

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE DA CRIANÇA E DO
ADOLESCENTE (PPGSCA)**

**A INFLUÊNCIA DO PESO NOS VALORES DA
MECÂNICA PULMONAR DE CRIANÇAS
SUBMETIDAS À VENTILAÇÃO MECÂNICA**

TESE DE DOUTORADO

FRANCISCO BRUNO

Porto Alegre, Brasil, 2018.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE DA CRIANÇA E DO
ADOLESCENTE (PPGSCA)**

**A INFLUÊNCIA DO PESO NOS VALORES DA
MECÂNICA PULMONAR DE CRIANÇAS
SUBMETIDAS À VENTILAÇÃO MECÂNICA**

TESE DE DOUTORADO

FRANCISCO BRUNO

Orientador: Jefferson Pedro Piva

“A apresentação desta tese é exigência do Programa de Pós-Graduação em Saúde da Criança e do Adolescente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para obtenção do título de Doutor”

Porto Alegre, Brasil, 2018.

CIP - Catalogação na Publicação

Bruno, Francisco

A influência do peso nos valores da mecânica pulmonar de crianças submetidas à ventilação mecânica / Francisco Bruno. -- 2018.

109 f.

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Piva.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Saúde da Criança e do Adolescente, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. terapia intensiva. 2. mecânica ventilatória. 3. resistência de via aérea. 4. complacência pulmonar. 5. pediatria. I. Piva, Prof. Dr. Jefferson, orient. II. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE DA CRIANÇA
E DO ADOLESCENTE (PPGSCA)**

**A INFLUÊNCIA DO PESO NOS VALORES DA
MECÂNICA PULMONAR DE CRIANÇAS
SUBMETIDAS À VENTILAÇÃO MECÂNICA**

TESE DE DOUTORADO

FRANCISCO BRUNO

Orientador: Jefferson Pedro Piva

“A apresentação desta tese é exigência do Programa de Pós-Graduação em Saúde da Criança e do Adolescente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para obtenção do título de Doutor”

Defesa: 03/07/2018

Prof. Dr. Paulo José Cauduro Marostica
Programa De Pós-Graduação em Saúde da Criança e do Adolescente - UFRGS

Profa. Dra. Silvia Regina Rios Vieira
Departamento de Medicina Interna - UFRGS

Prof. Dr. Humberto Holmer Fiori
Programa De Pós-Graduação em Pediatria e Saúde da Criança - PUCRS

Porto Alegre, Brasil, 2018

Dedicatória

Agradeço a oportunidade de alcançar esta etapa aos meus pais Gennaro e Maria, pela motivação, orientação e, por estarem sempre a meu lado e também, aos meus filhos Daniel e Isabela, a quem espero transmitir amor, apoio e direção. Vocês são o estímulo para eu nunca desistir das novas tarefas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao Orientador, Professor e, Pesquisador, Doutor e Professor Jefferson Pedro Piva, amigo e colega, a quem devo toda a inspiração para a realização desta pesquisa, sempre à disposição, desde o projeto até a finalização. Incentivador e inovador, tua curiosidade científica de um jovem médico e experiência de um velho pesquisador foram, são e, serão fundamentais para a evolução da terapia intensiva pediátrica mundial.

Ao Doutor e Professor Pedro Celiny Ramos Garcia, a quem devo a iniciativa para a atuação na terapia intensiva pediátrica, sempre um entusiasta pela pesquisa. Agradeço a companhia do dia-a-dia e, também teu incentivo para que esta obra se realizasse.

À minha amiga e colega de trabalho, mestrado e, agora doutorado, Cinara Andreolio, obrigado pela parceria de sempre, no trabalho na UTIP e na atividade acadêmica, onde o apoio foi fundamental para a concretização desta pesquisa.

À Doutora e Professora Rita Mattiello, pelo sua orientação, dedicação e disponibilidade na análise estatística desta pesquisa.

Ao Doutor e Professor Paulo Roberto A. Carvalho, pelo apoio dado para a realização desta tese.

Ao Doutor e Professor Renato Machado Fiori pelo seu exemplo profissional, tanto como médico e quanto professor.

Aos meus colegas Paulo R. Einloft e Cristian T. Tonial da UTIP do HSL da PUCRS, pela ajuda na rotina de trabalho diária, onde prestam um atendimento assistencial e educacional exemplar, tanto para os residentes e acadêmicos, quanto aos pacientes assistidos.

Ao meu amigo e colega João Carlos Santana, pela parceria e estímulo desde o período da residência em pediatria.

A todos os meus colegas plantonistas da terapia intensiva, do HCPA e da PUC, cada um com suas características peculiares. Como é bom estar ao lado de vocês e saber o papel grandioso que representam.

Aos residentes de terapia intensiva pediátrica, do HCPA e da PUC, jovens que com sua avidez e seus questionamentos, estimulam para a realização de uma assistência de excelência aos nossos pequenos doentes.

A todos que participam do bom funcionamento das UTIPs, fisioterapeutas, enfermeiras, psicólogas, entre outros, fundamentais para o atendimento da criança criticamente enferma.

RESUMO

OBJETIVO: analisar a influência do peso corporal na mecânica pulmonar de crianças submetidas à ventilação mecânica (VM).

MÉTODOS: Estudo transversal realizado em duas unidades de Terapia Intensiva Pediátricas (UTIP): do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) e do Hospital São Lucas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (HSL PUCRS). Analisadas as crianças de 1 mês até 14 anos que evoluíram para VM e permaneceram por mais de 24h, no período de março de 2016 a fevereiro de 2017. As medidas avaliadas referentes à mecânica pulmonar foram: autoPEEP; complacência dinâmica (CDyn); complacência estática (Cest); elastância; resistência expiratória (RE) e; resistência inspiratória (RI) coletadas a partir do registro disponível no respirador e, aferidas no modo ventilatório volume controlado. Foi realizada a correlação entre a mecânica pulmonar com a idade e peso e com os diferentes padrões de comprometimento pulmonar. O nível de significância adotado foi o valor de $p < 0,05$. A associação entre as variáveis foi analisada mediante a correlação de Pearson (variáveis paramétricas) e Spearman (variáveis não paramétricas). O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa das duas instituições.

RESULTADOS: Foram avaliadas 124 crianças nas primeiras 24h de VM, com mediana da idade de 5,0 (IQ₂₅₋₇₅ 2-22) meses, peso de 6,3 (IQ₂₅₋₇₅ 4,5-11,0) Kg, tempo de ventilação de 7 (IQ₂₅₋₇₅ 5-9) dias e de internação em UTIP de 10 (IQ₂₅₋₇₅ 7-15) dias. As médias dos parâmetros da VM utilizados foram: PIP de 30 ± 6 cmH₂O; PEEP 6 ± 2 cmH₂O; volume corrente expiratório (VCE) $10,4 \pm 2,0$ ml/kg e; pressão média da via aérea (PMVA) $12,6 \pm 3,0$ cmH₂O. Na avaliação da mecânica pulmonar das crianças, observamos mediana da autoPEEP 2,0 (IQ₂₅₋₇₅ 1,0-4,7) cmH₂O, RE 120,0 (IQ₂₅₋₇₅ 68,0-162,0) cmH₂O/L/s, RI 94 (IQ₂₅₋₇₅ 54-156) cmH₂O/L/s, CDyn 3,0 (IQ₂₅₋₇₅ 1,8-6,4) ml/cmH₂O, CE 4,9 (IQ₂₅₋₇₅ 3,0-10,0) ml/cmH₂O, elastância 200 (IQ₂₅₋₇₅ 98-313) cmH₂O/L. Os pacientes classificados no padrão de doença obstrutiva constituíram o

maior grupo (91 pacientes), sendo, na média, mais jovens (3,7 meses), com menor peso (5,5 Kg), apresentavam maiores valores da autoPEEP (3 cmH₂O), RI (113 cmH₂O/L/s), RE (137 cmH₂O/L/s) e menor CDyn (2,3 ml/cm/H₂O) e Cest (4,4 ml/cm/H₂O) em relação aos outros padrões de comprometimento pulmonar. A Cest apresentou uma forte associação com o peso corpóreo ($r=0,809$; $p<0,001$). O tempo de VM não apresentou associação significativa com a RI ($r=0,119$, $p=0,19$), com a Cest ($r=-0,208$, $p=0,02$), com a PIP ($r=0,169$, $p=0,06$), autoPEEP ($r=-0,046$, $p=0,6$) e tampouco com a PMVA ($r=0,216$, $p=0,016$). Chama a atenção o fato de crianças menores de 6kg apresentarem uma RI muito alta e uma Cest muito baixa ($p<0,001$). As Cest e CDyn apresentaram uma forte correlação principalmente nas crianças menores de 6Kg.

CONCLUSÃO: A avaliação da mecânica pulmonar em crianças menores de 1 ano que utilizaram a VM por mais de 24h, independentemente da doença pulmonar primária, permitiu observar uma resistência pulmonar muito elevada e uma complacência muito baixa. A Cest apresentou uma forte associação com o peso corporal. Esses aspectos da mecânica pulmonar devem ser considerados quando definimos uma estratégia ventilatória.

PALAVRAS CHAVE: terapia intensiva, mecânica ventilatória, resistência de via aérea, complacência pulmonar, ventilação mecânica, pediatria.

ABSTRACT

OBJECTIVES: to analyze the influence of the body weight on the pulmonary mechanics of children submitted to mechanical ventilation (MV).

METHODS: A cross-sectional study was conducted involving two Pediatric Intensive Care Units (PICU): Hospital de Clínicas de Porto Alegre – UFRGS and at Hospital São Lucas of PUCRS (Brazil). Were evaluated children up to 14 years of age who progressed to MV and remained on MV longer than 24 hours, from March 2016 to February 2017. The measures evaluated related to pulmonary mechanics were: auto-PEEP, dynamic compliance (DC), static compliance (SC), elastance, expiratory resistance (ER), inspiratory resistance (IR) collected from the record available on the ventilator, measured in controlled volume ventilatory mode. The correlation between pulmonary mechanics with age and weight and with the different pulmonary models were measured. The level of significance was set at $p < 0.05$. The association between variables was analyzed using the Pearson correlation (parametric variables) and Spearman (non-parametric variables). The study was approved by the Ethical and Research Committee of both institutions.

RESULTS: 124 children submitted to MV in both PICU were evaluated. The median age of the children was 5 (IQ₂₅₋₇₅ 2-22) months old, weight 6.3 (IQ₂₅₋₇₅ 4.5-11.0) kg, MV length of stay 7 (IQ₂₅₋₇₅ 5-9) days, PICUs length of stay of 10 (IQ₂₅₋₇₅ 7-15) days. The mean PIP was 30 ± 6 cmH₂O, PEEP 6 ± 2 cmH₂O, expiratory tidal volume 10.4 ± 2.0 ml/kg and airway mean pressure (AMP) 12.6 ± 3.0 cmH₂O. The median of the pulmonary mechanics were: auto-PEEP 2.0 (IQ₂₅₋₇₅ 1.0-4.7) cmH₂O, ER 120.0 (IQ₂₅₋₇₅ 68.0-162.0) cmH₂O/L/s, IR 94.0 (IQ₂₅₋₇₅ 54.0-156.0) cmH₂O/L/s, DC 3.0 (IQ₂₅₋₇₅ 1.8-6.4) ml/cmH₂O, SC 4.9 (IQ₂₅₋₇₅ 3.0-10.0) ml/cmH₂O, elastance 200.0 (IQ₂₅₋₇₅ 98.0-313.0) cmH₂O/L. Patients classified as obstructive disease model were the largest group, mean age 3.7 month old, weight 5.5kg, presenting the highest median values of auto-PEEP 3.0 cmH₂O, IR 113.0 cmH₂O/L/s and lower SC 4.4 ml/cmH₂O. The SC

and body weight presented strong association ($r = 0.809$, $p < 0.001$). The length of MV did not present statistical association with any of the pulmonary mechanics variables. Children weighing less than 6 kg presented a very high IR and a very low SC ($p < 0.001$). SC and DC presented a strong correlation in small children less than 6kg.

CONCLUSIONS children young than one-year old submitted to MV, independently of the primary lung disease, present very high airway resistance and low compliance. Static compliance presents a very strong association with the body weight. These aspects of the pulmonary mechanics should be considered when defining the ventilatory mode.

KEY-WORDS: critical care; respiratory mechanics; airway resistance; lung compliance; mechanical ventilation; pediatrics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Aferição da mecânica pulmonar	32
Figura 2. Gráfico com o cálculo do tamanho da amostra.....	36
Figura 3. Gráfico de correlação entre a complacência estática e o peso para cálculo da amostra	36

ARTIGO ORIGINAL

Figura 1. Correlação da resistência inspiratória com o peso nas crianças em ventilação mecânica. ..	59
Figura 2. A)Correlação da complacência estática com o peso B) Comparação da complacência estática em crianças com peso menor e maior que 6kg.....	59
Figura 3. Comparação da complacência estática nos 3 padrões de doença pulmonar de crianças em ventilação mecânica	60
Figura 4. Correlação da complacência estática em relação ao peso na doença obstrutiva.....	60
Figura 5. Comparação da complacência estática com a dinâmica com correlação forte	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Avaliação qualitativa da força da correlação entre duas variáveis.....35

ARTIGO

Tabela 1 - Características gerais dos pacientes em ventilação mecânica57

Tabela 2 - Dados analisados da mecânica pulmonar nos diferentes padrões de comprometimento pulmonar.....58

LISTA DE ABREVIATURAS

BH	Balanço Hídrico
CDyn	Complacência Dinâmica
Cest	Complacência Estática
FiO₂	Fração inspirada de Oxigênio
FC	Frequência Cardíaca
FR	Frequência Respiratória
HCPA	Hospital de Clínicas de Porto Alegre
HSL	Hospital São Lucas
ISO	Índice de Saturação de Oxigênio
PEEP	Pressão Expiratória Final Positiva
PIP	Pressão Inspiratória Positiva
PMVA	Pressão Média de Via Aérea
OS	Pressão de Suporte
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
RN	Recém-nascido
RE	Resistência Expiratória
RI	Resistência Inspiratória
SatO₂	Saturação de oxigênio
SUS	Sistema Único de Saúde
Ti	Tempo inspiratório
UTIP	Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica
VCE	Volume de Ar Corrente Expiratório
VCI	Volume de Ar Corrente Inspiratório
VM	Ventilação Mecânica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
3 JUSTIFICATIVA	25
4 OBJETIVOS	27
4.1 GERAL	27
4.2 ESPECÍFICOS	27
5 MÉTODOS.....	28
5.1 DELINEAMENTO	28
5.2 LOCAL	28
5.3 SELEÇÃO DOS PACIENTES	29
5.3.1 População em estudo	29
5.3.2 Critérios de elegibilidade	29
5.4.EXPOSIÇÃO	30
5.5 VARIÁVEIS A SEREM AVALIADAS	33
5.5.1 Variáveis Demográficas	33
5.5.2 Variáveis em estudo	33
5.5.3 Variáveis de desfecho	33
5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
5.7 TAMANHO AMOSTRAL	36
5.8 ASPECTOS ÉTICOS	37
6 REFERÊNCIAS	38
7 ARTIGO ORIGINAL	42
8 ARTIGO ORIGINAL SUBMETIDO– EM INGLÊS	71
9 CONCLUSÕES.....	104
ANEXOS	105
ANEXO 1 – PROTOCOLO	106
ANEXO 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	108

1 INTRODUÇÃO

O uso de ventilação mecânica (VM) é comum em terapia intensiva pediátrica (UTIP) e tem oscilado entre 40-60% das admissões e, mesmo sendo uma terapia essencial para sobrevivência, não é inócua ou isenta de riscos. (FARIAS *et al.*, 2004; TRAIBER *et al.*, 2009; WOLFLER *et al.*, 2011)

A melhoria dos cuidados realizados nas UTIPs diminuiu a mortalidade dos pacientes em VM. A principal meta a ser atingida atualmente é a redução da lesão pulmonar associada à ventilação, evitando assim suas consequências pulmonares e sistêmicas.(PIVA *et al.*, 2015; SLUTSKY; RANIERI, 2013) Crianças com eventos associados a VM, sejam infecciosas ou não, têm aumento da duração na ventilação e conseqüentemente tempo de internação na UTIP.(GUESS *et al.*, 2018)

A criança que interna em UTIP apresenta uma faixa etária bem variável, desde 1 mês até os 14 anos, e de peso, dos 2kg aos 70kg, aproximadamente. É conhecido o rápido crescimento pondero-estrutural da criança e, conseqüentemente, o desenvolvimento pulmonar. Ao nascimento são 20 milhões de alvéolos, que atingem os 300 milhões na idade de 8 anos e, uma superfície alveolar de 2,8m² ao nascimento que atinge aos 32m² na idade de 8 anos e 75m² na vida adulta.(MCFADYEN; THOMPSON; MARTIN, 2014) Observando essa disparidade, não parece adequado utilizar nas crianças, as mesmas estratégias ventilatórias baseadas em adultos (geralmente acima de 70kg).

Os dados sobre a ventilação em crianças são poucos. Projetamos assim, uma pesquisa em duas unidades de terapia intensiva pediátrica do sul do país, que utilizam estratégias ventilatórias semelhantes e apresentam em torno de 500 internações por ano, contando com um número suficiente de crianças em VM.

Cresce na medicina a necessidade de protocolos para uniformidade na tomada de condutas.(NEWTH, C. J. L. *et al.*, 2017) Na ventilação em crianças, onde muito é baseado

na arte e pouco na ciência,(HEULITT, M. *et al.*, 2015) acreditamos que a monitorização da mecânica pulmonar possa acrescentar informações significativas para a melhoria dos resultados. Para tal, é necessário o conhecimento dos valores da mecânica pulmonar. São raras as citações dos valores de referência na literatura. Muitas são as variáveis que influenciam estes números, relacionadas ao modo, local e momento da aferição.(CANNON *et al.*, 2000; CID, 2003; TAUIL, 2013) Após definir um padrão de aferição, nossa preocupação residiu em outra questão, o tamanho do paciente, já levantada por Lantieri, quando analisou crianças em VM durante procedimento cirúrgico, relacionando a altura com a mecânica pulmonar.(LANTERI; SLY, 1993) Como objetivo da pesquisa, procuramos observar a real influência do tamanho da criança nos valores da mecânica pulmonar nas diferentes fases de crescimento.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A prática da ventilação mecânica (VM) em pediatria com respiradores específicos ocorre há 50 anos. As melhorias em decorrência da modernização dos aparelhos vêm se sucedendo, permitindo um melhor entendimento da fisiopatologia das doenças, da interação paciente-ventilador e, principalmente nos cuidados multiprofissionais. (NEWTH, C. J. L. *et al.*, 2017; PIVA *et al.*, 2015)

Como citado anteriormente, cerca de 40% das crianças que internam na UTIP necessitam de VM. (FARIAS *et al.*, 2004; TRAIBER *et al.*, 2009) As indicações da VM são variadas e agrupadas em:

- disfunção neurológica manifestada por hipoventilação e apneia (ex: intoxicações, convulsões, coma)
- insuficiência respiratória causada por hipoxemia e doença pulmonar intrínseca (ex: SARA, bronquiolite)
- ressuscitação de falência circulatória (ex: choque séptico)
- promoção de trocas gasosas supranormais (ex: hipertensão intracraniana)
- perda da integridade do aparelho respiratório (ex: fraqueza muscular)
- indicações profiláticas (ex: cirurgias de grande porte) (HEULITT, M. *et al.*, 2015; PIVA *et al.*, 2015)

Em relação aos modos ventilatórios convencionais utilizados, são classificados conforme o mecanismo de controle do respirador e, são os seguintes:

- a pressão (atinge a pressão inspiratória em um tempo inspiratório pré-estabelecidos)
- a volume (a máquina libera um volume pré-estabelecido)

O respirador permite três sequencias básicas de respiração, dependente da

interação do paciente com o ventilador:

- CMV: ventilação mandatória contínua (pode ser assistida [auxiliada pelo respirador] e/ou controlada);

- IMV ventilação mandatória intermitente (ocorre entre a respiração mandatória e pode ser de forma sincronizada-SIMV);

- CSV: ventilação espontânea contínua.

O modo ventilatório mais comum utilizado em pediatria é pressão limitada com ventilação mandatória intermitente sincronizada.

