço porque não mediram esforços para que esse trabalho acontecesse.

Aos meus colegas de pós-graduação, em especial, Isabella Diniz Faria, Kamila Andrade, Patrícia Geisel e todos os que estiveram comigo, o meu agradecimento por tornar esse período mais leve.

À secretária Eliane Leroy eu gostaria de agradecê-la, pela disposição e prontidão em me auxiliar em todos os momentos dessa jornada.

Ao fisioterapeuta Gregory Lui Duarte eu gostaria de agradecer a contribuição inestimável na escrita dos artigos científicos.

E às minhas alunas de iniciação cientifica: Júlia, Anna Maria, Maria Clara, Izabele e Brenda pois, sem vocês, nada disso seria possível.

Ao meu amigo Antônio Clécio que me deu suporte em um momento muito difícil da minha vida, proporcionando-me inúmeras oportunidades de trabalho, sua ajuda foi fundamental, muito obrigada!

Por fim, gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todos os pacientes que participaram dessa pesquisa sem a colaboração de cada um de vocês esse estudo não seria possível.

"Pois, em todas estas coisas somos mais que vencedores, por meio Daquele que nos amou." — Romanos 8:37.

RESUMO

A ventilação mecânica prolongada (VMP) tem como consequências, o comprometimento da função dos músculos respiratórios e apendiculares, com evolução para desmame prolongado, aumento da mortalidade e necessidade de traqueostomia. Devido a VMP ocorrem mudanças estruturais e histológicas dos músculos esqueléticos. Os estudos relacionados a índices capazes de prever o sucesso do desmame, descritos na literatura, são avaliados em uma população heterogênea e habitualmente com pouco tempo de ventilação mecânica (VM). Avaliar a função muscular respiratória, diafragmática e periférica, especialmente a última, representada pelo músculo quadríceps, por meio de índices capazes de prever os desfechos do desmame de indivíduos traqueostomizados, pode auxiliar na identificação do momento ideal para interromper a VM, bem como, acompanhar a evolução desses músculos durante o período de descontinuidade da VM, podendo reduzir desfechos clínicos desfavoráveis, além de auxiliar a traçar um plano terapêutico para esses indivíduos. OBJETIVO: Avaliar a associação dos valores de Índice de esforço inspiratório cronometrado (IEIC), eletromiografia de superfície diafragmática (EMGsdi), fração de espessamento diafragmático (FEdi) e espessura do quadríceps pela ultrassonografia (USeq), com os desfechos hospitalar e de desmame da VM. Adicionalmente, avaliar a evolução ao longo do período de 48 horas de descontinuidade da VM os valores alcançados pelos índices: IEIC, EMGsdi, FEdi, USeq e suas associações com o desfecho de desmame. E, por fim, o último objetivo, analisar a confiabilidade das medidas intra e inter examinadores de USeq, em indivíduos traqueostomizados em VMP e em desmame prolongado da VM. MÉTODO: Foram incluídos indivíduos traqueostomizados, em VMP (com mais de sete dias de VM) e com desmame prolongado, sem sedação, após serem submetidos ao teste de respiração espontânea (TRE) e aqueles que assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. Foram excluídos os indivíduos com comprometimentos neurológicos agudos, doenças neuromusculares progressivas, indivíduos em isolamento respiratório, que estivessem apresentando instabilidade clínica ou hemodinâmica e com lesões cutâneas. O sucesso no desmame foi considerado a manutenção maior que 48 horas ininterruptas de desconexão da VM e o insucesso, a necessidade de retorno à VM antes desse período.

No primeiro artigo, um estudo observacional, transversal, foram recrutados 65 indivíduos, submetidos à avaliação dos seguintes índices de desmame: EMGsdi, FEdi, USeq e o IEIC, no momento pré-desconexão da VM e logo após o TRE. Foi analisada a associação dos valores alcançados em cada índice com os desfechos de desmame (sucesso e falha) e o hospitalar (alta e óbito). Os resultados obtidos nesse estudo foram que as variáveis analisadas não apresentaram associação com o desfecho do desmame ($p>0,05$): IEIC ($r=-0,06$, $p=0,638$), EMGsdi ($r= 0,10$, $p=0,469$), FEdi ($r=0,08$, $p= 0,519$) e USeq ($r=-0,10$, $p=0,447$). No desfecho hospitalar, o EMGsdi e a FEdi apresentaram associação com a chance de óbito hospitalar ($p=0,022$ e $p=0,043$ respectivamente). Maiores valores da EMGsdi determinaram aumento de 29% na chance de óbito e maiores valores de FEdi determinaram queda na chance de óbito de em 7%. CONCLUSÃO: os índices preditores analisados não demonstraram associação com os desfechos do desmame. Maiores valores da EMGsdi determinaram maior chance de óbito enquanto maiores valores de FEdi determinaram menor chance de óbito.

O segundo artigo foi um estudo observacional longitudinal, no qual, foram incluídos 65 indivíduos que foram avaliados por meio de:IEIC, EMGsdi, Fedi e USeq em três momentos distintos: pré desconexão da VM, 24 e 48 horas após a descontinuidade da VM. Como resultado foi observado que durante a evolução do desmame, a Fedi aumentou significativamente nos grupos sucesso e falha, nas 48 horas após a desconexão (15,50% ±10,34 *vs* 22,39% ±10,39; p=0,009 e 17,01% ±8,13 *vs* 21,59% ±11,09, p= 0,044, respectivamente). Não houve diferença significativa na magnitude das alterações ao longo do tempo, entre os grupos (p>0,05). O IEIC apresentou aumento significativo nas 48h após a desconexão da VM, em relação à pré-desconexão no grupo sucesso (1,50 cmH_2O/s ±1,22 *vs* 1,94cmH_2O/s ±1,58; p=0,001). O grupo falha apresentou aumento no IEIC, 48 horas após a desconexão (1,48 cmH_2O/s ± 0,60 *vs* 2,37 cmH_2O/s ± 1,34; p= 0,012) e em relação às 24 horas após a desconexão (1,92 cmH_2O/s ± 0,54 vs 2,37 cmH_2O/s ± 1,34, p= 0,008). Quanto aos índices, EMGdi e USeq, não foram encontradas mudanças significativas em 48 horas pós início do desmame. Ao analisar a associação entre os grupos sucesso e falha, a magnitude das alterações não foram diferentes entre os grupos. CONCLUSÃO: na análise longitudinal, os índices indicaram aumento do trofismo diafragmático avaliado pela FEdi e aumento da força dos músculos inspiratórios avaliados pelo IEIC, durante o período de 48 horas de descontinuidade da VM. Não houve mudanças significativas na USeq e EMGsdi no período de descontinuidade da VM, bem como, na comparação entre os grupos sucesso e falha do desmame da VM.

O terceiro artigo, analisou a confiabilidade intra e inter examinadores, com experiência e sem experiência, em medidas de USeq, utilizando coeficiente de correlação intraclasses, em nove indivíduos, sendo três medidas executadas por examinador, em indivíduos em VMP, traqueostomizados e em desmame prolongado, totalizando 81 medidas. Os resultados desse estudo, demonstraram que, a confiabilidade intra e inter examinadores foram classificadas como excelentes pelos coeficientes de correlação intraclasse, respectivamente para os examinadores 1, 2 e 3 (CCI intra=0,985; 0,981 e 0,990; CCI inter= 0,985). CONCLUSÃO: a medida de USeq realizada por avaliadores inexperientes com pouco tempo de treinamento demonstrou ser uma medida com excelente confiabilidade.

Palavras-chave: Traqueostomia; Eletromiografia; Pressões Respiratórias Máximas; Ultrassonografia; Diafragma; Músculo Quadríceps Femoral; Desmame do Respirador Mecânico.

ABSTRACT

Prolonged mechanical ventilation (PMV) results in impaired respiratory and appendicular muscle function, leading to prolonged weaning, increased mortality, and the need for tracheostomy. Due to PMV, structural and histological changes occur in skeletal muscles. Studies related to indices capable of predicting weaning success, described in the literature, are evaluated in a heterogeneous population that usually has had little time on mechanical ventilation (MV). Assessing respiratory, diaphragmatic and peripheral muscle function, especially the latter, represented by the quadriceps muscle, through indices capable of predicting weaning outcomes in tracheostomized individuals, can help identify the ideal time to discontinue MV, as well as monitor the evolution of these muscles during the period of discontinuation of MV, which may reduce unfavorable clinical outcomes. OBJECTIVE: To evaluate the association of the values of Timed Inspiratory Effort (TIE) Index, diaphragmatic surface electromyography (sEMGdi), diaphragmatic thickening fraction (DTF) and quadriceps thickness by ultrasound (QMT), with hospital and MV weaning outcomes. Additionally, to evaluate the evolution over the 48-hour period of MV discontinuation of the values achieved by the indices: TIE index, sEMGdi, DTF, QMT and their associations with the weaning outcome. As a final objective, we analyzed the reliability of intra- and inter-examiner measurements of QMT in tracheostomized individuals on PMV and in prolonged weaning from MV. METHOD: Tracheostomized individuals on PMV (with more than seven days of MV) and with prolonged weaning without sedation were included after undergoing the spontaneous breathing test (SBT) and those who signed the informed consent form. Individuals with acute neurological impairments, progressive neuromuscular diseases, individuals in respiratory isolation, those with clinical or hemodynamic instability and with skin lesions were excluded. Weaning success was considered the maintenance of more than 48 uninterrupted hours of disconnection from MV, and failure, the need to return to MV before this period. The first article was an observational, cross-sectional study. Sixty-five individuals were recruited and underwent evaluation of the following weaning indices: TIE index, sEMGdi, DTF and QMT, at the time before disconnection from MV and immediately after the SBT. The association of the values achieved in each index with the weaning outcomes (success and failure) and hospital outcomes was analyzed, evaluating the number of discharges and deaths. The results obtained in this study were that the variables TIE index ($r = -0.06$, $p = 0.638$), sEMGdi ($r = 0.10$, $p = 0.469$), DTF ($r = 0.08$, $p = 0.519$), and QMT ($r = -0.10$, $p = 0.447$) showed no association with the weaning outcome ($p > 0.05$). Regarding hospital outcomes, sEMGdi and DTF were associated with the chance of in-hospital death ($p=0.022$ and $p=0.043$). Higher sEMGdi values determined a 29% increase in the chance of death and higher DTF values determined a 7% decrease in the chance of death in the population studied. CONCLUSION: the predictive indexes analyzed did not demonstrate an association with weaning outcomes. Higher sEMGdi values determined a greater chance of death while higher DTF values determined a lower chance of death.

The second article was a longitudinal observational study, in which 65 individuals were evaluated by means of: sEMGdi, DTF, QMT and TIE index at three different times: before disconnection of MV, 24 and 48 hours after discontinuation of

MV. As a result, it was observed that during the evolution of weaning, DTF increased significantly in the success and failure groups, in the 48 hours after disconnection (15.50% ± 10.34 vs 22.39% ± 10.39; p = 0.009 and 17.01% ± 8.13 vs 21.59% ± 11.09, p = 0.044, respectively). There were no significant differences in the magnitude of changes over time, between the groups (p > 0.05). The TIE index showed a significant increase in the 48h after disconnection from MV, in relation to pre-disconnection in the success group (1.50 cm H_2O / s ± 1.22 vs 1.94 cm H_2O / s ± 1.58; p = 0.001). The failure group showed an increase in TIE index, 48 hours after disconnection (1.48 cmH_2O/s ±0.60 vs 2.37 cmH_2O/s ±1.34; p=0.012) and in relation to 24 hours after disconnection (1.92 cm H_2O/s ±0.54 vs 2.37 cm H_2O/s±1.34, p=0.008). Regarding the indices, sEMGdi and QMT, no significant changes were found in 48 hours after the start of weaning. When analyzing the association between the success and failure groups, the magnitude of the changes was not different between the groups. CONCLUSION: in the longitudinal analysis, the indices indicated an increase in diaphragmatic trophism assessed by DTF and an increase in inspiratory muscle strength assessed by TIE index during the 48-hour period of MV discontinuation. There were no significant changes in QMT and sEMGdi during the period of MV discontinuation, as well as in the comparison between the groups of successful and failed weaning from MV.

The third article analyzed the intra-and inter-examiner reliability, with and without experience, in QMT measurements, using intraclass correlation coefficient, in nine individuals, with three measurements per examiner in individuals on PMV, tracheostomized and in prolonged weaning, totaling 81 measurements. The results of this study demonstrated that intra-and inter-rater reliability were classified as excellent by the intra-class correlation coefficients, respectively for raters 1, 2 and 3 (intra-ICC = 0.985; 0.981 and 0.990; inter-ICC = 0.985). CONCLUSION: the QMT measurement performed by inexperienced raters with little training time demonstrated to be a measurement with excellent reliability.

Keywords: Tracheostomy; Artificial Ventilation; Electromyography; Maximal Respiratory Pressures; Ultrasonography; Diaphragm; Quadriceps Femoris Muscle; Weaning from Mechanical Ventilation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema ilustrando o desenvolvimento de atrofia longitudinal nas fibras do diafragma. 27
Figura 2. Evolução da perda de área de secção transversa e espessura, respectivamente dos músculos quadríceps e diafragma. 29
Figura 3. Medida de espessura diafragmática pela US. 35
Figura 4. Medida de espessura do quadríceps pela US. 38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE – Atividade elétrica

AEdi – Atividade elétrica diafragmática

CCI-Coeficiente de correlação intraclasses

EMG - Eletromiografia

EMGsdi-Eletromiografia de superfície diafragmática

EMGedi-Eletromiografia de cateter esofágico diafragmático

EMGdi - Eletromiografia diafragmática

FAUTI - Fraqueza muscular adquirida na UTI

Fedi- Fração de espessamento diafragmático

HRTN - Hospital Risoleta Tolentino Neves

IRRS-Índice de respiração rápida e superficial

IEIC - Índice de esforço inspiratório cronometrado

ICC - *International Consense Conference*

PIC - Pressão intracraniana

PSV - Pressão de suporte ventilatório

PImáx - Pressão inspiratória máxima

PEEP - Pressão positiva expiratória final

RMS - *Root means square*

TRE- Teste de respiração espontânea

TCLE - Termo de consentimento livre e esclarecido

UPS - ubiquitina–protesssoma

US – Ultrassom

USdi – Ultrassonografia diafragmática

USeq – Ultrassonografia espessura de quadríceps

USQ – Ultrassonografia de quadríceps

UTI - Unidade de terapia intensiva

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

WIND - *Weaning accord to new definition*

VM – Ventilação mecânica

VMP - Ventilação mecânica prolongada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 REVISÃO DA LITERATURA 17
2.1- Definições das etapas do desmame de VM 18
2.2- Definições de desmame incluindo indivíduos traqueostomizados 18
2.3-Características dos indivíduos traqueostomizados em desmame prolongado 20
2.4- Mecanismos de fraqueza muscular adquirida na UTI 21
2.4.1 - Desequilíbrio proteico 21
2.4.2 - Desequilíbrios circulatórios 22
2.4.3 - Disfunção mitocondrial 23
2.4.4 - Alterações na permeabilidade da membrana 24
2.5- Mecanismos específicos da fraqueza diafragmática 25
3 ÍNDICES DE DESMAME DE VM 30
3.1-Índice de esforço inspiratório cronometrado (IEIC) 30
3.2-Eletromiografia diafragmática (EMGdi) 31
3.3 - Eletromiografia por cateter esofágico (EMGedi) 32
3.4 - Eletromiografia de superfície (EMGsdi) 32
3.5- Comparação entre EMGsdi e EMGedi 33
3.6 - Eletromiografia diafragmática e desmame de VM 33
3.7-Ultrassonografia do quadríceps 36
4 JUSTIFICATIVA 39
5 OBJETIVO 40
5.1- Objetivo principal 40
5.2- Objetivos secundários 40
6 MATERIAL E MÉTODOS 41
6.1 - Artigo 1 41
ARTIGO TRANSVERSAL 41
6.2 - Artigo 2 65
ARTIGO LONGITUDINAL 65
6.3 - Artigo 3. 83
ARTIGO CONFIABILIDADE 83
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS 95
REFERÊNCIAS 98

1 INTRODUÇÃO

O desmame da ventilação mecânica (VM) é um período crítico para muitos indivíduos (Roberts *et al.,* 2024). Ele é definido como um processo pelo qual, existe a redução gradual do nível de suporte ventilatório mecânico (Roberts *et al.*, 2024). Estima-se que 40 a 50% do tempo total da VM é gasto nesse período (Bertoni; Spadaro; Goligher, 2020; Latronico *et al.,* 2023) e, 5 a 10% necessitam de desmame prolongado (Rose; Messer, 2024). O prolongamento da VM tem como consequências a atrofia e disfunção dos músculos apendiculares e respiratórios, principalmente o diafragma (Dres; Demoule, 2018; Vanhorebeek; Latronico; Van Den Berghe, 2020).

O comprometimento da função muscular está associado a piores desfechos na VM, necessidade do uso de traqueostomia e aumento da mortalidade (Dres; Demoule, 2018). Explorar a função dos músculos respiratórios e apendiculares representa um grande desafio (Dres; Demoule, 2018). Avaliar as possibilidades de desfechos negativos na descontinuidade da VM pode ajudar a desenvolver estratégias eficazes para reduzir esses resultados adversos (Dres; Demoule, 2018). Diante das incertezas no processo de desmame da VM, existe uma busca por índices que consigam prever o melhor momento para descontinuar a VM (Al-Husinat *et al*., 2024; Lin *et al.,* 2024a).

O índice de respiração rápida e superficial (IRRS) está entre os mais estudados, e sua fórmula é calculada pela razão entre a frequência respiratória e o volume corrente (f/VC), e seu valor preditivo de sucesso é quando está abaixo de 105 respirações /minuto/litros (Baptistella *et al.*, 2018; Roberts *et al*., 2024).Outros índices comumente utilizados são: o índice integrativo de desmame = (C_{sr}xSaO_2/FFxVC),com ponto de corte para sucesso no desmame o valor maior que 25ml/cmH_2O respirações/minuto/litro;a pressão inspiratória máxima (PImax), com valores menores que -30cmH_2O, capacidade vital maior que 10ml/kg, volume corrente maior ou iguais a 5ml/kg e pressão de oclusão das vias aéreas (P0.1) menor que 3,5cmH_2O são considerados preditivos de sucesso. Apesar desses preditores serem bastante utilizados, eles não conseguem alcançar especificidade suficiente, na qual, consiga prever a retirada da VM de forma efetiva (Boles *et al*.,

2007; Roberts *et al.*, 2024).Sendo assim, novos índices vêm sendo propostos, sendo eles: o índice de esforço inspiratório cronometrado (IEIC) (Silva Neto *et al*., 2020), a eletromiografia de superfície diafragmática (EMGsdi)(Al Tayar; Abdelshafey, 2022), a fração de espessamento diafragmático (FEdi) (Santana; Cardenas; Albuquerque, 2023; Vieira Santana *et al.*, 2020) e a espessura do quadríceps pela ultrassonografia (USeq)(Er *et al*., 2023; Vieira *et al*., 2022).

Pesquisas recentes aplicadas em indivíduos com diferentes definições de desmame, possuem casuística heterogêneas, além de, existirem mudanças estruturais bioquímicas e histológicas durante a evolução do tempo de VM. Dessa forma, realizamos um estudo avaliando a função muscular por meio de: IEIC, EMGsdi, FEdi, USeq, especificamente em indivíduos traqueostomizados em VM e desmame prolongado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresentará uma revisão de literatura essencial para a construção desta tese. Ele foi organizado em tópicos para facilitar o entendimento dos assuntos relacionados. Inicialmente, serão abordados aspectos relacionados às definições das etapas de desmame, bem como suas classificações. Neste tópico, destacaremos a importância de estratificar os diferentes tipos de desmame e a necessidade de considerar os indivíduos traqueostomizados nesse contexto.

Em seguida, serão demonstradas as características do indivíduo traqueostomizado, apontando as diferenças entre esses e os indivíduos entubados, além de discutir as taxas de mortalidade associadas ao prolongamento da VM. Posteriormente, se discutirá a fraqueza muscular periférica e diafragmática na doença crítica, demonstrando os principais mecanismos e causas que levaram a esse quadro clínico.

No decorrer do texto, serão feitas comparações entre as mudanças histológicas e morfológicas, observadas nos músculos de indivíduos com pouco tempo de VM e aqueles que permaneceram ventilados por mais de sete dias, período que caracteriza o desmame prolongado. Esses aspectos, motivaram a necessidade de estudos específicos em pacientes traqueostomizados e em desmame prolongado.

Serão explorados quatro diferentes índices preditores de desfecho de desmame da VM, comparações entre eles e os índices mais usuais na literatura, justificando a escolha de cada um. Inicialmente, abordaremos um índice específico para avaliação dos músculos inspiratórios por meio do IEIC. Sequencialmente discutiremos dois métodos voltados à avaliação específica do diafragma, que são: a EMGsdi e a FEdi.

Por último, descreveremos sobre a influência dos músculos periféricos sobre o desfecho de desmame de VM, especialmente o músculo quadríceps, avaliado pela medida ultrassonográfica da espessura do reto femoral e vasto intermédio. Destacamos a importância de verificar a confiabilidade dessa medida, mesmo sendo realizado por profissionais com pouca experiência, devido às dificuldades técnicas e às mudanças fisiopatológicas em indivíduos submetidos à VM prolongada, o que

motivou a estruturação de um estudo sobre confiabilidade de medidas realizadas por pesquisadores com pouca experiência de medida de espessura ultrassonográfica do quadríceps.

2.1- Definições das etapas do desmame de VM

Os estudos sobre o desmame de VM se iniciaram em 1961, com os trabalhos desenvolvidos por Henrik Bendixin e Henning Pontoppidan (Akella; Voigt; Chawla, 2022). Desde então, houve uma evolução significativa sobre o tema (Akella; Voigt; Chawla, 2022). Surgiram estudos relacionados às interações paciente ventilador, preditores de desmame, protocolos de desmame, avaliação de diferentes técnicas de testes de respiração espontânea (TRE), em busca de melhores desfechos de VM (Akella; Voigt; Chawla, 2022).

Apesar dos avanços no conhecimento relacionados ao desmame de VM, permanecem indefinições sobre as padronizações das nomenclaturas utilizadas e definições de diferentes etapas, do período compreendido entre o início e a descontinuação total da VM (Roberts *et al*., 2024; Shah; Hart; Kaltsakas, 2024; Trudzinski *et al*., 2022, 2024). Essas indefinições dificultam o planejamento de pesquisas, especialmente no que diz respeito ao indivíduo traqueostomizado em VM e desmame prolongado (Béduneau *et al*., 2017; Jaber; De Jong, 2023; Rose; Messer, 2024).

2.2- Definições de desmame incluindo indivíduos traqueostomizados

Além das definições, relacionadas às etapas de desmame, as suas classificações também são variadas. Indivíduos traqueostomizados, muitas vezes, não se enquadram em categorias tradicionais de desmame de VM (Béduneau *et al.*, 2017; Lago *et al*., 2019; Rose; Messer, 2024) como as que foram propostas em 2005, na *International Consense Conference* (ICC), em que se definiu três tipos de desmame:1 – **Simples**: indivíduos que obtiveram sucesso na primeira tentativa de extubação após TRE; 2 – **Difícil**: indivíduos que completaram o desmame no intervalo de tempo entre um e seis dias após o TRE e 3 – **Prolongado**: período em que os indivíduos falharam em pelo menos três tentativas de desmame ou

necessitaram de mais de sete dias de desmame após a primeira tentativa de TRE (Boules *et.al*,2007).

Em 2017, observou-se que era necessário, alcançar uma definição que contemplasse o maior número de situações clínicas, sendo assim, foi proposto um novo modelo de definição de desmame que contivesse a evolução da classificação da ICC, sendo denominado de *Weaning according to new definition* (WIND) (Béduneau *et al*., 2017). Esse modelo levou em consideração não o número de TRE, mas a duração da VM e o prognóstico do indivíduo. O modelo propôs divisões de definições entre indivíduos extubados e traqueostomizados.

O desmame em indivíduos traqueostomizados, recebeu as seguintes subdivisões: **GRUPO sem desmame**: composto por indivíduos que não conseguiram realizar a descontinuidade da VM em nenhum momento; **GRUPO 1**: desmame curto em que, a primeira tentativa de descontinuidade da VM alcançou o sucesso em um dia, seja pela descontinuidade bem-sucedida ou morte prematura; **GRUPO 2**: desmame difícil é aquele que é concluído entre um dia e uma semana após a primeira tentativa de descontinuidade da VM;**GRUPO 3**: desmame prolongado é a descontinuidade realizada após sete dias da primeira tentativa de descontinuidade da VM, seja ela por sucesso ou morte. O desmame prolongado recebeu ainda duas subdivisões: **GRUPO 3A**: foi definido como desmame bem-sucedido após sete dias de VM ou mais, contados da primeira tentativa; **GRUPO 3B**: foi definido como desmame prolongado sem sucesso (Béduneau *et al.*, 2017; Lago *et al.*, 2019; Rose; Messer, 2024).

(Béduneau *et al*., 2017; Lago *et al*., 2019; Rose; Messer, 2024) compararam as duas definições, a *ICC* e a *WIND* e reafirmaram a necessidade de uma definição que contemplasse o maior número de classificações de desmame, principalmente no que se refere a indivíduos em desmame prolongado e traqueostomizados. Isso porque, de 50 a 75% dos indivíduos não conseguiram ser classificados no modelo definido pela *ICC* pois, não contemplavam algumas situações como: óbito durante o desmame, extubação não planejada, necessidade de traqueostomia, demonstrando assim, a necessidade de nova definição de desmame (Lago *et al.*, 2019). As diferentes classificações do desmame são fundamentais para a intensificação de cuidados e criar estratégias para favorecer os desfechos positivos, de desmame

nesse grupo específico de indivíduos (Lago *et al.*, 2019). Especialmente aqueles que passaram por procedimento de traqueostomia (Béduneau *et al*., 2017).

2.3-Características dos indivíduos traqueostomizados em desmame prolongado

Aproximadamente 10 a 20% dos indivíduos admitidos em unidades de terapia intensiva (UTI), necessitam de traqueostomia (Boni *et al*., 2025; Kishihara *et al*., 2023) que é a prótese de escolha para indivíduos que evoluem para VM prolongada, pois, objetiva facilitar o desmame de VM (Boni *et al*., 2025; Kishihara *et al*., 2023). Ela apresenta algumas vantagens em relação ao tubo orotraqueal, pois, possui menor tamanho o que determina um menor espaço morto, menor resistência de vias aéreas e menor trabalho respiratório, além de, um tempo reduzido de uso de sedação (Kishihara *et al*., 2023; Pierson, *2005*).

Apesar de ser um procedimento que apresenta pontos positivos, apresenta também características negativas (Brenner *et a*l., 2020). *A Global Tracheostomy Collaborative* foi um estudo conduzido desde 2012 por diferentes países da Europa avaliando o perfil de mais de 6.500 indivíduos traqueostomizados, em diferentes UTIs do mundo (Brenner *et al.*, 2020). Nesse estudo, foram demonstradas as principais características inerentes ao indivíduo traqueostomizado: maior tempo de internação, maior possibilidade de apresentar eventos adversos, idade variada, condições clínicas diversas, população muito heterogênea, além de, apresentarem maior mortalidade (Brenner *et al*., 2020).

A traqueostomia é um procedimento identificado como um marcador de complexidade clínica (Brenner *et al*., 2020) e comum, aos indivíduos que evoluem com prolongamento da VM e desmame prolongado (Boni *et al*., 2025; Dolinay *et al*., 2024). A gravidade da condição desses indivíduos fica evidente ao se observar a mortalidade de 60% registrada entre aqueles que receberam VM prolongada, avaliada durante o período de um ano após a alta hospitalar (Rose; Messer, 2024). No ambiente hospitalar, um estudo realizado com indivíduos que evoluíram para o desmame prolongado, foi realizado em 50 países denominados *Wean Safe*, em que foi analisada a mortalidade desses indivíduos e observado que 9,6% deles, que evoluem para o desmame prolongado, 3,7% foram a óbito na UTI e 17,9% no hospital (Pham *et al.*, 2023).

No que diz respeito às complicações observadas em indivíduos que permanecem por longos períodos na UTI, como os traqueostomizados, as mais comuns e relevantes incluem o imobilismo e a fraqueza muscular esquelética (Rose; Messer, 2024). A literatura já descreveu que, a perda de força muscular nesses indivíduos está relacionada à queda da função muscular geral, o que pode impactar significativamente sua recuperação (Rose; Messer, 2024).

2.4- Mecanismos de fraqueza muscular adquirida na UTI

A Fraqueza muscular adquirida em UTI (FAUTI) é uma condição que afeta simetricamente os músculos periféricos e respiratórios (Vanhorebeek; Latronico; Van Den Berghe, 2020). Pode ser de origem neurogênica, miogênica ou uma combinação entre elas. Embora o termo FAUTI seja um termo bem estabelecido na literatura, essa definição vem sendo revista. Atualmente, os termos, fraqueza muscular e fraqueza diafragmática por doença crítica têm sido mais adequados, pois, a fraqueza grave não é uma complicação exclusiva da UTI (Latronico *et al.*, 2023; Le Stang *et al*., 2024). Assim, essa mudança reflete uma compreensão mais precisa do fenômeno, abrangendo indivíduos além do ambiente de UTI.

O mecanismo que leva à fraqueza muscular da doença crítica, ainda não é totalmente estabelecido, porém, são relacionados a diversos fatores que interagem entre si e causam reciprocamente o desenvolvimento de atrofia e disfunção muscular, no entanto, os principais serão descritos a seguir (Duan; Bai, 2020; Fazzini *et al*., 2023; Vanhorebeek; Latronico; Van Den Berghe, 2020).

2.4.1 - Desequilíbrio proteico

Em músculos saudáveis, existe uma renovação constante de proteínas musculares. Para a manutenção da massa muscular é necessário um equilíbrio entre a síntese e a degradação protéica (Kanova; Kohout, 2022). Para que esse equilíbrio ocorra, um estímulo anabólico é ativado por meio de dieta e exercício (Kanova; Kohout, 2022).

Na doença crítica, observa-se o desequilíbrio entre anabolismo e catabolismo proteico, devido a combinação de fatores, entre eles, a imobilização, VM, sepse,

resposta inflamatória sistêmica, entre outros. A exposição a esses fatores faz com que haja ativação do sistema nervoso simpático, liberação de hormônios catabólicos e ativação de citocinas pró-inflamatórias. Consequentemente existe o aumento da proteólise, ou seja, a degradação de proteínas e ao mesmo tempo há inibição da síntese de novas proteínas contribuindo para o estado de perda de massa muscular (Chen; Huang, 2024; Hyatt *et al.*, 2019; Kanova; Kohout, 2022).

Com a redução da síntese proteica no músculo esquelético existe o comprometimento na captação de glicose e na produção de energia. Isso ocorre porque o músculo, que normalmente é um grande consumidor de glicose, passa a ter sua capacidade de sintetizar novas proteínas comprometida, o que prejudica o metabolismo energético do corpo (Chen; Huang, 2024; Hyatt *et al*., 2019; Kanova; Kohout, 2022). Por outro lado, existe maior perda e degradação de proteínas musculares. Esse mecanismo tem como função remover e reciclar proteínas danificadas, mantendo a integridade das fibras musculares (Chen; Huang, 2024; Hyatt *et al.,* 2019; Kanova; Kohout, 2022).

As principais vias nas quais a degradação proteica está envolvida e atuam de forma coletiva, são: ubiquitina–proteossoma (UPS), autogagia–lisossomal, calpaina e caspase. A imobilidade prolongada no doente crítico, ativa essas vias de forma desordenada, acelerando o mecanismo de degradação proteica, até mesmo daquelas proteínas não danificadas, resultando em maior perda de proteínas musculares, contribuindo para atrofia muscular por desuso (Fazzini *et al*., 2023; Franco-Romero; Sandri, 2021; Hyatt *et al.*, 2019).

2.4.2 - Desequilíbrios circulatórios

O músculo esquelético representa aproximadamente 40% do peso corporal total e é o órgão que contém maior rede microvascular (Mendelson; Erickson; Villar, 2023). Sendo assim, os músculos são intensamente comprometidos no doente crítico, pois a disfunção microvascular é um fator central na patogênese das alterações causadas pela doença crítica. Isso foi descrito mais extensivamente no contexto da sepse, mas também se aplica a outras doenças comuns em UTI, incluindo trauma, parada cardíaca e após pós-operatório de cirurgias de grande

porte (Mendelson; Erickson; Villar, 2023; Vanhorebeek; Latronico; Van Den Berghe, 2020).

