

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Medicina
Programa de Pós Graduação em Ciências Pneumológicas

**Ultrassom pulmonar auxiliando o desmame da ventilação mecânica em pacientes
com desmame difícil.**

TESE DE DOUTORADO

Felippe Leopoldo Dexheimer Neto

Porto Alegre, 2015.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Medicina
Programa de Pós Graduação em Ciências Pneumológicas

**Ultrassom pulmonar auxiliando o desmame da ventilação mecânica em pacientes
com desmame difícil.**

Felippe Leopoldo Dexheimer Neto

Orientadores: Prof. Dr. Paulo de Tarso Roth Dalcin
Prof. Dr. Cassiano Teixeira

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação
em Ciências Pneumológicas, Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para
a obtenção do título de Doutor.

Porto Alegre, 2015.

CIP - Catalogação na Publicação

Dexheimer Neto, Felipe Leopoldo
Ultrassom pulmonar auxiliando o desmame da
ventilação mecânica em pacientes com desmame difícil. /
Felipe Leopoldo Dexheimer Neto. -- 2015.
148 f.

Orientador: Paulo de Tarso Roth Dalcin.
Coorientador: Cassiano Teixeira.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-
Graduação em Ciências Pneumológicas, Porto Alegre, BR-
RS, 2015.

1. Ventilação Mecânica. 2. Desmame da Ventilação
Mecânica. 3. Ultrassom. 4. Ultrassom Pulmonar. I. de
Tarso Roth Dalcin, Paulo, orient. II. Teixeira,
Cassiano, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Aos meu pais, Salete e Vitor, pelo apoio incansável, amor e dedicação que tornaram possível minha trajetória pessoal e profissional. Ao meu irmão Artur, companheiro de todas as horas e amigo para qualquer empreitada. A minha madrasta Rosângela, pelo carinho e suporte em diversos campos e aventuras.

A minha esposa Flávia, por sempre acreditar, por sua capacidade de sorrir, mesmo quando as adversidades pareciam intransponíveis e pela coragem de avançar quando se busca o desconhecido.

Aos Hospitais Ernesto Dornelles e Moinhos de Vento, ao Tribunal de Justiça do Estado do Rio Grande do sul e a todos colegas com os quais tive o prazer de conviver e compartilhar essa trajetória. Agradeço pelo suporte e por terem tornado possível a execução desse projeto. Em especial, ao meu coorientador Prof. Dr. Cassiano Teixeira, pelo modelo profissional, parceria e estímulo para investir na carreira acadêmica e ao Dr. Rafael Viegas Cremonese, exemplo de médico, colega e líder, cuja visão sempre me surpreende.

Ao Prof. Dr. Jean-Jacques Rouby e a toda sua equipe, em especial a Dra. Qin Lu, pela formidável acolhida em solo estrangeiro e pela generosidade em ensinar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo de Tarso Roth Dalcin, pela confiança, apoio e estímulo ao longo dessa jornada. Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Pneumológicas, em especial ao Sr. Marco Aurélio da Silva, e à Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por oportunizar uma formação acadêmica de qualidade e a realização de sonhos.

RESUMO

Base Teórica: Desmame difícil da Ventilação Mecânica (VM) - definido por uma falha no teste de respiração espontânea (TRE) ou reintubação - está associado a desfechos desfavoráveis. O ultrassom pulmonar (USP) pode auxiliar nesse cenário, pois permite tratar as causas de falha no desmame.

Objetivo: Avaliar o impacto de um protocolo de intervenções baseadas no USP na duração da VM em pacientes com desmame difícil.

Pacientes e Métodos: Análise preliminar de um ensaio clínico randomizado multicêntrico, avaliando pacientes adultos com desmame difícil. O estudo foi dividido em duas fases: a primeira de capacitação e a segunda o ensaio clínico. Para a capacitação da equipe de pesquisa foi elaborado um artigo de revisão para servir como referencial teórico na língua portuguesa. Além disso, foi implementado um programa de treinamento em USP e avaliada a concordância entre examinadores. Após a etapa de capacitação, iniciou o ensaio clínico randomizado. Nele, o USP foi realizado diariamente no grupo intervenção, indicando condutas conforme seu resultado: (1) Perfil A - intervenções para aeração pulmonar normal (broncodilatador, anticoagulação ou observação); (2) Perfil B - intervenções para edema pulmonar (diuréticos, ultrafiltração ou vasodilatação); (3) Perfil AB - intervenções visando infecção não controlada (antibioticoterapia ou controle de foco); (4) Derrame Pleural - intervenções para sua resolução (diuréticos ou toracocentese). O desfecho primário do estudo foi a duração da VM e os secundários foram as intervenções indicadas pelo USP e as complicações do desmame.

Resultados: O estudo de validação do USP após período de capacitação, demonstrou concordância em 84% dos casos ($\kappa=0,81$). O ensaio clínico incluiu pacientes entre outubro de 2012 e dezembro de 2013. Nesse período, 42 pacientes (que

correspondem a 33% da estimativa de amostra total) foram randomizados entre os grupos intervenção (n=24) e controle (n=18). As características de base foram semelhantes entre os dois grupos, exceto pela maior prevalência da DPOC no grupo controle (p=0,03). O USP identificou Perfil A em 54% da amostra, Perfil B em 32%, Perfil AB em 20% e Derrame Pleural em 12%. O grupo USP utilizou broncodilatadores com maior frequência do que o controle (p=0,01), não houve diferença significativa em relação às demais intervenções. Quanto aos desfechos, a duração da VM foi semelhante entre o USP e o controle (5,1 vs. 4,8 dias, p=0,79), assim como a incidência de complicações.

Conclusões: O USP demonstrou boa concordância para o diagnóstico de alterações pulmonares após o período de capacitação. Apesar da maior utilização de broncodilatadores no grupo guiado por USP, a presente análise preliminar do ensaio clínico não evidenciou redução no tempo de VM.

ABSTRACT

Rationale: Difficult weaning from mechanical ventilation (MV) - defined by failing the first spontaneous breathing trial (SBT) or being reintubated - is associated with unfavorable outcomes. Lung ultrasound (LUS) may aid in this setting as it allows to treat the reasons of weaning failure.

Objective: To evaluate the impact of an interventional protocol based on LUS findings on the length of MV in difficult-to-wean patients.

Patients and Methods: Preliminary analysis of a randomized multicenter trial, evaluating difficult-to-wean adult patients. This study was divided in two steps: first, training and second the clinical trial. In order to empower the research team a theoretical framework in Portuguese was developed. Further, a LUS training program was implemented and then interobserver agreement was evaluated.

After training, the clinical trial began. For that LUS was performed daily in the intervention group and clinical interventions were performed as follows: (1) Profile A - interventions to normal lung aeration (bronchodilator, anticoagulation or observation); (2) Profile B - interventions to pulmonary edema (diuretics, ultrafiltration or vasodilators); (3) Profile AB - interventions to uncontrolled infection (antibiotics and source control); (4) Pleural Effusion - interventions to its resolution (diuretics or pleural drainage). The primary outcome was length of MV and secondary outcomes were the interventions guided by LUS and complications of weaning.

Results: In the validation study, after training LUS demonstrated agreement in 84% of patients ($\kappa=0.81$). The clinical trial included patients between October/2012 and December/2013. In this period 42 patients (33% of the total estimated sample) were randomized in the intervention group ($n=24$) and control ($n=18$). Baseline characteristics were similar, except the higher prevalence of COPD in the control

group ($p=0.03$). LUS detected Profile A in 54% of patients, Profile B in 32%, Profile AB in 20% and pleural effusion in 12%. LUS protocol indicated bronchodilator therapy more frequently than control ($p=0.01$), with no difference regarding other interventions. With regards to outcomes, the length of MV was similar between LUS and control (5.1 vs. 4.8 days, $p=0.79$), as was the incidence of complications.

Conclusions: LUS demonstrated good agreement for the diagnosis of respiratory diseases after training. Despite a more frequent utilization of bronchodilator therapy with an interventional protocol based on LUS findings, this preliminary analysis of the clinical trial was not able to show a reduction on the length of MV.

LISTA DE ABREVIATURAS

APACHE II = *acute physiology and chronic health disease classification system II*

ARF = *acute respiratory failure*

BLUE = *bedside lung ultrasound in emergency*

BMI = *body mass index*

BNP = *brain natriuretic peptide*

COPD = *chronic obstructive pulmonary disease*

CPIS = *clinical pulmonary infection score*

CT = *computerized tomography*

DP = *derrame pleural*

DPOC = *doença pulmonar obstrutiva crônica*

DVT = *deep vein thrombosis*

EI = *espaço intercostal*

FiO₂ = *fraction of inspired oxygen*

ICU = *intensive care unit*

IRpA = *insuficiência respiratória aguda*

LUS = *lung ultrasound*

Modo B = *modo brilho*

Modo M = *modo movimento*

NIV = *non invasive ventilation*

PaO₂ = *partial pressure of arterial oxygen*

PCO₂ = *carbon dioxide partial pressure*

PEEP: *positive end-expiratory pressure*

PTX = *pneumotórax*

RX = radiografia

SD = *standard deviation*

SDRA = síndrome do desconforto respiratório agudo

TC = tomografia computadorizada

TRE = teste de respiração espontânea

TVP = trombose venosa profunda

US = ultrassom

USP = ultrassom pulmonar

UTI = unidade de terapia intensiva

VM = ventilação mecânica

VPN = valor preditivo negativo

VPP = valor preditivo positivo

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS DO ARTIGO DE REVISÃO

Figura 1: Princípios físicos do ultrassom pulmonar.	66
Figura 2: Modos do ultrassom.	67
Figura 3: Imagens de ultrassom pulmonar em pulmão normal.....	68
Figura 4: Ultrassom pulmonar em modo movimento.	69
Figura 5: Achados indicativos de derrame pleural.	70
Figura 6: Linhas B no ultrassom pulmonar.....	71
Figura 7: Imagens de ultrassom pulmonar, indicando perda de aeração pulmonar.	72
Figura 8: Perfis dos achados do ultrassom pulmonar em pacientes com insuficiência respiratória.	73
Figura 9: Algoritmo para a avaliação da insuficiência respiratória aguda, conforme os achados do ultrassom pulmonar.....	74

FIGURAS DO ARTIGO DE VALIDAÇÃO DO MÉTODO

Figure 1: Lung ultrasound findings (left), their schematic representation (center), and illustrative examples (right).	97
---	----

FIGURAS DO ARTIGO PRINCIPAL

Figura 1: Achados do ultrassom pulmonar (esquerda), representação esquemática (centro) e exemplos ilustrativos (direita).	120
Figura 2: Intervenções terapêuticas indicadas conforme os achados do ultrassom pulmonar.	121
Figura 3: Fluxograma do estudo.	122
Figura 4: Probabilidade de desmame da VM durante o estudo.	123

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO DO ARTIGO DE REVISÃO

Tabela 1: Vantagens do ultrassom pulmonar na avaliação de pacientes críticos.75

TABELAS DO ARTIGO DE VALIDAÇÃO DO MÉTODO

Table 1: Lung ultrasound profiles in acute respiratory failure.94

Table 2: Characteristics of the patients admitted to the ICU for acute respiratory failure (n = 37).95

Table 3: Diagnostic performance of bedside lung ultrasound for each diagnosis.96

TABELAS DO ARTIGO PRINCIPAL

Tabela 1: Características de base.124

Tabela 2: Motivo da intubação.126

Tabela 3: Achados da avaliação do USP.127

Tabela 4: Média de intervenções diárias indicadas para auxiliar o desmame da VM.
.....128

Tabela 5: Desfechos do desmame e complicações da VM.130

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Ultrassom pulmonar.....	15
1.2	Aprendizado do ultrassom pulmonar	17
1.3	Desmame da VM	18
1.4	Utilização do USP no manejo do desmame difícil	19
2	Justificativa	22
3	Objetivos	23
3.1	Objetivo primário.....	23
3.2	Objetivos secundários	23
4	Materiais e métodos	24
4.1	Referencial Teórico.....	24
4.2	Capacitação da equipe de pesquisa	25
4.3	Implementação do ensaio clínico	26
4.3.1	Delineamento da Pesquisa	26
4.3.2	População	26
4.4	Amostra, Análise Estatística e Forma de Apresentação dos Dados.....	27
4.5	Processo de Obtenção de Dados e Variáveis	28
4.6	Processo de Obtenção do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido:	32
4.7	Cronograma.....	33
4.8	Orçamento.....	35
5	Referências Bibliográficas	36
6	Artigo de revisão da literatura.....	44
7	Artigo de validação do método	76
8	Artigo Principal.....	98

9	Conclusões	131
10	Considerações finais e perspectivas futuras.....	132
11	Anexo e apêndices	133
11.1	Anexo 1: Escore clínico de infecção pulmonar (CPIS).....	133
11.2	Apêndice 1: Termo de consentimento livre e esclarecido.....	134
11.3	Apêndice 2: Protocolo institucional de desmame da VM.....	140
11.4	Apêndice 3: Modelo predeterminado do USP.....	143
11.5	Apêndice 4: Modelo predeterminado de interpretação do USP.....	144
11.6	Apêndice 5: Modelo predeterminado de intervenções pelo USP.....	146
11.7	Apêndice 6: Protocolo de avaliação para TVP.....	148

1 Introdução

1.1 Ultrassom pulmonar

O ultrassom pulmonar (USP) é um método de avaliação por imagem não invasivo, rápido, prontamente disponível e que pode complementar o exame físico e a avaliação clínica (1,2).

O ultrassom (US) é uma forma de energia sonora não audível utilizada para fins diagnósticos. Seu pulso tem uma faixa de frequência entre 2 - 20 MHz e é gerado por cristais piezoelétricos presentes no transdutor do aparelho. A maior parte de suas ondas é refletida pelos tecidos, cuja diferença de impedância acústica, alterando a força do sinal de US, permite a visualização dos tecidos e de suas características (3).

O ar é uma barreira às ondas do US e, por esse fato, a avaliação do pulmão por esse método foi considerada impossível por muito tempo (4,5). Contudo, um número crescente de estudos tem quebrado esse paradigma, demonstrando que o exame de USP pode ser útil para a avaliação de pacientes com doenças respiratórias, de maneira complementar aos métodos de avaliação tradicionais (1,3,6-8).

A técnica do USP baseia-se no fato de que todas as doenças agudas reduzem a aeração pulmonar, alterando sua superfície e gerando padrões ultrassonográficos previsíveis e distintos (4,7,9). De uma forma sucinta, para se identificar a aeração pulmonar normal é necessária a visualização do deslizamento pleural, que corresponde ao movimento regular da linha pleural em cada ciclo respiratório. Além disso, em regiões pulmonares normalmente aeradas, são identificadas linhas horizontais brancas, em intervalos regulares, abaixo da linha pleural (chamadas de linhas A). Quando ocorre uma redução da aeração pulmonar, surgem artefatos verticais brancos que se movem em sincronia com os ciclos respiratórios (chamados de linhas B). E, por fim, quando há perda total da aeração pulmonar, a região

pulmonar avaliada apresenta uma textura ultrassonográfica idêntica a de órgãos sólidos - caracterizando uma consolidação (4,6,9).

Em pacientes graves, o principal atrativo do USP é a sua aplicação imediata à beira do leito, integrada aos resultados do exame físico e da impressão clínica, permitindo assim um diagnóstico imediato das doenças torácicas (1). Além disso, o USP possibilita adiar ou mesmo evitar a necessidade de transporte do paciente para o setor da radiologia ou a exposição à radiação. Também permite guiar tratamentos com potencial de salvar vidas em casos de extrema urgência (1,6,9,10). Por isso, ainda que o US seja tradicionalmente utilizado por radiologistas, há muitas publicações demonstrando resultados positivos com realização do USP por médicos de outras especialidades, como emergencistas, intensivistas, pneumologistas, entre outros (1,7–18).