(HEULITT, M. *et al.*, 2015; PIVA *et al.*, 2015; VENKATARAMAN, 2017)

Para que a criança permaneça confortável na VM é fundamental a sedação (avaliada pelo COMFORT B), porém, não de forma excessiva. É importante definir uma previsão do tempo de VM para que essa terapêutica possa ser suspensa o mais breve possível. Também outras medidas coadjuvantes são importantes durante a VM, uma nutrição adequada, controle do balanço hídrico e fisioterapia para mobilização precoce tanto de secreções quanto da parte motora.(GRIPPA *et al.*, 2017; INGELSE *et al.*, 2017; PIVA *et al.*, 2015; ZUPPA; CURLEY, 2017)

Um novo conceito no paciente que utiliza a VM, é o evento associado ao ventilador, que agrupou as seguintes doenças: condição associada à ventilação, infecção relacionada ao ventilador e pneumonia associada à ventilação. A pneumonia associada à VM é uma das infecções mais comuns em UTIP e, relacionada ao tempo de ventilação (maior que 6 dias) e, o tempo de internação em UTIP.(GUESS *et al.*, 2018)

Sabemos que a aplicação de um volume de gás no sistema respiratório resulta em alterações de pressões e fluxos, dependendo das características da via aérea, do parênquima, das propriedades da parede torácica e ativação da musculatura respiratória. Podem decorrer lesões associadas à VM que envolvem os mecanismos de barotrauma,

volutrauma, biotrauma, atelectrauma, entre outros. (HEULITT, M. *et al.*, 2015; SLUTSKY; RANIERI, 2013)

A evolução da VM ocorreu em paralelo ao avanço tecnológico das últimas décadas, com implicação direta nos respiradores. No final dos anos 80, a avaliação da mecânica pulmonar tornou-se disponível em unidades de terapia intensiva através de um equipamento que é acoplado ao ventilador chamado de pneumotacógrafo. Ele requer a desconexão do paciente, aumentando o espaço morto (não participa das trocas gasosas) na ventilação com consequências ventilatórias. Apesar de padrão da aferição na mecânica pulmonar, as medidas são intermitentes e não possibilitam análises contínuas. (CANNON *et al.*, 2000; GUERRA; MORAIS, 2014)

Para o acompanhamento da criança em VM, principalmente para a redução da morbidade associada a esta terapêutica fundamental, entendemos que a monitorização da mecânica pulmonar se torna obrigatória. (PETERSON-CARMICHAEL *et al.*, 2016) A avaliação da criança em VM é realizada através do exame clínico, monitorização contínua dos sinais vitais, gasometria arterial, monitorização gráfica disponível nos respiradores e, pela análise da mecânica pulmonar (cálculo dos valores da complacência, resistência e autoPEEP). (DONOSO *et al.*, 2016; HEULITT, M. *et al.*, 2015)

Atualmente, os gráficos de avaliação da mecânica pulmonar estão disponíveis na maioria dos ventiladores, capazes de reproduzir, através de sensores, informações em forma gráfica e em tempo real, as mudanças que ocorrem no ciclo respiratório, possibilitando o acompanhamento da evolução do paciente. Medidas como resistência, complacência, elastância e, autoPEEP podem ser obtidas através de rápidas pausas inspiratórias e expiratórias no próprio respirador, sem interferência ou prejuízo na ventilação do paciente e com certa acurácia. (CANNON *et al.*, 2000; CASTLE *et al.*, 2002; HARIKUMAR; GREENOUGH; RAFFERTY, 2008; HEULITT, M. *et al.*, 2015;

HEULITT, M. J. *et al.*, 2005) Estas informações são úteis na prática assistencial dos doentes e devem ser interpretadas em conjunto com as demais informações clínicas, laboratoriais e de imagem.(CARVALHO; TOUFEN JUNIOR; FRANCA, 2007; CID, 2003; GUERRA; MORAIS, 2014; PÉREZ; MANCEBO, 2006)

A complacência pulmonar é uma medida da elasticidade do sistema respiratório. Ela correlaciona o volume corrente com a pressão necessária para introduzir esse volume nos pulmões. (GUERRA; MORAIS, 2014; NEWTH, C.; KHEMANI, 2015)

Há dois tipos de complacência registrados no ventilador:

- a) Complacência estática: mede a elasticidade dos pulmões e da caixa torácica em repouso quando o fluxo é zero. Somente pode ser medida com aplicação de pausa inspiratória na modalidade ventilatória “ciclada a volume”

Complacência estática= Volume corrente exalado/Pressão platô-PEEP

- b) Complacência dinâmica: considera também a resistência das vias aéreas e pode ser medida nas modalidades ventilatórias “ciclada a volume ou ciclada a pressão”

Complacência dinâmica= Volume corrente exalado/PIP-PEEP.(CID, 2003; GARCÍA-PRIETO; AMADO-RODRÍGUEZ; ALBAICETA, 2014; GUERRA; MORAIS, 2014; NEWTH, C.; KHEMANI, 2015)

A medida da complacência pulmonar pode servir para caracterizar o tipo de distúrbio ventilatório (obstrutivo ou restritivo), acompanhar a evolução clínica do paciente e as mudanças secundárias às modificações da assistência respiratória (por exemplo administração de surfactante ou uso da PEEP ou da posição prona) e também a progressão do desmame. Alterações da complacência pulmonar podem ocorrer por aumento da tensão superficial pela diminuição de surfactante (Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo-SARA e doença da membrana hialina), edema pulmonar, pneumonia, edema intersticial, fibrose, atelectasias, derrame pleural e pneumotórax.(CID,

2003; PÉREZ; MANCEBO, 2006) Na SARA um valor de complacência estática < 40 ml/cm H₂O em adultos é classificado como SARA severa.(FORCE, 2012; GUÉRIN *et al.*, 2013) Também pode ser afetada por alterações torácicas como malformações da parede torácica, distensão abdominal e doenças neuromusculares. (CID, 2003; PÉREZ; MANCEBO, 2006)

Os valores normais de complacência estática citados são:

- RN: 5 ml/cm H₂O
- 1ano: 15 ml/cm H₂O
- 7anos: 50 ml/cm H₂O
- Adultos: 60-100 ml/cm H₂O

A complacência dinâmica, sem alterações obstrutivas, é 10-20% menor que a estática. (CID, 2003; GUERRA; MORAIS, 2014; PÉREZ; MANCEBO, 2006)

A elastância é a propriedade do pulmão em resistir à força deformante e a sua capacidade em retornar à sua forma original após cessada esta força. Ela é definida como a variação de pressão por unidade de variação de volume.(GARCÍA-PRIETO *et al.*, 2014)

A resistência pulmonar é igual a soma das resistências das vias aéreas e do tecido pulmonar e em VM também acrescida da resistência do tubo endotraqueal. Pode ser influenciada pela respiração espontânea do paciente. O aumento da resistência ocorre por obstrução do tubo endotraqueal, broncoespasmo, aumento de secreção, broncodisplasia, bronquiolite, corpo estranho, estenose traqueal, sedação inadequada, tubo endotraqueal pequeno e fluxo aéreo elevado.(CID, 2003; PÉREZ; MANCEBO, 2006) No respirador pode-se medir a resistência inspiratória e expiratória, no modo volume controlado. A resistência inspiratória é aferida com o fluxo constante, enquanto a resistência expiratória com fluxo decrescente, sendo esta influenciada pelas alterações decorrentes desta fase.(GARCÍA-PRIETO *et al.*, 2014; RAMÍREZ, 2003) Os valores citados da

resistência na literatura, de acordo com a faixa etária, são os seguintes:

- RN: 40 cm H₂O/L/s
- 1ano: 15 cm H₂O/L/s
- 7anos: 4 cm H₂O/L/s
- Adultos: 2 cm H₂O/L/s (CID, 2003)

O aprisionamento ou alçapamento de ar durante a VM reflete a impossibilidade de expirar todo o ar que foi introduzido durante a inspiração. Pode ser chamado de hiperinsuflação dinâmica, auto-PEEP ou PEEP intrínseca. Ocorre quando o tempo expiratório é muito curto para um volume corrente excessivo, frequência respiratória muito elevada, relação inspiratória/expiratória longa, obstrução expiratória da via aérea ou pico de fluxo expiratório baixo. Quando ocorre autoPEEP há risco de volutrauma, barotrauma, comprometimento hemodinâmico e, aumento do trabalho respiratório se o paciente apresentar ventilações espontâneas. A autoPEEP é medida após pausa expiratória com paciente sedado, sem respiração espontânea. (CID, 2003; GUERRA; MORAIS, 2014; HESS, 2014) A medida realizada pelo respirador é da PEEP total, sendo que a autoPEEP é igual a PEEP total menos a PEEP extrínseca (programada no respirador). A análise da autoPEEP é útil para avaliação da doença obstrutiva, prevenção de danos associados a VM, fadiga respiratória e para avaliação, após modificações na assistência ventilatória.(GARCÍA-PRIETO *et al.*, 2014)

A monitorização das propriedades mecânicas dos pulmões (mecânica pulmonar) é imprescindível para o diagnóstico e prognóstico do comprometimento pulmonar da criança, assim como para a tomada de decisões terapêuticas. Através das medidas supracitadas poderemos manter uma função pulmonar próxima do ideal, ajustar parâmetros ventilatórios, avaliar a resposta a medicações e eleger o momento adequado para o desmame e retirada da VM.(CID, 2003; KHEMANI *et al.*, 2009; PORTO *et al.*,

2010; SMITH *et al.*, 1990; TAUIL, 2013)

Importante no acompanhamento da criança em VM, a avaliação da oxigenação foi realizada através da aferição da saturação de hemoglobina de pulso (SatO₂), ao invés da paO₂ coletada por gasometria arterial. A aferição da oxigenação pelo cálculo da relação da saturação de hemoglobina sobre a fração de oxigênio é um método não invasivo e mostrou-se adequada, sendo já validada em pediatria nos pacientes em insuficiência respiratória, desde que tenham a satO₂ entre 80 a 97%, pois a curva de dissociação da oxihemoglobina é quase linear nesses valores. Para monitorar a oxigenação, utiliza-se uma equação que correlaciona a saturação de hemoglobina com os valores da paO₂. Relação de paO₂/FiO₂ de 300 equivale a relação satO₂/FiO₂ de 263 e relação paO₂/FiO₂ de 200 equivale a relação satO₂/FiO₂ de 201. Quanto ao índice de oxigenação (IO), substituindo a paO₂ pela saturação de hemoglobina (ISO), valores de 6; 9,9; 13,7 e; 24,7 equivalem ao IO de 6;13;20 e; 40 respectivamente.(KHEMANI *et al.*, 2009; KHEMANI *et al.*, 2012)

A pressão de distensão (PD) utilizada recentemente e, associada à mortalidade em adultos, raramente tem sido aplicada em pediatria. A definição da PD é a diferença entre a pressão de platô menos a PEEP.(AMATO *et al.*, 2015; SCHMIDT *et al.*, 2018) Alguns autores utilizam a pressão de distensão ou delta de pressão como a diferença entre a pressão de pico e a PEEP. Pouco se conhece em pediatria sobre o efeito desta medida sobre as complicações da VM, como a lesão induzida pela ventilação. (HESS, 2014; KHEMANI *et al.*, 2009; PANICO *et al.*, 2015)

Existe uma preocupação em relação à duração da VM, em função de suas complicações, como pneumonia, neuropatia, síndrome de abstinência e *delirium*.(HEULITT, M. *et al.*, 2015; KORB *et al.*, 2015) Alguns estudos em ventilação de caráter epidemiológico conferem uma mediana de 7 dias de duração da VM nas

variadas situações, das quais a bronquiolite predomina.(FARIAS *et al.*, 2004; KHEMANI *et al.*, 2009; TRAIBER *et al.*, 2009) Diversas variáveis interferem no tempo de ventilação, como a gravidade da doença, comorbidades e intercorrências durante a ventilação. Acreditamos que a análise da mecânica pulmonar através de valores de complacência e resistência poderá auxiliar na limitação do tempo de VM e na redução de suas complicações.

3 JUSTIFICATIVA

A mortalidade de crianças em VM vem reduzindo de forma dramática. Entretanto, permanece como um desafio, a diminuição da morbidade, especialmente, das lesões induzidas pelo uso (inadequado) do respirador. Nesse sentido, tem se buscado identificar métodos diagnósticos que auxiliem e orientem a oferta de suporte ventilatório a pacientes com doença pulmonar grave, com maior segurança e menores efeitos indesejados.

Na VM a medida de parâmetros e dados de mecânica pulmonar incluindo curvas, gráficos e valores tem sido citada na literatura como adjuvante no tratamento, especialmente de pacientes adultos. (CARVALHO *et al.*, 2007; GARCÍA-PRIETO *et al.*, 2014; PÉREZ; MANCEBO, 2006)

As curvas e gráficos presentes em muitos respiradores auxiliam na interpretação do momento do paciente em relação às pressões, volume e fluxo. As medidas de valores de complacência estática e dinâmica, resistência expiratória e inspiratória, elastância, autoPEEP e trabalho respiratório estão disponíveis nos respiradores mas, sua mensuração não é rotina nas UTIPs. (GUERRA; MORAIS, 2014)

Há escassa literatura sobre os valores de mecânica pulmonar nas crianças, principalmente quando estratificarmos nas várias faixa-etárias. Essa escassez é ainda maior quando envolve crianças com graves doenças pulmonares em VM. Baseado nisso, consideramos ser altamente recomendável que se realize um estudo medindo os valores da mecânica pulmonar em crianças em VM nas diversas situações clínicas.

Este estudo pode ser considerado como inovador na população pediátrica porque atualmente são utilizados parâmetros ventilatórios que não estão bem estabelecidos em crianças e são extrapolados de adultos.

A nossa hipótese é que poderemos, através de uma metodologia padronizada,

observar a associação dos valores de complacência estática e dinâmica, resistência expiratória e inspiratória, elastância, autoPEEP com a idade ou peso das crianças submetidas a VM em UTIP.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAL

Analisar as medidas de mecânica pulmonar de crianças submetidas à ventilação mecânica (VM) nos diversos cenários clínicos.

4.2 ESPECÍFICOS

Avaliar a influência da idade e peso nas medidas da mecânica pulmonar (complacência estática e dinâmica, resistência expiratória e inspiratória, elastância, autoPEEP) de crianças submetidas à VM.

Verificar a associação das medidas em estudo (complacência estática e dinâmica, resistência expiratória e inspiratória, elastância, autoPEEP, pressão de distensão) com os diferentes padrões de comprometimento pulmonar.

Verificar a associação das medidas em estudo com a evolução clínica (tempo de VM).

5 MÉTODOS

5.1 DELINEAMENTO

Estudo transversal.

5.2 LOCAL

Estudo realizado em duas Unidades de Terapia Intensiva Pediátrica (UTIP) de Porto Alegre (RS-Brasil): do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (UTIP HCPA) e do Hospital São Lucas da PUCRS (UTIP PUCRS). A primeira instituição é caracterizada como de referência na prestação de serviços de saúde, para a população que busca atendimento através do Sistema Único de Saúde (SUS), abrangendo a cidade de Porto Alegre e interior do estado. Possui 13 leitos, atende desde crianças em pós-operatório de cirurgias de maior complexidade (neurocirurgia e transplante hepático), até pacientes em insuficiência respiratória e choque séptico. A UTIP PUCRS também possui 13 leitos, atende pacientes do SUS e de convênios, oriundos de Porto Alegre e do interior do Estado, crianças com doenças clínicas e cirúrgicas. As equipes de atendimento são compostas por médicos plantonistas, residentes em Terapia Intensiva Pediátrica de terceiro ano e de quarto ano, um médico residente de segundo ano de Pediatria e um médico residente de primeiro ano de Pediatria. Diariamente, no turno da manhã, uma equipe multidisciplinar composta pelo *staff* médico (chefia, plantão e residentes), enfermeiras, fisioterapeutas, nutricionistas discute sobre os pacientes internados e organiza a terapêutica proposta para as próximas 24 horas. Por ano, cerca de 500 pacientes são internados em cada UTIP, e destes, em torno de 40% evoluem com a necessidade de VM, com uma taxa de mortalidade de 5 a 7%. As duas UTIPs utilizam as mesmas estratégias ventilatórias.

5.3 SELEÇÃO DOS PACIENTES

5.3.1 População em estudo

A população deste estudo é constituída de crianças admitidas na UTIP e em uso de VM com previsão de mais de 24h de ventilação.

5.3.2 Critérios de elegibilidade

5.3.2.1 Critérios de inclusão

- Crianças de 1 mês até 14 anos,
- Em uso apenas do respirador Servo*i* da Maquet® (definimos como padrão na aferição dos dados por ser comum às duas UTIPs).

5.3.2.2 Critérios de exclusão

- Pacientes com deformidade torácica grave visível,
- Cirurgia que envolva o tórax,
- Tumores intratorácicos,
- Crianças traqueostomizadas,
- Presença de dreno em tórax ou mediastino,
- Crianças com instabilidade cardiovascular, caracterizadas por hipotensão ou arritmia no período proposto para a aferição,

- Presença de escape ao redor do tubo traqueal maior de 15% de diferença entre o volume corrente inspiratório e expiratório, registrado no monitor do respirador, (CRANKSHAW; MCVIETY; ENTWISTLE, 2014; KHEMANI *et al.*, 2009)
- Crianças que já estavam ventiladas há mais de 48 horas.

5.4.EXPOSIÇÃO

As crianças em VM são avaliadas pelo menos 1 vez ao turno, onde na rotina da manhã é traçado um plano ventilatório, baseado na evolução da doença que determinou a VM e o grau de sedação (escala de COMFORT B). (ISTA *et al.*, 2005) Ao preencher os critérios de seleção do estudo, além dos dados demográficos, os dados relacionados à mecânica pulmonar eram coletados por um dos dois pesquisadores, com experiência de mais de 15 anos de trabalho em UTIP (Cinara Andreolio ou Francisco Bruno).

Foram registrados no momento que seria feita a análise da mecânica pulmonar, além das medidas, os parâmetros ventilatórios utilizados, pressão inspiratória positiva (PIP), pressão expiratória final positiva (PEEP), pressão média de via aérea (PMVA), fração inspirada de oxigênio (FiO₂), tempo inspiratório (Ti), pressão de suporte (PS), sensibilidade (*trigger*), volume corrente inspiratório (VCI) e expiratório (VCE), as medicações em uso (sedo-analésicos, broncodilatadores), balanço hídrico das últimas 24 horas, a indicação da VM, o diagnóstico do paciente e a evolução (tempo de VM, tempo de internação em UTIP e mortalidade).

As medidas referentes à mecânica pulmonar foram: complacência dinâmica; complacência estática; elastância; resistência expiratória e inspiratória e; autoPEEP coletadas a partir do registro disponível no respirador Servo *i*®.

Os pacientes eram ventilados em modo ventilação mandatória intermitente sincronizada

e pressão controlada mais pressão de suporte (SIMV com PS) ou modo ventilação mandatória intermitente sincronizada e pressão regulada volume controlado mais pressão assistida (PRVC com PS), pela rotina das unidades. Para realizar a aferição das medidas da mecânica pulmonar, o modo ventilatório era trocado para volume controlado (padrão para a aferição da mecânica pulmonar), sendo mantido o volume corrente utilizado pelo modo ventilatório anterior. (CID, 2003; SILVA ; ROCCO, 2016)

As crianças em VM eram são mantidas com sedação e analgesia, geralmente através de uma associação de midazolam com morfina em infusão contínua. Importante ressaltar que na fase inicial da VM, os pacientes deveriam estar bem sedados e para tal, utilizamos rotineiramente agentes bloqueadores neuromusculares para facilitar a ventilação principalmente em momentos de agitação com comprometimento da oxigenação. No momento que a criança estava bem sedada (sem respiração espontânea), eram realizadas as medidas propostas.

A pausa inspiratória serve para a aferição da complacência estática, elastância e resistência inspiratória. A pausa inspiratória foi realizada através da sustentação do botão da tela (pausa inspiratória) até que no painel do respirador apareça a confirmação da pausa inspiratória ativa (tempo em torno de 5s), sendo neste momento registrados os valores. A leitura da autoPEEP era obtida na fase expiratória com a sustentação do botão no painel do respirador da pausa expiratória, assim que o respirador confirmasse a pausa expiratória ativa. (SERVO-i, 2004) Os valores obtidos foram registrados em planilha criada para este fim. Ver Figura 1.

Figura 1. Aferição da mecânica pulmonar



Fonte: Técnica utilizada para a aferição da mecânica pulmonar. Primeiro era trocado o modo ventilatório para volume controlado (a). A pausa inspiratória (b) e pausa expiratória (c) eram realizadas através do toque nas teclas com os respectivos nomes, até a confirmação de pausa na tela.

A aferição era feita preferencialmente na posição supina. Aguardava-se um período de 30 minutos após quaisquer procedimentos realizados no paciente (aspiração da cânula endotraqueal, fisioterapia respiratória, mudança de decúbito) para realizar as medidas, já que estas manobras interferem na mecânica pulmonar e necessitam de um tempo de estabilização. (AVENA; BRUNOW; CARVALHO, 2003; SUZUMURA *et al.*, 2014)

A criança deveria estar com o rosto alinhado na posição supina, em decúbito dorsal com elevação da cabeceira em 30° para a verificação das medidas. O tubo endotraqueal utilizado era da marca Portex®, preferencialmente com balonete, ou tolerado um escape de ar ao redor do tubo de até 15% e, bem posicionado na traquéia, confirmado por radiografia de tórax. São 2 os tamanhos de filtro do respirador que variam conforme o peso: volume corrente de 15 a 50ml ou 75 a 300ml. Era utilizado sistema fechado de aspiração. No grupo de crianças (de 0,5 a 30kg), o respirador tem um fluxo contínuo de 0,5L, com circuito de 120cm e diâmetro de 1cm, com uma imprecisão de 8% no volume corrente e de 5% na pressão das vias aéreas, ou grupo adulto (acima de 30kg) com fluxo contínuo de 2L, circuito de 120cm e diâmetro de 2cm, com a mesma imprecisão da criança. (SERVO-i, 2004)

5.5 VARIÁVEIS A SEREM AVALIADAS

5.5.1 Variáveis Demográficas

As características gerais dos pacientes (nome, registro, idade em meses, sexo, peso, motivo da internação e escore de prognóstico PIM2 da admissão) foram registrados. Os sinais vitais (frequência cardíaca, saturação de oxigênio, pressão arterial média) e o índice de saturação de oxigênio foram checados no momento da aferição das medidas.

5.5.2 Variáveis em estudo

As variáveis em estudo foram: idade, peso, PMVA, PIP, PEEP, FiO₂, complacência estática e dinâmica, elastância, resistência inspiratória e expiratória, autoPEEP e delta de pressão. O delta de pressão ou pressão de distensão (DP) definido como a diferença entre as pressões inspiratória e expiratória, assim definido: pressão de pico menos a PEEP total (PEEP administrado mais a autoPEEP).(YEHYA; THOMAS, 2017)

5.5.3 Variáveis de desfecho

A partir dos dados registrados foi realizada a correlação entre a mecânica pulmonar com a idade e peso. Também foi analisada a correlação dos diferentes padrões de comprometimento pulmonar com o peso. São 3 os padrões pulmonares utilizados nesta pesquisa.

1. Sem comprometimento pulmonar: crianças que estavam em VM por motivos inicialmente extra-pulmonares, ou seja, pós-operatório ou doenças sistêmicas.

2. Com doença obstrutiva: são aquelas crianças que apresentavam principalmente doença de via aérea, caracterizados na ausculta pulmonar pela dificuldade de exalação do ar, tempo expiratório prolongado e sibilância e, radiografia de tórax com hiperinsuflação. A característica na ventilação é de pressão de pico alta para vencer a obstrução, frequência respiratória baixa (constante de tempo longa, tempo expiratório prolongado) e baixa necessidade de oxigênio suplementar. Aqui citamos como exemplo as doenças bronquiolite e asma.
3. Com doença restritiva: são aqueles pacientes que apresentam doença de parênquima pulmonar com hipoxemia importante, caracterizados pelo índice de oxigenação (ISO) alto. A ausculta pulmonar apresenta geralmente crepitação, radiografia de tórax mostra opacidades bilaterais. São pacientes ventilados com PEEP e fração de oxigênio altas. Citamos como exemplo a síndrome da angustia respiratória aguda (SARA), edema pulmonar e, pneumonia bilateral.