O início da disfunção microvascular acontece com a ativação endotelial. Sequencialmente, existem mudanças nas células endoteliais para características pró-inflamatórias, evoluindo para interrupção da função de barreira e aumento da permeabilidade vascular. Essa ativação do endotélio leva às alterações relacionadas à coagulação e aos processos antifibrinolíticos, promovendo a adesão de fibrinas e fatores complemento. Essas mudanças podem evoluir para micro trombose generalizada, coagulação intravascular disseminada e lesão orgânica (Mendelson; Erickson; Villar, 2023; Vanhorebeek; Latronico; Van Den Berghe, 2020).

Do ponto de vista hemodinâmico, a ativação endotelial causa vasodilatação e hipotensão, por meio do aumento da enzima denominada óxido nítrico sintase induzível, estimulando o aumento da produção de forma heterogênea, em toda rede microvascular de óxido nítrico (NO). Com a distribuição inadequada de oxigênio e do fluxo sanguíneo, o transporte do sangue para os capilares fica comprometido, a capacidade de difusão de oxigênio das redes capilares é reduzida, o que prejudica o fornecimento de oxigênio ao tecido circundante (Mendelson; Erickson; Villar, 2023; Vanhorebeek; Latronico; Van Den Berghe, 2020).

A recuperação da função microvascular no músculo esquelético, em doentes críticos, é um fator prognóstico importante, pois essa recuperação ocorre ao longo do tempo à medida que o indivíduo se recupera. Quando essa recuperação não acontece, há maior probabilidade de evolução para desfechos clínicos desfavoráveis (Mendelson; Erickson; Villar, 2023).

2.4.3 - Disfunção mitocondrial

A disfunção mitocondrial é um evento observado em músculos atrofiados durante um período de imobilidade prolongada(Hyatt *et al*., 2019; Klawitter *et al*., 2023). A mitocôndria, normalmente apresenta-se como uma estrutura dinâmica, que se adapta rapidamente às mudanças das necessidades energéticas, fornecimento de energia e ao estresse oxidativo. Para que isso aconteça é necessário que três mecanismos estejam em perfeito funcionamento, são eles: biogênese mitocondrial,

dinâmica mitocondrial e mitofagia (degradação e reciclagem mitocondrial), para manter a homeostase celular. A biogênese mitocondrial é o processo pelo qual novas mitocôndrias são produzidas. A dinâmica mitocondrial depende do equilíbrio entre a fissão, que seria a divisão mitocondrial, que é um mecanismo responsável por eliminação de conteúdo ou organelas danificadas, e a fusão, que seria a união das mitocôndrias diminuindo a quantidade de organelas disfuncionais (Hyatt *et al.*, 2019; Klawitter *et al*., 2023). A mitofagia é um processo de remoção seletiva das mitocôndrias danificadas nas células, mantendo o equilíbrio energético celular(Hyatt *et al*., 2019; Klawitter *et al*., 2023).

Na doença crítica, ocorre modificação da dinâmica mitocondrial em células musculares promovendo desequilíbrio entre os mecanismos de fusão e fissão, alterando a morfologia mitocondrial(Hyatt *et al*., 2019; Klawitter *et al*., 2023). Observa-se que há aumento da fragmentação das mitocôndrias pelo aumento da fissão, bem como, da estrutura mitocondrial, causada pelo aumento da fusão. Essas alterações, promovem falhas no mecanismo bioenergético mitocondrial. O acúmulo de mitocôndrias danificadas nas células resulta em morte celular(Hyatt *et al*., 2019; Klawitter *et al*., 2023). O mecanismo de mitofagia insuficiente faz com que exista acúmulo de organelas danificadas, com consequente redução da produção de adenosina trifosfato (ATP) e liberação de espécies reativas de oxigênio, provocando um ciclo vicioso, ocorrendo, em última análise, a perda muscular (Hyatt *et al*., 2019; Klawitter *et al*., 2023).

2.4.4 - Alterações na permeabilidade da membrana

A ativação do potencial de ação é uma condição na qual existem mudanças na permeabilidade da membrana celular aos íons Na^+, K^+ e possivelmente ao Ca^{2+}e perfeito funcionamento do mecanismo de despolarização e repolarização da membrana. No doente crítico, existe comprometimento da bomba de Na^+, deixando-a inativa e com consequente alteração na excitabilidade elétrica. As citocinas inflamatórias são neurotóxicas e levam à despolarização crônica da membrana, chamada de desnervação (Vanhorebeek; Latronico; Van Den Berghe, 2020).

2.5- Mecanismos específicos da fraqueza diafragmática

Os mecanismos de fraqueza diafragmática, geralmente resultam da combinação de vários fatores, que muitas vezes, estão interligados aos da doença crítica. No entanto, existem mecanismos específicos que levam à fraqueza diafragmática, sendo um deles, a necessidade de VM(Schepens; Fard; Goligher, 2020a).

O primeiro mecanismo é a super assistência, que é uma condição na qual, o indivíduo recebe assistência ventilatória além do que é necessário, resultando em redução de carga imposta aos músculos respiratórios e consequente atrofia muscular (Goligher *et al*., 2018a; Schepens; Fard; Goligher, 2020b).

O segundo é a sub assistência, que é a imposição de um nível insuficiente de suporte ventilatório, com consequente aumento do trabalho respiratório, induzindo à lesão por sobrecarga muscular. Nesses músculos, foram observadas inflamação muscular tardia e proteólise, além de níveis elevados de citocinas inflamatórias, fragilidade do sarcolema, aumentando a suscetibilidade à lesões induzidas por carga(Goligher *et al.*, 2018a; Schepens; Fard; Goligher, 2020b).

A Contração excêntrica é outra causa de lesão diafragmática, devido à determinadas assincronias que acontecem na interação entre o indivíduo e o ventilador como: disparo reverso, esforços ineficazes e ciclagem prematura(Goligher *et al.*, 2018a; Schepens; Fard; Goligher, 2020b).

Por último, o uso excessivo de pressão positiva expiratória final (PEEP), durante a VM, no qual o diafragma permanece em posição de desvantagem mecânica (menor área da aposição costal), que resulta em redução do sarcômero e atrofia longitudinal do diafragma músculo (Goligher *et al*., 2018a; Schepens; Fard; Goligher, 2020b).

2.6-Diferenças estruturais e histológicas musculares durante a progressão da VM na primeira semana.

Os mecanismos que levam à doença crítica passam por uma sequência de fases distintas (Singer *et al*., 2019).Observa-se uma evolução de eventos ao longo

do tempo que, contribuem para perda muscular importante na primeira semana da VM e que posteriormente, evolui para estabilização do quadro (Singer *et al*., 2019). Inicialmente, ocorre a fase hiperaguda, caracterizada por instabilidade hemodinâmica, que geralmente tem duração de um a dois dias. Em seguida, ocorre a fase de instabilidade metabólica e catabólica, período prolongado que pode perdurar de três a sete dias, marcado por perda muscular significativa. Posteriormente, ocorre a estabilização dos distúrbios metabólicos. Após essa estabilização, o indivíduo entra na fase de anabolismo. A fase final é a subaguda que pode evoluir para melhora clínica ou estado inflamatório e catabólico persistente (Singer *et al*., 2019).

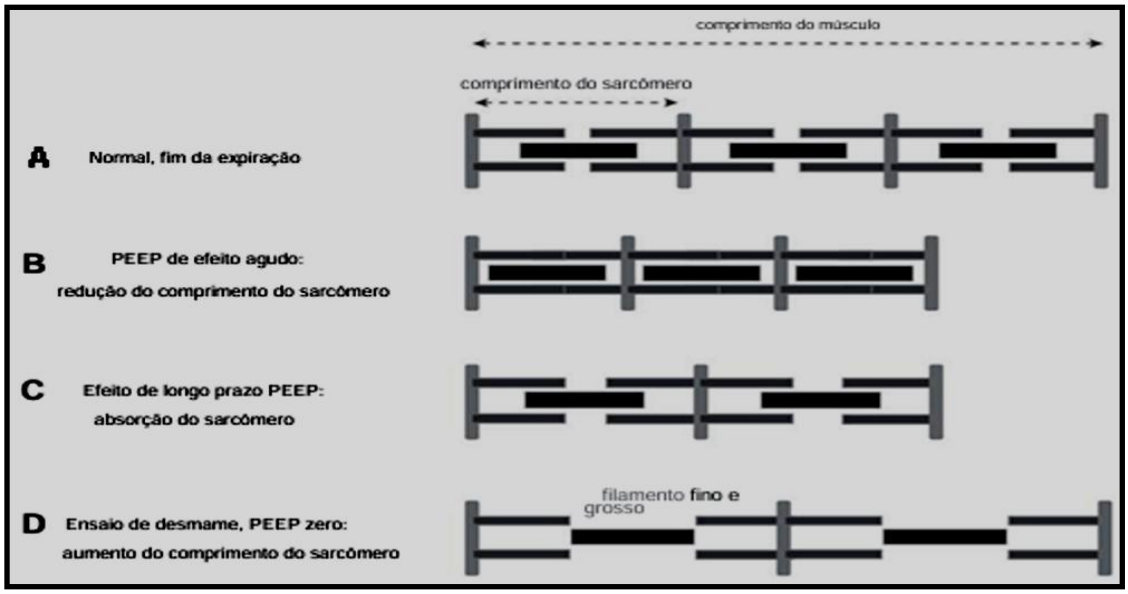
No período de perda muscular, os músculos esqueléticos, que são tecidos plásticos, passam por remodelação ao longo do tempo, as fibras musculares mudam de comprimento conforme diferentes situações, sendo acompanhadas por mudanças no comprimento dos sarcômeros. Essas alterações ocorrem de forma progressiva e acentuada (Petrof; Hussain, 2016; Petrof; Sassoon, 2018; Powers, 2024).

Em relação ao músculo diafragma, essas mudanças podem ser observadas em diferentes estudos. Um estudo envolvendo a análise do diafragma em dois grupos de indivíduos, um com período curto de VM e outro com no mínimo cinco dias de VM, observou-se que com o prolongamento da VM, houve alterações microscópicas das células musculares, consistindo em alteração miofibrilar e sarcômeros desorganizados, além de lesão da fibra e atrofia muscular (Jaber *et al*., 2011; Jaber; De Jong, 2023).

Lindqvist et al., (2018) demonstraram em seu estudo, uma projeção sobre as mudanças que ocorreram com o sarcômero e com o tamanho das fibras musculares do músculo do diafragma, em quatro momentos distintos de exposição à PEEP e os resultados foram demonstrados na figura 1. Com o prolongamento do tempo de exposição à PEEP, existe a absorção e a redução em números dos sarcômeros pela tendência a acompanhar o tamanho da fibra muscular que se encontra encurtada. No período em que ocorre a redução ou retirada abrupta da PEEP, simulando o momento de descontinuidade da VM, ocorre a redução do volume pulmonar, deslocamento cranial do diafragma e consequentemente se inicia uma tentativa de reorganização das fibras musculares encurtadas do diafragma e distensão máxima

do sarcômero que se encontra em número reduzido. Isso obriga as fibras musculares a trabalharem em desvantagem na relação tensão/comprimento sugerindo ser esse, um dos fatores que contribuem para possibilidade de falhas no desmame (Lindqvist *et al*., 2018).

Figura 1. Esquema ilustrando o desenvolvimento de atrofia longitudinal nas fibras do diafragma.



Legenda:esquema ilustrando o desenvolvimento de atrofia longitudinal nas fibras do diafragma durante a VM com PEEP. (A) Comprimento muscular em respiração espontânea na expiração final. (B) Efeito agudo da PEEP no comprimento do sarcômero. (C) Efeito em longo prazo de exposição à PEEP, causando absorção do sarcômero. (D) comportamento do sarcômero com retirada da PEEP, demonstrando ausência da sobreposição entre filamentos grossos e finos e nenhuma força pode ser gerada. Fonte traduzida e adaptada: LINDQVIST, *et al.,* 2018,p.483(Lindqvist *et al*., 2018).

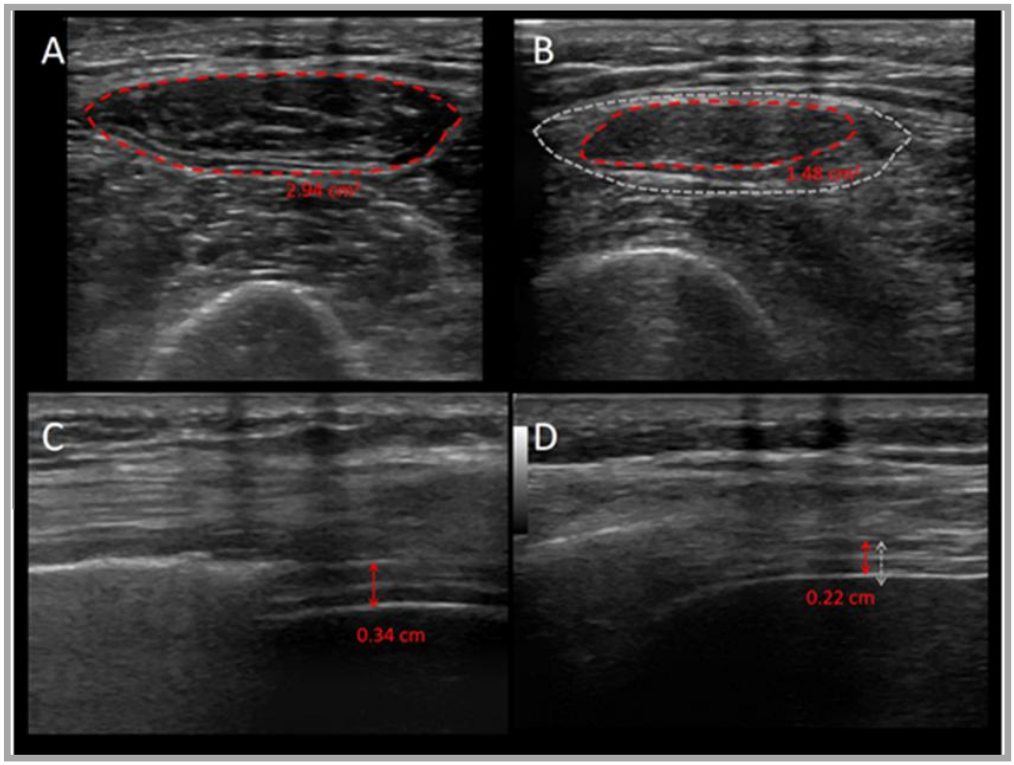
Assim como na musculatura respiratória, os músculos periféricos apresentam mudanças em sua estrutura, relacionadas à espessura. Fazzini *et al*.,(2023), em uma revisão sistemática de 53 estudos, com 3.251 indivíduos em estado crítico, demonstraram que indivíduos submetidos à VM apresentaram perda de massa muscular de forma progressiva de aproximadamente 2% ao dia, durante a primeira semana de UTI (Fazzini *et al*., 2023). Essa perda progressiva foi observada tanto nos músculos periféricos, quanto nos músculos respiratórios, especialmente no diafragma (Fazzini *et al*., 2023).

Alterações de espessura do quadríceps foram observadas com graus de perda de massa muscular variáveis no período entre o início e o final da primeira

semana de VM. Puthucheary *et al*., (2013),foram os primeiros autores a observarem essa perda relevante de massa muscular na primeira semana de VM (Puthucheary *et al*., 2013). Hanza et al., (2018) avaliaram o reto femoral e o vasto intermédio por meio da USeq em 81 indivíduos em VM prolongada, no primeiro, sétimo, décimo quarto e vigésimo primeiro dias, utilizando as medidas de área de secção transversa e de espessura muscular. Foi observada perda acentuada (11%) do primeiro até o sétimo dia e perda de 18,3% da espessura do vasto intermédio até o décimo quarto dia de VM (Hamza *et al*., 2022). Pardo *et al*.,(2018) avaliaram a espessura do músculo quadríceps no primeiro, sétimo e vigésimo primeiro dias de internação em UTI e observaram perda significante de 16% do primeiro ao sétimo dia, com perda total de 24% ao final do vigésimo primeiro dia (Pardo *et al*., 2018).Lopes *et al.,* (2025) avaliaram a área de secção transversa do reto femoral e a espessura do quadríceps de 128 indivíduos e observaram uma diferença significativa de perda de massa muscular entre o primeiro, terceiro e sétimo dias de internação em UTI. Houve redução de 5% e 13% na espessura do quadríceps e 10% e 27% na área de secção transversa do reto femoral entre o terceiro e o sétimo dia de UTI, respectivamente (Lopes *et al.*, 2025). Semelhantemente, um estudo que avaliou 50 indivíduos em VM, após 48 horas, no primeiro, terceiro e sétimo dia de VM, mostrou uma perda significativa de área de secção transversa do reto femoral, espessura de diafragma e intercostais, com redução significativa da primeira medida em relação ao sétimo dia de VM (Formenti *et al*., 2019).

Umbrello *et al*. (2023) demonstraram diferenças ultrassonográficas da área de secção transversa do quadríceps e da espessura do diafragma entre indivíduos ventilados mecanicamente. Foi observada perda de espessura nos dois músculos avaliados, principalmente na progressão do primeiro ao sétimo dia de UTI, como foi demonstrado na figura 2. (Umbrello *et al.*, 2023).

Figura 2. Evolução da perda de área de secção transversa e espessura, respectivamente dos músculos quadríceps e diafragma.



Legenda: A) e C) área de secção transversa do quadríceps e espessura diafragma pela ultrassonografia no dia 1 de UTI, B) e D) área de secção transversa do quadríceps e espessura do diafragma no dia 7. **Fonte**: UMBRELLO *et al.,*2023,p.9.(Umbrello *et al.*, 2023).

3 ÍNDICES DE DESMAME DE VM

Quando a razão que levou o indivíduo a receber o suporte ventilatório está resolvida, o foco clínico deve ser direcionado à retirada do suporte ventilatório (Formenti *et al*., 2019). Atrasos na descontinuação da VM por algum tipo de demanda clínica ou retirada prematura, têm impacto negativo na função muscular (Formenti *et al*., 2019). Índices que avaliam o melhor momento de retirada da VM têm sido propostos e comparados aos índices mais estudados na literatura. A avaliação da função muscular, por meio de índices capazes de prever desfechos no desmame, tanto dos músculos respiratórios quanto do diafragma e músculos periféricos, especialmente o quadríceps, tem sido estudados (Poddighe *et al*., 2024). Entre esses índices estão: o IEIC (Silva Neto *et al*., 2020), EMGsdi (Al Tayar; Abdelshafey, 2022),a ultrassonografia diafragmática, por meio da Fedi (Vieira Santana *et al*., 2020)e a espessura do quadríceps obtida pela ultrassonografia (Er *et al*., 2023).Esses índices serão descritos a seguir.

3.1-Índice de esforço inspiratório cronometrado (IEIC)

O IEIC tem sido considerado como um índice de alta precisão, confiável e reprodutível para avaliar a função dos músculos respiratórios na descontinuidade da VM(Silva Neto *et al*., 2020). Ele foi proposto em 2013 e criado a partir da normalização da pressão inspiratória contra uma via aérea ocluída,por meio de um manovacuômetro, que oclui a via aérea durante 60 segundos(Souza; Guimarães; Lugon, 2015).Foi proposto que resultados maiores do que 1 cm H_2O/s na razão entre a pressão inspiratória máxima e o tempo necessário para atingi-la, seria um preditor de sucesso de desmame da VM (Souza; Guimarães; Lugon, 2015).

O IEIC foi comparado aos índices preditores de desmame mais conhecidos na literatura (Souza; Guimarães; Lugon, 2015).Em um estudo, que avaliou 73 indivíduos comparando o IEIC à pressão inspiratória máxima (PImáx), avaliada com oclusão de 20 segundos, índice de desmame integrativo, índice tempo tensão não invasivo e índice de respiração rápida e superficial, demonstrou que o IEIC possui maior reprodutibilidade e especificidade dentre eles, para avaliar desfecho de desmame (Souza; Guimarães; Lugon, 2015). Um estudo com indivíduos traqueostomizados em desmame prolongado, observou que o IEIC avaliado em

medidas seriadas semanais, foi capaz de prever sucesso no desmame de VM, utilizando o valor de referência maior do que 1 cm H_2O/s como referência (Silva Guimarães *et al*., 2019). A atividade elétrica dos músculos respiratórios no momento da medida do IEIC foi avaliada por meio da eletromiografia, em indivíduos que obtiveram sucesso e insucesso no desmame de VM. Foi observado que os músculos diafragma e esternocleidomastoideo apresentaram maior atividade elétrica nos indivíduos que obtiveram sucesso no desmame (Souza; Guimarães; Lugon, 2015).

3.2-Eletromiografia diafragmática (EMGdi)

O impulso respiratório é o sinal ou estímulo que regula a respiração (Vaporidi *et al*., 2020) e a doença crítica pode afetar esse impulso, em diferentes vias, podendo ser cortical, metabólica ou química (Vaporidi *et al.*, 2020). O trajeto principal desse impulso inicia-se no sistema nervoso central, passando por vias neurais, até chegar aos músculos respiratórios, onde existe a execução da respiração (Georgopoulos *et al*., 2024). Ele só pode ser medido de forma indireta (Vaporidi *et al*., 2020) e as técnicas utilizadas para isso são: pressão trans diafragmática (Pdi), pressão muscular respiratória (Pmus), pressão de oclusão das vias aéreas (P0,1) e a eletromiografia (EMG) que avalia a atividade elétrica do diafragma (EAdi) (Georgopoulos *et al*., 2024).

A EMG é um registro da soma espacial e temporal dos potenciais de ação das unidades motoras do músculo em contração (Vaporidi *et al*., 2020). A EAdi é a medida mais próxima do sistema nervoso central (Vaporidi *et al*., 2020).Para as medidas de eletromiografia diafragmática (EMGdi) podem ser utilizados três tipos de eletrodos, que podem ser inseridos na pele, por meio de eletrodos de superfície no esôfago, utilizando-se de cateteres esofágicos ou podem ser inseridos no músculo, utilizando-se de eletrodos de agulha. Os eletrodos de agulhas são os menos usuais devido ao desconforto e risco de pneumotórax (*ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing*, 2002).

3.3 - Eletromiografia por cateter esofágico (EMGedi)

A eletromiografia por catéter esofágico avalia a porção crural do diafragma. A medida é feita a partir da atividade do nervo frênico e registra apenas, uma pequena amostra do número total de unidades motoras diafragmáticas crurais ativadas (Vaporidi *et al.*, 2020). Essa técnica é considerada padrão ouro de medida da atividade elétrica muscular do diafragma e utiliza-se de cateter de medida de pressão esofágica (*ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing*, 2002).Os cateteres esofágicos, são inseridos pelo nariz ou pela boca e são posicionados ao nível do diafragma crural que situa-se de um a três centímetros na porção cefálica da junção gastresofágica *(ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing*, 2002). Ela é uma técnica de difícil execução, pois, é invasiva e com uso restrito, por necessitar de sonda esofágica corretamente posicionada e tecnologias específicas para a aferição correta da medida *(ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing, 2002)*.

3.4 - Eletromiografia de superfície (EMGsdi)

A EMsdi é uma técnica que utiliza eletrodos fixados na pele de forma não invasiva, de fácil aplicação e indolor (Bellani *et al.*, 2018). Ela avalia a parte costal do diafragma. Na EMsdi, os sinais elétricos detectados são adquiridos por meio de mudanças fisiológicas nas membranas celulares das fibras musculares (Vaporidi *et al.*, 2020). O músculo tem a capacidade de gerar e conduzir impulsos elétricos, ou seja, durante sua contração, ocorre uma despolarização da membrana muscular que gera um sinal elétrico registrado por meio da EMG (Vaporidi *et al*., 2020). A EMGsdi não possui valores de normalidade estabelecidos, se tratando apenas de medidas de tendência, resultantes das mudanças do comportamento do estímulo elétrico ao longo do tempo (Vaporidi *et al*., 2020).

3.5- Comparação entre EMGsdi e EMGedi

A EMGedi, por sua importância nas medidas, mas de difícil aplicabilidade, vem sendo comparada com a de superfície (Bellani *et al*., 2018). Bellani et.al.(2018) avaliaram a confiabilidade da medida de EMGsdi e dos músculos respiratórios, durante o esforço respiratório de indivíduos em TRE (Bellani *et al.*, 2018). As comparações entre medidas invasivas de EMGedi e EMGsdi, demonstraram ser medidas confiáveis para medida de esforço respiratório em indivíduos em TER (Bellani *et al*., 2018). Lokin *et al*.(2020), semelhantemente avaliaram os dois tipos de EMG e observaram que os dois métodos se correlacionaram quando foram avaliados durante um período de tempo (Lokin *et al.*, 2020).

Linet al., (2023) estudaram dois grupos de indivíduos, o primeiro composto por indivíduos saudáveis, recebendo treinamento muscular e outro grupo por indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), recebendo ventilação não invasiva. Os autores demonstraram que a EMGedi e a de EMGsdi foram correlacionadas em diferentes níveis de esforços (Lin *et al.*, 2024b). Grabhoff et al.,(2021) e Jonkman *et al.,* (2024), avaliaram a correlação de medidas de EMGedie de EMGsdi na avaliação do esforço respiratório durante a VM e concluíram que a EMGsdi é uma alternativa, não invasiva de medida da atividade elétrica diafragmática (Graßhoff *et al*., 2021; Jonkman *et al*., 2024).

3.6 - Eletromiografia diafragmática e desmame de VM

A EMGdi dentro da UTI vem sendo utilizada para avaliar a atividade dos músculos respiratórios e o nível de esforço respiratório, como forma de auxiliar nas estratégias de VM e de desmame. A EMGdi comparada à ultrassonografia diafragmática, em indivíduos intubados com mais de 48 horas, demonstrou baixo poder preditivo em relação à medida de fração de espessamento diafragmático (Al Tayar; Abdelshafey, 2022).

Uma comparação feita entre EMGsdi, músculos expiratórios e acessórios após TRE, em indivíduos entubados por mais de 48 horas de VM, demonstrou que, valores elevados de estímulo elétrico dos músculos diafragma, músculos acessórios e expiratórios foram associados ao insucesso de desmame (Roesthuis *et al.,* 2020).

Possi *et al*.,(2022) avaliaram o TRE durante duas horas, inicialmente utilizando ventilação em pressão de suporte (PSV) como linha de base, por dez minutos e posteriormente utilizando a pressão positiva contínuas nas vias aéreas (CPAP), sem a variação de PEEP e da fração inspirada de oxigênio (FiO_2) e observaram aumento significativo na EMG em indivíduos que falharam no desmame da VM (Pozzi *et al.*, 2022). Resultado semelhante foi observado por Diau *et al*., (2024) na avaliação da AEdi durante TRE por 120 minutos, nos primeiros 30 minutos em PSV de 10 cmH_2O e posteriormente em PSV de zero (Diao *et al.*, 2024).

Um estudo piloto realizado em desmame difícil com 18 indivíduos ficou demonstrado que há associação de altos valores de AEdi com a maior possibilidade de insucesso no desmame (Barwing *et al*., 2013).

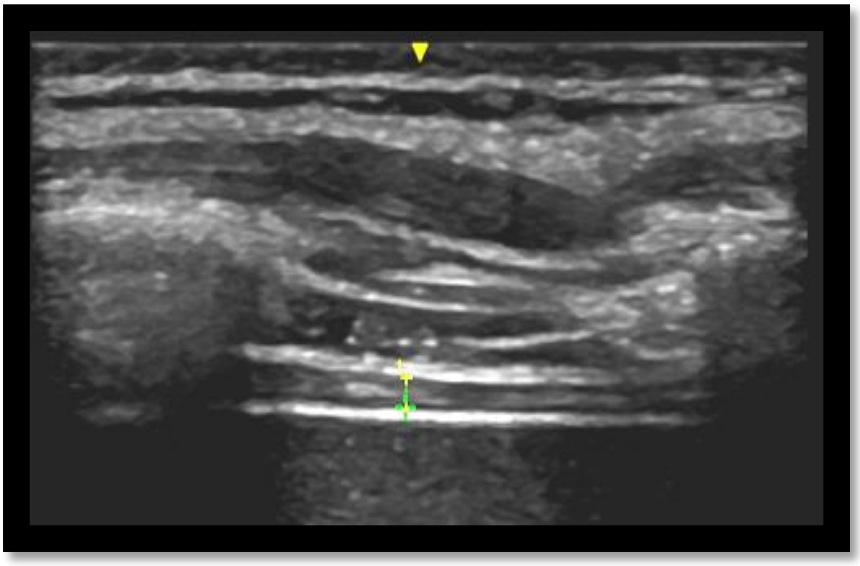
3.7- Ultrassonografia diafragmática

A ultrassonografia diafragmática (USdi) foi primeiramente descrita na década de 1960 e até os dias de hoje, vem sendo apontada como uma ferramenta viável e que nos auxilia a avaliar a função diafragmática em doentes críticos (Truong *et al.*, 2023). Existe variação nas técnicas de aquisição de imagens e análises metodológicas (Truong *et al*., 2023), porém, os métodos tradicionais mais estudados de USdi, como preditores de sucesso de desmame são: a espessura muscular, a FEdi e a incursão diafragmática (ID)(Truong *et al*., 2023). Outras técnicas vêm surgindo, porém ainda pouco estudadas, como a técnica de Doppler tecidual e a elastografia por onda de cisalhamento (Santana; Cardenas; Albuquerque, 2023b).

A USdi permite avaliar a espessura muscular (Figura 3) como índices preditivos de desmame da VM(Santana; Cardenas; Albuquerque, 2023b). A espessura diafragmática diminui de sete a 16%, por dia, em modos controlados de VM e como consequência foram observados piores desfechos de desmame (Powers, 2024). A perda de 10% de espessura basal avaliadas desde o primeiro dia de VM é um valor sugestivo de piores desfechos de desmame de VM (Goligher *et al.*, 2018b). Por outro lado, valores basais com ganho acima de 10% de espessura, relacionadas à medida inicial, em indivíduos em VM, são da mesma forma, apontados na literatura com piores desfechos, devido a maiores esforços respiratórios e edema muscular instalado. Isso em danos estruturais nas fibras do

diafragma, porém essa justificativa e os valores atingidos, ainda não foram confirmados (Goligher *et al.*, 2018b).

Figura 3. Medida de espessura diafragmática pela US.



Fonte: arquivo pessoal.

Outra técnica com potencial de avaliar desfecho de desmame de VM é a medida de Incursão diafragmática (ID) (Santana; Cardenas; Albuquerque, 2023b; Vieira Santana *et al.*, 2020). Estudos de revisão sugeriram que valores de ID menores do que, um a 1,4 cm são sugestivos de falhas no desmame (Santana; Cardenas; Albuquerque, 2023b; Vieira Santana *et al.*, 2020). Outra abordagem com potencial de avaliar desfecho de descontinuidade da VM é a FEdi. Essa técnica foi descrita por Wait *et al*.(1989) (Saad et al., 2023; Wait *et al.*, 1989), e apesar de ser antiga, observou-se, no primeiro consenso realizado por especialistas em ultrassonografia diafragmática, realizada em 2022, que ainda não existe uma definição de valores preditivos de desfecho no desmame de VM avaliados pela Fedi (Haaksma *et al*., 2022). O consenso discutiu a dificuldade em definir valores preditivos, devido à heterogeneidade nos desenhos dos estudos como: diferentes tipos de TRE, definições de desmame e populações estudadas (Haaksma *et al.*, 2022). Por outro lado, artigos de revisões apontam que valores menores situados entre 20 a 36% são sugestivos de falhas no desmame de VM (Marques et al., 2024; Vieira Santana *et al*., 2020).

A ID e a medida de FEdi foram analisadas em um estudo de revisão e ficou demonstrado que a FEdi tem maior acurácia em relação à medida de ID (Marques *et al.*, 2024). Resultado semelhante foi descrito por Mahmoodpoor *et al*., (2022), em uma revisão sistemática com metanálise de 19 estudos, envolvendo114 indivíduos, sendo a FEdi comparada à ID e ao índice de respiração rápida e superficial (IRRS). A FEdi apresentou maior acurácia na previsão de sucesso de desmame (Mahmoodpoor *et al*., 2022).

Segundo Poddighe *et al*.(2024), a FEdi foi mais precisa em prever o desfecho do desmame, na comparação entre diferentes índices preditores estudados na literatura, tais como: PImax, pressões expiratórias máximas (PEmax), FEdi, ID, espessura expiratória do diafragma, pressão de oclusão das vias aéreas (P0,1), atividade elétrica dos músculos respiratórios, avaliações volitivas e não volitivas das pressões trans diafragmáticas e de abertura das vias aéreas(Poddighe *et al*., 2024).

A FEdi foi comparada ao *íntegrative weaning índex* (IWI). O IWI integra três parâmetros a serem avaliados em uma equação única, a mecânica respiratória, a oxigenação e o padrão respiratório e foi demonstrado que os dois preditores, avaliados em conjunto, têm maior probabilidade de prever desfecho no desmame (Lin *et al.*, 2024b).