1.2 Aprendizado do ultrassom pulmonar

Uma vez que o US é uma técnica operador dependente e que o USP é uma modalidade recentemente desenvolvida e ainda pouco difundida, a reprodutibilidade dos achados ultrassonográficos por diferentes profissionais, com níveis diversos de treinamento e habilidade em ultrassonografia, ainda necessita de validação (18-20). De fato, na maior parte das publicações disponíveis o USP foi realizado por médicos com alto nível de expertise (9,18,21).

Assim, para integrar a utilização do USP à rotina de cuidados de pacientes em desmame da VM, houve uma preocupação específica em descartar um possível viés operador dependente na elaboração deste ensaio clínico. Para tanto, foi inicialmente elaborada uma revisão da literatura com o intuito de uniformizar o conhecimento teórico dos responsáveis pelo exame do USP. Além disso, a equipe de pesquisa foi capacitada por um treinamento padronizado dessa ferramenta. Por último, sabendo que a aquisição de habilidades é um processo que se estabelece ao longo do tempo (20), optou-se por também investigar a acurácia diagnóstica dos achados do USP realizados por estes profissionais.

1.3 Desmame da VM

O desmame da VM é o processo que envolve a progressiva redução do suporte ventilatório invasivo até a retirada do tubo endotraqueal. Esse processo pode representar até 40% do período em que o paciente necessita de VM (22), sendo que falhas de extubação aumentam o risco de pneumonia nosocomial e de mortalidade (23,24).

O sucesso no desmame da VM depende da melhora da doença aguda, da adequação dos parâmetros de oxigenação e de ventilação, da estabilidade hemodinâmica, da melhora neurológica e do reflexo da tosse e da normalização dos distúrbios hidroeletrólíticos (22).

A extubação é feita após a desconexão do paciente do ventilador mecânico e após o mesmo ter tolerado, pelo menos, 30 minutos do teste de respiração espontânea (TRE). O grupo de pacientes que não tolera o primeiro TRE é classificado como desmame difícil e é considerado mais grave e com maior risco de falha em extubações posteriores e de desenvolvimento de complicações associadas à VM (25,26).

Mesmo com a adequação dos parâmetros clínicos e tolerando o TRE, 13-42% dos pacientes críticos evoluem com falhas na retirada do tubo endotraqueal (25,27). Um estudo publicado pelo nosso grupo demonstrou uma taxa de reintubação de 42,5% em pacientes classificados como desmame difícil que haviam tolerado um novo TRE (28).

1.4 Utilização do USP no manejo do desmame difícil

O interesse pela utilização do USP em pacientes em desmame da VM torna-se evidente uma vez que esta ferramenta permite monitorizar alterações da aeração pulmonar em diversas condições graves e prevalentes do paciente crítico, como edema pulmonar agudo, síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA), pneumonia e pneumotórax (9,10,14,18,29–32). Assim, sua utilização pode fornecer dados clínicos complementares que auxiliam o processo de desmame da VM (16,33,34).

Em um estudo avaliando pacientes em insuficiência respiratória aguda (IRpA), Lichtenstein et al. (21) demonstraram uma acurácia diagnóstica de 90,5% do exame de USP para o diagnóstico etiológico da IRpA. De maneira semelhante, Silva et al. (35) demonstraram maior acurácia diagnóstica através da avaliação pelo USP de pacientes com IRpA do que com a avaliação inicial de rotina, baseada em dados clínicos, radiológicos e biológicos (83% vs. 63%, $p < 0,02$).

Outros estudos (12,36,37) demonstraram uma correlação linear entre a presença de linhas B (artefatos longitudinais encontrados no USP) e presença de síndrome intersticial pulmonar – com aumento do volume de água extrapulmonar e das pressões de enchimento capilar. Esses achados têm sido correlacionados com a apresentação clínica, ecocardiográfica e laboratorial de pacientes com insuficiência cardíaca (5,12,38,39). Assim, os achados do USP permitem avaliar e intervir em diferentes apresentações da sobrecarga volêmica, tais como o volume de água extrapulmonar e o perfil hemodinâmico dos pacientes (30,36,37), além de quantificar e abordar derrames pleurais (15,40–42).

Ainda avaliando a presença de linhas B, Noble et al. (43) demonstraram sua resolução em tempo real enquanto era ultrafiltrado líquido de pacientes em

hemodiálise, propondo uma nova forma de monitorização para pacientes com congestão pulmonar. Destacando a importância desses achados, em uma coorte italiana, a identificação de congestão pulmonar pelo USP em pacientes submetidos a hemodiálise esteve associada a uma maior mortalidade cardiovascular, mesmo quando estes pacientes eram assintomáticos (44).

Já Bouhemad et al. (14), analisando pacientes com pneumonia associada à VM, conseguiram prever a resposta ao tratamento com boa acurácia através do USP seriado, identificando pacientes que apresentavam reabertura pulmonar ao longo do curso de antimicrobianos. Em uma metanálise que avaliou 10 estudos com um total de 1172 pacientes, o diagnóstico de pneumonia pelo USP demonstrou uma sensibilidade de 94% (IC 95% de 92-96%) e especificidade de 96% (IC 95% de 94.97%), com área sob a curva ROC 0,99 (18).

Em outra aplicação semelhante, o recrutamento alveolar pôde ser estimado pelo USP através do monitoramento do efeito de manobras respiratórias em pacientes com a SDRA e/ou lesão pulmonar aguda (29,45).

Em relação à utilização do USP no processo de desmame, Kocis et al. (33) avaliaram a função diafragmática em porcos submetidos à VM através da ultrassonografia, demonstrando redução da sua velocidade de movimentação em um modelo de indução de fadiga. Posteriormente, Jiang et al. (34) utilizaram a mensuração da movimentação diafragmática para prever o sucesso no desmame com acurácia superior aos métodos tradicionais. De modo semelhante, a espessura diafragmática mensurada pelo US também pode prever o sucesso de uma extubação (46).

Recentemente, Kupfer et al. (41) demonstraram uma redução do tempo de VM em pacientes que apresentavam derrame pleural, quando esse era identificado e

drenado com o auxílio ultrassonográfico. Além disso, foi demonstrado que a piora da aeração pulmonar identificada pelo USP ao final de um TRE está associada a maior incidência de falha na extubação (16).

Por esses motivos, acredita-se que a utilização do USP seja útil no processo de desmame da VM e que deva torna-se parte do cuidado de rotina desses pacientes. Desta forma, projetou-se um estudo avaliando a utilização do USP indicando intervenções clínicas em pacientes com desmame difícil, com o objetivo de demonstrar uma redução no tempo em VM.

2 Justificativa

O processo de desmame representa até 40% do período em que o paciente necessita de VM, sendo que a decisão clínica da extubação é de extrema importância para evitar tanto um desnecessário prolongamento do tempo de VM quanto para evitar falhas de extubação, uma vez que ambos aspectos estão relacionados a um aumento de morbimortalidade nessa população (22-27).

A extubação é feita após o paciente ter tolerado o TRE. O grupo de pacientes que não tolera o primeiro TRE ou apresenta uma falha de extubação é classificado como desmame difícil e é considerado mais grave e com maior risco de falha em extubações posteriores e de desenvolver complicações associadas à VM (23, 25,47-49).

Dentro deste contexto, faz-se necessária uma ferramenta para avaliação complementar desses pacientes. Destaca-se, assim, o USP, método que permite melhor monitoramento da aeração pulmonar e diagnóstico de possíveis condições envolvidas na dificuldade em suspender a VM (1–18).

Acreditando que a utilização do USP deva torna-se parte do cuidado de rotina do desmame da VM, projetou-se um estudo randomizado inédito, que avaliará a utilização do USP em pacientes com desmame difícil, com o objetivo de demonstrar uma redução no tempo em VM.

Como forma de inserir o USP na rotina de cuidados, seu treinamento será incluso ao programa de residência em medicina intensiva dos centros participantes e à equipe da pesquisa. Também será investigada a acurácia diagnóstica de seus achados visto tratar-se de exame examinador dependente.

3 Objetivos

3.1 Objetivo primário

- Demonstrar uma redução no tempo de VM em pacientes com desmame difícil através da utilização de um protocolo de intervenções clínicas baseadas nos achados do exame de USP.

3.2 Objetivos secundários

- Capacitar da equipe de pesquisa através das seguinte medidas:
 - Elaborar um referencial teórico através da revisão da literatura e publicação de material didático em português;
 - Incluir o treinamento padronizado do USP ao programa de residência em medicina intensiva dos centros participantes e à equipe de pesquisa;
 - Investigar a acurácia diagnóstica dos achados do USP quando realizado pelos médicos capacitados dessa maneira;
- Avaliar a taxa de falhas no desmame;
- Avaliar a taxa de falhas de extubação;
- Avaliar a taxa de pneumonia associada à VM;
- Avaliar a duração da internação na UTI;
- Avaliar a mortalidade na UTI;
- Avaliar os achados do exame de USP;
- Avaliar as intervenções indicadas pelo USP.

4 Material e métodos

A proposta do presente estudo de incorporar a utilização do USP à rotina de cuidados dos pacientes com desmame difícil desenvolveu-se em duas etapas. A primeira, relacionada à obtenção do domínio desse método, englobando o desenvolvimento de um referencial teórico e a capacitação da equipe de pesquisa. E a segunda, com a implementação do ensaio clínico.

4.1 Referencial Teórico

O USP é uma modalidade recentemente desenvolvida e pouco difundida no Brasil. No início do projeto, não havia publicações nacionais sobre o tema. Por isso, a primeira etapa do presente estudo foi a elaboração de uma revisão da literatura com o intuito de servir como referencial teórico na língua portuguesa para a capacitação dos responsáveis pelo exame do USP.

Para tanto, foi realizada uma revisão da literatura com busca eletrônica nas bases de dados *Pubmed* e Biblioteca Virtual em Saúde, utilizando combinações das palavras chaves *Ultrassom*, *Pulmão* e *Críticos* e dos termos MeSH *Ultrasonography*, *Critical Illness* e *Lung*. A revisão foi realizada em 17/01/2012. Os critérios de inclusão foram: artigos publicados em português e inglês; com data de publicação a partir de janeiro de 2001 até a data da busca eletrônica. Estendeu-se a busca, também, a livros texto de referência em pneumologia e em US em terapia intensiva e através da busca de artigos correlatos em revistas especializadas. Essa revisão foi publicada no *Jornal Brasileiro de Pneumologia* em 2012 (17).

4.2 Capacitação da equipe de pesquisa

Como o USP é uma modalidade de exame operador dependente (1,2,9), foi realizado um programa de treinamento em USP para qualificação dos médicos dos centros participantes. O principal objetivo dessa medida foi o de garantir a reprodutibilidade dos achados do USP quando realizado por diferentes profissionais, com níveis diversos de treinamento e habilidade em ultrassonografia.

A capacitação da equipe foi padronizada da seguinte maneira: 5 horas de treinamento teórico e 10 exames de USP supervisionados. Da mesma forma, a cada trimestre os pesquisadores envolvidos debatiam a evolução do projeto, revisavam exames gravados e/ou impressos e avaliavam as dificuldades na realização do USP.

Com o intuito de garantir a reprodutibilidade dos achados do USP, todos pacientes foram examinados na posição semirrecumbente com o mesmo transdutor curvilíneo.

A aquisição de habilidade ao longo do tempo é um processo bem estabelecido, o qual também já foi demonstrado com o USP (3,20). Contudo, não há consenso em relação à duração do treinamento em USP ou o número de exames necessários para um examinador ser considerado capacitado (2–9,50-52).

Por haver incerteza em relação à adequação de tal capacitação e quanto à acurácia do exame de USP realizado pela equipe assim treinada, optou-se por também investigar a acurácia diagnóstica do USP em um contexto clínico correlato, mas independente do estudo principal. Para tanto, foi conduzido um estudo prospectivo em paralelo ao estudo do desmame, incluindo todos pacientes em ventilação espontânea consecutivos que foram internados devido insuficiência respiratória aguda (IRpA). Esse estudo foi publicado no *Jornal Brasileiro de Pneumologia* em 2015 (53).

4.3 Implementação do ensaio clínico

4.3.1 Delineamento da Pesquisa

Ensaio clínico randomizado e multicêntrico.

4.3.2 População

○ **Critérios de Inclusão (necessário preencher todos os critérios abaixo):**

- a. Pacientes admitidos no Centro de Terapia Intensiva;
- b. Idade igual ou maior de 18 anos;
- c. VM por período igual ou superior a 48 horas;
- d. Desmame difícil (falha em 1 TRE) ou ter apresentado falha de um extubação;
- e. Assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido pelo paciente ou responsável para a participação no estudo (apêndice 1).

○ **Critérios de Exclusão:**

- a. Limitação de investimento ou definição de terminalidade;
- b. Pacientes em processo de desmame diferente do TRE diário, como pacientes com doenças neurológicas;
- c. Pacientes com impedimento à realização do USP, pela presença de curativos, drenos, enfisema subcutâneo ou outros.

4.4 Amostra, Análise Estatística e Forma de Apresentação dos Dados

O ensaio clínico foi realizado no Centro de Terapia Intensiva Adulto do Hospital Moinhos de Vento, que conta com 31 leitos, e na Unidade de Terapia Intensiva Adulta do Hospital Ernesto Dornelles, que conta com 22 leitos.

Na etapa do estudo que investigou a acurácia diagnóstica do USP, sua performance diagnóstica foi comparada ao padrão ouro (diagnóstico final firmado pela equipe da UTI antes de alta do paciente) através do cálculo de sensibilidade, especificidade e valores preditivos positivo e negativo, através de fórmulas padronizadas. A descrição completa e acurada dos resultados foi checada com o checklist STARD (Standards of Reporting of Diagnostic Accuracy) (54).

Os níveis de concordância entre observadores para os achados do USP e para o diagnóstico clínico final foram avaliados com o teste kappa de concordância. Valores de kappa inferiores a 0 indicam uma concordância inferior à observada ao azar; valores de kappa entre 0,01 e 0,20 indicam concordância pobre; valores de kappa entre 0,21 e 0,40 indicam concordância leve; valores de kappa entre 0,41 e 0,60 indicam concordância moderada; valores de kappa entre 0,61 e 0,80 concordância substancial e valores de kappa entre 0,81 e 0,99 indicam concordância quase perfeita entre observadores (55). O teste de McNemar foi utilizado para comparar a acurácia diagnóstica entre os pacientes, comparando o USP contra o resultado da radiografia de tórax e entre o USP e a avaliação clínica inicial.

O cálculo amostral do ensaio clínico foi baseado em dados de uma coorte prévia de pacientes com desmame difícil. Estimando-se uma magnitude de efeito de dois dias (redução do tempo médio em VM de 9 para 7 dias, com desvio padrão de $\pm 3,5$ dias) (56) serão acompanhados 64 pacientes consecutivos por grupo. Foi

calculado um poder de 80% e um erro alfa bidirecional de 5%. Estimou-se que a amostra do estudo fosse distribuída uniformemente entre os dois centros.

Os pacientes foram randomizados em 23 blocos de 6 indivíduos conforme a intenção de tratamento. O sorteio da randomização foi realizado de forma centralizada por um pesquisador cegado e sem outro envolvimento no estudo.

As variáveis categóricas foram expressas como números e percentuais, enquanto as variáveis contínuas foram apresentadas como média \pm desvio padrão. Foram realizadas análises quanto a normalidade da distribuição da amostra através dos testes de Shapiro-Wilk ou de Kolmogorov-Smirnov. As variáveis contínuas foram comparadas através do teste t de Student e do teste U de Mann Whitney. Foram utilizados o teste de Qui-quadrado ou teste exato de Fisher para as variáveis dicotômicas. Foi utilizado o método de Kaplan-Meier e o teste de log-rank para avaliar o efeito das intervenções guiadas pelo USP na probabilidade cumulativa de sucesso na extubação. Todos os testes foram bilaterais, e o valor de p inferior a 0,05 foi considerado como estatisticamente significativo. A análise estatística foi realizada utilizando o programa SPSS, versão 16 (IBM Inc., Armonk, NY, EUA).

