

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DO TRAIRI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO**

ANA GABRIELA DE FIGUEIREDO ARAUJO

**APLICAÇÃO DE UM MODELO CINEMÁTICO TRIDIMENSIONAL
PARA PREDIÇÃO DE VOLUME CORRENTE EM RECÉM-
NASCIDOS: UM ESTUDO PILOTO**

**SANTA CRUZ - RN
2019**

ANA GABRIELA DE FIGUEIREDO ARAUJO

APLICAÇÃO DE UM MODELO CINEMÁTICO TRIDIMENSIONAL
PARA PREDIÇÃO DE VOLUME CORRENTE EM RECÉM-
NASCIDOS: UM ESTUDO PILOTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós -
Graduação em Ciências da Reabilitação da
Faculdade de Ciências da Saúde do Trairi da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
como requisito parcial para a obtenção do título
de Mestre em Ciências da Reabilitação.

Área de concentração: Ciências da
Reabilitação.

Orientadora: Silvana Alves Pereira.

Co-orientadora: Ingrid Guerra Azevedo.

SANTA CRUZ – RN
2019

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial da Faculdade de
Ciências da Saúde do Trairi – FACISA

Araujo, Ana Gabriela de Figueiredo.

Aplicação de um modelo cinemático tridimensional para predição de volume corrente em recém-nascidos: um estudo piloto / Ana Gabriela de Figueiredo Araujo. - 2019.

30 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Reabilitação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Faculdade de Ciências da Saúde do Trairi, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação. Santa Cruz, RN, 2019.

Orientadora: Silvana Alves Pereira.

Coorientadora: Ingrid Guerra Azevedo.

1. Recém-nascido - Dissertação. 2. Neonatologia - Dissertação. 3. Mecânica respiratória - Dissertação. 4. Fotogrametria - Dissertação. 5. Software - Dissertação. I. Pereira, Silvana Alves. II. Azevedo, Ingrid Guerra. III. Título.

RN/UF/FACISA

CDU 616-053.1

ANA GABRIELA DE FIGUEIREDO ARAUJO

APLICAÇÃO DE UM MODELO CINEMÁTICO TRIDIMENSIONAL
PARA PREDIÇÃO DE VOLUME CORRENTE EM RECÉM-
NASCIDOS: UM ESTUDO PILOTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Ciências da Reabilitação da Faculdade de Ciências da Saúde do Trairi da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Reabilitação.

Área de concentração: Ciências da Reabilitação.

BANCA EXAMINADORA

Presidente da banca (orientadora): Prof. Dra. Silvana Alves Pereira
Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Co-orientadora: Dra. Ingrid Guerra Azevedo
Instituição: Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares/ Hospital
Universitário Ana Bezerra

Prof. Dr. Diego Sousa Dantas
Examinador Interno - Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dra. Cristiane Aparecida Moran
Examinador Externo - Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

DEDICATÓRIA

Aos pacientes atendidos em minha trajetória acadêmica e profissional, por toda motivação, confiança e aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Obrigada Deus porque Você é muito bom! Esta frase tão simples e direta reflete bem o que eu desejo expressar nesse momento e sempre que coisas boas acontecem em minha vida. É Deus, em sua infinita generosidade e por ser o próprio Amor, que fez nascer em mim tantos sonhos acadêmicos e profissionais e, no tempo certo, me auxilia na colheita de cada conquista. O Mestrado e tudo mais que corroborou para este momento em Santa Cruz eu devo ao Senhor Deus e à intercessão de Nossa Senhora e Santa Rita.

Minha gratidão se estende a todos os que contribuíram para a minha formação pessoal, acadêmica e profissional. Agradeço aos que me incentivaram e apoiaram quando eu decidi mudar de endereço mais uma vez, a quem insistiu para que eu fizesse a inscrição do mestrado e não me deixou abater por críticas e sobrecargas da rotina, aos que torcem por mim e se alegram com as minhas vitórias, me animam nas dificuldades e me alertam para que eu não perca o foco. Enfim, são familiares, amigos, orientadora, co-orientadora, banca de qualificação e defesa, colegas de mestrado e trabalho, alunos e pacientes que muitas vezes nem fazem ideia do quanto são importantes.

Agradecer é lembrar que nada podemos sozinhos e de que vale muito mais à pena fazer o que pode ser compartilhado. Por todas as experiências vivenciadas nos últimos dois anos, por tudo que este momento representa e pelo futuro que inicia a partir de agora, meu muito obrigada!

RESUMO

Introdução: As monitorizações não invasivas pela quantificação do movimento da caixa torácica têm sido úteis na avaliação seriada da função pulmonar do recém-nascido (RN). Entretanto, há pouco progresso quanto a concordância de ferramentas para uso na prática neonatal. **Objetivo:** Avaliar a concordância entre o volume corrente (VC) estimado pela análise tridimensional do movimento toracoabdominal no *software* Matlab[®] e o VC previsto pelo peso corporal de recém-nascidos (RNs) a termo. **Métodos:** Trata-se de um estudo piloto metodológico com RNs filmados por dois minutos em posição dorsal e exposição máxima da região toracoabdominal. O VC (em ml) foi estimado a partir da análise tridimensional, que associa as imagens do movimento toracoabdominal à cirtometria torácica e calcula valores indiretos de VC no Matlab[®] e comparado com o VC previsto por quilograma de peso para cada RN (5ml/kg), valor adequado para minimizar riscos de lesão pulmonar ou aumento do trabalho respiratório. A correlação foi testada pelo coeficiente de Correlação de Pearson e a concordância pela Análise de Bland-Altman. **Resultados:** Treze RNs a termo (IG: 39,1±0,8 semanas), com peso e comprimento médios de 3175,4±493,8g e 49±2,8cm, respectivamente, foram incluídos no estudo. O VC estimado pela análise cinemática foi de 16,3±4,2ml ou 5,1ml/kg e 15,9±2,5ml ou 5ml/kg de acordo com o cálculo para o valor previsto pelo peso. Há forte correlação entre os métodos ($r=0,724$; $p=0,005$) e a diferença das médias dos valores estudados foi de 0,4 ml (viés), intervalo de confiança 95% de -5,2 a 6,0ml, $p=0,624$. **Conclusões:** Os métodos para mensuração do VC são intercambiáveis, sugerindo que a análise tridimensional do movimento toracoabdominal no *software* Matlab[®] pode estimar o VC de RNs termos, de forma simples, rápida e não invasiva.

PALAVRAS-CHAVE: Recém-nascido. Neonatologia. Mecânica respiratória. Fotogrametria. Software.

ABSTRACT

Background: Chest movement quantification and noninvasive monitoring have been useful in evaluation of newborn (NB) lung function. Different methods have already been tested, however, there is little progress regarding the agreement of these new tools in neonatal practice. **Aim:** To evaluate the agreement between the tidal volume (TV) estimated by the three-dimensional analysis of the thoracoabdominal movement in the Matlab[®] software and the TV predicted by the body weight of term newborns (NBs). **Methods:** This is a pilot methodological study with NBs filmed for two minutes in a dorsal position and maximal exposure of the thoracoabdominal region. TV (in ml) was estimated from the three-dimensional analysis of thoracoabdominal movement in the Matlab[®] and compared to the predicted TV per kilogram of weight for each NB (5 ml/kg), on a Bland-Altman plot. **Results:** Thirteen NBs (gestational age: 39.1±0.8 weeks), with a mean weight and length of 3175.4±493.8g and 49±2.8cm, respectively, were included in the study. TV estimated by the kinematic analysis was 16.3±4.2 ml or 5.1 ml/kg and 15.9±2.5 ml or 5 ml/kg according to the calculation for the predicted value for weight. The difference between the means of the studied values was 0.4 ml (bias), with p=0.624 and confidence interval of -5.2 to 6.0 ml. **Conclusions:** The methods for TV measuring are interchangeable in this sample of NBs, suggesting that the threedimensional analysis of thoracoabdominal motion in Matlab[®] software can estimate the TV of terms NBs, in a simple, fast and noninvasive way. Thus, the evaluation by Matlab[®] is promising and should be tested with methods that are gold standard for TV evaluation.