Em recente revisão sistemática com metanálise, Le Neindre, *et. al*.(2021) analisaram 28 estudos, relacionados à ultrassonografia diafragmática aplicada como preditor de desmame e demonstraram alta especificidade da FEdi e ID em prever risco de falência na extubação (Le Neindre *et al*., 2021).Outra revisão sistemática com metanálise publicada por Parada-Gereda *et al*. (2023),que incluiu 26 estudos e 1.204 indivíduos, avaliaram a FEdi e ID e verificaram que houve alta probabilidade de sucesso de desmame com acurácia diagnóstica satisfatória da USd. O ponto negativo detectado pelo trabalho foi a heterogeneidade dos estudos em relação às definições de desmame e às técnicas de medida (Parada-Gereda *et al.*, 2023).

3.7-Ultrassonografia do quadríceps

Os indivíduos em estado crítico, que frequentemente estão submetidos à restrição no leito, por diferentes condições clínicas, estão passíveis de apresentar perda

muscular. A avaliação da evolução de perda muscular tem sido objeto de estudo, no sentido de aperfeiçoar o manejo clínico (Hamza *et al*., 2022).

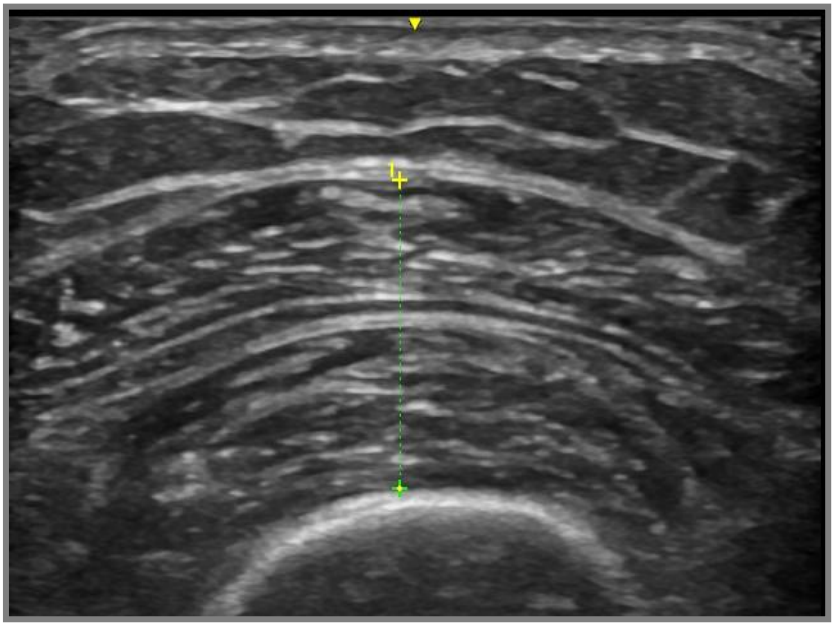
Os músculos mais comumente avaliados em terapia intensiva são: o quadríceps, bíceps braquial e o gastroctenêmio, porém, o quadríceps apresenta maior facilidade de identificação e localização e tem grande participação nas atividades funcionais, sendo assim, um dos músculos mais estudados (Formenti *et al.*, 2019). O quadríceps é um músculo penado e para avaliação ultrassonográfica desse tipo de músculo, existem diferentes técnicas de medida da arquitetura muscular, tanto do ponto de vista quantitativo, quanto qualitativo. Entre as medidas, em termos quantitativos mais comuns, podemos citar a medida de espessura (Figura 4), medida de área de secção transversa, ângulo de penação, além de medidas de ecointensidade, que representa a qualidade muscular (Formenti *et al.*, 2019; Umbrello *et al*., 2023).

A Ultrassonografia do quadríceps, avalia a arquitetura muscular que se refere à disposição física das fibras musculares ao nível macroscópico e determina a função mecânica do músculo. Em indivíduos saudáveis, apresentam-se de forma diferenciada comparada aos músculos dos indivíduos em estado crítico, pois os últimos, estão sujeitos a vários fatores que modificam a estrutura muscular (Umbrello *et al.*, 2023; Werkhausen *et al*., 2023).

Além de ter um papel de controle na evolução da espessura muscular, a ultrassonografia de quadríceps vem sendo estudada como um parâmetro para avaliar o desfecho do desmame da VM. Er *et al*.,(2021) avaliaram a espessura do quadríceps em indivíduos em VM por até 36 horas e os resultados obtidos mostraram que, os indivíduos que estavam em desmame da VM e que apresentaram uma soma de espessura dos músculos reto femoral e vasto intermédio, menor que 2,1 centímetros, apresentaram maior tendência à falha no desmame (Er *et al*., 2023). Por outro lado, Fritsch *et al*.,(2023) avaliaram longitudinalmente, 50 indivíduos em desmame prolongado da VM e observaram que não houve redução da espessura do quadríceps ao longo do processo de desmame (Fritsch *et al*., 2024).

Vieira *et al*., (2023) avaliaram outra técnica de medida do quadríceps pela ultrassonografia e demonstraram que existiu associação de maiores medidas de área de secção transversa do reto femoral com o sucesso do desmame, em indivíduos críticos crônicos e traqueostomizados.

Figura 4. Medida de espessura do quadríceps pela US.



Fonte: arquivo pessoal.

4 JUSTIFICATIVA

O avanço tecnológico e científico tem propiciado aos indivíduos internados em terapia intensiva a possibilidade de suporte de vida mais eficaz, o que tem contribuído para o aumento da taxa de sobrevivência. Por outro lado, tem aumentado o número de indivíduos que requerem ventilação mecânica prolongada (VMP). Esse prolongamento é um dos fatores que influenciam no declínio da função muscular, pois ocorre a instalação da fraqueza dos músculos respiratórios, diafragma e apendiculares, relacionada à doença crítica e a evolução para o desmame prolongado da VM. Estudos investigam índices que consigam prever o desfecho do desmame, no entanto, as casuísticas são heterogêneas e realizadas em diferentes momentos da VM e, na maioria das vezes, envolvem indivíduos com pouco tempo de suporte ventilatório e entubados.

Sabe-se, porém, que a traqueostomia apresenta características diferentes do tubo orotraqueal, e é a prótese ventilatória de escolha para indivíduos em desmame prolongado. Outro ponto importante é que, com o aumento do tempo de VM, existem mudanças estruturais, histológicas e bioquímicas dos músculos, sendo assim, a função muscular em indivíduos em desmame prolongado deve ser estudado de forma específica, o que justifica a execução desse trabalho.

5 OBJETIVO

5.1- Objetivo principal

Avaliar se existe associação entre os desfechos de desmame da VM com as medidas de função de muscular avaliadas pelo índice de esforço inspiratório cronometrado (IEIC), eletromiografia de superfície diafragmática (EMGsdi), fração de espessamento do diafragma (FEdi) e espessura do músculo quadríceps pela ultrassonografia (USq), em indivíduos traqueostomizados em VM e desmame prolongado.

5.2- Objetivos secundários

Investigar se os valores de IEIC EMGsdi, FEdi e USeq, se associaram aos desfechos hospitalares (alta e óbito) e de desmame da VM em indivíduos traqueostomizados em VM e em desmame prolongados.

Avaliar o comportamento dos índices EMGsdi, FEdi, USeq e IEIC, ao longo do tempo (pré-desconexão, 24 horas e 48 horas pós-desconexão da VM) e se existe associação entre as alterações dos índices ao longo do tempo com o desfecho no desmame.

Avaliar a confiabilidade de medidas de USeq intra e inter examinadores, com e sem experiência.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 - Artigo 1

O artigo foi formatado segundo as normas do periódico *Respiratory Care* ao qual foi submetido e já recebeu a solicitação de correções para possível publicação em breve.

ARTIGO TRANSVERSAL

CAN RESPIRATORY AND PERIPHERAL MUSCLE PERFORMANCE IMPACT CLINICAL OUTCOMES IN PROLONGED WEANING IN MECHANICAL VENTILATION IN INDIVIDUALS WITH TRACHEOSTOMY?

ABSTRACT

INTRODUCTION: Evaluating the rates of weaning success and hospital outcomes of individuals with tracheostomy may help identify the ideal time to interrupt MV and reduce unfavorable clinical outcomes. **OBJECTIVE**: to investigate whether the values of surface diaphragm electromyography (sEMGdi), timed inspiratory effort (TIE) index, diaphragm thickening fraction (DTF), and quadriceps muscle thickness (QMT) influenced the weaning success and hospital outcome (discharge or death) of individuals with tracheostomy. **METHODS**: this cross-sectional study included individuals of both sexes, aged over 18 years, who were tracheostomized, under prolonged weaning, and who had success in the spontaneous breathing test. Those with acute intracranial hypertension, respiratory isolation, clinical instability, who were unable to perform the measurements, or who did not sign the informed consent form were excluded. **RESULTS**: of 215 individuals eligible, 90 were included; 25 were excluded, and 65 were analyzed. Of these, 40 (61%) were men, and they were divided according to weaning success (n = 25) or failure (n = 40). The mean Simplified Acute Physiology Score III was 58.9 (12.0 - 93.0), the length of stay in the intensive care unit was 21.4 days (7.0 - 43.0), and the mean MV time was 14.3 days (7.0 - 42.0). Thirty-three individuals were discharged from the hospital, and 32 died.

Although the sEMGdi (r = 0.10, p = 0.469), DTF(r = 0.08, p = 0.519), QMT(r = -0.10, p = 0.447), and TIE index (r = -0.06, p = 0.638) did not influence the weaning success (p > 0.05), sEMGdi and DTF determined a higher chance of mortality (rbp = 0.29; p = 0.022; rbp = 0.25; p = 0.043). **CONCLUSION**: the TIE index, DTF, QMT, and sEMGdi indices did not influence weaning success. The higher chance of mortality was associated with lower DTF and high sEMGdi values.

Keywords: tracheostomy, artificial ventilation, electromyography, maximum respiratory pressures, ultrasonography, and diaphragm.

INTRODUCTION

Prolonged ventilatory support is associated with unfavorable clinical outcomes, such as dysfunction and atrophy of peripheral and respiratory muscles, especially the diaphragm [1]. Dependence on mechanical ventilation (MV) may lead to prolonged weaning, the need for tracheostomy, and increased mortality rates [2].

Some predictive indices of weaning success have been incorporated into clinical practice, such as surface diaphragm electromyography (sEMGdi) [3], diaphragmatic [4,5] and quadriceps ultrasounds [6], and the timed inspiratory effort (TIE) index [7]. This index is used to assess the strength of inspiratory muscles of individuals under MV [8], and values over 1 cmH_2O/s are predictors of successful weaning [9].

Diaphragmatic electromyography evaluates the electrical activity of the diaphragm and may be used during weaning [10]. The sEMGdi surface electrodes present advantages over invasive diaphragmatic electromyography captured by an esophageal catheter in individuals under MV. Furthermore, the measurements of the sEMGdi are independent of the mechanical ventilator and may be correlated with the values of the invasive method [11,12].

The diaphragm thickening fraction (DTF) obtained by ultrasound is another predictor of weaning success, with cutoff points ranging from 20% to 36% [4]. The DTF is more accurate for estimating diaphragmatic function than the incursion measurement in individuals under MV [13].

As in the diaphragm, limb ultrasound may predict the weaning success based on the values of quadriceps muscle thickness (QMT). Thirty-six hours after the beginning of ventilatory support, a thickness below 0.21 cm determines the weaning failure [6].

Prolonged weaning requires more than seven days between the first attempt and the final cessation of MV [14,15]. The use of indexes to predict hospital outcomes and weaning success in individuals with tracheostomy submitted to prolonged MV is still controversial. Therefore, this study evaluated whether the TIE index, sEMGdi, DTF, and QMT influenced hospital outcomes and weaning success in individuals with tracheostomy submitted to prolonged weaning.

METHODS

This cross-sectional study was conducted from March 2022 to November 2023 in an intensive care unit (ICU) at the Hospital Risoleta Tolentino Neves in partnership with the Federal University of Minas Gerais (UFMG), Brazil. The study was approved by the research ethics committee (CAAE: 54575221.60000.5149).

Inclusion and exclusion criteria

Inclusion criteria considered individuals with tracheostomy of both sexes, aged over 18 years, in prolonged weaning [14,15] without sedation, and who tolerated 30 minutes of the spontaneous breathing test (SBT). Those with acute neurological impairments, using intracranial pressure monitoring, with progressive neuromuscular diseases, in respiratory isolation, who did not sign the informed consent form, or who presented clinical and hemodynamic instability (acute myocardial infarction, atrial fibrillation, or need for vasoactive drugs), head and neck disease, and required early tracheostomies were excluded.

Sample characterization

The data collected included sex, age, body mass index, MV time, ICU length of stay, and severity score assessed by Simplified Acute Physiology Score III (SAPSIII) [16] in the ICU admission. The assessment of organic dysfunction was obtained by the Sequential Organ Failure Assessment (SOFA) [17], and the level of consciousness was assessed by the Glasgow Coma Scale (GCS); both were applied during data collection.

Protocol of spontaneous breathing test

All individuals were under MV using a Maquet® *Servo-i* ventilator, and vital data (electrocardiogram, heart rate [HR], respiratory rate [RR], peripheral oxygen saturation, and mean arterial pressure) were monitored using a Dixtal®

multiparameter monitor. Following institutional protocol parameters, the individuals underwent the SBT for 30 minutes in spontaneous mode with 8 cmH_2O of support pressure, 5 cmH_2O of positive end-expiratory pressure, a fraction of inspired oxygen below 40%, and peripheral oxygen saturation above 94%. After SBT, the care team decided to progress with weaning the individuals who had no significant changes in vital (HR, blood pressure, and RR) or respiratory distress signs (sweating, accessory respiratory muscles use, or nasal wing flaring); only these individuals were evaluated [18].

MV disconnection protocol, analysis of weaning success, and hospitalization outcome

After the decision on weaning, a researcher not involved in the decision performed DTF, QMT, sEMGdi, and TIE index assessments in the same sequence, with the individual still under MV using the same parameters of the SBT. The results were not revealed to the care team to not influence the decision of weaning progression. After the assessments, the individuals were disconnected from the MV and observed for 48 hours [18].Weaning was considered successful when the individual remained for 48 uninterrupted hours without returning to MV and unsuccessful when the individual returned to MV before 48 hours; the reasons for failure could be significant changes in vital, clinical, and hemodynamic parameters, signs of respiratory distress and changes in the level of consciousness (sweating, use of accessory respiratory muscles, agitation, or decreased level of consciousness). The hospital discharge and death rates were also analyzed.

Ultrasound assessment

Ultrasound of the diaphragm and quadriceps was performed by the same evaluator using a GE Healthcare device (model Logic E R7 PRO, in B mode) with a linear transducer and a frequency between 5 and 13 MHz. For the DTF assessment,

the individual was placed in a supine position on the bed, with the headboard elevated to 35º and the right arm positioned above the head. The transducer was positioned vertically at the apposition zone of the diaphragm, between the anterior and middle axillary lines, and between the eighth and ninth intercostal spaces. The diaphragm was identified by visualizing a muscular layer delimited by two hyperechoic lines (i.e., the pleural and the peritoneal lines). The thickness at the end of inspiration and the end of expiration were evaluated, and the DTF formula was applied: ([thickness at the end of inspiration - thickness at the end of expiration]/thickness at the end of expiration) x 100[4,19].

Then, the individual was placed in the supine position, with the head elevated at 35° of trunk flexion and the knee extended to assess the thickness of the right quadriceps. All measurements were taken in the lower third of the distance between the anterior superior iliac spine and the upper edge of the patella. With minimal compression, the transducer was positioned perpendicular to the femur in the transverse axis. The sum of the linear measurements of the rectus femoris and vastus intermedius muscles was considered, positioned between the lower edge of the upper fascia of the rectus femoris to the upper bony edge of the femur [20].

Assessment of surface electromyography

The sEMGdi was measured by a surface electromyograph from the EMG System of Brazil Ltda (series EMG800C, model NS 00263). The individual was placed in the supine position with the head elevated at 35° and a channel with two self-adhesive electrodes (3MBrazil®) was positioned 5 cm from the xiphoid process and in the costal margin on the right (16 cm of distance between them). The signal was acquired at 500Hz, and the amplitude sensitivity was 500μV. The signals from muscular electrical activity were visualized for 10s, determined by the EMG System of Brazil software, represented by the Root Mean Square (RMS) [21].

Assessment of the TIE index

The TIE index was measured with a digital manovacuometer developed by the Center for Studies and Research in Biomedical Engineering and the Research Laboratory – Lab Care of the Department of Physiotherapy at UFMG, Brazil. The equipment was coupled to the unidirectional valve, and the individual was previously subjected to tracheal aspiration, with pre-oxygenation at 100% of the fraction of inspired oxygen for two minutes. Before the test, the tracheostomy cuff was adjusted to prevent leaks during the inspiratory effort. Then, the MV was disconnected, and the manovacuometer was connected; the inspiratory pressure peaks were computed and demonstrated graphically during 60 seconds of occlusion. The TIE index was calculated by the ratio between the maximum peak inspiratory pressure and the time to reach it. The assessment was interrupted in case of a 20% increase from baseline in HR, > 120 bpm, or < 60 bpm; arterial pressure > 120 mmHg or < 70 mmHg; peripheral oxygen saturation < 90%; RR > 45 bpm or signs of respiratory distress (sweating, psychomotor agitation, or sudden decrease in the level of consciousness) [8].

STATISTICAL ANALYSIS

This cross-sectional study aimed to establish factors influencing hospital outcomes using a binomial regression model. Considering the conservative proportion of events ($\rho = 0.50$) and the possibility of including up to three independent variables in the model, the sample size was established based on the equation $N \geq 10k/\rho$[22], resulting in a minimum of 60 individuals.

The data were expressed as mean (minimum-maximum) and absolute and relative frequency. The Shapiro-Wilk test [23] assessed the data normality, and if negative, the bootstrap with 500 simple sampling replicates [24] was used. Biserial correlation analyses by points were performed to evaluate the bivariate associations of weaning (success or failure) and hospital outcomes (discharge or death) with the

ultrasound (DTF and QMT), sEMGdi, TIE index, and clinical variables. Multivariate logistic analysis was used for the variables with a significance level in the outcome [25]. The effect size was determined by the criterion of Cohen [26]. The significance level adopted was $p < 0.05$. The data were analyzed using SPSS (version 23.0).

RESULTS

A total of 215 individuals with tracheostomy undergoing prolonged weaning were eligible. Among them, 125 were excluded due to death (n = 6), refusal to sign the informed consent form (n = 32), did not meet the inclusion criteria (n = 32), clinical instability (n = 24), spinal cord trauma (n = 3), acute intracranial hypertension (n = 3), for being in respiratory isolation (n = 2), or segment losses (n = 55) (i.e., individuals disconnected from MV before the protocol measurements, or due the impossibility of the leading researcher being present). A total of 90 individuals were included, and 25 were excluded due to the impossibility of following the protocol (Figure 1). Thus, 65 individuals were analyzed and divided according to weaning success (n = 25) or failure (n = 40). Hospital outcomes indicated 32 deaths and 33 discharges (Figure 1).

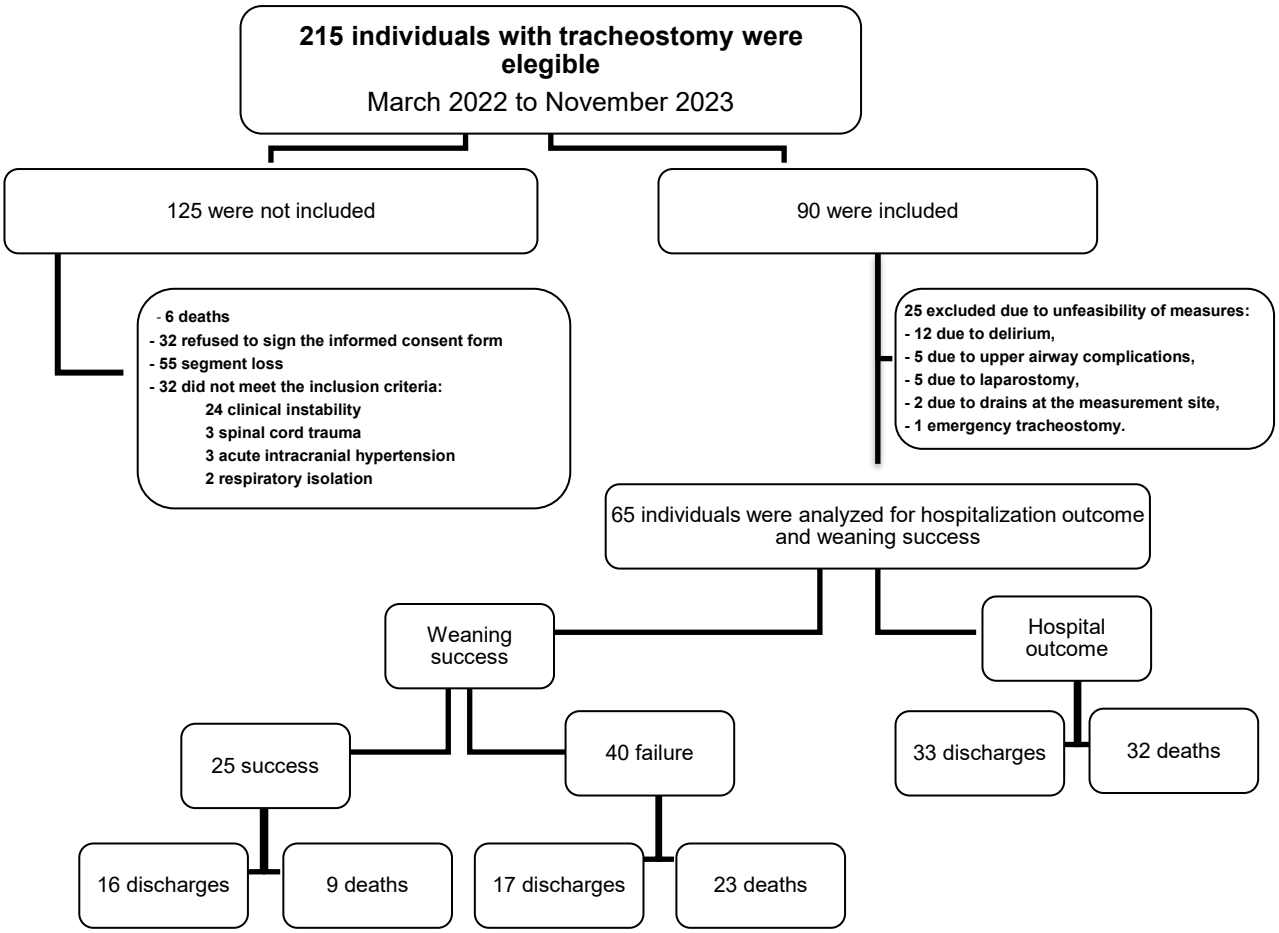


Figure1. Study flowchart.

The characteristics of the sample and the weaning success are described in Table 1.

Table 1. Sample characterization regarding the weaning outcome.

Variables	SAMPLE (n= 65)	SUCCESS GROUP (n= 25)	FAILURE GROUP (n= 40)	p-value
Age (years)	60.0 (18.0 – 84.0)	58.3 (20.0 – 84.0)	61.0 (18.0 – 84.0)	0.497
Sex, male (n / %)	40 / 61.5	13 / 52.0	27 / 67.5	0.211
BMI (kg/m^2)	25.3 (14.0 – 45.5)	24.3 (14.0 – 31.7)	26.0 (17.1 – 45.5)	0.217
GCS	7.4 (3.0– 11.0)	9.1 (3.0 – 11.0)	6.3 (3.0 – 11.0)	**0.001***
SAPS III	58.9 (12.0– 93.0)	51.6 (12.0 – 73.0)	63.4 (28.0 – 93.0)	**0.007***
SOFA	4.7 (0.0 – 8.0)	4.6 (2.0 – 8.0)	4.8 (0.0 – 7.0)	0.427
Diagnosis (n / %)				0.753
CVA	24 / 36.9	10 / 40.0	14 / 35.0	
TBI	10 / 15.4	6 / 24.0	4 / 10.0	
Acute abdomen	6 / 9.2	2 / 8.0	4 / 10.0	
Sepsis	5 / 7.7	1 / 4.0	4 / 10.0	
Other+	20 / 30.8	6 / 24.0	14 / 35.0	
MVtime (days)	14.3 (7.0 – 42.0)	12.4 (7.0 – 20.0)	15.4 (7.0 – 42.0)	0.086
ICU length of stay	21.4 (7.0– 43.0)	19.5 (7.0 – 40.0)	15.4 (7.0 – 42.0)	0.194
Hosp.Outcome./ discharge (n/%)	33 / 50.8	16 / 64.0	17 / 42.5	0.092
Insp. thickness (cm)	0.21 (0.10 - 0.37)	0.22 (0.13 – 0.34)	0.20 (0.10–0.37)	0.762

Continuation of table 1

Variables	SAMPLE (n= 65)	SUCCESS GROUP (n= 25)	FAILURE GROUP (n= 40)	p-value
Exp. thickness (cm)	0.18 (0.05 – 0.35)	0.18 (0.11 – 0.31)	0.18 (0.05–0.35)	0.867
DTF (%)	16.44 (1.0 – 47.0)	15.50 (4.0 – 47.0)	17.01 (1.0 – 40.0)	0.549
QMT (cm)	1.57 (0.81 – 3.41)	1.55 (0.80 – 3.41)	1.54 (0.56 – 3.09)	0.433
sEMGdi-RMS (μV)	6.8 (3.1 – 16.8)	6.3 (3.4 – 16.8)	7.2 (3.1 – 14.9)	0.329
Max insp. peak (cmH2O)	79.7 (30.0 – 15.0)	75.7 (33.0– 153.0)	82.0 (30.0– 34.0)	0.565
Time to peak (s)++	54.1 (14.0 – 60.0)	52.6 (14.0 – 60.0)	54.9 (31.0–60.0)	0.435
TIE index (cmH_2O/s)	1.5 (0.2 – 4.7)	1.6 (0.6 – 4.7)	1.5 (0.2 – 3.1)	0.705

Data is expressed as mean (minimum-maximum) and absolute and relative frequencies. p-value = significance level $p < 0.05$ represented by *; BMI: body mass index; GCS: Glasgow Coma Scale at the time of collection; SAPS III: Simplified Acute Physiology Score; SOFA: Sequential Organ Failure Assessment diagnosis in number and percentage; CVA: cerebrovascular accident; TBI: traumatic brain injury;+Other: respiratory diseases, multiple trauma and abdominal involvement; Hosp. Outcome: hospital outcome in number/percentage; Insp. thickness: inspiratory thickness of diaphragm ultrasound; Exp. thickness: expiratory thickness of diaphragm ultrasound; DTF: diaphragm thickening fraction; QMT: ultrasound thickness of the rectus femoris and vastus intermedius muscles; sEMGdi-RMS: right diaphragmatic electromyography represented by Root Means Square; Max insp. peak: maximum inspiratory peak reached in 60 seconds; ++Time to peak: time to reach the maximum peak in 60 seconds; and TIE index: timed inspiratory effort index.

Table 2. Sample characterization regarding hospital outcomes.

Variables	HOSPITAL DISCHARGE (n= 33)	DEATH (n= 32)	p-value
Age (years)	59.9 (20.0 – 84.0)	60.1 (18.0 – 84.0)	0.969
Sex, male (n / %)	17 / 51.5	23 / 71.9	0.092
BMI (kg/m^2)	25.5 (14.0 – 45.5)	25.1 (17.1 – 31.7)	0.761
GCS	8.3 (3.0 – 11.0)	6.5 (3.0 – 11.0)	**0.025***
SAPS III	56.5 (12.0 – 91.0)	61.3 (28.0 – 93.0)	0.236
SOFA	4.4 (0.0 – 7.0)	5.3 (1.0 – 8.0)	0.111
Diagnosis (n / %)			0.156
CVA	11 / 33.3	13 / 40.6	
TBI	3 / 9.1	7 / 21.9	
Acuteabdomen	4 / 12.1	2 / 6.3	
Sepsis	5 / 15.2	0 / 0	
+Other	10 / 30.3	10 / 33.2	
MV time (days)	15.4 (7.0 – 42.0)	13.1 (7.0 – 23.0)	0.129
ICU length of stay	23.5 (8.0 – 43.0)	19.2 (8.0 – 39.0)	**0.018***

Continuation of Table 2

Variables	**HOSPITAL DISCHARGE (n= 33)**	**DEATH (n= 32)**	**p-value**
Insp. thickness (cm)	0.21 (0.10 – 0.37)	0.20 (0.10 – 0.36)	0.655
Exp. thickness (cm)	0.18 (0.05 – 0.35)	0.18 (0.08 – 0.32)	0.924
DTF (%)	18.70 (1.00 – 47.00)	14.19 (4.0 – 40.0)	0.112
QMT (cm)	1.62 (0.81 – 3.41)	1.51 (0.93 – 2.34)	0.388
sEMGdi-RMS (μV)	6.0 (3.4 – 16.8)	7.8 (3.1 – 14.9)	0.118
Max insp. peak (cm H_2O)	75.7 (33.0 – 140.0)	83.5 (30.0 – 153.0)	0.318
Time to peak (s) ++	52.5 (14.0 – 60.0)	55.6 (40.0 – 60.0)	0.545
TIE index (cm H_2O/s)	1.5 (0.2 – 4.7)	1.5 (0.7 – 3.4)	0.428

Data is expressed as mean (minimum-maximum) and absolute and relative frequencies. p value=significance level $p < 0.05$ represented by *. BMI: body mass index; GCS: Glasgow Coma Scale at the time of collection; SAPS III: Simplified Acute Physiology Score, SOFA: Sequential Organ Failure Assessment, diagnosis in number and percentage; CVA: cerebrovascular accident; TBI: traumatic brain injury; +Others: respiratory diseases, traumas and abdominal impairments; Hosp. Outcome: hospital outcome in number/percentage; Insp. thickness: inspiratory thickness of diaphragm ultrasound; Exp. thickness: expiratory thickness of diaphragm ultrasound; DTF: diaphragm thickening fraction; QMT: ultrasound thickness of the rectus femoris and vastus intermedius muscles; sEMGdi-RMS: right diaphragmatic electromyography represented by Root Means Square; Max insp. peak: maximum inspiratory peak reached in 60 seconds of occlusion; ++Time to peak: time to reach the maximum peak in 60 seconds; and TIE index: timed inspiratory effort index.

Table 3 shows the analysis of bivariate associations between weaning success and hospital outcomes, demonstrating that sEMGdi, DTF, QMT, and TIE index did not influence the weaning success. The bivariate association analyses applied to the hospital outcome demonstrated that the higher the RMS value or the lower the DTF, the greater the chance of mortality (moderate effect size).

Table 3. Bivariate associations of predictor variables with weaning success and hospital outcome.

Clinicalvariable	Weaning success			Death outcome		
	r_{bp} (IC95%)	**p-value**	**Effect size**	**r_b (IC95%)**	**p-value**	**Effect size**
QMT (cm)	-0.1 (-0.4 – 0.2)	0.45	Small	-0.1 (-0.3 – 0.2)	0.40	Small
DTF (%)	0.1 (-0.2 – 0.3)	0.52	Small	-0.3 (-0.5 - -0.1)	**0.04***	Moderate
sEMGdi-RMS (μV)	0.1 (-0.2 – 0.3)	0.47	Small	0.3 (0.1 – 0.5)	**0.04***	Moderate
TIE index (cmH_2O/s)	-0.1 (-0.3 – 0.2)	0.64	Small	-0.1 (-0.2 – 0.3)	0.98	Small

rbp: biserial correlation by points; 95% CI = confidence interval; p value = significance level $p < 0.05$ represented by *. QMT: ultrasound thickness of the quadriceps muscle; DTF: right diaphragm ultrasound thickening fraction; sEMGdi (RMS): surface electromyography of the right diaphragm, represented in Root Means Square; TIE index: timed inspiratory effortindex.

Table 4 describes the multivariate logistic analysis of DTF and sEMGdi (RMS). Individuals with higher DTF values had a 7% reduction in the chance of mortality (odds ratio [OR] = 0.93; 95%CI [0.86 - 0.99]), p = 0.026, while those with higher RMS presented an increase of 29.3% (OR = 1.29; 95%CI [1.05 - 1.59]), p = 0.014.

Table 4. Estimates of logistic regression parameters and odds ratios of death predictors.

Predictors	**β**	**p-value**	**OR (CI 95%)**
sEMGdi RMS (μV)	0.26	0.014	1.29 (1.05 - 1.59)
DTF %	-0.08	0.026	0.93 (0.86 - 0.99)

OR: odds ratio; 95%CI: 95% confidence interval; sEMGdi: surface diaphragm electromyography, represented by the Root Mean Square of the diaphragm on the right, DTF: diaphragm thickness fraction.

DISCUSSION

The main results demonstrated that sEMGdi, DTF, QMT, and TIE index did not influence the outcomes of prolonged weaning in individuals with tracheostomy. Moreover, higher RMS values of sEMGdi were associated with a 29% increase and higher DTF with a 7% decrease in the chance of mortality.