4.5 Processo de Obtenção de Dados e Variáveis

Os pacientes incluídos no estudo foram submetidos à avaliação usual quanto ao momento de se iniciar o desmame da VM conforme os protocolos institucionais (apêndice 2).

A participação no estudo e a obtenção do termo de consentimento livre e esclarecido eram propostos ao responsável pelo paciente no primeiro horário de visitas após a ocorrência de uma falha no TRE ou falha de extubação. Havendo consentimento, procedia-se a randomização.

No grupo intervenção, além da avaliação protocolar institucional, o paciente foi avaliado diariamente (do momento da randomização até 48 horas após a extubação) através do USP. Esse exame foi realizado por médicos intensivistas seguindo um modelo pré determinado de execução (apêndice 3) e de interpretação (apêndice 4). Intervenções pré determinadas, baseadas nos achados do USP, foram realizadas conforme o apêndice 5.

O USP avaliou seis quadrantes em cada hemitórax (porções superior e inferior das regiões anterior, lateral e posterior da parede torácica, delimitadas pelas linhas axilares anterior e posterior (9).

Para identificar a aeração pulmonar normal, a visualização do deslizamento pleural foi considerada elemento essencial. Ele corresponde ao movimento regular da linha pleural (descrito com uma linha clara cintilante) em ciclos regulares, em sincronia com cada movimento respiratório. Além desse achado, cada quadrante foi classificado de acordo com o pior achado ultrassonográfico observado, sendo categorizado de acordo com o predomínio A, B ou do perfil C em cada hemitórax, como previamente descrito (9).

Os perfis A, B e C foram definidos da seguinte maneira (1,4,9) (Figura 1 do artigo de validação do método):

- a. Perfil A (Linhas A): linhas horizontais brancas (hiperecogênicas), estáticas e que se repetem a intervalos regulares;
- b. Perfil B (Linhas B): linhas verticais hiperecogênicas, que se movem em sincronia com o ciclo respiratório. Configura-se um perfil B quando é identificada a presença de 3 ou mais linhas B em pelo menos dois espaços intercostais adjacentes;

- c. Perfil C: consolidação, na qual a imagem identifica um padrão de órgão sólido contendo pontos hiperecogênicos, consistindo no parênquima pulmonar.

As seguintes intervenções terapêuticas foram indicadas conforme os achados do USP:

- Ausência de deslizamento pleural: indicada nova radiografia do tórax para avaliar a posição do tubo endotraqueal e descartar pneumotórax (1,9,57);
- Perfil A: recomenda revisão da indicação clínica do uso e/ou dose de broncodilatadores (9,21) e avaliação ultrassonográfica para a presença de trombose venosa profunda (teste de compressão das veias femorais e das poplíteas, conforme protocolo de exame previamente validado - apêndice 6) (58) e, se achados negativos, manutenção das medidas já instituídas;
- Perfil B na avaliação anterior do tórax bilateralmente: indica administração de diurético (mínimo 40 mg de furosemida por dia para negativar, pelo menos, 1000 ml no balanço hídrico de 24 horas), aumento da ultrafiltração (com o objetivo de negativar, pelo menos, 1000 ml no balanço hídrico de 24 horas) ou administração de vasodilatadores (reduzir, pelo menos, em 20% a pressão sistólica antes do novo TRE) (5,9,12,36,39,59);
- Achados assimétricos entre os hemitórax (Padrão AB): indica avaliação clínica de outros possíveis sinais de falha do tratamento antimicrobiano ou necessidade de controle do foco de infecção (9,21);
- Derrame pleural simples (unilateral ou bilateral): quando a distância entre a parede torácica e o pulmão na linha axilar posterior for maior do que 3 cm, indica administração de diurético (mínimo 40 mg de furosemida por

dia para negativar, pelo menos, 1000 ml no balanço hídrico de 24 horas), aumento da ultrafiltração (com o objetivo de negativar, pelo menos, 1000 ml no balanço hídrico de 24 horas), ou toracocentese diagnóstica e/ou de alívio - conforme avaliação da equipe assistencial (40-42,60);

- Derrame pleural complexo: quando identifica-se a presença de debris, septações e/ou distribuição irregular – derrame pleural em espaços intercostais ipsi-laterais não adjacentes - indica toracocentese diagnóstica, investigação de imagem e/ou avaliação por equipe de cirurgia torácica, conforme avaliação da equipe assistencial (40-42);

Foram coletados dados demográficos referentes ao paciente, resultados do US e as intervenções terapêuticas realizadas (administração de diuréticos, toracocentese, troca de antimicrobianos, entre outros), assim como o resultado das mesmas durante o processo de desmame.

O paciente foi acompanhado enquanto internado no hospital, sendo descrito sua evolução clínica, da seguinte maneira:

- Sucesso no desmame - definido pela extubação por um período superior a 48 horas ou pela suspensão da utilização da VM em pacientes traqueostomizados por período superior a 48 horas;
- Incidência de traqueostomia;
- Pneumonia associada à VM - definida como início empírico de novo tratamento antimicrobiano por suspeita clínica de infecção pulmonar e/ou pelo escore clínico de infecção pulmonar (*Clinical Pulmonary Infection Score – CPIS*) (61) [Anexo 1];
- Tempo em VM;

- Tempo de internação na UTI;
- Tempo de internação hospitalar;
- Mortalidade na UTI;
- Mortalidade Hospitalar;

4.6 Processo de Obtenção do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido:

A etapa do estudo que investigou a acurácia diagnóstica do USP, foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Ernesto Dornelles (Protocolo nº 112/2011), o qual dispensou a necessidade de termo de consentimento livre e esclarecido.

O estudo principal, que avaliou o auxílio do USP no desmame da VM de pacientes com desmame difícil foi aprovado pelos Comitês de Ética em Pesquisa das duas instituições participantes (Hospital Ernesto Dornelles - 094/2011 e Hospital Moinhos de Vento - 057/2011). O ensaio clínico também foi registrado no *ClinicalTrials.gov* com o número NCT01724034.

Seguindo o desenho do projeto e a aprovação dos Comitês de Ética em pesquisa, foi obtido o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (apêndice 1) de cada paciente incluso no estudo e/ou dos familiares/responsáveis para a participação no mesmo.

4.7 Cronograma

	Jun-Dez/11	Jan – Ago/12	Set – Dez/12	Jan – Dez/13
Revisão Teórica	X			
Elaboração do Projeto de Pesquisa	X	X		
Aprovação do Comitê de Ética		X	X	
Coleta de Dados			X	X

	Jan- Jul/14	Ago –Dez/14	Jan-Jun/15	Julho/15
Estágio de Doutorado Sanduíche no Hospital Pitié-Salpêtrière - Paris, França	X			
Coleta de Dados		X		
Análise Estatística Preliminar			X	
Defesa do Doutorado				X

	Ago-Dez/15	Jan- Jul/16	Ago –Dez/16	Jan-Jul/17
Coleta de Dados	X	X		
Análise Estatística			X	
Publicação dos Resultados			X	X

4.8 Orçamento

O pesquisador disponibilizou e arcou com os custos da elaboração e execução do projeto (uso de computador, impressora, material de escritório, entre outros).

O equipamento de ultrassonografia estava disponível nas UTIs onde foi realizado o estudo. Não houve custos adicionais pela sua utilização, assim como não houve atraso na realização de outros exames.

O pesquisador foi bolsista do programa de doutorado sanduíche no exterior da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) / Ministério da Educação do Brasil - BEX 6869/13-1.

5 Referências Bibliográficas

1. Koenig SJ, Narasimhan M, Mayo PH. Thoracic ultrasonography for the pulmonary specialist. *Chest*. 2011;140(5):1332–41.
2. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby J-J. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology*. 2004;100(1):9–15.
3. Anantham D, Ernst A. Ultrasonography. Murray and Nadel's textbook of respiratory medicine. 5th ed Philadelphia: Saunders-Elsevier; 2010.
4. Lichtenstein D. Should lung ultrasonography be more widely used in the assessment of acute respiratory disease? *Expert Rev Respir Med*. 2010;4(5):533–8.
5. Gargani L. Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. *Cardiovasc Ultrasound*. 2011;9:6.
6. Bouhemad B, Zhang M, Lu Q, Rouby J-J. Clinical review: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Crit Care*. 2007;11(1):205.
7. Mayo P, Levitov A, Slonim A. Ultrasound evaluation of the lung. *Critical care ultrasonography*. New York: McGraw-Hill; 2009.
8. Reissig A, Copetti R, Kroegel C. Current role of emergency ultrasound of the chest. *Crit Care Med*. 2011;39(4):839–45.
9. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012;38(4):577–91.

10. Manno E, Navarra M, Faccio L, Motevallian M, Bertolaccini L, Mfochivè A, et al. Deep impact of ultrasound in the intensive care unit: the “ICU-sound” protocol. *Anesthesiology*. 2012;117(4):801–9.
11. Peris A, Tutino L, Zagli G, Batacchi S, Cianchi G, Spina R, et al. The use of point-of-care bedside lung ultrasound significantly reduces the number of radiographs and computed tomography scans in critically ill patients. *Anesth Analg*. 2010;111(3):687–92.
12. Frassi F, Gargani L, Gligorova S, Ciampi Q, Mottola G, Picano E. Clinical and echocardiographic determinants of ultrasound lung comets. *Eur J Echocardiogr*. 2007;8(6):474–9.
13. Eisen L, Doelken P. Ultrasound evaluation of the pleura. *Critical care ultrasonography*. New York: McGraw-Hill; 2009.
14. Bouhemad B, Liu Z-H, Arbelot C, Zhang M, Ferarri F, Le-Guen M, et al. Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reaeration in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med*. 2010;38(1):84–92.
15. Remérand F, Dellamonica J, Mao Z, Ferrari F, Bouhemad B, Jianxin Y, et al. Multiplane ultrasound approach to quantify pleural effusion at the bedside. *Intensive Care Med*. 2010;36(4):656–64.
16. Soummer A, Perbet S, Brisson H, Arbelot C, Constantin J-M, Lu Q, et al. Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress. *Crit Care Med*. 2012;40(7):2064–72.
17. Dexheimer Neto FL, Dalcin P de TR, Teixeira C, Beltrami FG. Lung ultrasound in critically ill patients: a new diagnostic tool. *J Bras Pneumol*. 2012;38(2):246–56.

18. Chavez MA, Shams N, Ellington LE, Naithani N, Gilman RH, Steinhoff MC, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a systematic review and meta-analysis. *Respir Res.* 2014;15(1):50.
19. Neri L, Storti E, Lichtenstein D. Toward an ultrasound curriculum for critical care medicine. *Crit Care Med.* 2007;35(5 Suppl):S290–304.
20. Tutino L, Cianchi G, Barbani F, Batacchi S, Cammelli R, Peris A. Time needed to achieve completeness and accuracy in bedside lung ultrasound reporting in intensive care unit. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2010;18:44.
21. Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest.* 2008;134(1):117–25.
22. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, Epstein SK, Fink JB, Heffner JE, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. *Chest.* 2001;120(6 Suppl):375S – 95S.
23. Esteban A, Alía I, Tobin MJ, Gil A, Gordo F, Vallverdú I, et al. Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;159(2):512–8.
24. Vallverdú I, Calaf N, Subirana M, Net A, Benito S, Mancebo J. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of a two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998;158(6):1855–62.
25. Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J.* 2007;29(5):1033–56.

26. Epstein SK. Weaning from ventilatory support. *Curr Opin Crit Care*. 2009;15(1):36–43.
27. Frutos-Vivar F, Ferguson ND, Esteban A, Epstein SK, Arabi Y, Apezteguía C, et al. Risk factors for extubation failure in patients following a successful spontaneous breathing trial. *Chest*. 2006;130(6):1664–71.
28. Teixeira C, da Silva NB, Savi A, Vieira SRR, Nasi LA, Friedman G, et al. Central venous saturation is a predictor of reintubation in difficult-to-wean patients. *Crit Care Med*. 2010;38(2):491–6.
29. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby J-J. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med*. 2011;183(3):341–7.
30. Caltabeloti FP, Monsel A, Arbelot C, Brisson H, Lu Q, Gu W-J, et al. Early fluid loading in acute respiratory distress syndrome with septic shock deteriorates lung aeration without impairing arterial oxygenation: a lung ultrasound observational study. *Crit Care*. 2014;18(3):R91.
31. Baldi G, Gargani L, Abramo A, D’Errico L, Caramella D, Picano E, et al. Lung water assessment by lung ultrasonography in intensive care: a pilot study. *Intensive Care Med*. 2013;39(1):74–84.
32. Ding W, Shen Y, Yang J, He X, Zhang M. Diagnosis of pneumothorax by radiography and ultrasonography: a meta-analysis. *Chest*. 2011;140(4):859–66.
33. Kocis KC, Radell PJ, Sternberger WI, Benson JE, Traystman RJ, Nichols DG. Ultrasound evaluation of piglet diaphragm function before and after fatigue. *J Appl Physiol*. 1997;83(5):1654–9.

34. Jiang J-R, Tsai T-H, Jerng J-S, Yu C-J, Wu H-D, Yang P-C. Ultrasonographic evaluation of liver/spleen movements and extubation outcome. *Chest*. 2004;126(1):179–85.
35. Silva S, Biendel C, Ruiz J, Olivier M, Bataille B, Geeraerts T, et al. Usefulness of cardiothoracic chest ultrasound in the management of acute respiratory failure in critical care practice. *Chest*. 2013;144(3):859–65.
36. Agricola E, Bove T, Oppizzi M, Marino G, Zangrillo A, Margonato A, et al. “Ultrasound comet-tail images”: a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest*. 2005;127(5):1690–5.
37. Lichtenstein DA, Mezière GA, Lagoueyte J-F, Biderman P, Goldstein I, Gepner A. A-lines and B-lines: lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest*. 2009;136(4):1014–20.
38. Manson WC, Bonz JW, Carmody K, Osborne M, Moore CL. Identification of Sonographic B-lines with Linear Transducer Predicts Elevated B-Type Natriuretic Peptide Level. *West J Emerg Med*. 2011;12(1):102–6.
39. Frassi F, Gargani L, Tesorio P, Raciti M, Mottola G, Picano E. Prognostic value of extravascular lung water assessed with ultrasound lung comets by chest sonography in patients with dyspnea and/or chest pain. *J Card Fail*. 2007;13(10):830–5.
40. Roch A, Bojan M, Michelet P, Romain F, Bregeon F, Papazian L, et al. Usefulness of ultrasonography in predicting pleural effusions > 500 mL in patients receiving mechanical ventilation. *Chest*. 2005;127(1):224–32.
41. Kupfer Y, Seneviratne C, Chawla K, Ramachandran K, Tessler S. Chest tube drainage of transudative pleural effusions hastens liberation from mechanical ventilation. *Chest*. 2011;139(3):519–23.

42. Tu C-Y, Hsu W-H, Hsia T-C, Chen H-J, Tsai K-D, Hung C-W, et al. Pleural effusions in febrile medical ICU patients: chest ultrasound study. *Chest*. 2004;126(4):1274–80.
43. Noble VE, Murray AF, Capp R, Sylvia-Reardon MH, Steele DJR, Liteplo A. Ultrasound assessment for extravascular lung water in patients undergoing hemodialysis. Time course for resolution. *Chest*. 2009;135(6):1433–9.
44. Zoccali C, Torino C, Tripepi R, Tripepi G, D'Arrigo G, Postorino M, et al. Pulmonary congestion predicts cardiac events and mortality in ESRD. *J Am Soc Nephrol*. 2013;24(4):639–46.
45. Corradi F, Brusasco C, Pelosi P. Chest ultrasound in acute respiratory distress syndrome. *Curr Opin Crit Care*. 2014;20(1):98–103.
46. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69(5):423–7.
47. Thille AW, Harrois A, Schortgen F, Brun-Buisson C, Brochard L. Outcomes of extubation failure in medical intensive care unit patients. *Crit Care Med*. 2011;39(12):2612–8.
48. Menon N, Joffe AM, Deem S, Yanez ND, Grabinsky A, Dagal AH, et al. Occurrence and complications of tracheal reintubation in critically ill adults. *Respir Care*. 2012;57(10):1555–63.
49. Peñuelas Ó, Thille AW, Esteban A. Discontinuation of ventilatory support: new solutions to old dilemmas. *Curr Opin Crit Care*. 2015;21(1):74–81.
50. Mosier JM, Malo J, Stolz LA, Bloom JW, Reyes NA, Snyder LS, et al. Critical care ultrasound training: A survey of US fellowship directors. *J Crit Care*. 2014;29(4):645–9.

