

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

Marcos Giovanni Santos Carvalho

**ULTRASSONOGRAFIA COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA AERAÇÃO
PULMONAR E DA FUNÇÃO DIAFRAGMÁTICA EM RECÉM-NASCIDOS**

Belo Horizonte

2025

Marcos Giovanni Santos Carvalho

**ULTRASSONOGRAFIA COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA AERAÇÃO
PULMONAR E DA FUNÇÃO DIAFRAGMÁTICA EM RECÉM-NASCIDOS**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, nível doutorado, da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências da Reabilitação.

Linha de pesquisa: Desempenho Cardiorrespiratório.

Orientadora: Profa Dra Fernanda de Cordoba Lanza

Belo Horizonte

2025

C331u Carvalho, Marcos Giovanni Santos
2025 Ultrassonografia como método de avaliação da aeração pulmonar e da função diafragmática em recém-nascidos [recurso eletrônico] /Marcos Giovanni Santos Carvalho. – 2025.
1 recurso online (65 f. : il.) : pdf.

Orientadora: Fernanda de Cordoba Lanza

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

Inclui bibliografia.

1. Ultrassonografia – Teses. 2. Aparelho respiratório – Doenças – Fisioterapia – Teses. 3. Recém-nascidos – Teses. I. Lanza, Fernanda de Cordoba. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 615.825

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Sheila Margareth Teixeira Adão, CRB 6: nº 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

UFMG

FOLHA DE APROVAÇÃO

ULTRASSONOGRAFIA COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA AERAÇÃO PULMONAR E DA FUNÇÃO DIAFRAGMÁTICA EM RECÉM-NASCIDOS

MARCOS GIOVANNI SANTOS CARVALHO

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 08 de agosto de 2025, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Fernanda de Cordoba Lanza - Orientador
Universidade Federal de Minas Gerais



Documento assinado digitalmente
FERNANDA DE CORDOBA LANZA
Data: 08/08/2025 13:24:54-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

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



Documento assinado digitalmente
MARCELO VELLOSO
Data: 12/08/2025 13:39:09-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof(a). Danielle Aparecida Gomes Pereira
Universidade Federal de Minas Gerais



Documento assinado digitalmente
DANIELLE APARECIDA GOMES PEREIRA
Data: 11/08/2025 17:55:59-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof(a). Halina Cidrini Ferreira
Universidade Federal do Rio de Janeiro



Documento assinado digitalmente
HALINA CIDRINI FERREIRA
Data: 11/08/2025 09:36:41-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof(a). Simone Nascimento Santos Ribeiro
Faculdade Ciências Médicas



Documento assinado digitalmente
SIMONE NASCIMENTO SANTOS RIBEIRO
Data: 11/08/2025 11:18:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Belo Horizonte, 8 de agosto de 2025.

*Dedico esta tese aos meus pais (in
memoriam), especialmente à minha mãe,
professora.*

AGRADECIMENTOS

Ao divino, pela possibilidade de aprendizado e crescimento.

Ao Vitor, pelo amor, amizade e companheirismo desde 26.01.2007.

À professora e amiga Fernanda Lanza, pela confiança e apoio durante esta caminhada. A você, todo meu respeito e admiração.

À Universidade Federal de Minas Gerais, especialmente ao corpo docente do programa de doutorado em Ciências da Reabilitação, por promoverem ciência de excelência neste país.

À amiga Juliana Tomiyama, pelo apoio e ajuda durante toda fase do doutorado.

Ao Marcelo Terra, pelo auxílio com os exames de ultrassonografia.

Aos pequenos e seus familiares por permitirem que esta tese pudesse ser feita a fim de melhorar as intervenções daqueles que ainda precisarão de cuidados fisioterapêuticos.

RESUMO

A ultrassonografia (US) é uma técnica não invasiva, livre de radiação ionizante, segura, fácil de ser usada à beira leito, superando muitas limitações de outros exames de imagem. A avaliação funcional do diafragma e a avaliação dinâmica da aeração pulmonar em várias situações clínicas por meio da US tem sido incorporada à prática fisioterapêutica com o objetivo de otimizar condutas e melhorar desfechos. No entanto, o uso da US do sistema respiratório na neonatologia ainda é pouco explorado, havendo escassez de estudos que respaldem seu uso específico nessa população. Esta tese, composta por dois estudos. Objetivo do 1º estudo: estabelecer valores normais e avaliar a confiabilidade intra e interexaminadores da espessura diafragmática inspiratória (IDT), espessura diafragmática expiratória (EDT), fração de espessamento diafragmático (DTF) e excursão diafragmática (DE) por meio de ultrassonografia, incluindo os limites inferiores (LLN) e superiores (ULN) de normalidade em neonatos. Para isso, foi feito um estudo transversal que incluiu neonatos saudáveis de um hospital público no julho de 2022 a dezembro de 2023. IDT, EDT, DTF e DE foram mensurados pelo fisioterapeuta 1 (examinador experiente). A confiabilidade foi avaliada com o fisioterapeuta 1 e o fisioterapeuta 2 (especialista em ultrassonografia) analisando os exames de forma independente, utilizando o software ImageJ. Os coeficientes de correlação intraclasse (ICC) e intervalos de confiança de 95% (IC) avaliaram a confiabilidade intra e interexaminadores. Entre 100 neonatos [39 (38 – 40) semanas, 3168 ± 475 g, 49 (47,5 – 50) cm], os valores normais foram: EDT: 2,17 ± 0,59 mm, LLN: 2,05 mm e ULN: 2,29 mm; IDT: 1,71 ± 0,48 mm, LLN: 1,62 mm e ULN: 1,80 mm; DTF: 28,02 ± 9,88%, LLN: 26,08% e ULN: 29,96%; DE: 2,47 ± 0,72 mm, LLN: 2,33 mm e ULN: 2,61 mm. Não foram observadas diferenças significativas entre o fisioterapeuta 1 e o fisioterapeuta 2 ($p > 0,05$). A confiabilidade intra e interexaminadores foi ICC ≥ 0,98 (0,97 – 1,00) ($p < 0,001$) e ICC ≥ 0,91 (0,85 – 0,99) ($p < 0,001$), respectivamente. Objetivo do segundo estudo: Descrever e avaliar a função diafragmática e a aeração pulmonar por ultrassonografia durante as fases de desmame e pós-extubação em recém-nascidos prematuros. Este estudo transversal incluiu recém-nascidos prematuros intubados e elegíveis para extubação. A IDT, a EDT, a DTF, a DE e a aeração pulmonar (escore de ultrassonografia pulmonar, LUS) foram avaliadas em três momentos: T1 — durante a ventilação mecânica invasiva (VMI); T2 — durante o teste de respiração espontânea (TRE); e T3 — durante a ventilação nasal com pressão positiva intermitente (VNIPP). O teste de Friedman e o teste pós-hoc de postos sinalizados de Wilcoxon foram utilizados para as comparações ($p < 0,05$). Cinquenta recém-nascidos prematuros foram avaliados. Quarenta e cinco (idade gestacional média de 30,9 ± 2,2 semanas; peso médio de 1377,5 ± 432 g) receberam VMI por 4 ± 3 dias e foram extubados com sucesso (taxa de falha de extubação de 10%). Devido ao pequeno número de falhas ($n = 5$), apenas análises descritivas foram realizadas. Nos recém-nascidos extubados com sucesso, a IDT e a DE aumentaram em T2 e T3 em comparação a T1 ($p < 0,05$), sendo a IDT mais elevada em T2. A aeração pulmonar diminuiu em T3 ($p < 0,05$), mas o LUS permaneceu baixo em todos os momentos, compatível com doença respiratória mais leve e impacto mínimo na aeração pulmonar. Nenhuma alteração significativa foi observada em EDT ou DTF, que permaneceram consistentemente elevadas. Conclusão: Os valores estabelecidos fornecem suporte para a interpretação da função diafragmática neonatal e a detecção de alterações na contratilidade e na amplitude de movimento, demonstrando alta confiabilidade intra e interexaminadores para EDT, IDT, DTF e DE. Além disso, em recém-nascidos prematuros extubados com sucesso, a espessura e a excursão diafragmática aumentaram durante o teste de respiração espontânea e permaneceram elevadas após a extubação, enquanto a aeração pulmonar apresentou uma diminuição transitória, mas permaneceu

adequada. Esses achados podem apoiar o uso da ultrassonografia diafragmática e pulmonar para orientar a prontidão para extubação e monitorar a adaptação pós-extubação em recém-nascidos prematuros.

Palavras-chave: Ultrassonografia Pulmonar; Ultrassonografia Diafragmática; Recém-nascidos.

ABSTRACT

Ultrasound (US) is a non-invasive, radiation-free, safe, and bedside technique that overcomes many limitations of other imaging methods. Functional assessment of the diaphragm and dynamic evaluation of lung aeration in various clinical situations using US have been incorporated into physiotherapeutic practice to optimize clinical management and improve outcomes. However, the use of respiratory system ultrasonography in neonatology remains underexplored, with a scarcity of studies supporting its specific application in this population. This thesis comprises two studies. Objective of the first study: To establish reference values and assess intra- and inter-examiner reliability of inspiratory diaphragmatic thickness (IDT), expiratory diaphragmatic thickness (EDT), diaphragmatic thickening fraction (DTF), and diaphragmatic excursion (DE) by ultrasonography, including lower (LLN) and upper (ULN) limits of normality in neonates. A cross-sectional study was conducted including healthy neonates from a public hospital between July 2022 and December 2023. IDT, EDT, DTF, and DE were measured by physiotherapist 1 (experienced examiner). Reliability was assessed by having physiotherapist 1 and physiotherapist 2 (ultrasound specialist) independently analyze the examinations using ImageJ software. Intraclass correlation coefficients (ICC) and 95% confidence intervals (CI) were used to evaluate intra- and inter-examiner reliability. Among 100 neonates [39 (38–40) weeks, 3168 ± 475 g, 49 (47.5–50) cm], normal values were: EDT: 2.17 ± 0.59 mm, LLN: 2.05 mm, ULN: 2.29 mm; IDT: 1.71 ± 0.48 mm, LLN: 1.62 mm, ULN: 1.80 mm; DTF: $28.02 \pm 9.88\%$, LLN: 26.08%, ULN: 29.96%; DE: 2.47 ± 0.72 mm, LLN: 2.33 mm, ULN: 2.61 mm. No significant differences were observed between physiotherapist 1 and physiotherapist 2 ($p > 0.05$). Intra- and inter-examiner reliability were $ICC \geq 0.98$ (0.97–1.00) ($p < 0.001$) and $ICC \geq 0.91$ (0.85–0.99) ($p < 0.001$), respectively. Objective of the second study: To describe and assess diaphragmatic function and lung aeration by ultrasound during the weaning and post-extubation phases in preterm newborns. This cross-sectional study included intubated preterm newborns eligible for extubation. IDT, EDT, DTF, DE, and lung aeration (lung ultrasound score, LUS) were evaluated at three time points: T1 — during invasive mechanical ventilation (IMV); T2 — during the spontaneous breathing trial (SBT); and T3 — during nasal intermittent positive pressure ventilation (NIPPV). The Friedman test and Wilcoxon signed-rank post hoc test were used for comparisons ($p < 0.05$). Fifty preterm newborns were evaluated. Forty-five (mean gestational age 30.9 ± 2.2 weeks; mean weight 1377.5 ± 432 g) received IMV for 4 ± 3 days and were successfully extubated (extubation failure rate 10%). Due to the small number of failures ($n =$

5), only descriptive analyses were performed. In successfully extubated newborns, IDT and DE increased at T2 and T3 compared to T1 ($p < 0.05$), with IDT highest at T2. Lung aeration decreased at T3 ($p < 0.05$), but LUS remained low throughout, consistent with milder respiratory disease and minimal impact on lung aeration. No significant changes were observed in EDT or DTF, which remained consistently elevated. Conclusion: The established reference values provide support for interpreting neonatal diaphragmatic function and detecting alterations in contractility and motion amplitude, demonstrating high intra- and inter-examiner reliability for EDT, IDT, DTF, and DE. Moreover, in preterm newborns successfully extubated, diaphragmatic thickness and excursion increased during the spontaneous breathing trial and remained elevated after extubation, while lung aeration showed a transient decrease but remained adequate. These findings may support the use of diaphragmatic and lung ultrasound to guide extubation readiness and monitor post-extubation adaptation in preterm infants.

Keywords: Lung Ultrasound; Diaphragmatic Ultrasound; Newborns.

SUMÁRIO

1 – PREFÁCIO	11
2 – INTRODUÇÃO	12
3 – OBJETIVOS	19
4 – DIAPHRAGMATIC ULTRASONOGRAPHY: REFERENCE VALUES AND RELIABILITY FOR THICKNESS, THICKENING FRACTION, AND EXCURSION IN NEONATES	20
5 – DIAPHRAGMATIC FUNCTION AND LUNG AERATION ASSESSED BY ULTRASOUND DURING WEANING AND POST-EXTUBATION IN PRETERM NEWBORNS	31
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXOS	50
MINI-CURRÍCULO DO DISCENTE	61

1 PREFÁCIO

A presente tese de doutorado foi elaborada de acordo com as normas do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), conforme estabelecido na Resolução nº 004/2018, de 3 de abril de 2018. Este trabalho foi desenvolvido como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências da Reabilitação.

O programa de doutorado exige, como requisitos obrigatórios, o cumprimento de no mínimo 36 créditos acadêmicos, aprovação no exame de qualificação, além da elaboração, submissão e defesa oral de uma tese fundamentada em produção científica. Para atender a essas exigências, esta tese contempla dois artigos científicos sobre o tema central da pesquisa: ambos submetidos à *European Journal of Pediatrics*.

A estrutura da tese está organizada em três partes. A primeira parte apresenta o desenvolvimento com a revisão da literatura, contextualizando o tema e detalhando os objetivos do estudo. A segunda e a terceira partes reúnem os artigos científicos que representam os principais produtos da investigação. Por fim, a tese é concluída com as considerações finais, que discutem os principais achados e suas contribuições para a área, seguidas das referências, os anexos e o mini-curriculo do autor.

2 INTRODUÇÃO

Em recém-nascidos, especialmente nos pretermos, características anatômicas e fisiológicas específicas como a disposição elevada e horizontal das costelas (Hershenson *et al.*, 1990), parede torácica ainda não ossificada e altamente complacente (Papastamelos *et al.*, 1995), a menor massa muscular, a baixa proporção de fibras do tipo I, resistentes à fadiga (Sieck; Fournier; Blanco, 1985) e a conformação achatada do diafragma, que limita a zona de aposição e reduz a amplitude de movimento (Devlieger *et al.*, 1991) contribuem para o aumento do esforço respiratório. Esses fatores predisõem o neonato à disfunção da musculatura respiratória, à fadiga muscular diafragmática e à insuficiência respiratória (Dassios; Vervenioti; Dimitriou, 2022).

Apesar dos avanços nas modalidades de suporte ventilatório não invasivo, a intubação e a ventilação mecânica permanecem amplamente utilizadas em unidades de terapia intensiva neonatal (UTIN), por representarem um suporte vital em casos de insuficiência respiratória aguda (Sangsari *et al.*, 2022). No entanto, seu uso está associado a diversas complicações em recém-nascidos, especialmente nos pretermos, incluindo lesões pulmonares, como as síndromes de escape de ar e broncodisplasia pulmonar, e comprometimento do neurodesenvolvimento (Sant'anna; Shalish, 2024, Walsh *et al.*, 2005, Miller; Carlo, 2008). Nesse contexto, recomenda-se o menor tempo possível de suporte ventilatório invasivo (Sant'anna; Shalish, 2024). Entretanto, quando a retirada da ventilação mecânica (extubação) é realizada de forma precoce, pode aumentar o risco de insuficiência respiratória e necessidade de reintubação, que é um procedimento potencialmente traumático, podendo desestabilizar o neonato e prolongar tanto o tempo de ventilação mecânica quanto a permanência na UTIN (Shalish *et al.*, 2019, 2022). Por isso, alcançar uma extubação que seja ao mesmo tempo precoce e bem-sucedida constitui o cenário clínico mais desejável.

Nas últimas três décadas, a decisão de extubar neonatos da ventilação mecânica invasiva tem sido baseada em julgamento clínico feito pela equipe multiprofissional (experiência e interpretação de estabilidade clínica do RN) e por valores de gases sanguíneos, parâmetros ventilatórios e radiografia (Shalish *et al.*, 2019, Al-Mandari *et al.*, 2015). Este tipo de avaliação, no entanto, implica uma incidência de falha de extubação, com consequente necessidade de reintubação, que pode variar de 10% a 80% em diferentes populações de recém-nascidos com muito baixo peso ao nascer (Sangsari *et al.*, 2022, Masry *et al.*, 2021), o que sugere que a habilidade em prever o sucesso na extubação baseada em julgamento clínico pode ser limitada.

Teste de respiração espontânea

Avaliar o neonato enquanto intubados e recebendo suporte ventilatório invasivo não é capaz de prever a aptidão para extubação, uma vez que os ciclos controlados e assistidos podem mascarar a capacidade do RN em sustentar a respiração espontânea quando extubado (Shalish *et al.*, 2019). Nesse sentido, uma série de avaliações têm sido feitas nos últimos anos investigando variáveis que pudessem prever o sucesso na extubação de RN enquanto estivessem sendo submetidos a testes de respiração espontânea (teste de respiração espontânea) por meio de uma pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP) via tubo endotraqueal (CPAP traqueal) (Shalish *et al.*, 2019, Teixeira *et al.*, 2021). O princípio básico do teste, como usado atualmente, é avaliar a capacidade do paciente em sustentar adequadamente a ventilação e a oxigenação durante um período curto de tempo (cerca de cinco minutos) antes da extubação, permitindo que o RN respire através do tubo endotraqueal em nível de pressão positiva expiratória final (PEEP), sem nenhum outro suporte, usando como critérios de falha no teste parâmetros como bradicardia e/ou queda na saturação periférica de oxigênio (SpO₂) (Kamlin *et al.*, 2008).

Apesar das variações no tempo de aplicação, no nível de PEEP e nos critérios para estabelecer aprovação ou reprovação, os testes de respiração espontânea têm sido incorporados na prática clínica das UTI neonatais. No entanto, a evidência para gerar recomendação não está bem estabelecida (Shalish *et al.*, 2019, Teixeira *et al.*, 2021).

Revisões sistemáticas com metanálise publicadas recentemente concluíram que há falta de evidência robusta que suporte o uso de testes de aptidão respiratória para prever o sucesso na extubação de recém-nascidos pretermos, pois eles apresentam baixa acurácia e acrescentam poucas informações na identificação da falha de extubação. (Shalish *et al.*, 2019, Teixeira *et al.*, 2021).