KEY-WORDS: Infant, Newborn. Neonatology. Respiratory Mechanics. Photogrammetry. Software.

SUMÁRIO

1 REVISÃO DE LITERATURA	08
1.1 FISILOGIA RESPIRATÓRIA DO RECÉM-NASCIDO	08
1.2 AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO PULMONAR	09
1.2.1 Análise cinemática tridimensional	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 GERAL	13
2.2 ESPECÍFICOS	13
3 ARTIGO	14
3.1 INTRODUÇÃO	14
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.2.1 Instrumentos de coleta, aquisição das imagens e procedimentos de análise tridimensional	16
3.2.2 Análise estatística.....	18
3.3 RESULTADOS	19
3.4 DISCUSSÃO.....	21
3.5 CONCLUSÕES	23
3.6 REFERÊNCIAS	24
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
5 REFERÊNCIAS	27

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 FISILOGIA RESPIRATÓRIA DO RECÉM-NASCIDO

O período neonatal é caracterizado por atributos anatômicos e fisiológicos próprios dessa faixa etária ¹⁻³. Tais particularidades são procedentes do processo de maturação neurológico, respiratório e musculoesquelético inerentes aos recém-nascidos (RNs), mesmo daqueles nascidos a termo e saudáveis ¹⁻⁴.

O controle da respiração é operacionalizado por meio de sensores centrais e periféricos, os quais captam as alterações nas pressões de oxigênio (O₂) e dióxido de carbono (CO₂) ⁵. O centro bulbar respiratório processa as informações recebidas e envia comandos aos músculos respiratórios, os quais executam os movimentos toracoabdominais responsáveis pela ventilação pulmonar ^{1, 5}. O desenvolvimento incompleto desse mecanismo, observado nos primeiros dias de vida, leva a alterações do padrão respiratório e do ritmo, que se apresenta irregular, com períodos de pausa inspiratória seguidos de momentos de maior amplitude dos movimentos respiratórios ^{2,4}.

Em relação ao sistema respiratório, ocorre maior predisposição à obstrução das vias aéreas superiores com aumento da resistência ao fluxo aéreo, devido ao menor diâmetro e comprimento da zona de condução respiratória, além de reduzido suporte cartilaginoso dessas vias ¹⁻³. A alveolização está incompleta nesse período da vida, encontrando-se um menor número e menor tamanho dos alvéolos, bem como ventilação colateral praticamente inexistente. Todos esses fatores aumentam o risco de atelectasias, com prejuízos à ventilação alveolar ^{1,3}.

A parede torácica dos RNs apresenta costelas mais horizontalizadas e cartilaginosas, tornando o gradil costal muito complacente e, portanto, instável ³. Os músculos toracoabdominais, por sua vez, são hipodesenvolvidos, com baixa resistência à fadiga, e o diafragma possui pequena porcentagem de fibras musculares oxidativas e menor área de aposição ^{1, 3}. Desse modo, percebe-se que os movimentos toracoabdominais ocorrem em desvantagem biomecânica, podendo haver déficit na expansibilidade torácica e, conseqüentemente, no volume corrente (VC) e na relação ventilação/perfusão ^{1,3}.

Apesar de todos os aspectos mencionados, que podem favorecer o surgimento de distúrbios ventilatórios, os RNs conseguem manter um volume pulmonar minuto suficiente para realizar as trocas gasosas, de maneira adequada, mesmo com VC menor em relação ao adulto, em consequência do alto valor fisiológico da frequência respiratória, que se encontra

no intervalo de 40 a 60 incursões respiratórias por minuto ^{1-3,6}.

O VC dos RNs deve estar entre 4 e 6 ml/kg ⁶ que são valores situados entre a capacidade residual funcional e a capacidade pulmonar total ⁷. Este é um dado primordial quando o suporte ventilatório invasivo precisa ser adotado, pois confere o valor ideal de VC, que permite a manutenção das trocas gasosas ao mesmo tempo em que exerce proteção ao sistema respiratório contra lesões induzidas pela ventilação artificial, sem acréscimo de trabalho respiratório ⁶⁻⁸.

O reduzido VC e a elevada frequência de movimentos respiratórios realizados pela caixa torácica e pelo abdome aumentam o gasto energético e diminuem a eficiência da ventilação uma vez que o espaço morto anatômico é mais ventilado, sem contribuir para a realização das trocas gasosas ¹. Portanto, os movimentos toracoabdominais apresentam estreita relação com a respiração e ventilação alveolar ⁹⁻¹¹. Eles devem ocorrer de maneira sincronizada, embora cada compartimento possua independência de movimento, variando os diâmetros torácicos durante a inspiração e a expiração, de forma dinâmica ⁹⁻¹².

1.2 AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO PULMONAR

Todas as especificidades do período neonatal justificam a importância em se avaliar de maneira minuciosa e seriada a função pulmonar dos RNs, com a finalidade de acompanhar o crescimento e desenvolvimento pulmonar, e detectar alterações respiratórias o mais precocemente possível ^{1,9,11}.

Os testes de função pulmonar contribuem ao adequado manejo clínico de RNs, sendo úteis para o diagnóstico, monitoramento, planejamento terapêutico e avaliação prognóstica de acometimentos respiratórios, auxiliando a tomada de decisão dos profissionais que atuam em neonatologia ¹³. Além disso, a avaliação pulmonar deve ter como objetivo aprofundar o conhecimento acerca da anátomo-fisiologia respiratória, fortalecendo a relação entre os sistemas que promovem a ventilação ⁹.

Segundo as recomendações da ATS/ERS (2007), os testes de função pulmonar a serem realizados em crianças de até dois anos de idade devem, idealmente, ser de fácil aplicação, seguros, reproduzíveis ao longo do tempo, com a finalidade de permitir a avaliação continuada dos indivíduos até a idade adulta, e possuírem sensibilidade satisfatória para detectar alterações causadas pelo crescimento ou surgimento de patologias ⁹.

De maneira geral, esta avaliação pode ocorrer a partir da análise do fluxo expiratório ou

do movimento toracoabdominal^{9, 11}. Dependendo do método de avaliação adotado, diferentes variáveis podem ser mensuradas para refletir o desempenho ventilatório. É possível aferir os fluxos, volumes e capacidades pulmonares, a mobilidade torácica, ou seja, a variação da caixa torácica e abdome durante a inspiração e expiração, a sincronia e amplitude dos movimentos toracoabdominais e a presença de desconforto respiratório^{12, 14-23}.

Todos esses aspectos têm relevância clínica reconhecida, porém são muitos os cuidados e restrições referentes à avaliação de cada um deles, pois os instrumentos avaliativos possuem capacidades distintas de prover informações relacionadas ao funcionamento respiratório, sendo limitados por não terem sido desenvolvidos especificamente para o público neonatal ou por não atingirem os predicados esperados quanto a sua execução e viabilidade econômica^{12, 14-15, 18, 22, 24-25}.

Os diversos equipamentos que vem sendo desenvolvidos e empregados no ambiente clínico e de pesquisa, para avaliar a função pulmonar, englobam desde métodos de baixíssimo custo, baseados na avaliação do tórax, como a utilização do Boletim de Silverman-Andersen (BSA)²³, até os mais onerosos e restritos a laboratórios como a pletismografia corporal, que requer equipamentos e treinamento específico dos profissionais¹⁸.

Na década de 1950, Silverman e Andersen (1956) foram pioneiros na avaliação respiratória a partir da observação dos movimentos toracoabdominais, ao desenvolver o BSA²³. Eles enumeraram sinais de desconforto respiratório, como a presença de tiragens intercostais e batimento da asa do nariz, que podem ser notados durante a inspeção torácica, para gerar um escore que classifica o nível de desconforto do recém-nascido (RN)²³. No entanto, o objetivo principal era avaliar os desfechos neonatais relacionados à nebulização na incubadora²³, não havendo a validação do BSA, apesar da sua recorrente utilização até os dias atuais.