51. Bahner DP, Adkins EJ, Hughes D, Barrie M, Boulger CT, Royall NA. Integrated medical school ultrasound: development of an ultrasound vertical curriculum. *Crit Ultrasound J*. 2013;5(1):6.
52. Noble VE, Lamhaut L, Capp R, Bosson N, Liteplo A, Marx J-S, et al. Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers. *BMC Med Educ*. 2009;9:3.
53. Dexheimer Neto FL, de Andrade JMS, Raupp ACT, Townsend RS, Beltrami FG, Brisson, Lu Q, Dalcin PTR. Diagnostic accuracy of the bedside lung ultrasound in emergency protocol for the diagnosis of acute respiratory failure in spontaneously breathing patients. *J Bras Pneumol*. 2015;41(1):58–64.
54. Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, Gatsonis CA, Glasziou PP, Irwig LM, et al. Towards complete and accurate reporting of studies of diagnostic accuracy: the STARD initiative. *BMJ*. 2003;326(7379):41–4.
55. Viera AJ, Garrett JM. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam Med*. 2005;37(5):360–3.
56. Teixeira C, Maccari JG, Vieira SRR, Oliveira RP, Savi A, Machado AS, et al. Impact of a mechanical ventilation weaning protocol on the extubation failure rate in difficult-to-wean patients. *J Bras Pneumol*. 2012;38(3):364–71.
57. Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding. *Chest*. 1995;108(5):1345–8.
58. Kory PD, Pellicchia CM, Shiloh AL, Mayo PH, DiBello C, Koenig S. Accuracy of ultrasonography performed by critical care physicians for the diagnosis of DVT. *Chest*. 2011;139(3):538–42.

59. Picano E, Frassi F, Agricola E, Gligorova S, Gargani L, Mottola G. Ultrasound lung comets: a clinically useful sign of extravascular lung water. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19(3):356–63.
60. Balik M, Plasil P, Waldauf P, Pazout J, Fric M, Otahal M, et al. Ultrasound estimation of volume of pleural fluid in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med.* 2006;32(2):318–21.
61. Singh N, Rogers P, Atwood CW, Wagener MM, Yu VL. Short-course empiric antibiotic therapy for patients with pulmonary infiltrates in the intensive care unit. A proposed solution for indiscriminate antibiotic prescription. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;162(2 Pt 1):505–11.

6 Artigo de revisão da literatura

Ultrassom Pulmonar em pacientes críticos - uma nova ferramenta diagnóstica.

Felippe Leopoldo Dexheimer Neto¹, Flavia Gabe Beltrami², Cassiano Teixeira³, Paulo de Tarso Roth Dalcin⁴.

¹ Médico Internista e Intensivista dos Hospitais Ernesto Dornelles e Moinhos de Vento de Porto Alegre-RS;

² Médica Internista e Residente do Serviço de Pneumologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre-RS;

³ Médico Internista e Intensivista dos Hospitais Moinhos de Vento e Irmandade Santa Casa de Misericórdia e Professor de Clínica Médica da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre-RS;

⁴ Médico Pneumologista, Professor Associado do Departamento de Medicina Interna da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Trabalho realizado no Hospital Ernesto Dornelles; Hospital Moinhos de Vento; Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre; e Departamento de Medicina Interna da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS) Brasil.

Endereço para correspondência:

Felippe Leopoldo Dexheimer Neto.

Departamento Médico Judiciário, Av. Borges de Medeiros, 1565, Centro/Praia de Belas, CEP 90110-906, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: fldneto@me.com

Apoio financeiro: Nenhum.

Recebido para publicação em 24/2/2012. Aprovado, após revisão, em 28/3/2012.

J Bras Pneumol. 2012;38(2):246-256

RESUMO:

A avaliação pulmonar através do ultrassom é um tema de crescente interesse na avaliação de pacientes críticos, muitas vezes aplicado por não-radiologistas. Como sua técnica baseia-se no fato de que todas as agressões agudas reduzem a aeração pulmonar, o ultrassom pulmonar (USP) pode fornecer informações complementares, com a principal vantagem de ser realizado à beira do leito, integrado ao exame físico e à impressão clínica.

O objetivo dessa revisão foi avaliar as aplicações clínicas do USP, através da pesquisa do Pubmed e da Biblioteca Virtual em Saúde dos termos (em português ou MeSH em inglês): *Ultrassom, Pulmão e Doenças Críticas*. Além dos artigos mais relevantes, estendeu-se a busca a artigos correlatos e livros especializados.

Dados da literatura afirmam que o USP é útil na interpretação de infiltrados pulmonares, tendo boa acurácia na identificação de consolidações e de síndrome intersticial. Além disso, a avaliação e a abordagem de derrames pleurais é amplamente difundida, assim como a identificação de pneumotórax. Adicionalmente, essa técnica pode ser útil na avaliação imediata de pacientes com dispneia e/ou insuficiência respiratória aguda. Outras aplicações descritas são a monitorização da resposta ao tratamento e o aumento da segurança na realização de procedimentos invasivos.

Embora ainda haja necessidade de uma padronização dos critérios de treinamento e certificação, esse é um método rápido, barato e amplamente disponível, e a incorporação dessa nova tecnologia deve tornar-se progressivamente maior no cuidado de doentes críticos.

Palavras chaves: Ultrassom, Pulmão, Doenças Críticas, Terapia Intensiva

ABSTRACT:

Evaluation of critically ill patients using lung ultrasound (LU) has recently gained increased interest, even when performed by non-specialists. Since every acute illness reduces pulmonary aeration, LU can provide complementary information, with the main advantage of being a bedside tool, integrated with the physical examination and clinical impression.

The aim of this review was to evaluate the clinical applications of LU, through searches in *pubmed* and Brazilian Health's Virtual Library using the following Mesh terms: *Ultrasound, Lung* and *Critical Illness*. Besides the most relevant articles, the search was extended to correlated publications and specialized textbooks.

Data shows that LU is useful in the differential diagnosis of pulmonary infiltrates, having good accuracy for identifying consolidations and interstitial syndrome. Moreover, its use is widespread in the evaluation and approach of pleural effusions, as well as the recognition of pneumothorax. Even more, this technique can be useful in the immediate evaluation of patients with shortness of breath or acute respiratory failure. Other described applications include monitoring treatment response and increasing safety of invasive procedures.

Although specific criteria regarding training and certification are still lacking, LU is a fast, cheap and widely available tool, so the assimilation of this technique should become more popular in the care of critically ill patients.

Keywords: Ultrasound, Lung, Critical Illness, Intensive Care

Introdução:

O ar é uma barreira às ondas do ultrassom (US) e, por esse fato, a avaliação do pulmão por esse método foi considerada impossível por muito tempo (1,2). Contudo, um número crescente de estudos tem quebrado esse paradigma, demonstrando que o exame de US pode ser útil para a avaliação pulmonar de pacientes críticos, de maneira complementar aos demais achados de imagem (3–7).

Ainda que o US seja tradicionalmente utilizado por radiologistas, há muitas publicações positivas com realização de ultrassom pulmonar (USP) por não-especialistas (emergencistas, intensivistas, pneumologistas, entre outros) (4,6–10). Sendo que a grande vantagem dessa ferramenta é a sua aplicação imediata, à beira do leito, integrada com os resultados do exame físico e impressão clínica (6). Além disso, muitas razões tornam o exame de USP especialmente atraente para a avaliação de pacientes graves – Tabela 1.

A técnica do USP baseia-se no fato de que todas as agressões agudas reduzem a aeração dos pulmões, alterando sua superfície e gerando padrões previsíveis e distintos, permitindo firmar diagnósticos e monitorar intervenções terapêuticas (1,4,11) - Figura 1.

Os principais autores do tema defendem que o exame de USP deve ser essencialmente simples, focado e direcionado aos pacientes críticos, propondo uma técnica padronizada, com equipamento simples e com um único transdutor (1,4,12).

Nesse contexto, o objetivo desse artigo de revisão foi avaliar as aplicações clínicas do USP em pacientes críticos.

Métodos:

Foi realizada uma revisão da literatura com busca eletrônica nas bases de dados Pubmed e Biblioteca Virtual em Saúde, utilizando combinações das palavras chaves *Ultrassom, Pulmão e Críticos* e dos termos MeSH *Ultrasonography, Critical Illness e Lung*. A revisão foi realizada em 17/01/2012. Os critérios de inclusão foram: artigos publicados em português e inglês; com data de publicação a partir de janeiro de 2001 até a data da busca eletrônica. Estendeu-se a busca, também, a livros texto de referência em pneumologia e em ultrassom em terapia intensiva e através da busca de artigos correlatos em revistas especializadas.

Um total de 8 artigos foram identificados na busca das bases eletrônicas, destes 6 foram considerados relevantes pelos revisores e mais 29 artigos a partir da busca estendida.

Técnica do Exame de Ultrassom e o Pulmão Normal:

Antes de abordar a utilização clínica do USP em pacientes críticos, cabe uma breve revisão sobre a técnica e sobre os achados considerados normais neste método diagnóstico.

O ultrassom é uma forma de energia sonora não audível, utilizada para fins diagnósticos numa faixa de frequência de 2 – 20 MHz. Seu pulso é gerado por cristais piezoelétricos presentes no transdutor do aparelho que geram ondas que são transmitidas, atenuadas e refletidas pelos tecidos.

Quase toda a energia é refletida, mas a diferença da impedância acústica dos tecidos altera a força do sinal de ultrassom – isso permite obter informações sobre a localização e as características dos tecidos – que são processados em uma imagem em escala de cinza, que é a base da tecnologia do ultrassom.

A forma de processar os sinais refletidos determina a formação da imagem. Com o modo brilho (B), a amplitude da energia é demonstrada como pontos de diferentes intensidades, permitindo a criação da imagem bidimensional convencional, enquanto outra opção no processamento dos achados é o modo movimento (M), no qual a imagem de um objeto em particular é acompanhada ao longo do tempo (5) - Figura 2.

As especificações quanto ao equipamento de ultrassom são variadas, mas geralmente indicam aparelhos considerados comuns e amplamente disponíveis. Um transdutor curvo de 3 – 7 MHz é adequado, preferencialmente pequeno (para melhor adaptação aos espaços intercostais) (3,4,6).

Ao realizar o exame, para uma adequada aquisição das imagens, dois parâmetros necessitam ser ajustados: a profundidade (geralmente inferior a 10 cm, dependendo do objetivo do exame) e o ganho (que amplifica os sinais, tornando a imagem mais clara ou escura conforme a necessidade do examinador) (5,10).

Para os propósitos dessa revisão, o ultrassom pulmonar (USP) abrange a avaliação da parede torácica, espaço pleural, diafragma e pulmões (6). A duração estimada do exame é aproximadamente de 15 minutos, mas operadores experientes o realizam mais rápido (3).

Geralmente o paciente é examinado na posição supina com a cabeça elevada. As linhas axilares anterior e posterior são os pontos de referência para o exame dividindo o tórax em 3 zonas (que geralmente ainda são divididas em setores superior e inferior (3,5).

Por convenção, o USP é realizado no plano longitudinal com o transdutor perpendicular à superfície da pele (4).

Inicialmente, com o aparelho de US no modo Brilho (B), posiciona-se o transdutor com seu marcador direcionado para a cabeça e perpendicular às costelas, obtendo-se a imagem típica do USP (4,6). Os espaços intercostais (EI) adjacentes são examinados deslizando o transdutor verticalmente (10). Figura 3.

As costelas bloqueiam as ondas do US e são identificadas por sua sombra acústica posterior (Letra C da Figura 3), que impede a visualização das estruturas mais profundas. Aproximadamente 0,5 cm abaixo delas, é visualizada uma linha horizontal clara (hiperecogênica) que é a chamada “Linha Pleural” (Letra P das figura 3). Essa linha resulta do encontro da pleura visceral contra a parietal e sua cintilância se deve ao deslizamento entre elas (deslocamento do ar).

O parênquima pulmonar normal (assim como qualquer estrutura anatômica preenchida por gases) não é visível além da pleura, pois a presença de ar impede a propagação da onda do US. Esse fato gera um artefato de repetição, que é identificado no exame como a presença de linhas horizontais claras (hiperecogênicas), sem movimento, que se repetem em intervalos iguais, chamadas de Linhas A (Letra A da Figura 3).

O achado fundamental no exame de ultrassom pulmonar é a movimentação (descrito muitas vezes como cintilância ou brilho) em ciclos regulares (acompanhando os movimentos respiratórios) da "linha pleural," chamado de “deslizamento pleural”, sendo considerado um achado de fácil identificação e interpretação (1,4,5).

O deslizamento pleural é facilmente identificado no modo B e apresenta um sinal específico no modo movimento (M), chamado de “Sinal da Praia”: caracterizado por um padrão linear correspondendo à parede torácica (sem movimento) sobre a

Linha Pleural (clara ou hiperecogênica) e um padrão granular homogêneo abaixo dessa – artefato gerado pelos ciclos respiratórios e o movimento do ar (Figura 4).

O deslizamento pleural é um achado de pulmões normais e encontra-se ausente nas doenças que alteram a mobilidade pulmonar – pleurisia, pleurodese, pneumotórax, enfisema subcutâneo, apneia, broncoespasmo severo, doença pulmonar obstrutiva crônica, síndrome da disfunção respiratória aguda, entre outros (5).

Ao avaliar as regiões do tórax, é recomendado que o examinador identifique o diafragma e os pulmões, sendo que os derrames pleurais e consolidações geralmente são identificados nas regiões dependentes (3). Vale lembrar que sempre é útil a avaliação do pulmão contralateral a fim de se comparar os achados (7).

Aplicações Clínicas:

O USP pode ser um bom meio de elucidar dúvidas na interpretação de infiltrados pulmonares, podendo diferenciar: pulmão normal, consolidações, infiltrado intersticial ou alveolar ou derrame pleural (2,4).

1. Derrame Pleural:

O derrame pleural é um problema comum em pacientes críticos. Sabe-se que ultrassom é mais sensível do que o exame clínico e RX de tórax para seu diagnóstico e é especialmente efetivo no diagnóstico diferencial entre efusões e atelectasia pulmonar (5,13,14).

A presença de derrame pleural (DP) pode ser facilmente avaliada através do USP, correspondendo a uma imagem escura (hipoecogênica) e homogênea nas regiões dependentes do tórax (2,3,6).

Para uma adequada avaliação do DP, faz se necessária a identificação de três achados (10):

1. Limites anatômicos: a parede torácica, pulmão, diafragma e órgãos sólidos adjacentes (fígado/baço) – confirmando que a localização intratorácica da coleção, especialmente se for planejada a execução de toracocentese;
2. Espaço anecóico: derrame pleural propriamente dito;
3. Alterações dinâmicas: aeração pulmonar intermitente e/ou pulmão comprimido (atelectasia), movimentação diafragmática, movimento sinusoidal inspiratório (Figura 5).

Em um estudo que avaliou pacientes na emergência com queixa de dispneia, o USP demonstrou melhor acurácia do que o RX em pacientes que posteriormente realizaram TC Tórax. Nesse estudo a sensibilidade do USP para derrame pleural foi 90% e especificidade de 73% (14).

O DP também pode ser identificado pelo chamado “sinal do quadrado” (figura 5) e diferenciado de outros órgãos sólidos pela visualização do movimento sinusoidal inspiratório no modo M – sinal do sinusóide, Figura 5 – com especificidade de 97% (1).