Cabe salientar, porém, que uma série de estudos citados por uma recente revisão sistemática investigou as repercussões do teste de respiração espontânea sobre inúmeras variáveis e suas combinações, porcentagens e variações como frequência respiratória, volume corrente, volume minuto espontâneo, índice de respiração rápida e superficial, tempo inspiratório e expiratório, fluxo inspiratório, complacência pulmonar, resistência de vias aéreas, trabalho respiratório, pressão média de vias aéreas, pressões respiratórias máximas, fração inspirada de oxigênio, frequência cardíaca, saturação de oxigênio, a fim de prever o sucesso ou a falha na extubação de RN pretermos (Shalish *et al.*, 2019). Contudo, apesar de algumas variáveis apontarem para resultados promissores, a maioria dos estudos, com pequenas amostras, metodologia heterogênea, diferentes definições de sucesso na extubação e

significativos riscos de viés mostraram sensibilidade e especificidade agrupadas de 95% e 62%, respectivamente, o que significa que os resultados desses estudos reforçam o critério subjetivo da extubação, mas acrescentam pouco valor para detectar falhas (Shalish *et al.*, 2019) . A falha de extubação nas primeiras 48 horas em recém-nascidos é comumente atribuída à imaturidade pulmonar, à perda de aeração pulmonar e/ou à obstrução das vias aéreas superiores por edema; fatores que frequentemente desencadeiam sinais de desconforto respiratório (Shalish *et al.*, 2022). Nesse cenário, estratégias complementares que avaliem a capacidade do sistema respiratório de manter níveis adequados de ventilação pulmonar por meio de uma mecânica respiratória eficaz, utilizando a ultrassonografia, podem representar uma ferramenta útil no apoio ao processo de desmame e extubação em recém-nascidos.

Ultrassonografia

A ultrassonografia (US) é uma técnica não invasiva, livre de radiação ionizante, segura, fácil de ser usada à beira leito, superando muitas limitações de outros exames de imagem (Raimondi *et al.*, 2021). Do ponto de vista físico, a energia elétrica do aparelho de ultrassom é transformada em energia sonora pelos transdutores, retornando ao aparelho em forma de imagem em tons de cinza. Assim, a produção e a detecção de ecos formam a base da US.

Para a realização de US em neonatos, recomenda-se o uso de equipamentos de alta qualidade com transdutor linear de alta frequência (geralmente acima de 10 MHz), que oferece melhor resolução para a visualização de estruturas superficiais (Ammirabile; Buonsenso; Di Mauro, 2021).

A avaliação funcional do diafragma e a avaliação dinâmica das modificações na aeração pulmonar em determinadas situações clínicas têm ganhado popularidade nas unidades de terapia intensiva com o objetivo de otimizar condutas e melhorar desfechos (Alonso-Ojembarrena; Estepa-Pedregosa, 2023, Alonso-Ojembarrena; Gregorio-Hernández; Raimondi, 2024). O exame pode ser realizado por profissionais da saúde e está respaldado pelo código de ética profissional da Fisioterapia, bem como pela Resolução-COFITO Nº 618, de 25 de junho de 2025, que dispõe sobre a atualização do Referencial Brasileiro de Procedimentos Fisioterapêuticos (RBPF) e dá outras providências, autorizando a solicitação, realização e interpretação da ultrassonografia cinesiológica por esses profissionais (COFFITO, 2025).

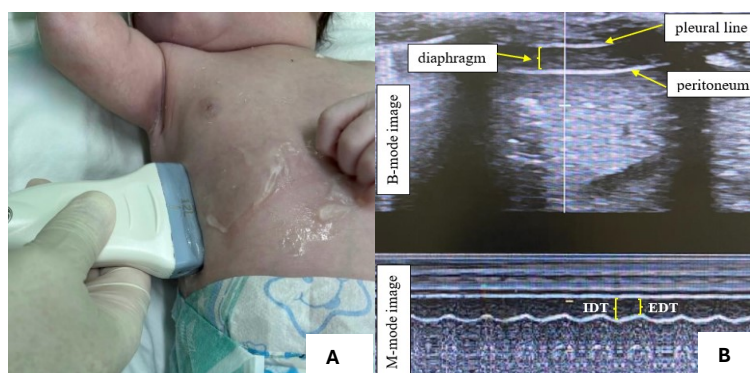
A introdução de um novo método de avaliação na área da saúde envolve diversos desafios, incluindo a padronização das técnicas de mensuração, o treinamento da equipe e a definição de valores de referência para comparação entre indivíduos saudáveis e doentes (Tuinman *et al.*, 2020, Yeung *et al.*, 2025). Apesar do potencial significativo das avaliações

musculares, poucos estudos descreveram a confiabilidade e estabeleceram valores normativos para a avaliação ultrassonográfica do diafragma em lactentes que possam servir como referência em diferentes contextos clínicos (Rehan et al., 2000, Rehan ; Mccool, 2007, Alonso-Ojembarrena et al., 2020, Yeung et al., 2023, Buonsenso et al., 2023, Andrezza et al., 2024, Martins et al., 2024; Nascimento et al., 2024).

A função diafragmática tem sido avaliada por meio de valores da espessura do diafragma inspiratória (IDT), da espessura diafragmática expiratória (EDT), da fração de espessamento diafragmático (DTF) e da excursão diafragmática (DE) (Alonso-Ojembarrena; Estepa-Pedregosa, 2023). A avaliação ultrassonográfica da espessura diafragmática é realizada na zona de aposição do hemidiafragma direito, entre o 8º e 9º espaços intercostais na linha axilar média, com transdutor linear perpendicular às costelas. As imagens são obtidas em modo B e as medidas em modo M, entre a pleura diafragmática e o peritônio, ao final da inspiração (IDT) e expiração (EDT), conforme figura 1. A fração de espessamento diafragmático (DTF) é calculada por: $DTF (\%) = [(IDT - EDT) / EDT] \times 100$ (Tuinman et al., 2020, Matamis et al., 2012) e reflete a resposta diafragmática ao esforço inspiratório (Gao et al., 2023).

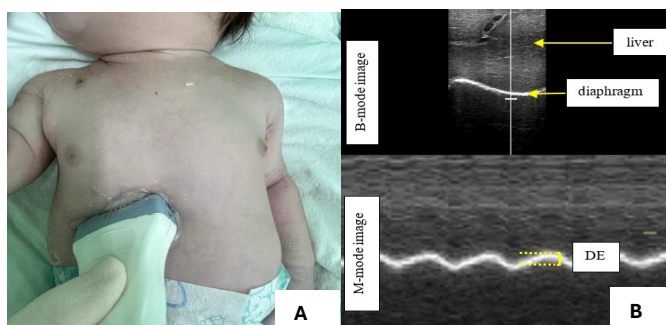
A avaliação da excursão diafragmática é feita com o transdutor posicionado na região subcostal anterior e orientado em direção cranial, de modo que o feixe de ultrassom permaneça perpendicular ao terço posterior do hemidiafragma direito. O modo B (bidimensional ou brilho) é utilizado para a localização anatômica do diafragma, que se apresenta como uma linha hiperecótica e que se movimenta com a respiração do paciente. Em seguida, ao ativar o modo M (movimento), observam-se curvas que representam a excursão diafragmática, cujo valor é medido por distância perpendicular entre o ponto mais caudal durante a inspiração e o ponto mais caudal durante a expiração (Tuinman et al., 2020) e está associado ao volume inspiratório (Gao et al., 2023). A figura 2 demonstra a avaliação e mensuração da excursão diafragmática.

Figura 1. Avaliação Ultrassonográfica da Espessura Diafragmática



Legenda: **A:** Posicionamento do transdutor para avaliação da espessura diafragmática. **B:** No modo B, o diafragma é visualizado entre a linha pleural hiperecogênica superior e a linha peritoneal inferior. O modo M mostra o ciclo respiratório, permitindo a medição da espessura diafragmática inspiratória (IDT) e expiratória (EDT).

Figura 2. Avaliação Ultrassonográfica da Excursão Diafragmática



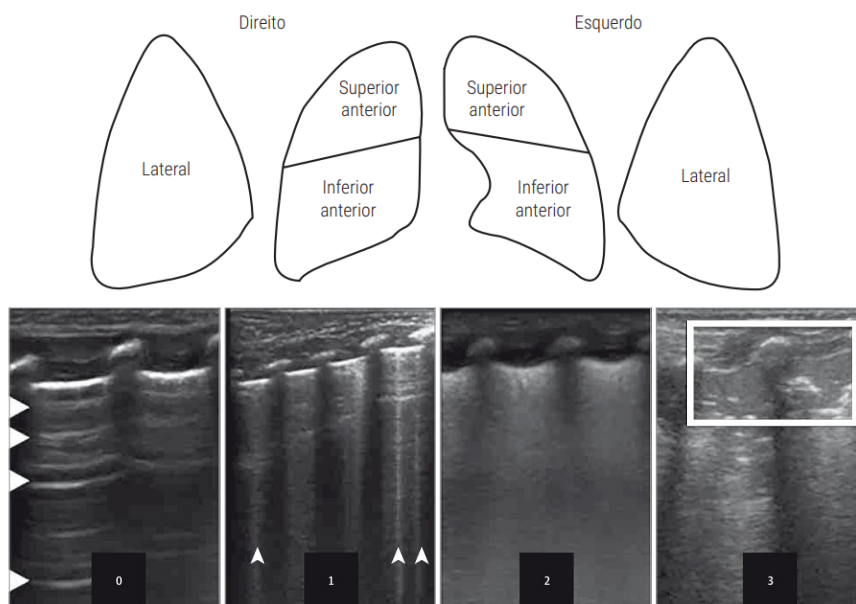
Legenda: **A:** posicionamento do transdutor para realização do exame. **B:** No modo B, o fígado atua como janela acústica, com o diafragma visualizado como uma linha hiperecogênica. O modo M exhibe o movimento do hemidiafragma direito, possibilitando a medição da excursão diafragmática (DE).

A ultrassonografia pulmonar possibilita a avaliação dinâmica das alterações na aeração pulmonar em diferentes contextos clínicos, ao contrário da radiografia, que oferece uma imagem estática. Durante muitos anos, os pulmões foram considerados inacessíveis à avaliação ultrassonográfica devido à presença de ar, que impede a propagação das ondas sonoras. No entanto, os artefatos gerados na interface entre o ar pulmonar e os fluidos são claramente visualizáveis e interpretáveis pela ultrassonografia. A estimativa da alteração de aeração pode ser realizada por meio do Escore Ultrassonográfico Pulmonar (LUS – *Lung Ultrasound Score*), instrumento validado para essa finalidade (Brat *et al.*, 2015, Sartorius; Brunet; De Luca, 2025).

Embora existam diversos protocolos de avaliação (Sartorius; Brunet; De Luca, 2025), a maioria proviente da população adulta, a ultrassonografia pulmonar geralmente segue um modelo padronizado e amplamente recomendado para a população neonatal (Brat *et al.*, 2015), voltado à análise da aeração pulmonar em cada hemitórax. Para isso, são examinadas três regiões por hemitórax (anterior superior, anterior inferior e lateral) totalizando seis áreas. O transdutor é posicionado nos espaços intercostais de cada região, e a aeração pulmonar é avaliada com base em um escore que varia de 0 a 3 pontos por área, conforme os seguintes critérios: **Escore 0:** Aeração pulmonar normal, com presença exclusiva de linhas “A” horizontais; **Escore 1:** Perda moderada da aeração, indicada por três ou mais linhas “B” bem

definidas; **Escore 2:** Perda grave da aeração pulmonar, caracterizada por linhas “B” confluentes, com ou sem consolidação subpleural; **Escore 3:** Perda completa da aeração, evidenciada por consolidação pulmonar com ecogenicidade semelhante à de tecidos moles e presença de broncogramas aéreos estáticos ou dinâmicos, conforme figura 3.

Figura 3. Descrição dos escores da ultrassonografia pulmonar



Legenda: Escore 0 (zero): setas indicando apenas linhas “A” horizontais bem definidas; Escore 1 (um): setas mostrando a presença de três linhas “B” verticais; Escore 2 (dois): presença de linhas “B” confluentes, com ou sem consolidação subpleural; Escore 3 (três): presença de consolidação pulmonar extensa.

Fonte: adaptado de Brat *et al.*, 2015

O LUS corresponde à soma das pontuações obtidas nas seis áreas avaliadas, podendo variar de 0 a 18. Escores mais baixos indicam aeração pulmonar preservada, enquanto valores elevados refletem perda progressiva da aeração.

Estudos com a descrição de métodos de ultrassonografia, bem como de técnicas, padrões de normalidade e reconhecimento de anormalidades em diferentes situações clínicas visando o diagnóstico médico de doenças em neonatos internados em unidade de terapia intensiva foram publicados recentemente (Kurepa *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019). Apesar das evidências crescentes que sustentam o uso da ultrassonografia pulmonar no manejo de condições de saúde neonatais, os estudos envolvendo avaliação funcional por meio de escore de aeração pulmonar e de função diafragmática usando a ultrassonografia em diversos contextos clínicos

na neonatologia ainda são escassos e carecem de investigação (Yeung *et al.*, 2025, Mohsen *et al.*, 2023).

Considerando que a perda da aeração pulmonar após a extubação é uma característica comum nos casos de falha (Shalish *et al.*, 2022) e que ainda há grande variabilidade nas práticas peri-extubação, assim como altas taxas de reintubação entre unidades de terapia intensiva neonatal, torna-se essencial aprimorar os métodos de avaliação e monitoramento dos recém-nascidos considerados clinicamente aptos à extubação. Embora testes objetivos, como o teste de respiração espontânea, venham sendo progressivamente incorporados à prática clínica, ainda não existem evidências consistentes que sustentem o uso isolado de qualquer preditor em substituição ao julgamento clínico, especialmente em pretermos (Shalish *et al.*, 2019, Teixeira *et al.*, 2021).

Nesse cenário, a avaliação combinada da função diafragmática e da aeração pulmonar nos períodos pré, peri e pós-extubação pode fornecer dados complementares relevantes, contribuindo para decisões clínicas mais precisas e para o manejo ventilatório individualizado.

Dessa forma, destaca-se a importância de desenvolver protocolos padronizados de avaliação e estabelecer valores de referência específicos para diferentes faixas etárias e condições clínicas. Ademais, considerando o atual nível de evidência e a heterogeneidade metodológica dos estudos que abordam o uso da ultrassonografia em neonatologia, torna-se evidente a necessidade de pesquisas que investiguem seu potencial como ferramenta funcional para avaliar a aeração pulmonar e a função diafragmática. Estudos bem conduzidos nesse campo podem fundamentar intervenções terapêuticas mais direcionadas, qualificar as condutas clínicas e, conseqüentemente, melhorar os desfechos dos recém-nascidos internados em unidades de terapia intensiva.

3 OBJETIVOS

1 – Estabelecer valores de normalidade da função diafragmática e avaliar a confiabilidade intra e interavaliador por meio da US em neonatos a termo (Artigo 1).

2 – Analisar a aeração pulmonar e a função muscular diafragmática por meio da US em recém-nascidos pretermos intubados, submetidos a teste de respiração espontânea e extubados com sucesso (Artigo 2).

4 Diaphragmatic ultrasonography: reference values and reliability for thickness, thickening fraction, and excursion in neonates

Marcos Giovanni Santos Carvalho^{a,b,c}, Juliana Nasu Tomiyama^b, Marcelo Azeredo Terra^d, Fernanda Cordoba Lanza^{a,*}

^a Postgraduate Program in Rehabilitation Sciences, School of Physical Education, Physical Therapy and Occupational Therapy, Federal University of Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

^b Maternidade Balbina Mestrinho, Secretaria de Estado de Saúde (SES), Manaus, Amazonas, Brazil

^c Maternidade Dr. Moura Tapajoz, Secretaria Municipal de Saúde (SEMSA), Manaus, Amazonas, Brazil.

^d Mterra Ensino e Consultoria; Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

* Corresponding author at: Rua Engenho Grande, 75 ap 9091 bloco 2, 31320-470. Belo Horizonte-MG, Brazil. E-mail: lanzafe@gmail.com (F. C. Lanza).

Marcos Giovanni Santos Carvalho ORCID: 0000-0002-4264-8361

Juliana Nasu Tomiyama ORCID: 0009-0009-4306-4948

Marcelo Azeredo Terra ORCID: 0000-0002-5016-8640

Fernanda Cordoba Lanza ORCID: 0000-0002-4748-6947

ABSTRACT

To establish normal values and assess the intra- and inter-rater reliability of inspiratory diaphragmatic thickness (IDT), expiratory diaphragmatic thickness (EDT), diaphragmatic thickening fraction (DTF), and diaphragmatic excursion (DE) using ultrasound, including the lower (LLN) and upper (ULN) limits of normality neonates. This cross-sectional study included healthy neonates from a public hospital (July 2022–December 2023). IDT, EDT, DTF, and DE were measured by PT 1 (trained examiner). Reliability was assessed by having PT 1 and PT 2 (ultrasound expert) independently evaluate the exams twice using ImageJ software. Intraclass correlation coefficients (ICC) and 95% confidence intervals (CI) assessed intra- and inter-rater reliability. Among 100 neonates [39 (38 – 40) weeks, 3168 ± 475g, 49 (47.5–50) cm]. Normal values were EDT: 2.17 ± 0.59mm, LLN: 2.05mm, and ULN: 2.29mm; IDT: 1.71 ± 0.48mm, LLN: 1.62mm, and ULN: 1.80mm; DTF: 28.02 ± 9.88%, LLN: 26.08%, and ULN: 29.96%; DE: 2.47 ± 0.72mm, LLN: 2.33mm, and ULN: 2.61mm. No significant differences were observed between PT 1 and PT 2 ($p > 0.05$). Intra- and inter-rater reliability were $ICC \geq 0.98$ (0.97 – 1.00) ($p < 0.001$) and $ICC \geq 0.91$ (0.85 – 0.99) ($p < 0.001$), respectively. **Conclusion:** The established values support interpreting neonatal diaphragmatic function and detecting changes in contractility and motion range, with high intra- and inter-rater reliability for EDT, IDT, DTF, and DE.

What is Known:

- Diaphragmatic ultrasound is used to assess diaphragm function in various clinical contexts; however, its reliability and reference values for neonates are limited.

What is New:

- Performing diaphragmatic ultrasound in neonates requires specific precautions to obtain accurate and reliable measurements.

- The established normal, lower, and upper limits for diaphragmatic thickness and excursion support the functional assessment of the diaphragm in neonates by aiding in the detection of changes in contractility and movement, providing valuable reference values for clinical decision-making.

Keywords: Ultrasound. Newborn. Diaphragm thickness. Diaphragm excursion

Abbreviations

DE	diaphragmatic excursion
DTF	diaphragmatic thickening fraction
EDT	expiratory diaphragmatic thickness
IDT	inspiratory diaphragmatic thickness
LLN	lower limit of normality
PT	physiotherapist
ULN	upper limit of normality

Introduction

The respiratory muscles undertake the work of breathing and consist mainly of the diaphragm. In the newborns, anatomical factors like elevated and horizontal ribs [1], a non-ossified, highly compliant neonatal chest wall [2], lower muscle mass, decreased content of fatigue-resistant (type I) muscle fibres [3], a flattened diaphragmatic shape, and consequently a smaller zone of apposition and decreased range of displacement increase the work of breathing [4]. These factors predispose newborn infants to respiratory muscle impairment, muscle fatigue, and respiratory failure [5].