Após a aferição dos dados da VM, as crianças foram acompanhadas através dos registros presentes no prontuário, quanto à evolução clínica. Foram coletados dados referentes ao tempo de permanência (em dias) de cada paciente em VM, tempo de permanência em UTIP e, mortalidade. A partir destes dados foram comparados a mecânica pulmonar com o tempo de ventilação.

5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis quantitativas contínuas foram expressas pela média e desvio-padrão ou mediana e intervalo interquartil (IQ) de 25-75%, conforme a simetria das variáveis. Variáveis categóricas foram descritas em valores absolutos e relativos. Os grupos foram comparados por meio do teste T de *Student* para amostras independentes, U de Man-Whitney, análise de

variância de Anova ou de Kruskal-Wallis para as variáveis contínuas e o teste do Qui-quadrado ou teste exato de Fisher para variáveis categóricas. O nível de significância adotado foi o valor de $p < 0,05$. A associação entre as variáveis foi analisada mediante a correlação de Pearson (variáveis paramétricas) e Spearman (variáveis não paramétricas) e a concordância das variáveis através do teste de Bland-Altman. A avaliação qualitativa da força da correlação entre duas variáveis segue a tabela abaixo, que classifica da seguinte forma (Tabela 1) (SCHOBER; BOER; SCHWARTE, 2018)

Tabela 1 - Avaliação qualitativa da força da correlação entre duas variáveis

r= correlação linear	Classificação da força
0-0,10	Nula
0,10-0,39	Fraca
0,40- 0,69	Moderada
0,70-0,89	Forte
0,90- 1,00	Muito forte

Fonte: adaptada de SCHOBER P, BOER C, 2018; CALLEGARI-JACQUES, 2003

A análise estatística foi realizada pelo programa SPSS versão 17 Chicago, IL 60606-6412.

5.7 TAMANHO AMOSTRAL

Figura 2. Gráfico com o cálculo do tamanho da amostra

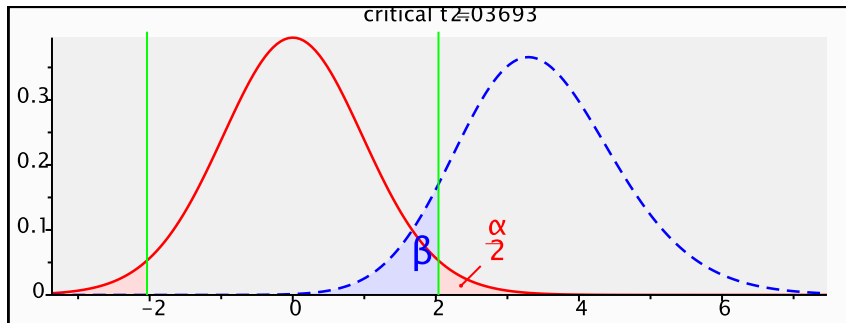
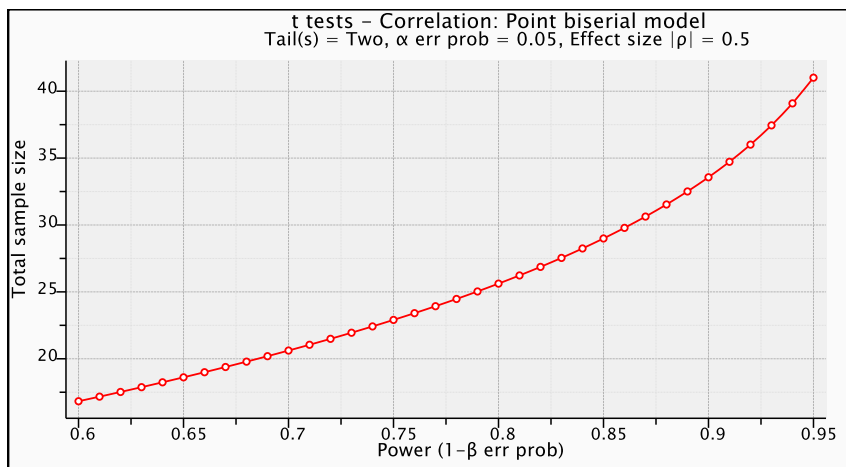


Figura 3. Gráfico de correlação entre a complacência estática e o peso para cálculo da amostra



Considerando uma correlação mínima de 0,5 entre complacência estática e o peso, um alpha de 0,05, um beta de 0,90, o número mínimo de participantes a serem incluídos é de 34. Considerando as demais variáveis a serem analisadas, o número total de pacientes incluídos será de 120. (Figuras 2 e 3)

5.8 ASPECTOS ÉTICOS

O projeto de pesquisa foi aprovado pelos Comitês de Ética em Pesquisa do Hospital de Clínicas de Porto Alegre e do Hospital São Lucas da PUCRS. Os responsáveis legais pelo paciente receberam todas informações pertinentes sobre a realização do estudo, seus objetivos e justificativas. A inclusão do paciente no estudo somente acontecia depois de esclarecidas as possíveis dúvidas e após assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido pelos responsáveis. Foi realizado seguindo as normas do Conselho Nacional de Saúde, na Resolução 466/2012.

6 REFERÊNCIAS

- AMATO, M. B. *et al.* Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. **New England Journal of Medicine**, v. 372, n. 8, p. 747-755, 2015.
- AVENA, M. J.; BRUNOW, W.; CARVALHO, O. S. B. Avaliação da mecânica respiratória e da oxigenação pré e pós-aspiração de secreção em crianças submetidas à ventilação pulmonar mecânica. **Rev Assoc Med Bras**, v. 49, n. 2, p. 156-61, 2003.
- CALLEGARI-JACQUES, S. Coorelação linear simples In: (Ed.). **Bioestatística: Princípios e aplicações**. Artmed: Porto Alegre, 2003. p.84-93.
- CANNON, M. L. *et al.* Tidal volumes for ventilated infants should be determined with a pneumotachometer placed at the endotracheal tube. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 162, n. 6, p. 2109-2112, 2000.
- CARVALHO, C. R. R. D.; TOUFEN JUNIOR, C.; FRANCA, S. A. Ventilação mecânica: princípios, análise gráfica e modalidades ventilatórias. **Jornal brasileiro de pneumologia**, v. 33, p. 54-70, 2007.
- CASTLE, R. A. *et al.* Accuracy of displayed values of tidal volume in the pediatric intensive care unit. **Critical care medicine**, v. 30, n. 11, p. 2566-2574, 2002.
- CID, J. L.-H. Monitorización de la función respiratoria en el niño con ventilación mecánica (II): complianza, resistencia, hiperinsuflación dinámica, espacio muerto y trabajo respiratorio. **Anales de Pediatría**, v. 59, n. 3, p. 278-285, 2003.
- CRANKSHAW, D.; MCVIETY, J.; ENTWISTLE, M. A review of cuffed vs uncuffed endotracheal tubes in children. **Pediatric Anesthesia and Critical Care Journal**, v. 2, p. 70-3, 2014.
- DONOSO, A. *et al.* Monitorización respiratoria del paciente pediátrico en la Unidad de Cuidados Intensivos. **Boletín médico del Hospital Infantil de México**, v. 73, n. 3, p. 149-165, 2016.
- FARIAS, J. *et al.* What is the daily practice of mechanical ventilation in pediatric intensive care units? A multicenter study. **Intensive care medicine**, v. 30, n. 5, p. 918-925, 2004.
- FORCE, A. D. T. Acute respiratory distress syndrome. **Jama**, v. 307, n. 23, p. 2526-2533, 2012.
- GARCÍA-PRIETO, E.; AMADO-RODRÍGUEZ, L.; ALBAICETA, G. M. Monitorización de la mecánica respiratoria en el paciente ventilado. **Medicina Intensiva**, v. 38, n. 1, p. 49-55, 2014.
- GRIPPA, R. B. *et al.* Nutritional status as a predictor of duration of mechanical ventilation in critically ill children. **Nutrition**, v. 33, p. 91-95, 2017.

GUÉRIN, C. *et al.* Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome. **New England Journal of Medicine**, v. 368, n. 23, p. 2159-2168, 2013.

GUERRA, S. D.; MORAIS, C. L. Métodos Gráficos de Monitorização da Ventilação Mecânica. In: PIVA, J. P. e GARCIA, P. C. R. (Ed.). **Medicina Intensiva em Pediatria**. . 2 Rio de Janeiro: : Revinter, 2014. p.691-724.

GUESS, R. *et al.* Risk Factors for Ventilator-Associated Events in a PICU. **Pediatric Critical Care Medicine**, v. 19, n. 1, p. e7-e13, 2018.

HARIKUMAR, G.; GREENOUGH, A.; RAFFERTY, G. F. Ventilator assessment of respiratory mechanics in paediatric intensive care. **European journal of pediatrics**, v. 167, n. 3, p. 287-291, 2008.

HESS, D. R. Respiratory mechanics in mechanically ventilated patients. **Respiratory care**, v. 59, n. 11, p. 1773-1794, 2014.

HEULITT, M. *et al.* Rogers' textbook of pediatric intensive care. In: SHAFFNER, D. H. e NICHOLS, D. G. (Ed.). Philadelphia. : Walters Kluwer, 2015. cap. 38, p.541-566. ISBN 1469888378.

HEULITT, M. J. *et al.* Reliability of measured tidal volume in mechanically ventilated young pigs with normal lungs. **Intensive care medicine**, v. 31, n. 9, p. 1255-1261, 2005.

INGELSE, S. A. *et al.* Early Fluid Overload Prolongs Mechanical Ventilation in Children With Viral-Lower Respiratory Tract Disease. **Pediatric Critical Care Medicine**, v. 18, n. 3, p. e106-e111, 2017.

ISTA, E. *et al.* Assessment of sedation levels in pediatric intensive care patients can be improved by using the COMFORT “behavior” scale. **Pediatric Critical Care Medicine**, v. 6, n. 1, p. 58-63, 2005.

KHEMANI, R. G. *et al.* Comparison of the pulse oximetric saturation/fraction of inspired oxygen ratio and the PaO₂/fraction of inspired oxygen ratio in children. **Chest**, v. 135, n. 3, p. 662-668, 2009.

KHEMANI, R. G. *et al.* Comparison of SpO₂ to PaO₂ based markers of lung disease severity for children with acute lung injury. **Critical care medicine**, v. 40, n. 4, p. 1309-1316, 2012.

KORB, C. *et al.* Lesões e complicações pulmonares associadas à ventilação mecânica. In: PIVA, J. e GARCIA, P. (Ed.). **Medicina Intensiva em Pediatria**. 2. Rio de Janeiro: Revinter, 2015. p.739-751.

LANTERI, C. J.; SLY, P. D. Changes in respiratory mechanics with age. **Journal of Applied Physiology**, v. 74, n. 1, p. 369-378, 1993.

MCFADYEN, J.; THOMPSON, D.; MARTIN, L. Applied respiratory physiology. In: WHEELER, D.; WONG, H., *et al* (Ed.). **Pediatric Critical Care Medicine**. second edition springer: verlag London 2014. p.3-18.

NEWTH, C.; KHEMANI, R. Respiratory monitoring of the mechanical behavior of the respiratory system during mechanical ventilation: clinical application. In: RIMENSBERGER, P. C.; SCHULZKE, S., *et al* (Ed.). **Pediatric and neonatal mechanical ventilation** Springer: Berlin Heidelberg, 2015. cap. 355-371,

NEWTH, C. J. L. *et al*. Mechanical Ventilation and Decision Support in Pediatric Intensive Care. **Pediatric Clinics**, v. 64, n. 5, p. 1057-1070, 2017.

PANICO, F. F. *et al*. Risk factors for mortality and outcomes in pediatric acute lung injury/acute respiratory distress syndrome. **Pediatric Critical Care Medicine**, v. 16, n. 7, p. e194-e200, 2015.

PÉREZ, M.; MANCEBO, J. Monitorización de la mecánica ventilatoria. **Medicina intensiva**, v. 30, n. 9, p. 440-448, 2006.

PETERSON-CARMICHAEL, S. *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. **Annals of the American Thoracic Society**, v. 13, n. 2, p. S1-S11, 2016.

PIVA, J. *et al*. Princípios de ventilação mecânica em pediatria. In: PIVA, J. e GARCIA, P. (Ed.). **Medicina Intensiva em Pediatria**. 2. Rio de Janeiro: Revinter, 2015. p.619-645.

PORTO, E. F. *et al*. Análise comparativa da complacência do sistema respiratório em três diferentes posições no leito (lateral, sentada e dorsal) em pacientes submetidos à ventilação mecânica invasiva prolongada. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 20, n. 3, p. 213-219, 2010.

RAMÍREZ, J. B. Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo. *Anales de Pediatría*, 2003. Elsevier. p.264-277.

SCHMIDT, M. F. *et al*. Driving Pressure and Hospital Mortality in Patients Without ARDS: A Cohort Study. **Chest**, v. 153, n. 1, p. 46-54, 2018.

SCHOBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. **Anesthesia & Analgesia**, v. 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018.

SERVO-I. Maquet Critical Care. Ventilator System V.2.0. Manual de utilização. 2004. Disponível em: < <http://www.medonegroup.com/pdf/manuals/techManuals/Maquet-Servo-i-Service-Manual.pdf> >.

SILVA, P. L.; ROCCO, P. R. M. Mecânica ventilatória. In: VALIATTI, J.; GOMES DO AMARAL, J., *et al* (Ed.). **Ventilação Mecânica Fundamentos e Prática Clínica**. GEN: Rio de Janeiro 2016. cap. 1, p.3-22.

SLUTSKY, A. S.; RANIERI, V. M. Ventilator-induced lung injury. **New England Journal of Medicine**, v. 369, n. 22, p. 2126-2136, 2013.

SMITH, D. W. *et al.* Pulmonary function testing in infants with respiratory syncytial virus bronchiolitis requiring mechanical ventilation. **The Pediatric infectious disease journal**, v. 9, n. 9, p. S108-S111, 1990.

SUZUMURA, E. A. *et al.* Effects of alveolar recruitment maneuvers on clinical outcomes in patients with acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis. **Intensive care medicine**, v. 40, n. 9, p. 1227-1240, 2014.

TAUIL, K. A. M. W. Comportamento das propriedades mecânicas do sistema respiratório em neonatos, lactentes e crianças saudáveis. **Pediatr. mod**, v. 49, n. 2, 2013.

TRAIBER, C. *et al.* Profile and consequences of children requiring prolonged mechanical ventilation in three Brazilian pediatric intensive care units. **Pediatric critical care medicine**, v. 10, n. 3, p. 375-380, 2009.

VENKATARAMAN, S. T. Mechanical ventilation and respiratory care. In: FUHRMAN, B. (Ed.). **Pediatric critical care**. 5ª. Philadelphia: ELSEVIER, 2017. cap. 57, 734-769

WOLFLER, A. *et al.* Daily practice of mechanical ventilation in Italian pediatric intensive care units: a prospective survey. **Pediatric Critical Care Medicine**, v. 12, n. 2, p. 141-146, 2011.

YEHYA, N.; THOMAS, N. J. Disassociating lung mechanics and oxygenation in pediatric acute respiratory distress syndrome. **Critical care medicine**, v. 45, n. 7, p. 1232-1239, 2017.

ZUPPA, A. F.; CURLEY, M. A. Sedation Analgesia and Neuromuscular Blockade in Pediatric Critical Care: Overview and Current Landscape. **Pediatric Clinics**, v. 64, n. 5, p. 1103-1116, 2017.

7 ARTIGO ORIGINAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE DA CRIANÇA E DO
ADOLESCENTE (PPGSCA)

A INFLUÊNCIA DO PESO NOS VALORES DA MECÂNICA PULMONAR DE
CRIANÇAS SUBMETIDAS À VENTILAÇÃO MECÂNICA

Francisco Bruno ¹, Jefferson Pedro Piva ²,

Paulo Roberto Antonacci Carvalho ³, Cinara Andreolio ⁴, Rita Matiello ⁵, Pedro Celiny
Ramos Garcia ⁶

1. Doutorando do Curso de Pós-Graduação de Saúde da Criança e do Adolescente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Médico intensivista pediátrico do HCPA e do HSL da PUCRS.
Professor Assistente do Núcleo de Formação Específica em Pediatria da Escola de Medicina da PUCRS
2. Professor Titular do Departamento de Pediatria da UFRGS.
Chefe do Serviço de Emergência e Medicina Intensiva Pediátrica (SEMIPS – HCPA)
3. Professor Titular do Departamento de Pediatria da UFRGS
Serviço de Emergência e Medicina Intensiva Pediátrica (SEMIPS – HCPA)
4. Médica intensivista pediátrica rotineira da UTI Pediátrica do HCPA
5. Professora da Escola de Medicina da PUCRS
6. Professor Titular do Núcleo de Formação Específica em Pediatria da Escola de Medicina da PUCRS.
Chefe da UTI Pediátrica do HSL da PUCRS.

Porto Alegre, julho 2018

RESUMO

OBJETIVOS: analisar a influência do peso na mecânica pulmonar de crianças submetidas à ventilação mecânica (VM).

DESENHO: estudo transversal

LOCAL: Unidades de Terapia Intensiva Pediátricas (UTIP) do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) e do Hospital São Lucas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (HSL PUCRS)

PACIENTES: crianças (de 1 mês a 14 anos) que necessitaram de VM por mais de 24h, no período de março de 2016 a fevereiro de 2017

INTERVENÇÃO: pausas inspiratória e expiratória para registro das medidas da mecânica pulmonar (autoPEEP, complacência e resistência) nas primeiras 24h de VM

MEDIDAS: correlação linear das medidas da mecânica pulmonar em relação ao peso

RESULTADOS: avaliadas 124 crianças. A mediana de idade das crianças foi de 5 (IQ25-75: 2-22) meses, peso 6,3 (IQ25-75: 4,5-11,0) Kg, PIM2 1,0 (IQ25-75: 0,3-4,0), tempo de ventilação 7 (IQ25-75: 5-9) dias, internação em UTIP de 10 (IQ25-75: 7-15) dias, médias do volume corrente inspiratório $10,5 \pm 2,0$ ml/kg e volume corrente expiratório de $10,4 \pm 2,0$ ml/kg. Os valores observados da mecânica pulmonar das crianças em VM foram: autoPEEP 2,0 (IQ25-75: 1,0-4,7) cmH₂O, resistência inspiratória 94 (IQ25-75: 54-156) cmH₂O/L/s, complacência estática de 4,9 (IQ25-75: 3,0-10,0) ml/cmH₂O. Apenas a correlação da complacência estática com o peso mostrou associação forte ($r=0,809$, $p<0,001$). Em relação ao tempo de ventilação não houve associação com os valores da mecânica pulmonar. Em crianças menores que 6Kg, existe uma resistência inspiratória muito alta e uma complacência muito baixa ($p<0,001$).

CONCLUSÕES: observamos uma forte associação entre a complacência estática em relação ao peso. A resistência alta e a complacência baixa são marcantes nas crianças menores de 1 ano

(especialmente as menores de 6kg).

PALAVRAS CHAVE: terapia intensiva, mecânica respiratória, resistência de via aérea, complacência pulmonar, ventilação mecânica, pediatria.

ABSTRACT

OBJECTIVES: to analyze the influence of the body weight on the pulmonary mechanics of children submitted to mechanical ventilation (MV).

DESIGN: cross-sectional study

LOCAL: Two Brazilian referral Pediatric Intensive Care Units (UTIP) at Hospital de Clínicas de Porto Alegre – UFRGS University and at Hospital São Lucas – PUCRS University (Brazil)

PATIENTS: children (1 month to 14 years old) requiring MV longer than 24 hours, between March 2016 and February 2017

INTERVENTION: evaluation of the pulmonary mechanics variables (auto-PEEP, compliance and resistance) in the first 24 hours of MV

MEASUREMENTS: linear correlation between the pulmonary mechanics variables and body weight were calculated

RESULTS: 124 children submitted to MV were evaluated in both PICU. The median age of the children was 5 (IQ25-75: 2-22) months old, weight 6.3 (IQ25-75: 4.5-11.0) kg, PIM2 1.0 (IQ25-75: 0.3-4.0), MV length of stay 7 (IQ25-75: 5-9) days, PICUs length of stay of 10 (IQ25-75: 7-15) days, mean inspiratory tidal volume 10.5 ± 2.0 ml/kg and expiratory tidal volume of 10.4 ± 2.0 ml/kg. The median observed values of the pulmonary mechanics variables were: auto-PEEP 2.0 (IQ25-75: 1.0-4.7) cmH₂O, inspiratory resistance 94 (IQ25-75: 54-156) cmH₂O/L/s, static compliance of 4.9 (IQ25-75: 3.0-10.0) ml/cmH₂O. Only the static compliance and body weight presented strong association ($r = 0.809$, $p < 0.001$). The length of MV did not present statistical association with any of the pulmonary mechanics variables. A remarkable elevated inspiratory resistance and reduced compliance were observed in children weighing less than 6 kg ($p < 0.001$)

CONCLUSIONS: static compliance had a very strong association with the body weight. In particular, very small children on MV present very high resistance and low compliance.

KEYWORDS: critical care, respiratory mechanics, airway resistance, lung compliance, mechanic ventilation, pediatrics.

INTRODUÇÃO

O uso da ventilação mecânica (VM) é comum em terapia intensiva pediátrica (UTIP) e, tem oscilado entre 40-60% das admissões nessas unidades. Mesmo sendo uma terapia essencial para sobrevivência, não é inócua ou isenta de riscos (1,2,3). A monitorização da mecânica pulmonar pode ajudar no acompanhamento da VM. Realizada idealmente através de um pneumotacógrafo, entretanto suas medidas são intermitentes e além disso, requer a desconexão do paciente da ventilação, o que aumenta o espaço morto com possíveis consequências ventilatórias (5). Atualmente os gráficos de avaliação da VM estão disponíveis na maioria dos ventiladores e, com certa acurácia, são capazes de reproduzir, através de sensores, informações em forma gráfica e em tempo real, permitindo as medidas da mecânica pulmonar (resistência, complacência, elastância e, autoPEEP) (5-9).