A estimativa do volume do DP ainda é um tema controverso, mas uma opção é avaliar a distância entre o pulmão e a parede torácica posterior com o transdutor posicionado na linha axilar posterior. Quando essa distância é ≥ 50 mm, esse achado é altamente sugestiva de ≥ 500 ml de derrame pleural (3), enquanto uma alternativa é multiplicar a distância máxima nessa posição por 20, obtendo uma estimativa do volume do derrame em mililitros (15,16).

No caso de DP complicado, o USP também é superior em sua identificação em relação às demais modalidades de imagem (6,10), podendo ser identificados pontos

cintilantes em meio à imagem anecóica da efusão (debris girando livremente), ou até mesmo a presença de septações (imagens lineares claras [hiperecóicas]) (5,17). Além disso, um DP que não apresente estas alterações pode ser descartado como fonte de infecção em pacientes febris (17).

2. Pneumotórax:

O USP é muito efetivo em descartar rapidamente pneumotórax (PTX), pois a presença de deslizamento pleural (ou o “sinal da praia”) exclui esse diagnóstico - valor preditivo negativo (VPN) de 100% (4,18).

No caso de um PTX, sua avaliação deve iniciar nas áreas não pendentes do tórax, sendo que a interposição de ar entre as camadas da pleura impede seu deslizamento, impossibilitando a presença de Linhas B e restando apenas linhas A no exame de USP (2,5). Em estudo que avaliou PTX residual após a retirada de dreno torácico em pacientes no pós-operatório, a realização do exame de USP foi mais rápido do que a obtenção da radiografia de tórax e apresentou boa correlação com os achados da mesma (19). Além disso, múltiplos estudos demonstraram superioridade do USP para descartar PTX em relação à radiografia de tórax supina (20–22).

Contudo, o diagnóstico definitivo de PTX é considerado difícil – não basta apenas a ausência do deslizamento pleural - havendo a necessidade de se identificar o “ponto pulmonar” (ponto de deslizamento pleural intermitente), exigindo um examinador experiente (3,4). Esse sinal consiste na visualização de um local de pulmão normal em contato com uma área com ausência de deslizamento pleural e Linhas A. Esse achado indica que o parênquima está parcialmente colapsado, sendo 100% específico de PTX (23). Da mesma forma, ao haver abolição do deslizamento pleural, os achados no modo M se modificam, pois abaixo da linha pleural, ao invés

de um padrão granular, será visualizado um padrão linear – chamado de Sinal da Estratosfera. Figura 4.

3. Síndrome Intersticial:

A presença de edema pulmonar ou infiltrado intersticial é caracterizada pelo espessamento dos septos interlobulares e por uma redução da aeração periférica, gerando as chamadas “Linhas B” (ou “Cauda de Cometa”). Essas são artefatos verticais (podem ser múltiplos no mesmo espaço intercostal [EI]), claros (hiperecogênicos), que se originam a partir da linha pleural que se estendem ao fim da tela, apagando as Linhas A nas suas intersecções.

As Linhas B se movimentam em sincronia com o ciclo respiratório e sua presença exclui o diagnóstico de pneumotórax (4). Embora sua presença possa ser detectada em pulmões normais, seu número está diretamente relacionado com o grau de espessamento dos septos interlobulares e com a redução da aeração pulmonar, sendo que a intensidade (brilho) dessas linhas varia ao longo dos ciclos respiratórios (5). Figura 6.

Estudos demonstram que a presença de Linhas B com distância de 7 mm entre si está associada a espessamento dos septos interlobulares causado por congestão venosa, enquanto que Linhas B com distância de 3 mm ou menos estão associadas a áreas de edema alveolar (correspondendo ao achado tomográfico de vidro despolido) (3).

Para fins práticos, a identificação de mais do que 3 Linhas B em um EI em áreas pulmonares não pendentes é considerado um achado anormal (4,6). Aliás, o número de “Caudas de Cometa” é diretamente proporcional à piora da classe funcional da insuficiência cardíaca, ao conteúdo de Água Pulmonar Extra Vascular,

ao peptídeo natriurético cerebral (BNP) e à severidade da disfunção diastólica para qualquer grau de disfunção sistólica (2,5,9,24).

Dessa forma, a presença de Linhas B nas regiões não pendentes do tórax é útil para o diagnóstico diferencial de dispneia cardiogênica e não-cardiogênica, inclusive com validação em estudos que comparam os achados do USP com os valores obtidos do BNP (2,5). Além disso, o diagnóstico de edema pulmonar pelo USP pode ser confirmado pelo desaparecimento dessas linhas após o tratamento apropriado para a insuficiência cardíaca (5,24).

4. Atelectasia e Consolidação Pulmonar:

O achado de atelectasia ou consolidação pulmonar consiste em uma perda de aeração, gerando uma área de parênquima visível e escura (hipoecogênica), semelhante à textura do fígado, de bordas mal definidas e irregulares (5). A comparação com os órgãos sólidos abdominais (fígado ou baço) permite que se identifique nítida semelhança entre as estruturas (densidade de tecido) – o chamado “sinal da hepatização” – com especificidade de 98,5% para o diagnóstico de consolidações (1,5). Figura 7.

Além disso, a identificação de irregularidades nas bordas da lesão (ou seja, na própria linha pleural) é denominada – sinal do retalho (Figura 8), e tem sensibilidade de 90% para o diagnóstico de consolidação do parênquima (1).

Ainda no interior da consolidação, podem ser identificadas imagens puntiformes claras (hiperecogênicas), que variam de acordo com o ciclo ventilatório (mudando de localização, tamanho ou forma) e correspondem ao achado de broncogramas aéreos (3).

É importante destacar que o achado de consolidação é puramente descritivo, pois qualquer processo que torne o compartimento alveolar desarejado será identificado como consolidação pelos métodos diagnósticos (seja pela radiografia, US ou TC) (4). A presença de atelectasias pode ser sugerida pelo estreitamento dos EI e pela elevação do hemidiafragma e, caso sejam identificados broncogramas aéreos, não deve haver mudança de seu tamanho durante o ciclo ventilatório (5). Enquanto a presença de derrame pleural ocorre em mais de dois-terços dos casos de pneumonia (25). Portanto, cabe ao clínico interpretar os achados para uma correta determinação da causa do estado patológico (atelectasias, processos infiltrativos, edema pulmonar).

5. Insuficiência Respiratória:

O USP permite uma avaliação padronizada de pacientes com dispneia e/ou insuficiência respiratória (4,5), baseada no perfil dos achados do USP em conjunto com avaliação para trombose venosa nos membros inferiores. Essa abordagem – intitulada de *BLUE-protocol* pode prover respostas imediatas para situações nas quais, previamente, apenas técnicas sofisticadas e lentas eram disponíveis (1,25).

Esse protocolo divide os achados do USP em perfis distintos – Figura 8. Um padrão anterior bilateral com deslizamento pleural e predominância de Linhas A (Perfil A) sugere broncoespasmo, embolia pulmonar ou uma pneumonia posterior, praticamente descartando congestão. Enquanto um Perfil B - identificação de deslizamento pleural e predomínio de linhas B - é típico de edema agudo pulmonar e praticamente exclui pneumotórax, broncoespasmo ou embolia. Outra possibilidade é um Perfil AB, com achados assimétricos entre os hemitórax sugerindo infecção pulmonar, assim como o achado de consolidações nas regiões anteriores do tórax –

chamado de Perfil C (1,25). Por fim, complementando esses perfis, quando há a ausência de deslizamento pleural este é indicado por um apóstrofo (perfis A' e B').

Em resumo, um exame de USP encontrando um padrão de pulmão normal (deslizamento pleural com presença de Linhas A) deve ser associado à avaliação venosa dos membros inferiores. Se houver sinais de trombose venosa, esse achado é específico para embolia pulmonar e em casos negativos, esse padrão sugere broncoespasmo como etiologia da disfunção respiratória.

Já a ausência de deslizamento pleural com presença de linhas A torna o diagnóstico de pneumotórax possível, porém para seu diagnóstico é necessário identificar o “ponto pulmonar” (1).

Um Perfil B sugere síndrome intersticial pulmonar, que pode ser de origem cardiogênica (levando a espessamento dos septos interlobulares) e apresentando um padrão específico de Linhas B separadas entre si por, pelo menos, 7 mm, ou ainda pode ser causada por edema alveolar (correspondendo ao achado de vidro despolido na TC), sendo detectada pela presença de “caudas de cometa” com menos de 3 mm de distância entre si.

Além disso, em pacientes com infecção pulmonar, os achados do USP podem corresponder à presença de consolidações anteriores, áreas que não apresentem deslizamento pleural com predomínio de Linhas B, achados assimétricos entre os hemitórax ou, ainda, a identificação de um padrão normal associado com a presença de derrame pleural e consolidação posterior (25).

Combinando esses achados ultrassonográficos, o seguinte algoritmo foi proposto para a avaliação de pacientes em insuficiência respiratória aguda Figura 9. No estudo que gerou essa proposta, essa avaliação, a partir do exame de USP realizado logo após a admissão dos pacientes em Unidades de Terapia Intensiva,

apresentou uma acurácia de 90,5%, quando comparada ao diagnóstico final da equipe assistente (25).

6. Monitorar Intervenções:

A avaliação pulmonar com o ultrassom permite monitorar a resposta a intervenções clínicas. Um estudo que avaliou pacientes com insuficiência renal e congestão pulmonar, demonstrou que a redução do número de Linhas B foi proporcional à redução do volume de água pulmonar extravascular, fato acompanhado pela melhora clínica dos mesmos (24).

Por outro lado, em pacientes com instabilidade hemodinâmica e necessidade de ressuscitação volêmica há dificuldade em se obter um parâmetro para limitar a administração de fluidos. Lichtenstein e colegas (26) correlacionaram os artefatos do USP com os valores hemodinâmicos mensurados em pacientes com cateteres de artéria pulmonar. Nesse estudo, houve uma boa correlação entre a predominância de linhas A no USP e uma pressão de oclusão da artéria pulmonar inferior a 18 mmHg, levando a conclusão de que o padrão A indica que ainda há tolerância pulmonar para novos desafios hídricos. Contudo, se o predomínio for substituído por linhas B (“caudas de cometa”), provavelmente um mecanismo hidrostático estará gerando uma síndrome intersticial (26).

Em outro estudo que acompanhou pacientes com pneumonia associada à VM, houve uma alta correlação entre os achados do USP e da TC no que tange a reaeração pulmonar – fator associado diretamente com uma resposta positiva aos agentes antimicrobianos. Aliás, o oposto também foi observado, pois pacientes que apresentaram piora da aeração do parênquima pulmonar (por US e TC) evoluíram com falha do tratamento (27).

Além disso, por avaliar a reaeração pulmonar, o USP pode ser útil como ferramenta complementar para avaliar o recrutamento alveolar com a aplicação de PEEP (pressão positiva no final da expiração) (28).

7. Procedimentos:

O auxílio ultrassonográfico aumenta o sucesso e a segurança das toracocenteses, aumentando seu rendimento e reduzindo a incidência de PTX iatrogênico, mesmo em pacientes em VM com pressão positiva (4–6,10,17,29). Recomenda-se a identificação do derrame com uma espessura de, pelo menos, 15 mm para a realização do procedimento.

Além disso, alguns autores sugerem a utilização de rotina do USP antes de qualquer procedimento invasivo (cateteres, drenagens, biópsias), pois, havendo a presença de deslizamento pleural antes do procedimento, sua abolição após a intervenção é uma forte evidência de PTX iatrogênico (6,20).

8. Outras funções:

O USP também pode ser um método útil na avaliação da função diafragmática, através da avaliação da sua movimentação na inspiração profunda, do volume corrente e do “*sniff test*” (6). Além disso, a movimentação diafragmática pode ser um bom preditor para o sucesso da extubação de pacientes críticos (30), enquanto a drenagem torácica guiada pelo US pode acelerar o desmame da VM (29).

Outra indicação promissora é para a confirmação do adequado posicionamento do tubo endotraqueal através da presença do deslizamento pleural bilateral (31).

Peris e colegas (16) avaliaram a implementação de um protocolo de avaliação de rotina com USP em pacientes admitidos numa unidade de terapia intensiva (UTI),

com a redução do número total de radiografias e tomografias realizadas. Cabe destacar que, apesar da redução de custos, não houve piora nos desfechos da população avaliada.

Limitações:

Como o USP é um método operador-dependente, há a necessidade de treinamento do médico que está “à beira do leito” para ser responsável pelo exame e as intervenções por esse geradas (4,6,10,22). Por ser uma ferramenta recentemente desenvolvida, faltam profissionais habilitados para a sua utilização e ainda não há uma padronização formal sobre os critérios de treinamento e certificação para as diversas especialidades (5,6,10). Uma proposta bastante difundida é a padronização dos exames, facilitando o aprendizado e o acompanhamento clínico (8).

Outra limitação do método, por se tratar de uma avaliação essencialmente dinâmica, é a dificuldade de se documentar e armazenar adequadamente seus achados, permitindo comparações posteriores (6).

Além disso, as características dos pacientes podem limitar a realização do exame (obesidade, curativos, enfisema subcutâneo). Além disso, como a presença de ar é a grande inimiga do ultrassom, anormalidades cercadas por ar não podem ser avaliadas por esse método (6). Felizmente, a maioria das doenças agudas se estende para a periferia pulmonar (4).

Por fim, uma vez optada pela utilização do USP, é essencial manter um rígido protocolo de desinfecção para prevenir a transmissão de infecções (3,5).

Conclusões:

O ultrassom pulmonar é uma técnica em expansão, que pode prover informações acuradas e relevantes para diagnóstico e terapêutica dos pacientes agudamente enfermos. Essa nova ferramenta, que tem o potencial de revolucionar a prática pneumológica, tem sido utilizada por não especialistas de maneira integrada à avaliação clínica e ao exame físico, além de prover dados complementares aos métodos de imagem atualmente disponíveis.

Um exame focado e simples, praticamente dicotômico, permite inferir ou excluir uma diversidade de patologias, orientando a investigação e a monitorização da resposta às intervenções clínicas.

Embora ainda haja necessidade de uma padronização dos critérios de treinamento e certificação, esse é um método rápido, barato e amplamente disponível, e a incorporação dessa nova tecnologia deve tornar-se progressivamente maior.