However, the diagnosis of diaphragmatic dysfunction may be hindered by the lack of adequate quantitative assessments of neonatal diaphragm function. Thus, an accurate evaluation of diaphragmatic function in neonates could assist in diagnosing respiratory distress, assessing therapeutic interventions, and identifying infants ready to be weaned from mechanical ventilation [5–7].

Recently, there has been significant interest in methods of assessing respiratory muscle function, such as bedside ultrasonography, a widely available, highly feasible, non-invasive, radiation-free technique that can be easily applied, allowing structural and functional evaluation of muscle by a multidisciplinary team [6–8].

The introduction of a new assessment method in the healthcare field involves many challenges, including the standardization of measurement techniques, training the team, and determining reference values for comparing sick individuals with healthy ones [6,9]. Regardless of the substantial potential of muscle assessments, few studies have described the reliability and established normative values for the sonographic evaluation of the diaphragm in infants that can serve as reference values in various clinical contexts [9–16]. Furthermore, many of these studies are limited by small sample sizes, lack comprehensive reliability analyses, and fail to adopt specific protocols tailored to diaphragmatic ultrasound evaluation in neonates, potentially leading to outcomes that do not accurately reflect true values.

Therefore, the aim of the present study were to determine the normal values and to evaluate the intra-rater and inter-rater reliability of inspiratory diaphragmatic thickness (IDT), expiratory diaphragmatic thickness (EDT), diaphragmatic thickening fraction (DTF), and diaphragmatic excursion (DE) in neonates.

Methods

Study type and location

The study is an observational, cross-sectional, conducted in the neonatal unit of a public maternity hospital in Manaus, AM, Brazil, between July 2022 and December 2023. The study adhered to the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) guidelines for observational research [17] (Supplementary Materials).

Inclusion and exclusion criteria

Healthy newborns within the first 48 hours after birth were included in the study. Exclusion criteria comprised newborns exhibiting irritability or crying during assessment that interfered with image acquisition and ultrasound measurements

Ethical Considerations

This study was approved by the Ethics Committee for Research Involving Human Participants of Universidade Paulista (protocol CAAE: 56714122.3.0000.5512). Parents or legal guardians of eligible infants provided written informed consent prior to participation. No compensation was offered for participation. Consent to publish images was obtained from the parents of the infants shown in Figure 1. This study was conducted in accordance with the recently amended Declaration of Helsinki of 1975.

Clinical Characteristics

Sociodemographic data were collected for all included newborns to characterize the sample, encompassing gestational age, birth weight, weight classification by gestational age, mode of delivery, sex, length, and nutritional adequacy. Subsequently, participants underwent an ultrasound assessment of the right diaphragm, which included measurements of inspiratory and expiratory diaphragm thickness, diaphragm thickening fraction, and diaphragm excursion. The right hemidiaphragm was used for measurements, as it provides a better acoustic window and is technically easier to assess, while the left side is often obscured by gastric contents and the spleen; no significant thickness differences between sides have been reported in the literature [18,19].

Ultrasound Assessment

Diaphragmatic ultrasound assessments were performed by a physiotherapist (PT 1) with three years of experience in operating the equipment and in image acquisition and analysis. The evaluations utilized a LOGIQ E ultrasound system (GE Medical Systems) equipped with a high-frequency broadband linear transducer (8–13 MHz).

The procedure was conducted with the neonates in a supine position and breathing calmly, approximately one hour post-feeding. To ensure comfort and prevent hypothermia, the ultrasound gel was pre-warmed, and a glucose solution was administered to keep the infants relaxed. Additionally, an assistant was present to help soothe the neonates during the examination.

The images used for measurements were acquired using frame-freeze control during intervals in which the examiner identified a sequence of regular respiratory cycles during quiet breathing, with minimal variation in respiratory amplitudes and inspiratory diaphragm contractions. This approach allowed for more accurate measurements of diaphragmatic excursion and thickness. Diaphragmatic thickness and excursion were quantified using ImageJ software. To reduce the risk of measurement bias, the average of three respiratory cycles was calculated.

To assess intra-rater reliability (PT 1 vs. PT 1), the same images obtained during the initial evaluation were used for a repeat measurement. Additionally, a physiotherapist (PT 2) with nine years of experience in equipment operation, image acquisition, and analysis was designated to evaluate the images and perform diaphragm thickness and excursion measurements, enabling the calculation of inter-rater reliability (PT 1 vs. PT 2).

Ultrasound Assessment of Diaphragm Thickness, Thickening Fraction, and Excursion

Thickness and Thickening Fraction

The ultrasound evaluation of diaphragm thickness during the inspiratory and expiratory phases of the respiratory cycle was conducted in the region corresponding to the apposition zone of the right diaphragm. This was located along the mid-axillary line, between the 8th and 9th intercostal spaces, with the linear transducer positioned perpendicular to the ribs. The imaging was performed in B-mode, and measurements were obtained in M-mode, specifically between the diaphragmatic pleura and the peritoneum at the end of both inspiration and expiration. The diaphragm thickening fraction (DTF%) was calculated using the formula: $[(IDT - EDT) / EDT] \times 100$ [6,20].

Excursion

With the patient remaining in the supine position, the transducer was placed in the anterior subcostal region, oriented cranially to ensure that the ultrasound beam was perpendicular to the posterior third of the right hemidiaphragm. The device was set to B-mode for localization, and diaphragm excursion (DE) was measured in M-mode. Excursion was defined as the difference in the position of the outer diaphragm line at peak inspiration and expiration [6].

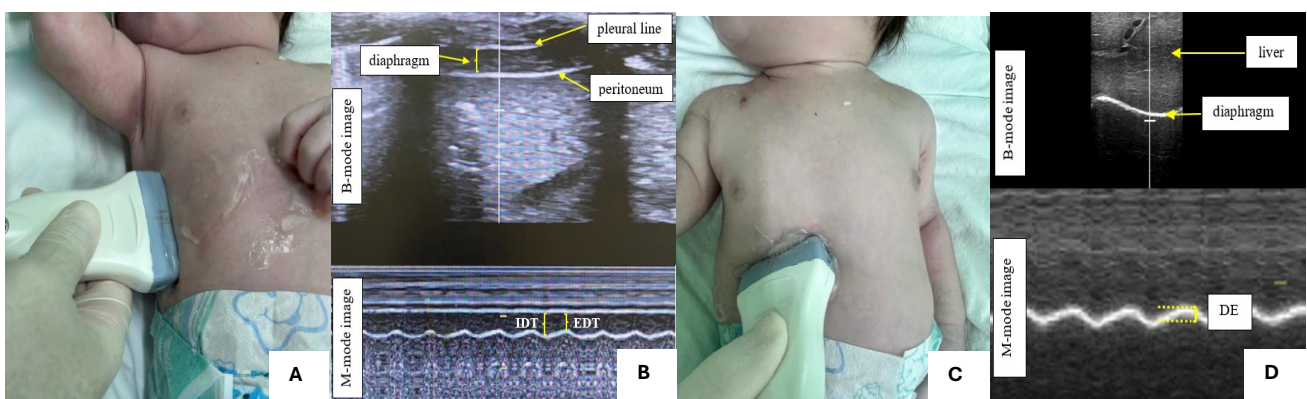


Fig.1 Ultrasound Assessment of Diaphragmatic Thickness and Excursion.

A and B - Evaluation of Diaphragm Thickness: The upper hyperechoic line in the B-mode image represents the pleural line, while the lower hyperechoic line indicates the peritoneum. The diaphragm is visualized between these two lines. Below, the M-mode image illustrates the phases of the respiratory cycle, allowing for the measurement of IDT and EDT. **C and D - Evaluation of Diaphragmatic Excursion (DE):** In the B-mode image above, the liver window is identifiable, with the hyperechoic line representing the diaphragm. The M-mode image below enables visualization of the respiratory cycles, allowing for the measurement of the mobility of the right diaphragmatic dome to calculate the DE.

Sample Size

No formal sample size calculation was performed, as this descriptive study aimed to establish reference values in a homogeneous population. Sample sizes between 30 and 100 are generally adequate for such studies [21]. Considering the low variability of the data and STROBE recommendations [17], a sample of 100 neonates was deemed sufficient and ethically appropriate to reliably estimate central parameters (mean and standard deviation).

Statistical Analysis

Continuous variables are presented as arithmetic mean and standard deviation for data with a normal distribution, and as median and interquartile range (25th–75th percentile) for those with a non-normal distribution. The Shapiro-Wilk test was used to assess distribution normality. Categorical variables are presented as absolute and relative frequencies.

For normality values, as well as lower (LLN) and upper limits (ULN) of normality, measurements from PT1 were considered.

The intraclass correlation coefficient (ICC) with 95% confidence intervals (CI) was calculated to evaluate the reliability of intra-rater and inter-rater measurements. To interpret reliability levels, excellent relative reliability was classified as an ICC above 0.90, good reliability above 0.75, and moderate reliability between 0.50 and 0.75; values below this threshold were considered poor [21] Bland-Altman analysis was also used to evaluate interrater agreement. A nomogram displaying the 5th, 10th, 25th, 50th, 75th, 90th, and 95th percentiles for all measurements is provided in the supplementary materials. All analyses were conducted using the SPSS statistical package (version 24.0), with significance set at $p < 0.05$.

Results

Of the 112 neonates initially enrolled, 5 were excluded due to respiratory disease (transient tachypnea of the newborn or meconium aspiration) and 7 due to irritability or crying during assessment that interfered with image acquisition and ultrasound measurements; thus, one hundred newborns were included in the study. The demographic data are presented in Table 1. The normal values, as well as the lower and upper limits of normality for the measurements of IDT, EDT, DTF, and DE are presented in Table 2. Table 3 presents the mean values for IDT, EDT, DTF, and DE measurements between Physiotherapist 1 (PT 1) and Physiotherapist 2 (PT 2) in the first 50 newborns, along with intra- and interrater reliability. No significant differences were observed between the measurement values of PT 1 and PT 2 ($p > 0.05$). Intrarater reliability (PT 1 vs. PT 1) and interrater reliability (PT 1 vs. PT 2) were assessed using the intraclass correlation coefficient (ICC), with excellent agreement observed across all measurements. Bland-Altman agreement analyses for the IDT, EDT, DTF, and DE measurements between Evaluator I and Evaluator II are shown in Figure 2.

Table 1. Demographic characteristics of newborns participating in the study (n=100)

Gestacional age at the study (weeks)	39 (38 – 40)
Weight at the study (grams)	3168g ± 475g
Time at DU (hours of life)	24 (16,5 – 36)
Birth weight classification	
LBW	6 (6%)
NBW	89 (89%)
HBW	5 (5%)
Gestational age classification considered with birth weight	
SGA	4 (4%)
AGA	80 (80%)
LGA	16 (16%)
Height (centimeters)	49 (47.5–50)
Female sex	57 (57%)
Vaginal delivery	51%
5-min APGAR score	10 (10 – 10)
Need for resuscitation	8%

Data are presented as absolute frequency and percentage (%), mean and standard deviation or median and interquartile range. DU, Diaphragm ultrasound, SGA, small for gestational age; AGA, appropriate for gestational age, LGA, large for gestational age; LBW, low birth weight; NBW, low birth weight; HBW, high birth weight.

Table 2. Means and Standard Deviations of Normal Values and Limits of Normality for IDT, EDT, DTF, and DE Measurements.

Measurements (n=100)	Normal Values	Lower Limit of Normality	Upper Limit of Normality
IDT (mm)	2,17 ± 0,59	2,05	2,29
EDT (mm)	1,71 ± 0,48	1,62	1,80
DTF (%)	28,02 ± 9,88	26,08	29,96
DE (mm)	2,47 ± 0,72	2,33	2,61

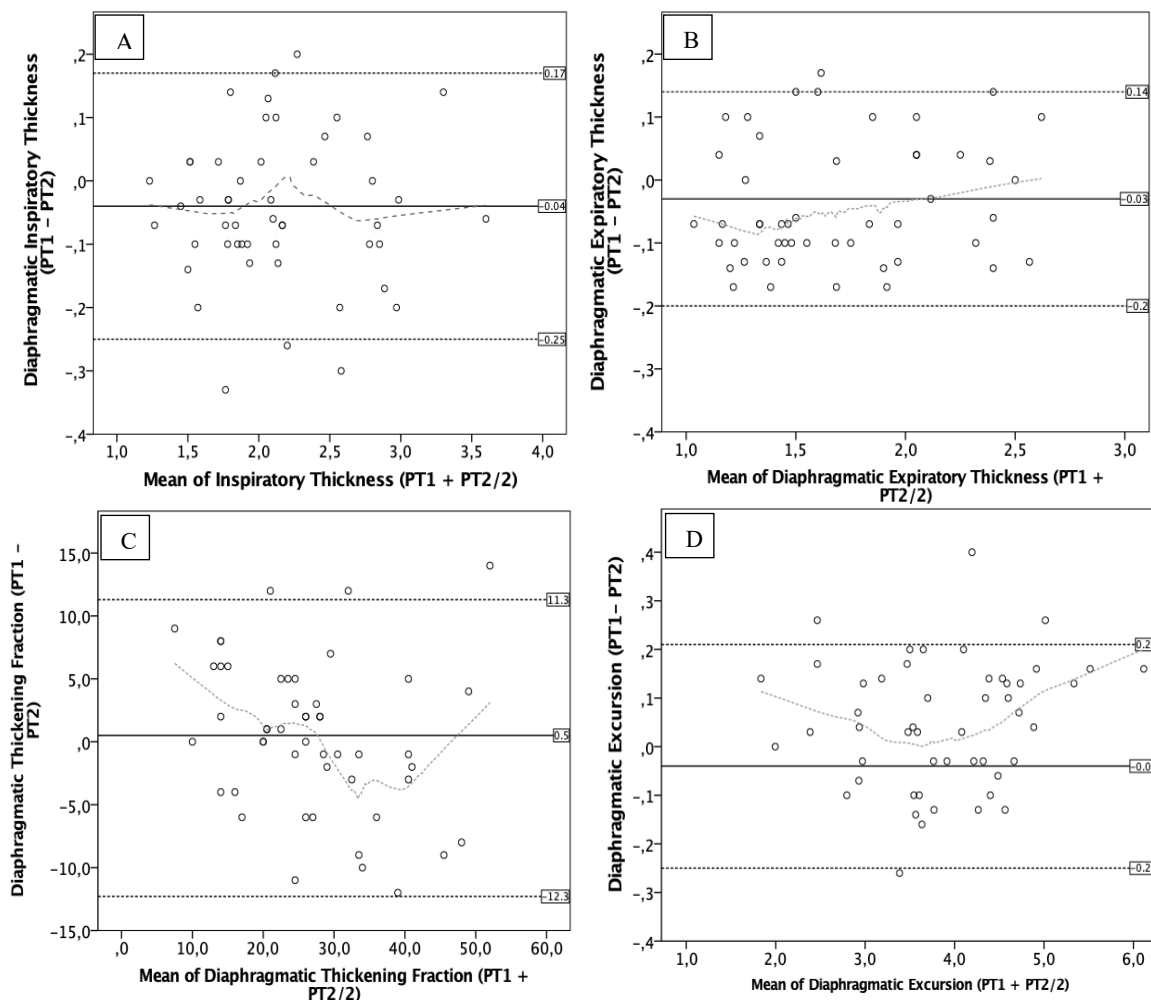
IDT, inspiratory diaphragmatic thickness; EDT expiratory diaphragmatic thickness; DTF diaphragmatic thickening fraction; DE, diaphragmatic excursion, n, number of ultrasound images, mm, millimeters; %, percentage.

Table 3. Means and Standard Deviations of Measurements from Ultrasound Images of Neonates: Intrarater and Interrater Reliability of Intraclass Correlation Coefficients (ICCs) for Physiotherapist 2 and Physiotherapist 2

Measurement s (n=50)	PT 1	PT 2	p value	Intrarater reliability PT 1 vs PT 1		Interrater reliability PT 1 vs PT 2	
	Mean ± SD			ICC (95% CI)	p value	ICC (95% CI)	p value
IDT (mm)	2,11 ± 0,53	2,15 ± 0,53	>0.05	0,99 (0,99 – 1,00)	< 0.001	0,98 (0,97 – 0,99)	< 0.001
EDT (mm)	1,67 ± 0,45	1,71 ± 0,43	>0.05	0,99 (0,99 – 0,99)	< 0.001	0,98 (0,97 – 0,99)	< 0.001
DTF (%)	27,18 ± 10,21	26,68 ± 11,68	>0.05	0,98 (0,97 – 0,99)	< 0.001	0,91 (0,85 – 0,95)	< 0.001
DE (mm)	2,59 ± 0,61	2,59 ± 0,60	>0.05	0,99 (0,99 – 0,99)	< 0.001	0,98 (0,97 – 0,99)	< 0.001

IDT, inspiratory diaphragmatic thickness; EDT expiratory diaphragmatic thickness; DTF diaphragmatic thickening fraction; DE, diaphragmatic excursion, PT, physiotherapist; n, number of ultrasound images, mm, millimeters; %, percentage; SD, standard deviations; ICC, intraclass correlation coefficient; 95% CI, confidence interval.

Figure 2. Interrater Agreement in Bland-Altman Analysis for Diaphragmatic Inspiratory Thickness (A); Diaphragmatic Expiratory Thickness (B); Diaphragmatic Thickening Fraction (C); Diaphragmatic Excursion (D).



Bland-Altman analysis of interrater agreement. The solid line represents the mean bias, and the dashed lines indicate the upper and lower limits of agreement between Physiotherapist 1 (PT1) and Physiotherapist 2 (PT2). The dashed curve in the middle of the graph represents the LOESS (Locally Estimated Scatterplot Smoothing) fit, used to identify potential non-linear trends across the range of measurements (50% span, 95% CI).

Discussion

Given the increasing use of ultrasound in various neonatal pathologies and its role in guiding the escalation of ventilatory support, as well as other therapeutic interventions, the importance of establishing a standardized assessment approach and defining normal values for different population groups becomes even more evident [9].

Given Brazil's ethnic diversity and vast geographic dimensions, this study, conducted in a city in the northern region, where a mixed-race population predominates [22], highlights the reference values and limits of normality for IDT, EDT, DTF, and DE in healthy neonates from this region during the first 48 hours of life, as well as the reliability of these measurements.

To date, eight studies have reported diaphragmatic measurements by ultrasound, including IDT, EDT, DTF, and DE in full-term neonates. Table 4 provides a comprehensive summary of these previously reported values in comparison with the findings of the present study [9–16].