A complacência pulmonar é uma medida da elasticidade do sistema respiratório (4,8).

Há dois tipos de complacência registrados no ventilador:

- a) Complacência estática (Cest): mede a elasticidade dos pulmões e da caixa torácica em repouso quando o fluxo é zero. Somente medida com a pausa inspiratória na modalidade ventilatória “ciclada a volume”. Corresponde a relação do volume corrente exalado sobre a diferença da pressão de platô e a PEEP;
- b) Complacência dinâmica (CDyn): mostra a resistência das vias aéreas e pode ser medida na ventilação “ciclada a volume ou ciclada a pressão”. Corresponde a relação do volume corrente exalado sobre a diferença do PIP e a PEEP (4,8,10).

A medida da complacência pulmonar pode servir para caracterizar o tipo de distúrbio ventilatório (obstrutivo ou restritivo), acompanhar a evolução do paciente e as mudanças secundárias às modificações da assistência respiratória (por exemplo o uso de PEEP, a posição prona). Redução da complacência pulmonar ocorre por aumento da tensão superficial por

diminuição de surfactante (Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo-SARA e doença da membrana hialina), edema pulmonar e, pneumonia (8,9,10). Os valores normais de complacência estática citados na literatura são: recém-nascido: 5 ml/cmH₂O; 1 ano: 15 ml/cmH₂O; 7 anos: 50 ml/cmH₂O e adultos: 60-100 ml/cmH₂O. A complacência dinâmica, sem alterações obstrutivas, é 10-20% menor que a estática (4,8,9).

A resistência pulmonar é igual a soma das resistências das vias aéreas e do tecido pulmonar e, em VM, acrescida da resistência do tubo endotraqueal. O aumento da resistência ocorre por obstrução do tubo endotraqueal, broncoespasmo, aumento de secreção, bronquiolite, sedação inadequada, tubo endotraqueal pequeno e fluxo aéreo elevado (8,9,11). No respirador pode-se medir a resistência inspiratória e a expiratória. A resistência inspiratória é aferida com fluxo constante, enquanto a resistência expiratória com fluxo decrescente, sendo esta influenciada pelas alterações decorrentes desta fase (8,11). Os valores da resistência citados na literatura de acordo com a faixa etária, são os seguintes: RN: 40 cmH₂O/L/s; 1 ano: 15 cmH₂O/L/s; 7 anos: 4 cmH₂O/L/s e adultos: 2 cmH₂O/L/s (4,8).

O alçapamento de ar durante a VM reflete a impossibilidade de expirar todo o ar que foi introduzido durante a inspiração. Pode ser chamada de hiperinsuflação dinâmica, autoPEEP ou PEEP intrínseca. A autoPEEP é medido após pausa expiratória com paciente sedado, sem respiração espontânea (4,8,9,11). A medida realizada pelo respirador é da PEEP total, a autoPEEP é a diferença da PEEP total menos PEEP extrínseca (programada no respirador). A autoPEEP é útil para avaliação da doença obstrutiva, fadiga respiratória e para avaliação após modificações na assistência ventilatória (11).

A pressão de distensão, descrita recentemente e, associada a mortalidade em adultos, raramente tem sido aplicada em pediatria. Pouco se conhece sobre o efeito desta medida sobre as complicações da VM, como a lesão induzida pela ventilação (12,13).

Para a monitorização da VM que, acreditamos ser essencial à criança em ventilação, é

necessário o conhecimento dos reais valores da mecânica pulmonar. São raras as citações dos valores de referência na literatura. Muitas são as variáveis que influenciam estes números, relacionados ao modo, local e momento da aferição (8,9,11). Após definir um padrão de aferição, nossa preocupação residiu em outra variável, o tamanho do paciente, que como sabemos, está em rápida fase de crescimento e desenvolvimento corporal, incluindo o seu sistema respiratório. Procuramos observar a real influência do tamanho da criança nos valores da mecânica pulmonar nas diferentes fases de crescimento.

O objetivo deste trabalho é analisar a influência do peso sobre os valores da mecânica pulmonar de crianças submetidas à VM.

MÉTODOS

Trata-se de um estudo transversal, realizado em duas Unidades de Terapia Intensiva Pediátrica de Porto Alegre (RS-Brasil): Hospital de Clínicas de Porto Alegre (UTIP HCPA) e Hospital São Lucas da PUCRS (UTIP HSL PUCRS). São unidades com atendimento de pacientes clínicos e cirúrgicos com 13 leitos cada uma, com rotinas e estratégias ventilatórias semelhantes.

A amostra deste estudo é constituída de crianças admitidas na UTIP e em uso de VM.

Foram incluídas as crianças de 1 mês até 14 anos, que durante a internação em UTIP evoluíram para VM, permaneceram por mais de 24 horas em ventilação e, utilizaram apenas o respirador Servoi da Maquet® (definimos como padrão na aferição dos dados, por se tratar de um respirador de uso comum às duas unidades). Excluídas crianças com deformidade torácica grave visível, cirurgia que comprometia o tórax, tumores intratorácicos, traqueostomizadas, presença de dreno em tórax ou mediastino, instabilidade cardiovascular, caracterizadas por hipotensão ou arritmia no período proposto para a aferição, presença de escape ao redor do tubo traqueal maior de 15% de diferença entre o volume corrente inspiratório e expiratório, registrado no monitor do respirador e que, já estivessem ventiladas há mais de 48 horas (8).

Ao preencher os critérios de seleção do estudo, os dados eram coletados somente por um dos dois pesquisadores (Cinara Andreolio ou Francisco Bruno). Foram registrados, no momento que seria feita a análise da mecânica pulmonar, os dados gerais, parâmetros ventilatórios utilizados, as medicações em uso, balanço hídrico das últimas 24 horas, o diagnóstico do paciente e, posteriormente, sua evolução (tempo de VM, tempo de internação em UTIP e mortalidade).

As medidas referentes à mecânica pulmonar foram: complacência dinâmica; complacência estática; elastância; resistência expiratória; resistência inspiratória e; autoPEEP.

Os pacientes eram ventilados em modo ventilação mandatória intermitente sincronizada mais pressão controlada e pressão assistida (SIMV com PS) ou modo ventilação mandatória intermitente sincronizada mais pressão regulada volume controlado e pressão assistida (PRVC com PS), pela rotina das unidades, porém para realizar a aferição das medidas da mecânica pulmonar, o modo ventilatório era trocado para volume controlado (padrão para a aferição da mecânica pulmonar), sendo mantido o volume corrente utilizado pelo modo ventilatório anterior (8,11,14).

As crianças em VM foram mantidas com sedação e analgesia e, na fase inicial da VM, usualmente com agentes bloqueadores neuromusculares, utilizados rotineiramente para facilitar a ventilação principalmente em momentos de agitação e, com comprometimento da oxigenação.

A pausa inspiratória mede a complacência estática, elastância e resistência inspiratória. Realizada através da sustentação da tecla da tela (pausa inspiratória) até que no painel do respirador apareça a confirmação da pausa inspiratória ativa (em torno de 5s), sendo neste momento registrados os valores. A leitura da autoPEEP era obtida na fase expiratória, com a sustentação da tecla da pausa expiratória no painel do respirador, assim que o respirador confirmasse a pausa expiratória ativa (até 5 segundos).

A aferição era feita preferencialmente na posição supina. Aguardava-se um período de 30 minutos após quaisquer procedimentos realizados no paciente (aspiração da cânula endotraqueal, fisioterapia respiratória, mudança de decúbito) para realizar as medidas já que, estas manobras interferem na mecânica pulmonar e necessitam de um tempo de estabilização (11,15).

A criança deveria estar com o rosto alinhado na posição supina e, em decúbito dorsal com elevação da cabeceira em 30° para a verificação das medidas. O tubo endotraqueal utilizado da marca Portex®, preferencialmente com balonete, ou com escape de ar ao redor do tubo de até 15% e, bem posicionado na traquéia, confirmado por radiografia de tórax. São dois os

tamanhos de filtro do respirador que variam conforme o peso: volume corrente de 15 a 50ml ou; 75 a 300ml. Em relação ao fluxo do respirador, havia dois grupos. No grupo chamado de crianças, peso de 0,5 a 30kg, o fluxo do respirador é contínuo, de 0,5L, com circuito de 120cm e diâmetro de 1cm, com uma imprecisão de 8% no volume corrente e de 5% na pressão das vias aéreas e, no grupo adulto (acima de 30kg), fluxo contínuo de 2L, circuito de 120cm e diâmetro de 2cm, com a mesma imprecisão da criança (16).

As variáveis em estudo foram: idade, peso, PMVA, PIP, PEEP, FiO₂, complacência estática e dinâmica, elastância, resistência expiratória e inspiratória, autoPEEP e delta de pressão (PD). A PD significa a diferença entre as pressões inspiratória e expiratória, assim definido: pressão de pico menos a PEEP total (PEEP administrado mais a autoPEEP) (12,13).

Realizada a correlação entre a mecânica pulmonar com a idade e o peso. Também foi analisada a associação da mecânica pulmonar com os diferentes padrões de comprometimento pulmonar. São 3 os modelos pulmonares utilizados nesta pesquisa: sem comprometimento pulmonar, crianças que estavam em VM por motivos inicialmente extra-pulmonares; com doença obstrutiva, crianças que apresentavam principalmente doença de via aérea, caracterizados na ausculta pulmonar pela dificuldade de exalação do ar, tempo expiratório prolongado e sibilância e, radiografia de tórax com hiperinsuflação, por exemplo asma e bronquiolite e; com doença restritiva, pacientes que apresentam doença de parênquima pulmonar com hipoxemia importante e, radiografia de tórax com opacidades bilaterais. São pacientes ventilados com PEEP e FiO₂ altas. Citamos como exemplo a síndrome da angustia respiratória aguda (SARA), edema pulmonar e, pneumonia bilateral.

Análise Estatística

As variáveis quantitativas contínuas foram expressas pela média e desvio-padrão ou mediana e intervalo interquartil de 25-75% (IQ25-75), conforme a simetria das variáveis. Variáveis categóricas foram descritas em valores absolutos e relativos. Os grupos foram comparados por meio do teste T de *Student* para amostras independentes, U de Man-Whitney, análise de variância de Anova ou de Kruskal-Wallis para as variáveis contínuas e o teste do Qui-quadrado ou teste exato de Fisher para variáveis categóricas. O nível de significância adotado foi o valor de $p < 0,05$. A associação entre as variáveis foi analisada mediante a correlação de Pearson (variáveis paramétricas) e Spearman (variáveis não paramétricas). A concordância das variáveis realizada através do teste de Bland-Altman. A avaliação qualitativa da força da correlação entre duas variáveis segue a classificação da seguinte forma: correlação linear ($r = 0-0,10$, força nula; $r = 0,10-0,39$, força fraca; $r = 0,40-0,69$, força moderada; $r = 0,70-0,89$, força forte; $r = 0,9-1,00$, força muito forte (17).

A análise estatística foi realizada pelo programa SPSS versão 17 Chicago, EUA.

Considerando uma correlação mínima de 0,5 entre complacência estática e o peso, um alpha de 0,05, um beta de 0,90, o número mínimo de participantes a serem incluídos é de 34. Considerando as demais variáveis a serem analisadas, o número total de pacientes incluídos será de 120.

Aspectos Éticos

O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital de Clínicas de Porto Alegre e do Hospital São Lucas da PUCRS.

RESULTADOS

Foram analisadas 124 crianças em ventilação mecânica (VM) no período de março de 2016 a fevereiro de 2017, que preencheram os critérios de seleção.

Na tabela 1 podemos observar as características gerais dos pacientes. Tratavam-se de crianças com mediana da idade de 5,0 (IQ₂₅₋₇₅ 2-22) meses, peso 6,3 (IQ₂₅₋₇₅ 4,5-11,0) Kg, o tempo de ventilação foi de 7 (IQ₂₅₋₇₅ 5-9) dias e de internação em UTIP foi 10 (IQ₂₅₋₇₅ 7-15) dias (tabela 1).

As médias dos parâmetros da VM utilizados foram: PIP de 30±6 cmH₂O, PEEP 6±2 cmH₂O, tempo inspiratório de 0,8 ±0,1s, FiO₂ 0,3 ±0,1, pressão de suporte (PS) 14±4 cmH₂O volume corrente inspiratório (VCI) 10,5±2,0 ml/kg, volume corrente expiratório (VCE) 10,4±2,0 ml/kg e pressão média da via aérea (PMVA) 12,6 ±3,0cmH₂O.

Na análise dos valores da mecânica pulmonar das crianças, observamos valores baixos da complacência, mediana da Cest 4,9(IQ₂₅₋₇₅ 3,0-10,0) ml/cmH₂O e elevados da resistência, RI 94 (IQ₂₅₋₇₅ 54-156) cmH₂O/L/s e a média da PD 21 (±5) cmH₂O. (tabela 2)

Ao compararmos os 3 padrões de comprometimento pulmonar, os pacientes com doença obstrutiva constituíam o maior grupo de pacientes ventilados (91 pacientes), eram mais jovens (3,7 meses) e apresentavam menores, peso (5,5 Kg), PIM2 (0,5), mortalidade (1%), ISO (4,7) em relação aos outros grupos. Os grupos se diferenciaram em relação ao tempo de ventilação, mas não no tempo de internação em UTIP (tabela 1).

Os pacientes do modelo de doença obstrutiva apresentavam valores maiores de autoPEEP (3 cmH₂O), RI (113 cmH₂O/L/s) e, RE (137 cmH₂O/L/s) e menor CDyn (2,3 ml/cm/H₂O) e Cest (4,4 ml/cm/H₂O) em relação aos outros modelos de comprometimento pulmonar.

Ao correlacionar a complacência e resistência com a idade, observamos uma associação moderada ($r=0,500$, $r=-0,500$ $p<0,001$). A relação do peso mostrou uma associação forte com a Cest ($r=0,809$; $p<0,001$), CDyn ($r=0,836$, $p<0,001$) porém, RE ($r=-0,614$, $p<0,001$) e RI ($r=-0,498$, $p<0,001$) tiveram uma correlação moderada.

Em relação ao tempo de VM na UTIP não houve associação com a RI ($r=0,119$, $p=0,19$), Cest ($r=-0,208$, $p=0,02$), PIP ($r=0,169$, $p=0,06$), autoPEEP ($r=-0,046$, $p=0,6$) e PMVA ($r=0,216$, $p=0,016$).

Ao observar a RI em relação ao peso, notamos uma correlação moderada ($r=-0,498$, $p<0,001$), entretanto chama a atenção uma resistência muito alta num grupo de crianças com peso inferior a 6Kg (figura 1) com diferença significativa em relação aos maiores que 6Kg ($p<0,001$).

Ao observar a Cest em relação ao peso, notamos que existe um aumento linear da complacência a medida que aumenta o peso, uma correlação considerada forte ($r=0,809$, $p<0,001$) (figura 2). Esta relação de dependência é muito mais acentuada nos primeiros 20 kg de peso e, a partir daí existe uma grande dispersão, assemelhando-se aos adultos.

Quando observamos a Cest nas crianças menores de 6kg, percebemos uma reduzida complacência, com diferença significativa em relação aos maiores de 6kg ($p<0,001$). (figura 2)

Na análise da Cest em relação aos diferentes padrões de comprometimento pulmonar notamos uma complacência reduzida nas crianças com doença obstrutiva e com diferença estatisticamente significativa em relação aos outros modelos ($p<0,001$) (figura 3).

Ao observar a Cest no modelo pulmonar de doença obstrutiva notamos uma correlação forte com o peso ($r=0,759$, $p<0,001$) (figura 4) achado similar ao observado no grupo geral, mostrando que o peso é o fator primordial na análise da complacência.

Ao analisar a associação da CDyn e Cest, encontramos uma correlação forte, podendo a CDyn, de aferição mais simples, ser útil no acompanhamento das crianças em VM, principalmente nas menores de 6Kg (figura 5).

Tabela 1 - Características gerais dos pacientes em ventilação mecânica

	Total de pacientes em VM (124)	Sem doença pulmonar (22)	Doença obstrutiva (91)	Doença restritiva (11)	Valor de p
Idade (meses) Md (IQ25-75)	5,0(2-22)	23,5 (4-54)	3,7(2-12)	45,0(15-93)	<0,001
Peso (kg) Md (IQ25-75)	6,3(4,5-11,0)	12,0(4,8-15,0)	5,5(4,0-9,0)	15,0(7,5-25,0)	<0,001
Tube (mm) Md (IQ25-75)	4,0 (3,5-4,5)	4,5(3,5-4,5)	4,0 (3,5-4)	5,0(5-5,5)	0,070
Sexo masculino n (%)	72,0 (60%)	10,0 (45%)	57,0 (62%)	6,0 (54%)	0,030
PIM2 Md (IQ25-75)	1,0(0,3-4,0)	4,3(1,1-40,0)	0,5(0,2-1,8)	7,0 (1,2-72,7)	<0,001
PAM (mmHg) Média ±DP	65,0 ±14,5	62,3±11,0	65,7±15,0	66,6±18,0	0,500
FC (bpm) Média ±DP	155 ±22	134±29	160±21	148±26	<0,001
Saturação de O ₂ n(%)	96,8±3	97,4±2	97,0±3	94,0±3	0,013
BH 24h/Peso (mlkg) Md (IQ25-75)	24,0 (9-41)	29,5 (6,7-50)	29,0(13-49)	22,0(2-83)	0,180
Posição Supina n (%)	114 (92%)	21(95%)	85(93%)	8(72%)	0,100
Sedação Midazolam e morfina n (%)	52 (42%)	9(41%)	39(43%)	4(36%)	0,954
Rel muscular n (%)	74 (60%)	3 (13%)	63 (69%)	8 (72%)	<0,001
Salbutamol n(%)	19 (15%)	3 (14%)	15 (16%)	1 (9%)	0,120
Modo VM SIMV + PS n(%)	80 (64,5%)	17 (77,0%)	58 (63,0%)	5 (45,0%)	0,070
ISO Média ±DP	4,7 ±2,7	3,0 ±0,9	4,7 ±2,5	8,4 ±2,8	< 0,010
Mortalidade n (%)	10 (8%)	4 (19%)	1 (1%)	5 (45%)	<0,010
Tempo VM (dias) Md (IQ25-75)	7,0 (5-9)	5,0(2,5-10,0)	7,0(5-9)	9,0(6-14)	0,040
Tempo UTIP(dias) Md (IQ25-75)	10,0 (7-15)	9,5 (3,3-16,8)	10,0 (7-15)	9,0 (9-19)	0,530

Legenda: VM (ventilação mecânica); Mediana (Md);, PIM2 (índice de mortalidade pediátrico); PAM (pressão arterial média), FC (frequência cardíaca), BH (balanço hídrico), Rel muscular (relaxante muscular),SIMV + PS (pressão controlada e ventilação mandatória intermitente sincronizada com pressão suporte), ISO (índice de saturação da oxigenação). Resultados das variáveis paramétricas expressos em média com desvio padrão e análise de Variância de ANOVA (Bonferroni) e as variáveis não-paramétricas pela mediana com interquartil de 25-75% e análise de variância de Kruskal-Wallis, com $p < 0,05$ considerado estatisticamente significativo.

Tabela 2 - Dados analisados da mecânica pulmonar nos diferentes padrões de comprometimento pulmonar

	Todos os pacientes em VM (124)	Sem doença pulmonar (22)	Doença obstrutiva (91)	Doença restritiva (11)	Valor de p
AutoPEEP cmH ₂ O Md(IQ25-75)	2,0(1,0-4,7)	1,0(0-2)	3,0(2,0-5,0)	2,0(0-2,0)	<0,001
RI cmH ₂ O/L/s Md (IQ25-75)	94,0(54-156)	44,0(35-66)	113,0(77-176)	33,0 (28-57)	<0,001
RE cmH ₂ O/L/s Md (IQ25-75)	120,0 (68-162)	58,5 (44-107)	137,0 (89-168)	49,0(38-89)	<0,001
Cest ml/cmH ₂ O Md (IQ25-75)	4,9 (3,0-10,0)	9,7(4,7-16,0)	4,4 (3,0-6,8)	13,0 (5,8-19,0)	<0,001
CDyn ml/cmH ₂ O Md (IQ25-75)	3,0 (1,8-6,4)	8,3 (3,7-12,5)	2,3 (1,7-3,8)	10,0(4,6-11,6)	<0,001
Elastância cmH ₂ O/L (123) Md (IQ25-75)	200 (98-313)	119 (65-228)	222(144-336)	76 (51-175)	<0,001
Delta de pressão cmH ₂ O Md (IQ25-75)	21 (\pm 5,0)	16 (\pm 4)	22 (\pm 4)	20 (\pm 6)	<0,001

Legenda: Variáveis analisadas pela pausa inspiratória e expiratória no respirador. VM (ventilação mecânica); Mediana (Md); RI (resistência inspiratória); RE (resistência expiratória); Cest (complacência estática); CDyn (complacência dinâmica). Resultados das variáveis paramétricas expressos em média com desvio padrão e análise de Variância de ANOVA e as variáveis não-paramétricas pela mediana com interquartil de 25-75% e análise de variância de Kruskal-Wallis com $p < 0,05$ considerado estatisticamente significativo.