The present study evaluated exclusively individuals undergoing prolonged weaning and found no significant differences in sEMGdi values regarding weaning success. On the other hand, studies that included individuals in simple and prolonged weaning demonstrated contradicting results since those who had unsuccessful weaning showed that the diaphragm electrical activity (EAdi) was significantly increased [27, 28].

The study design may also have influenced sEMGdi responses in predicting weaning. Our study assessed sEMGdi cross-sectionally after 30 minutes of SBT and found no significant differences in EAdi regarding weaning success. Another study performed a single measurement at the beginning of SBT and found low sensitivity of EMGdi in predicting weaning success [3]. On the other hand, longitudinal studies evaluated the trend of EAdi during the SBT and demonstrated that the increase in EAdi determined a higher incidence of weaning failure [27,28].

The study involving EMGdi did not standardize the values of pressure support during the SBT [27,28]. A study evaluated EAdi during SBT for two hours, initially using constant support pressure for 10 minutes and subsequently continuous positive airway pressure without varying the positive end-expiratory pressure and the fraction of inspired oxygen [28]; individuals from the failure group presented increased EAdi. A similar result was observed in another study [27] evaluating EAdi during SBT for 120 minutes, with the first 30 minutes at pressure support of 10 cmH_2O and subsequently at continuous positive airway pressure. In contrast, the present study used a fixed pressure support of 8 cmH_2O during the sEMGdi assessment and found no influence of this outcome in the weaning success. The discrepancy in the results may be

explained by the variation in the values of support pressure that generated different EAdi responses [29,30].

According to SAPS III, individuals from the failure group presented higher initial values regarding clinical conditions at the beginning of MV. A study evaluated diaphragmatic performance via phrenic stimuli from the initial phase of MV and showed that the lowest response was among individuals with high SAPS II values [31]. Also, this variable was associated with a higher incidence of weaning failure, corroborating our findings that the severity influences diaphragmatic dysfunction.

In the present study, the GCS significantly influenced hospital outcomes and weaning success; lower values were observed in individuals from the failure group and in those who died. Previous studies [32,33,34] found that a lower GCS was an independent risk factor for prolonged weaning and was associated with higher mortality rates, corroborating our results.

The literature lacks a consensus on the cutoff value of DTF for predicting weaning success [35]; however, some authors suggested values from 20% to 36% [4,36-39]. These studies were heterogeneous, especially regarding the types of weaning (simple, difficult, or prolonged). This division is important since structural changes in the muscles may occur due to prolonged MV time, and these changes must be considered during the ultrasound since they may influence weaning [4,36-39]. Some studies showed that predictive values of weaning success are different for individuals in prolonged weaning and shorter MV time [37,38]. A study evaluated sequential DTF in prolonged weaning from seven days of MV and observed that individuals with DTF between 15% and 30% had a greater chance of weaning success [40]. On the other hand, another study observed a value of 13.8% in DTF in individuals who had success in prolonged weaning [41]. In this study, despite the mean muscle thickening in the success and failure groups (15.50% and 17.01%, respectively), the DTF did not influence weaning success.

The association of diaphragmatic function (sEMGdi and DTF) with hospital outcome showed a direct influence of these predictors on mortality. Individuals with higher diaphragm thickness presented a reduced chance of mortality, while those with higher sEMGdi presented an increased chance. Meta-analysis indicated that DTF measurements have a sensitivity and specificity capable of predicting mortality [42], corroborating our findings. Moreover, a study evaluating EMGdi observed a higher incidence of mortality in individuals who had unsuccessful weaning due to high diaphragm electrical activity [43], corroborating our results.

In the present study, the TIE index was not associated with weaning success and hospital outcomes. A study with individuals with tracheostomy in prolonged weaning demonstrated that the TIE index greater than 1cmH_2O/s could predict weaning success [44]. However, their evaluations were weekly, and in our study, the TIE index was analyzed only once after the SBT. Those who had an unsuccessful weaning reached a TIE index of 1.5 cmH_2O/s, showing no association between the variables. Therefore, TIE is not a predictor of weaning success in our population, as proposed in the original article.

According to the literature, the thickness loss in the quadriceps increases in the first seven days of MV and reduces as the MV time increases [45,20]. This finding may explain the results, as our sample had a mean MV time of 14.3 days, coinciding with the stabilization of the muscle loss already installed. Thus, QMT was not different between the groups of weaning (1.55 cm in the success and 1.54 cm in the failure group, respectively). On the other hand, a study evaluating individuals on MV for less than seven days (i.e., significant muscle loss) observed an association between weaning failure and QMT < 2.1 cm [6].

Study limitations

The present study had some limitations. First, the study was conducted in a unique center and used only one weaning protocol. Although physical therapy care

was available 24 hours in the ICU, they did not have a standardized institutional mobilization protocol, which may have influenced the results. In addition, the assessment of sEMGdi as a predictor of weaning still uses a diverse methodology, hindering its reproducibility and use in clinical practice. Last, in individuals seriously ill and prolonged weaning, the cross-sectional area of the quadriceps was not obtained via ultrasound images due to impaired muscle anatomy [20], further limiting our conclusions.

Strengths of the study

The sample analyzed underwent prolonged weaning, a theme with a limited study in literature. A single and previously trained evaluator performed all protocols tominimize errors. The chance of mortality determined by four different weaning predictors was analyzed, and this topic is rarely addressed in tracheostomy research.

The results showed gaps that need to be filled in future studies. In the literature, the cutoff points for thickening fraction values of the diaphragm ultrasound are unspecific and may not be applied to individuals undergoing prolonged weaning. Therefore, establishing reference values to predict weaning success is needed.

Studies using sEMGdi should include larger case studies to determine reference values for predicting weaning success for individuals with tracheostomy.

CONCLUSION

TIE index, DTM, QMT, and sEMGdi did not influence weaning outcomes in individuals with tracheostomy undergoing prolonged weaning. Individuals with lower DTF values and higher RMS levels had increased chances of death.

REFERENCES

1- Virolle S, Duceau B, Morawiec E, *et al*.: Contribution and evolution of respiratory muscles function in weaning outcome of ventilator-dependent patients. *Crit Care*. 2024; 28 (1):421.

2- Dres M, Demoule A: Monitoring diaphragm function in the ICU. *Curr Opin Crit Care*. 2020; 26 (1):18-25.

3- Al Tayar AS, Abdelshafey EE: Diaphragm Electromyography Versus Ultrasonography in the Prediction of Mechanical Ventilation Liberation Outcome. *Respir Care*. 2022; 19:09779.

4- Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALP, *et al.:* Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *J Bras Pneumol*. 2020; 46 (6)e20200064.

5- Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALP. *et al.:* Diaphragm Ultrasound in Critically Ill Patients on Mechanical Ventilation-Evolving Concepts. *Diagnostics (Basel)*. 2023; 13 (6):1116.

6- Er B, Simsek M, Yildirim M, *et al*.: Association of baseline diaphragm, rectus femoris and vastus intermedius muscle thickness with weaning from mechanical ventilation. *Respir Med*. 2021; 185:106503.

7- Da Silva Neto AE, de Souza LC, Costa HL*, et al*.: The Timed Inspiratory Effort Index as a Weaning Predictor: Analysis of Intra- and Inter observer Reproducibility. *Respir Care*. 2020; 65 (5):636-642.

8- D Souza LC, Guimarães FS, Lugon JR, *et al*.: The timed inspiratory effort: a promising index of mechanical ventilation weaning for patients with neurologic or neuromuscular diseases. *Respir Care*. 2015; 60 (2):231-8.

9- Godoy MDP, Souza LC, Silva Neto AED, *et al*.: Comparison of the timed inspiratory effort index with the T-piece trial as a decision-making tool for extubation: a randomized controlled non-inferiority trial. *Braz J Med Biol Res*. 2023; 14;56: e12824.

10- Docci M, Rezoagli E, Teggia-Droghi M, *et al*.: Individual response in patient's effort and driving pressure to variations in assistance during pressure support ventilation. *Ann Intensive Care*. 2023; 13 (1):132.

11- Lokin JL, Dulger S, Glas GJ, *et al*.: Transesophageal Versus Surface Electromyography of the Diaphragm in Ventilated Subjects. *Respir Care*. 2020; 65 (9):1309-1314.

12- Grabhoff J, Petersen E, Farquharson F, *et al*.: Surface EMG-based quantification of inspiratory effort: a quantitative comparison with P_{es}. *Crit Care*. 2021; 25 (1):441.

13- Marques MR, Pereira JM, Paiva JA, *et al.:* Ultrasonography to Access Diaphragm Dysfunction and Predict the Success of Mechanical Ventilation Weaning in Critical Care: A Narrative Review. *J Ultrasound Med*. 2024; 43 (2):223-236.

14- Rose L, Messer B: Prolonged Mechanical Ventilation, Weaning, and the Role of Tracheostomy. *Crit Care Clin*. 2024; 40 (2):409-427.

15- Béduneau G, Pham T, Schortgen F, *et al*: WIND (Weaning according to a New Definition) Study Group and the REVA (RéseauEuropéen de Recherche enVentilationArtificielle) Network ‡. Epidemiology of Weaning Outcome according to a New Definition. The WIND Study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;195 (6):772-783.

16- Metnitz PG, Moreno RP, Almeida E, *et al.:* SAPS 3 Investigators. SAPS 3-From evaluation of the patient to evaluation of the intensive care unit. Part 1: Objectives, methods and cohort description. *Intensive Care Med*. 2005; 31 (10):1336-44.

17- Vincent JL, de Mendonça A, Cantraine F, *et al.:* Use of the SOFA score to assess the incidence of organ dysfunction/failure in intensive care units: results of a multicenter, prospective study. Working group on "sepsis-related problems" of the European Society of Intensive Care Medicine. *Crit Care Med*. 1998; 26 (11):1793-800.

18- Boles, JM, Bion, J, Connors, A, *et al*.: Weaning from mechanical ventilation. *The European respiratory journal 2007;* 29(5): 1033-56.

19- Tuinman PR, Jonkman AH, Dres M, *et al*.: Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients-a narrative review. *Intensive Care Med.* 2020; 46 (4):594-605.

20- Pardo E, El Behi H, Boizeau P, *et al.:* Reliability of ultrasound measurements of quadriceps muscle thickness in critically ill patients. BMC *Anesthesiol.*2018; 18 (1):205.

21- Duarte RP, Sentanin AC, da Silva AMO, *et a*l.: Diaphragm Muscle Surface Electromyography in Patients Submitted to Liver Transplant and Eligible for Extubation. *Transplant Proc*. 2017; 49 (4):829-831.

22- Peduzzi P, Concato J, Kemper E, *et al*.: A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis. *J Clin Epidemiol*. 1996; 49 (12):1373-9.

23- Portney LG, Foundations of Clinical Research: Applications to Evidence- based practice, 2020. FA Davis, ISBN 0803661134, 9780803661134 696.

24- La Fleur BJ, Greevy RA: Introduction to Permutation and Resampling- Based Hypothesis Tests. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 2009;38 (2):286- 294.

25-Bakdash JZ, Marusich LR: Repeated Measures Correlation, *Front Psychol*.2017 Apr 7;8: 456. Erratum in: *Front Psychol*.2019; 10:1201.

26-Cohen J Statistical Power Analyses for the Behavior Sciences 2nd ed. New York: Hillsdale, 1988, 567.

27- Diao S, Li S, Dong R, *et a*l.: The diaphragmatic electrical activity during spontaneous breathing trial in patients with mechanical ventilation: physiological description and potential clinical utility. *BMC Pulm Med.* 2024; 24 (1):263.

28- Pozzi M, Rezoagli E, Bronco A, *et al*.: Accessory and Expiratory Muscles Activation During Spontaneous Breathing Trial: A Physiological Study by Surface Electromyography. *Front Med (Lausanne).* 2022; 9:814219.

29- Roesthuis LH, Van der Hoeven JG, Van Hees HWH, *et al*.: Recruitment pattern of the diaphragm and extra diaphragmatic inspiratory muscles in response to different levels of pressure support. *Ann Intensive Care*. 2020; 10 (1):67.

30- Silva Junior EFFD, Campos SL, Leite WS, *et al*.: Surface electromyography signal processing and evaluation on respiratory muscles of critically ill patients: A systematic review. *PLoS One*. 2023; 18 (4): e0284911.

31- Demoule A, Jung B, Prodanovic H, *et al*.: Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact-a prospective study. Am J Respir *Crit Care Med*. 2013;188 (2):213-9.

32- Wu YK, Kao KC, Hsu KH *et. al:* Predictors of successful weaning from prolonged mechanical ventilation in Taiwan. *Respir Med*. 2009; 103 (8):1189-95.

33- Pu L, Zhu B, Jiang L, *et al*.: Weaning critically ill patients from mechanical ventilation: A prospective cohort study. *J Crit Care*. 2015; 4:862. e 7-13.

34- Huang HY, Huang CY, Li LF*, et al*.: Prolonged Mechanical Ventilation: Outcomes and Management. *J Clin Med*. 2022;11 (9):2451.

35- Haaksma ME, Smit JM, Boussuges A, *et al*.: EXpert consensus On Diaphragm Ultrasonography in the critically ill (EXODUS): a Delphi consensus statement on the measurement of diaphragm ultrasound-derived parameters in a critical care setting. *Crit Care*. 2022;26(1):99.

36- Parada-Gereda HM, Tibaduiza AL, Rico-Mendoza A, *et al*.: Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2023;27 (1):174.

37- Mahmoodpoor A, Fouladi S, Ramouz A, *et a*l.: Diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. *Anaesthesiol Intensive Ther*. 2022;54 (2):164-174.

38- Al-Husinat L, Jouryyeh B, Rawashdeh A, *et al*.: The Role of Ultrasonography in the Process of Weaning from Mechanical Ventilation in Critically Ill Patients. *Diagnostics (Basel)* 2024;14 (4):398.

39- Poddighe D, Van Hollebeke M, Choudhary YQ, *et al*.: Accuracy of respiratory muscle assessments to predict weaning outcomes: a systematic review and comparative meta-analysis. *Crit Care.* 2024;28 (1):70.

40- Goligher EC, Dres M, Fan E, *et al.*: Mechanical Ventilation-induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018;197 (2):204-213.

41- Fritsch SJ, Siemer AG, Dreher M, *et al.:* Diaphragm ultrasound in patients with prolonged weaning from mechanical ventilation. *Quant Imaging Med Surg*. 2024;14 (5):3248-3263.

42- Medrinal C, Combret Y, Hilfiker R, *et al*.: ICU outcomes can be predicted by noninvasive muscle evaluation: a meta-analysis. *Eur Respir J.* 2020;56 (4):1902482.

43- Wang L, Muhetaer Y, Zhu L: Is it reasonable to predict weaning by measuring diaphragm activity under ultrasound especially its reduction of excursion? *CritCare*. 2023;27 (1):309.

44- Da Silva Guimarães BL, De Souza LC, Guimarães FC, *et al*. Serial Weekly Measurements of the Timed Inspiratory Effort Index Can Predict Successful Prolonged Weaning. *Respiratory care* vol. 2019;64(10): 1286-1292.

45- Hamza EMM, Khalil MM, Salem HM, *et al*.: Correlation between weaning outcome of patients on prolonged mechanical ventilation and changes in skeletal muscles as assessed by ultrasonography. *The Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis*.2022; 71 (4): 491-498.

6.2 - Artigo 2

O artigo 2 foi formatado segundo as regras do periódico *Annals of Intensive Care* ao qual será submetido após tradução.

ARTIGO LONGITUDINAL

AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO MUSCULAR RESPIRATÓRIA E PERIFÉRICA EM INDIVÍDUOS TRAQUEOSTOMIZADOS NO DESMAME DA VM.

Lucinara Martins Silva Tallarico[1], Rodrigo Marques Tonella[2], Júlia de Pinho Lacerda[3], Anna Maria de Carvalho Oliveira[3], Maria Clara Xavier Salles[3], Izabele Aparecida de Sá Oliveira[3] e Marcelo Velloso[1,2].

1- Programa de Doutorado em Ciências da Reabilitação da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG e Hospital Risoleta Tolentino Neves- Belo Horizonte-MG-Brasil;
2- Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG-Brasil;
3- Curso de graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG- Brasil.

Suporte financeiro: Edital 02 da Reitoria da UFMG, gerenciado pela Fundação de Desenvolvimento e Pesquisa (FUNDEP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) Finance Code 001

RESUMO

Na doença crítica, fraqueza diafragmática e periférica, pode levar, a falha no desmame, evolução para ventilação mecânica prolongada e necessidade de traqueostomia. Índices que avaliam a função muscular são capazes de prever os desfechos de desmame. OBJETIVO: avaliar a função muscular respiratória e periférica pelo índice de esforço inspiratório (IEIC), eletromiografia de superfície diafragmática (EMGsdi), fração de espessamento diafragmático (FEdi), espessura do quadríceps pela ultrassonografia (USeq) após a descontinuidade da VM, bem como suas associações com os desfechos do desmame da VM. MÉTODO: estudo observacional, longitudinal, incluídos indivíduos > 18 anos, traqueostomizados em desmame prolongado, com mais de sete dias de VM, sem sedação e após teste de

respiração espontânea (TRE). Excluídos indivíduos com comprometimentos neurológicos agudos, doenças neuromusculares progressivas, isolamento respiratório, lesões cutâneas, com instabilidade clínica e/ou hemodinâmica. O IEIC, EMGsdi, FEdi, USeq foram avaliados em três momentos: pré-desconexão, 24 e 48 horas após a descontinuidade da VM. Foram avaliados dois desfechos do desmame, sucesso e falha. Foi considerado sucesso o indivíduo atingir 48 horas ininterruptas de desconexão da VM e falha, a necessidade de retorno à VM antes desse período. RESULTADOS: No grupo sucesso houve aumento significativo da FEdi (15,50% ±10,34 *vs* 22,39% ±10,39, p=0,009;) e do IEIC em cmH_2O/s (1,50 ±1,22 *vs* 1,94 ±1,58; p=0,001) da pré desconexão até 48 horas. No grupo falha somente o IEIC apresentou aumentos significativos: ao se comparar o momento pré desconexão com 24hs após a desconexão (1,48 cmH_2O/s ±0,60 *vs* 1,92 cmH_2O/s ±0,54; p= 0,019); ao se comparar o momento pré desconexão com 48 horas após a desconexão (1,48 ±0,60 *vs* 2,37 ±1,34; p= 0,006) e finalmente ao se comparar o momento 48 horas com o momento 24 horas após desconexão (1,92 cmH_2O/s ±0,54 *vs* 2,37 cmH_2O/s ±1,34; p= 0,0014). Não houve mudanças significativas da EMGdi e da USeq nos períodos avaliados em ambos os grupos. Ao se analisar a magnitude das alterações em todos os índices, não houve diferença significativa entre os grupos sucesso e falha.

CONCLUSÃO: no grupo falha houve aumento significativo dos valores de IEIC e no grupo sucesso houve aumento significativo e progressivo da espessura do músculo diafragma e do IEIC. Não houve alteração significativa dos valores de EMGsdi e de USeq e não houve associação do desfecho do desmame com nenhum dos índices estudados.

Palavras-chave: traqueostomia, eletromiografia, pressão respiratória máxima, ultrassonografia, músculo quadríceps e desmame do ventilador mecânico.

INTRODUÇÃO

A Fraqueza muscular adquirida em UTI (FAUTI) é uma condição que afeta simetricamente os músculos periféricos e respiratórios. Existem diferentes mecanismos de perda muscular durante a ventilação mecânica (VM) e independentemente disso, a FAUTI contribui para piores desfechos como o prolongamento do tempo de VM, falhas no desmame, além da necessidade de traqueostomia (1,2).

Os principais mecanismos que levam à fraqueza do diafragma na doença crítica, estão relacionados ao uso da VM. O primeiro é a supra assistência, que é uma condição na qual o indivíduo recebe assistência ventilatória além do que é necessário, resultando em redução de carga imposta aos músculos respiratórios e consequente atrofia muscular. O segundo, é a sub-assistência, que é a imposição de um nível insuficiente de suporte ventilatório, com consequente aumento do trabalho respiratório, induzindo à lesão por sobrecarga muscular. A contração excêntrica é outra causa de lesão diafragmática, devido à incoordenação da contração do músculo no momento expiratório, que colabora no desarranjo do sarcômero e causa maior gasto energético. Por último, o uso excessivo de pressão positiva expiratória final (PEEP), no qual o diafragma permanece em posição de encurtamento (com menor área de aposição costal), resultando em redução do sarcômero e atrofia longitudinal do músculo (3,4).

Com relação aos músculos periféricos, os mecanismos que levam à fraqueza muscular, em indivíduos em estado crítico, são principalmente os desequilíbrios entre catabolismo e anabolismo proteico, alterações microcirculatórias, metabólicas, alterações mitocondriais que contribuem para o aumento do estresse oxidativo e desestruturação do sarcômero. Essas alterações aparecem principalmente na primeira semana da doença crítica em que existe aumento do catabolismo e intensa perda de massa muscular logo em seguida, o indivíduo passa por um período de reequilíbrio entre catabolismo e anabolismo e alcança a fase de recuperação ou evolui para a manutenção do estado crítico e desfechos negativos como: o prolongamento da VM e maior fraqueza muscular (5).

A avaliação da fraqueza muscular tem sido objeto de estudo, no sentido de prever os possíveis desfechos de desmame da VM. Novos índices são frequentemente propostos na literatura, para avaliar os músculos periféricos e

respiratórios, com o intuito de detectar a aptidão ao desmame da VM e acompanhar a evolução da função muscular (2,6).

Por outro lado, existe na literatura uma lacuna com relação à evolução da função muscular no período sem o suporte ventilatório e qual a contribuição dos músculos periféricos e respiratórios nos desfechos do desmame. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a função muscular respiratória e periférica por meio da IEIC, EMGsdi, FEdi, USeq, durante o período de 48 horas de descontinuidade da VM e comparar com os desfechos de desmame atingidos.

2.0 MÉTODO

2.1 Tipo de estudo

Foi realizado um estudo observacional longitudinal, conduzido no período de março de 2022 a novembro de 2023, em uma unidade de terapia intensiva (UTI) do Hospital Risoleta Tolentino Neves, em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Esse estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE: 54575221.60000.5149).

2.2 Amostra

A amostra foi composta por indivíduos em VM, traqueostomizados, com idade acima de 18 anos, de ambos os sexos, que estivessem sem sedação contínua e em desmame prolongado da VM e que assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

Foram excluídos indivíduos com comprometimento neurológico agudo, com doenças neuromusculares progressivas, em isolamento respiratório e os que estivessem apresentando instabilidade clínica e/ou hemodinâmica.

Os dados de caracterização da amostra foram: sexo, idade, índice de massa corpórea, tempo de VM, dias de internação na UTI, escore de gravidade avaliado pelo SAPS III (*Simplified Acute Physiology Score*) (7) no momento da admissão na UTI. A avaliação da disfunção orgânica foi calculada pelo SOFA (8) coletado na inclusão do indivíduo na pesquisa.

2.3 Instrumentos e procedimentos

Os indivíduos do estudo foram ventilados mecanicamente por meio do ventilador modelo Servo-i da marca *Maquet*. Os dados coletados incluíam os sinais vitais, que estavam sob monitorização por meio do monitor multiparamétrico da marca *Dixtal*. Os parâmetros monitorados incluíram o eletrocardiograma (ECG), frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (f), saturação periférica de oxigênio (SpO_2) e a pressão arterial média (PAM).

Todos os indivíduos foram submetidos ao teste de respiração espontânea (TRE) durante 30 minutos na modalidade de pressão de suporte ventilatório (PSV). O ventilador foi configurado no modo PSV com 8 cmH_2O de pressão de suporte, pressão expiratória final positiva (PEEP) de 5 cmH_2O e fração inspirada de oxigênio (FiO_2) igual ou inferior a 40% conforme protocolo da instituição.

Após confirmação de sucesso no TRE e decisão clínica da equipe multiprofissional favorável ao desmame, um fisioterapeuta e pesquisador que não participou da decisão da equipe, realizou sequencialmente as avaliações ultrassonográficas da fração de espessamento diafragmático (FEdi), da espessura do quadríceps (USeq), da eletromiografia de superfície do diafragma (EMGsdi) e por último, do índice de esforço inspiratório cronometrado (IEIC). Os resultados dessas avaliações não foram compartilhados com a equipe assistencial para não influenciar na decisão clínica.

A ultrassonografia diafragmática e do músculo quadríceps femoral foram realizadas por um único avaliador com um equipamento da marca GE *Healthcare*, modelo *Logic E R7 PRO*, configurado no modo B, com transdutor linear e ajuste de frequência entre 6 e 12 MHz.

Para a medida da FEdi, os voluntários foram posicionados em decúbito dorsal, com a cabeceira elevada a aproximadamente 35° e com o braço direito acima da cabeça. O transdutor foi colocado verticalmente na zona de aposição diafragmática, entre a linha axilar anterior e média, na altura entre o oitavo e nono espaço intercostal. A identificação do diafragma foi feita pela presença de uma camada muscular entre duas linhas hiperecóicas, correspondentes à pleura parietal e à pleura visceral. Foram mensuradas as espessuras no final da inspiração e da expiração. O cálculo da espessura foi feito por meio da fórmula: [(espessura ao final

da inspiração - espessura ao final da expiração) / espessura ao final da expiração] x 100 (9,10).

Para a avaliação do músculo quadríceps femoral, optou-se por utilizar o membro direito por conveniência. Os indivíduos foram posicionados em decúbito dorsal, com a cabeceira elevada a aproximadamente 35° e joelhos totalmente estendidos. Foi feita a medida da distância entre a espinha ilíaca ântero-superior e a borda superior da patela e utilizou-se o terço inferior dessa medida para aferir a espessura ultrassonográfica do músculo quadríceps femoral. O transdutor do ultrassom foi posicionado de forma perpendicular ao fêmur, no eixo transversal ao músculo, com mínima compressão feita pelo avaliador. Para o valor da espessura do quadríceps, considerou-se a soma das medidas da espessura dos músculos reto femoral e vasto intermédio, compreendida entre a distância da borda inferior da fáscia superior do reto femoral, até a borda superior do fêmur, desconsiderando a camada de tecido adiposo e epitelial (11).

A EMGsdi foi realizada com um eletromiógrafo de superfície da marca EMG *System* do Brasil LTDA, modelo NS 00263. Os indivíduos foram posicionados em decúbito dorsal, com a cabeceira a aproximadamente 35°. Utilizou-se um canal com dois eletrodos autoadesivos da marca 3M do Brasil®, posicionados a cinco centímetros do processo xifóide na margem costal direita, com 16 cm de distância entre eles. A captação dos sinais ocorreu a uma frequência de 500Hz, com sensibilidade de 500μV. A atividade elétrica muscular foi analisada por um período de 10 segundos, representada pelo *Root Mean Square* (RMS), cuja unidade de medida é μV (12).

O IEIC foi mensurado utilizando um manovacuômetro digital da marca NEPEB-LabCare, acoplado à válvula unidirecional. Antes da avaliação, foi realizada a aspiração traqueal, sendo feita uma pré-oxigenação com FiO_2=100% por dois minutos, por questões de segurança. Durante o teste, o ventilador mecânico foi desconectado e o manovacuômetro foi acoplado ao indivíduo, sendo registrados os picos pressóricos inspiratórios durante o tempo de 60 segundos, observados em tempo real por gráficos gerados em computador e registrados pelo *software*. O IEIC foi calculado pela relação entre o pico máximo de pressão alcançado e o tempo necessário para atingi-lo (13). O teste era interrompido caso ocorressem alterações na frequência cardíaca (>120 mmHg ou <60 bpm), variações superiores a 20% na PAM (>120 mmHg ou <70 mmHg), quedas na SPO_2 (>90%) ou sinais de

desconforto respiratório, como sudorese, agitação ou alterações do nível de consciência (13).

As coletas foram realizadas em três momentos: após o indivíduo passar pelo TRE, imediatamente antes da desconexão da VM, 24 e 48 horas após a desconexão.

Após a coleta das medidas de FEdi, USeq, EMGsdi e IEIC, os indivíduos foram desconectados da VM e observados pelo período de 48 horas, conforme a decisão da equipe responsável. O desmame foi considerado sucesso quando o indivíduo permanecia 48 horas ininterruptas sem a necessidade de VM. O grupo que apresentou insucesso foi aquele que necessitou de reconexão da VM antes de 48 horas.

2.4 Análise de dados

Foi considerado um *power* de 0,80, alfa de 5%, matriz de correlação *Unstructured*, o delineamento fatorial 2x3 (dois grupos e três medidas repetidas), uma projeção de perda igual a 15%, o cálculo amostral para análise estatística *Generalized Estimating Equations* resultou em tamanho de amostra total igual a 65 indivíduos.

Foi realizada a análise descritiva dos dados e os resultados expressos como média (intervalo de confiança de 95%) e frequências absoluta/relativa.

Para verificar a distribuição normal dos dados quantitativos foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. Como alguns dados não apresentaram distribuição normal, o procedimento de *bootstrapping bias-corrected and accelerated (BCa) method* com 1000 réplicas foi empregado e obtidos os respectivos intervalos de confiança de 95%.

As comparações intra e entre grupos foram conduzidas via Equações de Estimativas Generalizadas (GEE – *Generalized Estimating Equations*) (Liang&Zeger, 1986). A função de ligação utilizada foi *identity,* a probabilidade de distribuição normal e a matriz de correlação *unstructured*. Para se determinar a melhor função de ligação e a melhor matriz de correlação do modelo, foi utilizado o critério de quasi-verossimilhança sob o modelo de independência (QIC). As comparações post hoc, par a par, foram conduzidas via teste de Bonferroni para múltiplas comparações, sendo que as comparações entre grupos foram realizadas pela

variação da resposta (delta) nos momentos: 24horas fora da VM pré-desconexão; 48horas fora da VM pré-desconexão e 48horas fora da VM-24horas fora da VM.

As análises de associação bivariadas com o desfecho clínico de Sucesso versus Falha no desmame, foram realizadas via teste de correlação bisserial por pontos.

Os dados perdidos foram tratados na condição de *missing-at-random*, o nível de significância adotado foi $p<0,05$ e os dados foram analisados no *software Statistical Package for the Social Sciences* – SPSS® 23.0.

RESULTADOS

Foram elegíveis 215 indivíduos em VM, com traqueostomia e submetidos a desmame prolongado. Entre eles, 125 foram excluídos por óbito (n = 6), recusa em assinar o TCLE (n = 32), não atenderam aos critérios de inclusão (n = 32), instabilidade clínica (n = 24), trauma raquimedular (n = 3), hipertensão intracraniana aguda (n = 3), isolamento respiratório (n = 2) ou perdas de segmento (n = 55) (ou seja, indivíduos desconectados da VM antes das medidas do protocolo ou pela impossibilidade da presença do pesquisador principal no momento da descontinuidade da VM). Foram incluídos 90 indivíduos e 25 foram excluídos pela impossibilidade de seguir o protocolo (Figura 1). Assim, 65 indivíduos foram analisados e divididos de acordo com o sucesso (n = 25) ou falha (n = 40) do desmame (Figura 1).

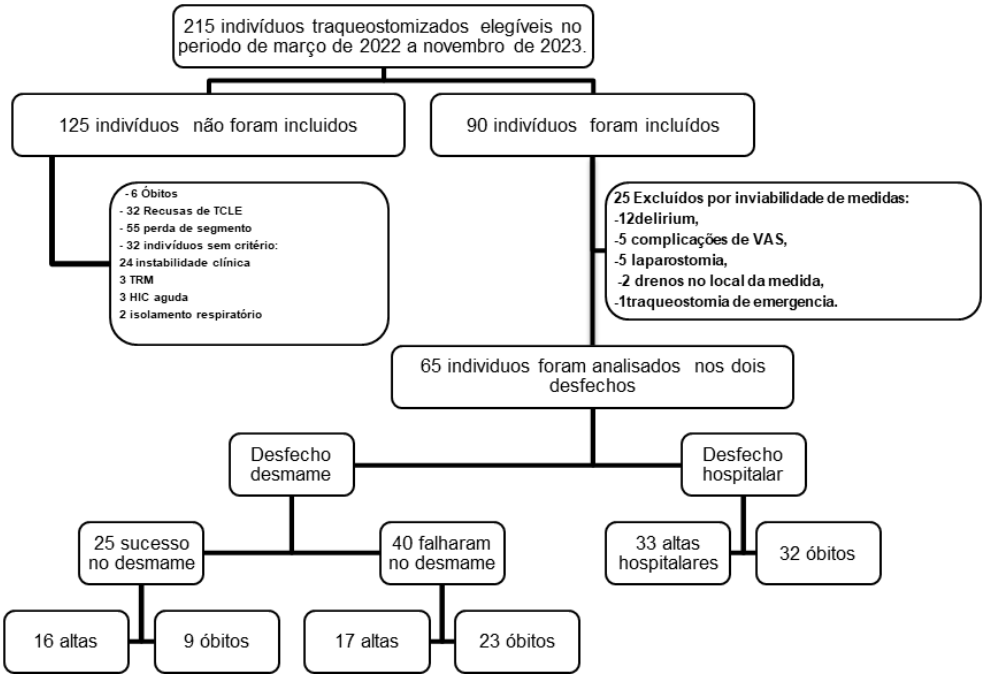


Figura 1: Fluxo de participantes ao longo do estudo.