Table 4. Diaphragmatic ultrasound measurements in full-term newborns: previously published data and present study findings

Autores	Year	n	GA (weeks)	Weight (kg)	Length (cm)	IDT (mm)	EDT (mm)	DTF (%)	DE (mm)
Rehan et al. [10]	2000	16	39 ± 0.9	3.3 ± 0.6	50 ± 3	2.36 ± 0.3	1.97 ± 0.3	-	-
Rehan et al [11]	2003	15	39 ± 0.9	3.3 ± 0.6	50 ± 3	-	1.90 ± 0.3	-	-
Alonso-Ojembarrena et al. [12]	2020	33	39 (38 – 40)	3.2 (2.9 – 3.4)	-	2.6 (2.2 – 3.2)	1.9 (1.6 – 2.4)	24 (15 – 37)	-
Yeung et al. [13]	2023	55	38.1 ± 1.5	3.1 ± 0.4	49.5 ± 2.3	2.1 ± 0.5	1.5 ± 0.4	43,3 ± 19,7	4,4 ± 1,6
Buonsenso et al. [14]	2023	22	-	3.1 ± 0.4	-	2.7 ± 0.7	1.6 ± 0.48	80 ± 65	-
Andreazza et al. [15]	2024	12	39 ± 2	3.0 ± 0.2	48 ± 1.5	1.6 (1 – 2.1)	1,1 (0.9 – 1.4)	-	5.2 (3.8 – 5.8)
Nascimento et al. [9]	2024	69	39.1 ± 1	3.2 ± 0.4	48.6 ± 2	1.9 ± 0.4	1.6 ± 0.4	16.7 ± 10.27	6.8 ± 2.2
Martins et al. [16]	2024	44	37 – 41	3.1 ± 0,4	-	-	-	39.6 ± 13.3	4.6 ± 3
This study	2025	100	39 (38 – 40)	3.1 ± 0.4	49 (47.5 – 50)	2,17 ± 0.59	1.71 ± 0.48	28.02 ± 9.88	2.47 ± 0.72

Data are presented as mean and standard deviation or median and interquartile range. IDT, inspiratory diaphragmatic thickness; EDT expiratory diaphragmatic thickness; DTF diaphragmatic thickening fraction; DE, diaphragmatic excursion, n, sample size, gestational age, GA; kilograms, kg; cm, centimeters; mm, millimeters; %, percentage.

Rehan et al. (10) evaluated right diaphragmatic thickness and shortening in 16 healthy infants in both prone and supine positions; the measurements obtained in the supine position are presented in Table 4. In the prone position, the diaphragm was significantly thicker and, consequently, shorter in healthy infants. Previous studies suggest that newborns have a reduced diaphragmatic apposition zone due to anatomical differences in diaphragm shape and rib cage structure

compared to adults [4,5]. However, our findings align with those of Rehan et al. (10) and Nascimento et al. [9], who identified a well-defined apposition zone in newborns. Rehan et al. [10] proposed that the disorganized chest wall movements observed in newborns may result more from intercostal muscle weakness or greater rib cage compliance than from the absence of an apposition zone. In a second study involving 15 healthy infants during the first two days of life, Rehan et al. [11] found a mean EDT of 1.9 ± 0.3 mm and reported that diaphragm thickness is positively associated with body size and weight [11]. In both studies, the technique used was B-mode to identify the diaphragm and measure diaphragm thickness as the distance between the midpoints of the peritoneal and pleural layers. The freeze-frame control was used during playback to precisely determine end-inspiration and end-expiration. However, the method for performing these measurements is more accurate and recommended when using M-mode, especially for less experienced operators [20,23]. The reliability of the measurements was not calculated in either study.

The study by Alonso-Ojembarrena et al. [12] compared 33 full-term and 33 preterm neonates, reporting similar DTF values during the first 24 hours of life despite thinner diaphragms in preterm infants. The demographic data and ultrasound measurements of the full-term neonates are summarized in Table 4. Both intra- and inter-observer agreement were high. The authors acknowledge several study limitations, including the need for ultrasound equipment, which is not available in many neonatal units, and the challenges in performing measurements in certain neonatal groups, which may limit generalizability. Additionally, the study lacks recently described metrics for assessing diaphragmatic function and has a small sample size.

In a study published in 2023, Yeung et al. [13] enrolled 111 infants, including 56 preterm infants with bronchopulmonary dysplasia and 55 healthy age-matched term or near-term infants, to compare diaphragm thickness and excursion. In infants with bronchopulmonary dysplasia, EDT was significantly lower, while DTF and DE were significantly higher compared to healthy, age-matched control participants. They identified strong interobserver agreement for the measurement of diaphragmatic thickness and excursion (ICC: 0.86 [95% CI, 0.84–0.87] and 0.93 [95% CI, 0.91–0.94], respectively).

Buonsenso et al. [14] evaluated 22 healthy neonates within the first 15 days of life. Although the reported values were somewhat unclear due to the use of decimal places that may not accurately reflect the true measurements, we interpret the results as follows: IDT of 2.7 ± 0.7 mm, EDT of 1.6 ± 0.48 mm, and DTF of $80 \pm 65\%$. In addition to the small sample size, the DTF value observed was notably high and considerably different from those reported in other studies assessing diaphragmatic function in neonates via ultrasound.

Three studies [9,15,16] conducted by Brazilian researchers were published in 2024, providing reference values for diaphragmatic functional measurements in neonates from the southern and southeastern regions of Brazil. Andreazza et al. [15] measured diaphragm excursion and thickening in 25 preterm and 12 full-term neonates. The demographic data and ultrasound measurements of the full-term neonates are summarized in Table 4. A positive correlation was found between DE and gestational age, although no statistically significant differences in measurements were observed. However, the authors acknowledged that a type II error, possibly due to sample size, could limit result interpretation. Assessments were performed by a trained research physiotherapist under the supervision of a cardiologist; however, reliability of the measurements was not calculated.

Nascimento et al. [9] presented ultrasound reference values for diaphragm and quadriceps muscle thickness in 69 full-term neonates, assessed by two groups of operators, demonstrating excellent intrarater reliability and moderate interrater reliability for most measurements. The lower and upper limits of normality were not reported. Notably, the authors found the lowest DTF ($16.7 \pm 10.27\%$) and, conversely, the highest DE (6.8 ± 2.2 mm) compared with values described in other

studies, suggesting that the irregular respiratory patterns of neonates may have made it difficult to obtain measurements at the same respiratory phase, potentially influencing these findings. Subsequently, Martins et al. [16] established normative ultrasound values for neonates across different gestational age groups, reporting on 44 full-term infants, with mean DE calculated after five maximum movements in five respiratory cycles, while IDT and EDT values were not presented

All measurements were performed by a single, highly experienced operator in muscle ultrasound evaluation; however, measurement reliability was not assessed in this study. In both studies, the authors note that one limitation is the single-center design, and the potential biases related to population variability may limit the generalizability of their findings [9,16]

In this study, the IDT and EDT measurements closely aligned with those reported in seven previous studies [9–15]. However, DTF and DE values differed significantly from those in our study, with the exception of the DTF in Alonso-Ojembarrera et al. [12], which was quite similar to our findings. Variations in DTF may be attributable to slight differences in IDT and EDT, as these can affect the percentage calculations, leading to distinct values. DE measurements also varied across studies, likely due to the characteristic irregular respiratory patterns in neonates, which complicates obtaining measurements during consistent respiratory patterns [9,16].

To minimize variability in this study, several strategies were implemented: an assistant was present to help calm the neonates during the examination; glucose solution was used to keep the infants relaxed; and heated ultrasound gel was applied throughout the procedure to enhance their comfort [24]. Furthermore, the images used for measurements were obtained using frame-freeze control during periods when the examiner observed a sequence of regular respiratory cycles during quiet breathing, without significant variations in respiratory amplitudes or inspiratory diaphragm contractions. This approach ensured more accurate measurements of diaphragm excursion and thickness.

A limitation of the present study is its single-center design, which exclusively focuses on newborns of mixed-race ethnicities from a city in the northern region of Brazil. Diaphragmatic ultrasound assessments were performed by a physiotherapist (PT1) with three years of experience in operating the equipment and in image acquisition and analysis; however, as the images obtained are operator-dependent, this could introduce assessment bias. A multicenter study would be beneficial to gather more extensive data, allowing for a more precise definition of reference values for diaphragmatic thickness and excursion in neonates across the country.

Diaphragmatic ultrasound is a promising tool for assessing diaphragm function, offering advantages such as being non-invasive, radiation-free, easy to apply, low-cost, and suitable for various clinical settings. Reference values for diaphragmatic function can aid physical therapists in diagnosing dysfunctions and developing strategies to improve clinical outcomes. However, its use is not yet widely integrated into daily clinical practice, partly due to limited information on diaphragmatic function in neonates across various clinical conditions and the need for training and greater expertise in performing the technique [6,7].

Conclusion

The normal reference values and the LLN and ULN of diaphragm thickness and excursion described may contribute to the interpretation of diaphragmatic functional assessment in neonates, aiding in the identification of alterations in the contractility and range of motion of this muscle. An excellent level of intra-rater and inter-rater reliability was observed for the measurements of IDT, EDT, DTF, and DE in neonates.

Authors' contributions: M.G.S.C., J.N.T., and M.A.T. made substantial contributions to the conception and design, acquisition of data, analysis, and interpretation of data and been involved in drafting the manuscript and revising it critically for important intellectual content; F.C.L. made substantial contributions to conception and design and been involved in drafting the manuscript given final approval of the version to be published and revising it critically for important intellectual content. All authors reviewed the manuscript.

Funding: This study received no funding.

Data availability: Data will be made available on request to corresponding author.

Declarations Competing interests: The authors declare no competing interests.

References

1. Hershenson MB, Colin AA, Wohl MEB, Stark AR (1990) Changes in the Contribution of the Rib Cage to Tidal Breathing during Infancy. *Am Rev Respir Dis* 141:922-5. https://doi.org/10.1164/ajrccm/141.4_Pt_1.922
2. Papastamelos C, Panitch HB, England SE, Allen JL (1995) Developmental changes in chest wall compliance in infancy and early childhood. *J Appl Physiol* 78(1):179-84. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.78.1.179>
3. Sieck GC, Fournier M, Blanco CE (1991) Diaphragm muscle fatigue resistance during postnatal development. *J Appl Physiol* 71(2):458-64. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.71.2.458>
4. Devlieger H, Daniels H, Marchal G, Moerman P, Casaer P, Eggermont E (1991) The diaphragm of the newborn infant: anatomical and ultrasonographic studies. *J Dev Physiol* 16(6):321-9.
5. Dassios T, Vervenioti A, Dimitriou G (2022) Respiratory muscle function in the newborn: a narrative review. *Pediatr Res* 91(4):795-803. <https://doi.org/10.1038/s41390-021-01529-z>
6. Tuinman PR, Jonkman AH, Dres M, Shi ZH, Goligher EC, Goffi A et al (2020) Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients - a narrative review. *Intensive Care Med* 46(4):594-605. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05892-8>
7. Alonso-Ojembarrena A, Estepa-Pedregosa L (2023) Can Diaphragmatic Ultrasound Become a New Application for Point-of-Care Ultrasound in Preterm Infants? *Chest* 163(2):266-267. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2022.09.011>
8. Boussuges A, Rives S, Finance J, Brégeon F (2020) Assessment of diaphragmatic function by ultrasonography: Current approach and perspectives. *World J Clin Cases* 26;8(12):2408-2424. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v8.i12.2408>
9. Nascimento MS, Leite FS, Silva PAL, Zamberlan GC, de Souza PM, Eid RAC et al (2024) Reliability and reference values for diaphragmatic excursion, thickness, and thickening fraction and quadriceps femoris muscle thickness in full-term newborns evaluated by ultrasound. *Eur J Pediatr* 183(8):3453-3460. <https://doi.org/10.1007/s00431-024-05608-1>
10. Rehan VK, Nakashima JM, Gutman A, Rubin LP, McCool D (2000) Effects of the supine and prone position on diaphragm thickness in healthy term infants. *Arch Dis Child* 83(3):234-8. <https://doi.org/10.1136/adc.83.3.234>
11. Rehan VK, McCool FD (2003) Diaphragm dimensions of the healthy term infant. *Acta Paediatr* 92(9):1062-1067. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2003.tb02578.x>
12. Alonso-Ojembarrena A, Ruiz-González E, Estepa-Pedregosa L, Armenteros-López AI, Segado-Arenas A, Lubián-López SP (2020) Reproducibility and reference values of diaphragmatic shortening fraction for term and premature infants. *Pediatr Pulmonol* 55(8):1963-1968. <https://doi.org/10.1002/ppul.24866>

13. Yeung T, Mohsen N, Ghanem M, Ibrahim J, Shah J, Kajal D et al (2023) Diaphragmatic Thickness and Excursion in Preterm Infants With Bronchopulmonary Dysplasia Compared With Term or Near Term Infants: A Prospective Observational Study. *Chest*. 2023;163(2):324-33. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2022.08.003>
14. Buonsenso D, Mariani F, Morello R, Cammarota G, De Rose C, Valentini P et al (2023) Ultrasound Imaging for Diaphragm Function in a Population of Healthy Infants: A Short Observational Report. *Diagnostics* 13(6):1095. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13061095>
15. Andreazza MG, Binotto CN, da Silva RPGVC, Valderramas S, Lima MN (2024) Diaphragmatic and excursion thickness in newborns using diaphragmatic kinesiology ultrasound: an observational study. *Fisioter Mov* 37:e37107. <https://doi.org/10.1590/fm.2024.37107>
16. Martins MF, de Santa Maria NN, dos Santos Camargo CC, Anjos DNP, de Carvalho EFT, de Freitas Dantas Gomes EL (2024) Lower limit of normal of cross-sectional area of peripheral muscles and diaphragm measurements performed with ultrasound in full-term and preterm infants. *Eur J Pediatr* 183(11):4799-4806. <https://doi.org/10.1007/s00431-024-05751-9>
17. Malta M, Cardoso LO, Bastos FI, Magnanini MMF, da Silva, CMFP (2010) STROBE initiative: guidelines on reporting observational studies. *Rev Saude Publica* 44(3):559-65. <https://doi.org/10.1590/s0034-89102010000300021>
18. Thimmaiah VT, MJ G, Jain KP (2016) Evaluation of thickness of normal diaphragm by B mode ultrasound. *International Journal of Contemporary Medical Research* 3(9):2658-2660.
19. Scott S, Fuld JP, Carter R, McEntegart M, MacFarlane NG (2006) Diaphragm ultrasonography as an alternative to whole-body plethysmography in pulmonary function testing. *J Ultrasound Med* 25(2):225–232. <https://doi.org/10.7863/jum.2006.25.2.225>
20. Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F et al (2013) Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive Care Med* 39(5):801-10. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-2823-1>
21. Portney LG (2020) *Foundations of Clinical Research: Applications to Evidence-Based Practice: Applications to Evidence-Based Practice*. 4th edn. PA: F. A. Davis Company, Philadelphia.
22. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Brasileiro de 2022. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9605#resultado> . Accessed 15 January 2025.
23. Cappellini I, Picciafuochi F, Bartolucci M, Matteini S, Virgili G, Adembri C (2021) Evaluation of diaphragm thickening by diaphragm ultrasonography: a reproducibility and a repeatability study. *J Ultrasound* 24(4):411-416. <https://doi.org/10.1007/s40477-020-00462-x>
24. Liu J, Guo G, Kurepa D, Volpicelli G, Sorantin E, Lovrenski J et al (2022) Specification and guideline for technical aspects and scanning parameter settings of neonatal lung ultrasound examination. *J Matern Fetal Neonatal Med* 35(5):1003-1016. <https://doi.org/10.1080/14767058.2021.1940943>

5 Diaphragmatic Function and Lung Aeration Assessed by Ultrasound During Weaning and Post-Extubation in Preterm Newborns

Marcos Giovanni Santos Carvalho^{a,b,c}, Juliana Nasu Tomiyama^b, Marcelo Azeredo Terra^d, Fernanda Cordoba Lanza^{a,*}

^a Graduate Program in Rehabilitation Science, Physical Therapy Department, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

^b Maternidade Balbina Mestrinho, Secretaria de Estado de Saúde (SES), Manaus, Amazonas, Brazil

^c Maternidade Dr. Moura Tapajoz, Secretaria Municipal de Saúde (SEMSA), Manaus, Amazonas, Brazil.

^d Mterra Ensino e Consultoria; Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

* Corresponding author at: Rua Engenho Grande, 75 ap 9091 bloco 2, 31320-470. Belo Horizonte-MG, Brazil. E-mail: lanzafe@gmail.com (F. C. Lanza).

Marcos Giovanni Santos Carvalho ORCID: 0000-0002-4264-8361

Juliana Nasu Tomiyama ORCID: 0009-0009-4306-4948

Marcelo Azeredo Terra ORCID: 0000-0002-5016-8640

Fernanda Cordoba Lanza ORCID: 0000-0002-4748-6947

ABSTRACT

To describe and assess diaphragmatic function and lung aeration by ultrasound during the weaning and post-extubation phases in preterm newborns. This cross-sectional study included intubated preterm newborns eligible for extubation. Inspiratory diaphragmatic thickness (IDT), expiratory diaphragmatic thickness (EDT), diaphragmatic thickening fraction (DTF), diaphragmatic excursion (DE), and lung aeration (lung ultrasound score, LUS) were evaluated at three time points: T1 — during invasive mechanical ventilation (IMV); T2 — during the SBT; and T3 — during nasal intermittent positive pressure ventilation (NIPPV). Friedman test and Wilcoxon signed-rank post hoc test were used for comparisons ($p < 0.05$). Fifty preterm newborns were evaluated. Forty-five (mean gestational age 30.9 ± 2.2 weeks; mean weight 1377.5 ± 432 g) received IMV for 4 ± 3 days and were successfully extubated (extubation failure rate 10%). Due to the small number of failures ($n = 5$), only descriptive analyses were performed. In successfully extubated newborns, IDT and DE increased at T2 and T3 compared to T1 ($p < 0.05$), with IDT highest at T2. Lung aeration decreased at T3 ($p < 0.05$), but LUS remained low throughout, consistent with milder respiratory disease and minimal impact on lung aeration. No significant changes were observed in EDT or DTF, which remained consistently elevated. Conclusion: In preterm

newborns successfully extubated, diaphragmatic thickness and excursion increased during the spontaneous breathing trial and remained elevated after extubation, while lung aeration transiently decreased but remained adequate. These findings may support the use of diaphragmatic and lung ultrasound to guide extubation readiness and monitor post-extubation adaptation in preterm infants.

What is Known:

- Extubation decisions in preterm infants rely mainly on clinical judgment.
- Lung and diaphragmatic ultrasound is used to assess lung aeration and diaphragmatic function in various neonatal clinical situations.

What is New:

- To our knowledge, this is the first study to provide descriptive data on diaphragmatic function and lung aeration throughout the entire weaning and post-extubation process in preterm newborns undergoing a spontaneous breathing trial.

In successfully extubated preterm newborns with mild respiratory disease, diaphragmatic thickness and excursion increased during the spontaneous breathing trial and stayed elevated after extubation, while lung aeration transiently decreased but remained adequate.

Keywords: Lung ultrasound. Diaphragm ultrasound. Spontaneous breathing trial. Premature newborns. Endotracheal extubation.

Abbreviations

CPAP	continuous positive airway pressure
DE	diaphragmatic excursion
DTF	diaphragmatic thickening fraction
EDT	expiratory diaphragmatic thickness
IDT	inspiratory diaphragmatic thickness
IMV	invasive mechanical ventilation
LUS	lung ultrasound score
NIPPV	nasal intermittent positive pressure ventilation
PEEP	positive end-expiratory pressure

SBT spontaneous breathing trial

Introduction

Pathophysiological and anatomical factors predispose newborns, particularly preterm infants, to increased respiratory effort and a higher risk of respiratory failure, often requiring intubation and mechanical ventilation [1,2]. However, due to the short- and long-term complications associated with this support—including pulmonary and neurodevelopmental impairments—extubation is recommended as soon as clinically feasible [2,4]. Conversely, premature extubation increases the risk of respiratory failure and reintubation, which are associated with higher neonatal morbidity and mortality [2]. Therefore, early and successful extubation is a key clinical goal [5].