Figura 1. Correlação da resistência inspiratória com o peso nas crianças em ventilação mecânica. Pearson ($r = -0,498$, $p < 0,001$)

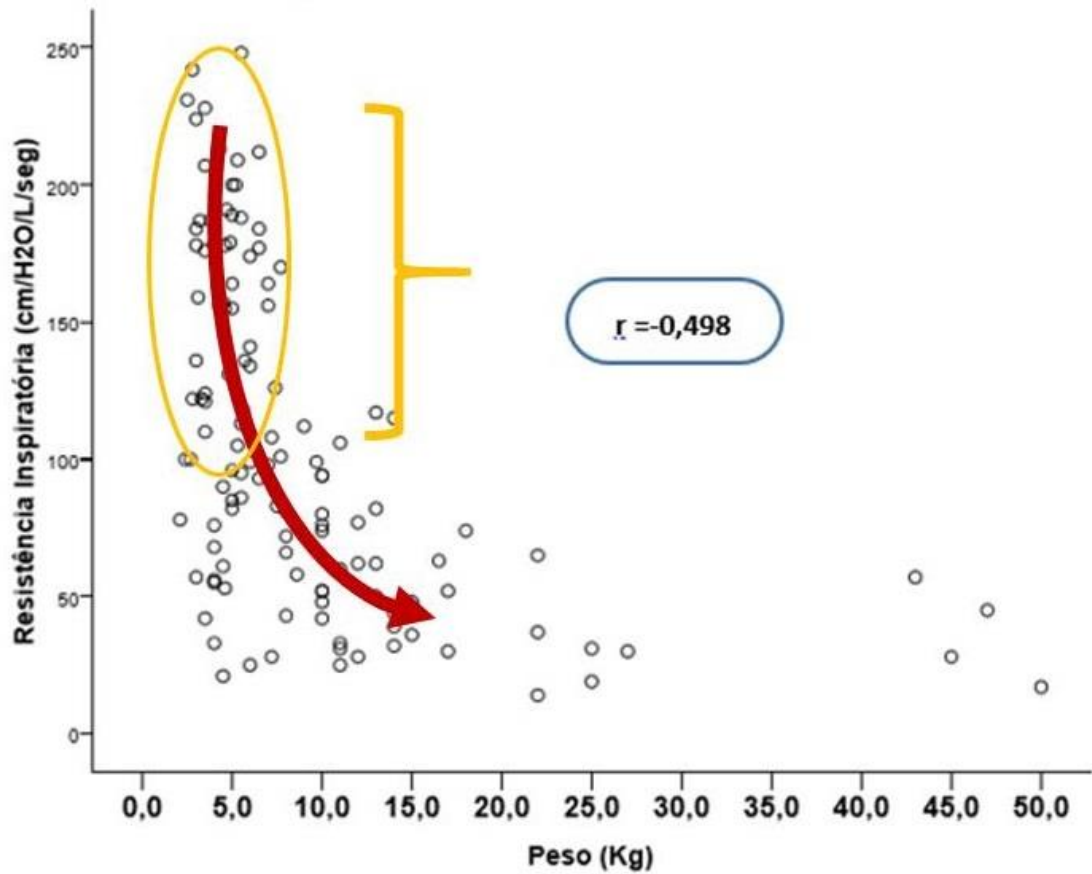


Figura 2. A) Correlação da complacência estática com o peso ($r = 0,809$, $p < 0,001$) B) Comparação da complacência estática em crianças com peso menor e maior que 6kg. $p < 0,001$

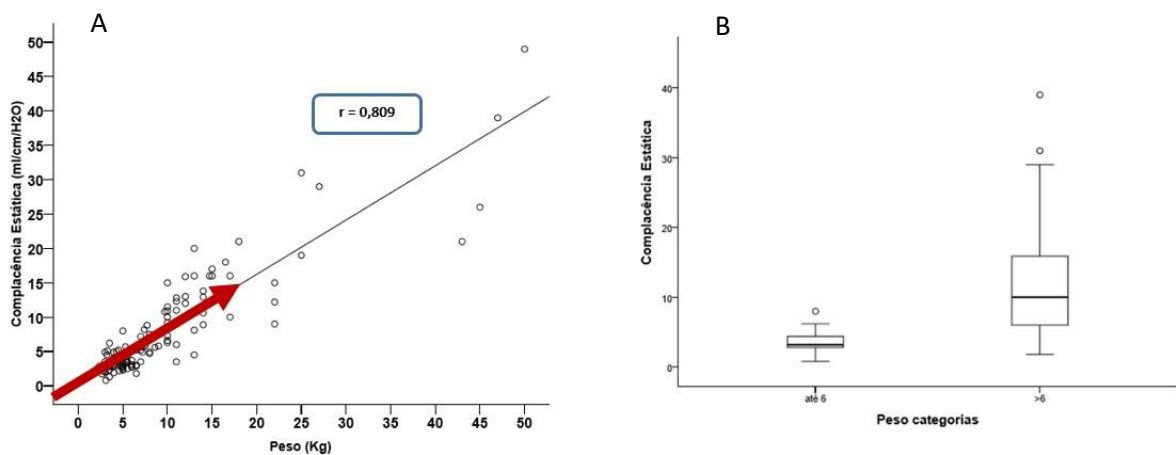


Figura 3. Comparação da complacência estática nos 3 padrões de doença pulmonar de crianças em ventilação mecânica. (Kruskal-Wallis, $p < 0,001$)

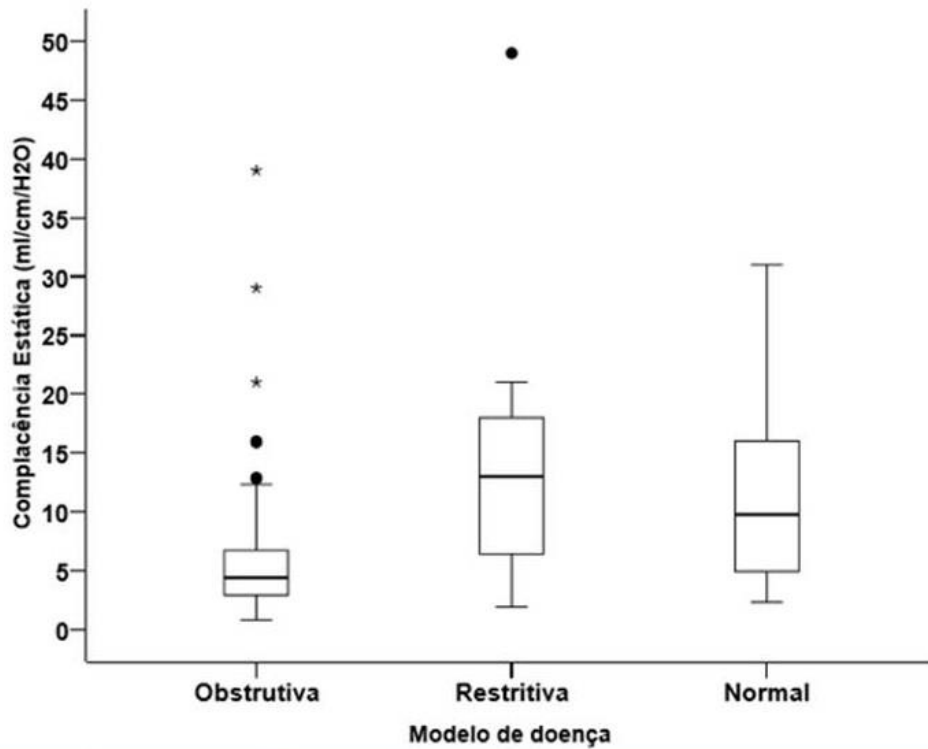


Figura 4. Correlação da complacência estática em relação ao peso na doença obstrutiva. ($r = 0,759$, $p < 0,001$)

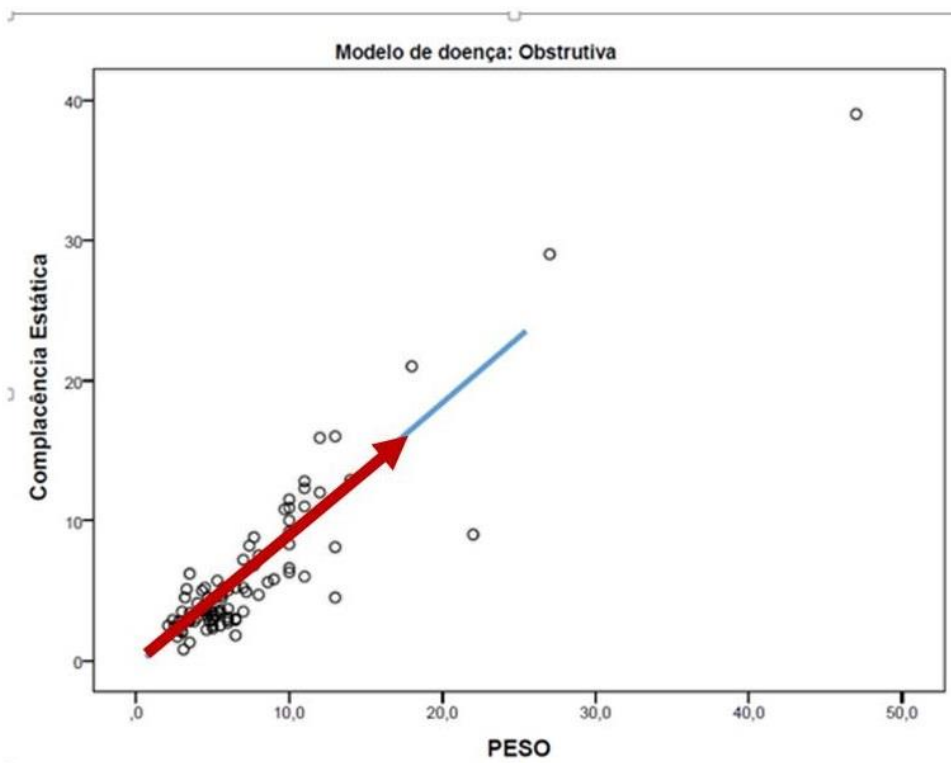
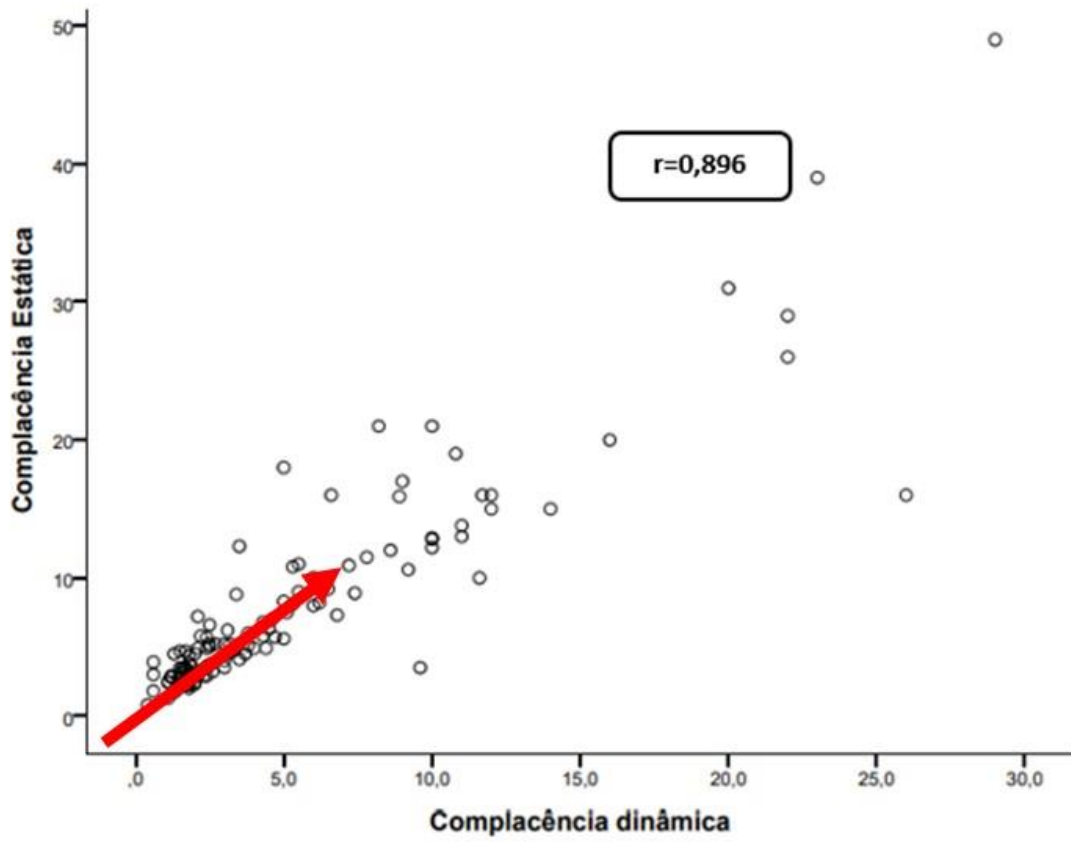


Figura 5. Comparação da complacência estática com a dinâmica com correlação forte ($r=0,896$)



DISCUSSÃO

Na avaliação da mecânica pulmonar em crianças que utilizaram a ventilação mecânica (VM) por mais de 24h em duas unidades de terapia intensiva pediátrica (UTIP) do sul do Brasil pode-se observar, especialmente em lactentes menores de 6kg, a elevada resistência inspiratória de via aérea e a reduzida complacência estática. Pode-se ainda constatar uma forte associação entre a complacência estática e o peso corporal.

A VM é uma das principais intervenções em UTIP, cerca de 40-60% das crianças admitidas utilizam este recurso para a sustentação da vida. Mesmo sendo uma terapêutica frequente, sua abordagem é essencialmente baseada na experiência pessoal ou fundamentada em conceitos da população neonatal e de adultos (18).

O sistema respiratório das crianças em fase de desenvolvimento, difere dos adultos na sua anatomia, imunologia e fisiologia peculiar, fato que é ignorado nas recomendações utilizadas em VM, baseadas nos estudos realizados na população adulta (18,19,20). Ocorre acelerado crescimento e maturação pulmonar até a idade de 8 anos. As vias aéreas crescem em diâmetro e comprimento, sem aumento do seu número. As crianças admitidas na UTIP têm idade de 1 mês a 14 anos e em relação ao peso, variam de 2kg a 70kg, aproximadamente. Ao nascimento há cerca de 20 milhões de alvéolos e, aos 8 anos chegam a 300 milhões, enquanto a superfície alveolar, tem 2,8m² ao nascimento, 32m² aos 8 anos e 75m² na vida adulta (21). O volume aéreo do parênquima pulmonar do recém-nascido é pequeno quando relacionado a via aérea proximal, entretanto com o crescimento corporal ocorre um aumento dramático da superfície pulmonar. A capacidade residual funcional, volume de ar que permanece no pulmão ao final da expiração forçada, aumenta 40 vezes do período da infância ao adulto, e o peso do pulmão aumenta em 10 vezes neste período (19). Estas considerações têm impacto no volume corrente que permanece na via aérea (espaço morto) e no volume que realmente chega até ao

alvéolo (volume corrente efetivo), tendo a criança, adolescente e o adulto, uma demanda ventilatória diferente de acordo com sua idade.

A pequena via aérea distal do lactente e o parênquima em rápido desenvolvimento promovem um comportamento de resistência elevada para a passagem do fluxo de ar para os alvéolos, justificando por que a doença obstrutiva é tão frequente nas crianças menores de 2 anos de vida (19,22,23). A resistência inspiratória da via aérea encontrada em nosso estudo (94cmH₂O/L/s) foi elevada e superior ao valor encontrado por Cruces, 38,5 cmH₂O/L/s em bronquiolite (24). Estas diferenças nos valores da resistência poderiam ser atribuídos aos diferentes métodos de aferição. Entretanto, o fato marcante é o valor aumentado da resistência de vias aéreas de crianças pequenas (peso inferior a 6kg) que, independentemente da doença que motiva a VM, representa um desafio adicional à estratégia ventilatória. Não é de estranhar que visando vencer a resistência e promover o recrutamento das áreas colapsadas, alguns autores sustentem a utilização de pressão de pico mais elevada (12,23). Por outro lado, em crianças maiores (>20kg) existe uma linearidade nos valores da resistência de vias aéreas similar aos adultos, sem apresentar a mesma repercussão.

Deve-se destacar que a elevada resistência não foi acompanhada de altos valores de autoPEEP, como seria esperado em doenças que afetem a via aérea (11,24). Diante destes achados, entendemos que mesmo havendo uma marcante resistência à entrada de ar, nas crianças menores não ocorre de forma significativa, o alçapamento de ar intra-alveolar e, tampouco, impedimento de trocas gasosas (23). Talvez o colapamento da via aérea distal não seja uniforme ou nossas manobras de pausa inspiratória e expiratória tenham alterado o valor da autoPEEP (11). Um dilema na ventilação da criança pequena é vencer esta resistência durante a fase inspiratória.

É reconhecido que a criança apresenta baixa complacência pulmonar em relação aos adultos, mas neste estudo destacamos a forte associação entre a complacência estática e o peso

corpóreo. Isto foi verificado também no grupo de doença obstrutiva da via aérea. Portanto, entendemos que as características peculiares do sistema respiratório em crescimento da criança são tão marcantes e importantes na mecânica pulmonar quanto a doença pulmonar e, por conseguinte, influenciam diretamente a estratégia ventilatória (24). Citamos, como exemplo da influência da fisiologia do pulmão imaturo na criança, o estudo de Numa, utilizando a posição prona surpreendeu quando, crianças com doença obstrutiva tiveram melhor resposta do que as com doença restritiva tanto no aumento da complacência quanto redução da resistência (25). Ao contrário do adulto, onde a superfície pulmonar desenvolvida permite que apenas algumas zonas sadias sustentem a ventilação pulmonar, na criança, considerando a baixa complacência estática e a alta resistência inspiratória ajustadas à fase de crescimento, através da relação como o peso corporal, torna-se impraticável a ventilação sem a utilização de valores pressóricos mais elevados.

As estratégias de ventilação no adulto são voltadas essencialmente à redução da mortalidade (26,27). Já a maioria das crianças ventiladas em UTIP, tem mortalidade relativamente baixa, especialmente se considerarmos que a SARA não é a doença mais comum nesta faixa etária. Considerando que a mortalidade é muito baixa nas doenças predominantemente obstrutivas na infância, a atenção volta-se à redução da lesão pulmonar induzida pela ventilação (VILI). Há várias formas de mecanismo da VILI, incluindo a hiperdistensão do pulmão (barotrauma e volutrauma), repetida abertura e fechamento dos alvéolos (atelectrauma) e aumento de mediadores inflamatórios (biotrauma) (28), tornando as medidas da mecânica pulmonar como complacência e resistência, além da pressão de via aérea e, volume utilizados, fundamentais na estratégia ventilatória. Estudos em ratos ventilados com alto volume corrente comparando 3 faixas etárias, recém-nascido, pediátrica e adulta, mostraram um importante comprometimento pulmonar nos adultos, baseado na alteração da complacência e presença de grande número de células inflamatórias nos alvéolos quando

comparado aos pediátricos (29). Na criança existe uma deficiente ação do sistema imunológico resultando em pequena quantidade de células inflamatórias no parênquima pulmonar e também, uma concentração alta de elastina e pequena de colágeno, interferindo nas forças elásticas do pulmão, fatores que parecem proteger as crianças quanto ao aparecimento da VILI (28,30). Aparentemente tais achados justificam a utilização de pressão de pico e volume corrente superiores aos recomendados para os adultos, pelo menos até este momento (15,16,31).

A redução no tempo de ventilação também é uma importante meta na VM, onde um período maior, relaciona-se ao aumento do número de complicações, como a pneumonia associada a ventilação, abstinência aos analgésicos e sedativos utilizados, e a lesão pulmonar (32,33). Ao analisar o tempo de VM deste estudo, mediana de 7 dias, similar a outros estudos (1,2,15), não encontramos associação com as variáveis da mecânica pulmonar, seja complacência ou resistência, ou mesmo as pressões utilizadas. Provavelmente os valores isolados da mecânica pulmonar encontrados nas crianças deste estudo, na fase inicial de VM, não sejam os preditores fundamentais para o tempo de ventilação e sim, a repetida monitorização realizada diariamente da mecânica pulmonar, acompanhando a evolução do comprometimento pulmonar (31,34).

São poucos os trabalhos sobre VM que analisam os valores da mecânica pulmonar em pediatria e, no momento, não existem valores padronizados e recomendados da mecânica pulmonar na prática diária, fato que motivou esta pesquisa. Para reduzir o viés da aferição, utilizamos um ventilador padrão comum às duas unidades de terapia intensiva, seguindo as recomendações já estabelecidas para análise destas medidas, com a uniformidade dos sistemas e circuitos acoplados ao respirador (volume do filtro e tamanho do circuito) e da padronização da aferição. Preferimos a análise na forma estática, forma mais fidedigna para a aferição da mecânica pulmonar, pois não tem a interferência do fluxo no circuito do ventilador, forma esta,

apenas realizada no modo volume controlado, mediante as pausas inspiratória e expiratória (11,12,35).

CONCLUSÕES

A prática diária de diversas UTIPs tem demonstrado que a VM na criança não é comparável à ventilação do adulto, onde volumes correntes e limites pressóricos recomendados para os adultos não são consensuais aos aplicados nas crianças. A resistência e a complacência pulmonar no adulto têm um padrão uniforme, assim como o observado em crianças maiores que 20kg (16,18).