O perfil da amostra e a distribuição dos indivíduos entre os grupos foram detalhados na Tabela 1. As características que apresentaram diferenças significativas entre os grupos sucesso e falha do desmame foram a escala de coma de Glasgow que apresentou pontuação média de 9,1 (3–11) e de 6,3 (3–11), respectivamente com valor de p = 0,001. A pontuação média do SAPS III no grupo sucesso foi de 51,6 (12,0–73,0), enquanto no grupo falha, foi de 63,4 (28,0–93,0), com p = 0,007. Por fim, a análise dos parâmetros preditores de desmame (FEdi, USeq, EMGsdi e IEIC) não indicou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (Tabela 2).

Tabela 1 - Caracterização da amostra no desfecho de desmame, sucesso e falha.

VARIÁVEIS	AMOSTRA TOTAL (n= 65)	GRUPO SUCESSO (n= 25)	GRUPO FALHA (n= 40)	SUCESSO X FALHA p-valor
Idade (anos)	60,0 (18,0 – 84,0)	58,3 (20,0 – 84,0)	61,0 (18,0 – 84,0)	0,497
Sexo, masc (n/%)	40 / 61,5	13 / 52,0	27 / 67,5	0,211
IMC (kg/m²)	25,3 (14,0 – 45,5)	24,3 (14,0 – 31,7)	26,0 (17,1 – 45,5)	0,217
ECG	7,4 (3,0– 11,0)	9,1 (3,0 – 11,0)	6,3 (3,0 – 11,0)	**0,001***
SAPS III	58,9 (12,0– 93,0)	51,6 (12,0 – 73,0)	63,4 (28,0 – 93,0)	**0,007***
SOFA	4,7 (0,0 – 8,0)	4,6 (2,0 – 8,0)	4,8 (0,0 – 7,0)	0,427
Diagnóstico (n / %)				0,753
AVE	24 / 36,9	10 / 40,0	14 / 35,0	
TCE	10 / 15,4	6 / 24,0	4 / 10,0	
Abdome agudo	6 / 9,2	2 / 8,0	4 / 10,0	
Sepse	5 / 7,7	1 / 4,0	4 / 10,0	
Outros	20 / 30,8	6 / 24,0	14 / 35,0	
Tempo VM (dias)	14,3 (7,0 – 42,0)	12,4 (7,0 – 20,0)	15,4 (7,0 – 42,0)	0,086
Dias UTI	21,4 (7,0– 43,0)	19,5 (7,0 – 40,0)	15,4 (7,0 – 42,0)	0,194
Desf.Hosp.alta (n / %)	33 / 50,8	16 / 64,0	17 / 42,5	0,092
Esp. Insp. (cm)	0,21 (0,10 - 0,37)	0,22 (0,13 – 0,34)	0,20 (0,10–0,37)	0,762
Esp. Exp. (cm)	0,18 (0,05 – 0,35)	0,18 (0,11 – 0,31)	0,18 (0,05–0,35)	0,867

Continuação da Tabela 1

VARIÁVEIS	AMOSTRA TOTAL (n= 65)	GRUPO SUCESSO (n= 25)	GRUPO FALHA (n= 40)	SUCESSO X FALHA p-valor
FEdi (%)	16,44 (1,0 – 47,0)	15,50 (4,0 – 47,0)	17,01 (1,0 – 40,0)	0,549
USeq (cm)	1,57(0,81 – 3,41)	1,55 (0,80 – 3,41)	1,54 (0,56 – 3,09)	0,433
EMGsdi-RMSd (μV)	6,8 (3,1 – 16,8)	6,3 (3,4 – 16,8)	7,2 (3,1 – 14,9)	0,329
Pico insp. Max(cmH_2O)	79,7 (30,0 – 15,0)	75,7 (33,0– 153,0)	82,0 (30,0– 34,0)	0,565
Tempo até o pico (s)	54,1 (14,0 – 60,0)	52,6 (14,0 – 60,0)	54,9 (31,0–60,0)	0,435
IEIC (cmH_2O/s)	1,5 (0,2 – 4,7)	1,6 (0,6 – 4,7)	1,5 (0,2 – 3,1)	0,705

Dados expressos como média (mínimo-máximo), frequência absoluta /relativa. *p valor significativo.
Legenda: IMC índice de massa corpórea; ECG escala de coma de Glasgow no momento da coleta; SAPS III *Simplified Acute Physiology Score,* SOFA *Sequential Organ Failure Assessment* diagnóstico em número e porcentagem, AVE-acidente vascular cerebral, TCE –traumatismo crânio encefálico; Desf. Hosp.(desfecho hospitalar em número/porcentagem);Espins-espessura inspiratória da ultrassonografia do diafragma, Esp. Exp. - espessura expiratória da ultrassonografia diafragma; FEdi-Fração de espessamento diafragmático em porcentagem; USeq – espessura reto femoral e vasto intermédio; EMGsdi-RMSD- Eletromiografia diafragmática direita representada pelo *Roon Means Square* em μV; pico insp Máx –pico inspiratório Máximo alcançado em 60 segundos em cmH_2O; tempo para alcançar pico máximo em 60 segundos; IEIC – Índice de esforço inspiratório cronometrado em cmH_2O/s

A tabela 2 demonstrou que a FEdi aumentou significativamente no grupo sucesso nas 48 horas após a desconexão, em relação ao momento pré-desconexão (15,50%±10,34 *vs* 22,39% ±10,39, p=0,009; 17,01% ±8,13*vs* 21,59% ±11,09, p= 0,044, respectivamente). Porém, a magnitude das alterações ao longo do tempo, não foi estatisticamente diferente entre os grupos (p>0,05). O IEIC apresentou aumento significativo 48horas após em relação a pré-desconexão no grupo sucesso (1,50 ±1,22*vs* 1,94 ±1,58; p=0,001). O grupo falha apresentou aumento no IEIC 48horas após a desconexão em relação aos momentos pré (1,48 cmH_2O/s ±0,60 *vs* 2,37 cmH_2O/s ±1,34; p= 0,012) e em relação a 24horas após a desconexão (1,92 cmH_2O/s ±0,54vs 2,37 cmH_2O/s ±1,34, p= 0,008). Não foram encontradas mudanças estatisticamente significativas em relação às medidas de EMGdi e USeq.

Tabela 2 - Comparações das medidas da FEdi, USeq, EMGsdi e IEIC entre os grupos SUCESSO e FALHA.

Desfechos	GRUPOS	TEMPO		
		PRE	24h APÓS	48h APÓS
FEdi(%)	SUCESSO	15,50 ± 10,34	19,19 ± 8,90	**22,39 ± 10,39***
	FALHA	17,01 ± 8,13	16,49 ± 7,33	21,59 ± 11,09
USeq(cm)	SUCESSO	1,62 ± 0,50	1,49 ± 0,35	1,53 ± 0,47
	FALHA	1,54 ± 0,45	1,57 ± 0,47	1,46 ± 0,56
EMGsdi(RMS) (μV)	SUCESSO	6,34 ± 3,27	6,81 ± 2,38	7,28 ± 2,53
	FALHA	7,11 ± 3,03	8,10 ± 3,84	7,42 ± 2,33
IEIC (cmH_2O/s)	SUCESSO	1,50 ± 1,22	1,58 ± 1,03	**1,94 ± 1,58***
	FALHA	1,48 ± 0,60	**1,92 ± 0,54***	**2,37 ± 1,34*#**

Dados expressos em média e desvio padrão:* p<0,01 comparado ao momento PRE; # p<0,01 comparado ao momento 24h após. **Legenda**: FEdi: fração de espessamento da ultrassonografia do diafragma direito expressa em (%), USeq espessura de quadríceps expressa em (cm), EMGsdi (RMS) eletromiografia de superfície do diafragma representada em *Root Means Square medida* expressa em μV, IEIC índice de esforço inspiratório, medida expressa em cmH_2O/s.

Não houve variação das medidas da FEdi, do USeq, EMGsdi e IEIC entre os grupos sucesso e falha p>0,05. (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação da variação (delta) das medidas da FEdi, USeq, EMGsdi e IEIC entre os grupos SUCESSO e FALHA.

Desfechos	GRUPOS	TEMPO		
		24h PÓS – PRÉ	48h PÓS - PRÉ	48h - 24h PÓS
FEdi(%)	SUCESSO	3,75 ± 14,18	7,35 ± 12,88	3,61 ± 11,04
	FALHA	-0,59 ± 9,40	4,85 ±14,21	5,44 ± 13,73
USeq(cm)	SUCESSO	-0,16 ± 0,44	-0,12 ± 0,58	0,05 ± 0,40
	FALHA	-0,00 ± 0,25	-0,11 ± 0,36	-0,11 ± 0,40
EMGsdi(RMS)(μV)	SUCESSO	0,62 ± 3,39	1,05 ± 3,66	0,43 ± 2,77
	FALHA	0,87 ± 3,70	0,01 ± 3,50	-0,86 ± 4,99
IEIC (cmH_2O/s)	SUCESSO	0,05 ± 0,97	0,44 ± 1,06	0,49 ± 0,56
	FALHA	0,22 ± 0,49	0,54 ± 1,42	0,33 ± 0,42

Os dados foram expressos em média ± desvio padrão. **Legenda:** USeq: espessura de quadríceps; FEdi fração de espessamento da ultrassonografia do diafragma direito expressa em porcentagem; EMGsdi (RMS): eletromiografia de superfície do diafragma, representada em *root mean square*, medida expressa em μV; IEIC: índice de esforço inspiratório cronometrado expresso em cmH_2O/s.

Os índices avaliados não se associaram ao desfecho do desmame (sucesso e falha) (Tabela 4).

Tabela 4 – Associações bivariadas das medidas da fração de espessura do diafragma, ultrassom de quadríceps, EMGsdi e IEIC com o desfecho SUCESSO e FALHA no desmame.

Variáveis clínicas	24h-PRE		48h-PRE
	r_b (IC95%)	p-valor	r_b (IC95%)
FEdi (%)	-0,15 (-0,41 – 0,10)	0,322	-0,15 (-0,44 – 0,14)
USeq (cm)	0,11 (-0,18 – 0,37)	0,476	0,00 (-0,27 – 0,30)
EMGsdi (RMS)(μV)	0,07 (-0,25 – 0,36)	0,649	-0,04 (-0,37 – 0,25)
IEIC (cmH_2O/s)	0,20 (-0,11 – 0,40)	0,264	0,18 (-0,50 – 0,22)

Os dados foram expressos em: r_{bp}: correlação bisserial por pontos; IC95% = intervalo de confiança; p valor = nível de significância p<0,05 representado por *. **Legenda**: USeq espessura ultrassonográfica do quadríceps; FEdi: fração de espessamento da ultrassonografia do diafragma direito em porcentagem; EMGsdi (RMS): eletromiografia de superfície do diafragma representada em *root meansquare* em μV; IEIC: índice de esforço inspiratório cronometrado (cmH_2O/s).

DISCUSSÃO

No grupo sucesso de desmame, houve aumento significativo dos valores de FEdi e do IEIC, após 48 horas de desconexão, comparado ao momento pré-desconexão da VM e no grupo falha, apenas o IEIC aumentou no mesmo período. A magnitude das alterações (expressas em delta) não foi diferente entre os grupos sucesso e falha. Não houve mudanças nos valores de EMGsdi e USeq durante os períodos avaliados em ambos os grupos.

Observou-se aumento dos valores alcançados da FEdi no grupo sucesso do desmame, do momento pré desconexão até o período de 48 horas após desconexão. O estudo, Fritsch et al., 2024 corrobora com os achados desse estudo, pois observaram aumento significativo da FEdi durante no início da desconexão da VM até o final do desmame da VM (15,68% $\pm$17,62 e 17,38% $\pm$ 11,18) (14). A possível explicação para esse aumento da FEdi ao longo do desmame é que após a retirada da pressão positiva, as fibras do diafragma sofrem aumento de tamanho e

os sarcômeros, ao longo do tempo, se reorganizam diante do novo comprimento das fibras. Isso só é possível porque os músculos esqueléticos são tecidos plásticos e se adaptam ao tamanho conforme são expostos a diferentes demandas de trabalho [15,16].

Os valores descritos na literatura, de previsão de sucesso de desmame foram FEdi maiores do que 20 a 36%, porém não foi indicado um protocolo específico para indivíduos traqueostomizados em desmame prolongado [10,17,9,18]. No presente estudo, os valores alcançados de FEdi ao final de 48 horas nos grupos sucesso e falha foram respectivamente de: 22,39% ±10,39 e 21,59% ±11,09. Isso demonstra que os valores de previsão de sucesso de desmame descritos na literatura, em indivíduos em desmame prolongado, foram atingidos somente após o período de 48 horas de desconexão da VM em ambos os grupos.

Em relação à EMGsdi, em estudos que avaliaram o desfecho do desmame, em indivíduos com menos de 48 horas de VM, durante a execução do TRE, na modalidade depressão de suporte, observou-se aumento na atividade elétrica ao final do TRE, nos indivíduos que falharam no desmame [19,20]**.** Neste estudo a avaliação do diafragma pela EMGsdi, após a desconexão da VM, não houve diferenças significativas entre os valores avaliados durante o período de 48 horas de descontinuidade da VM, em ambos os grupos. Como já salientamos houve aumento da FEdi durante as 48horas de desconexão e isso pode ter contribuído para o sucesso no desmame.

Da Silva et al., 2019 em estudo que avaliou semanalmente indivíduos traqueostomizados, em desmame prolongado da VM, observaram que os valores de IEIC maiores que 1 cmH_2O/s foram preditivos de sucesso do desmame [14]. O presente estudo, porém, demonstrou que valores de IEIC em grupos de indivíduos que apresentaram sucesso e falha no desmame, durante as 48 horas, na comparação de medidas antes da desconexão da VM, foram todos maiores do 1 cmH_2O/s e a progressão dos valores do grupo falha foi maior do que ado grupo sucesso no desmame, portanto, esses valores não foram capazes de discriminar entre o sucesso e falha do desmame.

Este estudo não demonstrou mudanças significativas na espessura do músculo quadríceps ao longo das 48 horas após a desconexão da VM, sendo assim, possivelmente, a maior perda de espessura desse músculo ocorreu na fase aguda da doença. Na doença crítica a fase de intenso catabolismo acontece entre o

terceiro e o sétimo dia, em que há uma perda muscular importante, seguida de uma fase anabólica com a estabilização da doença [5]. Fritsch et al., 2024 desenvolveram um estudo longitudinal em indivíduos em VM prolongada e observaram a manutenção da espessura do quadríceps durante o período de descontinuidade de VM [14]o que foi semelhante ao encontrado no presente estudo. Em um estudo que avaliou as mudanças histológicas e a perda de massa muscular do quadríceps, de indivíduos com previsão de ficarem intubados por mais de 48 horas e que fossem permanecer mais de sete dias de VM, foi descrito que a atrofia muscular ocorreu rapidamente na primeira semana de VM [21].

Os grupos sucesso e falha não diferiram significativamente em relação à espessura do músculo quadríceps, com médias de espessura iguais a 1,56 cm e 1,55 cm, respetivamente, ainda assim, essas medidas não foram capazes de predizer o desfecho do desmame para essa população estudada. Em contrapartida, Er et al., 2022 avaliaram a espessura do quadríceps de indivíduos ventilados por até 36 horas e observaram que durante o desmame da VM, aqueles que apresentavam espessura menor que 2,1 centímetros, estavam sujeitos à falha no desmame. Esses resultados podem explicar a maior perda muscular que ocorre na fase aguda da doença crítica e determina o insucesso do desmame, no entanto, tardiamente, ao se atingir estabilidade da doença crítica, os valores de espessura muscular não são mais capazes de predizer o sucesso no desmame prolongado [22].

O estudo apresentou limitações, pois foi realizado em centro único, e observado apenas um protocolo de desmame aplicado à população estudada. Por outro lado, o estudo apresentou pontos fortes pois conseguiu demonstrar a evolução cronológica do comportamento da FEdi, EMGsdi, USeq e IEIC.

A conclusão deste estudo é que existe aumento do trofismo diafragmático demonstrado pelo aumento da medida de FEdi e aumento da força dos músculos inspiratórios avaliados pelo IEIC, durante o período de 48 horas de descontinuidade da VM. Além disso, não existe a interferência dos músculos periféricos no desmame, pois as mudanças na espessura do músculo quadríceps, nesse período, não foram significativas. Com estes resultados pudemos concluir que não houve diferença na comparação entre os grupos sucesso e falha nos índices FEdi, EMGsdi, USeq e IEIC em indivíduos traqueostomizados em desmame prolongado.

REFERÊNCIAS

[1] LATRONICO, N. *et al*. Critical Illness Weakness, Polyneuropathy and Myopathy: Diagnosis, treatment, and long-term outcomes. Critical Care, v. 27, n. 1, p. 439, 13 nov. 2023.

[2] LE STANG, V. *et al*. Critical illness-associated limb and diaphragmatic weakness. Current Opinion in Critical Care, v. 30, n. 2, p. 121–130, abr. 2024.

[3] GOLIGHER, E. C. *et al*. Clinical strategies for implementing lung and diaphragm-protective ventilation: avoiding insufficient and excessive effort. Intensive Care Medicine, v. 46, n. 12, p. 2314–2326, dez. 2020.

[4] TELIAS, I. *et a*l. The physiological underpinnings of life-saving respiratory support. Intensive Care Medicine, v. 48, n. 10, p. 1274–1286, out. 2022.

[5] SINGER, P. *et al*. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. Clinical Nutrition, v. 38, n. 1, p. 48–79, fev. 2019.

[6] BAPTISTELLA, A. R. *et al*. Predictive factors of weaning from mechanical ventilation and extubation outcome: A systematic review. Journal of Critical Care, v. 48, p. 56–62, dez. 2018.

[7] METNITZ, P. G. H. *et al*. SAPS 3—From evaluation of the patient to evaluation of the intensive care unit. Part 1: Objectives, methods and cohort description. Intensive Care Medicine, v. 31, n. 10, p. 1336–1344, out. 2005.

[8] MORENO, R. *et al*. The use of maximum SOFA score to quantify organ dysfunction/failure in intensive care. Results of a prospective, multicentre study. Intensive Care Medicine, v. 25, n. 7, p. 686–696, 22 jul. 1999.

[9] VIEIRA SANTANA, P. *et al*. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 46, n. 6, p. e20200064–e20200064, 2020.

[10] 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, v. 46, n. 4, p. 594–605, abr. 2020.

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

[12] DUARTE, R. P. *et a*l. Diaphragm Muscle Surface Electromyography in Patients Submitted to Liver Transplant and Eligible for Extubation. Transplantation Proceedings, v. 49, n. 4, p. 829–831, maio 2017.

[13] DE SOUZA COSTA, H. L. L. *et al*. Involvement of Respiratory Muscles During the Timed Inspiratory Effort Index Measurement With Surface Electromyography. Respiratory Care, v. 65, n. 12, p. 1857–1863, 1 dez. 2020.

[14] FRITSCH, S. J. *et al*. Diaphragm ultrasound in patients with prolonged weaning from mechanical ventilation. Quantitative Imaging in Medicine and Surgery, v. 14, n. 5, p. 3248–3263, maio 2024.

[15] PETROF, B. J.; SASSOON, C. S. Diaphragm Remodeling during Application of Positive End-Expiratory Pressure. A Case of Normal Physiologic Adaptation Gone Awry? American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 198, n. 4, p. 416–418, 15 ago. 2018.

[16] LINDQVIST, J. *et al*. Positive End-Expiratory Pressure Ventilation Induces Longitudinal Atrophy in Diaphragm Fibers. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 198, n. 4, p. 472–485, 15 ago. 2018.

[17] MARQUES, M. R. *et al.* Ultrasonography to Access Diaphragm Dysfunction and Predict the Success of Mechanical Ventilation Weaning in Critical Care: A Narrative Review. Journal of Ultrasound in Medicine, v. 43, n. 2, p. 223–236, fev. 2024.

[18] BONI, A. *et a*l. Early versus late tracheostomy in critically ill patients: an umbrella review of systematic reviews of randomised clinical trials with meta-analyses and trial sequential analysis. BMJ Open Respiratory Research, v. 12, n. 1, p. e002434, abr. 2025.

[19] POZZI, M. *et al*. Accessory and Expiratory Muscles Activation During Spontaneous Breathing Trial: A Physiological Study by Surface Electromyography. Frontiers in Medicine, v. 9, p. 814219, 10 mar. 2022.

[20] DIAO, S. *et al*. The diaphragmatic electrical activity during spontaneous breathing trial in patients with mechanical ventilation: physiological description and potential clinical utility. BMC Pulmonary Medicine, v. 24, n. 1, p. 263, 30 maio 2024.

[21] PUTHUCHEARY, Z. A. *et al*. Acute Skeletal Muscle Wasting in Critical Illness. JAMA, v. 310, n. 15, p. 1591, 16 out. 2013.

[22] ER, B. *et a*l. Is diaphragm ultrasound better than rapid shallow breathing index for predicting weaning in critically ill elderly patients? Tuberk Toraks, v. 71, n. 3, p. 197–202, 22 set. 2023.

6.3 - Artigo 3.

ARTIGO CONFIABILIDADE

Esse artigo foi formatado segundo as regras do periódico *Annals of Intensive Care* ao qual será submetido após tradução.

RELIABILITY OF ULTRASOUND MEASUREMENTS OF THE QUADRÍCEPS MUSCLE BY INEXPERIENCED EXAMINERS IN TRACHEOSTOMIZED PATIENTS UNDERGOING PROLONGED WEANING: NA OBSERVATIONAL STUDY.

Lucinara Martins Silva Tallarico[1], Rodrigo Marques Tonella[2], Júlia de Pinho Lacerda[3], Anna Maria de Carvalho Oliveira[3], Maria Clara Xavier Salles[3], Izabele Aparecida de Sá Oliveira[3], Marcelo Velloso[1,2].

[1]Doctoral Program in Rehabilitation Sciences of the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) and Hospital Risoleta Tolentino Neves, Belo Horizonte, Brazil.
[2]Department of Physical Therapy of the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brazil.
[3]Undergraduate Physical Therapy program at the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brazil.
Running head: Quadriceps ultrasound reliability in tracheostomized patients.

Corresponding author: Lucinara Martins Siva

6627 President Carlos Luz avenue, Belo Horizonte-MG

Zip code: 31310-250 Brazil

LIST OF ABBREVIATIONS AND ACRONYMS

ICC – Intraclass Correlation Coefficient

SAPS III – Simplified Acute Physiology Score

SOFA – Sequential Organ Failure Assessment

US - Ultrasound

ICU - Intensive Care Unit

MV - Mechanical Ventilation

QMT – Quadriceps MuscleThickness

INTRODUCTION

Scientific and technological advances have enhanced life-support capabilities, improving the survival of patients admitted to intensive care units (ICU). Mechanical ventilation (MV) is a crucial life-support intervention that may cause muscle weakness and structural changes when prolonged, hampering the weaning process (1,2). Patients in prolonged MV weaning require reliable techniques to assess muscle structure to quantify sarcopenia associated with critical illness (1,2).

Ultrasound (US) is a preferred method to assess muscle weakness in critically ill patients due to its ease of bedside application, non-volitional and non-invasive nature, and validated diagnostic accuracy when compared with gold-standard techniques for measuring muscle thickness, such as computed tomography (3,4). However, the US is an operator-dependent technique, and the level of training of the examiner is a major challenge for obtaining reliable measurements in ICU patients (5). The training of professionals performing US assessments at the ICU raised concerns regarding the effectiveness of the training method and the number of images required to develop sufficient skills for measurement reliability (6).

The US enables the evaluation of the muscle architecture and thickness, reflecting the physical disposition of muscle fibers and quantifying muscle mass at a macroscopic level. These parameters influence the mechanical function and the mass reserve of the muscle (7,8). In healthy individuals, anatomical boundaries, such as fascia, muscle tissue, subcutaneous tissue, and adipose tissue, are easily identifiable and clearly visible. Conversely, the muscles of critically ill patients are subjected to various factors that change their anatomical structure, posing technical challenges for an adequate US assessment (7,8). These changes are influenced by the duration of MV, predominantly during the first week in the ICU (9,10). Puthucheary et al. (2013) demonstrated by US that muscle mass loss in critically ill patients is associated with an imbalance between protein synthesis and degradation, as well as histological changes occurring within the first week of MV (9).

The challenges imposed by critical illness on structural muscle changes, and the additional complexity posed by prolonged MV on assessment methods evidence the need to evaluate the reliability of US measurements. Variability may occur between inexperienced examiners due to the technical complexity of the procedure. Therefore, this study aimed to assess the intra- and inter-rater reliability of Quadriceps Muscle Thickness (QMT) performed by one expert and two

inexperienced researchers in tracheostomized patients undergoing prolonged weaning from MV.

METHODS

This observational study was conducted from May to July 2023 and involved patients admitted to the ICU at Hospital Risoleta Tolentino Neves in Belo Horizonte (Minas Gerais, Brazil). The study was approved by the research ethics committee of the Federal University of Minas Gerais (no. 54575221600005149).

Inclusion and Exclusion criteria

Patients of both sexes, aged over 18 years, who were tracheostomized and undergoing prolonged weaning from MV, and whose family members provided written informed consent were included. Those with skin lesions that prevented the acquisition of US images or required respiratory isolation during the transmissible period were excluded.

Patientcharacteristics

The following data were collected: sex, age, weight, height, body mass index (BMI), duration of MV (days), and US measurements; disease severity and mortality risk were assessed using the Simplified Acute Physiology Score III (SAPS III). (11)

Procedures

Data collection was performed by three examiners: one expert (a physical therapist specialized in intensive care with three nationally recognized US training certifications and three years of experience) and two examiners who were undergraduate physical therapy students with no prior experience in the US. The training program followed the recommendations of the Royal College of Radiology (12) for basic-level US training, which included theoretical instruction, observation of at least 20 cases, and the performance of 30 supervised scans under the guidance of the expert.

For the patient assessment, the three examiners performed three US measurements on nine tracheostomized patients who were receiving MV. Measurements were performed sequentially by the examiners in a predefined order (expert followed by the two inexperienced examiners), using the same technique on

the same patient. An opaque paper card was placed over part of the US display to prevent the examiners from seeing their previous measurements and those taken by other examiners. All images were saved on the hard drive of the US and coded with a predefined numerical sequence known only to a fourth researcher, who extracted the images and sent them to a statistician who was blinded to the examiners for analysis.

US assessment protocol

The ultrasound device used for image acquisition was the Logitec ER7 PRO (GE Healthcare Xanguai - China). Quadriceps muscle thickness was defined as the sum of the thicknesses of the rectus femoris and vastus intermedius muscles. Patients were positioned in the supine position, with the head of the bed elevated to about 30 degrees of trunk flexion, knees fully extended, and legs aligned along the midline. A dermatographic pen was used to mark the measurement site, located at the distal third of the distance between the anterior superior iliac spine and the superior border of the patella on the right lower limb. A linear transducer with a frequency range of 5 to 13 MHz was positioned perpendicular to the femur and transverse to the muscle at the marked site. The measurement was taken from the inferior border of the superficial fascia of the rectus femoris to the superior surface of the femur (10).

STATISTICAL ANALYSIS

Descriptive analysis was used to characterize the sample, with results expressed as mean, standard deviation, minimum, and maximum values. Intra-rater and inter-rater agreement analyses were performed using the ICC and the Coefficient of Variation of the Method Error (CVME). For the ICC calculation, a two-way mixed-effects model with absolute agreement was adopted, as the study involved repeated measures from a non-randomized sample.

Comparisons between examiners across measurements 1, 2, and 3 were conducted using the Generalized Linear Model (GLM) with an identity link function and normal distribution. To improve the robustness of the estimates, the bootstrapping procedure with the bias-corrected and accelerated method and 1,000 resamples were applied, following the recommendations of LaFleur & Greevy (2009) (13). Post hoc analyses were performed using Fisher’s Least Significant Difference test for multiple comparisons, and the corresponding 95% confidence intervals were

calculated. All analyses were performed using R Studio (version 2024.12.0) and JASP (version 0.18.3.0). A significance level of $p < 0.05$ was adopted.

The sample size calculation was based on the method proposed by Walter et al. (1998) (14), which determined that nine patients were sufficient to conduct an inter-rater reliability study.

RESULTS

A total of nine patients were assessed, and the sample characterization data are presented in Table 1.

Table 1. Patient characteristics (n=9).

Variables	Descriptive statistics
Sex, M / F	5 / 4
Age (years)	58.9 ±13.6 (37 to 82)
Body weight (kg)	68.4 ±11.7 (51 to 91.3)
Height (m)	1.65 ±0.06 (1.6 to 1.8)
BMI (kg/m^2)	25.2 ±4.2 (19.7 to 31.6)
MV time (days)	15 ±15.6 (7 to56)
Thickness (cm)	1.6 ±0.6 (0.6 to 2.7)
SAPS III	61.1 ±14 (46 to 86)

Data are expressed as mean ± standard deviation (minimum–maximum) and Absolute frequency. M: male; F: female; BMI: body mass index; MV: mechanical ventilation; SAPS III: Simplified Acute Physiology Score III.

Table 2 presents the US records from the three examiners, totaling 81 measurements.

Table2. Values of the three sequential US thickness measurements (cm) obtained by each examiner.

Patient	First measurement			Second measurement			Third measurement		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2.42	2.48	2.42	2.49	2.45	2.45	2.9	2.46	2.31
2	1.18	1.21	1.21	1.22	1.12	1.19	1.25	1.14	1.19
3	2.24	2.45	2.14	2.19	2.33	2.24	2.06	2.07	2.32
4	1.17	1.17	1.17	1.2	1.21	1.22	1.19	1.26	1.21
5	2.03	1.85	1.84	1.99	1.63	1.88	2.05	1.75	1.91
6	0.75	0.61	0.8	0.85	0.61	0.77	0.88	0.61	0.77
7	1.96	1.91	1.77	1.84	1.9	1.89	1.92	2.02	1.98
8	1.69	1.76	1.8	1.82	1.67	1.73	1.74	1.57	1.73
9	1.02	0.73	0.9	1.03	0.85	0.96	1.1	0.73	0.9

Intra- and inter-examiner reliability values were classified as excellent, as well as on the low percentages of the CVME, as shown in Table 3.

Table 3. Intra and inter-examiner agreement analysis.

	Absolut ICC	95%CI	p-value	CVME (%)
Intra-examiner				
Examiner 1	0.985	0.955 to 0.996	<0.001	0.97
Examiner 2	0.981	0.943 to 0.995	<0.001	1.82
Examiner 3	0.990	0.969 to 0.998	<0.001	2.68
Inter-examiner	0.985	0.954 to 0.996	<0.001	7.30

ICC: Intraclass Correlation Coefficient; CVME: Coefficient of Variation of the Method Error.

The QMT values obtained between examiners across the three measurements

are presented as mean ± standard deviation. Inter-examiner comparisons were reported with 95% confidence intervals and did not present significant differences (p > 0.05), as demonstrated in Table 4.

Table 4. Inter-examiner comparisons of quadriceps muscle ultrasound thickness for examiners 1, 2, and 3.

Assessments	Examiners			Inter-examiner comparisons 95%CI (p-value)		
	Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ass 1 *vs* Ass 2	Ass 1 *vs* Ass 3	Ass 2 *vs* Ass 3
Ass 1	1.61 ± 0.59	1.57 ± 0.68	1.56 ± 0.54	-0.57 to 0.63 (0.913)	-0.55 to 0.64 (0.877)	-0.59 to 0.61 (0.964)
Ass 2	1.63 ± 0.57	1.53 ± 0.64	1.59 ± 0.57	-0.48 to 0.68 (0.733)	-0.55 to 0.61 (0.907)	-0.64 to 0.52 (0.827)
Ass 3	1.65 ± 0.59	1.51 ± 0.63	1.59 ± 0.57	-0.44 to 0.73 (0.623)	-0.52 to 0.65 (0.828)	-0.66 to 0.51 (0.783)

95%CI: 95% confidence interval; Ass 1, Ass 2, and Ass 3 are thefirst, second, and third assessments; Ex 1, Ex 2, and Ex 3 are the first, second and third examiners, respectively.

DISCUSSION

This study investigated the intra- and inter-examiner reliability of US assessmentsin tracheostomized patients undergoing prolonged weaning from MV. The results demonstrated excellent concordance for US measurements performed within and between assessments of the examiners, regardless of their experience level.