Outro método largamente utilizado na prática é a cirtometria torácica, que consiste em medir a circunferência torácica durante os movimentos respiratórios²⁶⁻²⁷. A cirtometria auxilia o monitoramento do crescimento corporal, desde o nascimento²⁷, e a avaliação da expansibilidade torácica durante a inspiração e expiração máximas, de forma simples e rápida, usando apenas uma fita métrica²⁶. Contudo, ela é incapaz de detectar a assincronia, que pode estar presente durante os movimentos do complexo toracoabdominal²⁶. Além disso, por necessitar da colaboração do paciente, a cirtometria não é aplicada a RNs para avaliar a mobilidade torácica²⁶.

Muitas ferramentas não são viáveis para utilização em neonatologia, embora sejam consideradas padrão ouro para avaliação pulmonar, a exemplo da espirometria¹⁴. Trata-se de

uma técnica que utiliza um bocal descartável acoplado ao espirômetro para avaliar volumes, fluxos e capacidades respiratórias de maneira direta, através de manobras de respiração forçada, de acordo com a orientação do examinador sendo, portanto, colaboração-dependente¹⁴.

A pletismografia corporal é outra forma de se obter medidas diretas da função pulmonar, com o benefício de ser realizável em RNs¹⁸. Nela, uma máscara é conectada a um pletismógrafo, para calcular as variações de fluxo, e um colete de pressão positiva provoca compressões torácicas responsáveis por fluxos e volumes expiratórios forçados, passíveis de mensuração, caracterizando se há ou não doença pulmonar restritiva¹⁸. Para que seja realizada, esta técnica requer sedação do RN, o que nem sempre é considerado eticamente aceitável⁹, além de exigir um aparato complexo de medicamentos e profissionais autorizados para efetuar sua administração e controle¹⁸.

A pletismografia por indutância eletromagnética, por sua vez, se configura como outra tecnologia capaz de medir as variações nos volumes torácicos e abdominais por meio de mudanças no campo eletromagnético gerado por um colete usado pela criança²⁵. Ela é uma ferramenta precisa para medir os parâmetros do VC em RNs pré-termo e a termo^{20, 25, 30}. Para ser realizada, não requer sedação do paciente, porém, pode ser feita simultaneamente a um pneumotacógrafo conectado a uma máscara facial, o que acrescenta espaço morto, fazendo com que haja aumento do VC medido, com possível interferência no padrão respiratório²¹.

Como alternativa não invasiva de medida indireta, encontra-se a pletismografia respiratória por indutância, que quantifica as assincronias toracoabdominais através da exibição contínua de sinais elétricos captados por meio de bobinas alocadas em faixas elásticas que envolvem o tórax e o abdome do RN^{25, 28-29}. Essa técnica também tem sido empregada para examinar a repercussão de modos de suporte ventilatório sobre o VC e o volume expiratório final²⁹. O seu funcionamento é calibragem-dependente o que não garante plena confiança nos resultados obtidos durante a coleta, caso o indivíduo assuma um decúbito diferente do que estava quando feita a calibração²⁵.

Todos os métodos supracitados buscam oferecer dados fidedignos do comportamento respiratório, cada um deles enfatizando aspectos específicos da função pulmonar. Nesse contexto, há um grupo de testes de função pulmonar que se baseiam na análise cinemática toracoabdominal, e utilizam marcadores de superfície para mapear a região avaliada, sem indícios de que promova alterações na dinâmica respiratória^{12, 15-17, 22, 24, 31}.

1.2.1 Análise cinemática tridimensional

A pletismografia optoeletrônica foi o primeiro aparelho que possibilitou a análise tridimensional do movimento corporal, sendo idealizada inicialmente para examinar a marcha, expandindo-se, posteriormente, para diversas áreas ²⁴. Ela é capaz de detectar pequenos movimentos toracoabdominais, acompanhando cada ciclo respiratório e fornecendo estimativas de volumes da parede torácica em sua totalidade, e de cada um dos seus compartimentos ^{12, 24-25}. Seu funcionamento ocorre a partir do posicionamento de diversos marcadores reflexivos ao longo da superfície anterior, posterior e lateral do tronco, e de um sistema de câmeras que captam a posição desses marcadores através da emissão de feixes de luz infravermelha ^{12, 24-25}.

Essa técnica provou ser confiável em diferentes posturas e não requer calibração ou contato direto do indivíduo avaliado com o examinador, durante a captura das imagens ²⁴⁻²⁵. Primeiramente, ela foi desenvolvida para avaliar adultos, mas atualmente há um modelo de pletismografia optoeletrônica adaptado para RNs, que se mostrou útil para estudar a mecânica respiratória durante a respiração espontânea ou sob suporte do respirador mecânico ¹².

Em contrapartida, são necessárias de seis a oito câmeras captando a posição de todos os marcadores, para que sejam geradas as coordenadas tridimensionais que um analisador optoeletrônico transforma em dados objetivos ^{12, 24-25}. Essa exigência dificulta a transposição do método para a clínica, pois demanda espaço e preparação anterior ao procedimento de avaliação propriamente dito ¹².

No decorrer do desenvolvimento tecnológico e na busca de ferramentas de fácil aplicação e reprodutibilidade, Ricieri e Rosário Filho (2009) testaram um modelo biofotogramétrico para a análise da mecânica respiratória bidimensional, observando a variação das áreas toracoabdominais laterais em crianças asmáticas ¹⁵. Eles realizaram a manobra de variação isovolumétrica toracoabdominal em indivíduos entre 9 e 13 anos de idade para confirmar que o deslocamento toracoabdominal reflete a variação na ventilação pulmonar ¹⁵. A biofotogrametria se baseia na obtenção de informações provenientes do registro, análise e interpretação de imagens, sejam elas fotos ou vídeos que podem ser adquiridos por apenas uma câmera ¹⁵.

Partindo do conhecimento produzido sobre os meios que utilizam a captura de imagens para análise respiratória, Ripka e colaboradores (2014) propuseram um modelo biofotogramétrico que se mostrou aplicável e reprodutível tanto para avaliação bidimensional quanto tridimensional dos movimentos toracoabdominais ²². Eles compararam os dados aferidos pela espirometria com valores estimados de volumes

pulmonares, gerados a partir da extrapolação de vídeos coletados durante a respiração espontânea de adolescentes saudáveis. Para isso, além da captura das imagens, um *software* foi necessário para a análise e interpretação das informações obtidas ²².

Ambos os estudos ^{15,22} e ainda outros ¹⁶⁻¹⁷, que empregaram a metodologia da biofotogrametria para examinar o comportamento da cinemática toracoabdominal, utilizaram o AutoCAD[®] como programa de processamento dos dados. O AutoCAD[®] avalia cada imagem separadamente, o que acarreta um longo tempo despendido para completar essa etapa da análise cinemática ³².

Similar ao AutoCAD[®], o Matlab[®] (MATrix LABoratory) é um *software* que realiza a delimitação geométrica dos compartimentos toracoabdominais registrados, desde que haja exposição da região e colocação de marcadores adesivos em pontos anatômicos pré-determinados ³¹. A maior vantagem do Matlab[®] é que a avaliação da cinemática toracoabdominal ocorre de forma automática, reduzindo o tempo de processamento, enquanto quantifica um maior número de imagens ³²⁻³³.

O algoritmo do Matlab[®], desenvolvido por um grupo de pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, oportuniza a análise tridimensional dos movimentos toracoabdominais, viabilizando medidas indiretas de volumes pulmonares, com fácil execução e grande potencial para ser efetuada à beira do leito ³².

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a concordância entre o VC estimado pela análise tridimensional do movimento toracoabdominal no software Matlab[®] e o VC previsto pelo peso corporal de RNs a termo.

2.2 ESPECÍFICOS

- Apresentar um método de avaliação indireta da função pulmonar em RNs a termo, não invasivo e de fácil aplicação;
- Apresentar o perfil de RNs a termo de uma maternidade escola do interior do Nordeste brasileiro;

- Correlacionar os valores de VC encontrados pela análise tridimensional com os valores calculados a partir do peso corporal dos RNs.

3 ARTIGO

3.1 INTRODUÇÃO

A avaliação da função pulmonar proporciona informações sobre a ventilação e auxilia no diagnóstico e acompanhamento da evolução de disfunções respiratórias ¹. Entretanto, no período neonatal, a relevância clínica dessa avaliação depende das particularidades do crescimento e desenvolvimento respiratório dos recém-nascidos (RN) ².