Baseado em nossos resultados, acreditamos que a rotina da mensuração de valores da mecânica pulmonar em crianças submetidas a VM, possa contribuir para adequar e definir a estratégia ventilatória. Os valores da complacência estática e da resistência inspiratória encontradas, especialmente em crianças menores de um ano, constituem um desafio para que os intensivistas pediátricos construam consensos de ventilação em pediatria considerando tais aspectos. Um consenso que defina valores de volume corrente, pressão de pico, pressão platô e delta de pressão (pressão de distensão), para as crianças em suas várias fases de crescimento e, assim minimize as complicações associadas a VM e reduza o tempo de VM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Farias JA, Frutos F, Esteban A, et al: What is the daily practice of mechanical ventilation in pediatric intensive care units? A multicenter study. *Intensive Care Med* 2004; 30:918-925
2. Traiber C, Piva JP, Fritsher CC, et al: Profile and consequences of children requiring prolonged mechanical ventilation in three Brazilian pediatric intensive care units. *Pediatr Crit Care Med* 2009; 10:375-380
3. Slutsky AS, Ranieri VM: Ventilator-induced lung injury. *N Engl J Med* 2013; 369:2126-2136
4. Cannon ML, Cornell J, Tripp-Hamel DS, et al: Tidal volumes for ventilated infants should be determined with a pneumotachometer placed at the endotracheal tube. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 162:2109-2112
5. Emmerich JC: Início e manutenção do suporte ventilatório. *In: Suporte ventilatório aplicação prática.* Emmerich JC. Fifth edition. Rio de Janeiro, Revinter, 2014, pp 29-87
6. Murias G, Blanch L, Lucangelo U: The physiology of ventilation. *Respir Care* 2014; 59:1795-1807
7. Cid JLH: Respiratory function monitoring II: compliance, airway resistance, dynamic hyperinflation, pulmonary dead-space, work of breathing. *An Pediatr* 2003; 59:278-285
8. Pérez M, Mancebo J: Monitoring ventilatory mechanics. *Med Intensiva* 2006; 30:440-448
9. Guerra SD, Moraes CL: Métodos gráficos de monitorização da ventilação mecânica. *In: Medicina Intensiva em Pediatria.* Piva JP, Garcia PCR. Second edition. Rio de Janeiro, Revinter, 2014, pp 691-724
10. Garcia-Prieto E, Amado-Rodriguez L, Albaiceta GM: Monitorization of respiratory mechanics in the ventilated patient. *Med Intensiva* 2014; 38:49-55
11. Hess DR: Respiratory mechanics in mechanically ventilated patients. *Respir Care* 2014; 59:1773-1794
12. Silva PL, Rocco PRM: Mecânica ventilatória. *In: Ventilação mecânica fundamentos e prática clínica.* Valiatti JLS, do Amaral JLG, Falcão LFR. Rio de Janeiro, Roca, 2016, pp 3-22
13. Avena MJ, Carvalho WB, Beppu OS: Avaliação da mecânica respiratória e da oxigenação pré e pós-aspiração de secreção em crianças submetidas à ventilação pulmonar mecânica. *Rev Assoc Med Bras* 2003; 49:3-22

14. Servo i: Maquet Critical Care. Ventilator System V.2.0. Manual de utilização. Available at: <http://www.medonegroup.com/pdf/manuals/userManuals/Maquet-servo-i-operators-Manual.pdf>.
15. Khemani RG, Conti D, Alonzo TA, et al: Effect of tidal volume in children with acute hypoxemic respiratory failure. *Intensive Care Med* 2009; 35:1428-1437
16. Yehya N, Thomas NJ: Disassociating Lung Mechanics and Oxygenation in Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome. *Crit Care Med* 2017; 45:1232-1239
17. Schober P, Boer C, Swarte LA. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesth Analg* 2018;126:1763-68
18. Joza S, Post M: Development of the respiratory system. *In: Pediatric and neonatal mechanical ventilation*. Rimensberger PC. Berlin, Springer, 2015, pp 3-26
19. Rimensberger PC, Cheifetz IM, Kneyber MCJ: The top ten unknowns in paediatric mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2018;44:366-370
20. Donoso A, Arriagada D, Diaz F, et al: Invasive mechanical ventilation. Update for the pediatrician. *Arch argent pediatr* 2013; 111:428-435
21. McFadyen JG, Thompson DR, Martin LD: Applied respiratory physiology. *In: Pediatric critical care medicine*. V. 2. Respiratory, cardiovascular and central nervous systems. Wheeler DS, Wong HR, Shanley TP. Second edition. London, Springer, 2014, pp 3-18
22. Martinez FD, Morgan WJ, Wright AL, et al: Diminished lung function as a predisposing factor for wheezing respiratory illness in infants. *N Engl J Med* 1988; 319:1112-1117
23. Kneyber MCJ, de Luca D, Calderini E, et al: Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC). *Intensive Care Med* 2017; 43:1764-1780
24. Cruces P, Gonzalez-Dambrauskas S, Quilodran J, et al: Respiratory mechanics in infants with severe bronchiolitis on controlled mechanical ventilation. *BMC Pulm Med* 2017; 17:129
25. Numa AH, Hammer J, Newth CJ: Effect of prone and supine positions on functional residual capacity, oxygenation, and respiratory mechanics in ventilated infants and children. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 156:1185-1189
26. Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, et al: Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2015; 372:747-755
27. Guerin C, Reignier J, Richard JC, et al: Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2013; 368:2159-2168
28. Kneyber MC, Zhang H, Slutsky AS: Ventilator-induced lung injury. Similarity and differences between children and adults. *Am J Respir Crit Care Med* 2014; 190:258-265

29. Kornecki A, Tsuchida S, Ondiveeran HK, et al: Lung development and susceptibility to ventilator-induced lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 2005; 171:743-752
30. Kneyber MC: Ventilator-induced lung injury: does it occur in children? *Minerva Anesthesiol* 2018;84:626-631
31. de Jaeger P, Burgerhof JGM, van Heerfe M, et al..Tidal volume and mortality in mechanically ventilated children: a systematic review and meta-analysis of observacional studies. *Crit Care Med* 2014;XX:00-00- doi 10.1097/CCM.0000000000000546
32. Piva JP, Garcia PCR, Andreolio C, et al: Princípios da ventilação mecânica em pediatria. *In: Medicina intensiva em pediatria.* Piva JP, Garcia PCR. Rio de Janeiro, Revinter, 2015, pp 619-645
33. Guess R, Vaewpanich J, Coss-Bu JA, et al: Risk Factors for Ventilator-Associated Events in a PICU. *Pediatr Crit Care Med* 2018; 19:e7-e13
34. Yehya N, Thomas NJ, Khemani RG. Risk stratification using oxygenation in the first 24 hours of pediatric acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 2018;46:619-624
35. Lanteri CJ, Sly PD: Changes in respiratory mechanics with age. *J Appl Physiol* (1985) 1993; 74:369-378

8 ARTIGO ORIGINAL SUBMETIDO– EM INGLÊS

www.editorialmanager.com/pccm/default.aspx

Pediatric Critical Care Medicine Society for Pediatric Critical Care Medicine World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies

Editorial Manager

HOME • LOG-OUT • HELP • REGISTER • UPDATE MY INFORMATION • JOURNAL OVERVIEW
 MAIN MENU • CONTACT US • SUBMIT A MANUSCRIPT • INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Role: Author Username: fr_bruno@hotmail.com

Submissions Being Processed for Author Francisco Bruno

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date
Action Links		The influence of weight on respiratory mechanics values in children on mechanical ventilation	Jun 12, 2018	Jun 12, 2018

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

<< Author Main Menu

Pediatric Critical Care Medicine

The influence of weight on respiratory mechanics values in children on mechanical ventilation

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	The influence of weight on respiratory mechanics values in children on mechanical ventilation
Article Type:	Online Clinical Investigation
Keywords:	critical care; respiratory mechanics; airway resistance; lung compliance; mechanical ventilation; Pediatrics
Corresponding Author:	Francisco Bruno Hospital de Clinicas de Porto Alegre Porto Alegre, RS BRAZIL
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Hospital de Clinicas de Porto Alegre
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Francisco Bruno
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Francisco Bruno Jefferson Pedro Piva Paulo Roberto A Carvalho Cinara Andreolio Rita Matiello Pedro Celiny Ramos Garcia
Order of Authors Secondary Information:	
Manuscript Region of Origin:	BRAZIL
Abstract:	<p>Objectives: To analyze the influence of body weight on the respiratory mechanics of children submitted to mechanical ventilation (MV).</p> <p>Design: Cross-sectional study.</p> <p>Setting: Two Brazilian Pediatric Intensive Care Units (PICU), at the Hospital de Clínicas de Porto Alegre – UFRGS University and at the Hospital São Lucas – PUCRS University (Brazil).</p> <p>Patients: Children (1 month to 14 years old) requiring MV for more than 24 hours, between March 2016 and February 2017.</p> <p>Interventions: Evaluation of respiratory mechanics variables (auto-PEEP, compliance and resistance) in the first 24 hours of MV.</p> <p>Measurements: linear correlations between respiratory mechanics variables and body weight were calculated.</p> <p>Results: 124 children on MV were evaluated in both PICU. Median age of children: 5 (IQ25-75: 2-22) months; weight: 6.3 (IQ25-75: 4.5-11.0) kg; PIM2: 1.0 (IQ25-75: 0.3-4.0); MV duration: 7 (IQ25-75: 5-9) days; PICU length of stay: 10 (IQ25-75: 7-15) days; mean inspiratory tidal volume: 10.5±2.0 mL/kg; expiratory tidal volume: 10.4±2.0 mL/kg. Median observed values of respiratory mechanics variables were auto-PEEP: 2.0 (IQ25-75: 1.0-4.7) cm H₂O; inspiratory resistance: 94 (IQ25-75: 54-156) cm H₂O/L/s; static compliance: 4.9 (IQ25-75: 3.0-10.0) mL/cm H₂O. Only static compliance and body weight exhibited a strong association ($r = 0.809$, $p < 0.001$). Duration of MV was not statistically associated with any of the respiratory mechanics variables. A remarkably elevated inspiratory resistance and reduced compliance were observed in</p>

Cover Letter

Dr. Patrick M. Kochanek
Editor-in-Chief
Pediatric Critical Care Medicine

Dear Dr. Kochanek,

We have submitted an article entitled “The influence of weight on respiratory mechanics values in children on mechanical ventilation,” which we would like you to consider for publication in *Pediatric Critical Care Medicine*.

The manuscript has not been submitted to any other journals, and will not be submitted elsewhere while under consideration by *Pediatric Critical Care Medicine*. If the paper is accepted for publication in the journal, it will not be published elsewhere, either in similar form or verbatim, without permission of the publisher.

All authors declare that they have no conflicts of interest. In addition, all authors have read and approved the manuscript as submitted, are qualified for authorship, believe the submission represents honest work and take full responsibility for the reported findings.

We look forward to hearing from you regarding the status of our manuscript. In the meantime, please feel free to contact us if you need any additional information.

Sincerely,

Francisco Bruno
Rua Eurico Lara, 546
90880-390 - Porto Alegre, RS
Brazil
fr_bruno@hotmail.com
Tel.: +55-51-98606-0640

**The influence of weight on respiratory mechanics values in children on mechanical
ventilation**

Running head/short title: Respiratory mechanics variables in children

Francisco Bruno, MSc¹; Jefferson Pedro Piva, PhD²; Paulo Roberto A Carvalho, PhD³;
Cinara Andreolio, MSc⁴; Rita Mattiello, PhD⁵; Pedro Celiny Ramos Garcia, PhD⁶

¹ Pediatric intensive care physician, Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA);
Associate Professor, School of Medicine, Hospital São Lucas, Pontificia Universidade
Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, RS, Brazil. E-mail:
fr_bruno@hotmail.com

² Full Professor, Department of Pediatrics, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS); Chief of Pediatric Emergency and Intensive Care Service, HCPA, Porto
Alegre, RS, Brazil. E-mail: jpiva@terra.com.br

³ Full Professor, Department of Pediatrics, UFRGS; Pediatric Emergency and Intensive
Care Service, HCPA, Porto Alegre, RS, Brazil. E-mail: pcarvalho@hcpa.edu.br

⁴ Pediatric intensive care attending physician, Pediatric Intensive Care Unit, HCPA,
Porto Alegre, RS, Brazil. E-mail: cinarandreolio@hotmail.com

⁵ Associate Professor, School of Medicine, PUCRS, Porto Alegre, RS, Brazil. E-mail:
rita.mattiello@puers.br

⁶ Full Professor, School of Medicine, PUCRS; Chief of Pediatric Intensive Care
Medicine, Hospital São Lucas, PUCRS, Porto Alegre, RS, Brazil. E-mail:
celiny@terra.br

Corresponding author

Francisco Bruno

Rua Eurico Lara, 546

90880-390 - Porto Alegre, RS

Brazil

fr_bruno@hotmail.com

Tel.: +55-51-98606-0640

Institution(s) where the work was performed: Two Pediatric Intensive Care Units in Porto Alegre (RS-Brazil): Hospital de Clínicas de Porto Alegre (UTIP/HCPA) and Hospital São Lucas da PUCRS (UTIP/HSL/PUCRS).

Conflicts of Interest and Source of Funding

The authors have no conflicts of interest to disclose.

The authors have no financial relationships relevant to this article to disclose.

Keywords: critical care; respiratory mechanics; airway resistance; lung compliance; mechanical ventilation; pediatrics

ABSTRACT

Objectives: To analyze the influence of body weight on the respiratory mechanics of children submitted to mechanical ventilation (MV).

Design: Cross-sectional study.

Setting: Two Brazilian Pediatric Intensive Care Units (PICU), at the Hospital de Clínicas de Porto Alegre – UFRGS University and at the Hospital São Lucas – PUCRS University (Brazil).

Patients: Children (1 month to 14 years old) requiring MV for more than 24 hours, between March 2016 and February 2017.

Interventions: Evaluation of respiratory mechanics variables (auto-PEEP, compliance and resistance) in the first 24 hours of MV.

Measurements: linear correlations between respiratory mechanics variables and body weight were calculated.

Results: 124 children on MV were evaluated in both PICU. Median age of children: 5 (IQ₂₅₋₇₅: 2-22) months; weight: 6.3 (IQ₂₅₋₇₅: 4.5-11.0) kg; PIM2: 1.0 (IQ₂₅₋₇₅: 0.3-4.0); MV duration: 7 (IQ₂₅₋₇₅: 5-9) days; PICU length of stay: 10 (IQ₂₅₋₇₅: 7-15) days; mean inspiratory tidal volume: 10.5±2.0 mL/kg; expiratory tidal volume: 10.4±2.0 mL/kg. Median observed values of respiratory mechanics variables were auto-PEEP: 2.0 (IQ₂₅₋₇₅: 1.0-4.7) cm H₂O; inspiratory resistance: 94 (IQ₂₅₋₇₅: 54-156) cm H₂O/L/s; static compliance: 4.9 (IQ₂₅₋₇₅: 3.0-10.0) mL/cm H₂O. Only static compliance and body weight exhibited a strong association ($r = 0.809$, $p < 0.001$). Duration of MV was not statistically associated with any of the respiratory mechanics variables. A remarkably elevated inspiratory resistance and reduced compliance were observed in children weighing less than 6 kg ($p < 0.001$).

Conclusions: static compliance had a very strong association with body weight. In particular, very small children on MV present very high resistance and low compliance.

Keywords: critical care; respiratory mechanics; airway resistance; lung compliance; mechanical ventilation; pediatrics

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

INTRODUCTION

1
2 Mechanical ventilation (MV) is frequently provided in pediatric intensive care
3
4 units (PICU) at an estimate rate of 40-60% of all admissions. Although being crucial for
5
6 survival, it is not risk free and has been associated with adverse events (1-3).
7
8

9
10 Nowadays, the majority of ventilators can provide accurate monitoring, in real
11
12 time and graphically, on a range of respiratory mechanics measurements, such as
13
14 resistance, compliance, elastance, and auto-PEEP (positive end expiratory pressure) (4-
15
16 8). Knowing the respiratory mechanics values in real time and in different clinical
17
18 situations would be useful to adjust and implement the best MV parameters.
19
20

21
22 Pulmonary compliance assesses the elasticity of the respiratory system (7, 9),
23
24 and can be measured in two ways: a) Static compliance: measures the elasticity of the
25
26 lungs and the rib cage at rest when airflow is zero. It should be measured with an
27
28 inspiratory pause in the volume cycled ventilator mode. It corresponds to the ratio of
29
30 exhaled tidal volume over the difference between plateau pressure and PEEP; b)
31
32 Dynamic compliance encompasses the resistance of the airways and can be measured in
33
34 volume cycled or pressure cycled mode. It corresponds to the ratio of exhaled tidal
35
36 volume over the difference between positive inspiratory pressure (PIP) and PEEP (7, 9,
37
38 10).
39
40
41
42

43
44 Pulmonary compliance assessment can be useful for identifying the type of
45
46 pulmonary disorder (obstructive or restrictive) and for monitoring the patient's progress
47
48 as well as the changes imposed by respiratory assistance (for example use of PEEP,
49
50 prone position) (10, 11). Reduced pulmonary compliance can result from increased
51
52 surface tension caused by reduced surfactant (Acute respiratory distress syndrome -
53
54 ARDS and hyaline membrane disease), pulmonary edema, and pneumonia (7, 8, 10).
55
56 Normal values for static compliance varies with age (7) are as follow, newborn: 5
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 mL/cm H₂O; 1 year: 15 mL/cm H₂O; 7 years: 50 mL/cm H₂O; and adults: between 60-
2 100 mL/cm H₂O. In the absence obstructive of disorders, dynamic compliance is 10-
3
4 20% less than static compliance (7).
5

6 Pulmonary resistance is the sum of the resistances of the airways and the
7
8 pulmonary tissues, plus the resistance of the endotracheal tube, when on MV. Increased
9
10 resistance can occur because of endotracheal tube obstruction,
11
12 bronchospasm/inflammation/edema of the small airways, increased secretion,
13
14 inadequate sedation, small endotracheal tube, and elevated airflow (7, 8, 11). During
15
16 MV, inspiratory and expiratory resistance can be measured. Inspiratory resistance is
17
18 measured with constant flow, while expiratory resistance is measured with decreasing
19
20 flow and is influenced by the changes caused by this phase (7, 11). The values cited in
21
22 the literature according to age group are as follows, newborn: 40 cm H₂O/L/s; 1 year:
23
24 15 cm H₂O/L/s; 7 years: 4 cm H₂O/L/s, and adults: 2 cm H₂O/L/s (7).
25
26
27
28
29
30

31 Air trapping during MV reflects a failure to exhale all of the air that is inhaled
32
33 during inspiration, which is defined as dynamic hyperinflation, auto-PEEP, or intrinsic
34
35 PEEP. Auto-PEEP is measured after the expiratory pause, with a sedated patient,
36
37 without spontaneous breathing (7-9, 11). Auto-PEEP is useful for assessing obstructive
38
39 disease and respiratory fatigue and for evaluation after changing ventilatory support
40
41 settings (11).
42
43
44
45

46 These variables have been described in some studies involving pediatric
47
48 patients on MV with specific respiratory diseases. However, since the pediatric
49
50 population covers a wide spectrum in terms of weight and size, the aim of this study
51
52 was to evaluate the influence of these anthropometric variables on the respiratory
53
54 mechanics of children requiring MV support during the acute phase of the illness.
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

METHODS

1
2 This is a cross-sectional study conducted at two pediatric intensive care units in
3
4 Porto Alegre, RS, Brazil, with 13 beds each, one at the Hospital de Clínicas de Porto
5
6 Alegre and the other at the PUCRS Hospital São Lucas. These units admit clinical and
7
8 surgical patients and follow similar protocols and strategies of ventilation. Both PICUs
9
10 use Maquet® Servo*i* ventilators. The study was approved by the research ethics
11
12 committees at both institutions and parents or guardians signed free and informed
13
14 consent forms.
15
16
17

18
19 Children from 1 month to 14 years of age were enrolled if they had been
20
21 admitted to the PICU and had been on MV for more than 24 hours of ventilation.
22
23 Children were excluded if they met the following exclusion criteria: a) visible severe
24
25 chest deformities, b) previous chest surgery, c) intrathoracic tumors, d) MV with
26
27 tracheostomy, e) use of chest or mediastinum drain tube, f) cardiovascular instability
28
29 (defined as hypotension or arrhythmia during the period chosen for measurements), g)
30
31 air leak around the tracheal tube causing a difference between the inspiratory and
32
33 expiratory tidal volumes recorded on the ventilator monitor exceeding 15%, (7) or h)
34
35 being on MV for more than 48 hours.
36
37
38

39
40 Data were collected by one of two researchers (CA or FB). During the first 24
41
42 hours of MV, anthropometric data, respiratory mechanics variables, clinical
43
44 information, the ventilator parameters used, medications, 24-hour fluid balance, and
45
46 patient diagnosis were collected and, once the patient had been discharged from the
47
48 PICU, data on duration of MV, length of PICU stay, and mortality were also recorded.
49
50
51

52
53 Respiratory mechanics were evaluated by dynamic compliance, static
54
55 compliance, elastance, inspiratory resistance, expiratory resistance, and auto-PEEP.
56
57

58
59 Patients were ventilated with control pressure and synchronized intermittent
60
61
62
63
64
65

1 mandatory ventilation with pressure support (SIMV with PS) or pressure regulated
2 volume control mode with pressure support (PRVC with PS), according to the assistant
3 physician's preference (decision). Respiratory mechanics variables were measured in
4 volume control mode, maintaining the tidal volume used in the previous ventilation
5 mode (7, 11, 12). Sedation and analgesia were maintained according to the units'
6 routine practice. In these units, neuromuscular blocking agents are routinely used during
7 the initial phase of MV to facilitate ventilation, primarily when oxygenation is
8 compromised. Measurements were performed generally when the neuromuscular
9 blocking agent was administered.

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Static compliance, elastance, and inspiratory resistance must be measured with
a sustained inspiratory pause (around 5s, when the ventilator display shows the
inspiratory pause active message). The auto-PEEP measurement is registered during the
expiratory phase with a sustained pause, also confirmed on the ventilator display.

Measurements were preferably made with the patient in the supine position in
30° decubitus with the face centrally aligned. An interval of 30 minutes was allowed to
elapse after any procedures had been performed on the patient (aspiration of the
endotracheal tube, respiratory physiotherapy, change of position) since these maneuvers
interfere with respiratory mechanics and a period of stabilization is needed (11, 13).