The sample size and the three repeated measurements conducted in this study align with the methodology employed by Sarwal et al. (2015) (5), who considered a minimum acceptable reliability of ICC = 0.70, expected reliability of ICC = 0.93, and type I and type II error rates of $\alpha = 0.05$ and $\beta = 0.20$, respectively. They recommended including nine patients for three repeated observations, a method also based on Walter et al. (1998) (14).

Sarwal et al. (2015) (5) analyzed the reliability of US and diaphragm performed by four examiners with varying levels of experience, including neurocritical patients with varied lengths of ICU stay. Vieira et al. (2019) (15) evaluated the reliability of US measurements using ICC in critically ill trauma patients admitted to the ICU for at least 24 hours and compared images obtained by experienced and novice examiners, demonstrating an ICC greater than 0.98. These studies are similar to ours, as they involved experienced and novice examiners who achieved excellent measurement reliability after training. However, the population in this study differed from previous ones because the MV duration was over seven days, which typically increases the difficulty of image acquisition. Nevertheless, intra- and inter-examiner reliability remained unaffected in our study.

Pardo et al. (2018) (10) demonstrated good intra- and inter-examiner reliability when analyzing US images obtained from critically ill patients under prolonged MV. However, the measurements were performed exclusively by experienced examiners, which was acknowledged as a study limitation, as measurements by inexperienced examiners might yield lower reliability (10). In this context, the present study found excellent reliability in using the US to assess a population with over seven days of MV, similar to Pardo et al. (2018) (10). In contrast to their study, US images of the present study were acquired by novice researchers following structured training by an experienced examiner. These results indicate that inexperienced examiners with

proper training can achieve excellent reliability when performing US in this population.

Patient age may influence the reliability of US measurements, given the structural alterations in muscle architecture. In ICU patients, an imbalance between muscle protein anabolism and catabolism may increase susceptibility to sarcopenia and ICU-acquired muscle weakness (15). A previous study evaluating the reliability of the US in a healthy population reported no significant differences between individuals younger and older than 50 years (16). Although our sample was not stratified by this variable, the mean age was 58 years (range 37 to 82), suggesting that it did not impact the reliability of US measurements.

A study conducted on individuals with traumatic brain injury assessed at different durations of MV (upon admission, up to four days, and up to seven days) and stratified by BMI (underweight, normal weight, overweight, or obesity) demonstrated that these classifications did not impact the reliability of measurements (7). This finding supports our results, in which the sample was overweight (mean BMI =25.17 ±4.24 kg/m²), and this variable did not interfere with the reliability of US measurements.

This study has some limitations, including being conducted at a single center with a severity profile evaluated by the SAPS III score averaging 61.1 ±14. Therefore, the results may not be generalizable to populations with higher scores. Additionally, only one reference point was used for measurements (the distal third of the quadriceps), and it remains unclear whether assessments at other sites would yield the same reliability.

The strengths of the present study include demonstrating that US is a reliable tool, providing a foundation for future research on routine assessment of muscle mass in patients undergoing prolonged MV weaning. Although this study was conducted in a specific population with significant alterations in muscle architecture, it still demonstrated that the US is a reliable measure that can be performed by professionals submitted to proper training. These professionals achieved the necessary reliability after undergoing training based on the Royal College of Radiology guidelines (12).

In conclusion, US measurements performed by newly trained professionals in tracheostomized patients admitted to the ICU undergoing prolonged weaning from MV demonstrated excellent intra-and inter-examiner reliability.

REFERENCES

1. Rose L, Messer B. Prolonged Mechanical Ventilation, Weaning, and the Role of Tracheostomy. Crit Care Clin. 2024 Apr;40(2):409-427. doi: 10.1016/j.ccc.2024.01.008. Epub 2024 Feb 2. PMID: 38432703.

2. Dolinay T, Hsu L, Maller A, Walsh BC, Szűcs A, Jerng JS, Jun D. Ventilator Weaning in Prolonged Mechanical Ventilation-A Narrative Review. J Clin Med. 2024 Mar 26;13(7):1909. doi: 10.3390/jcm13071909. PMID: 38610674; PMCID: PMC11012923.

3. Fuest KE, Lanz H, Schulz J, Ulm B, Bennett VA, Grunow JJ, Weiss B, Blobner M, Schaller SJ. Comparison of Different Ultrasound Methods to Assess Changes in Muscle Mass in Critically ill Patients. J Intensive Care Med. 2023 May;38(5):431-439. doi: 10.1177/08850666221132246. Epub 2022 Oct 13. PMID: 36227022; PMCID: PMC10154988.

4. Ogawa M, Matsumoto T, Harada R, Yoshikawa R, Ueda Y, Takamiya D, Sakai Y. Reliability and Validity of Quadriceps Muscle Thickness Measurements in Ultrasonography: A Comparison with Muscle Mass and Strength. Prog Rehabil Med. 2023 Mar 11;8: 20230008. doi: 10.2490/prm.20230008. PMID: 36909302; PMCID: PMC9998244.

5. Sarwal A, Parry SM, Berry MJ, Hsu FC, Lewis MT, Justus NW, Morris PE, Denehy L, Berney S, Dhar S, Cartwright MS. Interobserver Reliability of Quantitative Muscle Sonographic Analysis in the Critically Ill Population. J Ultrasound Med. 2015 Jul;34(7):1191-200. doi: 10.7863/ultra.34.7.1191. PMID: 26112621.

6. Wong A, Robba C, Mayo P. Critical care ultrasound. Intensive Care Med. 2022 Aug; 48(8):1069-1071. doi: 10.1007/s00134-022-06735-9. Epub 2022 Jun 1. PMID: 35648197.

7. Peres LM, Luis-Silva F, Menegueti MG, Lovato WJ, Espirito Santo DAD, Donadel MD, Sato L, Malek-Zadeh CH, Basile-Filho A, Martins-Filho OA, Auxiliadora-Martins M. Comparison between ultrasonography and computed tomography for measuring skeletal muscle mass in critically ill patients with different body mass index. Clin Nutr ESPEN. 2024 Feb; 59:214-224. doi: 10.1016/j.clnesp.2023.12.012. Epub 2023 Dec 12. PMID: 38220379.

8. Umbrello M, Brogi E, Formenti P, Corradi F, Forfori F. Ultrasonographic Features of Muscular Weakness and Muscle Wasting in Critically Ill Patients. J Clin

Med. 2023 Dec 20;13(1):26. doi: 10.3390/jcm13010026. PMID: 38202033; PMCID: PMC10780243.

9. Puthucheary ZA, Rawal J, McPhail M, Connolly B, Ratnayake G, Chan P, Hopkinson NS, Phadke R, Dew T, Sidhu PS, Velloso C, Seymour J, Agley CC, Selby A, Limb M, Edwards LM, Smith K, Rowlerson A, Rennie MJ, Moxham J, Harridge SD, Hart N, Montgomery HE. Acute skeletal muscle wasting in critical illness. JAMA. 2013 Oct 16;310(15):1591-600. doi: 10.1001/jama.2013.278481.

10. Pardo E, El Behi H, Boizeau P, Verdonk F, Alberti C, Lescot T. Reliability of ultrasound measurements of quadriceps muscle thickness in critically ill patients. BMC Anesthesiol. 2018 Dec 27;18(1):205. doi: 10.1186/s12871-018-0647-9. PMID: 30591032; PMCID: PMC6309087.

11. Metnitz PG, Moreno RP, Almeida E, et al.: SAPS 3 Investigators. SAPS 3-From evaluation of the patient to evaluation of the intensive care unit. Part 1: Objectives, methods and cohort description. Intensive Care Med. 2005; 31 (10):1336-44.

12. Royal College of Radiologist; British medical ultrasound society. Ultrasound training recommendations for medical and surgical specialties .3. ed London: The Royal College of Radiologist, p.21,2017.

13. LaFleur BJ & Greevy RA. Introduction to Permutation and Resampling-Based Hypothesis Tests. Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology, 38(2):286-294, 2009. DOI: 10.1080/15374410902740411.

14. Walter SD, Eliasziw M, Donner A. Sample size and optimal designs for reliability studies. Stat Med. 1998 Jan 15;17(1):101-10. doi: 10.1002/(sici)1097-0258(19980115)17:1<101: aid-sim727>3.0.co;2-e. PMID: 9463853.

15. Vieira L, Rocha LP, Mathur S, Santana L, Melo PF, Silva VZ, et al. Confiabilidade da ultrassonografia de músculos esqueléticos em pacientes críticos de trauma. Rev Bras Ter Intensiva. 2019; 31 (4):464-473. DOI: 10.5935/0103-507X.20190072.

16. Lees MJ, Prado CM, Wischmeyer PE, Phillips SM. Skeletal Muscle: A Critical Organ for Survival and Recovery in Critical Illness. Crit Care Clin. 2025 Apr;41(2):299-312. doi: 10.1016/j.ccc.2024.08.011. Epub 2024 Oct 3. PMID: 4001881.

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na UTI do Hospital Risoleta Tolentino Neves (HRTN), local onde eu trabalho, são desenvolvidas duas linhas de pesquisa, uma é relacionada a estudo em mobilização precoce em UTI e a outra, em desmame de VM. Durante o período do meu doutorado, participei das duas linhas de pesquisas. Um dos estudos publicados foi relacionado à mobilização precoce, cujo título do trabalho foi: O impacto de um protocolo de mobilização precoce, viável e de baixo custo em pacientes críticos: comparação com fisioterapia convencional, manuscrito publicado na Revista Fisioterapia e Pesquisa e anexado ao final dessa tese. Os dados desse trabalho foram coletados a partir de um protocolo criado para o desenvolvimento da dissertação de mestrado do fisioterapeuta Rodrigo Cesar Maia Moreira do Programa de pós-graduação em Ciências da Reabilitação, desenvolvido e realizado de forma prospectiva nas UTI do hospital.

O segundo projeto, no qual participei, foi relacionado ao desmame prolongado de VM em indivíduos traqueostomizados. Esse projeto teve início em 2022 no período pós-pandemia, por uma necessidade do momento em realizar estudos nessa população. Esse trabalho resultou em três artigos que estão sendo submetidos à publicação, sendo o primeiro submetido à revista *Respiratory Care* e os outros dois artigos estão em fase de tradução para posterior submissão. Essa linha de pesquisa ainda segue em andamento com financiamento pelo Edital da Reitoria da UFMG, coordenado pela FUNDEP.

As dificuldades encontradas nesse trabalho, a maioria foram devido à gravidade da dos participantes.

Este estudo apresentou alguns pontos fortes. Avaliou uma população específica de indivíduos em desmame de VM prolongada. A importância disso é que, por se tratar de uma população de maior gravidade são, na maioria das vezes, critérios de exclusão dos estudos. Neste sentido, avaliação do desfecho do desmame nesse público específico permanece com lacunas importantes na literatura.

Pudemos demonstrar que os preditores EMGsdi, USeq, Fedi e IEIC, não foram associados ao desfecho de desmame nessa população, o que são resultados discrepantes daqueles observados na literatura, porém os estudos não fazem

estratificação dos tipos de desmame e talvez seja essa a necessidade de adequação metodológica em estudos futuros.

O músculo diafragma avaliado pela EMGsdi e FEdi puderam prever maior possibilidade de óbito nessa população e esse dado é de extrema importância para as equipes de reabilitação pois, ressaltam a necessidade de avaliação individualizada e adoção de estratégias que possam reverter de forma precoce a fraqueza muscular respiratória, com o intuito de reverter desfechos desfavoráveis.

O valor do ponto de corte de FEdi, descrito na literatura, como preditor de sucesso de desmame e os valores observados nos indivíduos, desse estudo, que alcançaram sucesso no desmame, foram abaixo do que é preconizado, porém observou-se que esses valores foram alcançados depois de 48horas de descontinuidade de VM.

Os indivíduos que apresentaram falhas no desmame também apresentaram valores de IEIC maiores do que o ponto de corte apresentado na literatura recente, sendo assim, esse índice não conseguiu prever sucesso no desmame, demonstrando que o valor sugerido de 1cmH_2O/s, como preditor de sucesso de desmame nessa população, necessita ser revisado em ensaios clínicos robustos.

A USeq não foi um índice capaz de prever desfecho de desmame e nem hospitalar e não impactou na evolução do sucesso de desmame, demonstrando que os músculos periféricos não interferem nos desfechos de desmame em indivíduos com tempo prolongado de VM.

Durante as coletas de dados observamos a dificuldade de aquisição da medida de USeq e a necessidade de grande habilidade para medidas confiáveis, devido principalmente à perda dos pontos de referência dos músculos nessa população estudada. Em função dessa dificuldade, foi realizado um levantamento bibliográfico que demonstrou existir uma lacuna na literatura sobre a confiabilidade de medidas de pesquisadores com pouca experiência em indivíduos em desmame prolongado de VM. E como resultado, observamos que examinadores com pouca experiência,

porém com treinamento estruturado, conseguiram alcançar medidas confiáveis de USeq.

E por fim, espera-se que essa tese seja um marco importante e um ponto de partida para que novos estudos em indivíduos traqueostomizados e em desmame prolongado sejam replicados, contribuindo para o entendimento e melhora dos cuidados para essa população. E que sirva também de reflexão sobre a necessidade de estudos futuros que avaliem preditores de desmame específicos para indivíduos traqueostomizados em desmame prolongado da VM.

REFERÊNCIAS

AKELLA, Padmastuti; VOIGT, Louis P.; CHAWLA, Sanjay. To Wean or Not to Wean: A Practical Patient Focused Guide to Ventilator Weaning. **Journal of Intensive Care Medicine**, v. 37, n. 11, p. 1417–1425, nov. 2022.

AL TAYAR, Ashraf S.; ABDELSHAFEY, Eslam E. Diaphragm Electromyography Versus Ultrasonography in the Prediction of Mechanical Ventilation Liberation Outcome. **Respiratory Care**, v. 67, n. 11, p. 1437–1442, 1 nov. 2022.

AL-HUSINAT, Lou'i*et al.* The Role of Ultrasonography in the Process of Weaning from Mechanical Ventilation in CriticallyIll Patients. **Diagnostics**, v. 14, n. 4, p. 398, 12 fev. 2024.

ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 166, n. 4, p. 518–624, 15 ago. 2002.

BAPTISTELLA, Antuani Rafael *et al.* Predictive factors of weaning from mechanical ventilation and extubation outcome: A systematic review. **Journal of Critical Care**, v. 48, p. 56–62, dez. 2018.

BARWING, Jürgen *et al.* Electrical activity of the diaphragm (EAdi) as a monitoring parameter in difficult weaning from respirator: a pilot study. **Critical Care**, v. 17, n. 4, p. R182, 28 ago. 2013.

BÉDUNEAU, Gaëtan*et al.* Epidemiology of Weaning Outcome according to a New Definition. The WIND Study. **American Journal of Respiratory andCriticalCare Medicine**, v. 195, n. 6, p. 772–783, 15 mar. 2017.

BELLANI, Giacomo *et al.* Measurement of Diaphragmatic Electrical Activity by Surface Electromyography in Intubated Subjects and Its Relationship With Inspiratory Effort. **RespiratoryCare**, v. 63, n. 11, p. 1341–1349, 1 nov. 2018.

BERTONI, Michele; SPADARO, Savino; GOLIGHER, Ewan C. Monitoring Patient Respiratory Effort During Mechanical Ventilation: Lung and Diaphragm-Protective Ventilation. **Critical Care**, v. 24, n. 1, p. 106, 24 mar. 2020.

BOLES, J. M. *et al.* Weaning from mechanical ventilation. **European Respiratory Journal**, v. 29, n. 5, p. 1033–1056, maio 2007.

BONI, Aline *et al.* Early versus late tracheostomy in criticallyill patients: na umbrella review of systematic reviews of randomised clinical trials with meta-analyses and trial sequential analysis. **BMJ Open Respiratory Research**, v. 12, n. 1, p. e002434, abr. 2025.

BRENNER, Michael J. *et al.* Global Tracheostomy Collaborative: data-driven improvements in patients afety through multidisciplinary te am work, standardisation, education, and patient partnership. **British Journal of Anaesthesia**, v. 125, n. 1, p. e104–e118, jul. 2020.

CHEN, Juan; HUANG, Man. Intensive care unit-acquired weakness: Recent insights. **Journal of Intensive Medicine**, v. 4, n. 1, p. 73–80, jan. 2024.

DIAO, Shitong*et al.* The diaphragmatic electrical activity during spontaneous breathing trial in patients with mechanical ventilation: physiological description and potential clinical utility. **BMC Pulmonary Medicine**, v. 24, n. 1, 30 maio 2024.

DOLINAY, Tamás*et al.* Ventilator Weaning in Prolonged Mechanical Ventilation—A Narrative Review. **Journal of Clinical Medicine**, v. 13, n. 7, p. 1909, 26 mar. 2024.

DRES, Martin; DEMOULE, Alexandre. Diaphragm dysfunction during weaning from mechanical ventilation: na under estimated phenomen on with clinical implications. **Critical Care**, v. 22, n. 1, p. 73, 20 mar. 2018.

DUAN, Hongjie; BAI, Hailiang. Is Mitochondrial Oxidative Stress the Key Contributor to Diaphragm Atrophy and Dysfunction in CriticallyIll Patients? **Critical Care Research and Practice**, v. 2020, p. 1–10, 21 abr. 2020.

ER, Berrin*et al.* Is diaphragm ultrasound better than rapids hallow breathing index for predicting weaning in criticallyill elderly patients? **Tuberk Toraks**, v. 71, n. 3, p. 197–202, 22 set. 2023.

FAZZINI, Brigitta *et al.* The rate and assessment of muscle wasting during criticalillness: a systematic review and meta-analysis. **Critical Care**, v. 27, n. 1, p. 2, 3 jan. 2023.

FORMENTI, Paolo *et al.* Clinical review: peripheral muscular ultrasound in the ICU. **Annals of Intensive Care**, v. 9, n. 1, p. 57, dez. 2019.

FRANCO-ROMERO, Anais; SANDRI, Marco. Role of autophagy in muscle disease. **Molecular Aspects of Medicine**, v. 82, p. 101041, dez. 2021.

FRITSCH, Sebastian Johannes *et al.* Diaphragm ultrasound in patients with prolonged weaning from mechanical ventilation. **Quantitative Imaging in Medicine and Surgery**, v. 14, n. 5, p. 3248–3263, maio 2024.

GEORGOPOULOS, Dimitrios *et al.* Respiratory drive: a journey from health to disease. **Journal of IntensiveCare**, v. 12, n. 1, p. 15, 22 abr. 2024.

GOLIGHER, Ewan C. *et al.* Mechanical Ventilation–induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 197, n. 2, p. 204–213, 15 jan. 2018a.

GOLIGHER, Ewan C. *et al.* Mechanical Ventilation–induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 197, n. 2, p. 204–213, 15 jan. 2018b.

GRASSHOFF, Jan *et al.* Surface EMG-based quantification of inspiratory effort: a quantitative comparison with Pes. **Critical Care**, v. 25, n. 1, p. 441, dez. 2021.

GUIMARÃES, Bruno Leonardo da Silva *et al.* Serial Weekly Measurements of theTimed Inspiratory Effort Index Can Predict Success ful Prolonged Weaning. **Respiratory Care**, v. 64, n. 10, p. 1286–1292, 1 out. 2019.

HAAKSMA, Mark E. *et al.*EXpert consensus On Diaphragm Ultra Sonography in the criticallyill (EXODUS): a Delphi consensus statement on the measurement of diaphragm ultrasound-derived parameters in a critical care setting. **Critical Care**, v. 26, n. 1, p. 99, dez. 2022.

HAMZA, Esraa Mohamed Mohamed*et al.* Correlation between weaning outcome of patients on prolonged mechanical ventilation and changes in skeletalmuscles as assessed by ultrasonography. **The Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis**, v. 71, n. 4, p. 491–498, out. 2022.

HYATT, Hayden *et al.* Mitochondrial dysfunction induces muscle atrophy during prolonged inactivity: A review ofthe causes and effects. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 662, p. 49–60, fev. 2019.

JABER, Samir *et al.* Rapidly Progressive Diaphragmatic Weakness and Injury during Mechanical Ventilation in Humans. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 183, n. 3, p. 364–371, 1 fev. 2011.

JABER, Samir; DE JONG, Audrey. Weaning from mechanical ventilation in intensive care units: a call for new international consensus guidelines. **The Lancet Respiratory Medicine**, v. 11, n. 5, p. 398–400, maio 2023.

JONKMAN, A. H. *et al.* Analysis and applications of respiratory surface EMG: report of a round table meeting. **Critical Care**, v. 28, n. 1, p. 2, 2 jan. 2024.

KANOVA, Marcela; KOHOUT, Pavel. Molecular Mechanisms Underlying Intensive Care Unit-Acquired Weakness and Sarcopenia. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 15, p. 8396, 29 jul. 2022.

KISHIHARA, Yuki*et al.* Effects of tracheostomy timing in adult patients receiving mechanical ventilation: A systematic review and network meta-analysis. **Journal of Critical Care**, v. 77, p. 154299, out. 2023.

KLAWITTER, Felix *et al.* Mitochondrial Dysfunction in Intensive Care Unit-Acquired Weakness and CriticalI llness Myopathy: A Narrative Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 6, p. 5516, 14 mar. 2023.

LAGO, Alessandra Fabiane *et al.* Comparis on of International Consensus Conference guide lines and WIND classification for weaning from mechanical ventilation in Brazilian critically ill patients: A retrospective cohort study. **Medicine**, v. 98, n. 42, p. e17534, out. 2019.

LATRONICO, Nicola *et al.* CriticalI llness Weakness, Polyneuropathy and Myopathy: Diagnosis, treatment, and long-term outcomes. **Critical Care**, v. 27, n. 1, p. 439, 13 nov. 2023.

LE NEINDRE, Aymeric *et al.* Diagnostic accuracy of diaphragm ultrasound to predict weaning out come: A systematic review and meta-analysis. **International Journal of Nursing Studies**, v. 117, p. 103890, maio 2021.

LE STANG, Valentine *et al.* Critical illness-associated limb and diaphragmatic weakness. **Current Opinion in CriticalCare**, v. 30, n. 2, p. 121–130, abr. 2024.

LIN, Hai *et al.* Predictive values of ultrasonic diaphragm thickening fraction combined with integrative weaning index in weaning patients with mechanical ventilation: a retrospective study. **Journal of Cardiothoracic Surgery**, v. 19, n. 1, p. 66, 6 fev. 2024a.

LIN, Hai *et al.* Predictive values of ultrasonic diaphragm thickening fraction combined with integrative weaning index in weaning patients with mechanical ventilation: a retrospective study. **Journal of Cardiothoracic Surgery**, v. 19, n. 1, p. 66, 6 fev. 2024b.

LINDQVIST, Johan *et al.* Positive End-Expiratory Pressure Ventilation Induces Longitudinal Atrophy in Diaphragm Fibers. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 198, n. 4, p. 472–485, 15 ago. 2018.

LOKIN, Joost Lc*et al.* Transesophageal Versus Surface Electromyography of the Diaphragm in Ventilated Subjects. **Respiratory Care**, v. 65, n. 9, p. 1309–1314, 1 set. 2020.

LOPES, Maria Leonor Guia *et al.* Ultrasound assessment of muscle mass in criticallyill patients: A correlation with nutritional support and clinical outcomes. **Journal of Critical Care**, v. 85, p. 154938, fev. 2025.

MAHMOODPOOR, Ata *et al.* Diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. **Anaesthesiology Intensive Therapy**, v. 54, n. 2, p. 164–174, 21 jun. 2022.

MARQUES, Marta Rafael *et al.*Ultrasonography to Access Diaphragm Dysfunction and Predict the Success of Mechanical Ventilation Weaning in Critical Care: A Narrative Review. **Journal of Ultrasound in Medicine**, v. 43, n. 2, p. 223–236, fev. 2024.

MENDELSON, Asher A.; ERICKSON, Dustin; VILLAR, Rodrigo. The role of the microcirculation and integrative cardiovascular physiology in the pathogenesis of ICU-acquired weakness. **Frontiers in Physiology**, v. 14, p. 1170429, 10 maio 2023.

PARADA-GEREDA, Henry M. *et al.*Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of success ful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. **Critical Care**, v. 27, n. 1, p. 174, 5 maio 2023.

PARDO, Emmanuel *et al.*Reliability of ultrasound measurements of quadriceps muscle thickness in criticallyill patients. **BMC Anesthesiology**, v. 18, n. 1, p. 205, dez. 2018.

PETROF, Basil J.; HUSSAIN, Sabah N. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction: what have we learned? **Current Opinion in CriticalCare**, v. 22, n. 1, p. 67–72, fev. 2016.

PETROF, Basil J.; SASSOON, Catherine S. Diaphragm Remodeling during Application of Positive End-Expiratory Pressure. A Case of Normal Physiologic Adaptation Gone Awry? **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 198, n. 4, p. 416–418, 15 ago. 2018.

PHAM, Tài*et al.* Weaning from mechanical ventilation in intensive care units across 50 countries (WEAN SAFE): a multicentre, prospective, observational cohort study. **The Lancet Respiratory Medicine**, v. 11, n. 5, p. 465–476, maio 2023.

PIERSON, David J. Tracheostomy and Weaning. **Respiratory Care**, v.50,n.4 p.526-533,apr,2005.

PODDIGHE, Diego *et al.*Accuracy of respiratory muscle assessments to predict weaning outcomes: a systematic review and comparative meta-analysis. **CriticalCare**, v. 28, n. 1, p. 70, 7 mar. 2024.

POWERS, Scott K. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: phenomenology and mechanism(s) of pathogenesis. **The Journal of Physiology**, v. 602, n. 19, p. 4729–4752, out. 2024.

POZZI, Matteo *et al.* Accessory and Expiratory Muscles Activation During Spontaneous BreathingTrial: A Physiological Study by Surface Electromyography. **Frontiers in Medicine**, v. 9, p. 814219, 10 mar. 2022.

PUTHUCHEARY, Zudin A. *et al.* Acute Skeletal Muscle Wasting in CriticalI llness. **JAMA**, v. 310, n. 15, p. 1591, 16 out. 2013.

ROBERTS, Karsten J. *et al.* AARC Clinical Practice Guideline: Spontaneous Breathing Trials for Liberation From Adult Mechanical Ventilation. **Respiratory Care**, v. 69, n. 7, p. 891–901, 1 jul. 2024.

ROESTHUIS, L. H. *et al.* Recruitment pattern of the diaphragm and extradiaphragmatic inspiratory muscles in response to different levels of pressure support. **Annals of Intensive Care**, v. 10, n. 1, p. 67, dez. 2020.

ROSE, Louise; MESSER, Ben. Prolonged Mechanical Ventilation, Weaning, and the Role of Tracheostomy. **Critical Care Clinics**, v. 40, n. 2, p. 409–427, abr. 2024.

SAAD, Marina *et al.* Ultrasonographic Assessment of Diaphragmatic Functionand Its Clinical Application in the Management of Patients with Acute Respiratory Failure. **Diagnostics**, v. 13, n. 3, p. 411, 23 jan. 2023.

SANTANA, Pauliane Vieira; CARDENAS, Letícia Zumpano; ALBUQUERQUE, AndreLuis Pereira De. Diaphragm Ultrasound in CriticallyIll Patients on Mechanical Ventilation—Evolving Concepts. **Diagnostics**, v. 13, n. 6, p. 1116, 15 mar. 2023a.

SANTANA, Pauliane Vieira; CARDENAS, Letícia Zumpano; ALBUQUERQUE, Andre Luis Pereira De. Diaphragm Ultrasound in CriticallyIll Patients on Mechanical Ventilation—Evolving Concepts. **Diagnostics**, v. 13, n. 6, p. 1116, 15 mar. 2023b.

SCHEPENS, Tom; FARD, Samira; GOLIGHER, Ewan C. Assessing Diaphragmatic Function. **RespiratoryCare**, v. 65, n. 6, p. 807–819, 1 jun. 2020a.

SCHEPENS, Tom; FARD, Samira; GOLIGHER, Ewan C. Assessing Diaphragmatic Function. **Respiratory Care**, v. 65, n. 6, p. 807–819, 1 jun. 2020b.

SHAH, Neeraj M.; HART, Nicholas; KALTSAKAS, Georgios. Prolonged weaning from mechanical ventilation: who, what, when and how? **Breathe**, v. 20, n. 3, p. 240122, out. 2024.

SILVA NETO, Arthur E. da *et al.* The Timed Inspiratory Effort Index as a Weaning Predictor: Analysis of Intra- and Interobserver Reproducibility. **Respiratory Care**, v. 65, n. 5, p. 636–642, 1 maio 2020.

SINGER, Pierre *et al.* ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. **Clinical Nutrition**, v. 38, n. 1, p. 48–79, fev. 2019.

SOUZA, Leonardo Cordeiro de; GUIMARÃES, Fernando Silva; LUGON, Jocemir Ronaldo. The Timed Inspiratory Effort: A Promising Index of Mechanical Ventilation Weaning for Patients With Neurologic or Neuromuscular Diseases. **Respiratory Care**, v. 60, n. 2, p. 231–238, 1 fev. 2015.

TRUDZINSKI, Franziska C. *et al.* Risk Factors for Prolonged Mechanical Ventilation and Weaning Failure: A Systematic Review. **Respiration**, v. 101, n. 10, p. 959–969, 2022.

TRUDZINSKI, Franziska C. *et al.* Risk factors for long-term invasive mechanical ventilation: a longitudinal study using German health claims data. **Respiratory Research**, v. 25, n. 1, p. 60, 27 jan. 2024.

TRUONG, Dominic *et al.* Methodological and Clinimetric Evaluation of Inspiratory Respiratory Muscle Ultrasound in the Critical Care Setting: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Critical Care Medicine**, v. 51, n. 2, p. e24–e36, fev. 2023.

UMBRELLO, Michele *et al.* Ultrasonographic Features of Muscular Weakness and Muscle Wasting in CriticallyIll Patients. **Journal of Clinical Medicine**, v. 13, n. 1, p. 26, 20 dez. 2023.

VANHOREBEEK, Ilse; LATRONICO, Nicola; VAN DEN BERGHE, Greet. ICU-acquired weakness. **Intensive Care Medicine**, v. 46, n. 4, p. 637–653, abr. 2020.

VAPORIDI, Katerina *et al.* Respiratory Drive in CriticallyIll Patients. Pathophysiology and Clinical Implications. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 201, n. 1, p. 20–32, 1 jan. 2020.

VIEIRA, Fernando Nataniel *et al.* Association between rectus femoris cross-sectional area and diaphragmatic excursion with weaning of tracheostomized patients in the intensive care unit. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 34, n. 4, 2022.

VIEIRA SANTANA, Pauliane *et al.* Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 46, n. 6, p. e20200064–e20200064, 2020.

WAIT, J. L. *et al.* Diaphragmatic thickness-lung volume relationship in vivo. **Journal of Applied Physiology**, v. 67, n. 4, p. 1560–1568, 1 out. 1989.

WERKHAUSEN, Amelie *et al.* Linking muscle architecture and function *in vivo*: conceptual or methodological limitations? **PeerJ**, v. 11, p. e15194, 14 abr. 2023.

APÊNDICES E ANEXOS

ANEXO A - MINI CURRICULO

LUCINARA MARTINS SILVA TALLARICO

TEL: (31) 991528335

BELO HORIZONTE-MG

EMAIL: lucinara1@yahoo.com.br

Endereço plataforma lattes: http://lattes.cnpq.br/9050281635535329

GRADUAÇÃO

Curso: Fisioterapia

Instituição:**UNITRI**

Local:Uberlândia-MG

Data:Dez 1995.

PÓS-GRADUAÇÃO

Doutoranda em Ciências da Reabilitação

Local: Escola de educação física e fisioterapia e terapia ocupacional EEFFTO-UFMG

Linha de pesquisa – Desempenho cardiorrespiratório

Início: 2019

Mestrado em Neurociências

Local: Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG.

Título: Estresse oxidativo: estudo comparativo do efeito da adrenalina em granulócitos humanos em pacientes com síndrome de Alzheimer e durante o processo de envelhecimento.

Orientadora: Dra. Míriam Martins Chaves.

Data: Fev 2009 a Fev 2011.

Aprimoramento em reabilitação neurológica por EMG Biofeedback.

Local: University of Miami-USA/Jackson Memorial Hospital/Miami Jewisch Home and Hospital

Data: Fev 2001 a Jun 2001.

Especialização em Fisioterapia Respiratória.
Local: Faculdade de Ciências Médicas de Minas Gerais-FCMMG**.**
Data: Jan 1996 a Jan 1997.

Especialista em Fisioterapia em terapia intensiva do adulto
Instituição: COFFITO- ASSOBRAFIR
Data: 2016.

Especialista em Fisioterapia em terapia intensiva pediátrica e neonatal.
Instituição: COFFITO- ASSOBRAFIR
Data: 2018.