Nesta fase da vida, a respiração é basicamente paradoxal, com o músculo diafragma, os abdominais e intercostais pouco resistentes à fadiga, costelas mais cartilaginosas e horizontalizadas, vias aéreas com menor diâmetro e comprimento, menor número de alvéolos, e ventilação colateral pouco desenvolvida, quando comparado a crianças maiores e adultos ^{3, 4}.

Além disso, o centro bulbar respiratório não se encontra totalmente desenvolvido, provocando um ritmo respiratório irregular ⁵, o que torna a avaliação da biomecânica respiratória um desafio, dificultando muitas vezes um prognóstico precoce e uma tomada de decisão terapêutica imediata ^{6, 7}.

Em decorrência dessas peculiaridades, há anos, a quantificação do movimento da caixa torácica e as monitorizações não invasivas têm sido úteis na avaliação seriada da função pulmonar do recém-nascido (RN) ⁸⁻¹³, despertando um grande interesse da equipe multidisciplinar ¹⁴⁻¹⁹.

Diferentes métodos não invasivos já foram testados propondo mensurações da função pulmonar de lactentes ¹⁹⁻²², mas nenhum desses apresenta um modelo portátil para avaliação assistencial. Há estudos que abrangem desde métodos simples como a cirtometria torácica ²³⁻²⁴, até ferramentas de alto custo, como a plestimografia corporal e a optoeletrônica ^{14-15, 19}.

Reinaux et al. ¹⁵ avaliaram o volume corrente (VC) em lactentes comparando um novo protocolo de mensuração na plestimografia optoeletrônica com o pneumotacógrafo e demonstraram que o método é dinâmico, não invasivo, e permite uma avaliação

tridimensional do complexo toracoabdominal, mas exige que o lactente permaneça imóvel durante a análise, o que inviabiliza a sua aplicação na assistência neonatal¹⁵.

Ripka et al.²⁵ parecem ter testado um modelo de melhor custo e aplicabilidade assistencial, comparado ao método indicado no estudo de Reinaux et al.¹⁵, para avaliação de volumes e capacidades pulmonares, entretanto, estudam adolescentes e utilizam um modelo dependente da respiração ativa, como a sustentação do volume expirado forçado, o que impossibilita a sua aplicabilidade na área neonatal²⁵.

Em neonatologia, os estudos de Guerra et al.¹⁷ e Gomes et al.¹⁸ aplicaram um modelo de avaliação cinemática respiratória para avaliar a influência de diferentes técnicas de fisioterapia sobre a expansibilidade toracoabdominal, a partir do cálculo das áreas do tórax e abdome durante a inspiração e expiração espontâneas¹⁷⁻¹⁸. No entanto, foi feita a análise bidimensional dos movimentos respiratórios, sem a possibilidade de estimar o VC dos RNs observados¹⁷⁻¹⁸.

Considerando os resultados preliminares que envolvem diferentes tentativas de medição da biomecânica respiratória neonatal^{14-15, 17-18}, o presente estudo utilizou um modelo similar de avaliação tridimensional do movimento toracoabdominal proposto por Ripka e colaboradores em 2014²⁵, usando o software Matlab[®]^{18,26}, para estimar o VC de RNs.

O VC, em neonatologia, é rotineiramente mensurado quando em ventilação mecânica invasiva, e o valor esperado é calculado a partir do peso corporal em quilogramas²⁷⁻²⁸. Um valor adequado, com mínimos riscos de lesão pulmonar ou aumento do trabalho respiratório, equivale a 4 a 6 ml/kg²⁷⁻²⁹.

Entretanto, trata-se de uma medida com aplicabilidade restrita à ventilação artificial pois, apesar de corresponder aos valores fisiológicos de VC²⁷⁻²⁹, apresenta utilidade apenas para definir o volume a ser oferecido ao RN através do ventilador mecânico. Dessa forma, não pode ser empregado quando se deseja avaliar a função pulmonar do RN a fim de se detectar possíveis alterações respiratórias.

Por outro lado, a análise da cinemática toracoabdominal tem se tornado um importante instrumento de avaliação como visto na pletismografia optoeletrônica¹⁴⁻¹⁵ e na biofotogrametria bidimensional¹⁷⁻¹⁸ e tridimensional²⁵, demonstrando acurácia para medição da variação das áreas¹⁷⁻¹⁸ e volumes pulmonares¹⁴⁻¹⁵, viabilizando a avaliação da mecânica e dos padrões respiratórios^{14-15, 17-18, 25}.

A análise cinemática tridimensional para mensuração do VC é não invasiva e de fácil aplicação²⁵ quando confrontada com outros métodos que são onerosos e requerem treinamento específico, além de aparelhos próprios para sua execução^{14-15, 19}. Não foram

encontrados outros meios de estimativa indireta de VC para a população neonatal que agreguem as vantagens citadas.

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo avaliar a concordância entre o VC estimado pela análise tridimensional do movimento toracoabdominal no software Matlab®, (MATrix LABoratory, versão R2013a) e o VC previsto pelo peso corporal de RNs a termo.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo piloto metodológico, desenvolvido em um alojamento conjunto de uma maternidade escola do Nordeste brasileiro. O tamanho amostral foi determinado com o auxílio do programa Gpower, considerando-se um coeficiente de correlação de 0,7 com poder de teste igual a 80% e nível alfa de 0,05, resultando em 14 indivíduos.

A amostra foi recrutada de forma não probabilística, por conveniência, no período compreendido entre junho e agosto de 2017. Foram incluídos RNs com idade gestacional (IG) entre 37 e 41 semanas, saudáveis, de ambos os sexos, com até 24 horas de vida, nascidos de parto vaginal ou cirúrgico, respirando em ar ambiente e em estado de vigília.

Não foram incluídos os RNs com malformação congênita, síndrome genética, insuficiência cardíaca ou doenças respiratórias. Os RNs que permaneceram chorando durante a filmagem, mesmo diante das manobras de contenção e aconchego, tais como posicionamento no colo da mãe e sucção não nutritiva, foram excluídos do estudo uma vez que o choro pode alterar o padrão respiratório, interferindo na análise do movimento toracoabdominal.

Todos os familiares e/ou responsáveis pelos RNs assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) permitindo a participação na pesquisa, após esclarecimento quanto aos seus objetivos e métodos. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (protocolo número 80203/2014).

3.2.1 Instrumentos de coleta, aquisição das imagens e procedimentos de análise tridimensional

Os dados, referentes à IG ao nascimento e sexo de cada RN, foram colhidos no prontuário. Na sala do alojamento conjunto, onde a aquisição das imagens foi realizada, foram verificados os parâmetros de frequência respiratória (FR), através da observação da expansão

torácica contando o número de inspirações por um minuto, peso, comprimento, perímetro cefálico e cirtometria torácica.

Utilizou-se uma balança eletrônica pediátrica (Welmy classe III[®], fabricante Welmy, Brasil, modelo 109E, capacidade máxima:15kg, precisão: 5g) e uma fita métrica não distensível (Sanny[®], fabricante Sanny, Brasil, marcação em milímetro, comprimento total: 150cm). As medidas do peso e da cirtometria torácica foram aferidas de acordo com o Manual de Orientação da Sociedade Brasileira de Pediatria ³⁰, mais recentemente descrita por Hadush, Berhe e Medhanyie ³¹.

Em seguida, as filmagens foram realizadas por dois minutos, apenas uma vez, com uma câmera fotográfica digital (Sony Cyber-shot[®], fabricante Sony, Brasil, modelo DSC-H20, sensor: 10.1 Megapixels, 1,8 frames por segundo), posicionada em um tripé para fixação com altura estabelecida de 120cm do chão. O RN foi posicionado em decúbito dorsal, membros superiores em flexão, abdução e rotação externa, e o quadril fletido a aproximadamente 110°, para exposição máxima da região toracoabdominal (Figura 1), sobre uma bancada rígida, coberta por duas folhas pretas de EVA, sendo uma em sua superfície e outra no fundo do cenário, a uma distância de 20 a 30cm da câmera, o suficiente para a completa visualização do RN. A cada participante, a superfície da bancada foi revestida por plástico filme descartável para manter o ambiente limpo.