Referências Bibliográficas:

1. Lichtenstein D. Should lung ultrasonography be more widely used in the assessment of acute respiratory disease? *Expert Rev Resp Med* 2010; 4(5): 533-8.
2. Gargani L. Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. *Cardiovascular Ultrasound* 2011, 9:6.
3. Bouhemad B, Zhang M, Lu Q, et al. Clinical review: bedside lung ultrasound in critical care practice. *Critical Care* 2007, 11(1):205
4. Mayo PH. Ultrasound evaluation of the lung. In: Levitov A, Mayo PH, Slonim AD (Eds). *Critical care ultrasonography*. New York: McGraw-Hill; 2009. p.251-8.
5. Anantham D, Ernst A. Ultrasonography. In: Mason RJ, Broaddus VC, Martin TR, et al (Eds). *Murray and Nadel's textbook of respiratory medicine*, 5th ed. Philadelphia: Saunders - Elsevier; 2010. p.445-60.
6. Koenig SJ, Narasimha M, Mayo PH. Thoracic ultrasonography for the pulmonary specialist. *Chest* 2011;140(5):1332-41.
7. Reissig A, Copetti R, Kroegel C. Current role of emergency ultrasound of the chest. *Crit Care Med* 2011; 39(4):839-45.
8. Tutino L, Cianchi G, Barbani F, et al. Time needed to achieve completeness and accuracy in bedside lung ultrasound reporting in intensive care unit. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2010;18(1): 44.
9. Frassi F, Gargani L, Gligorova S, et al. Clinical and echocardiographic determinants of ultrasound lung comets. *Eur J Echocardiography* 2007;8(6):474-9.
10. Eisen L, Doelken P. Ultrasound evaluation of the pleura. In: Levitov A, Mayo PH, Slonim AD (Eds). *Critical care ultrasonography*. New York: McGraw-Hill; 2009. p.245-50

11. Via G, Lichtenstein D, Mojoli F, *et al.* Whole lung lavage: a unique model for ultrasound assessment of lung aeration changes. *Intensive Care Med* 2010; 36(6):999-1007.
12. Soldati G, Sher S. Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Minerva anestesiol* 2009;75(9):509-17.
13. Diacon AH, Brutsche MH, Soler M. Accuracy of pleural puncture site: a prospective comparison of clinical examination with ultrasound. *Chest* 2003;123(2):436-41.
14. Zanobetti M, Poggioni C, Pini R. Can chest ultrasonography replace standard chest radiography for evaluation of acute dyspnea in the ED? *Chest* 2011; 139(5):1140-7.
15. Balik M, Plasil P, Waldauf P, *et al.* Ultrasound estimation of volume of pleural fluid in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 2006;32(2):318-21.
16. Peris A, Tutino L, Zagli G, *et al.* The use of point-of-care bedside lung ultrasound significantly reduces the number of radiographs and computed tomography scans in critically ill patients. *Anesth Analg* 2010;111(3):687-92.
17. Tu CY, Hsu WH, Hsia TC, *et al.* Pleural effusions in febrile medical ICU patients: chest ultrasound study. *Chest* 2004 126(4):1274-80.
18. Saucier S, Motyka C, Killu K. Ultrasonography versus chest radiography after chest tube removal for the detection of pneumothorax. *AACN Adv Crit Care* 2010; 21(1):34-8.
19. Vezzani A, Brusasco C, Palermo S, *et al.* Ultrasound localization of central vein catheter and detection of postprocedural pneumothorax: an alternative to chest radiography. *Crit Care Med.* 2010; 38(2):533-8.

20. Wilkerson RG, Stone MB. Sensitivity of bedside ultrasound and supine anteroposterior chest radiographs for the identification of pneumothorax after blunt trauma. *Acad Emerg Med.* 2010;17(1):11-7
21. Ding W, Shen Y, Yang J, et al. Diagnosis of pneumothorax by radiography and ultrasonography: a meta-analysis. *Chest.* 2011;140(4):859-66.
22. Noble VE, Murray AF, Capp R, et al. Ultrasound assessment for extravascular lung water in patients undergoing hemodialysis: time course for resolution. *Chest.* 2009;135(6):1433-9
23. Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure. *Chest.* 2008;134(1):117-25.
24. Lichtenstein DA, Mezière GA, Lagoueyte JF, Biderman P, Goldstein I, Gepner A. A-lines and B-lines: lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest.* 2009;136(4):1014-20.
25. Bouhemad B, Liu ZH, Arbelot C, et al. Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reaeration in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med.* 2010;38(1):84-92.
26. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, et al. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med.* 2011;183(3):341-7.
27. Mayo PH, Goltz HR, Tafreshi M, et al. Safety of ultrasound-guided thoracentesis in patients receiving mechanical ventilation. *Chest.* 2004;125(3):1059-62.
28. Kupfer Y, Seneviratne C, Chawla K, et al. Chest tube drainage of transudative pleural effusion hastens liberation from mechanical ventilation. *Chest.* 2011;139(3):519-23. Retraction in: *Chest.* 2012;141(1):284.

29. Jiang JR, Tsai TH, Jerng JS, et al. Ultrasonographic evaluation of liver/spleen movements and extubation outcome. *Chest*. 2004;126(1):179-85.
30. Weaver B, Lyon M, Blaivas M. Confirmation of endotracheal tube placement after intubation using the ultrasound sliding lung sign. *Acad Emerg Med*. 2006; 13(3):239-44.
31. Eisen LA, Leung S, Gallagher AE, et al. Barriers to ultrasound training in critical care medicine fellowships: a survey of program directors. *Crit Care Med*. 2010 38(10):1978-83.

Figura 1: Princípios físicos do ultrassom pulmonar.

Quanto menos aerado o pulmão, mais fácil é a detecção de anormalidades pelo método. Adaptado com permissão de Gargani (2).

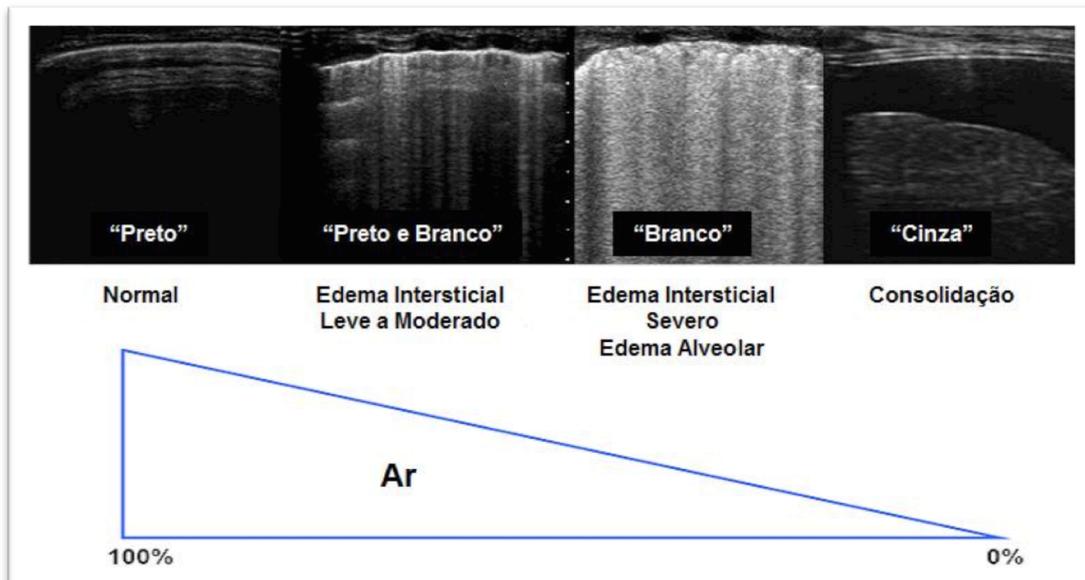


Figura 1: Modos do ultrassom.

Imagem de ultrassom cardíaco no corte subxifóide. Na parte de cima da imagem, modo brilho; na parte de baixo da imagem, modo movimento, no qual a imagem do objeto é acompanhada ao longo do tempo, permitindo avaliar a amplitude de sua movimentação.

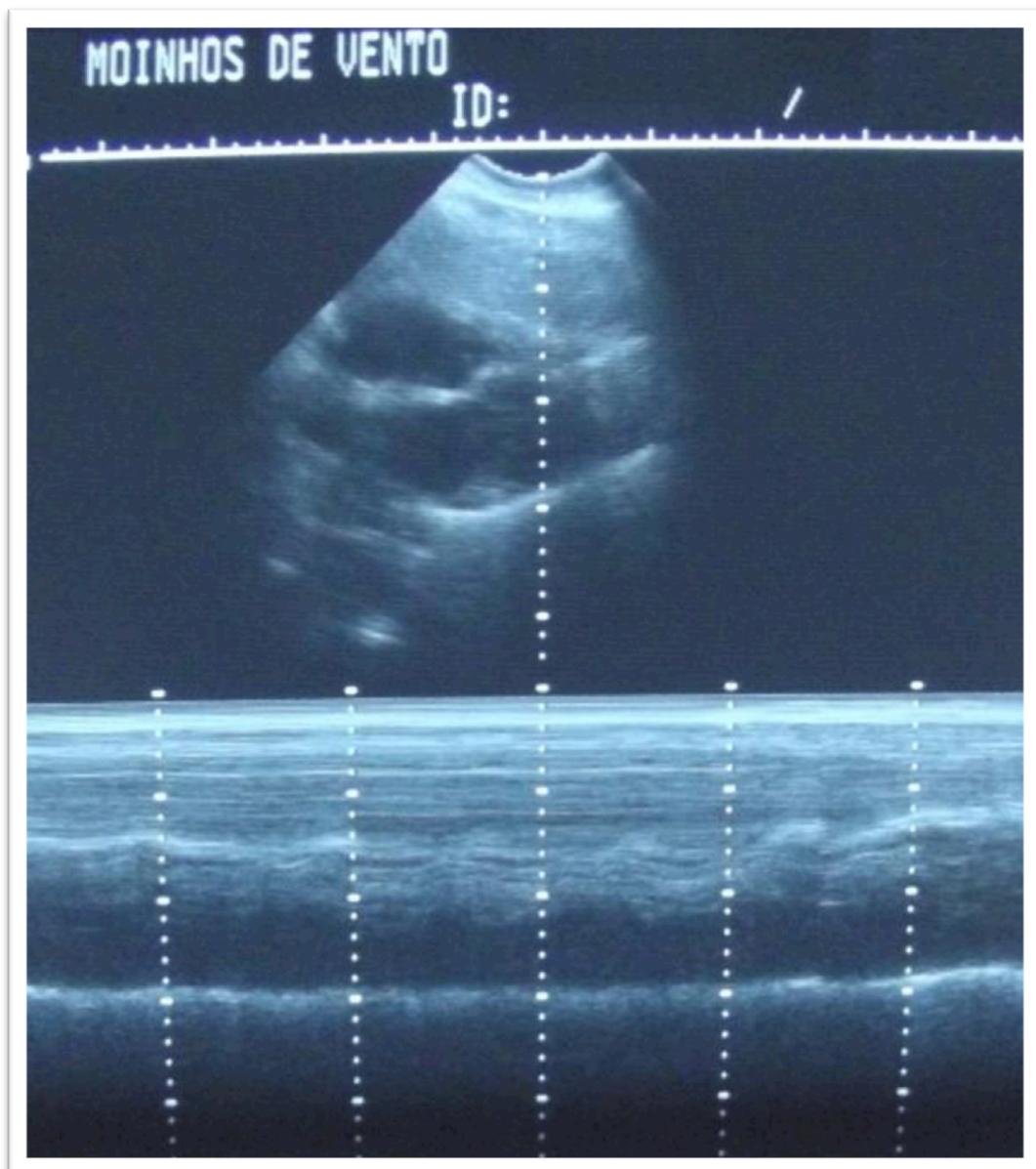


Figura 2: Imagens de ultrassom pulmonar em pulmão normal.

À esquerda, é identificado um espaço intercostal formado por duas costelas adjacentes (imagens escuras indicadas pelas letras C), e a linha pleural (clara, aproximadamente 0,5 cm abaixo do nível das costelas e indicada pela letra P). Além disso, são identificadas as linhas A (horizontais e claras, indicadas pelas letras A). Na figura à direita, a esquematização dos achados.

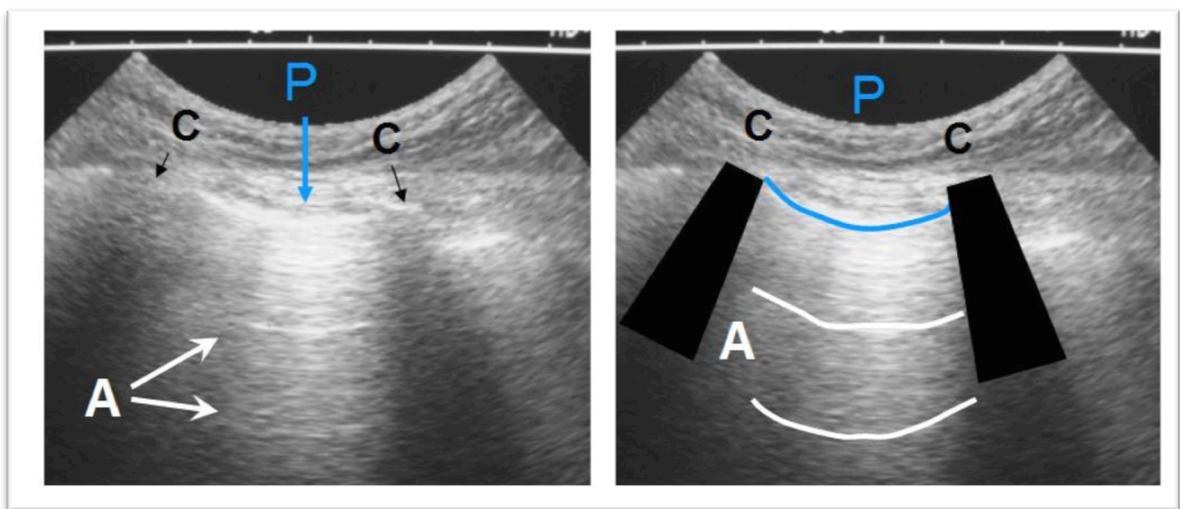


Figura 3: Ultrassom pulmonar em modo movimento.

Um padrão normal é identificado à esquerda (em a), através do sinal da praia (imagem linear superficial), linha pleural (clara, indicada pela seta) e padrão granular homogêneo abaixo, que corresponde ao deslizamento pleural. A composição da imagem (região a + b) identifica o ponto pulmonar (P), além do padrão granular. Na área em b, os achados são lineares, não havendo documentação de deslizamento (sinal da estratosfera). Esses achados simultâneos são 100% específicos para pneumotórax. Adaptado com permissão de Bouhemad et al. (3).

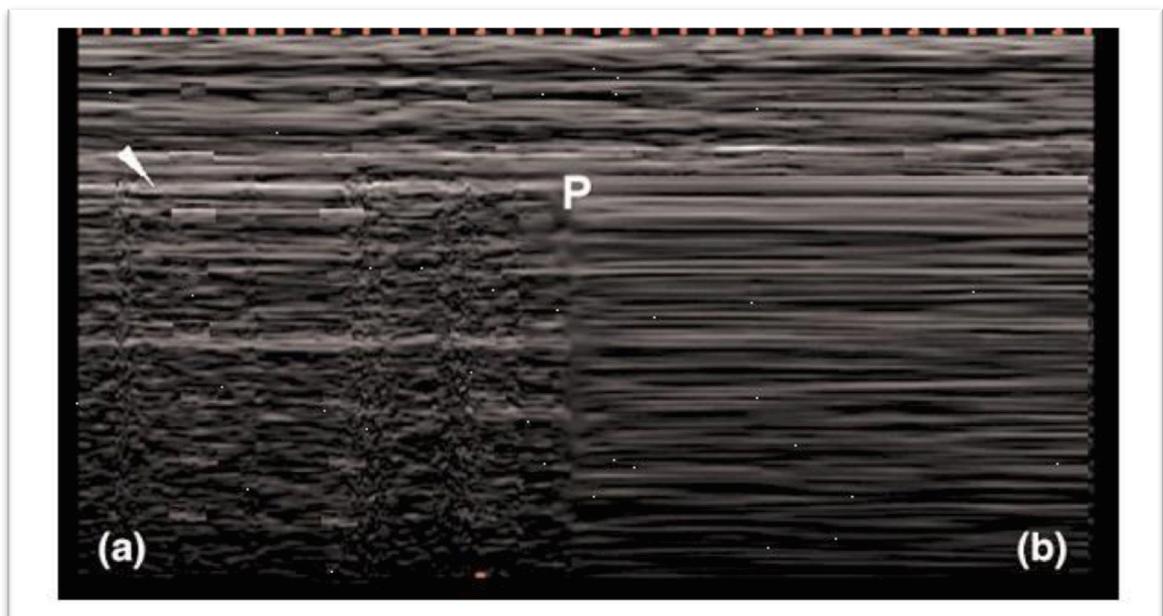


Figura 4: Achados indicativos de derrame pleural.

No quadrado da esquerda o “Sinal do Sinusóide” - avaliação de imagem hipocogênica (escura) com o modo M. Movimentação cíclica do parênquima pulmonar subjacente confirma o achado de derrame pleural. Na direita encontra-se o “Sinal do Quadrado” - imagem quadrangular limitado lateralmente pela sombra acústica posterior das costelas, superior pela de parede torácica, centralmente por imagem anecóica (escura - derrame pleural) e, mais profundamente, imagem hiperecogênica (clara - correspondendo ao parênquima pulmonar). Modificado de Lichtenstein 2010 (1).