As routine, these PICUs use the Portex® endotracheal tube, preferably with a
cuff. Up to 15% of air leaking around the tracheal tube was considered acceptable and
correct tube positioning was confirmed by chest X-ray. Depending on the size of the
patient, ventilator filters with tidal volumes of 15 to 50mL or 75 to 300mL are used.
Ventilator flow rate is continuous: among children (body weight from 0.5 to 30kg) it is
a continuous flow of 0.5L, in a 120cm circuit with a 1cm diameter, with an 8%
imprecision for tidal volume and 5% for airway pressure, and in the adult group (body

1 weight over 30kg) it is a continuous flow of 2L, in a 120cm circuit with 2cm diameter
2 and the same imprecision levels as for children (14).
3

4 The variables studied were: age, weight, mean airway pressure (MAP), positive
5 inspiratory pressure (PIP), PEEP, fraction of inspired oxygen (FiO₂), static compliance
6 (SC) and dynamic compliance (DC), elastance, inspiratory resistance (IR) and
7 expiratory resistance (ER), auto-PEEP, and delta pressure (DP). The DP was defined as
8 the difference between PIP and total PEEP, calculated as follows: [PIP - (PEEP
9 administered + auto-PEEP)] (15, 16).
10
11

12 Correlations were calculated between respiratory mechanics and age and
13 weight. Children were classified into three hypothetical models of lung disease: a)
14 children with no pulmonary compromise (those requiring MV for extra-pulmonary
15 causes); b) children with lower airway obstructive disease, exhibiting wheezing and/or
16 prolonged expiratory period on pulmonary auscultation in conjunction with a chest X-
17 ray showing hyperinflation (e.g.: asthma and bronchiolitis); c) children with restrictive
18 lung disease, including patients with parenchymal pulmonary disease with significant
19 hypoxemia and a chest X-ray showing bilateral infiltrates/opacity. Characteristically,
20 these patients are ventilated with high PEEP and FiO₂ (e.g.: acute respiratory distress
21 syndrome - ARDS, pulmonary edema, bilateral pneumonia). The behavior of pulmonary
22 variables was analyzed against the 3 hypothetical models of lung disease.
23
24

25 Continuous quantitative variables are expressed as means and standard
26 deviations or medians with 25-75% interquartile ranges (IQ:25.75), depending on
27 asymmetry of the variables. Categorical variables are expressed as absolute and relative
28 values. Groups were compared using Student's *t* test for independent samples, the Man-
29 Whitney U test, and Kruskal-Wallis or ANOVA analysis of variance for continuous
30 variables and using the chi-square test or Fisher's exact test for categorical variables.
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 The significance level adopted was $p < 0.05$. Associations between variables were
2 analyzed using Pearson correlations (parametric variables) or Spearman correlations
3 (nonparametric variables). Agreement between variables was assessed with the Bland-
4 Altman test. Qualitative classification of the strength of correlations between two
5 variables used the following categories, linear correlation (r) = 0 to 0.10: null; $r = 0.10$
6 to 0.39: weak; $r = 0.40$ to 0.69: moderate; $r = 0.70$ to 0.89: strong; $r = 0.90$ to 1.00: very
7 strong (17).
8

9
10 Statistical analysis was performed using SPSS version 17 (Chicago, United
11 States). Considering a minimum correlation of $r = 0.5$ between static compliance and
12 weight, alpha of 0.05, and beta of 0.90, the minimum number of participants needed
13 was 34. Considering the additional variables to be analyzed, the total number of patients
14 recruited was estimated at 120 children.
15
16

17 RESULTS

18
19 Between March 2016 and February 2017, 124 children who met the inclusion
20 criteria were evaluated during the first hours of mechanical ventilation (MV). No
21 significant differences were observed between patients enrolled at the two PICUs in
22 either anthropometric variables or MV parameters; thus, they were analyzed as a single
23 group thereafter.
24
25

26 The 124 children had a median age of 5.0 (IQ₂₅₋₇₅ 2-22) months, weight was
27 6.3 (IQ₂₅₋₇₅ 4.5-11.0) kg, 72 (60%) were male, median length of MV was 7 (IQ₂₅₋₇₅ 5-9)
28 days, and length of stay in the PICU was 10 (IQ₂₅₋₇₅ 7-15) days (Table 1). The means
29 for MV parameters were: PIP: 30±6 cm H₂O; PEEP: 6±2 cm H₂O; inspiratory time:
30 0.8±0.1s; FiO₂: 0.3±0.1; pressure support (PS): 14±4 cm H₂O; expiratory tidal volume
31 (ETV): 10.4±2.0 mL/Kg; and mean airway pressure (MAP): 12.6±3.0 cm H₂O.
32
33

1 Evaluation of the children's respiratory mechanics revealed low values for
2 static compliance (SC) (4.9 [IQ₂₅₋₇₅ 3.0-10.0] mL/cm H₂O) and high inspiratory
3 resistance (IR) (94 [IQ₂₅₋₇₅ 54-156] cm H₂O/L/s) (Table 2).
4
5
6

7 Patients classified in the obstructive disease model made up the largest group
8 (91 patients) and were younger (3.7 months), with lower weight (5.5 Kg), lower risk of
9 mortality PIM2 (0.5), and low mortality (1%). The patients included in the obstructive
10 airway lung disease model presented higher auto-PEEP (3 cm H₂O), IR
11 (113 cm H₂O/L/s), and expiratory resistance (ER) (137 cm H₂O/L/s), and lower
12 dynamic compliance (DC) (2.3 mL/cm/H₂O) and SC (4.4 mL/cm/H₂O), in comparison
13 to the other two pulmonary disorders models (Table 2). There was a difference in
14 relation to length of MV ($p = 0.04$), but there was no difference between the groups in
15 terms of length of PICU stay (Table 1).
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27

28 Analysis of the influence of age on compliance and resistance revealed an
29 association that was classified as merely moderate ($r = 0.500$, $p < 0.001$). In contrast,
30 body weight had strong associations with SC ($r = 0.809$; $p < 0.001$), with DC ($r = 0.836$,
31 $p < 0.001$), and with ER ($r = -0.614$, $p < 0.001$). However, body weight and IR only
32 exhibited a moderate correlation ($r = -0.498$, $p < 0.001$).
33
34
35
36
37
38
39
40

41 Duration of MV did not exhibit significant associations with IR ($r = 0.119$,
42 $p = 0.19$), SC ($r = -0.208$, $p = 0.02$), PIP ($r = 0.169$, $p = 0.06$), auto-PEEP ($r = -0.046$,
43 $p = 0.6$), or MAP ($r = 0.216$, $p = 0.016$).
44
45
46
47

48 Inspiratory resistance exhibited a correlation with body weight that was
49 classified as merely moderate ($r = -0.498$, $p < 0.001$). However, the elevated resistance
50 among children with body weight below 6 kg is remarkable (Figure 1) and was
51 significantly higher than the resistance observed in children with body weight exceeding
52 6 kg ($p < 0.001$).
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

There was also a strong correlation between SC and body weight, ($r = 0.809$, $p < 0.001$) (Figure 2). The relationship of dependence is much more accentuated in the first 20 kg of body weight. Conversely, there was considerable dispersal in compliance among children weighting more than 20 kg. Also notable is the lower SC in children with weight below 6 kg, with a significant difference when compared with that of children weighting more than 6 kg ($p < 0.001$) (Figure 2).

It is worth highlighting the finding that the obstructive disease model exhibited a significant reduction in SC, which was more accentuated than that seen in the other models ($p < 0.001$) (Figure 3). In the obstructive pulmonary disease model, SC exhibited a strong correlation ($r = 0.759$, $p < 0.001$) (Figure 4) with body weight.

Static and dynamic compliance were strongly correlated, particularly among those under 6 kg (Figure 5).

DISCUSSION

Evaluating the respiratory mechanics of children during the first days of MV revealed an elevated inspiratory resistance and reduced static compliance, especially in infant less than 1 year old. Additionally, there was a strong association between static compliance and body weight.

Mechanical ventilation is one of the most frequent interventions provided in the PICU, being used in close to 40-60% of all admitted children. Despite being a very common intervention, the management of MV is frequently based on personal experience or on concepts extracted from the neonatal and adult population (18).

The respiratory systems of children differ from those of adults in terms of anatomy, immunology, and physiology. However, this is not considered in the guidelines and recommendations for MV, which are based on studies of the adult

1 population (19, 20). There is accelerated pulmonary growth and maturation up to the
2 age of 8 years. Newborns have the same number of airways than adults Therefore,
3
4 during the childhood and adolescence the airways increase in diameter and length
5
6 without increasing in number (18, 21). Children admitted to the PICU vary greatly in
7
8 age (between 1 month and 14 years old) and in weight (between 2 and 70 kg). From the
9
10 newborn age to 8 years old there is a 15-fold increment in the number of alveoli (from
11
12 20 million to 300 million of alveoli). In terms of alveolar surface, this increment is
13
14 much more pronounced: 2.8m² at birth, 32m² at 8 years old, and 75m² in adulthood (21).
15
16 In summary, the pulmonary surface parenchyma in the newborn is small in relation to
17
18 the airways surface; however, a dramatic increase in pulmonary surface is observed as
19
20 the body grows. Additionally, functional residual capacity (the volume of air that
21
22 remains in the lungs at the end of a forced expiration), increases by 40 times from
23
24 infancy to adulthood, while the weight of the lungs increases 10 times in the same
25
26 period (19). These aspects have an impact on the amount of tidal volume that remains in
27
28 the airways (dead space) and the amount that actually reaches the alveoli (effective tidal
29
30 volume) in children, adolescents, and adults, demanding different MV strategies
31
32 according to the age.
33
34
35
36
37
38
39
40

41 The reduced diameter of the distal airway in infants and young children
42
43 promotes elevated resistance to air flow, being thus the main reason to justify the
44
45 elevated frequency of lung obstructive disease in children younger than 2 years (19, 22,
46
47 23). The inspiratory resistance of the airway observed in our study (94 cm H₂O/L/s) was
48
49 higher than values reported previously in the literature (e.g.: Cruces observed
50
51 38.5 cm H₂O/L/s in bronchiolitis) (24). These differences could be consequence of
52
53 different evaluation methods. Regardless of these differences, the common finding is
54
55 the elevated airway resistance in small children (< 6 kg body weight), which represents
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

an additional challenge to MV support, wherever the disease that provoked MV. It is no surprise that some authors advocate using higher PIP in order to overcome the airway resistance and to recruit collapsed areas (12, 23). In contrast, in larger children (> 20 kg) airway resistance values exhibit linearity similar to adults, without exhibiting the same recoil.

It should be remarked that the high resistance was not accompanied by elevated auto-PEEP values, as would be expected in lung diseases leading to severe airway obstruction (11, 24). The low levels of auto-PEEP even in presence of elevated resistance could be explained by the non-uniform obstruction of distal airways and/or by the execution of the inspiratory- and expiratory pause maneuvers for measuring the respiratory mechanics variables that could open the obstructed alveoli (11). Therefore, elevated resistance is an additional challenge to be considered when defining the best MV approach in small children.

It is recognized that children have low pulmonary compliance compared to adults, and in this study we could demonstrate the strong association between static compliance and body weight. This was also seen even in the group with obstructive airway disease. We therefore believe that the particular characteristics of the growing respiratory system of the child have effects on respiratory mechanics that are as significant and important as lung disease and, consequently, directly impact ventilation strategy (24). The peculiar response of the immature lung was exemplified in the study by Numa et al., who found that the prone position promoted better response in children with obstructive disease than in those with restrictive disease, in terms of increased compliance and of reduced resistance (25). In contrast with adults, in whom the developed lung surface enables some healthy zones to maintain pulmonary ventilation, in the child, the low static compliance and the high inspiratory resistance, adapted to the

1 stage of growth through their relationship with body weight, mean that ventilation
2 cannot be achieved without higher pressure levels.
3

4 In the adult, ventilation strategies are basically focused on reducing mortality
5 (26, 27). However, mortality is relatively low in the majority of children requiring MV
6 in the PICU, especially considering that ARDS is not the most common disease in this
7 age group. Since the mortality rates are low among children with obstructive lung
8 diseases, the main attention should be focused on reducing ventilation induced lung
9 injuries (VILI) (28). There are several mechanisms that cause VILI, including
10 hyperdistension of the lung (barotrauma and volutrauma), repeated opening and closure
11 of alveoli (atelectrauma) and increased inflammatory mediators (biotrauma) (28), and so
12 measurement of respiratory mechanics such as compliance, resistance, airway pressure,
13 and tidal volume could facilitate the decision on the best ventilatory strategy. Studies of
14 ventilated rats with high tidal volume comparing 3 age groups, newborn, pediatric, and
15 adult, showed significant pulmonary compromise in the adults, based on the altered
16 compliance and presence of large numbers of inflammatory cells in the alveoli, when
17 compared to the pediatric group (29). In children, immune system activity is deficient,
18 resulting in lower quantities of inflammatory cells in the pulmonary parenchyma, and a
19 high concentration of elastin and low concentration of collagen interferes with the
20 elastic forces in the lung, which are factors that appear to protect children from
21 development of VILI (28, 30). Apparently, these findings justify use of peak pressure
22 and tidal volume greater than those recommended for adults, adjusted to the compliance
23 and resistance of the child, at least to date (15, 16, 31). Another important goal is
24 reducing length of MV among children, because prolonged periods of MV has been
25 associated with higher frequency of related complications and lung injury (32, 33). The
26 median length of MV in this study (7 days) was similar to that of other studies (1, 2, 15)
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 and was not associated with compliance or resistance, or even with the pressures
2 employed. It is likely that in isolation the values of respiratory mechanics found in the
3 children in this study, in the initial phase of MV, are not fundamental predictors of
4 duration of ventilation, which is more likely to be predicted by repeated daily
5 monitoring of respiratory mechanics combined with observation of the progression of
6 pulmonary compromise and, consequently, duration of ventilation (31, 34).
7
8
9

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

There are few studies that have analyzed the values of respiratory mechanics in children submitted to MV and, to date, there are no standardized and recommended values for respiratory mechanics in daily practice, which was the motivation for this study. In order to reduce measurement bias we used a standard ventilator that is common to both intensive care units, following established recommendations for analysis of these measurements, with uniformity of systems and of the circuits connected to the ventilator (filter volume and circuit size) and standardization of the measurement methods. We chose static analysis, because it is more trustworthy for measurement of respiratory mechanics, since there is no interference from flow through the ventilator circuit, but which can only be used in volume controlled mode, with inspiratory and expiratory pauses (11, 12, 35).

CONCLUSIONS

Adult compliance and resistance presents a more uniform pattern, as observed in children over 20Kg. Conversely, daily practice in many PICUs has demonstrated that MV in small children is not comparable to ventilation in adults and it is not always recommended to use the same tidal volumes and pressure limits suggested for adults (16, 18).

1 Based on our results, we believe that routine measurement of respiratory
2 mechanics values in children on MV could help to define the best MV adjusted to these
3 findings. The low values of static compliance and high inspiratory resistance observed,
4 particularly in children less than 1 year old, represent a major challenge when defining
5 guidelines for MV in children. Ideally, such a consensus should define values for tidal
6 volume, peak pressure, plateau pressure, and delta pressure (or driving pressure), for
7 children in the different phases of growth, and thus minimize complications associated
8 with MV as well as reduce the length of MV.
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

REFERENCES

1. Farias JA, Frutos F, Esteban A, et al: What is the daily practice of mechanical ventilation in pediatric intensive care units? A multicenter study. *Intensive Care Med* 2004; 30:918-925
2. Traiber C, Piva JP, Fritsher CC, et al: Profile and consequences of children requiring prolonged mechanical ventilation in three Brazilian pediatric intensive care units. *Pediatr Crit Care Med* 2009; 10:375-380
3. Slutsky AS, Ranieri VM: Ventilator-induced lung injury. *N Engl J Med* 2013; 369:2126-2136
4. Cannon ML, Cornell J, Tripp-Hamel DS, et al: Tidal volumes for ventilated infants should be determined with a pneumotachometer placed at the endotracheal tube. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 162:2109-2112
5. Barbas CS, Ísola AM, Farias AM, et al: Brazilian recommendations of mechanical ventilation 2013. Part 2. *Rev Bras Ter Intensiva* 2014; 26:215-239
6. Murias G, Blanch L, Lucangelo U: The physiology of ventilation. *Respir Care* 2014; 59:1795-1807
7. Cid JLH: Respiratory function monitoring II: compliance, airway resistance, dynamic hyperinflation, pulmonary dead-space, work of breathing. *An Pediatr* 2003; 59:278-285
8. Pérez M, Mancebo J: Monitoring ventilatory mechanics. *Med Intensiva* 2006; 30:440-448
9. Heulitt MJ, Ranallo CR, Wolf GK, et al: Mechanical Ventilation. In: Shaffner DH, Nichols DG, editors. *Rogers' Textbook of Pediatric Intensive Care*. Philadelphia, Walters Klumer, 2015, pp 541-566
10. Garcia-Prieto E, Amado-Rodriguez L, Albaiceta GM: Monitorization of respiratory mechanics in the ventilated patient. *Med Intensiva* 2014; 38:49-55

- 1 11. Hess DR: Respiratory mechanics in mechanically ventilated patients. *Respir Care*
2 2014; 59:1773-1794
3
- 4 12. Lucangelo U, Bernabé F, Blanch L: Respiratory mechanics derived from signals in
5 the ventilator circuit. *Respir Care* 2005; 50:55-65; discussion 65-7
6
7
- 8 13. Avena MJ, de Carvalho WB, Beppu OS: [Evaluation of oxygenation, ventilation
9 and respiratory mechanics before and after endotracheal suction in mechanically
10 ventilated children]. *Rev Assoc Med Bras (1992)* 2003; 49:156-161
11
12
- 13 14. Servo-i: Maquet Critical Care. Ventilator System V.2.0. Service Manual. Available
14 at: [http://www.medonegroup.com/pdf/manuals/techManuals/Maquet-Servo-i-Service-
16 Manual.pdf](http://www.medonegroup.com/pdf/manuals/techManuals/Maquet-Servo-i-Service-
15 Manual.pdf). Accessed March 21, 2018
17
18
- 19 15. Khemani RG, Conti D, Alonzo TA, et al: Effect of tidal volume in children with
20 acute hypoxemic respiratory failure. *Intensive Care Med* 2009; 35:1428-1437
21
22
- 23 16. Yehya N, Thomas NJ: Disassociating Lung Mechanics and Oxygenation in Pediatric
24 Acute Respiratory Distress Syndrome. *Crit Care Med* 2017; 45:1232-1239
25
26
- 27 17. Schober P, Boer C, Schwarte LA: Correlation Coefficients: Appropriate Use and
28 Interpretation. *Anesth Analg* 2018; 126:1763-1768
29
30
- 31 18. Joza S, Post M: Development of the respiratory system. *In: Pediatric and neonatal
32 mechanical ventilation*. Rimensberger PC. Berlin, Springer, 2015, pp 3-26
33
34
- 35 19. Rimensberger PC, Cheifetz IM, Kneyber MCJ: The top ten unknowns in paediatric
36 mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2018; 44:366-370
37
38
- 39 20. Donoso A, Arriagada D, Diaz F, et al: Invasive mechanical ventilation. Update for
40 the pediatrician. *Arch argent pediatr* 2013; 111:428-435
41
42
- 43 21. McFadyen JG, Thompson DR, Martin LD: Applied respiratory physiology. *In:*
44 *Pediatric critical care medicine*. V. 2. Respiratory, cardiovascular and central nervous
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

systems. Wheeler DS, Wong HR, Shanley TP. Second edition. London, Springer, 2014,

pp 3-18

22. Martinez FD, Morgan WJ, Wright AL, et al: Diminished lung function as a

predisposing factor for wheezing respiratory illness in infants. *N Engl J Med* 1988;

319:1112-1117

23. Kneyber MCJ, de Luca D, Calderini E, et al: Recommendations for mechanical

ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation

Consensus Conference (PEMVECC). *Intensive Care Med* 2017; 43:1764-1780

24. Cruces P, Gonzalez-Dambrauskas S, Quilodran J, et al: Respiratory mechanics in

infants with severe bronchiolitis on controlled mechanical ventilation. *BMC Pulm Med*

2017; 17:129

25. Numa AH, Hammer J, Newth CJ: Effect of prone and supine positions on functional

residual capacity, oxygenation, and respiratory mechanics in ventilated infants and

children. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 156:1185-1189

26. Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, et al: Driving pressure and survival in the

acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2015; 372:747-755

27. Guerin C, Reignier J, Richard JC, et al: Prone positioning in severe acute respiratory

distress syndrome. *N Engl J Med* 2013; 368:2159-2168

28. Kneyber MC, Zhang H, Slutsky AS: Ventilator-induced lung injury. Similarity and

differences between children and adults. *Am J Respir Crit Care Med* 2014; 190:258-265

29. Kornecki A, Tsuchida S, Ondiveeran HK, et al: Lung development and

susceptibility to ventilator-induced lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;

171:743-752

30. Kneyber MC: Ventilator-induced lung injury: does it occur in children? *Minerva*

Anesthesiol 2018; 84:626-631

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
31. de Jager P, Burgerhof JG, van Heerde M, et al: Tidal volume and mortality in mechanically ventilated children: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Crit Care Med* 2014; 42:2461-2472
32. Newth CJL, Khemani RG2, Jouvet PA, et al: Mechanical Ventilation and Decision Support in Pediatric Intensive Care. *Pediatr Clin North Am* 2017; 64:1057-1070
33. Guess R, Vaewpanich J, Coss-Bu JA, et al: Risk Factors for Ventilator-Associated Events in a PICU. *Pediatr Crit Care Med* 2018; 19:e7-e13
34. Yehya N, Thomas NJ, Khemani RG: Risk Stratification Using Oxygenation in the First 24 Hours of Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome. *Crit Care Med* 2018; 46:619-624
35. Lanteri CJ, Sly PD: Changes in respiratory mechanics with age. *J Appl Physiol* (1985) 1993; 74:369-378

15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

TABLES

Table 1. General characteristics of patients on mechanical ventilation.