Figura 1. Posicionamento do RN e dos marcadores adesivos.

A sequência filmada foi avaliada usando uma rotina Matlab[®] (Registro no INPI nº BR 51 2017 001045-5 em 22 de agosto de 2017). A rotina inclui as funções de programação

desenvolvidas para armazenar as imagens coletadas, no formato de frames, ou quadros que compõem o vídeo, bem como delimitar e analisar os compartimentos toracoabdominais. A partir da análise, o Matlab[®] gerou dados bidimensionais, com gráficos e dados quantitativos das áreas torácicas e abdominais de cada segundo de vídeo avaliado, bem como forneceu os valores estimados de VC, variável de interesse do presente estudo, conforme descrito a seguir.

Para calibração do Matlab[®], três marcadores circulares adesivos (Pimaco Bic[®], fabricante Pimaco, Brasil, diâmetro: 12mm) na cor vermelha, foram posicionados na superfície lateral direita do tronco por acadêmicos do último ano da Graduação em Fisioterapia e fisioterapeutas residentes em saúde materno infantil, previamente treinados. Não foram relatados casos de reação alérgica às etiquetas adesivas em nenhum dos RNs avaliados. Os seguintes pontos anatômicos foram marcados: espinha ilíaca anterossuperior, projeção lateral da incisura jugular do manúbrio esternal e do processo xifoide (Figura 1). Este traçado foi descrito por Guerra et al.¹⁷ e Gomes et al.¹⁸.

O algoritmo desenvolvido no programa estima o VC a partir da identificação dos três marcadores. O programa isola as regiões de interesse e contabiliza o número de pixels e sua relação com a área em cm^2 , levando em consideração um modelo tridimensional delimitado em forma de um cilindro com base elíptica, onde a área transversal do corpo do RN representa a base (elipse), calculada pelo valor da circunferência torácica, e a dimensão entre a superfície da bancada até o ponto máximo da região anterior toracoabdominal representa a altura, calculada pela variação do movimento lateral²⁵.

O volume estimado é encontrado pelo produto entre o conjunto de valores da área da elipse e o conjunto de valores da altura, dividido pela quantidade de números do conjunto de valores (o conjunto de valores equivale à variação para cada segundo de análise). Essa análise do vídeo no Matlab[®] foi realizada por um pesquisador cego aos dados do VC esperado para o peso corporal.

O VC previsto foi calculado pelo VC esperado para o peso corporal. O valor médio (5ml/kg) do limiar indicado pela AMIB/SBPT²⁸ (4 a 6ml) foi considerado como resultado para cada um dos RNs avaliados.

3.2.2 Análise estatística

A normalidade das variáveis quantitativas foi constatada pelo teste de Shapiro-Wilk e os dados, apresentados em forma de média, desvio-padrão (DP), valor máximo e mínimo, enquanto as variáveis categóricas foram descritas em frequências e porcentagens.

As médias dos valores de VC estimado e previsto foram submetidas ao teste de correlação de Pearson para verificar o nível de associação. A correlação foi considerada muito alta para valores entre 0,9 e 1,0, alta para 0,7 a 0,9, moderada para 0,5 a 0,7, baixa para 0,3 a 0,5 e correlação insignificante para valores entre 0,0 e 0,3 ³². Seguindo essa mesma classificação para o caso de apresentarem correlações negativas ³².

Além disso, as médias dos volumes correntes encontrados foram comparadas através do teste t de Student pareado, com o intuito de verificar se havia ou não diferença significativa entre os métodos utilizados. Esse resultado foi aplicado à análise de concordância de Bland-Altman.

A análise de concordância de Bland-Altman é expressa em um gráfico de três linhas, sendo uma central que indica a diferença entre as médias e outras duas, localizadas superior e inferiormente ao centro, que definem os limites de concordância ³³. Nesse caso, elas foram calculadas como $\pm 1,96 \times DP$ da diferença entre as médias dos dois métodos (viés): viés $\pm 1,96 DP$. O gráfico apresenta o quanto as diferenças se afastam do valor de zero (viés) e a dispersão dos pontos de diferença ao redor da média (erro) ³³, entre os valores de VC obtidos pelo Matlab[®] e por meio do cálculo do VC ideal previsto.

O intervalo de confiança de 95% e nível de significância de $p \leq 0,05$ foram utilizados em todas as medidas. Toda a análise estatística foi obtida através do IBM SPSS versão 20.0 (SPSS, Chicago, IL, USA).

3.3 RESULTADOS

Foram avaliados 14 RNs e 13 participaram do estudo, sendo oito do sexo feminino (61,5%). O RN excluído não teve o vídeo coletado por chorar quando colocado sobre a bancada de avaliação, apesar das manobras de contenção e aconchego adotadas. Todas as variáveis quantitativas analisadas apresentaram distribuição normal ($p \geq 0,237$), e estão demonstradas na Tabela 1 em formato de média, DP, valor mínimo e máximo.

Tabela 1. Caracterização da amostra e volumes correntes estimados (n=13)

<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>DP</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Idade gestacional (semanas)	39	0,8	37	41
Peso (g)	3175,4	493,8	2300,0	3985,0
Comprimento (cm)	49,0	2,8	45,0	55,6
Frequência respiratória (irpm)	48	8,2	35	64
Cirtometria torácica (cm)	33,7	1,8	30,0	36,5
VC estimado - Matlab® (ml)	16,3	4,2	10,2	23,2
VC previsto – Peso corporal (ml)	15,9	2,5	11,5	19,9

*g: gramas, cm: centímetros, ml: mililitros, irpm: incursões respiratórias por minuto, VC: volume corrente, teste Shapiro-Wilk.

Levando-se em consideração o peso corporal médio e o volume corrente médio estimado pelo Matlab® para a nossa amostra, temos que o volume corrente foi de 5,1 ml/kg para a análise cinemática tridimensional da região toracoabdominal dos RNs da amostra.

Os resultados demonstram uma alta correlação entre os VC mensurados por meio da análise do movimento toracoabdominal e o cálculo de valor previsto para o peso ($r=0,724$; $p=0,005$). A diferença entre os VC estimado e previsto foi de 0,4 ml (viés), com $DP=2,9$ ml e os limites de concordância de -5,2 a 6,0 ml (intervalo de confiança 95%, $p=0,624$) (Figura 2).

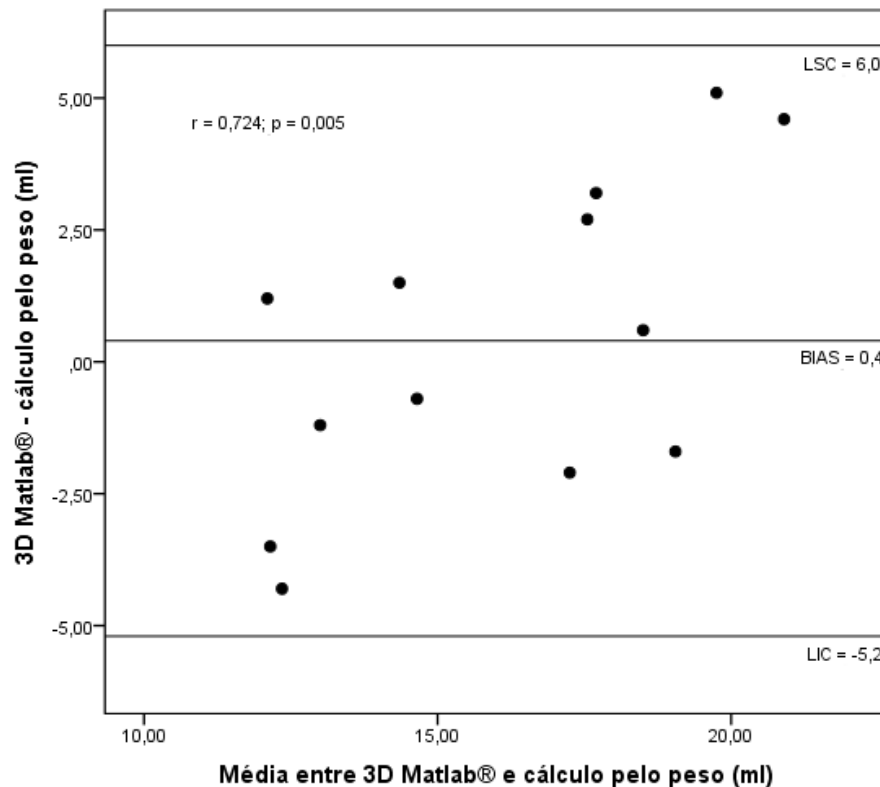


Figura 2. Gráfico de Bland-Altman representando as diferenças para o VC entre os valores dos dois métodos de mensuração (eixo Y) comparadas à média das medições (eixo X). A linha central representa o viés, ou média das diferenças, e as duas outras linhas, o intervalo de confiança (95%). LSC = Limite Superior de Concordância, LIC = Limite Inferior de Concordância, r = Coeficiente de Correlação de Pearson.