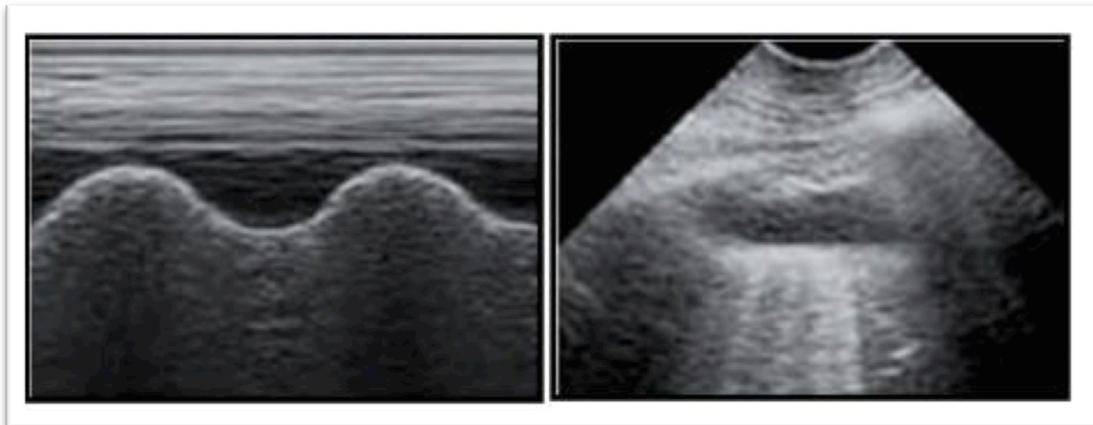


Figura 5: Linhas B no ultrassom pulmonar.

Embora ocorra em indivíduos normais, seu número e intensidade é diretamente proporcional ao grau de edema pulmonar, seja septal ou alveolar. Adaptado de Lichtenstein 2008 (25).

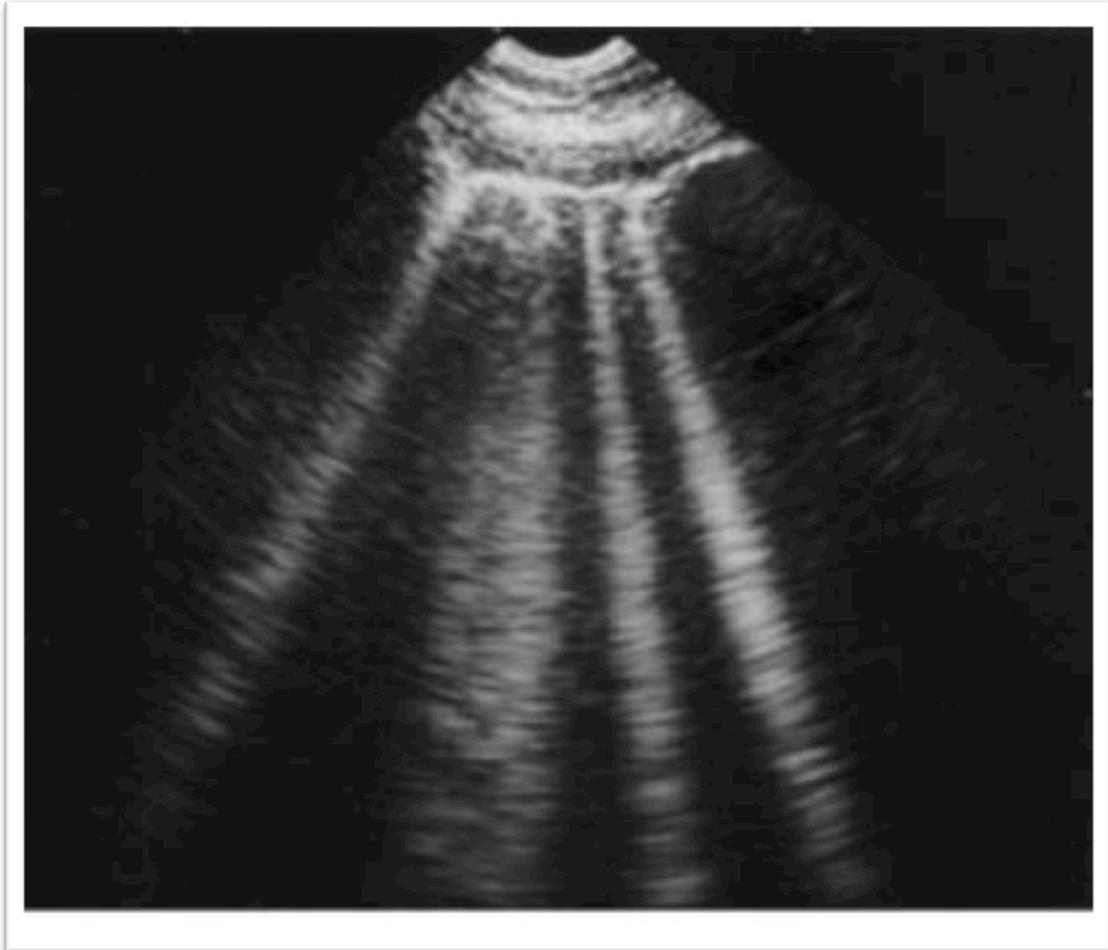


Figura 6: Imagens de ultrassom pulmonar, indicando perda de aeração pulmonar.

À esquerda o “Sinal da Hepatização” - espaço intercostal com presença de parênquima pulmonar hiperecogênico, diafragma (linha curva, clara) sobre órgão sólido e à direita o “Sinal do Retalho” - espaço intercostal com imagem hipocogênica de margens irregulares sobre parênquima pulmonar. Adaptado de Lichtenstein 2010 (1).

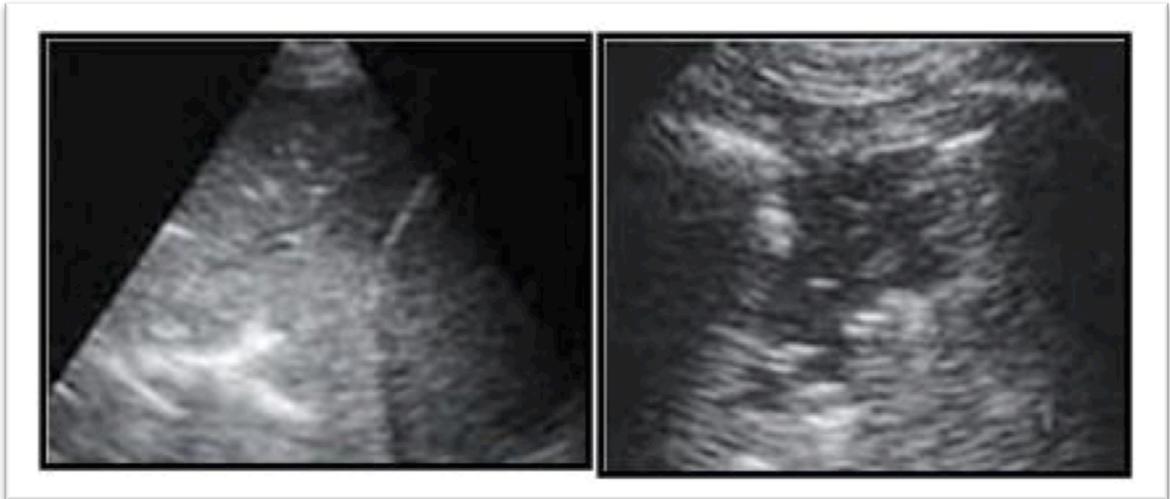


Figura 7: Perfis dos achados do ultrassom pulmonar em pacientes com insuficiência respiratória.

Perfil A é definido pela presença de deslizamento pleural e Linhas A, praticamente descartando congestão, enquanto um perfil B (deslizamento pleural em associação com predomínio de Linhas B) praticamente exclui pneumotórax, broncoespasmo e embolia pulmonar, sugerindo edema pulmonar, por sua vez, um Perfil AB, com assimetria nos achados indica possível pneumonia. Adaptado de Lichtenstein 2008 (25).

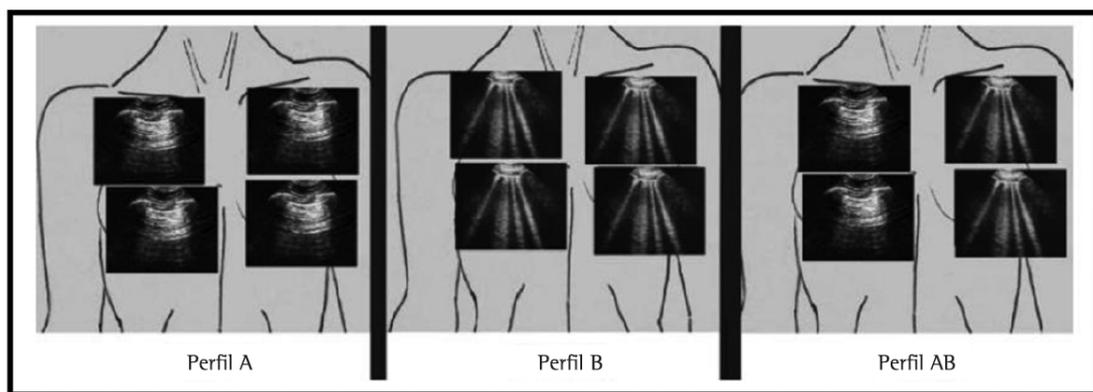


Figura 8: Algoritmo para a avaliação da insuficiência respiratória aguda, conforme os achados do ultrassom pulmonar.

Adaptado de Lichtenstein 2008 (25).

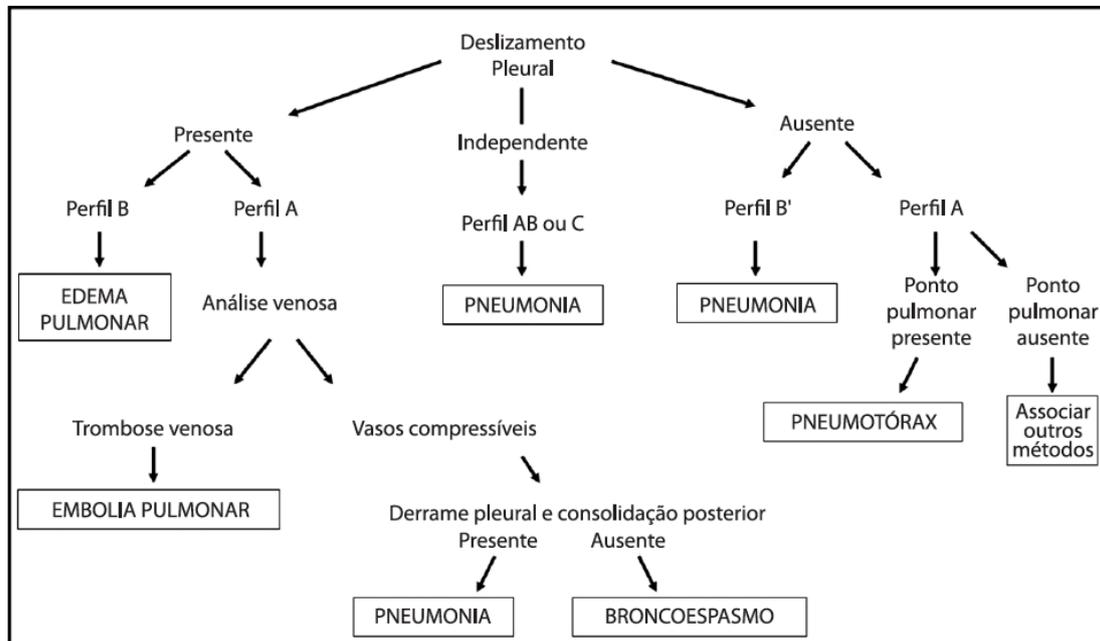


Tabela 1: Vantagens do ultrassom pulmonar na avaliação de pacientes críticos.

Aprendizado fácil
Método rápido, não invasivo e de fácil reprodução.
Portátil – avaliação à beira do leito dispensa a necessidade e risco do transporte do paciente.
Amplamente disponível
Limita a exposição à radiação.
Boa acurácia.
Permite diagnóstico e monitorização da resposta.
Baixo custo.

7 Artigo de validação do método

Diagnostic accuracy of the Bedside Lung Ultrasound in Emergency protocol for the diagnosis of acute respiratory failure in spontaneously breathing patients*.

Felippe Leopoldo Dexheimer Neto ¹, Juliana Mara Stormovski de Andrade ², Ana Carolina Tabajara Raupp ³, Raquel da Silva Townsend ⁴, Fabiana Gabe Beltrami ⁵, Hélène Brisson ⁶, Qin Lu ⁷, Paulo de Tarso Roth Dalcin ⁸.

¹ Doctoral Fellow. Graduate Program in Respiratory Sciences, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

² Intensivist. Intensive Care Unit, Ernesto Dornelles Hospital, Porto Alegre, Brazil.

³ Intensivist. Intensive Care Unit, Ernesto Dornelles Hospital, Porto Alegre, Brazil.

⁴ Intensivist. Intensive Care Unit, Ernesto Dornelles Hospital, Porto Alegre, Brazil.

⁵ Medical Student. Federal Health's Sciences University of Porto Alegre, Porto Alegre, Brazil.

⁶ Hospital Practitioner. Multidisciplinary Intensive Care Unit (Prof. J.J. Rouby), Department of Anesthesiology and Critical Care, Pitié-Salpêtrière Hospital, *Assistance Publique-Hôpitaux de Paris - AP-HP*, Public Assistance-Paris Hospitals - *Université Pierre et Marie Curie - UPMC*, Pierre and Marie Curie University - Paris 6, Paris, France.

⁷ Hospital Practitioner. Multidisciplinary Intensive Care Unit (Prof. J.J. Rouby), Department of Anesthesiology and Critical Care, Pitié-Salpêtrière Hospital, *Assistance Publique-Hôpitaux de Paris - AP-HP*, Public Assistance-Paris Hospitals - *Université Pierre et Marie Curie - UPMC*, Pierre and Marie Curie University - Paris 6, Paris, France.

⁸ Associate Professor. Department of Internal Medicine, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

* Study carried out under the auspice of the Graduate Program in Respiratory Sciences, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil; in the Intensive Care Unit, Ernesto Dornelles Hospital, Porto Alegre, Brazil; and in the Multidisciplinary Intensive Care Unit (Prof. J.J. Rouby), Department of Anesthesiology and Critical Care, Pitié-Salpêtrière Hospital, *Assistance Publique-Hôpitaux de Paris* - AP-HP, Public Assistance-Paris Hospitals - *Université Pierre et Marie Curie* - UPMC, Pierre and Marie Curie University - Paris 6, Paris, France.

Correspondence to: Felipe Leopoldo Dexheimer Neto. Av. Ipiranga, 1801, Azenha, CEP 90880-481, Porto Alegre, RS, Brazil.

Tel. 55 51 3217 2002. E-mail: fldneto@me.com

Financial support: Felipe Leopoldo Dexheimer Neto was supported by grants from the doctoral fellowship program of the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES, Office for the Advancement of Higher Education/Brazilian Ministry of Education - BEX 6869/13-1.

Submitted: 25 July 2014. Accepted, after review: 12 Novembre 2014

J Bras Pneumol. 2015;41(1):58-64

ABSTRACT:

Objective: Bedside lung ultrasound (LUS) is a noninvasive, readily available imaging modality that can complement clinical evaluation. The Bedside Lung Ultrasound in Emergency (BLUE) protocol has demonstrated a high diagnostic accuracy in patients with acute respiratory failure (ARF). Recently, bedside LUS has been added to the medical training program of our intensive care unit (ICU). The aim of the study was to investigate the accuracy of LUS based on the BLUE protocol, performed by physicians who are not ultrasound experts, to guide the diagnosis of ARF.