Characteristics	All patients on MV (124)	Without lung disease (22)	Obstructive disease (91)	Restrictive disease (11)	<i>p</i>
Age (months), median (IQ ₂₅₋₇₅)	5.0 (2-22)	23.5 (4-54)	3.7 (2-12)	45.0 (15-93)	< 0.001
Weight (kg), median (IQ ₂₅₋₇₅)	6.3 (4.5-11.0)	12.0 (4.8-15.0)	5.5 (4.0-9.0)	15.0 (7.5-25.0)	< 0.001
Tube (mm), median (IQ ₂₅₋₇₅)	4.0 (3.5-4.5)	4.5 (3.5-4.5)	4.0 (3.5-4)	5.0 (5-5.5)	0.070
Male, n (%)	72.0 (60%)	10.0 (45%)	57.0 (62%)	6.0 (54%)	0.030
PIM2, median (IQ ₂₅₋₇₅)	1.0 (0.3-4.0)	4.3 (1.1-40.0)	0.5 (0.2-1.8)	7.0 (1.2-72.7)	< 0.001
MBP (mmHg), mean ± SD	65.0±14.5	62.3±11.0	65.7±15.0	66.6±18.0	0.500
HR (bpm), mean ± SD	155±22	134±29	160±21	148±26	< 0.001
O2 saturation, n (%)	96.8±3	97.4±2	97.0±3	94.0±3	0.013
24-h FB/weight (mL/kg), median (IQ ₂₅₋₇₅)	24.0 (90-41)	29.5 (6.7-50)	29.0 (13-49)	22.0 (2-83)	0.180
Position Supine, n (%)	114 (92%)	21 (95%)	85 (93%)	8 (72%)	0.100
Sedation midazolam and morphine, n (%)	52 (42%)	9 (41%)	39 (43%)	4 (36%)	0.954

15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Characteristics	All patients on MV (124)	Without lung disease (22)	Obstructive disease (91)	Restrictive disease (11)	<i>p</i>
Muscle relaxant, n (%)	74 (60%)	3 (13%)	63 (69%)	8 (72%)	< 0.001
Salbutamol, n (%)	19 (15%)	3 (14%)	15 (16%)	1 (9%)	0.120
MV mode - SIMV + PS, n (%)	80 (64.5%)	17 (77.0%)	58 (63.0%)	5 (45.0%)	0.070
OSI, mean \pm SD	4.7 \pm 2.7	3.0 \pm 0.9	4.7 \pm 2.5	8.4 \pm 2.8	< 0.010
Mortality, n (%)	10 (8%)	4 (19%)	1 (1%)	5 (45%)	< 0.010
Length of MV (days), median (IQ ₂₅₋₇₅)	7.0 (5-9)	5.0 (2.5-10.0)	7.0 (5-9)	9.0 (6-14)	0.040
Time in PICU (days), median (IQ ₂₅₋₇₅)	10.0 (7-15)	9.5 (3.3-16.8)	10.0 (7-15)	9.0 (9-19)	0.530

PIM2, Pediatric Index Mortality; MV, mechanical ventilation; MBP, mean arterial blood pressure; HR, heart rate; FB, fluid balance; SIMV + PS, synchronized intermittent mandatory ventilation with pressure control; OSI, oxygenation saturation index; PICU, pediatric intensive care unit.

Results for parametric variables expressed as means with standard deviations and ANOVA analysis of variance (Bonferroni) and non-parametric variables as medians with 25-75% interquartiles and Kruskal-Wallis analysis of variance, with $p < 0.05$ considered statistically significant.

15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Table 2. Respiratory mechanics data analyzed for three different pulmonary disorders models.

	All patients on MV	Without lung disease	Obstructive disease	Restrictive disease	<i>p</i>
Respiratory mechanics data	(124)	(22)	(91)	(11)	
Auto-PEEP cm H ₂ O, median (IQ ₂₅₋₇₅)	2.0 (1.0-4.7)	1.0 (0-2)	3.0 (2-5)	2.0 (0-2)	< 0.001
IR cm H ₂ O/L/s, median (IQ ₂₅₋₇₅)	94.0 (54-156)	44.0 (35-66)	113.0 (77-176)	33.0 (28-57)	< 0.001
ER cm H ₂ O/L/s, median (IQ ₂₅₋₇₅)	120.0 (68-162)	58.5 (44-107)	137.0 (89-168)	49.0 (38-89)	< 0.001
SC mL/cm H ₂ O, median (IQ ₂₅₋₇₅)	4.9 (3.0-10.0)	9.7 (4.7-16.0)	4.4 (3.0-6.8)	13.0 (5.8-19.0)	< 0.001
DC mL/cm H ₂ O, median (IQ ₂₅₋₇₅)	3.0 (1.8-6.4)	8.3 (3.7-12.5)	2.3 (1.7-3.8)	10.0 (4.6-11.6)	< 0.001
Elastance cm H ₂ O/L (123), median (IQ ₂₅₋₇₅)	200 (98-313)	119 (65-228)	222 (144-336)	76 (51-175)	< 0.001
DP cm H ₂ O, median (IQ ₂₅₋₇₅)	21 (±5.0)	16 (±4)	22 (±4)	20 (±6)	< 0.001

MV, mechanical ventilation; auto-PEEP, positive end expiratory pressure; IR, inspiratory resistance; ER, expiratory resistance; SC, static compliance; DC, dynamic compliance, DP, delta pressure.

Results for parametric variables expressed as means with standard deviations and ANOVA analysis of variance and non-parametric variables as medians with 25-75% interquartiles and Kruskal-Wallis analysis of variance, with $p < 0.05$ considered statistically significant.

FIGURE LEGENDS

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Figure 1. Correlation between inspiratory resistance and body weight among children on mechanical ventilation ($p < 0.001$).

Figure 2. A) Correlation between static compliance and body weight (Pearson's chi-square test, $p < 0.001$); B) Comparison of static compliance between children weighting less or more than 6 kg ($p < 0.001$).

Figure 3. Comparison of static compliance between the 3 hypothetical models of lung disease in children on mechanical ventilation (Kruskal-Wallis, $p < 0.001$).

Figure 4. Correlation of static compliance with body weight in the obstructive pulmonary disease model – Pearson ($r = 0.759$; $p < 0.001$).

Figure 5. Correlation between static and dynamic compliance (Bland-Altman, $p < 0.001$).

Figure 1

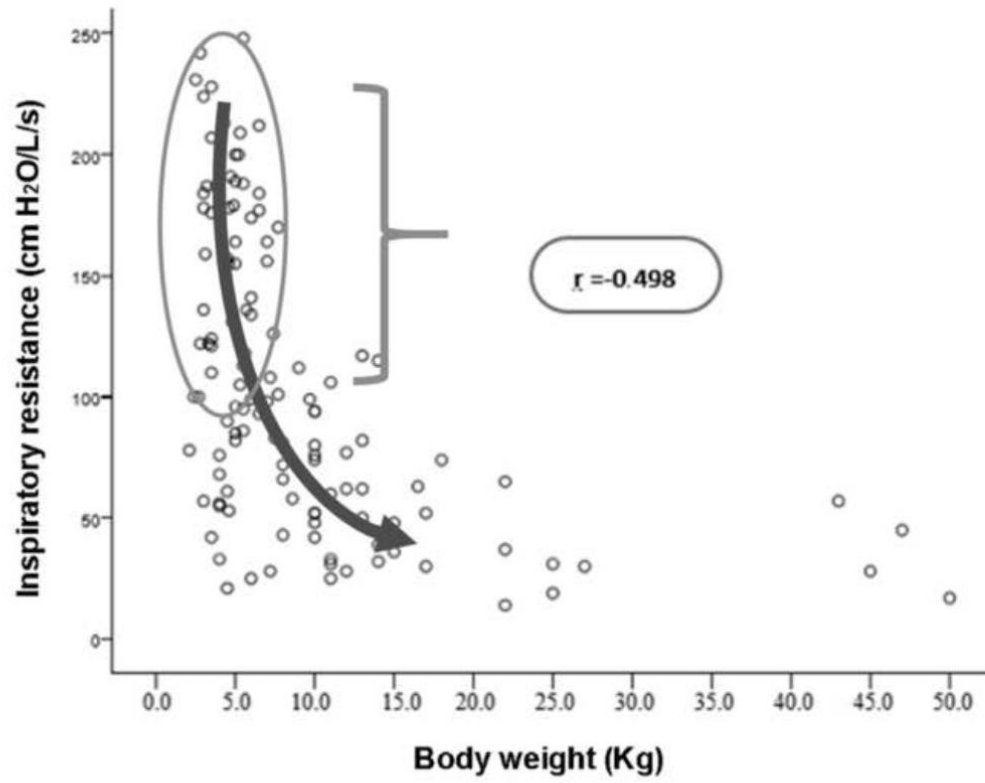
[Click here to download Figure A18114_Figure 1.tif](#)

Figure 2

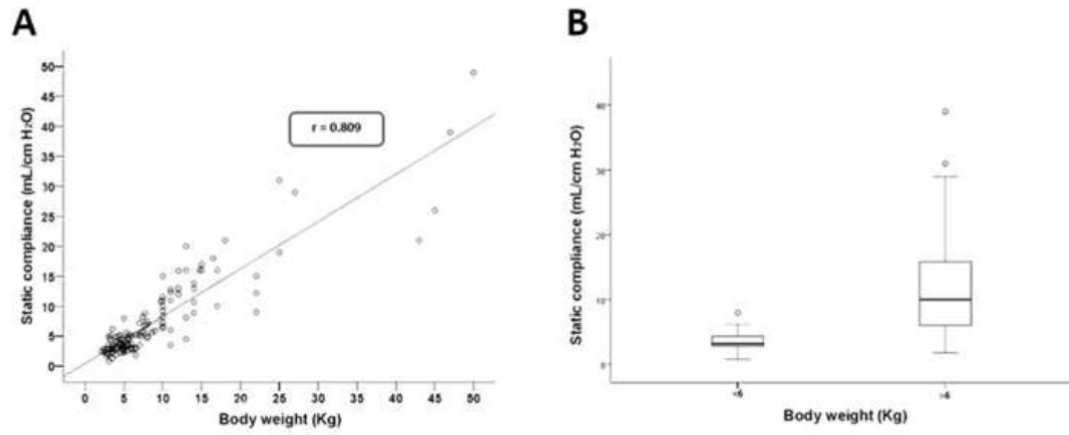
[Click here to download Figure A18114_Figure 2.tif](#)

Figure 3

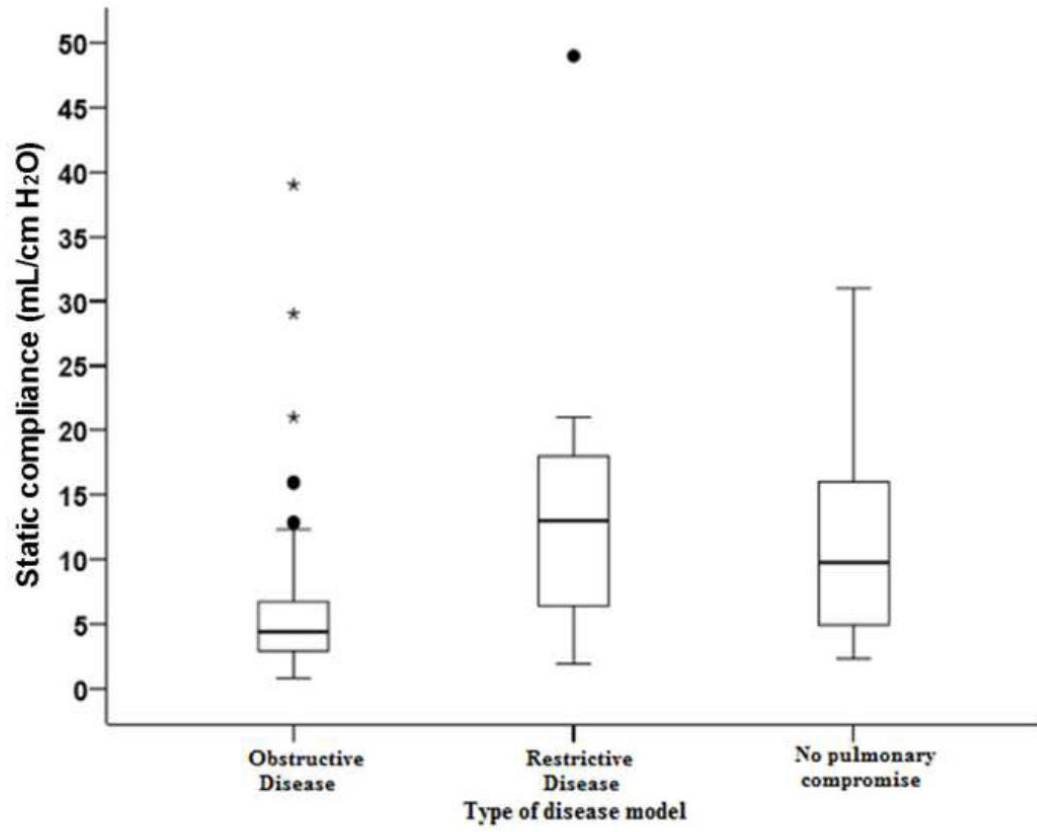
[Click here to download Figure A18114_Figure 3.tif](#)

Figure 4

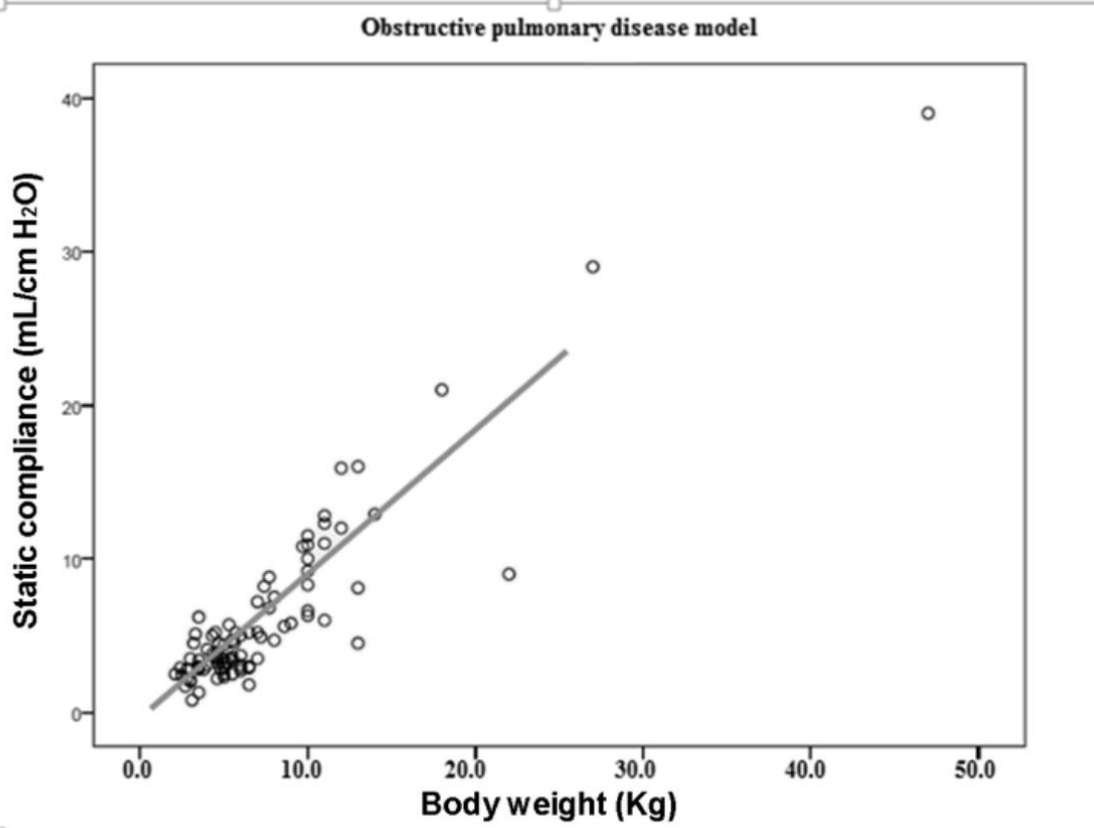
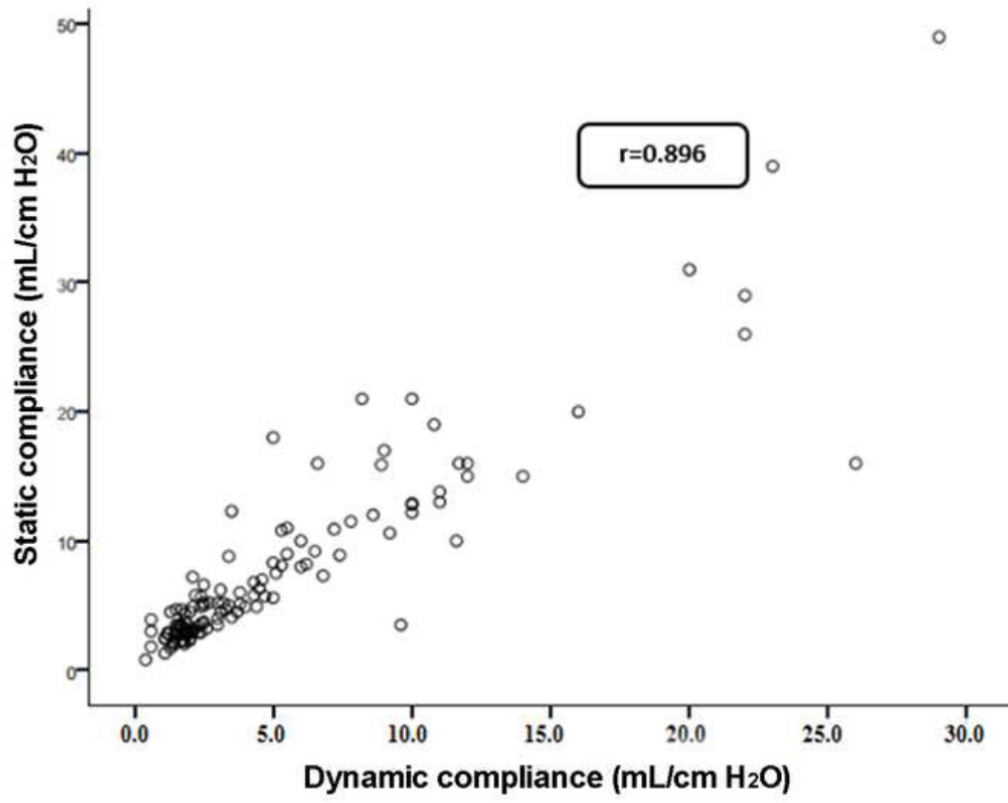
[Click here to download Figure A18114_Figure 4.tif](#)

Figure 5

[Click here to download Figure A18114_Figure 5.tif](#)

9 CONCLUSÕES

Ao analisar as medidas de mecânica pulmonar podemos observar que:

1. Existe associação entre a complacência estática com a idade, porém ela é mais significativa quando comparada ao peso:
 - a. Crianças com peso inferior a 6kg apresentam complacência estática muito baixa e;
 - b. Resistência inspiratória muito alta.
2. Comparando os 3 padrões de comprometimento pulmonar, observamos que na doença obstrutiva em relação a doença restritiva e sem doença pulmonar há:
 - a. Menor complacência estática;
 - b. Maior resistência inspiratória;
 - c. Maior autoPEEP e;
 - d. Maior elastância.
3. Não encontramos associação do tempo de ventilação mecânica com:
 - a. A resistência inspiratória;
 - b. A complacência estática;
 - c. A pressão média de via aérea;
 - d. A PIP;
 - e. A autoPEEP.

Também observamos que:

1. Há correlação da medida de complacência estática com complacência dinâmica com concordância nas crianças com peso inferior que 6kg;

O delta de pressão tem diferença significativa quando comparado a doença restritiva e obstrutiva com o modelo sem comprometimento pulmonar.

ANEXOS

ANEXO 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Número protocolo: _____

Estamos convidando a criança pela qual você é responsável a participar da pesquisa clínica intitulada "A influência do peso nos valores da mecânica pulmonar de crianças e adolescentes submetidos à ventilação mecânica" realizada pelo Serviço de Medicina Intensiva Pediátrica do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) e UTIP do Hospital São Lucas da PUCRS.

O objetivo deste estudo é analisar as medidas da função dos pulmões durante a ventilação mecânica em crianças e adolescentes.

É candidata a participar desse estudo toda criança que não tem condições de respirar sozinha necessitando de ajuda através do aparelho de ventilação mecânica. Caso você aceite participar, iremos realizar medidas das funções dos pulmões durante o período em que a criança tiver indicação de ventilação mecânica, através de equipamentos já existentes no respirador em uso. Sendo assim, as medidas que serão realizadas não adicionam riscos ou desconfortos conhecidos. Durante as medidas, talvez seja necessário o uso extra de sedativos, assim no momento em que houver a indicação médica de sedação extra, realizaremos estas medidas sem prejuízo adicional para o seu filho ou responsável.

Também será necessário consultar alguns dados clínicos registrados no prontuário do paciente. Os pesquisadores se comprometem em manter a confidencialidade dos dados de identificação pessoal. Os dados obtidos serão analisados em conjunto com dados de outros pacientes e os resultados do estudo poderão ser publicados em revistas médicas, apresentados em congressos ou eventos científicos, sem que nome de seu filho seja mencionado em parte alguma.

A participação no estudo não trará benefício direto ao participante, mas o estudo poderá contribuir para o aumento do conhecimento sobre o assunto estudado e os resultados poderão auxiliar a realização de estudos futuros.

A participação neste estudo é totalmente voluntária, a não participação ou desistência após ingressar no estudo não implicará em nenhum tipo de prejuízo para o participante ou mudança no tratamento.

Não está previsto nenhum tipo de pagamento pela participação no estudo e o participante não terá nenhum custo com respeito aos procedimentos envolvidos.

Declaro ter lido e compreendido esta declaração de consentimento, na qual foram me informados todos os dados importantes sobre a conduta deste estudo. Foi me oferecido ampla oportunidade de fazer perguntas e recebi respostas que me satisfizeram totalmente. Se eu não participar ou se eu decidir suspender minha participação neste estudo, não serei penalizado e não renunciarei de quaisquer direitos legais.

Todas as dúvidas poderão ser esclarecidas antes e durante o curso da pesquisa, através de contato com o pesquisador responsável, Dr. Jefferson Pedro Piva ou com o Dr. Francisco Bruno no telefone (51) 33598399. O Comitê de Ética em Pesquisa também poderá ser contatado para esclarecimento de dúvidas, no 2º andar do HCPA, sala 2227, ou através do telefone (51) 33597640, das 8h às 17h, de segunda à sexta.

Este documento é elaborado em duas vias, sendo uma delas entregue ao participante e outra mantida pelo grupo de pesquisadores.

Nome do participante: _____

Nome do responsável: _____

Assinatura do responsável: _____

Nome do pesquisador: _____

Assinatura do pesquisador: _____

Local e data: _____, ____/____/____