3.4 DISCUSSÃO

Nossos resultados demonstram uma correlação positiva alta e boa concordância entre o VC estimado pela análise tridimensional com o Matlab® e o predito para a idade de acordo com o peso corporal. Resgatando a valorização da quantificação dos movimentos toracoabdominais para avaliação da função pulmonar e inovando sobre a forma de medir o VC na rotina clínica neonatal, permitindo uma avaliação seriada e não invasiva.

A quantificação dos movimentos toracoabdominais e dos volumes pulmonares é importante para a detecção precoce de desequilíbrios do sistema respiratório¹. Mesmo em RNs sem disfunção ventilatória aparente, a estrutura anátomo-fisiológica é responsável por prejuízos à mecânica respiratória^{3-4, 34}. Nessa fase da vida, a parede torácica é complacente e o parênquima pulmonar resistente, e esta oposição dificulta a troca gasosa e aumenta o esforço respiratório, o que justifica uma avaliação seriada e acurada durante a assistência neonatal e ao longo do crescimento e desenvolvimento das funções respiratórias^{3-4, 34-35}.

Outro fator que justifica uma avaliação seriada e não invasiva relaciona-se à impossibilidade de cooperação do RN³⁶ e à dificuldade de acesso a equipamentos precisos, como a pletismografia optoeletrônica. Esse método estima os volumes pulmonares a partir de câmeras com feixes de luz infravermelha que captam a posição de marcadores reflexivos alocados no tórax do paciente³⁷ e desde 2010, este equipamento tem um modelo geométrico adaptado para RNs¹⁴.

Em 2016, um novo modelo geométrico de avaliação neonatal foi proposto por Reinaux et al.¹⁵. Nesse estudo, os autores compararam um modelo geométrico ao pneumotacógrafo em lactentes entre três e quatro meses de vida. O VC estimado médio foi de 9,6 ml/kg, valor maior ao do nosso estudo possivelmente devido à idade mais alta da amostra, em ambos os aparelhos e o viés próximo a zero, comprovando a concordância entre eles¹⁵. Contudo, Dellaca et al.¹⁴ e Reinaux et al.¹⁵ utilizaram de seis a oito câmeras e fixaram 52 marcadores

ao tórax do lactente, apontando a dificuldade em transpor esta tecnologia para a rotina dos serviços de assistência neonatal¹⁴⁻¹⁵.

Talvez sejam as vantagens da fácil aplicação e reprodutibilidade que justificam a análise do movimento toracoabdominal por meio do modelo biofogramétrico apresentado, como uma prática comum e perdurável na assistência neonatal³⁴. Em 1956, Silverman e Andersen descreveram, pela primeira vez, um escore de avaliação do padrão respiratório, de RN prematuros, pela observação do movimento toracoabdominal^{8,12}. Desde então, a análise cinemática do movimento toracoabdominal tem sido indicada como uma importante ferramenta de avaliação do sistema respiratório, o que sugere que estamos no caminho correto de avaliação^{14-15, 17-18, 22, 25-26, 34, 37-38}.

O contínuo aperfeiçoamento tecnológico possibilita a projeção de instrumentos e formas de avaliação que possibilitam o monitoramento preciso dos pacientes, ampliando a capacidade de diagnóstico e planejamento terapêutico seguro nos serviços de saúde³⁴. O método de avaliação, apresentado no presente estudo, corrobora os achados anteriores de Guerra et al.¹⁷, Gomes et al.¹⁸, Ripka et al.²⁵ e Ferk et al.³⁴.

O modelo cinemático sugerido foi capaz de perceber pequenas variações toracoabdominais e estimar o VC dos RNs da amostra, inovando ao propor uma avaliação dinâmica e tridimensional, com a utilização da filmagem à beira do leito. Gerar dados quantitativos da função respiratória com a necessidade de apenas uma câmera fotográfica, que possua a função de gravar vídeos, e a rotina desenvolvida para um determinado *software* é proporcionar a prática baseada em evidências de maneira viável.

O que reforça a hipótese de investir no método indicado em nosso estudo justifica-se, não apenas na concordância entre os dois volumes, mas também pela proximidade dos valores quando comparados ao estudo de Bentsen et al.²². Em seu estudo, Bentsen et al.²² compararam a função pulmonar de RNs a termo saudáveis e extremamente prematuros através da pletismografia por indutância eletromagnética (PIE), encontrando um VC médio de 4,6 ml/kg para RNs a termo, valor próximo ao do presente estudo.

Olden et al.³⁸ já haviam utilizado a PIE em RNs a termo com o objetivo de quantificar parâmetros do VC e comparar a repetibilidade das suas medidas com um sistema de teste de função pulmonar com vias aéreas abertas (sem máscara facial). Os autores encontraram um VC médio de 5,4 ml/kg, porém com valores absolutos significativamente diferentes quando comparados aos valores encontrados quando em uso da máscara (20,6 ml), sugerindo que, o

espaço morto pode ter contribuído com esse valor e reforçando a utilização de instrumentos que não requerem o seu uso ³⁸, como o demonstrado em nosso estudo.

Ripka et al. ²⁵ também utilizaram uma análise cinemática com uso da filmagem. Em seu estudo, os autores compararam o Volume Expiratório Forçado no Primeiro segundo (VEF1) da análise cinemática por vídeo e espirometria e encontraram resultados similares entre os métodos. Por estudarem adolescentes saudáveis, ressaltam a importância de testar a sua metodologia em outras populações, para que seja observada a sensibilidade do método em pequenos deslocamentos ²⁵.

O estudo aponta resultados promissores quanto a mensuração indireta e não invasiva do VC em RNs, podendo ser utilizado, posteriormente, para quantificar o volume pulmonar em pacientes com patologias que acarretem distúrbios ventilatórios, bem como parâmetro para avaliação de condutas terapêuticas empregadas com a finalidade de melhorar a função respiratória. Optou-se por estudar RNs saudáveis nesse momento devido à forma utilizada para verificar a concordância, o VC previsto pelo peso corporal, que reflete a ventilação fisiológica do período neonatal. Assim, o estudo não contemplou a comparação com um modelo validado como a pletismografia corporal ou optoeletrônica, devido à indisponibilidade dos referidos aparelhos.

Para o futuro, espera-se além de resolver as limitações impostas nesse estudo, quantificar os avanços clínicos a partir de uma avaliação seriada do VC com a incorporação da filmagem em equipamentos rotineiramente usados na unidade neonatal, como incubadoras e monitores multiparamétricos, e dessa forma, possibilitar a identificação precoce de alterações da mobilidade e dos volumes pulmonares. Além disso, almeja-se que o conhecimento produzido possa ser incorporado à rotina dos profissionais neonatologistas, com intervenções à beira do leito, de maneira prática e efetiva.

3.5 CONCLUSÕES

Os métodos para mensuração do VC são intercambiáveis nos RNs da amostra, sugerindo que a análise tridimensional do movimento toracoabdominal no software Matlab[®] pode estimar o VC de RNs termos, de forma simples, rápida e não invasiva, possibilitando uma medição indireta e seriada, o que favorece o acompanhamento do desenvolvimento do sistema respiratório de maneira precoce. Contudo, novos estudos são necessários para ampliar

a aplicabilidade do método em indivíduos de diferentes faixas etárias e condições de saúde, a fim de auxiliar o diagnóstico e planejamento terapêutico na rotina assistencial.