The decision to extubate preterm newborns has traditionally been largely subjective, relying on clinical judgment [2]. Current assessments of clinical and physiological parameters in newborns under invasive ventilatory support may not reliably predict their ability to sustain adequate spontaneous breathing after disconnection. Respiratory readiness tests, such as the spontaneous breathing trial (SBT) using endotracheal continuous positive airway pressure (CPAP), are widely used in neonatal intensive care units and considered promising; however, evidence supporting their effectiveness remains limited. This may be due to the limited predictive accuracy of the variables and criteria applied in these evaluations [2,5-7].

Extubation failure within the first 48 hours in newborns is often attributed to pulmonary immaturity, reduced lung aeration, and/or upper airway obstruction due to edema, all of which can lead to respiratory distress [7,8]. Diaphragmatic and lung ultrasound has recently emerged as a valuable tool for assessing diaphragmatic function and lung aeration in neonatal care [9-12]. Nevertheless, few studies have examined these parameters throughout the entire weaning process and post-extubation in newborns, despite their potential importance in guiding clinical decisions. Its widespread use is supported by high feasibility, non-invasiveness, lack of radiation, and easy application by multidisciplinary teams [12]. Diaphragmatic function is measured through inspiratory and expiratory thickness (IDT, EDT), thickening fraction (DTF), and diaphragmatic excursion (DE) while lung aeration is commonly evaluated using the lung ultrasound score (LUS) [9,10,12,13]. In this context, ultrasound-based assessment of diaphragm function and lung aeration may help identify newborns ready for successful extubation. This study aimed to describe and assess diaphragmatic function and lung aeration using ultrasound during the weaning and post-extubation phases in preterm newborns.

Methods

Study type and location

The study is a cross-sectional, conducted in the neonatal unit of a public maternity hospital in Manaus, AM, Brazil, between January 2022 and December 2024. The study adhered to the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) guidelines for observational research [14] (Supplementary Materials).

Inclusion and Exclusion Criteria

Preterm newborns who were intubated and received invasive mechanical ventilation (IMV) for at least 24 hours during the study period were included. Eligibility required clinical stability and readiness for a first extubation attempt as determined by the medical team, based on clinical evaluation and minimal ventilatory parameters. Exclusion criteria included congenital heart disease with hemodynamic significance, chest wall deformities, major congenital anomalies, chromosomal abnormalities, neurological disorders (e.g., hypoxic-ischemic encephalopathy), or intracranial hemorrhage greater than grade III. Newborns were also excluded if an intercurrent event prevented completion of the ultrasound assessment, if clinical or hemodynamic instability contraindicated extubation.

Ethical Aspects

The study was approved by the Research Ethics Committee of Federal University of Minas Gerais (CAAE: 59130222.7.0000.5149). Written informed consent was obtained from parents or legal guardians prior to enrollment. No financial or material compensation was provided.. This study was conducted in accordance with the recently amended Declaration of Helsinki of 1975.

Clinical Features

Sociodemographic and clinical data were collected to characterize the sample, including gestational age and weight at extubation, sex, ventilator settings, cardiorespiratory variables (heart rate, respiratory rate, oxygen saturation), prenatal steroid administration, mode of delivery (cesarean section), 5-minute APGAR score, need for resuscitation, risk of neonatal infection, presence of respiratory distress syndrome, and duration of mechanical ventilation. All participants subsequently underwent diaphragmatic and lung ultrasound assessments.

Procedures

Newborns underwent ultrasound assessments of diaphragmatic function and lung aeration at three time points:

- T1 – during IMV with minimal settings, 30 minutes before the SBT.
- T2 – during the SBT (endotracheal CPAP), five minutes after initiation;
- T3 – during nasal intermittent positive pressure ventilation (NIPPV), one hour post-extubation.

After the SBT, infants were reconnected to IMV with baseline settings. Extubation was performed by physiotherapists within 30 minutes, following protocol. All newborns received NIPPV via prongs for at least 48 hours post-extubation.

Extubation Criteria

Extubation was indicated by the medical team based on unit-defined criteria, including satisfactory blood gases (no acid–base disturbances) and use of pressure assist-control ventilation, time-cycled, with peak inspiratory pressure <20 cmH₂O, expiratory tidal volume 4–6 mL/kg, and trigger sensitivity allowing spontaneous efforts. Other parameters included inspiratory time of 0.3–0.5 s, positive end-expiratory pressure (PEEP) of 5 cmH₂O, respiratory rate ≤20 breaths/min, spontaneous rate above the set rate, and inspired oxygen fraction (FiO₂) ≤40% with oxygen saturation >90%.

Newborns also had to be clinically and hemodynamically stable, including those on low-dose vasoactive drugs, with no sedation for ≥6 hours before extubation. Methylxanthine use was at the team's discretion. Endotracheal suctioning was performed one hour before the SBT, following unit protocols.

SBT

During the SBT, intubated neonates were maintained on endotracheal CPAP with a PEEP of 5 cmH₂O, without additional pressure support, and with the same FiO₂ used during invasive ventilation, for at least 5 minutes. SBT failure—defined as bradycardia (<100 beats/min for ≥15 seconds) and/or SpO₂ <85% despite a 15% increase in FiO₂ [15]—led to reconnection to mechanical ventilation and exclusion from the study if it prevented the ultrasound examination.

Ultrasound Assessment

Diaphragmatic and Lung ultrasound assessments were performed by a physiotherapist experienced in image acquisition and analysis, using a VIVID system (GE Medical Systems) with a high-frequency linear transducer (8–13 MHz). Exams were conducted with neonates in the supine position, during calm breathing, approximately one hour after feeding. To ensure comfort, the gel was pre-warmed, 1 mL of a 25% glucose solution was administered orally to keep the infants calm, and an assistant was present to soothe them. Ultrasound evaluated lung aeration via LUS and diaphragmatic function through IDT, EDT, DTF and DE.

Ultrasound Assessment of Diaphragm Thickness, Thickening Fraction, and Excursion

Images for measurement were acquired using the frame-freeze function during periods of quiet breathing, in which the examiner identified a sequence of regular respiratory cycles with minimal variation in amplitude and consistent inspiratory diaphragmatic contractions. This method enabled more accurate assessment of diaphragmatic excursion and thickness. Diaphragmatic thickness and excursion were quantified using ImageJ software. To minimize measurement bias, the average of three consecutive respiratory cycles was used for all analyses.

Thickness and Thickening Fraction

Ultrasound evaluation of IDT and EDT phases of the respiratory cycle was performed in the zone of apposition of the right hemidiaphragm. This region was located along the mid-axillary line, between the 8th and 9th intercostal spaces, with the linear transducer positioned perpendicular to the ribs. Imaging was conducted in B-mode, and measurements

were obtained in M-mode, specifically between the diaphragmatic pleura and the peritoneum at the end of both inspiration and expiration (FIG 1A and 1B). The DTF was calculated using the following formula: $\text{DTF} (\%) = [(\text{IDT} - \text{EDT}) / \text{EDT}] \times 100$ [16,17].

Excursion

With the patient in the supine position, the transducer was placed in the anterior subcostal region and oriented cranially to ensure that the ultrasound beam was perpendicular to the posterior third of the right hemidiaphragm. B-mode imaging was used for anatomical localization, and DE was measured using M-mode. Excursion was defined as the difference in the position of the outer diaphragm line between peak inspiration and end expiration (FIG. 1C and 1D) [17].

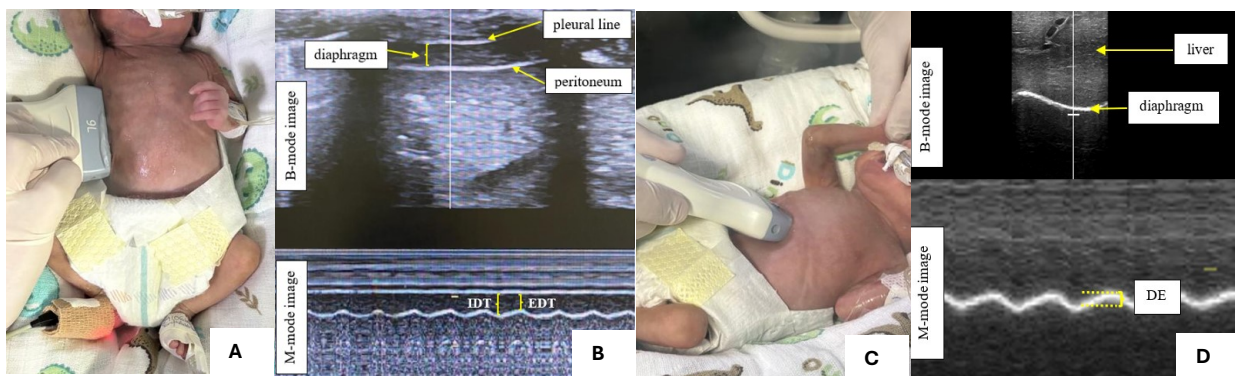


Figure 1. Ultrasound Assessment of Diaphragmatic Thickness and Excursion
A and B – Thickness Assessment: In B-mode, the diaphragm appears between the upper hyperechoic pleural line and the lower peritoneal line. M-mode shows the respiratory cycle, allowing measurement of IDT and EDT. **C and D** – Excursion Assessment: In B-mode, the liver acts as an acoustic window, with the diaphragm seen as a hyperechoic line. M-mode displays diaphragmatic motion of the right hemidiaphragm, enabling measurement of DE. Parental consent for publication of the images was obtained.

LUS

Lung ultrasound was performed following a lung aeration assessment protocol for each hemithorax, previously described and recommended for the neonatal population [18]. Three regions were evaluated on each hemithorax (upper anterior, lower anterior, and lateral), totaling six areas. The transducer was positioned in the intercostal spaces of each region to assess lung aeration, assigning a score from zero to three points per area, with a maximum total score of 18 points, based on the following criteria:

- **Score 0:** Normal aeration, characterized by the presence of only horizontal “A” lines;
- **Score 1:** Moderate loss of lung aeration, indicated by three or more well-defined “B” lines;
- **Score 2:** Severe loss of lung aeration, represented by coalescent “B” lines with or without subpleural consolidation;
- **Score 3:** Complete loss of lung aeration, as seen in pulmonary consolidation, characterized by tissue-like echogenicity and static or dynamic air bronchograms.

LUS corresponds to the sum of points from the six assessed areas, ranging from zero to eighteen, where zero indicates normal lung aeration and increasing scores reflect progressive loss of aeration [18,19].

Extubation Failure Criteria

Extubation failure was defined, according to unit protocol, as the need for reintubation within the first 48 hours after removal of the endotracheal tube, based on the following criteria: (a) more than six episodes of apnea requiring stimulation within six hours, or more than one significant apnea episode requiring manual ventilation; (b) respiratory acidosis ($\text{PaCO}_2 > 65$ mmHg and $\text{pH} < 7.25$); (c) $\text{FiO}_2 > 60\%$ to maintain SpO_2 between 90 and 94% [15].

Statistical Analysis

Continuous variables were expressed as mean \pm standard deviation or median (interquartile range), depending on data distribution assessed by the Shapiro–Wilk test. Categorical variables were presented as absolute and relative frequencies. Friedman test was used to compare ultrasound variables between three times, and Wilcoxon signed-rank post hoc test. Statistical analyses were performed using SPSS (version 24.0), with significance set at $p < 0.05$.

Results

In this study, a total of 60 preterm infants who received invasive mechanical ventilation (IMV) for ≥ 24 hours in the neonatal intensive care unit were initially enrolled. After excluding newborns with congenital heart disease with hemodynamic significance ($n = 5$), intracranial hemorrhage greater than grade III ($n = 3$), and clinical and/or hemodynamic decompensation that led the medical team to postpone the extubation procedure ($n = 2$), a final sample of 50 infants was included. All 50 infants successfully completed the SBT. Among them, 5 (10%) experienced extubation failure, while 45 were successfully extubated. Demographic and clinical characteristics are summarized in Table 1. Parameters of mechanical ventilation for preterm newborns included in the study are detailed in the supplementary materials.

In preterm newborns who were successfully extubated, IDT and DE increased significantly at T2 and T3 compared with T1 ($p < 0.05$), with IDT reaching its highest value at T2. Lung aeration decreased at T3 compared with T1 and T2; however, LUS values remained consistently low throughout the evaluation period, while EDT and DTF showed no significant differences across the three time points (Table 2). Considering the limited sample size of infants who experienced extubation failure ($n = 5$), no inferential comparison was performed between this group and those who were successfully extubated. Similarly, comparisons across the three measurement time points were not conducted for this subgroup; their results are presented descriptively only, without the application of statistical testing (Table 3)

Table 1. Demographic characteristics of preterm newborns participating in the study ($n = 50$)

Variable	Successfully extubated	Extubation failure
----------	------------------------	--------------------

	n = 45	n = 5
Postmenstrual age (weeks)	30.9 ± 2.2	29.6 ± 2.5
Weight at study (grams)	1377 ± 432	1179 ± 342
Cardiorespiratory Parameters		
Heart rate (beats/min)	156 ± 15	166 ± 15
Respiratory rate (breaths/min)	45 ± 10	43 ± 9
Oxygen saturation (%)	97 ± 2	97 ± 1
Female sex (%)	51	20
Antenatal steroid therapy (%)	57.8	60
Cesarean section (%)	66.7	60
5-min APGAR score	8.6 ± 1.1	8.8 ± 0.4
Need for resuscitation (%)	28.9	20
Risk of neonatal infection (%)	44.4	40
Respiratory Distress Syndrome (%)	73.3	100
Surfactant therapy (%)	48.9	60
Duration of mechanical ventilation (days)	4 ± 3	3 ± 2
Extubation performed ≥ 24 h and ≤ 48 h after birth (%)	44.5	80

Data are presented as mean (standard deviation) and percentage (%)

Table 2. Median and interquartile range (IQR) of diaphragmatic function measurements and lung aeration assessed by ultrasound at three distinct time points in premature newborns who were successfully extubated (n = 45).

	T1 (during IMV)	T2 (during SBT)	T3 (during NIPPV)
IDT (mm)	1.2 (1.0 – 1.5)*	1.4 (1.1 – 1.7)&	1.3 (1.1 – 1.6)
EDT (mm)	0.9 (0.6 – 1.2)	0.9 (0.7 – 1.2)	1.0 (0.8 – 1.1)
DTF (%)	44 (33 – 50)	43 (33 – 52)	45 (36 – 50)
DE (mm)	2.2 (1.9 – 2.6)*	2.6 (2.1 – 3.4)	2.4 (2.0 – 2.9)
LUS	1.3 (0 – 2)	1.2 (0 – 2)	2.1 (0 – 3) #

* p < 0.029 vs T2 and T3; & p < 0.001 vs T3; # p < 0.006 vs T1 and T2

IDT, inspiratory diaphragmatic thickness; EDT, expiratory diaphragmatic thickness; DTF diaphragmatic thickening fraction; DE, diaphragmatic excursion; LUS, lung ultrasound score.

Table 3. Descriptive data (median and IQR) of diaphragmatic function and lung aeration assessed by ultrasound at three time points in preterm infants with extubation failure (n = 5).

	T1 (during IMV)	T2 (during SBT)	T3 (during NIPPV)
IDT (mm)	1.0 (0.9 – 2.3)	1.2 (1 – 2)	1.4 (1.1 – 2.1)
EDT (mm)	0.6 (0.5 – 1.4)	0.7 (0.6 – 1.3)	0.8 (0.7 – 1.2)
DTF (%)	66 (51 – 83)	66 (57 – 77)	66 (62 – 76)
DE (mm)	2.2 (1.9 – 2.9)	2.6 (1.8 – 3.2)	2.8 (1.9 – 3.4)
LUS	10 (8 – 14)	12 (6 – 14)	11 (8 – 14)

IDT, inspiratory diaphragmatic thickness; EDT, expiratory diaphragmatic thickness; DTF diaphragmatic thickening fraction; DE, diaphragmatic excursion; LUS, lung ultrasound score.

Discussion

To our knowledge, this is the first study to provide descriptive data on diaphragmatic function and lung aeration throughout the entire weaning and post-extubation process in preterm newborns undergoing a spontaneous breathing trial. While lung and diaphragmatic ultrasound have been widely used to predict weaning outcomes in adult patients on mechanical ventilation, their application and characterization in the neonatal population remain limited [10]. Only a few studies in recent years have described reference values for diaphragmatic function in preterm newborns using ultrasound [20-22].

Among preterm newborns who were successfully extubated, a significant increase in IDT was observed during the spontaneous breathing trial (T2) and under NIPPV post-extubation (T3), compared to values during IMV with minimal settings (T1). This may reflect greater diaphragmatic muscle contraction during spontaneous inspiration at T2 and T3. No significant changes were found in EDT or DTF across the three time points. A significant increase in DE was observed during the SBT (T2) and under NIPPV (T3), compared to values during IMV with minimal settings (T1). As DE is associated with inspiratory volume [10], this increase may reflect greater respiratory effort by newborns to maintain adequate ventilation under lower inspiratory support during T2 and T3, in contrast to the assistance provided during IMV, even at minimal parameters. These findings suggest that the SBT increases respiratory effort without providing reliable indicators of extubation readiness in preterm newborns, consistent with previous reports [2, 5–7].

Few studies have evaluated pre-extubation diaphragmatic function using ultrasound in preterm infants [23]. Bahgat et al. [24] assessed diaphragmatic dimensions and excursion as predictors of extubation success in ventilated preterm newborns. Among 34 successfully extubated infants (mean gestational age 29.5 ± 1.7 weeks; postnatal age 13 [10.5–

15.5] days; weight 1177 ± 245 g; IMV duration 6.5 [4–9] days), mean values were: IDT 1.38 ± 0.10 mm, EDT 1.29 ± 0.13 mm, DTF $38.4 \pm 9.4\%$, and DE 3.43 ± 0.41 mm. All parameters were significantly higher in infants with successful extubation, with DE showing the best predictive accuracy. A right hemidiaphragmatic excursion > 2.75 mm predicted success with 94% sensitivity and 89% specificity. The authors highlighted limitations, including the small sample size and low post-extubation CPAP levels, as current guidelines recommend CPAP pressures of 7–9 cmH₂O or NIPPV in preterm infants [25].

Although no significant differences in DTF were observed across the three time points, values were high compared to reference ranges for spontaneously breathing healthy preterm newborns [20–22]. DTF, the ratio of IDT to EDT, reflects diaphragmatic response to inspiratory effort [10]. Elevated DTF in this study may be attributed to the use of narrow endotracheal tubes and the anatomical and physiological features of preterm infants—such as increased airway resistance, reduced lung compliance, high chest wall compliance, and immature respiratory muscles [1,5], which are accentuated during invasive support and early post-extubation.