PATENTE

Autores: PORTES, L.; AGUIRRE, L.A.; CARVALHO, N.C; BEDA, A.; SILVA, L.M. Título: Processo e dispositivo para identificação da qualidade da interação paciente –ventilador mecânico baseados na análise de quantificação de recorrência ou em gráficos de recorrência.2017, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro BR 1020170271633, Instituição de registro: INPI-Instituto Nacional da propriedade industrial, depositante: Universidade Federal de Minas Gerais; Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de Minas Gerais, depósito:15-12-2017.

PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS DURANTE O PERÍODO DO DOUTORADO

1- Moreira, MRC; Tonella, RM; Tallarico, LMS; Camargo, T.M; Mendes, LPS; Barbosa, M.H; Salles, M.C.X7; Velloso, M. O impacto de um protocolo de mobilização precoce, viável e de baixo custo em pacientes críticos: comparação com a fisioterapia convencional, Revista Fisioterapia em pesquisa, São Paulo, 2025, 32:e24006024pt

2- Tallarico, SLM; Tonella, RM; Lacerda, JP; Oliveira. AMC; Salles, MCX; Oliveira, I.A.S; Velloso, M. Confiabilidade das medidas de ultrassonografia do músculo quadríceps por examinadores inexperientes, em indivíduos traqueostomizados e em desmame prolongado: um estudo observacional

3- Tallarico, LMS; Tonella, RM; Lacerda, JP; Oliveira, AMC; Salles, MCX; Izabele Oliveira, I.A.S; Velloso, M; Perfil da musculatura respiratória e periférica no desmame prolongado da ventilação mecânica em indivíduos traqueostomizados.

4- Tallarico, LMS; Tonella RM; Lacerda, J.P; Oliveira, AMC; Salles, MCX; Oliveira, I.A.S; Velloso, M. Avaliação longitudinal da função muscular respiratória e periférica em indivíduos traqueostomizados na descontinuidade da VM.

PUBLICAÇÃO EM ANAIS DE CONGRESSOS DURANTE O DOUTORADO

TALLARICO, Lucinara Martins Silva; OLIVEIRA, Anna Maria de Carvalho; OLIVEIRA, Izabele Aparecida de Sá; GOMES LIMA, Maionne Lucia; SANTOS, Alessandra Almeida; CISNEROS, Ligia de Loiola; TONELLA, Rodrigo Marques; VELLOSO, Marcelo. Associação entre a espessura do diafragma, mortalidade e índice de esforço inspiratório cronometrado no desmame de indivíduos traqueostomizados. *Crit Care Sci*, v. suplemento 1, p. S32-S31, 2023.

TALLARICO, Lucinara Martins Silva; OLIVEIRA, Anna Maria Carvalho; LACERDA, Júlia Pinho; COELHO, Ana Clara Souza; TONELLA, Rodrigo Marques; VELLOSO, Marcelo. A ultrassonografia diafragmática e o índice de esforço cronometrado são bons preditores de sucesso do desmame prolongado em pacientes neurológicos? Estudo preliminar. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, v. suplemento 1, p. S33-S251, 2022.

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

Experiência como preceptora de estágio

Instituição: Hospital Risoleta Tolentino Neves-UFMG

Função: Preceptora curso de graduação em fisioterapia da UFMG.

Período: 2009 a atual.

Experiência como fisioterapeuta

Instituição: Hospital Mater Dei

Função: Fisioterapeuta da unidade coranoriana e centro de tratamento intensivo.

Período: Mar 1997 a Jan 2002.

Instituição: Unifenas/Ceasc-Centro de estudo e assistência a saúde.

Função: Fisioterapeuta assistente na reabilitação de pacientes com comprometimentos neuromotores pelo método EMG Biofeedback.

Período: Jul 2001 a Dez 2007.

Instituição: Pronto socorro e Hospital Municipal Odilon Behens**.**

Função: Fisioterapeuta da sala de emergência e politraumatizados.

Período: Ago 2003 a Fev 2006.

Instituição: Hospital Municipal Odilon Behrens-HOB

Função :Fisioterapia CTI geral e cirúrgico.

Período :Dez 2006 a Mar 2008.

Instituição: Hospital Risoleta Tolentino Neves- HRTN

Função: Fisioterapeuta CTI geral

Período: Fev 2008 a atual.

Instituição: Hospital dia Maternidade Unimed-HDMU

Função: Fisioterapeuta CTI geral

Período: Jun 2011 a Jun 2015.

Instituição: Hospital Maternidade Odete Valadares-MOV
Função: Fisioterapeuta UTI neonatal
Período: Jun 2015 a Dez 2020

COORIENTAÇÃO DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título da monografia: Avaliação da espessura do diafragma, mortalidade e índice de esforço inspiratório cronometrado no desmame de indivíduos traqueostomizados.
Estudante: Anna Maria de Carvalho Oliveira.

Título da monografia: Avaliação da confiabilidade intra e inter examinadores de medidas de ultrassonografia do músculo quadríceps de pacientes em desmame prolongado da ventilação mecânica.
Estudante: Júlia de Pinho Lacerda.

Título da monografia: Avaliação da função muscular respiratória em indivíduos traqueostomizados em desmame prolongado
Estudante: Maria Clara Xavier Salles

TRABALHO PREMIADO

Prêmio Jovem Pesquisador: XXI Simpósio Internacional de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e Terapia Intensiva – SIFR
Título: Existe confiabilidade intra e interexaminadores das medidas de ultrassonografia do músculo quadríceps em pacientes traqueostomizados em desmame prolongado?
Autores: Maria Clara Xavier Salles; Julia de Pinho Lacerda; Anna Maria de Carvalho Oliveira, Lucinara Martins Silva Tallarico, Rodrigo Marques Tonella, Marcelo Velloso.
Período e local: realizado nos dias 13, 14 e 15 de junho de 2024, no Centro Internacional de Convenções do Brasil – CICB, em Brasília-DF.

Poster apresentado em congressos

E-Poster: Associação entre os índices preditores e o desfecho do desmame prolongado da ventilação mecânica em pacientes traqueostomizados.

Autores: Lucinara Martins Silva Tallarico, Maria Clara Xavier Salles; Anna Maria de Carvalho Oliveira; Rodrigo Marques Tonella; Marcelo Velloso.

Evento: XXI Simpósio Internacional de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e Terapia Intensiva – SIFR

Período e local: realizado nos dias 13, 14 e 15 de junho de 2024, no Centro Internacional de Convenções do Brasil – CICB, em Brasília-DF.

E- Poster: Associação entre a espessura do diafragma, mortalidade e índice de esforço inspiratório cronometrado no desmame de indivíduos traqueostomizados?

Evento: "XXVIII Congresso Brasileiro de Medicina Intensiva", em Florianópolis/SC, realizado pela Associação de Medicina Intensiva Brasileira - AMIB, no período de 23 a 25 de novembro de 2023. Florianópolis, 25 de novembro de 2023.

PARTICIPAÇÃO EM CURSOS

Curso "ECOGRAFIA EM TERAPIA INTENSIVA - ECOTIN" em São Paulo/SP, nos dias 30 de abril e 01 de maio de 2022, com carga horária de 20 horas. Realizado pela Associação de Medicina Intensiva Brasileira - AMIB. São Paulo, 01 de maio de 2021. Data de conclusão: 20 de abril de 2022.

Curso on-line: Ultrassonografia Cinesiológica em UTI, ministrado pelo Dr. MARCELO FARANI LOPEZ (BA) | CREFITO 7 – 55964-F e com carga horária total de 16 horas. São Paulo, 20 de abril de 2022.

Curso pré-congresso de Ultrassonografia Cinesiológica no Paciente Crítico, realizado no dia 31 de maio de 2023, em Belo Horizonte/MG, na qualidade de aluno, com carga horária: 10 horas. Para verificar a autenticidade do certificado acesse o link: http://cursos.somiti.org.br/certificado/NS67083 Belo Horizonte, 31 de maio de 2023.

Curso on-line: Metodologia e bioestatística proferido pelas professoras: Dra. Adriana Claudia Lunardi (SP) e Dra. Fernanda de Cordoba Lanza, com carga horária total de 10 horas. Data de conclusão do curso: 16 de maio de 2025.

Curso on-line: Treinamento muscular respiratório: indicações, benefícios e protocolos, com carga horária total de 04:00 horas. São Paulo, 16 de maio de 2025.

ORGANIZAÇÃO DE EVENTO

Participou como membro da Comissão Organizadora do evento Fundamentos do Suporte Básico de Vida, promovido pelo Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG, realizado na EEFFTO no dia 27 de março de 2025, com carga horária de 4 horas. Belo Horizonte, 15 de abril de 2025.https://doi.org/10.1590/1809-2950/e24006024pt

PARTICIPAÇÃO EM SIMPÓSIOS E CONGRESSOS

Participou do XXI Simpósio Internacional de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e Terapia Intensiva – SIFR, realizado nos dias 13, 14 e 15 de junho de 2024, no Centro Internacional de Convenções do Brasil – CICB, em Brasília-DF, com carga horária de 22 horas. Brasília, 15 de junho de 2024.

ANEXO B - FINANCIAMENTO

Este é um projeto fruto de uma parceria entre pesquisadores do Hospital Risoleta Tolentino Neves-HRTN e do programa de pós-graduação em Ciências da Reabilitação, da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorespiratório-LabCare, que obtiveram financiamento pelo Edital 02 da Reitoria da UFMG, gerenciado pela Fundação de Desenvolvimento e Pesquisa (FUNDEP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) *Finance Code* 001. Além disso, o projeto contou com a participação de uma aluna de graduação, bolsista de iniciação científica, concedida pela Pró reitoria de pesquisa (PRPQ) da UFMG, edital modalidade PROBIC em 2024.

ANEXO C - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Plataforma Brasil

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: APLICAÇÃO DA ULTRASSONOGRAFIA DIAFRAGMÁTICA, ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE DO MÚSCULO DIAFRAGMA, MEDIDA DE FORÇA INSPIRATÓRIA, TIMED INSPIRATORY EFFORT INDEX E SUAS CORRELAÇÕES DURANTE A DESCONTINUIDADE DA VENTILAÇÃO MECÂNICA EM UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA.

Pesquisador: Rodrigo Marques Tonella

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 54575221.6.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.216.383

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um estudo observacional de medidas repetidas, prospectivo, sem grupo controle o diafragma é um músculo estriado esquelético de função exclusivamente ventilatória. Seu funcionamento pode ser alterado devido a diversas doenças e a evolução destas podem necessitar de cuidados de terapia intensiva. A ocorrência de quadros de sepse pode levar ao aparecimento de miopatias e/ou polineuropatias, que podem resultar em maior permanência do indivíduo sob ventilação mecânica (VM). O Índice de Esforço Inspiratório Cronometrado (IEIC) é o índice utilizado para a mensuração da pressão inspiratória máxima (PImáx) em indivíduos com desmame prolongado da VM. A ultrassonografia diafragmática (USD) é outro recurso de avaliação da função diafragmática, a partir dele pode-se avaliar a excursão e o espessamento do diafragma, e seu resultado pode ser preditivo de sucesso no desmame da VM. A eletromiografia de superfície (EMS) é um método de estudo da função diafragmática, utilizado para verificar as magnitudes dos picos gráficos da atividade muscular

voluntária. Por meio de sua realização pode-se obter informações importantes para o manejo clínico de indivíduos dependentes da ventilação mecânica. Objetivo: avaliar a função diafragmática de indivíduos em processo de desmame da ventilação mecânica. Método: os indivíduos incluídos

Endereço: Av. Presidente Antonio Carlos, 6627 ¿ 2º. Andar ¿ Sala 2005 ¿ Campus Pampulha
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

serão submetidos à US para mensuração da fração de espessamento do diafragma, e espessura dos músculos reto femoral e vasto medial utilizando um transdutor linear de 6 a 13 MHz. Para a realização da EMS será utilizado o eletromiógrafo de superfície em uma frequência de 500 Hz e sensibilidade de amplitude do sinal de 500uV. Para a mensuração da PImáx será realizado o IEIC. Resultados esperados: espera-se que o uso do USD, IEIC e EMS sejam capazes de monitorar a desempenho diafragmático do indivíduo durante o processo de desmame e permitir a elaboração de estratégias e protocolos de treinamento muscular inspiratório.

Objetivo da Pesquisa:

Hipótese:

Espera-se encontrar uma correlação entre a atividade eletromiográfica do diafragma, o aumento da força muscular inspiratória e o incremento da espessura diafragmática e a partir desses resultados, avaliar o tempo e o desfecho do desmame. A espessura do músculo quadríceps auxiliará no diagnóstico de sarcopenia e sua evolução no desmame serão importantes na correlação com o comportamento do músculo respiratório. Além disso,

a partir dos resultados obtidos dos três métodos diagnósticos, poderá se traçar um plano de treinamento muscular inspiratório personalizado, o que poderá diminuir as chances de falha e retorno à VM.

Objetivo Primário:

O objetivo do presente estudo será avaliar a função diafragmática de pacientes em processo de desmame da ventilação mecânica, através da ultrassonografia, EMS e da mensuração da PImáx (TIE).

Objetivo Secundário:

Avaliar a correlação entre os valores obtidos e os tempos de desmame e de internação na UTI. Estratificar os diversos perfis de alteração da função diafragmática e correlacionar variáveis de gravidade do paciente crítico. Analisar a influência de parâmetros de mecânica ventilatória e troca gasosa no sucesso do desmame e no tempo de internação em UTI. Correlacionar medidas de função diafragmática obtidas pelo US, EMS, PImáx e IEIC

com a evolução da espessura da musculatura esquelética especificamente do músculo quadríceps avaliada pelo US, durante o processo de desmame da VM

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Ao submetermos o indivíduo às medidas de Pressão Inspiratória Máxima para cálculo do IEIC, pode acontecer eventualmente o aumento de frequência respiratória, cardíaca, pressão arterial média e pressão intracraniana que deverão retornar rapidamente aos valores basais após a medida

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Continuação do Parecer: 5.216.383

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Considerando que o participante da pesquisa se refere a paciente internado em UTI, ligado a respirador, que não conseguirá assinar o TCLE, não é encontrado óbice ético no TCLE do responsável do participante que será aplicado. Em caso do participante tiver consciente e em condição receber o Processo de Consentimento Livre e Esclarecido antes de se iniciar a pesquisa, e, assinar o termo do TCLE em algum momento posterior, em TCLE pós informado, solicita-se que seja realizado, conforme a garantia da autonomia resguardada pela Resolução CNS 466/12. Considerando que estas situações serão observadas, e anexado o TCLE pós informado direcionado a estes pacientes em emendas futuras, quando aplicável, aprova-se a pesquisa.

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o CEP-UFMG recomenda aos Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1570830.pdf	14/12/2021 13:26:54		Aceito
Declaração de concordância	Parecer_35_2020_Adendo.pdf	14/12/2021 13:26:15	Rodrigo Marques Tonella	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_FINAL_COMITE_081221.pdf	08/12/2021 22:17:40	Rodrigo Marques Tonella	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_COMITE.pdf	08/12/2021 22:03:01	Rodrigo Marques Tonella	Aceito
Parecer Anterior	Parecer_Camara.pdf	26/08/2021 20:55:45	Rodrigo Marques Tonella	Aceito
Folha de Rosto	Folha_Rosto_Assinada_Diretoria.pdf	26/08/2021 20:19:37	Rodrigo Marques Tonella	Aceito

Situação do Parecer:

Endereço: Av. Presidente Antonio Carlos, 6627 ¿ 2º. Andar ¿ Sala 2005 ¿ Campus Pampulha
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Continuação do Parecer: 5.216.383

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

BELO HORIZONTE, 28 de Janeiro de 2022

Assinado por:
Crissia Carem Paiva Fontainha
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Presidente Antonio Carlos, 6627 ¿ 2º. Andar ¿ Sala 2005 ¿ Campus Pampulha
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

ANEXO D - ATA DE QUALIFICAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

UFMG

ATA DO EXAME DE QUALIFICAÇÃO DA ALUNA
LUCINARA MARTINS SILVA TALLARICO

Realizou-se, no dia 21 de junho de 2023, às 14:00 horas, no Miniauditório da EEFFTO, na Universidade Federal de Minas Gerais, a apresentação do exame de qualificação da aluna **LUCINARA MARTINS SILVA TALLARICO**, número de registro 2019713750, intitulado *APLICAÇÃO DA ULTRASSONOGRAFIA MÚSCULO ESQUELÉTICA, DIAFRAGMÁTICA, ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE DO MÚSCULO DIAFRAGMA, MEDIDA DE FORÇA INSPIRATÓRIA, ÍNDICE DE ESFORÇO RESPIRATÓRIO CRONOMETRADO E SUAS CORRELAÇÕES DURANTE A DESCONTINUIDADE DA VENTILAÇÃO MECÂNICA EM UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA*, perante a Comissão Examinadora composta pelas professoras: Prof(a). Raquel Annoni - Presidente (Universidade Federal de Minas Gerais), Prof(a). Patricia Fernandes Trevisan Martinêz (Universidade Federal de Minas Gerais), Prof(a). Carolina Kosour (Universidade Federal de Alfenas). Terminada a apresentação, foi considerada:

(x) aprovada ( ) reprovada

e, para constar, foi lavrada a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 21 de junho de 2023.

Prof(a). Raquel Annoni (Doutora)

Prof(a). Patricia Fernandes Trevisan Martinêz (Doutora)

Prof(a). Carolina Kosour (Doutora)

ANEXO E - Comprovante de financiamento do projeto.

Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6.627 - Reitoria - Cidade Universitária
31270-901 – Pampulha - Belo Horizonte – MG

DECLARAÇÃO

DECLARAMOS que o(a) Professor(a), Rodrigo Marques Tonella, CPF nº 28965300886, Inscrição UFMG nº 352691, do(a) ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL da UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, sendo coordenador(a) do projeto A PERFORMANCE DA MUSCULATURA RESPIRATÓRIA E PERIFÉRICA PODE IMPACTAR EM DESFECHOS CLÍNICOS NO DESMAME PROLONGADO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA EM INDIVÍDUOS TRAQUEOSTOMIZADOS, INTERNADOS NA UTI? na Chamada 01/2024 - PROGRAMA DE INCENTIVO A PROJETOS DE PESQUISA DESENVOLVIDOS NO HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG) E NO HOSPITAL RISOLETA TOLENTINO NEVES – FUNDO FUNDEP, financiado por UFMG/FUNDEP, tendo recebido o valor de R$ 0,00.

Belo Horizonte, 21 de maio de 2025

Este documento eletrônico dispensa carimbo e assinatura. Sua autenticidade pode ser comprovada através do site "aplicativos.ufmg.br/prpq/autenticidade/editalfundep" inserindo o Código de Autenticidade ou por meio do QrCode

Código de Autenticidade: 000fe73a90fa7d1780c325f19a01e55089b093

ANEXO F - Artigo publicado.

DOI: 10.1590/1809-2950/a24006024pt

PESQUISA ORIGINAL

O impacto de um protocolo de mobilização precoce, viável e de baixo custo em pacientes críticos: comparação com a fisioterapia convencional

The impact of an early, viable, and low-cost mobilization protocol in critically ill patients: comparison with conventional physical therapy

El impacto de un protocolo de movilización precoz, viable y de bajo costo en pacientes críticos: una comparación con la fisioterapia convencional

Rodrigo César Maia Moreira[1], Rodrigo Marques Tonella[2], Lucinara Martins Silva Tallarico[3], Taís Mendes de Camargo[4], Liliane Patrícia Souza Mendes[5], Mariana Hoffman Barbosa[6], Maria Clara Xavier Salles[7], Marcelo Velloso[8]

RESUMO | Neste estudo foi analisado o resultado da aplicação de um protocolo de mobilização precoce, fazendo uso de intervenções de baixo custo, com o mínimo de equipamentos necessários em uma unidade de terapia intensiva. Trata-se de um ensaio clínico, controlado e randomizado, realizado em parceria com o Laboratório de Avaliação e Pesquisa do Desempenho Cardiorrespiratório do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de Minas Gerais e com a Unidade de Terapia Intensiva (UTI) do Hospital Risoleta Tolentino Neves, em Belo Horizonte, Brasil, no período de cinco meses. Os pacientes foram distribuídos de forma aleatória em dois grupos (tratamento [GT] n=67 e controle [CG] n=67). O desfecho primário foram os dias de saída do leito, enquanto os desfechos secundários foram: tempo de internação na UTI, tempo de internação hospitalar, custos de internação, tempo em Ventilação Mecânica Invasiva (VMI), mortalidade na UTI e mortalidade hospitalar. As características dos grupos foram similares na avaliação inicial. Verificou-se que 61 pacientes (97%) do GT foram retirados do leito, em comparação com apenas dois pacientes (3%) do GC. O protocolo de mobilização proposto reduziu os custos de internação em 30,27%, diferença aproximada de R$7 mil por paciente. A média de tempo de estadia na UTI do GT foi menor do que a do GC. Não houve diferença estatisticamente significativa quanto às horas de permanência em UTI, tempo de permanência hospitalar e tempo de VMI. A aplicação do protocolo de mobilização precoce de baixo custo e com o mínimo de equipamentos foi segura e eficaz para os pacientes, promovendo a saída precoce do leito.

Descritores | Mobilização Precoce; Custo; Fisioterapia; Tecnologia de Baixo Custo; Unidade de Terapia Intensiva.

ABSTRACT | This study aims to analyze the outcomes of applying an early mobilization protocol, using low-cost interventions with the minimum necessary equipment in an intensive care unit. A clinical trial, controlled and randomized, conducted in collaboration with the Laboratory for Assessment and Research in Cardiorespiratory Performance

[1]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: roditsiomaia@gmail.com. Orcid: 0009-0002-6758-9203
[2]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: digomato@ufmg.br. Orcid: 0000-0001-5363-0717
[3]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: lucinatal@yahoo.com.br. Orcid: 0009-0008-9598-7379
[4]Universidade de São Francisco – Bragança Paulista (SP), Brasil. E-mail: taismendesdecamargo@gmail.com. Orcid: 0000-0002-3804-280X
[5]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: lilicsw@yahoo.com.br. Orcid: 0000-0002-2602-xxxx
[6]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: mariana.hoffmanl@monash.edu. Orcid: 0000-0002-8818-2958
[7]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: mariacsalles@gmail.com. Orcid: 0009-0008-2844-7652
[8]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: marcelo.vel@gmail.com. Orcid: 0000-0002-2352-8954

Fisioter Pesqui. 2025;32:e24006024pt

of the Department of Physical Therapy at the Federal University of Minas Gerais and the Intensive Care Unit of Risoleta Tolentino Neves Hospital in Belo Horizonte, Brazil, over a period of 5 months. Patients were randomized into two groups (treatment n=67 and control n=67). The primary outcome was days of discharge from bed. Secondary outcomes included ICU length of stay, hospital length of stay, hospitalization costs, time on mechanical ventilation, ICU mortality, and hospital mortality. The group characteristics were similar in the initial assessment. It was found that 61 patients (97%) in the treatment group were discharged from bed compared to only two patients (3%) in the control group. The proposed mobilization protocol reduced hospitalization costs by 30.27%, an approximate difference of R$7,000.00 per patient. The mean ICU stay time for the treatment group was less than the control group. There were no statistically significant differences in ICU hours, hospital length of stay, or mechanical ventilation time. The results of this study demonstrated that the application of a low-cost and minimally equipped early mobilization protocol was safe and effective for patients, promoting early discharge from bed.

Keywords | Early Mobilization; Cost; Physical Therapy; Low-Cost Technology; Intensive Care Unit

RESUMEN | Este estudio analizó el resultado de la aplicación de un protocolo de movilización precoz, que utiliza intervenciones de bajo costo y con el mínimo de equipamiento requerido en una unidad de cuidados intensivos. Se trata de un ensayo clínico controlado y aleatorizado, realizado en colaboración con el Laboratorio de Evaluación e Investigación del Rendimiento Cardiorrespiratorio en el Departamento de Fisioterapia de la Universidad Federal de Minas Gerais y con la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) del Hospital Risoleta Tolentino Neves, en Belo Horizonte, Brasil, durante un período de cinco meses. Los pacientes se sometieron aleatoriamente a dos grupos (tratamiento [GT] n=67 y control [GC] n=67). El resultado primario fueron los días de retiro de la cama, mientras que los resultados secundarios fueron: duración de la estancia en la UCI, duración de la hospitalización, costos de hospitalización, tiempo en ventilación mecánica invasiva (VMI), mortalidad en la UCI y mortalidad hospitalaria. Las características de los grupos fueron similares en la evaluación inicial del estudio. Se encontró que 61 pacientes (97%) del GT fueron retirados de la cama en comparación con solo dos pacientes (3%) del GC. El protocolo de movilización propuesto redujo los costos de hospitalización en un 30,27%, una diferencia aproximada de R$ 7.000 por paciente. La duración media de la estancia en la UCI del GT fue más breve que la del GC. No hubo diferencias estadísticamente significativas con respecto a la estancia en la UCI, a la duración de la estancia hospitalaria y a la duración en VMI. La aplicación del protocolo de movilización precoz de bajo costo y con equipo mínimo fue segura y eficaz para los pacientes al promover un retiro temprano de la cama.

Palabras clave | Movilización Precoz; Costo; Fisioterapia; Tecnología de Bajo Costo; Unidad de Cuidados Intensivos.

INTRODUÇÃO

Pacientes internados em Unidade de Terapia Intensiva (UTI), principalmente os que permanecem por um período prolongado, apresentam limitações funcionais observadas no pós-alta hospitalar. Há comprometimento físico em longo prazo, limitações recorrentes para se exercitar e diminuição da percepção da qualidade de vida relacionada à saúde[1]. Além disso, constata-se uma elevada taxa de readmissão hospitalar, principalmente no primeiro ano pós-alta[2], e uma baixa taxa de retorno ao trabalho, com 31% dos pacientes críticos não voltando a suas ocupações após internação em UTI[3].

A reabilitação precoce em UTI objetiva minimizar as complicações resultantes de internação prolongada e promover maior independência funcional depois da alta[4-7]. No entanto, estudos randomizados e multicêntricos demonstraram que intervenções por tempo prolongado ainda não impactam os desfechos clínicos, como o tempo de internação e a sobrevida dos pacientes, além de estarem associadas à incidência de eventos adversos[8,9].

Grande parte dos estudos buscou avaliar a aplicação de tecnologias avançadas, tais como cicloergômetros automáticos e estimulação elétrica neuromuscular (EENM) em músculos apendiculares, ou a associação de ambos[10-12], com o intuito de diminuir a mortalidade e a taxa de reinternação. Esses protocolos previam custos elevados, não disponíveis de forma universal na maioria das terapias intensivas, especialmente no Brasil. Zayed et al.[12] realizaram uma revisão sistemática que englobou seis estudos randomizados sobre o efeito de EENM em pacientes críticos, envolvendo 718 participantes. Concluíram que não houve diferença nos valores aferidos pela escala *Medical Research Council* (MRC) na taxa de mortalidade, no tempo de internação e no tempo de ventilação mecânica (VM) da população submetida à EENM.

O investimento em mobilização precoce pode também gerar economia de recursos hospitalares, o que impacta diretamente os custos do sistema de saúde. A implementação de programas institucionais reduz os custos líquidos da internação, otimizando assim os recursos em saúde, seu melhor uso e investimento[13].

Diante disso, este estudo analisou e comparou os custos hospitalares, os efeitos e os riscos da aplicação de um protocolo de mobilização precoce, utilizando intervenção de baixo custo, em relação ao protocolo institucional de uma UTI.

METODOLOGIA

Trata-se de um ensaio clínico, controlado e randomizado, realizado em parceria com o Laboratório de Avaliação e Pesquisa do Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare) do Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e com a UTI do Hospital Risoleta Tolentino Neves (HRTN), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Este estudo aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos da UFMG (COEP/UFMG sob nº 598.0.203.000-10 e registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (ReBEC) RBR-92j6qf.

A amostra foi composta por pacientes internados na UTI do HRTN e o tempo de aplicação da pesquisa foi de cinco meses. Foram elegíveis para o estudo pacientes com idade superior a 18 anos, independentemente do sexo, 24 horas após admissão na UTI, com ou sem sedação ou Ventilação Mecânica Invasiva (VMI), estáveis hemodinamicamente (ausência de hipotensão ou necessidade de drogas vasoativas ou em baixas doses (menos de 1mcg/hora/kg de noradrenalina), ausência de doenças neuromusculares prévias, tais como distrofia muscular de Duchenne, síndrome de Guillian-Barré, miastenia gravis, esclerose múltipla ou esclerose lateral amiotrófica, ausência de diagnóstico prévio de câncer avançado ou em terapia imunossupressora (dose de prednisona maior que 20mg/d), ausência de acidente vascular encefálico como motivo de internação; ausência de amputação de um ou mais membros; ausência de fraturas no quadril ou extremidades inferiores, bem como fraturas instáveis na coluna vertebral; sem cirurgia recente na coluna lombar, pelve ou membros inferiores; ausência de anomalias congênitas nos membros inferiores; ausência de comprometimento funcional relacionado à deambulação (exceto nos casos de necessidade de apoio para deambulação); ausência de ressuscitação cardiopulmonar na admissão ou durante a internação na UTI; assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) por um familiar ou responsável, autorizando a participação do paciente quando ele não apresentava estado de consciência suficiente para decidir; assinatura do consentimento informado pelo paciente ou responsável. Foram excluídos do estudo sujeitos com período de internação anterior inferior a 30 dias da data de admissão na referida UTI; pacientes transferidos de outros hospitais; paciente consciente que se recusou a participar de qualquer um dos dois grupos após o processo de randomização; recusa do paciente em participar do estudo depois de recobrar a consciência; e pacientes que apresentaram alteração do diagnóstico inicial para acidente vascular encefálico como causa da internação atual.

Procedimentos

Após o recrutamento (Figura 1), os pacientes foram distribuídos de forma aleatória em dois grupos – Grupo Tratamento (GT) e Grupo Controle (GC) – conforme ordem de internação na UTI, por meio de uma lista gerada pelo software Excel (Microsoft Home and Student 2010, versão 14), e, posteriormente, foram identificados no estudo, conforme o grupo de alocação, posição de entrada e o número de internação na instituição, para um eventual consulta eletrônica. O acesso às informações, sobre qual grupo pertencia cada sujeito de pesquisa selecionado, foi exclusivo do pesquisador principal.

Dados clínicos iniciais, tais como: idade, sexo, *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II* (APACHE II), diagnóstico de internação, proteína C reativa (PCR) e lactato foram coletados em formulário próprio da UTI, bem como os dados clínicos referentes às comorbidades apresentadas pelos pacientes.

Fisioter Pesqui. 2025;32:e24006024pt

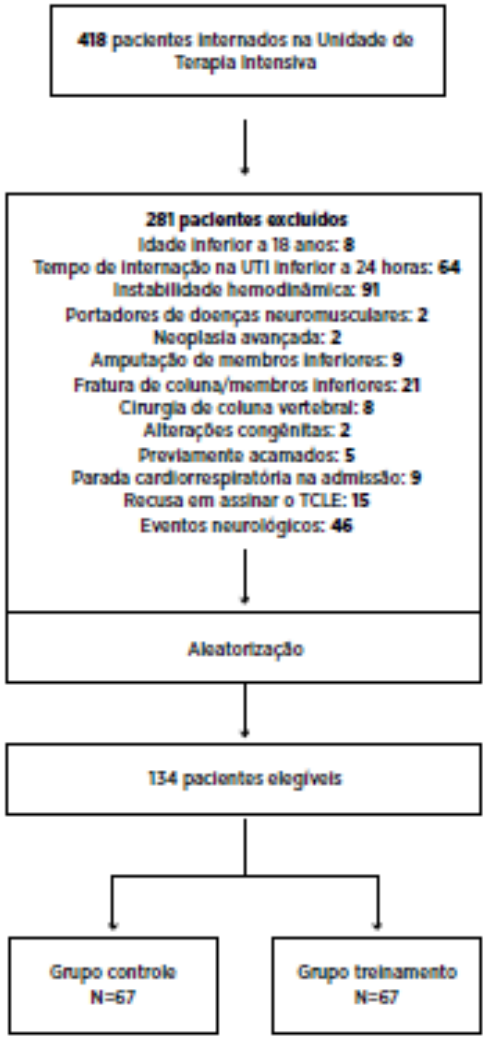


Figura 1. Fluxograma do estudo

Os cuidados usuais da equipe de fisioterapia do HRTN oferecidos aos pacientes do GC consistiam em: admissão fisioterapêutica, avaliação, fixação da via aérea artificial, ajustes dos parâmetros ventilatórios no ventilador mecânico, observação do posicionamento adequado do paciente no leito, aplicação de técnicas de mobilização de secreção como a hiperinsuflação manual, seguidos de aspiração da secreção traqueal, quando indicada. Dentre os cuidados usuais, não eram utilizados instrumentos específicos de avaliação muscular e/ou funcional no momento da admissão ou durante a permanência do paciente na UTI; somente a sedestação beira leito e/ou em poltrona foi um recurso empregado de forma rotineira, quando a condição clínica do paciente permitia.