3.6 REFERÊNCIAS

1. Irvin CG, Wanger J. Breathing In: The Determinants of Lung Volume. In: Kaminsky D, Irvin C. (eds) Pulmonary Function Testing. Respiratory Medicine. Humana Press, Cham. 2018: 43-60.
2. Delgado RN, Campos TF, Borja RO, Freitas DA, Chaves G, Mendonca KMPP. Maximal respiratory pressures of healthy children: comparison between obtained and predicted values. Pediatric Physical Therapy: the official publication of the Section on Pediatrics of the American Physical Therapy Association. 2015; 27(1):31-7.
3. Carvalho FA, Peixe AAF, Raimundo RD. Insuficiência respiratória aguda. In: Sarmiento GJV. Fisioterapia respiratória em pediatria e neonatologia. 2ª edição. Manole; 2011. p. 151-65.
4. Matsuno AK. Insuficiência respiratória aguda na criança. Medicina. 2012; 45(2):168-84.
5. Bavis RW, MacFarlane PM. Developmental plasticity in the neural control of breathing, Exp Neurol. 2017; 287(2):176-91.
6. Bavis RW, Mitchell GS. Long-term effects of the perinatal environment on respiratory control. J Appl Physiol. 2008; 104(4):1220-9.
7. Mattiello R, Mallol J, Fischer GB, Mocelin HT, Rueda B, Sarria EE. Função pulmonar de crianças e adolescentes com bronquiolite obliterante pós-infecciosa. J Bras Pneumol. 2010; 36(4):453-9.
8. Silverman WA, Andersen DH. A controlled clinical trial of effects of water mist on obstructive respiratory signs, death rate and necropsy findings among premature infants. Pediatrics. 1956; 17(1):1-10.
9. Morgan WJ, Geller DE, Tepper RS, Taussig LM. Partial expiratory flow-volume curves in infants and young children. Pediatr Pulmonol. 1988; 5(4):232-43.
10. Sivan Y, Deakers TW, Newth CJL. Thoracoabdominal asynchrony in acute upper airway obstruction in small children. Am Rev Respir Dis. 1990; 142(3):540-4.
11. Allen JL, Wolfson MR, McDowell K, Shaffer TH. Thoracoabdominal asynchrony in infants with airflow obstruction. Am Rev Respir Dis. 1990; 141(2):337-42.
12. Allen JL, Greenspan JS, Deoras KS, Keklikian E, Wolfson MR, Shaffer TH. Interaction between chest wall motion and lung mechanics in normal infants and infants with bronchopulmonary dysplasia. Pediatr Pulmonol. 1991; 11(1):37-43.

13. Jensen EA, Panitch H, Feng R, Moore PE, Schmidt B. Interobserver reliability of the respiratory physical examination in premature infants: a multicenter study. *J Pediatr.* 2016; 178:87-92.
14. Dellaca RL, Ventura ML, Zannin E, Natile M, Pedotti A, Tagliabue P. Measurement of Total and Compartmental Lung Volume Changes in Newborns by Optoelectronic Plethysmography. *Pediatric Research.* 2010; 67(1):11-6.
15. Reinaux CMA, Aliverti A, Silva LGM, Silva RJ, Goncalves JN, Noronha JB, et al. Tidal volume measurements in infants: Opto-electronic plethysmography versus pneumotachograph. *Pediatr Pulmonol.* 2016; 51(8):850-7.
16. Barbosa RF, Simões e Silva AC, Silva YP. A randomized controlled trial of the laryngeal mask airway for surfactant administration in neonates. *J Pediatr.* 2017; 93(4): 343-50.
17. Guerra JIA, Nagem DAP, Morann CA, Gomes VLS, Carvalho JMC, Pereira SA. Thoracoabdominal mobility evaluation by photogrammetry in newborns after expiratory flow increase technique. *Fisioter Mov.* 2017; 30(4):789-95.
18. Gomes DC, Fonseca Filho GG, Araujo AGF, Gomes VLS, Medeiros Junior NB, Vale BEC, et al. Avaliação biofotogramétrica da mobilidade toracoabdominal de recém-nascido após fisioterapia respiratória. *Fisioter Bras.* 2018; 19(1):28-34.
19. Gonçalves DMM, Wandalsen GF, Scavacini AS, Lanza FC, Goulart AL, Solé D, et al. Pulmonary function in former very low birth weight preterm infants in the first year of life. *Respiratory Medicine.* 2018; 136:83-7.
20. Larsen GL, Kang JKB, Guilbert T, Morgan W. Assessing respiratory function in young children: Developmental considerations. *J Allergy Clin Immunol.* 2005; 115(4):657-666.
21. Colom AJ, Teper AM, Vollmer WM, Diette GB. Risk factors for the development of bronchiolitis obliterans in children with bronchiolitis. *Thorax.* 2006; 61(6):503-6.
22. Bentsen MH, Markestad T, Øymar K, Halvorsen T. Lung function at term in extremely preterm-born infants: a regional prospective cohort study. *BMJ Open.* 2017; 7:e016868.
23. Pedrini A, Gonçalves MA, Leal BE, Yamaguti WPS, Paulin E. Comparison between the measures of thoracoabdominal cirtometry in supine and standing. *Fisioter Pesq.* 2013; 20(4):373-8.
24. Silva ROE, Campos TF, Borja RO, Macêdo TMF, Oliveira JS, Mendonça KMPP. Valores de referência e fatores relacionados à mobilidade torácica em crianças brasileiras. *Rev Paul Pediatr.* 2012; 30(4):570-5.
25. Ripka WL, Ulbricht L, Gewehr PM. Application of a photogrammetric kinematic model for prediction of lung volumes in adolescents: a pilot study. *Biomedical engineering online.* 2014; 13(1): 21.
26. Oliveira HB, Pereira SA, Vale BEC, Nagem DAP. Image Recognition System For Evaluating Thoracoabdominal Movements In Newborns. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica Em Saúde.* 2016; 6(5):1-10.

27. Peixe AAF, Carvalho FA. Pneumonia na Infância. In: Sarmiento GJV. Fisioterapia respiratória em pediatria e neonatologia. 2ª edição. Manole; 2011. p. 36 -60.
28. AMIB/SBPT. Diretrizes Brasileiras de Ventilação Mecânica. 2013.
29. Patel DS, Rafferty GF, Lee S, Hannam S, Greenough A. Work of breathing and volume targeted ventilation in respiratory distress. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2010; 95(6):443-6.
30. SBP. Avaliação nutricional da criança e do adolescente – Manual de Orientação/Sociedade Brasileira de Pediatria. Departamento de Nutrologia. São Paulo: Sociedade Brasileira de Pediatria. Departamento de Nutrologia, 2009. p. 16-112.
31. Hadush MY, Berhe AH, Medhanyie AA. Foot length, chest and head circumference measurements in detection of Low birth weight neonates in Mekelle, Ethiopia: a hospital based cross sectional study. *BMC Pediatr.* 2017; 17(1):111.
32. Mukaka MM. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal.* 2012; 24(3):69-71.
33. Giavarina D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia Medica.* 2015; 25(2):141–51.
34. Fekr AR, Janidarmian M, Radecka K, Zilic Z. Movement analysis of the chest compartments and a real-time quality feedback during breathing therapy. *Netw Model Anal Health Inform Bioinforma.* 2015; 4:21.
35. Neumann RP, von Ungern-Sternberg BS. The neonatal lung-physiology and ventilation. *Paediatric Anaesthesia.* 2014; 24(1):10-21.
36. Ferreira MS, Mendes RT, Marson FA, Zambon MP, Antonio MA, Paschoal IA, et al. Spirometry and volumetric capnography in lung function assessment of obese and normal-weight individuals without asthma. *J Pediatr.* 2017; 93(4):398-405.
37. Parreira VF, Vieira DSR, Myrrha MAC, Pessoa IMBS, Lage SM, Britto RR. Pletismografia optoeletrônica: uma revisão da literatura. *Rev Bras Fisioter.* 2012; 16(6):439-53.
38. Olden C, Symes E, Seddon P. Measuring tidal breathing parameters using a volumetric vest in neonates with and without lung disease. *Pediatr Pulmonol.* 2010; 45(11):1070-5.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise cinemática tridimensional é uma realidade descrita na literatura como meio para avaliação da função respiratória. Sua aplicação em neonatologia ainda é limitada, pois são poucos os modelos que se adequam às características específicas dos RNs.