In this study, successfully extubated preterm infants showed an IDT of 1.3 (1.1–1.6) mm, EDT of 1.0 (0.8–1.1) mm, DTF of 45 (36–50)%, DE of 2.4 (2.0–2.9) mm, and LUS of 2.1 (0–3) after one hour of post-extubation NIPPV (T3). Nobile et al. [26] evaluated diaphragmatic thickness and contractility in 17 preterm infants (GA: 28% [27³/₇–32¹/₇] weeks; birth weight: 1178 [820–1670] g) on NIV for respiratory distress or post-extubation support. On the first NIV day (mean PEEP: 7 ± 1.6 cmH₂O), mean IDT was 1.6 ± 0.6 mm, EDT 1.2 ± 0.5 mm, DTF $32.8 \pm 16.8\%$, and LUS 8 ± 3.6 . Serial assessments showed increased diaphragmatic thickness and reduced DTF over time, indicating decreased respiratory effort and progressive diaphragmatic maturation. DE was not measured. The authors acknowledged limitations related to the small sample, heterogeneous NIV modalities (CPAP and NIPPV), and variability in clinical practices and timing of ultrasound assessments.

Successful extubation is defined as adequate lung aeration with an effortless respiratory pattern for 48–72 hours post-extubation [7]. Unlike static imaging, LUS allows dynamic evaluation of pulmonary aeration under different ventilatory conditions [27]. In this study, LUS remained low across all time points, despite increased IDT and DE during the SBT (T2) and post-extubation NIPPV (T3). These consistently low values suggest that the population had milder respiratory disease with limited impact on lung aeration. Thus, a low pre-extubation LUS, even under minimal IMV settings, may help predict successful extubation. This finding aligns with El Amrousy et al. [17], who observed in 62 newborns (GA: 35 ± 3.8 weeks; weight: 3.3 ± 0.4 kg) that a pre-extubation LUS ≤ 4 predicted weaning success (83% sensitivity, 88% specificity), and a post-extubation LUS ≤ 6 predicted success (89% sensitivity, 90% specificity). However, their cohort had higher gestational age and weight, and used different post-extubation support (nasal NIV or cannula).

There is substantial variability in neonatal LUS protocols, and many scoring systems remain unvalidated. Mongodi et al. [28] recently proposed an international consensus recommending a simplified score (three regions per hemithorax; 0–18 points) for the first 24–48 hours of life and an extended score (five regions per hemithorax; 0–30 points) thereafter. This study adopted the simplified protocol, consistent with the unit's minimal handling and neuroprotection policy, which restricts repositioning of very low birth weight infants (<1,500 g) during the first 72 hours of life [29].

Given that 44.5% of successfully extubated infants were extubated within 24–48 hours of life and 73.3% had respiratory distress syndrome, the simplified score was suitable for most cases. However, its inability to assess posterior regions may limit evaluation of heterogeneous lung disease beyond the first 48 hours.

As a single-center study, external validity is limited, though patient characteristics were comparable to those in similar neonatal intensive care unit populations. The small number of extubation failures ($n = 5$) precluded inferential analyses, but the descriptive data may provide preliminary reference values for respiratory weaning and extubation in preterm infants.

Although LUS is a useful predictor of extubation success [10,30,31], it mainly detects failure related to parenchymal disease, not to airway edema or apnea of prematurity [29]. Nonetheless, its application as a predictive tool in neonates appears promising.

Conclusion

In preterm newborns successfully extubated after invasive mechanical ventilation, diaphragmatic inspiratory thickness and excursion increased during the spontaneous breathing trial and remained elevated after extubation, while lung aeration remained stable and low, reflecting mild respiratory disease. A transient decrease in aeration was observed one hour post-extubation, though overall LUS values indicated adequate lung aeration. Due to the small number of extubation failures, only descriptive analyses were performed. These findings support the use of diaphragmatic and lung ultrasound as complementary, noninvasive tools to guide extubation readiness and monitor post-extubation adaptation in preterm infants.

Authors' contributions: M.G.S.C., J.N.T., and M.A.T. made substantial contributions to the conception and design, acquisition of data, analysis, and interpretation of data and been involved in drafting the manuscript and revising it critically for important intellectual content; F.C.L. made substantial contributions to conception and design and been involved in drafting the manuscript given final approval of the version to be published and revising it critically for important intellectual content. All authors reviewed the manuscript.

Funding: This study received no funding.

Data availability: Data will be made available on request to corresponding author.

Declarations Competing interests: The authors declare no competing interests.

References

1. Dassios T, Vervenioti A, Dimitriou G (2022) Respiratory muscle function in the newborn: a narrative review. *Pediatric Research* 91:795–803. <https://doi.org/10.1038/s41390-021-01529-z>
2. Shalish W, Latremouille S, Papenburg J, Sant'Anna GM (2019) Predictors of extubation readiness in preterm infants: A systematic review and meta-Analysis. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 104(1):F89–97. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-313878>
3. Walsh MC, Morris BH, Wrage LA, Vohr BR, Poole WK, Tyson JE, et al. (2005) Extremely low birthweight neonates with protracted ventilation: mortality and 18-month neurodevelopmental outcomes. *Journal of Pediatrics* 146(6):798–804. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.01.047>
4. Miller JD, Carlo WA (2008) Pulmonary Complications of Mechanical Ventilation in Neonates. *Clin Perinatol* 35(1):273–81. <https://doi.org/10.1016/j.clp.2007.11.004>
5. Sant'Anna G, Shalish W (2024) Weaning from mechanical ventilation and assessment of extubation readiness. *Semin Perinatol*.48:151890. <https://doi.org/10.1016/j.semperi.2024.151890>
6. Teixeira RF, Carvalho ACA, de Araujo RD, Veloso FCS, Kassar SB, Medeiros AMC (2021) Spontaneous breathing trials in preterm infants: Systematic review and meta-analysis. *Respir Care*.66(1):129–37. <https://doi.org/10.4187/respcare.07928>
7. Shalish W, Keszler M, Davis PG, Sant'Anna GM (2022) Decision to extubate extremely preterm infants: Art, science or gamble? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*.107(1):105-112. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-321282>
8. Shalish W, Kanbar L, Keszler M, Chawla S, Kovacs L, Rao S, et al. (2018) Patterns of reintubation in extremely preterm infants: A longitudinal cohort study. *Pediatr Res*.83(5):969–75. <https://doi.org/10.1038/pr.2017.330>
9. Alonso-Ojembarrena A, Gregorio-Hernández R, Raimondi F (2024) Neonatal point-of-care lung ultrasound: what should be known and done out of the NICU? *Eur J Pediatr*.183(4):1555-1565. <https://doi.org/10.1007/s00431-023-05375-5>
10. Gao Y, Yin H, Wang MH, Gao YH (2023) Accuracy of lung and diaphragm ultrasound in predicting infant weaning outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Front. Pediatr.* 11:1211306. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1211306>
11. Kurepa D, Zaghloul N, Watkins L, Liu J. (2018) Neonatal lung ultrasound exam guidelines. *J Perinatol*. 38(1):11-22. <https://doi.org/10.1038/jp.2017.140>
12. Raimondi F, Yousef N, Migliaro F, Capasso L, De Luca D (2021) Point-of-care lung ultrasound in neonatology: classification into descriptive and functional applications. *Pediatr Res.* 90(3):524-531. <https://doi.org/10.1038/s41390-018-0114-9>
13. Alonso-Ojembarrena A, Estepa-Pedregosa L (2023) Can Diaphragmatic Ultrasound Become a New Application for Point-of-Care Ultrasound in Preterm Infants? *Chest.* 163(2):266-267. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2022.09.011>
14. Malta M, Cardoso LO, Bastos FI, Magnanini MMF, da Silva CMFP (2010) STROBE initiative: guidelines on reporting observational studies. *Rev Saúde Pública.* 44(3):559-65. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102010000300021>

15. Kamlin COF, Davis PG, Argus B, Mills B, Morley CJ (2008) A trial of spontaneous breathing to determine the readiness for extubation in very low birth weight infants: A prospective evaluation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 93(4):F305-6. <https://doi.org/10.1136/adc.2007.129890>
16. Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F, et al. (2013) Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive Care Med.* 39(5):801-10. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-2823-1>
17. Tuinman PR, Jonkman AH, Dres M, Shi ZH, Goligher EC, Goffi A, et al. (2020) Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients - a narrative review. *Intensive Care Med.* 46(4):594-605. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05892-8>
18. Brat R, Yousef N, Klifa R, Reynaud S, Shankar Aguilera S, De Luca D (2015) Lung ultrasonography score to evaluate oxygenation and surfactant need in neonates treated with continuous positive airway pressure. *JAMA Pediatr.* 169(8). <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2015.1797>
19. El Amrousy D, Elgendy M, Eltomay M, Elmashad AE (2020) Value of lung ultrasonography to predict weaning success in ventilated neonates. *Pediatr Pulmonol.* 55(9):2452–6. <https://doi.org/10.1002/ppul.24934>
20. Alonso-Ojembarrena A, Ruiz-González E, Estepa-Pedregosa L, Armenteros-López AI, Segado-Arenas A, Lubián-López SP (2020) Reproducibility and reference values of diaphragmatic shortening fraction for term and premature infants. *Pediatr Pulmonol.* 55(8):1963–8. <https://doi.org/10.1002/ppul.24866>
21. Andrezza MG, Binotto CN, da Silva RPGVC, Valderramas S, Lima MN (2024) Diaphragmatic and excursion thickness in newborns using diaphragmatic kinesiology ultrasound: an observational study. *Fisioter Mov.* 37:e37107. <https://doi.org/10.1590/fm.2024.37107>
22. Martins MF, de Santa Maria NN, dos Santos Camargo CC, Anjos DNP, de Carvalho EFT, de Freitas Dantas Gomes EL (2024) Lower limit of normal of cross-sectional area of peripheral muscles and diaphragm measurements performed with ultrasound in full-term and preterm infants. *Eur J Pediatr.* 183(11):4799-4806. <https://doi.org/10.1007/s00431-024-05751-9>
23. Yeung T, Mohsen N, Nasef N, Mohamed A (2025) Functional Assessment of the Neonatal Diaphragm Using Point-of-Care Ultrasound: A Review of Techniques, Clinical Applications, and Challenges. *CHEST Pulmonary.* [Article in Press](https://doi.org/10.1016/j.chpulm.2025.100191) 100191. <https://doi.org/10.1016/j.chpulm.2025.100191>
24. Bahgat E, El-Halaby H, Abdelrahman A, Nasef N, Abdel-Hady H (2021) Sonographic evaluation of diaphragmatic thickness and excursion as a predictor for successful extubation in mechanically ventilated preterm infants. *Eur J Pediatr.* 180(3):899–908. <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03805-2>
25. Sweet DG, Carnielli VP, Greisen G, Hallman M, Klebermass-Schrehof K, Ozek E, et al (2023) European Consensus Guidelines on the Management of Respiratory Distress Syndrome: 2022 Update. *Neonatology.* 120(1):3–23. <https://doi.org/10.1159/000528914>
26. Nobile S, Sbordone A, Salce N, Scognamiglio G, Perri A, Fattore S, et al (2025) Diaphragm Thickness and Contraction During Non-Invasive Ventilation: An Ultrasound Study. *Children.* 12(4):470. <https://doi.org/10.3390/children12040470>
27. Caltabeloti FP, Rouby JJ (2016) Lung ultrasound: a useful tool in the weaning process? *Rev. bras. ter. intensiva* 28(1):5-7. <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20160002>
28. Mongodi S, Cortegiani, A, Alonso-Ojembarrena A, Biasucci DG, Bos LDJ, Bouhemad B, et al. (2025) ESICM—ESPIC international expert consensus on quantitative lung ultrasound in intensive care. *Intensive Care Med.* 51:1022–1049. <https://doi.org/10.1007/s00134-025-07932-y>
29. Vieira GB, Gomes GC, Novo RM, Peixoto RS, Santos SO, Vidal EZB (2024) Manuseio mínimo como instrumento de neuroproteção em neonatologia: revisão integrativa. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales.* 17(4):1-16. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.4-121>

30. Soliman RM, Elsayed Y, Said RN, Abdulbaqi AM, Hashem RH, Aly H (2021) Prediction of extubation readiness using lung ultrasound in preterm infants. *Pediatr Pulmonol.*56(7):2073–80. <https://doi.org/10.1002/ppul.25383>
31. Mohsen N, Solis-Garcia G, Jasani B, Nasef N, Mohamed A (2023) Accuracy of lung ultrasound in predicting extubation failure in neonates: A systematic review and meta-analysis. *Pediatr Pulmonol.* 58(10):2846–56. <https://doi.org/10.1002/ppul.26598>

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Minha admissão no doutorado ocorreu em 2020, em paralelo a um dos maiores desafios sanitários enfrentados pela humanidade no mundo contemporâneo: a pandemia de COVID-19. Em meio às incertezas e ao medo que se espalhavam diante de uma nova doença viral altamente transmissível, o mundo parou. Enquanto as pessoas se recolhiam em suas casas, os hospitais lotavam de pacientes com uma enfermidade que ainda estávamos aprendendo a tratar. Não havia vacina disponível, e, diante de uma onda de desinformação e negacionismo, centenas de vidas eram perdidas diariamente, muitas delas após a adoção de terapias ineficazes amplamente divulgadas por pessoas contrárias à ciência.

Nesse cenário, a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) adaptou-se de forma exemplar, transferindo as atividades acadêmicas para o formato remoto, garantindo a proteção de alunos, professores e colaboradores sem comprometer a qualidade do ensino. O impacto da pandemia no estado em que resido, o Amazonas, foi devastador. Lembro-me, em uma das aulas remotas síncronas, ainda tentando dimensionar a gravidade da situação, de compartilhar uma notícia que deixou colegas e professores sem palavras: o oxigênio havia acabado em alguns hospitais de Manaus, resultando na morte de dezenas de pacientes em um único dia. Entre as aulas virtuais e a assistência hospitalar, consegui concluir os créditos do curso, conciliando as demandas acadêmicas com a atuação profissional, já que a necessidade de mão de obra especializada se fazia urgente.

Durante esse período, busquei ampliar minha capacitação. Fui a São Paulo para realizar treinamento em ultrassonografia no Hospital Albert Einstein, dando prosseguimento aos objetivos desta tese, além de participar de cursos de aperfeiçoamento na realização e interpretação de exames. Nas maternidades em que atuo, a equipe multiprofissional acolheu de forma entusiasmada a introdução da ultrassonografia realizada pela fisioterapia, reconhecendo o valor dessa ferramenta para a avaliação funcional dos pacientes neonatais.

O doutorado também me proporcionou oportunidades valiosas de crescimento acadêmico e profissional. Sob o estímulo da minha orientadora e amiga, Profa. Fernanda Lanza, assumi a coordenação do programa de capacitação profissional PROFISIO/ARTMED, em parceria com a Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e em Terapia Intensiva (ASSOBRAFIR), e a coordenação da pós-graduação lato sensu em Fisioterapia em Terapia Intensiva Neonatal e Pediátrica da PUC-PR/ARTMED/ASSOBRAFIR. Neste mesmo período, em parceria com minhas amigas Simone Nascimento e Silvana Alves, publicamos o primeiro livro dedicado exclusivamente à fisioterapia neonatal no Brasil. Além disso, o grupo

de pesquisa vinculado a esta tese foi premiado em primeiro lugar na modalidade apresentação oral em fisioterapia neonatológica e pediátrica no Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiovascular, Respiratória e em Terapia Intensiva (SIFR), promovido pela ASSOBRAFIR, com dados preliminares do estudo aqui apresentado.

Atuo como fisioterapeuta intensivista neonatal há 22 anos, e este doutorado reafirmou em mim a certeza de que nunca é tarde para aprender, crescer e contribuir para a evolução da assistência fisioterapêutica. Os achados ultrassonográficos desta tese, incluindo os valores de referência para a espessura e a excursão diafragmática, oferecem parâmetros relevantes para a interpretação da função do diafragma em neonatos, aplicáveis a diferentes cenários clínicos. A ultrassonografia, como ferramenta de avaliação funcional respiratória, revela-se promissora para apoiar a tomada de decisões durante o desmame ventilatório e a extubação, além de possibilitar o monitoramento da função diafragmática e da aeração pulmonar no período pós-extubação.

Esses resultados reforçam a importância de uma abordagem individualizada no manejo respiratório neonatal e podem orientar intervenções mais precisas, qualificando as condutas fisioterapêuticas e promovendo avanços significativos na neonatologia. Mais do que um trabalho acadêmico, esta tese representa uma contribuição prática e científica, fruto da resiliência diante de um período histórico desafiador e da convicção de que o conhecimento é capaz de transformar realidades.

REFERÊNCIAS

AL-MANDARI H.; SHALISH W.; DEMPSEY E.; KESZLER M.; DAVIS P.G.; SANT'ANNA G. International survey on periextubation practices in extremely preterm infants. Vol. 100, **Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed**, v. 100, n. 5, p. 428-431, 2015.

ALONSO-OJEMBARRENA A.; ESTEPA-PEDREGOSA L. Can Diaphragmatic Ultrasound Become a New Application for Point-of-Care Ultrasound in Preterm Infants? Vol. 163, **Chest**, v. 163, n. 2, p. 266-267, 2023.

ALONSO-OJEMBARRENA A.; GREGORIO-HERNÁNDEZ R.; RAIMONDI F. Neonatal point-of-care lung ultrasound: what should be known and done out of the NICU? **Eur J of Pediatr**, v. 183, n. 4, p. 1555-1565, 2024.

ALONSO-OJEMBARRENA A.; RUIZ-GONZÁLEZ E.; ESTEPA-PEDREGOSA L, ARMENTEROS-LÓPEZ AI, SEGADO-ARENAS A, Lubián-López SP. Reproducibility and reference values of diaphragmatic shortening fraction for term and premature infants. **Pediatr Pulmonol**, v. 55, n. 8, p. 1963-1968, 2020.

AMMIRABILE A.; BUONSENSO D.; DI MAURO A. Lung ultrasound in pediatrics and neonatology: An update. **Healthcare (Basel)**, v. 9, n. 8, p. 1015, 2021.

ANDREAZZA M.G.; BINOTTO C.N.; DA SILVA R.P.G.V.C.; VALDERRAMAS S.; LIMA M.N. Diaphragmatic and excursion thickness in newborns using diaphragmatic kinesiology ultrasound: an observational study. **Fisioterapia em Movimento**, v. 37, p. 1-8, 2024.

BRAT R.; YOUSEF N.; KLIFA R.; REYNAUD S.; AGUILERA S,S.; DE LUCA D. Lung ultrasonography score to evaluate oxygenation and surfactant need in neonates treated with continuous positive airway pressure. **JAMA Pediatr**, v. 169, n. 8, p. 1-8, 2015.

BUONSENSO D.; MARIANI F.; MORELLO R.; CAMMAROTA G.; DE ROSE C.; VALENTINI P.; et al. Ultrasound Imaging for Diaphragm Function in a Population of Healthy Infants: A Short Observational Report. **Diagnostics**, v. 13, n. 6, p. 1095, 2023.