Os pacientes do GT recebiam as intervenções fisioterapêuticas programadas após 24 horas de admissão na UTI, visando a estabilidade clínica do paciente. No início de cada sessão, os pacientes eram avaliados quanto à estabilidade hemodinâmica (pressão arterial média entre 60 e 110 mmHg quando da ausência de drogas vasopressoras ou dose inferior a 1μg/kg/hora, aproximadamente até o limite de infusão contínua de 15ml/h; presença em baixas doses de drogas vasoativas, como noradrenalina e/ou dobutamina; frequência cardíaca inferior a 140bpm ou superior a 50bpm na ausência de drogas específicas (nitroprussiato, nitroglicerina, amiodarona etc.), frequência respiratória ≤35 incursões/minuto e oximetria de pulso ≥88%.

Após a determinação dos cuidados usuais para o GC e dos critérios de estabilidade clínica para o GT, foi realizado um protocolo de mobilização precoce, aplicado por uma equipe previamente treinada e específica para realizar a mobilização. Essa equipe era composta por cinco fisioterapeutas que não faziam parte do quadro funcional do HRTN. O protocolo de mobilização proposto se baseou nos fundamentos do estudo de Morris et al.[34].

Etapa 1: Avaliação inicial baseada na graduação da Escala de Coma de Glasgow (ECG) inferior ou igual a oito e/ou graduação na Escala de Richmond de Agitação-Sedação (RASS) entre –4 e –5. Pacientes nessas condições foram submetidos à mobilização passiva de membros superiores (MMSS) (ombros, cotovelos e punhos) nos planos frontal e sagital de movimentos envolvendo flexão/extensão, abdução/adução, pronação/supinação; nos membros inferiores (MMII) (quadris, joelhos e tornozelos) os mesmos planos de movimentos foram realizados, com frequência e uma vez por dia, com estabelecimento de cinco repetições para cada movimento realizado.

Etapa 2: Avaliação inicial: pacientes apresentando ECC maior ou igual a nove, RASS entre –3 e 0 e sem força muscular em MMSS suficiente para vencer a força da gravidade nas articulações proximais (ombros) foram submetidos a sessões de mobilização ativo-assistida nos mesmos planos e articulações descritos na Etapa 1, com o mínimo de auxílio necessário para realizar a tarefa exigida, treino de transferência no leito para mudança de decúbito, exercícios de ponte de quadril com o mínimo de auxílio necessário do fisioterapeuta.

Etapa 3: Avaliação inicial: pacientes apresentando ECG≥9, RASS entre –1 e 0 e movimentação ativa

de ombros, capaz de vencer a força da gravidade, foram submetidos a exercícios de ponte de quadril no leito, treino de transferência de decúbito, transferência para aquisição de posturas antigravitacionais, tais como passar de deitado para sentado no leito com as pernas pendentes, treino de equilíbrio de tronco, treino funcional e ganho de força muscular, além de transferência assistida para poltrona.

Etapa 4: Avaliação inicial: paciente apresentando as mesmas condições da Etapa 3, mas com capacidade de movimentação de quadris contra a força da gravidade. Os pacientes foram submetidos a treino de transferência no leito para aquisição de posturas antigravitacionais, transferência para ortostatismo, atividades pré-marcha – descarga de peso em MMII marcha estacionária, treino de equilíbrio em ortostatismo e transferência para poltrona.

No início de cada sessão, os pacientes eram avaliados pelo fisioterapeuta para determinação da etapa do protocolo em que se encaixavam naquele dia. Porém, caso o paciente não fosse capaz de realizar a etapa proposta, ele retornava à etapa anterior, e as razões para esse retorno eram devidamente registradas.

Durante o tempo de internação e aplicação do protocolo, o acompanhamento da evolução dos pacientes do estudo foi realizado por meio de registro em ficha de evolução clínica, anotando critérios infecciosos (febre, leucocitose, pneumonias, infiltrado na região torácica, síndrome séptica), eventos como síndrome da angústia respiratória aguda, polineuromiopatia do doente crítico e quadros de falências orgânicas.

As sessões foram realizadas no período compreendido entre 7 e 22 horas, respeitando individualmente os períodos de descanso e o ciclo circadiano dos pacientes. Os pacientes do GT foram submetidos ao protocolo de mobilização precoce durante todo o período de internação na UTI, até o momento da alta, e todos foram monitorados até o momento da alta hospitalar ou outro desfecho atingido.

Os custos relacionados à internação na UTI foram levantados junto ao setor financeiro do HRTN, como valor paciente/dia, e convertidos em valor/hora de internação, para estabelecer a relação com o tempo de permanência na UTI (horas). O custo informado pelo setor financeiro define o custo total da internação no setor, incluindo todos os serviços prestados, como: funcionários de diversas áreas e a assistência direta à saúde (fisioterapeuta, enfermeiros, médicos, técnicos de enfermagem, auxiliares de higienização e limpeza etc.), procedimentos e exames complementares, infraestrutura (luz, água, telefone, elevador, manutenção dos equipamentos etc.) e valores referentes aos custos de farmácia/medicação.

Para analisar os dados, foram definidas como variáveis de interesse: tempo de saída do leito, tempo de ventilação mecânica, tempo de internação na UTI e hospitalar, mortalidade na UTI e hospitalar e custos totais da internação na UTI.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade dos dados analisados foi submetida ao teste de Kolmogorov-Smirnov. Para as variáveis com distribuição normal, foi utilizado o teste *t-Student* e, para as variáveis contínuas, o teste Mann-Whitney U para dados com distribuição não normal. Para as variáveis categóricas/dicotômicas, foi utilizado o teste Qui-quadrado.

O cálculo amostral foi realizado para o desfecho primário (dias de saída do leito), por meio do software Gpower(25), que indicou a necessidade de 116 pacientes para alcançar diferença estatisticamente significativa. Considerando as possíveis perdas do estudo, foi acrescido 15% nesse valor, totalizando 134 pacientes, divididos em dois grupos.

Todos os dados foram submetidos à análise pelo pacote estatístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS 17.0, Chicago, Estados Unidos). As análises descritivas incluíram médias e desvios-padrão para as variáveis contínuas. O nível de significância dos testes foi estabelecido em 5% ($p<0,05$).

RESULTADOS

O estudo foi desenvolvido por um período de cinco meses consecutivos, com 415 pacientes internados na UTI do HRTN. Do total de pacientes internados no período, 281 não foram elegíveis para o estudo (Figura 1). Desta forma, 134 pacientes foram elegíveis, dentre os quais 87 necessitaram de VMI em algum momento da internação, e dos quais 40 foram alocados no GT e 47 alocados no GC.

Houve perda amostral de 14 pacientes, que evoluíram para óbito, em ambos os grupos. Os óbitos foram relacionados ao agravamento do quadro clínico, não havendo qualquer influência do protocolo de mobilização precoce nesses eventos.

As características da amostra encontram-se descritas na Tabela 1. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos nas características basais (idade, sexo, APACHE II, PCR, lactato, tempo de VMI e diagnóstico clínico) e entre o GT e o GC em relação ao

tempo (número de dias) de utilização de sedação contínua e intermitente (p=0,837), insulinoterapia (p=0,068) e uso de corticoide (p=0,779).

Tabela 1. Características da população

Variáveis	GT (n=67)	CG (n=67)	p valor
Média de idade em anos (IC 95%)	58,51 (54,00-63,02)	55,34 (50,07-60,62)	0,364
Sexo masculino n (%)	37 (55,2)	41 (61,2)	0,484
APACHE II média (IC 95%)	19,89 (18,34-21,44)	21,07 (18,97-23,17)	0,369
Lactato média (IC 95%)	2,1259 (1,67-2,43)	5,827 (-0,37-12,03)	0,101
PCR média (IC 95%)	156,45 (135,18-177,73)	160,866 (129,80-191,93)	0,947
Diagnóstico n (%)			0,455
Cardiovascular	10 (14,9)	10 (14,9)	
IAM	2	5	
SCA	5	3	
ICC	3	2	
Respiratório	22 (32,8)	14 (20,90)	
ASMA	2	1	
DPOC	3	3	
IRpA	9	7	
PNM	8	3	
Neurológico	6 (9)	6 (9)	
Trauma	5 (7,5)	12 (17,9)	
Pós-operatório	8 (11,9)	8 (11,9)	
Outros	16 (23,9)	17 (25,4)	

APACHE: Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II; PCR: Proteína C reativa; IAM: Infarto agudo do miocárdio; SCA: Síndrome coronariana aguda; ICC: Insuficiência cardíaca descompensada; DPOC: Doença pulmonar obstrutiva crônica; IRpA: Insuficiência respiratória aguda; PNM: Pneumonia; N: número absoluto; %: porcentagem do N; IC: intervalo de confiança.

Com relação aos eventos adversos, houve apenas dois relacionados à perda de acesso venoso periférico e à perda de sonda nasoentérica. Não houve relato de complicações hemodinâmicas no GT, e o evento adverso mais frequente nesse grupo foi a hipotensão postural (45 eventos), sendo observada na aquisição de posturas antigravitacionais que foram prontamente revertidas quando o paciente retornava para a postura anterior, em sedestação ou posição supina. As razões mais frequentes de interrupção da sessão foram: solicitações dos pacientes ou presença de cansaço muscular percebida e/ou relatada durante os exercícios.

Verificou-se que 61 pacientes (97%) do GT foram retirados do leito, em comparação com apenas dois pacientes (3%) do GC (p=0,0001) (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação da proporção de pacientes que saíram do leito durante a internação na UTI

		Saída do leito		Total	
		Tratamento	Controle		p
Saída do Leito	Sim	61	2	63	0,0001
	Não	6	65	71	
Total		67	67	134	

Não houve diferença estatisticamente significativa nas horas de permanência na UTI entre os grupos (p=0,122). A média do tempo de estadia na UTI do GT foi de 264,76 horas (IC 95%: 197,41-332,07) e a média do GC foi de 379,71 horas (IC 95%: 272,97-486,45). A média dos custos registrada pelo HRTN no período do estudo, por paciente internado na UTI, foi de R$55,70/hora. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos em relação aos custos de internação aferidos (p=0,122). Considerando a média de horas de internação na UTI em cada grupo, o GT necessitou de R$14.746,28 média/paciente, ao passo que o GC necessitou de R$21.148,62 média/paciente na UTI.

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos em relação ao tempo de permanência hospitalar, sendo a média do GT de 28,60 dias (IC 95%: 21,37-35,83) e do GC de 36,08 dias (IC 95% –28,04-44,13) (p=0,159).

Não foi observada diferença estatística no tempo total de VMI durante a internação na UTI, sendo que no GT a média de dias de utilização foi de 5,36 dias (IC95% – 3,32-7,40) e no GC foi de 7,66 dias (IC95% – 5,09-10,22) (p=0,094).

Com relação à mortalidade hospitalar, 25 pacientes (18,7%) evoluíram para óbito, sendo 14 do GT e 11 do GC, e não se observou diferença estatisticamente significativa entre os grupos durante o tempo de internação na UTI (p=0,506). Quanto à mortalidade hospitalar geral, 35 pacientes (26,1%) evoluíram para óbito durante o período de internação hospitalar, sendo 17 pacientes do GT e 18 do GC, sem diferença estatisticamente significativa entre os grupos (p=0,844) (Tabela 3).

Tabela 3. Desfechos secundários. Tempo de internação na UTI e hospitalar, custos da internação, tempo de VM, mortalidade na UTI e hospitalar

	GT (n=67)	GC (n=67)	p valor
Tempo de internação na UTI (horas)[a]	264,74 (197,41-352,07)	379,71 (272,97-486,45)	0,122
Tempo de internação hospitalar (dias) [a]	28,60 (21,37-35,83)	36,08 (28,04-44,13)	0,159
Custos de internação (R$) [a]	14.746,28	21.148,62	0,122
Tempo VM (dias) [a]	5,36 (3,32-7,40)	7,66 (5,09-10,22)	0,094
Mortalidade na UTI [b]	14 (20,9)	11 (16,4)	0,506
Mortalidade hospitalar [b]	17 (25,4)	18 (26,9)	0,844

a. dados apresentados em médias e intervalos de confiança 95%.
b. dados apresentados em valores absolutos e porcentagem - n (%).
c. custos de internação na UTI - calculados a partir do valor médio paciente/dia e, posteriormente, convertidos em média hora/paciente, logo, tendo o valor convertido realizado o cálculo a partir do tempo de permanência na UTI.

DISCUSSÃO

A aplicação do protocolo de mobilização precoce promoveu a retirada do paciente do leito em 97% dos participantes do GT, enquanto no GC a retirada ficou em apenas 3%. Os efeitos adversos observados foram hipotensão postural (45 eventos) e perda de um cateter venoso periférico e de uma sonda nasoentérica, considerados de pequena gravidade. Não foram identificadas, na comparação entre os grupos, diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros de tempo de permanência em UTI e hospitalar, custos hospitalares, tempo de ventilação mecânica e taxa de mortalidade.

Avaliar o impacto dos programas de mobilização em diversos sistemas orgânicos, musculoesquelético, cardiorrespiratório ou de estado funcional, parece ser essencial e pode fornecer uma compreensão melhor dos benefícios reais desses programas nas UTI[15].

A população deste estudo foi heterogênea quanto aos motivos de internação na UTI, fator previsto pelos pesquisadores, uma vez que essa é a realidade desse setor do hospital, além de estar em consonância com estudos previamente realizados com populações diversas, em que o objetivo dos estudos não foi avaliar o programa de mobilização em doenças específicas, e sim o impacto do programa na condição funcional do paciente hospitalizado[14-19]. Levine et al.[20] avaliaram 14 pacientes doadores de órgãos submetidos à VMI, num período de 18 a 69 horas. Após biópsia do diafragma, ficou constatada a perda da secção transversa das fibras, tanto rápidas quanto lentas. Isso corrobora a metodologia proposta neste estudo, em que o início do protocolo de mobilização precoce ocorreu justamente após 24 horas da admissão na UTI.

A aplicação do protocolo de mobilização precoce, proposto neste estudo, seguramente aumentou a proporção de pacientes que saíram do leito durante a internação (61 do GT contra 2 do GC), questão de suma importância a ser considerada, uma vez que a literatura atual aponta para as repercussões negativas e as evoluções desfavoráveis do quadro clínico quando da permanência prolongada no leito durante a internação, causando perda da força muscular global, contraturas articulares, descondicionamento físico[21-23] e dificuldade no desmame da VMI[24], além de aumentar o tempo de internação na UTI e no hospital[25].

Os efeitos adversos observados na casuística deste estudo foram de pequena gravidade (perda de acesso venoso periférico e perda de sonda nasoentérica), além de 45 eventos de hipotensão postural no GT, prontamente revertidos e que não determinaram a interrupção da terapia. Schujmann et al.[15] descreveram em casuística randomizada o impacto de um programa de mobilização progressiva, que não apresentou eventos adversos relacionados à perda inadvertida de dispositivos, como acessos venosos, durante a terapia, além de não haver nenhum efeito adverso durante o protocolo. Em contrapartida, no estudo TEAM[8], foram relatados eventos adversos (dessaturação e arritmias em 3,5% e 2,2%, respectivamente) com relevância estatística, quando comparados os dois grupos do estudo.

O corpo de evidências demonstra-se suficiente para assegurar a aplicabilidade da mobilização precoce em UTI de forma segura e eficaz, favorecendo a recuperação funcional do paciente crítico[26-28]. No entanto, a atenção deve ser voltada para a definição de um protocolo seguro e efetivo a ser seguido, levando em consideração as diferentes disfunções apresentadas pelos pacientes, bem como as condições de atuação dos fisioterapeutas nos diferentes países[14]. O tempo de início do protocolo apresentado neste trabalho demonstrou que a aplicação, a partir de 24 horas da admissão, foi benéfica e segura, uma vez que os pacientes não apresentaram qualquer evento adverso que impedisse sua aplicabilidade, estando todos com a estabilidade hemodinâmica e ventilatória dentro dos limites considerados seguros.

A aplicação do protocolo de mobilização precoce se mostrou determinante para diminuir o tempo de VMI, pois o GT apresentou redução de oito dias nessa

modalidade terapêutica em relação ao GC. Embora sem diferença estatisticamente significativa, essa variação de tempo entre os grupos é considerada clinicamente relevante[20], em virtude das complicações inerentes a essa terapêutica. Nesse mesmo sentido, Hsieh et al.[22] e Moraes et al.[30] observaram em seus estudos que a implementação dos *bundles* ABCDE e ABCDEF, nos quais a mobilização precoce está inserida, pode ser importante para o manejo desses pacientes críticos, uma vez que resulta em menor incidência de *delirium*, redução do tempo de VM e internação em UTI, diminuição da mortalidade na UTI e no hospital em relação a pacientes que recebem apenas cuidados usuais.

O protocolo de mobilização proposto neste estudo mostrou redução dos custos de internação na ordem de 30,27%, o que representou uma diferença de aproximadamente R$7 mil por paciente. Esses achados condizem com os encontrados por Morris et al.[34], que já demonstravam a mesma proporção em relação aos gastos entre os GT e GC, indicando que o GT tinha proporção menor de gastos durante seu tempo de internação hospitalar, o que também foi posteriormente encontrado por Hsieh et al.[22].

Além da redução no tempo de permanência na UTI, a aplicação do protocolo proposto foi também responsável pela redução no tempo total de internação dos pacientes, consoante a literatura[28]. Porém, a mortalidade foi similar entre os grupos durante a alta da UTI. Todos os óbitos registrados foram associados à piora clínica dos pacientes, não havendo relação com o protocolo de mobilização proposto no caso do GT, sendo esses resultados similares aos encontrados por Schweickert et al.[21] e Tipping et al.[23] em relação aos índices de mortalidade na UTI ligados à mobilização ativa.

Este estudo apresenta algumas limitações: falta do cegamento dos profissionais intensivistas da equipe quanto à alocação dos pacientes nos grupos e o fato de o protocolo ter sido aplicado em um único centro de pesquisa, o que dificulta a extrapolação dos resultados.

CONCLUSÃO

Em suma, os resultados do estudo demonstraram que a aplicação de um protocolo de mobilização precoce de baixo custo e com o mínimo de equipamentos, instituído após as 24 horas de admissão na UTI, foi seguro e eficaz para os pacientes, promovendo a saída precoce do leito.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Hospital Risoleta Tolentino Neves pela disponibilização da UTI para realizar a pesquisa e pelo apoio institucional de acesso aos dados financeiros do hospital.

REFERÊNCIAS

1. McIlroy PA, King RS, Garrouste-Orgeas M, Tabah A, Ramanan M. The effect of ICU diaries on psychological outcomes and quality of life of survivors of critical illness and their relatives: a systematic review and meta-analysis. Crit Care Med. 2019;47(2):273-9. doi: 10.1097/CCM.0000000000003547
2. Haser S, Fatima A, Ali M, Needham DM. Post-intensive care syndrome (PICS): recent updates. J Intens Care. 2023;23;11(1). doi: 10.1186/s40560-023-00670-7
3. Kamdar BB, Sepulveda KA, Chong A, Lord RK, Dinglas VD, et al. Return to work and lost earnings after acute respiratory distress syndrome: a 5-year prospective, longitudinal study of long-term survivors. Thorax. 2017;16;73(2):125-33. doi: 10.1136/thoraxjnl-2017-210217
4. Yende S, Austin S, Rhodes A, Finfer S, Opal S, et al. Long-term quality of life among survivors of severe sepsis. Crit Care Med. 2016;44(8):1461-7. doi: 10.1097/CCM.0000000000001658
5. Dinglas VD, Aronson Friedman L, Colantuoni E, Mendez-Tellez PA, Shanholtz CB, et al. Muscle weakness and 5-year survival in acute respiratory distress syndrome survivors. Crit Care Med. 2017;45(3):446-53. doi: 10.1097/CCM.0000000000002208
6. Voiriot G, Oualha M, Pierre A, Salmon-Gandonnière C, Gaudet A, et al. Chronic critical illness and post-intensive care syndrome: from pathophysiology to clinical challenges. Ann Intens Care. 2022;12(1). doi: 10.1186/s13613-022-01038-0
7. Poulsen JB, Møller K, Kehlet H, Perner A. Long-term physical outcome in patients with septic shock. Acta Anaesthesiol Scan. 2009;53(6):724-30. doi: 10.1111/j.1399-6576.2009.01921.x
8. The TEAM Study Investigators and the ANZICS Clinical Trials Group. Early active mobilization during mechanical ventilation in the ICU. N Eng J Med. 2022; 387(19):1747-58. doi: 10.1056/NEJMoa2209083
9. Wang DS, Moitra VK, Flynn BC. Early mobilization in the intensive care unit: to rest or to test? J Cardiothor Vasc Anesth. 2023;37(6):854-6. doi: 10.1053/j.jvca.2023.02.004
10. Parry SM, Berney S, Warrillow S, El-Ansary D, Bryant AL, et al. Functional electrical stimulation with cycling in the critically ill: A pilot case-matched control study. J Crit Care. 2014;29(4):695.e1-7. doi: 10.1016/j.jcrc.2014.03.017
11. Segers J, Hermans G, Bruyninckx F, Meyfroidt G, Langer D, et al. Feasibility of neuromuscular electrical stimulation in critically ill patients. J Crit Care. 2014;29(6):1082-8. doi: 10.1016/j.jcrc.2014.06.024
12. Zayed Y, Kheiri B, Barbarawi M, Chahine A, Rashdan L, et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation in critically ill patients: A systematic review and meta-analysis of randomised

APÊNDICE - A - Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)

Título da Pesquisa: APLICAÇÃO DA ULTRASSONOGRAFIA MÚSCULO ESQUELÉTICA, DIAFRAGMÁTICA, ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE DO MÚSCULO DIAFRAGMA, MEDIDA DE FORÇA INSPIRATÓRIA, ÍNDICE DE ESFORÇO RESPIRATÓRIO CRONOMETRADO E SUAS CORRELAÇÕES DURANTE A DESCONTINUIDADE DA VENTILAÇÃO MECÂNICA EM UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA.

Prezado(a) senhor(a), seu familiar está sendo convidado a participar de um projeto de pesquisa. Para que sua participação possa acontecer, esse documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, existente em duas vias de igual teor, precisa ser lido e assinado por você e uma via ficará contigo e outra com o pesquisador, ambas assinadas por ele também. Leia-o com calma e tire todas as suas dúvidas. Ao final do documento você encontra o número para contato dos pesquisadores e do comitê de ética em pesquisa responsável, caso surja alguma dúvida posterior, sinta-se livre para ligar em qualquer um desses telefones.

Sobre a pesquisa: este estudo tem como objetivo investigar a espessura do músculo da respiração, medida por meio de um exame de ultrassom, a ativação muscular desse mesmo músculo medida por um exame chamado eletromiografia e a força dos músculos responsáveis pela inspiração através de um equipamento que mede a força para respirar.

Essa pesquisa tem o objetivo de descobrir se o resultado desses exames pode ajudar a esclarecer o sucesso da retirada da máquina de respirar (processo em que a pessoa passa a respirar com cada vez menos ajuda de aparelhos até que não seja mais preciso utilizá-los) de indivíduos internados em Unidades de Terapia Intensiva. Este projeto resultará em um artigo científico que posteriormente será publicado.

A finalidade deste estudo é contribuir para o melhor entendimento do comportamento dos músculos da respiração durante o período em que a pessoa está sendo preparada para voltar a respirar sem a ajuda dos aparelhos de ventilação mecânica.

Rubrica (Pesquisador)_____ Rubrica (Responsável)_____ data __/__/__.

Objetivando preservar a privacidade e o sigilo, a identificação do seu familiar bem como, os dados coletados e as imagens obtidas por meio dos exames serão confidenciais e ficarão sob responsabilidade dos pesquisadores, durante 5 anos. Após este período os dados impressos serão destruídos por máquina desfragmentadora e os arquivos de computador serão deletados definitivamente. O sigilo dos dados será garantido pela anonimização dos indivíduos, transcritos em banco de dados, exclusivo para esta pesquisa, sem a possibilidade de identificação do paciente, pois cada participante será identificado apenas por um número. Os arquivos tanto impressos ou eletrônicos ficarão sob guarda do pesquisador principal, em computador e armário chaveado, de acesso exclusivo.

Pessoas que podem participar da pesquisa: indivíduos de ambos os sexos internados em UTI que precisem da ajuda de aparelhos para respirar, com idade igual ou superior a 18 anos, utilizando traqueostomia, candidatos à saída da ventilação mecânica. A participação de seu familiar no estudo: após a assinatura e concordância do TCLE, o pesquisador anotará os números da máquina de respirar, que são mostrados no aparelho e dados sobre o motivo da internação de seu parente, razão pela qual ele precisou da ajuda de aparelhos para respirar e o dia da colocação do tubo. Os resultados de exames de sangue e de imagem serão registrados durante o tempo que o indivíduo ficou na máquina. O indivíduo será submetido um exame de ultrassom, a cada 3 dias, que será realizado na região da coxa onde, será avaliada a espessura do músculo da perna e, para esse fim, as pernas do indivíduo serão posicionadas de forma a ficarem esticadas e bem alinhadas, o transdutor do ultrassom, que é o equipamento que captura as imagens, será colocado em contato com a pele, utilizaremos um gel condutor na ponta desse transdutor. Ele será posicionado na parte da frente e no meio da coxa e logo abaixo a esse ponto próximo ao joelho. A outra medida de ultrassom será feita na região lateral do tórax em uma região próxima as últimas costelas, local de visualização do músculo da respiração, a cada 3 dias. Duas imagens serão coletadas, uma delas, quando a pessoa solta todo o ar que está nos pulmões e a outra quando ela respira profundamente. Essas imagens serão salvas em computador e examinadas pelos pesquisadores responsáveis. Todas as imagens de ultrassom serão obtidas com um aparelho de modelo Logic E R 7 PRO da marca GE *Healthcare*.

Rubrica (Pesquisador) _____ Rubrica (Responsável) _____ data __/__/__.

Outro exame que o indivíduo será submetido, é a de eletromiografia, que será realizado na região do tórax. Essa medida será feita apenas três vezes: ao iniciar a respiração espontânea, após não precisar mais do ventilador mecânico e 48h após ficar sem o ventilador. Para esse fim, serão colocados dois eletrodos que são uma espécie de adesivos que capturam sinais elétricos dos músculos da respiração. Isso nos ajudará a avaliar a função do músculo enquanto o indivíduo respira. Esses eletrodos serão colocados na parte da frente do tórax, região onde termina o tórax e começa a barriga. Serão dois, distante um do outro em 16 cm dos dois lados do tórax. Durante esse exame o indivíduo vai estar deitado na cama com a cabeceira elevada a 35°. Dois cabos serão acoplados em um *notebook* que possui um programa específico para a captura dos sinais da eletromiografia, esses cabos serão acoplados aos eletrodos que que farão a captura dos sinais de atividade elétrica dos músculos durante 10 segundos. Para esse exame será utilizado um aparelho chamado eletromiógrafo de superfície da marca EMG *System* do Brasil Ltda. série EMG800C modelo NS_00263. Os eletrodos que serão utilizados serão autoadesivos da marca 3M do Brasil®. Os dados serão capturados e salvos em um computador *notebook* Samsung. Também será realizado um outro exame para avaliar a força dos músculos que participam da inspiração (quando o ar entra nos pulmões). Quando o indivíduo tiver apto a sair da máquina de respirar, iremos higienizar os pulmões utilizando uma sonda de sucção (aspiração de secreção pulmonar); feito esse procedimento, o seu familiar fará força para respirar por 10 segundos, apenas com oxigênio. Em seguida, será conectado um aparelho que consegue medir a pressão do ar que entra e sai dos pulmões e a força que a pessoa faz para puxar o ar será medida por 1 minuto. Todos esses exames serão realizados no próprio leito do paciente sem que haja necessidade retirá-lo do local para a realização dos exames. O tempo total estimado para a realização de cada um dos três exames são de 20 minutos para eletromiografia, 15 minutos para medidas de ultrassonografia e 15 minutos para medida de pressão que avalia a força dos músculos respiratórios.

Riscos: Durante os exames pode acontecer aumento transitório da frequência cardíaca ou respiratória, pressão arterial ou intracraniana (caso esteja sendo acompanhada), queda temporária no nível de oxigênio no sangue, desconforto expiratório ou parada cardiorrespiratória em casos extremos.

Rubrica (Pesquisador) _____ Rubrica (Responsável) _____ data __/__/__.

O pesquisador estará atento aos dados vitais e aos monitores da UTI que acompanham seu familiar e, caso alguma dessas alterações ocorram, medidas imediatas serão tomadas com participação dos fisioterapeutas, médicos, enfermeiros e demais membros da equipe da UTI, para que volte tudo ao normal. Existe também o risco de desconforto por causa do contato do aparelho no tórax do paciente, pois o ultrassom utiliza gel para fazer o exame e este se encontra em temperatura mais baixa que o corpo. Além disso, serão colados no tórax pequenos adesivos iguais ao que faz o eletrocardiograma, para registrar a função dos músculos. Em caso de voluntários que apresentem excesso de pêlos no tórax uma pequena depilação no local com gilete precisará ser realizada. Caso haja alguma irritação local o médico será prontamente avisado.

Benefícios: o seu familiar será avaliado continuamente por exames que traduzem o estado respiratório, sendo que a evolução do quadro dele estará muito mais acompanhada de perto e relatórios semanais serão elaborados e entregues ao final do estudo ao paciente e à família. Com a participação de seu familiar também poderemos estudar melhor o comportamento dos músculos da respiração e os impactos que o uso de aparelhos de ventilação mecânica causa no corpo das pessoas que precisam deles para respirar por muito tempo. Além de proporcionar um maior tempo de observação dos dados respiratórios e do aparelho de respirar do seu familiar. A partir desse estudo, passaremos a conhecer melhor essas alterações e conseguiremos pensar em alternativas de tratamento para que a pessoa volte a respirar sozinha novamente, de forma mais rápida. Natureza voluntária do estudo e liberdade de se retirar a qualquer momento: ao assinar esse documento você concorda com a participação de forma voluntária de seu familiar, sem receber nenhum valor monetário por isso. Saiba que você tem o direito de desistir de participar a qualquer momento, sem que haja modificação do tratamento que ele vem recebendo aqui ou geração de qualquer tipo de dano para vocês.

Gastos financeiros: Durante a coleta, os testes e todos os materiais necessários para a realização da pesquisa não terão nenhum custo adicional para você ou seus familiares, visto que o seu familiar já se encontra internado na UTI e os exames serão feitos na própria UTI. Uso dos resultados: Os resultados encontrados neste estudo são apenas e exclusivos para fins de pesquisa.

Rubrica (Pesquisador) _____ Rubrica (Responsável) _____ data __/__/__.

Ao final do estudo, eles serão publicados em forma de um artigo científico em uma revista nacional ou internacional. O participante poderá ter acesso aos resultados ao final do estudo. Esses dados também poderão ser usados em apresentações em congressos e seminários. Independente da maneira em que os dados forem utilizados, a identidade de seu familiar, ou qualquer outra informação que possa identificá-lo, será mantida em absoluto sigilo. Os dados obtidos durante a pesquisa ficarão guardados por cinco anos com os pesquisadores, para possíveis consultas e caso haja necessidade de utilizar esses dados em outra pesquisa, o seu familiar será localizado para novamente permitir a utilização e assinar outro TCLE para isso. Fica garantido seu direito à indenização, diante de danos decorrentes da pesquisa, nos termos da lei.

Rubrica (Pesquisador) _____ Rubrica (Responsável) _____ data __/__/__.

Eu, _____,

declaro que li e entendi todas as informações sobre o estudo, sendo os objetivos e procedimentos satisfatoriamente explicados pelos pesquisadores. Tive oportunidade de considerar a informação acima e pude de tirar todas as minhas dúvidas. Estou assinando este termo voluntariamente e tenho direito de, agora ou mais tarde, discutir qualquer dúvida que venha a ter com relação à pesquisa com: Lucinara Martins Silva Tallarico (31) 991528335 / email: lucinara1@yahoo.com.br; Prof. Dr. Rodrigo Marques Tonella (19) 99156-2113 / (31) 3409-7404 / e-mail: digomato@gmail.com; Prof. Dr. Marcelo Velloso (31) 982326161 / e-mail: marcello.vel@gmail.com.

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar: o Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG - COEP-UFMG.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II - 2º andar – Sala 2005, Campus Pampulha. Belo Horizonte, MG – Brasil. CEP: 31270-901.

E-mail: coep@prpq.ufmg.br. Tel.: 3409-4592. Ao assinar este termo de consentimento, indico que estou de acordo com participação do _____ no estudo e autorizo a utilização dos dados obtidos através da coleta realizada.

Belo Horizonte, _____ de _____ 202__.

Assinatura do responsável

_____

Assinatura do pesquisador 1

_____

Assinatura do pesquisador 2

_____

Rubrica (Pesquisador) _____ Rubrica (Responsável) _____ data __/__/__.