Dessa forma, o método apresentado representa um avanço no desenvolvimento de instrumentos simples, não invasivos, de aplicação rápida e segura para estimar o VC de RNs a termo. A boa correlação encontrada e a concordância entre os métodos utilizados sugerem que a análise tridimensional do movimento toracoabdominal no *software* Matlab[®] pode ser útil no monitoramento do crescimento e desenvolvimento do sistema respiratório, desde os primeiros dias de vida, à beira do leito.

Apesar dos benefícios apontados, a pesquisa em relação ao tema deve ser aprofundada para expandir a aplicabilidade do método em diferentes idades, auxiliando o diagnóstico e planejamento terapêutico de disfunções ventilatórias, bem como ampliando o conhecimento sobre a função respiratória neonatal.

5 REFERÊNCIAS

1. Carvalho FA, Peixe AAF, Raimundo RD. Insuficiência respiratória aguda. In: Sarmiento GJV. Fisioterapia respiratória em pediatria e neonatologia. 2ª edição. Manole. 2011; p. 151-65.
2. Peixe AAF, Carvalho FA, Sarmiento GJV. Avaliação de fisioterapia respiratória pediátrica e neonatal. In: Sarmiento GJV. Fisioterapia respiratória em pediatria e neonatologia. 2ª edição. Manole. 2011; p. 20-35.
3. Matsuno AK. Insuficiência respiratória aguda na criança. *Medicina*. 2012; 45(2):168-84.
4. Bavis RW, MacFarlane PM. Developmental plasticity in the neural control of breathing. *Exp Neurol*. 2017; 287(2):176-91.
5. West JB. *Fisiologia Respiratória: Princípios Básicos*. 9ª Edição. Artmed. 2013.
6. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Atenção à saúde do recém-nascido : guia para os profissionais de saúde / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. – 2. ed. – Brasília: Ministério da Saúde, 2012.
7. Scavacini AS, Miyoshi MH, Kopelman BI, Peres CA. Chest expansion for assessing tidal volume in premature newborn infants on ventilators. *J Pediatr*. 2007; 83(4):329 – 34.
8. Patel DS, Rafferty GF, Lee S, Hannam S, Greenough A. Work of breathing and volume targeted ventilation in respiratory distress. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2010; 95(6):443-6.
9. Beydon N, Davis SD, Lombardi E, Allen JL, Arets HGM, Aurora P, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007; 175(12):1304-45.

10. Lanza FC, Camargo AA, Archija LRF, Selman JPR, Malaguti C, Dal Corso S. Chest Wall Mobility Is Related to Respiratory Muscle Strength and Lung Volumes in Healthy Subjects. *Respiratory Care*. 2013; 58(12):2107-12.
11. Peterson-Carmichael S, Seddon PC, Cheifetz IM, Frerichs I, Hall GL, Hammer J, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society workshop report: Evaluation of respiratory mechanics and function in the pediatric and neonatal intensive care units. *Ann Am Thorac Soc*. 2016; 13(2):S1-S11.
12. Dellaca RL, Ventura ML, Zannin E, Natile M, Pedotti A, Tagliabue P. Measurement of Total and Compartmental Lung Volume Changes in Newborns by Optoelectronic Plethysmography. *Pediatric Research*. 2010; 67(1):11-6.
13. Marques LMA. Functional Respiratory Study in Preschool Children: A Review. *J Lung Pulm Respir Res*. 2015; 2(5):00058.
14. Jat KR. Spirometry in children. *Prim Care Respir J*. 2013; 22(2): 221-9.
15. Ricieri DV, Rosário Filho NA. Effectiveness of a photogrammetric model for the analysis of thoracoabdominal respiratory mechanics in the assessment of isovolume maneuvers in children. *J Bras Pneumol*. 2009; 35(2):144-50.
16. Guerra JIA, Nagem DAP, Moran CA, Gomes VLS, Carvalho JMC, Pereira SA. Thoracoabdominal mobility evaluation by photogrammetry in newborns after expiratory flow increase technique. *Fisioter Mov*. 2017; 30(4):789-95.
17. Gomes DC, Fonseca Filho GG, Araujo AGF, Gomes VLS, Medeiros Junior NB, Vale BEC, et al. Avaliação biofotogramétrica da mobilidade toracoabdominal de recém-nascido após fisioterapia respiratória. *Fisioter Bras*. 2018; 19(1):28-34.
18. Gonçalves DMM, Wandalsen GF, Scavacini AS, Lanza FC, Goulart AL, Solé D, et al. Pulmonary function in former very low birth weight preterm infants in the first year of life. *Respiratory Medicine*. 2018; 136:83-7.
19. Reinaux CMA, Aliverti A, Silva LGM, Silva RJ, Goncalves JN, Noronha JB, et al. Tidal volume measurements in infants: Opto-electronic plethysmography versus pneumotachograph. *Pediatr Pulmonol*. 2016; 51(8):850-7.
20. Bentsen MH, Markestad T, Øymar K, Halvorsen T. Lung function at term in extremely preterm-born infants: a regional prospective cohort study. *BMJ Open*. 2017; 7:e016868
21. Olden C, Symes E, Seddon P. Measuring tidal breathing parameters using a volumetric vest in neonates with and without lung disease. *Pediatr Pulmonol*. 2010; 45(11):1070-5.
22. Ripka WL, Ulbricht L, Gewehr PM. Application of a photogrammetric kinematic model for prediction of lung volumes in adolescents: a pilot study. *Biomedical engineering online*. 2014; 13(1): 21.

23. Silverman WA, Andersen DH. A controlled clinical trial of effects of water mist on obstructive respiratory signs, death rate and necropsy findings among premature infants. *Pediatrics*. 1956; 17(1):1-10.
24. Parreira VF, Vieira DSR, Myrrha MAC, Pessoa IMBS, Lage SM, Britto RR. Pletismografia optoeletrônica: uma revisão da literatura. *Rev Bras Fisioter*. 2012; 16(6):439-53.
25. Reiterer F, Sivieri E, Abbasi S. Evaluation of bedside pulmonary function in the neonate: From the past to the future. *Pediatr Pulmonol*. 2015; 50(10):1039-50.
26. Silva ROE, Campos TF, Borja RO, Macêdo TMF, Oliveira JS, Mendonça KMPP. Valores de referência e fatores relacionados à mobilidade torácica em crianças brasileiras. *Rev Paul Pediatr*. 2012; 30(4):570-5.
27. Hadush MY, Berhe AH, Medhanyie AA. Foot length, chest and head circumference measurements in detection of Low birth weight neonates in Mekelle, Ethiopia: a hospital based cross sectional study. *BMC Pediatr*. 2017; 17(1):111.
28. Hammer J, Newth CJL. Assessment of thoracoabdominal asynchrony. *Paediatric Resp Reviews*. 2009; 10(2):75-80.
29. Emeriaud G, Baconnier P, Eberhard A, Debillon T, Calabrese P, Benchetrit G. Variability of end-expiratory lung volume in premature infants. *Neonatology*. 2010; 98(4):321-9.
30. Pickerd N, Williams EM, Kotecha S. Electromagnetic inductance plethysmography to measure tidal breathing in preterm and term infants. *Pediatric Pulmonol*. 2013; 48(2):160-7.
31. Gomes VLS, Farias PHS, Nagem DAP, Gomes DC, Silva GFA, Moran CA, et al. Impact of type of delivery on thoracoabdominal mobility of newborns. *J Hum Growth Dev*. 2018; 28(2): 148-53.
32. Oliveira HB, Pereira SA, Vale BEC, Nagem DAP. Image Recognition System For Evaluating Thoracoabdominal Movements In Newborns. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica Em Saúde*. 2016; 6(5):1-10.
33. Santos JB, Amorim RFC, Cavalcante LPA. Análise do conforto térmico humano no município de Arapiraca – Alagoas, utilizando software MATLAB. *Revista Brasileira de Geofísica*. 2014; 7(5): 939-48.