COFFITO. RESOLUÇÃO-COFFITO Nº 618/2025: REFERENCIAL BRASILEIRO DE PROCEDIMENTOS FISIOTERAPÊUTICOS. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.coffito.gov.br/nsite/wp-content/uploads/2025/07/anexo-rbpf-2025.pdf>

DASSIOS T.; VERVENIOTI A.; DIMITRIOU G. Respiratory muscle function in the newborn: a narrative review. **Pediatr Res**, v. 91, n. 4, p. 795-803, 2022.

DEVLIEGER H.; DANIELS H.; MARCHAL G.; MOERMAN P.; CASAER P.; EGGERMONT E. The diaphragm of the newborn infant: anatomical and ultrasonographic studies. **J Dev Physiol**, v. 16, n. 6, p.321-329, 1991.

GAO Y.; YIN H.; WANG M.H.; GAO Y.H. Accuracy of lung and diaphragm ultrasound in predicting infant weaning outcomes: a systematic review and meta-analysis. Vol. 11, **Fronts Pediatr**, v.6, n 11, p.1-11, 2023.

HERSHENSON M.B.; COLIN A.A.; WOHL M.E.; STARK A.R. Changes in the Contribution of the Rib Cage to Tidal Breathing during Infancy. **Am Rev Respir Dis**, v. 141, n. 4, p. 922-995, 1990.

KAMLIN C.O.F.; DAVIS P.G.; ARGUS B.; MILLS B., MORLEY C.J. A trial of spontaneous breathing to determine the readiness for extubation in very low birth weight infants: A prospective evaluation. **Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed**, v. 93, n. 4, p. 305-306, 2008.

KUREPA D.; ZAGHLOUL N.; WATKINS L.; LIU J. Neonatal lung ultrasound exam guidelines. **Journal of Perinatology**, v. 38, n. 1, p. 11-22, 2018.

LIU J.; COPETTI R.; SORANTIN E.; LOVRENSKI J.; RODRIGUEZ-FANJUL J.; KUREPA D.; et al. Protocol and guidelines for point-of-care lung ultrasound in diagnosing neonatal pulmonary diseases based on international expert consensus. **Journal of Visualized Experiments**, v. 145, p. 1-20, 2019.

MARTINS M.F.; DE SANTA MARIA N.N.; CAMARGO C.C.S.; ANJOS D.N.P.; DE CARVALHO E.F.T.; GOMES E.L.F.D. Lower limit of normal of cross-sectional area of peripheral muscles and diaphragm measurements performed with ultrasound in full-term and preterm infants. **Eur J Pediatr**, v. 183, n. 11, p. 4799-4806, 2024.

MASRY A.; NIMERI N.A.M.A.; KOOBAR O.; HAMMOUDEH S.; CHANDRA P.; ELMALIK E.E.; et al. Reintubation rates after extubation to different non-invasive ventilation modes in preterm infants. **BMC Pediatr**, v. 21, n. 1, p. 281, 2021.

MATAMIS D.; SOILEMEZI E.; TSAGOURIAS M.; AKOUMIANAKI E.; DIMASSI S.; BOROLI F.; et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. **Intensive Care Medicine** v. 39, n. 5, p. 801-810, 2013.

MILLER J.D.; CARLO W.A. Pulmonary Complications of Mechanical Ventilation in Neonates. **Clin Perinatol**, v. 35, n. 1, p. 273-281, 2008.

MOHSEN N.; SOLIS-GARCIA G.; JASANI B.; NASEF N.; MOHAMED A. Accuracy of lung ultrasound in predicting extubation failure in neonates: A systematic review and meta-analysis. **Pediatr Pulmonol**, v. 58, n. 10, p. 2846-2856, 2023.

NASCIMENTO M.S.; LEITE F.S.; SILVA P.A.L.; ZAMBERLAN G.C.; DE SOUZA P.M.; EID R.A.C.; et al. Reliability and reference values for diaphragmatic excursion, thickness, and thickening fraction and quadriceps femoris muscle thickness in full-term newborns evaluated by ultrasound. **Eur J Pediatr**, v. 183, n. 8, p. 3453-3460, 2024.

PAPASTAMELOS C.; PANITCH H.B.; ENGLAND S.E.; ALLEN J.L. Developmental changes in chest wall compliance in infancy and early childhood. **J Appl Physiol**, v. 78, n. 1, p. 179-184, 1995.

RAIMONDI F.; YOUSEF N.; MIGLIARO F.; CAPASSO L.; DE LUCA D. Point-of-care lung ultrasound in neonatology: classification into descriptive and functional applications. Vol. 90, **Pediatric Research**, v. 90, n. 3, p. 524-531, 2021.

REHAN V.K.; MCCOOL F.D. Diaphragm dimensions of the healthy term infant. **Acta Paediatrica**, v. 92, n. 9, p. 1062-1067, 2007.

REHAN V.K.; NAKASHIMA J.M.; GUTMAN A.; RUBIN L.P.; MCCOOL D. Effects of the supine and prone position on diaphragm thickness in healthy term infants. **Arch Dis Child**, v. 83, n. 3, p. 234-238, 2000.

SANGSARI R.; SAEEDI M.; MADDAH M.; MIRNIA K.; GOLDSMITH J.P. Weaning and extubation from neonatal mechanical ventilation: an evidenced-based review. **BMC Pulm Med**, v. 22, n. 1, p. 421, 2022.

SANT'ANNA G.; SHALISH W. Weaning from mechanical ventilation and assessment of extubation readiness. **Semin Perinatol**, v. 48, n. 2, p. 1-8, 2024.

SARTORIUS V.; BRUNET S.; DE LUCA D. Characteristics of scores used for quantitative lung ultrasound in neonates: a systematic review. Vol. 34, **Eur Respir Rev**, v. 34, n. 176, p. 1-11, 2025.

SHALISH W.; KESZLER M.; DAVIS P.G.; SANT'ANNA G.M. Decision to extubate extremely preterm infants: Art, science or gamble? Vol. 107, **Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed**, v. 107, n. 1, p. 105-112, 2022.

SHALISH W.; LATREMOUILLE S.; PAPENBURG J.; SANT'ANNA G.M.. Predictors of extubation readiness in preterm infants: A systematic review and meta-Analysis. **Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed**, v. 104, n. 1, p. 89-97, 2019.

SIECK G.C.; FOURNIER M.; BLANCO C.E. Diaphragm muscle fatigue resistance during postnatal development. **J Appl Physiol**, v. 71, n. 2, p. 458-464, 1985.

TEIXEIRA R.F.; CARVALHO A.C.A.; DE ARAUJO R.D.; VELOSO F.C.S.; KASSAR S.B.; MEDEIROS A.M.C. Spontaneous breathing trials in preterm infants: Systematic review and meta-analysis. **Respir Care**, v. 66, n. 1 p. 129-137, 2021.

TUINMAN P.R.; JONKMAN A.H.; DRES M.; SHI Z.H.; GOLIGHER E.C.; GOFFI A. et al. Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients—a narrative review. Vol. 46, **Intensive Care Medicine**, v. 46, n.4 p. 594-605, 2020.

WALSH M.C.; MORRIS B.H.; WRAGE L.A.; VOHR B.R.; POOLE W.K.; TYSON J.E., et al. Extremely low birthweight neonates with protracted ventilation: mortality and 18-month neurodevelopmental outcomes. **Journal of Pediatrics**, v. 146, n. 6, p. 798-804, 2005.

YEUNG T.; MOHSEN N.; GHANEM M.; IBRAHIM J.; SHAH J.; KAJAL D.; et al. Diaphragmatic Thickness and Excursion in Preterm Infants With Bronchopulmonary Dysplasia Compared With Term or Near Term Infants: A Prospective Observational Study. **Chest**, v. 163, n. 2, p. 324-331, 2023.

YEUNG T.; MOHSEN N.; NASEF N.; MOHAMED A. Functional Assessment of the Neonatal Diaphragm Using Point-of-Care Ultrasound: A Review of Techniques, Clinical Applications, and Challenges. **CHEST Pulmonary**, 2025. In Press.

ANEXOS

Parecer consubstanciado do CEP para a pesquisa 1



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA DIAGRAMÁTICA EM NEONATOS: VALORES DE REFERÊNCIA PARA RECÉM-NASCIDOS SAUDÁVEIS COM IDADE GESTACIONAL \geq 34 SEMANAS.

Pesquisador: Marcos Giovanni Santos Carvalho

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 56714122.3.0000.5512

Instituição Proponente: ASSOCIACAO UNIFICADA PAULISTA DE ENSINO RENOVADO OBJETIVO-

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.331.743

Apresentação do Projeto:

A ultrassonografia tem se tornado uma ferramenta útil na prática clínica de profissionais da saúde, seja para guiar condutas ou mesmo avaliar resultados funcionais de intervenções. A ultrassonografia (USG) é uma técnica não invasiva, livre de radiação ionizante, segura, fácil de ser usada à beira leito, superando muitas limitações de outros exames de imagem. A avaliação funcional do diafragma em determinadas situações clínicas têm ganhado popularidade nas unidades de saúde com o objetivo de otimizar condutas e melhorar desfechos (1). A ultrassonografia possibilita o reconhecimento fácil e rápido do diafragma e pode ser utilizada como instrumento de avaliação da função e estrutura corporal, refletindo aspectos da funcionalidade e incapacidade conforme as categorias da Classificação Internacional de Funcionalidade (CIF) nas categorias b440 (funções da respiração), s430 (estrutura do aparelho respiratório). O exame pode ser realizado por profissionais da saúde e está respaldado pelo código de ética profissional da fisioterapia, bem como pela resolução 482 de 1º de abril de 2017, que fixa e estabelece o referencial nacional de procedimentos fisioterapêuticos e dá outras providências, autorizando a solicitação, realização e interpretação da ultrassonografia cinesiológica por esses profissionais (2). Assim, a ultrassonografia diagramática tem sido usada em neonatologia como recurso para avaliar cinesiologicamente este músculo específico por meio de medidas de espessura, de excursão e de fração de espessamento em

Endereço: Rua Dr. Bacelar, 1212 4º andar

Bairro: Vila Clementino

UF: SP

Telefone: (11)5586-4086

CEP: 04.026-002

Município: SAO PAULO

E-mail: cep@unip.br



Continuação do Parecer: 5.331.743

diversas situações (3-5), no entanto, não há valores de referência para a população de recém-nascidos brasileiros saudáveis. Valores de normalidade podem auxiliar na identificação de alterações cinesiológicas do diafragma, contribuindo para intervenções fisioterapêuticas mais apropriadas e direcionadas para essa população.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Descrever valores de normalidade de medidas funcionais diafragmáticas em recém-nascidos saudáveis por meio da ultrassonografia.

Objetivo Secundário:

Avaliar e descrever valores de espessamento diafragmático ultrassonográfico em recém-nascidos saudáveis. Avaliar e descrever valores de fração de espessamento diafragmático ultrassonográfico em recém-nascidos saudáveis. Avaliar e descrever valores de excursão diafragmática em recém nascidos saudáveis por meio da ultrassonografia.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

A ultrassonografia (USG) é uma técnica não invasiva, livre de radiação ionizante, segura, fácil de ser usada à beira leito, superando muitas limitações de outros exames de imagem como os raios-x. No entanto, o procedimento pode causar algum desconforto para os recém-nascidos em virtude do manuseio e da aplicação de um gel e do movimento do transdutor sobre a região torácica para a realização do exame. A avaliação será realizada por dois fisioterapeutas experientes na realização do exame para que seja feita a mais rápida possível. Os participantes serão monitorados continuamente, conforme as rotinas da unidade. Cabe salientar que não se trata de uma nova intervenção já que a avaliação ultrassonográfica já faz parte da rotina dos procedimentos realizados pelos fisioterapeutas da maternidade para avaliar a funcionalidade do sistema respiratório e para guiar condutas fisioterapêuticas.

Benefícios:

Este estudo não traz benefícios diretos para os recém-nascidos envolvidos. No entanto, os achados podem trazer valores de referência para avaliação cinesiológica diafragmática nesta população, podendo ajudar a identificar padrões de alterações funcionais desta musculatura em neonatos, contribuindo para tratamentos fisioterapêuticos mais adequados.

Endereço: Rua Dr. Bacelar, 1212 4º andar	CEP: 04.026-002
Bairro: Vila Clementino	
UF: SP	Município: SAO PAULO
Telefone: (11)5586-4086	E-mail: cep@unip.br



Continuação do Parecer: 5.331.743

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa relevante e adequada aos assuntos pesquisados na Fisioterapia.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Adequado.

Recomendações:

Seguir com a pesquisa de acordo com o proposto.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovado.

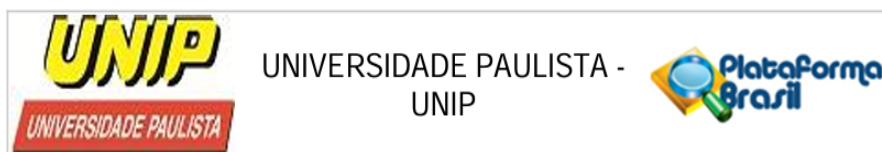
Considerações Finais a critério do CEP:

Resalta-se que cabe ao pesquisador responsável encaminhar os relatórios parciais e finais da pesquisa, por meio da Plataforma Brasil, via notificação do tipo "relatório" para que sejam devidamente apreciadas pelo CEP, conforme Norma Operacional CNS nr 001/12, item XI.2.d.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1888845.pdf	14/03/2022 10:43:21		Aceito
Folha de Rosto	7folha_de_rosto.pdf	14/03/2022 10:42:01	Marcos Giovanni Santos Carvalho	Aceito
Declaração de Pesquisadores	6frm_termo_de_compromisso_do_pesquisador.pdf	14/03/2022 10:41:31	Marcos Giovanni Santos Carvalho	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	5formulario_termo_de_consentimento_TCLE.docx	14/03/2022 10:40:56	Marcos Giovanni Santos Carvalho	Aceito
Orçamento	4frm_orcamento_de_projeto_de_pesquisa.pdf	14/03/2022 10:40:07	Marcos Giovanni Santos Carvalho	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	3PROJETO.docx	14/03/2022 10:36:41	Marcos Giovanni Santos Carvalho	Aceito
Declaração de Pesquisadores	2frm_intencao_de_pesquisa.pdf	14/03/2022 10:36:12	Marcos Giovanni Santos Carvalho	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	2Anuencia.pdf	14/03/2022 10:35:35	Marcos Giovanni Santos Carvalho	Aceito

Endereço: Rua Dr. Bacelar, 1212 4º andar
Bairro: Vila Clementino **CEP:** 04.026-002
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)5586-4086 **E-mail:** cep@unip.br



Continuação do Parecer: 5.331.743

Outros	1Carta.pdf	14/03/2022 10:31:39	Marcos Giovanni Santos Carvalho	Aceito
--------	------------	------------------------	------------------------------------	--------

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO PAULO, 05 de Abril de 2022

Assinado por:
Bettina Gerken Brasil
(Coordenador(a))

<p>Endereço: Rua Dr. Bacelar, 1212 4º andar Bairro: Vila Clementino UF: SP Município: SAO PAULO Telefone: (11)5586-4086</p>	<p>CEP: 04.026-002 E-mail: cep@unip.br</p>
--	---

Parecer consubstanciado do CEP para a pesquisa 2

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: ESCORE ULTRASSONOGRÁFICO PULMONAR E MEDIDA DE FRAÇÃO DE ESPESSURA DIAFRAGMÁTICA COMO PREDITORES DE SUCESSO OU FALHA NA EXTUBAÇÃO DE RECÉM-NASCIDOS PREMATUROS

Pesquisador: FERNANDA DE CORDOBA LANZA

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 59130222.7.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.688.703

Apresentação do Projeto:

Estudo prospectivo, observacional, exploratório, preditivo que será conduzido com neonatos internados em uma unidade de terapia intensiva de maternidade pública estadual de referência em Manaus-AM. O estudo terá duração de 18 meses e será realizado na unidade de terapia intensiva neonatal da Maternidade Balbina Mestrinho – Secretaria de Estado de Saúde do Amazonas – SUSAM, na cidade de Manaus – AM, após parecer de aprovação do Comitê de ética em pesquisa (CEP) envolvendo os seres humanos.

A Maternidade Balbina Mestrinho, referência em gestação de alto risco, é vinculada à Rede Cegonha do Ministério da Saúde e recebe pacientes de todo o estado do Amazonas. Atualmente conta com 16 leitos de UTI neonatal.

A hipótese sugerida é que os valores de aeração pulmonar e de espessura e fração de espessura diafragmática avaliados por meio da ultrassonografia podem ser preditoras no sucesso ou na falha de extubação em recém-nascidos prematuros de baixo peso submetidos a um teste de respiração espontânea.

- Critérios de inclusão

Serão selecionados para este estudo neonatos com idade gestacional menor que 37 semanas e

Endereço: Av. Presidente Antonio Carlos, 6627 2º. Andar 2 Sala 2005 2 Campus Pampulha

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@brpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 5.688.703

peso inferior a 2.500 gramas no momento de coleta de dados, intubados, ventilados mecanicamente por, pelo menos 24 horas e em processo de desmame do suporte ventilatório invasivo, elegíveis para a extubação pela equipe médica da unidade, com base em avaliação clínica e parâmetros mínimos de suporte ventilatório, cujos responsáveis tenham assinado o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

- Critérios de exclusão

Serão excluídos do estudo RN de mães menores de idade, bem como aqueles com diagnóstico de doenças cardíacas congênitas com repercussão hemodinâmica, deformidades torácicas, anormalidades congênitas maiores, anormalidades cromossômicas, afecções neurológicas como encefalopatia hipóxico isquêmica, e que já tenham sido reintubados por motivos de falência respiratória. Também serão excluídos os RN que possam apresentar alguma intercorrência que possa suspender a avaliação funcional ultrassonográfica após o momento 1, bem como descompensação clínica e/ou hemodinâmica que possa suspender o procedimento de extubação pela equipe médica.

Participarão do estudo RN prematuros de baixo peso internados na UTI neonatal da Maternidade Balbina Mestrinho durante o período de condução dessa pesquisa. Para uma representatividade e salvaguardando o rigor estatístico, a amostra para pesquisa foi estimada em 88 pacientes. A amostra será constituída por RN prematuros baixo peso, intubados, elegíveis para extubação considerando os critérios de inclusão e exclusão deste estudo

Na metodologia descrita, os recém-nascidos incluídos no estudo terão seus dados coletados a fim de caracterizar a amostra, incluindo informações como idade gestacional corrigida, peso atual, frequência cardíaca, saturação de oxigênio, frequência respiratória total, tempo de uso de suporte ventilatório invasivo e parâmetros ventilatórios no momento da pesquisa, conforme a ficha de coletada de dados.

Os recém-nascidos incluídos serão submetidos a uma avaliação ultrassonográfica composta pelo escore de aeração pulmonar e pela fração de espessura do diafragma em três momentos: momento 1 (imediatamente antes da realização do teste de respiração espontânea), momento 2 (após 5 minutos de início do teste de respiração espontânea) e momento 3 (uma hora após a extubação). Os resultados dessas avaliações e os dados cardiorrespiratórios como frequência cardíaca, frequência respiratória e saturação periférica de oxigênio também serão monitorados e

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

Continuação do Parecer: 5.688.703

coletados em cada momento, antes e imediatamente após a avaliação ultrassonográfica. Após a realização do TRE, todos os recém-nascidos serão reconectados à ventilação mecânica, com os mesmos parâmetros antes do teste e a extubação será conduzida pelos fisioterapeutas assistenciais da unidade seguindo procedimento operacional padrão em até 30 minutos após a aplicação do teste. Todos os recém-nascidos extubados serão colocados sob suporte ventilatório não invasivo no modo de ventilação nasal intermitente com pressão positiva (NIPPV) via pronga nasal conforme protocolo da unidade e mantidos sob este suporte pelo menos nas primeiras 48 horas. A ultrassonografia funcional será usada para avaliar a aeração pulmonar por meio do escore ultrassonográfico pulmonar e a fração de espessura diafragmática. A avaliação será feita por meio de um aparelho de ultrassonografia da marca VIVID do fabricante GE Medical Systems e realizada por dois fisioterapeutas devidamente treinados da própria maternidade onde o estudo será realizado e que já executam este procedimento rotineiramente na unidade durante avaliações funcionais respiratórias de intervenções fisioterapêuticas. As primeiras cinquenta medidas de aeração pulmonar e fração de espessura diafragmática passarão por tratamento estatístico para avaliação da confiabilidade interexaminador. A ultrassonografia pulmonar será realizada usando protocolo de avaliação da aeração pulmonar de cada hemitórax previamente descrito e recomendado para a população neonatal. Três áreas serão avaliadas para cada hemitórax (região superior anterior, região inferior anterior e região lateral) com um total de seis áreas. A sonda (transdutor) será aplicada nos espaços intercostais de cada área e a aeração pulmonar avaliada, sendo dado um escore de acordo com os achados. Para cada área será dado um escore de zero a três pontos, totalizando, no máximo 18 pontos. Para avaliar a espessura e a fração de espessura do diafragma, uma sonda (transdutor) linear será usada perpendicularmente no lado direito da parede torácica próximo ao ângulo costofrênico (entre a 8ª e 10ª costelas) entre a linha axilar anterior e linha axilar posterior. A medida da espessura é obtida desde a linha hipercóica mais superficial (linha pleural) até a linha hipercóica mais profunda (linha peritoneal). No modo de imagem M, a fração de espessura do diafragma é definida pela seguinte equação: $(\text{espessura inspiratória} - \text{espessura expiratória}) / \text{espessura expiratória} \times 100$. Os valores são dados em milímetros (mm) e podem ser potenciais preditores de sucesso de extubação

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Verificar se medidas funcionais realizadas por meio da ultrassonografia pulmonar e diafragmática em três momentos distintos podem prever o sucesso ou a falha na extubação de recém-

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

Continuação do Parecer: 5.688.703

nascidos prematuros de baixo peso.

Objetivo Secundário:

Avaliar se o escore de aeração pulmonar aplicado em recém-nascidos prematuros de baixo peso submetidos a um teste de respiração espontânea pode prever o sucesso ou a falha de extubação. Avaliar se as medidas de espessura diafragmática bem como sua fração de espessura podem prever o sucesso ou a falha de extubação em neonatos prematuros submetidos a um teste de respiração espontânea. Determinar se essas medidas funcionais ultrassonográficas, avaliadas em momentos distintos, podem ser sensíveis e específicas para prever sucesso ou falha de extubação em recém-nascidos prematuros de baixo peso. Avaliar a confiabilidade inter examinadores das medidas de aeração pulmonar e fração de espessura diafragmática.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

A ultrassonografia (USG) é uma técnica não invasiva, livre de radiação ionizante, segura, fácil de ser usada à beira leito, superando muitas limitações de outros exames de imagem como os raios-x. No entanto, o procedimento pode causar desconforto e hipotermia para os recém-nascidos em virtude da aplicação de um gel (geralmente frio) e a abertura da incubadora para a realização do exame. Tendo em vista que os recém-nascidos

serão manuseados durante o exame, há risco de queda na saturação de pulso de oxigênio, alteração da frequência cardíaca e respiratória e de extubação acidental. Para minimizar os riscos, o gel aplicado será aquecido à mesma temperatura da incubadora do recém-nascido. A avaliação será realizada por dois fisioterapeutas para que a avaliação seja a mais rápida possível, abrindo somente as portinholas da incubadora para evitar o

risco de hipotermia, bem como assegurar o menor manuseio possível a fim de minimizar os riscos de queda de saturação de pulso de oxigênio, de alteração das frequências cardíaca e respiratória e de extubação acidental. Os participantes serão monitorados continuamente, conforme as rotinas da unidade e, caso ocorra queda de temperatura do participante, a temperatura da incubadora será aumentada a fim de garantir homeotermia. Em caso de queda de saturação de pulso de oxigênio, será ofertada uma fração inspirada de oxigênio de 15% acima do valor basal ajustado. Caso haja alteração da frequência cardíaca e respiratória acima de 20% do basal durante o procedimento, o participante será mantido em repouso até a estabilização.

Benefícios:

Este estudo não traz benefícios diretos para os recém-nascidos envolvidos. No entanto, os

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

Continuação do Parecer: 5.688.703

achados podem trazer um novo índice capaz de predizer o sucesso ou a falha de extubação em recém-nascidos prematuros de baixo peso e evitar as complicações associadas à reintubação (traumatismo, desestabilização do neonato e aumento da duração da ventilação mecânica e do tempo de internação em unidade de terapia intensiva)

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

São apontados como coparticipantes do projeto: Marcos Giovanni Santos Carvalho, Simone Nascimento Santos Ribeiro, Thalita Vilaboim Santos e como centro coparticipante a SECRETARIA DE ESTADO DA SAUDE - SUSAM, figurando como responsável da instituição Rafaela Faria Gomes da Silva.

Trata-se de um pré-projeto de pesquisa do curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

Todo o custo da pesquisa ficará sob responsabilidade dos pesquisadores com um custo total estimado de R\$ 52.875,00.

A amostra será constituída por neonatos com idade gestacional menor que 37 semanas e peso inferior a 2.500 gramas no momento de coleta de dados, intubados, ventilados mecanicamente por, pelo menos 24 horas e em processo de desmame do suporte ventilatório invasivo, elegíveis para a extubação pela equipe médica da unidade, com base em avaliação clínica e parâmetros mínimos de suporte ventilatório, cujos responsáveis tenham assinado o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Após a extubação, a amostra será dividida em dois grupos de acordo com o sucesso ou falha na extubação.

O projeto de pesquisa tem objetivos claros e métodos adequados, sendo relevante para a área da saúde, conforme parecer da Câmara Departamental de Fisioterapia da UFMG, pois colabora para o desenvolvimento de técnicas cada vez mais específicas e detalhadas para avaliação e acompanhamento de recém-nascidos prematuros internados.

Além disso, a pesquisa poderá contribuir para um maior protagonismo dos fisioterapeutas brasileiros ao reforçar o uso do exame de ultrassonografia como método de avaliação funcional respiratória nas UTI neonatais do Brasil. Contribuirá também para o incremento da produção científica do Departamento de Fisioterapia. Além disso, o cronograma parece viável e todos os trâmites éticos serão seguidos e foi destacado que a professora pesquisadora responsável pelo projeto tem expertise na área proposta para a pesquisa.

Possui co-participação da SECRETARIA DE ESTADO DA SAUDE - SUSAM.

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: 5.688.703

O cronograma deverá ajustar seu prazo de iniciação da pesquisa para a data posterior à aprovação pelo CEP para não comprometer a avaliação ética e é pontuado que o encerramento será em 20/Dezembro/2023.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram apresentados os seguintes documentos: folha de rosto assinada; projeto completo; parecer consubstanciado das instituições de pesquisa com aprovação ad referendum da Câmara Departamental; Formulário de Informações Básicas; TCLE.

O TCLE foi redigido como carta convite, resguardando a confidencialidade dos dados, o anonimato, o direito à recusa, e desistir do projeto a qualquer momento sem qualquer prejuízo. Foi informado sobre a metodologia, o objetivo e o armazenamento de 10 anos dos dados, salvaguardando a sua consulta. Esclarece que não haverá qualquer forma de pagamento, mas disponibiliza apoio em caso de gerar algum risco à integridade física, mental ou de qualquer outra natureza ao participante.

Como a página de assinatura está em uma folha em separado, solicita-se o cuidado de obter a rubrica do participante da pesquisa e do pesquisador nas demais folhas do TCLE, considerando-se a proteção do participante bem como do pesquisador (Resolução CNS n° 466 de 2012 itens IV.5.d). Aconselha-se inserir campo para rubrica para o participante e o pesquisador.

Recomendações:

Aconselha-se inserir campo para rubrica para o participante e o pesquisador nas demais folhas do TCLE e também colocar o email do pesquisador no TCLE.

O cronograma deverá ajustar seu prazo de iniciação da pesquisa para a data posterior à aprovação pelo CEP para não comprometer a avaliação ética.

Recomenda-se que seja inserido o nome do pesquisador responsável pela aplicação do TCLE por extenso abaixo da área para assinatura, na última página do documento, bem como sua filiação e telefone para contato.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Na condição de se atender as recomendações solicitadas, somos, S.M.J. favoráveis à aprovação do projeto.

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: 5.688.703

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_1920822.pdf	30/05/2022 19:09:29		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_DOUTORADO.docx	30/05/2022 19:09:02	FERNANDA DE CORDOBA LANZA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	30/05/2022 19:08:16	FERNANDA DE CORDOBA LANZA	Aceito
Outros	Anuencia.pdf	30/05/2022 19:07:51	FERNANDA DE CORDOBA LANZA	Aceito
Outros	Parecer_Departamento.pdf	30/05/2022 19:06:19	FERNANDA DE CORDOBA LANZA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	30/05/2022 19:05:28	FERNANDA DE CORDOBA LANZA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 06 de Outubro de 2022

Assinado por:

**Críssia 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

MINI-CURRÍCULO DO DISCENTE

Formação Acadêmica

- Graduação em Fisioterapia (Universidade de Itaúna/MG)/2003.
- Aperfeiçoamento em Fisioterapia Cardiorrespiratória. Hospital São João de Deus, HSJD/2004.
- Pós-graduação lato sensu em fisioterapia cardiorrespiratória pela Especialização em Fisioterapia Cardiorrespiratória. Universidade Presidente Antônio Carlos, UNIPAC/2006.
- Mestrado em Ciências da Saúde. Universidade Federal do Amazonas, UFAM/2012.
- Doutorado em Ciências da Reabilitação – Linha de Pesquisa Desempenho Cardiorrespiratório, UFMG – Previsão de conclusão em 2025.

Formação e atuação profissional

- Título de Especialista Profissional em Fisioterapia Respiratória pela ASSOBRAFIR/COFFITO/2008.
- Título de Especialista Profissional em Fisioterapia em Terapia Intensiva Neonatal e Pediátrica pela ASSOBRAFIR/COFFITO/2008.
- Fisioterapeuta da Secretaria de Estado de Saúde do Amazonas/AM (2006 – atual).
- Fisioterapeuta da Secretaria Municipal de Saúde de Manaus/AM (2011 – atual).
- Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Fisioterapia em Terapia Intensiva e Fisioterapia Hospitalar – Biocursos/FaSerra (2024 – atual).
- Coordenador de Programa de Especialização Lato Sensu em Fisioterapia em Terapia Intensiva Neonatal e Pediátrica pela PUC/PR/ARTMED/ASSOBRAFIR (2021 – 2025).
- Coordenador do Programa de Atualização em Pediátrica e Neonatal (PROFISIO-PEDIÁTRICO), no âmbito do Sistema de Educação Continuada a Distância (SECAD), da Artmed Panamericana Editora Ltda., em parceria com a ASSOBRAFIR (2023-2025).
- Diretor da Regional Amazonas da ASSOBRAFIR (2016-2020/2020-2024).

- Presidente do Conselho Regional de Fisioterapia e Terapia Ocupacional da 20ª Região – CREFITO-20 (2024-2028).

Produção Científica

Artigos Publicados

Ribeiro SNS, **Carvalho MGS**, Pereira SA, Azevedo VMGO. Atuação do fisioterapeuta na prevenção e tratamento da COVID-19 na população neonatal. **ASSOBRAFIR Ciência**. 2020;11(Supl 1):195-203. <https://doi.org/10.47066/2177-9333.AC20.covid19.019>

Martins TB, Nodari T, Coelho F, **Carvalho MGS**, Ribeiro SNS, Sanada LS, Pereira SA, Montemezzo D. Percepção de fisioterapeutas sobre alterações do sistema autônomo e do estado comportamental de recém-nascidos submetidos a procedimentos de estimulação sensorio-motora: estudo transversal. *Rev Pesqui Fisioter*. 2024;14:e5618. <http://dx.doi.org/10.17267/2238-2704rpf.2024.e5618>

Livros publicados/organizados

Ribeiro SNS, **Carvalho MGS**, Pereira SA. *Fisioterapia Neonatal Evidências e Boas Práticas*. 1. Ed. Rio de Janeiro: 2024.

Martins JA , Aquino ES, **Carvalho MGS** (Org.). *PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia Pediátrica e Neonatal: Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva: Ciclo 12*. 12. ed. Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2024. v. 4. 163p .

Martins, JA, Aquino ES, **Carvalho MGS** (Org.). *PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia Pediátrica e Neonatal: Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva: Ciclo 13*. 13. ed. Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2024. v. 4. 163p .

Martins JA, Aquino ES, **Carvalho MGS** (Org.). *PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia Pediátrica e Neonatal: Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva: Ciclo 13*. 13. ed. Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2024. v. 4. 176p .

Martins JA, Aquino ES, **Carvalho, MGS** (Org.). PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia Pediátrica e Neonatal: Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva: Ciclo 13. 13. ed. Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2024. v. 4. 144p .

Martins JA, Aquino ES, **Carvalho, MGS** (Org.). PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia Pediátrica e Neonatal: Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva: Ciclo 12. 12. ed. Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2023. v. 4. 152p .

Martins JA, Aquino ES, **Carvalho, MGS** (Org.). PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia Pediátrica e Neonatal: Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva: Ciclo 12. 12. ed. Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2023. v. 4. 160p .

Capítulos de Livro

Carvalho MGS, Ribeiro SNS, Pereira SA. Displasia Broncopulmonar. In: Simone Nascimento Santos Ribeiro; Marcos Giovanni Santos Carvalho; Silvana Alves Pereira. (Org.). Fisioterapia neonatal: evidências e boas práticas. 1ed.Rio de Janeiro: Medbook, 2024, v. 1, p. 193-200.

Siqueira JCF, **Carvalho MGS**, Lanza FC. Dor Neonatal. In: Simone Nascimento Santos Ribeiro; Marcos Giovanni Santos Carvalho; Silvana Alves Pereira. (Org.). Fisioterapia neonatal: evidências e boas práticas. 1ed.Rio de Janeiro: Medbook, 2024, v. 1, p. 322-331.

Carvalho MGS, Terra MA, Cavina CC, Tomiyama JN, Lanza FC. Ultrassonografia como ferramenta para avaliação fisioterapêutica pleuropulmonar e diafragmática em recém-nascidos. In: Jocimar Avelar Martins; Camila Isabel Santos Schivinski; Simone Nascimento Santos Ribeiro. (Org.). Programa de Atualização em Fisioterapia Pediátrica e Neonatal: Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva. 11ed.Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2023, v. 4, p. 113-158.

Carvalho MGS, Correa APGD, Furtado MAS, Leite HR. HAMMERSMITH NEONATAL NEUROLOGICAL EXAMINATION (HNNE): INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO NEUROCOMPORTAMENTAL PARA RECÉM-NASCIDOS. In: Jocimar Avelar Martins; Camila Isabel Santos Schivinski; Simone Nascimento Santos Ribeiro. (Org.). HAMMERSMITH NEONATAL NEUROLOGICAL EXAMINATION (HNNE):

INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO NEUROCOMPORTAMENTAL PARA RECÉM-NASCIDOS. 11ed.Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2022, v. 1, p. 11-54.

Carvalho MGS, Tomiyama JN, Silva EM. Transporte Neonatal. In: Jocimar Avelar Martins; Camila Isabel Santos Schivinski; Simone Nascimento Santos Ribeiro. (Org.). Transporte Neonatal. 10ed.Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2021, v. 3, p. 93-137.

Carvalho MGS, Vieira AGS, Silva CDA. Técnicas de Remoção de Secreção Pulmonar no Paciente Neonatal e Pediátrico. In: Leite HR, Lanza FC, Resende RA. Questões comentadas em Fisioterapia. 1. ed. Rio de Janeiro: Medbook, 2021. p.155-158.

Apresentação de trabalhos e Resumos publicados em anais de congressos

Carvalho MGS, Tomiyama JN, Terra MA, Lanza FC. Confiabilidade e valores de normalidade de espessura, fração de espessamento e excursão diafragmática da ultrassonografia cinesiológica de neonatos. In: XXI SIFR Simpósio Internacional de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e Terapia Intensiva, 2024, Brasília. Brazilian Journal of Respiratory, Cardiovascular, and Critical Care Physiotherapy (BJR). São Paulo: ASSOBRAFIR, 2024. v. 1. p. 580-581.

Silva Neto GCE, Mendonça DSB, Menezes JG, Silva LMA, Magave JA, Figueira JM, Lameira ABF, **Carvalho MGS**. Prevalência e perfil epidemiológico de mortalidade de recém-nascidos internados em uma unidade de terapia intensiva pública. In: IV Congresso Nortista de Fisioterapia Respiratória, Cardiovascular e em Terapia Intensiva, 2023, Manaus. Anais de eventos da ASSOBRAFIR, 2023. São Paulo: ASSOBRAFIR Ciência, 2023. v. 14. p. 392-392.

Carvalho MGS, Monteiro VHS, Sousa DHS, Leite GA, Machado JC, Marcião FAM, Costa KP, Lanza FC. Perfil epidemiológico de mortalidade de recém-nascidos internados em uma unidade de terapia intensiva neonatal pública. In: XX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva, 2022, Florianópolis. XX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva. São Paulo: ASSOBRAFIR Ciência, 2022. v. 1. p. 610-610.

Santos TV, Lanza FC, Ribeiro SNS, **Carvalho MGS**, Oliveira AD. Caracterização de

prematuros com sucesso no teste de respiração espontânea. In: XX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva, 2022, Florianópolis. XX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva. São Paulo: ASSOBRAFIR Ciência, 2022. v. 1. p. 127-127.

Carvalho MGS, Sousa DHS, Leite GA, Sousa CB, Souza LCAE, Zuta MCS, Lanza FC. Perfil epidemiológico, evolución clínica y resultados de recién nacidos de extremo bajo peso internados en una unidad de terapia intensiva neonatal. In: XX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva, 2022, Florianópolis. XX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva. São Paulo: ASSOBRAFIR Ciência, 2022. v. 1. p. 145-145.

Carvalho MGS, Monteiro VHS, Sousa DHS, Leite GA, Machado JC, Marcião FAM, Costa KP, Lanza FC. Prevalência e perfil epidemiológico de recém-nascidos diagnosticados com hemorragia intracraniana em uma unidade de terapia intensiva neonatal pública.. In: XX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva, 2022, Florianópolis. XX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva. São Paulo: ASSOBRAFIR Ciência, 2022. v. 1. p. 610-610.