Methods: Over a one-year period, all spontaneously breathing adult patients consecutively admitted to the ICU for ARF were prospectively included. After training, 4 non-ultrasound experts performed LUS within 20 minutes of patient admission. They were blinded to patient medical history. LUS diagnosis was compared with the final clinical diagnosis made by ICU team before patients were discharged from the ICU (gold standard).

Results: Thirty-seven patients were included in the analysis (mean age, 73.2 ± 14.7 years; APACHE II, 19.2 ± 7.3). LUS diagnosis had a good agreement with the final diagnosis in 84% of patients (overall kappa, 0.81). The most common etiologies for ARF were pneumonia ($n = 17$) and hemodynamic lung edema ($n = 15$). The sensitivity and specificity of LUS as measured against the final diagnosis were, respectively, 88% and 90% for pneumonia, and 86% and 87% for hemodynamic lung edema.

Conclusions: LUS based on the BLUE protocol was reproducible by physicians who are not ultrasound experts and accurate for the diagnosis of pneumonia and hemodynamic lung edema.

Keywords: Ultrasonography interventional; Respiratory insufficiency; Intensive care units.

RESUMO:

Objetivo: O ultrassom pulmonar (USP) à beira do leito é uma técnica de imagem não invasiva e prontamente disponível que pode complementar a avaliação clínica. O protocolo *Bedside Lung Ultrasound in Emergency* (BLUE, ultrassom pulmonar à beira do leito em situações de emergência) demonstrou elevado rendimento diagnóstico em pacientes com insuficiência respiratória aguda (IRpA). Recentemente, um programa de treinamento em USP à beira do leito foi implementado na nossa UTI. O objetivo deste estudo foi avaliar a acurácia do USP baseado no protocolo BLUE, quando realizado por médicos com habilidades básicas em ultrassonografia, para orientar o diagnóstico de IRpA.

Métodos: Ao longo de um ano, todos os pacientes adultos consecutivos respirando espontaneamente admitidos na UTI por IRpA foram prospectivamente incluídos. Após treinamento, 4 operadores com habilidades básicas em ultrassonografia realizaram o USP em até 20 minutos após a admissão na UTI, cegados para a história do paciente. Os diagnósticos do USP foram comparados aos diagnósticos da equipe assistente ao final da internação na UTI (padrão-ouro).

Resultados: Foram incluídos na análise 37 pacientes (média etária: $73,2 \pm 14,7$ anos; APACHE II: $19,2 \pm 7,3$). O diagnóstico do USP demonstrou concordância com o diagnóstico final em 84% dos casos (kappa total: 0,81). As causas mais comuns de IRpA foram pneumonia ($n = 17$) e edema pulmonar cardiogênico ($n = 15$). A sensibilidade e a especificidade do USP comparado ao diagnóstico final foram de 88% e 90% para pneumonia e de 86% e 87% para edema pulmonar cardiogênico, respectivamente.

Conclusões: O USP baseado no protocolo BLUE foi reproduzível por médicos com habilidades básicas em ultrassonografia e acurado para o diagnóstico de pneumonia e de edema pulmonar cardiogênico.

Palavras chaves: Ultrassonografia de intervenção; Insuficiência respiratória; Unidades de terapia intensiva.

Introduction:

Acute respiratory failure (ARF) is a critical condition requiring dynamic evaluation and interventions. Bedside lung ultrasound (LUS) is a noninvasive, readily available imaging modality that can complement physical examination and clinical evaluation (2,3). The main advantage of bedside LUS is its immediate application to the diagnosis of thoracic disorders. Other advantages include delaying or even avoiding the need for patient transportation to the radiology suite or for radiation exposure and guiding life-saving therapies in extreme emergency (2,4–6). The use of LUS by emergency physicians, intensivists, and pneumologists has been reported in many studies (2,5–11).

The appeal for using LUS in ARF patients is evident since LUS can detect lung aeration changes in many life-threatening conditions, such as acute lung edema, acute respiratory distress syndrome, pneumonia, and pneumothorax (5–7,11–15). Recently, Lichtenstein and colleagues proposed a diagnostic algorithm—the Bedside Lung Ultrasound in Emergency (BLUE) protocol—to guide the diagnosis of severe dyspnea (16). The authors showed that the diagnostic accuracy of LUS, as measured against the final diagnosis made by the Intensive Care Unit (ICU) team, was 90.5%. Similarly, Silva et al. demonstrated that the diagnostic accuracy of the LUS approach in ARF was higher than was that of an initial routine evaluation based on clinical, radiological, and biological data (83% vs. 63%, $P < 0.02$) (17).

Since ultrasound is an operator-dependent imaging modality and bedside LUS is a recently developed tool, the reproducibility of findings obtained by physicians who are not ultrasound experts needs further validation. Indeed, the original BLUE protocol was performed by highly qualified ultrasound experts (16). Recently, ultrasound training has been added to the medical training program in our ICU. As we

were concerned about the accuracy of bedside LUS performed by physicians who are not ultrasound experts, we therefore decided to investigate the diagnostic accuracy of the BLUE protocol for ARF.

Methods:

We conducted a prospective study of all spontaneously breathing adult patients consecutively admitted to our 23-bed clinical-surgical ICU for ARF. This research was approved by the institutional ethics committee (Protocol: 112/2011), which waived the requirement for informed consent.

The inclusion criteria were age ≥ 18 years old and admission to the ICU for ARF, defined by one of following: a respiratory rate ≥ 30 breaths/min; a partial pressure of arterial oxygen (PaO_2) ≤ 60 mm Hg; an oxygen saturation on room air $\leq 90\%$, as measured by pulse oximetry; or a carbon dioxide partial pressure (PCO_2) ≥ 45 mm Hg with an arterial pH ≤ 7.35 . The exclusion criteria were having required intubation before admission and/or having multiple diagnosis or a rare (*ie*, frequency $<2\%$) diagnoses, according to the original protocol (16).

Study design and lung ultrasound assessment:

After attending 5 hours of theoretical training and performing 10 supervised LUS examinations, 4 non-ultrasound experts (A.C.T.R., J.M.S.A., R.S.T. and F.L.D.N.) participated in the study. They were blinded to patient medical history and were not involved in diagnostic or therapeutic decisions. All patients were placed in a semi recumbent position and were evaluated with the same curvilinear probe with a range of 3-5 MHz (Toshiba Tosbee®; Toshiba, Tokyo, Japan). As a rule, LUS was performed within 20 minutes of admission, by one non-ultrasound expert. Each

patient underwent a bedside chest X-ray at admission, which was interpreted by a radiologist unblinded to medical history. The initial clinical evaluation and diagnosis were performed by the physicians responsible for patients care. They were blinded to the LUS results but were aware of the chest X-ray results. The final diagnosis of the episode of ARF made by ICU team before patients were discharged from the ICU was considered the gold standard. The main diagnosis, including pneumonia, acute hemodynamic lung edema, obstructive lung disease (*ie*, decompensated chronic obstructive pulmonary disease (COPD) or asthma), and pneumothorax, were evaluated. Patients with multiple diagnosis or rare diseases were excluded from the analysis, as in the original BLUE protocol study (16).

LUS images were recorded for each of six quadrants in each hemithorax (upper and lower parts of anterior, lateral, and posterior chest wall delimited by anterior and posterior axillary lines) (4,16). Each quadrant was classified on the basis of the worst findings into categories according to the predominant profile (A, B or C) in each hemithorax, as previously described (6,16).

The A, B, and C profiles were defined as follows (Figure 1):

- A profile (A-lines): white (hyperechoic) horizontal lines that are static and appear at regular intervals.
- B Profile (B-lines): hyperechoic vertical artifacts that move in synchrony with the respiratory cycle.
- C profile: consolidation image appearing as a tissue structure containing white points consists of lung parenchyma.

To identify normal lung aeration, lung sliding is a key ultrasound finding. It corresponds to the regular movement of the pleural line (described as a shimmering or a bright white line) in regular cycles in synchrony with each respiratory movement.

In accordance with the BLUE protocol (Table 1) (16), a normal profile (bilateral lung sliding with A-lines) should be combined with screening for leg vein thrombosis. Deep venous thrombosis was sought using the same probe. A positive finding was the visualization of anatomic echoic intraluminal thrombosis or the absence of compression of femoral or popliteal veins. If there were signs of leg vein thrombosis, pulmonary embolism was the diagnosis; otherwise, the normal pattern was suggestive of respiratory dysfunction due to obstructive lung disease (i.e. decompensated COPD or asthma) (4,6,16). The absence of lung sliding combined with the presence of A-lines was suggestive of pneumothorax. However, for this diagnosis, it was necessary to identify the lung point (the point where it is possible to identify both normal lung sliding and its absence) (4,6,16). Also, the identification of a normal anterior pattern associated with the presence of pleural effusion and posterior consolidation (A Profile with posterior alveolar syndrome, pleural syndrome, or both) or an anterior or lateral consolidation (C profile) was suggestive of pneumonia (4,16,17).

A B-profile characterized by symmetric bilateral B-lines suggested hemodynamic pulmonary edema (4,10,16). However, B-lines predominance without lung sliding could be also suggestive of pneumonia.

The AB profile was characterized by asymmetric findings between the hemithoraces, suggestive of pulmonary infection as the etiology of ARF.

Statistical analysis:

Categorical variables are expressed as numbers and percentages, and continuous data are expressed as mean \pm standard deviation. The diagnostic performance of LUS as measured against each final diagnosis was assessed by calculation of sensitivity, specificity, and predictive values by using a standard formula. The completeness and accuracy of reporting was assessed with Standards of Reporting of Diagnostic Accuracy checklist (18). In addition, the level of agreement among observers for the ultrasound findings and the final clinical diagnosis was evaluated with the kappa reliability test: kappa values < 0 indicated less than chance agreement; kappa values of 0.01–0.20 indicated slight agreement; kappa values of 0.21–0.40 indicated fair agreement; kappa values of 0.41–0.60 indicated moderate agreement; kappa values of 0.61–0.80 substantial agreement and kappa values of 0.81–0.99 indicated almost perfect agreement (19). McNemar's test was used to compare within-subject diagnostic accuracy between LUS and chest X-ray and between LUS and the initial clinical evaluation. Statistical analysis was performed with IBM-SPSS software, version 16 (IBM Inc., Armonc, NY, USA). All tests were two-tailed, and a p value < 0.05 was considered statistically significant.

Results:

Forty-two consecutive patients admitted to the ICU for ARF between October of 2011 and Novembre of 2012 were enrolled in the study. As previously described, 5 patients with rare diagnosis were excluded from the final analysis (2 patients with pulmonary fibrosis, 1 patient with hypersensitiviy pneumonitis, 1 with leptospirosis, and 1 with abdominal compartment syndrome). The baseline characteristics of the patients are shown in Table 2.

Of the 37 medical patients, 70% were transferred from medical ward. The mean hospital length of stay before ICU admission was 7.9 ± 7.7 days. Noninvasive or in invasive positive-pressure mechanical ventilation was required in 92% of patients (Table 2). The overall observed mortality was 42%.

According to the final diagnosis, the most common etiology of ARF was pneumonia ($n = 17$). Fifteen patients were admitted for hemodynamic lung edema, and 4 admitted for obstructive lung disease. There was only one patient with pulmonary embolism (in this patient, LUS was normal as expected, but it was not possible to identify deep vein thrombosis) and none with pneumothorax. The sensitivity, specificity, and the positive predictive values are shown in Table 3. Pulmonary embolism and pneumothorax were not included because the number of patients with these conditions was insufficient to perform diagnostic performance analysis.

The BLUE protocol diagnosis made at admission by physicians who are not ultrasound experts has a perfect agreement with the final diagnosis in 84% of patients (overall kappa, 0.81). Agreements between the 2 methods were 0.78 and 0.74, for pneumonia and lung edema, respectively.

The diagnostic accuracy of LUS alone was significantly higher than was that of chest X-ray alone (84% vs. 43%; $p = 0.01$). No significant difference was found between LUS and the standard initial clinical evaluation (84% vs. 65%; $p = 0.12$).

Discussion:

The main result of the present study is that bedside LUS performed by physicians who are ultrasound experts allows the correct diagnosis of the most common causes of ARF (pneumonia and hemodynamic lung edema) with good

sensitivity and specificity, as measured against the final diagnosis. The high overall diagnostic accuracy of LUS (84%) and the good agreement (kappa coefficient, 0.81) between LUS and the final diagnosis confirmed the high diagnostic yield of LUS. Indeed, the diagnostic accuracy of LUS was higher than that of chest X-ray.

The primary concern that led us to perform the present study was operator bias, since different operators could interpret ultrasonographic patterns of lung differently. Gaining competence in a skill over time is a well-recognized process, which has also been demonstrated for LUS (20). In the most previous studies, a limited number of investigators who were experts in LUS performed the ultrasound examinations (11,16,17). Lichtenstein et al. reported a sensitivity and a specificity of 97% and 95%, respectively, for hemodynamic lung edema and of 94% and 89%, respectively, for pneumonia (16). In our study, the values obtained by physicians who are not ultrasound experts, although slightly lower (86% and 87%, respectively, for lung edema, and 88% and 90%, respectively, for pneumonia), are close to those reported by expert physicians (11,16). This result indicates that the BLUE protocol is feasible and reproducible.

Recently, Silva et al. compared the accuracy of cardiothoracic ultrasound with that of an initial clinical evaluation, as measured against the final diagnosis made by an expert panel, in 78 patients with ARF (17). The authors found that the ultrasound approach was significantly more accurate than was initial clinical approach (83% vs. 63%, respectively; $p < 0.02$). This finding indicates that the use of LUS data could have significantly improved the initial diagnosis (17). Similarly, it has been shown that therapeutic management can be changed directly as a result of information provided by LUS in up to 47% of mechanically ventilated patients (21). Interestingly, our results show similar accuracy rates, with accuracy being higher for LUS than for

the initial clinical evaluation (84% vs. 65%) (17). However, our study was underpowered to find a significant difference.

In this study, LUS accuracy was significantly higher than was that of chest X-ray (84% vs. 43%; $p = 0.009$). Indeed, bedside LUS has been shown to have superior accuracy when evaluating patients with atelectasis, pneumothorax, pneumonia, or acute respiratory distress syndrome, compared with chest X-ray (3,5,10,15,22).

In an attempt to increase concordance, all patients were evaluated in the same position and with the same probe. There is no recommendation for the duration of LUS training (23–25). In the present study, in order to homogenize the interpretation of LUS findings, we arbitrarily chose a total of 5 hours of theoretical training and 10 supervised ultrasound examinations. With this training method, our operators were able to individually achieve substantial diagnostic agreement (kappa coefficient, 0.81).

Bedside LUS is rapidly becoming integral to evaluation of critically ill patients. However, it is still not widely used in Brazil. Costs are often regarded as major barriers (23). In a study conducted in Italy, the use of bedside LUS was associated with a 26% reduction in the total number of chest X-rays and a 47% reduction in the total number of CT scans (25).

The main limitations of this study are its small sample size and the fact that it was conducted in a single center. Because our results are based mainly on the diagnoses of pneumonia and hemodynamic lung edema, further studies are needed to validate the BLUE protocol in the diagnosis of other causes of ARF. In addition, intra- and inter-operators variabilities were not assessed. Furthermore, as we followed the original BLUE protocol, our study did not incorporate the diagnosis of pleural

effusion as an etiology of ARF, although LUS has great potential in the diagnosis of this pattern (6).

Conclusion:

This study conducted in an ICU in Brazil, has demonstrated that the BLUE protocol is feasible and can be easily implemented in ICU. After a brief training period, physicians are able to diagnose of main causes of ARF with accuracy.

References:

1. Koenig SJ, Narasimhan M, Mayo PH. Thoracic ultrasonography for the pulmonary specialist. *Chest*. 2011;140(5):1332–41.
2. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby J-J. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology*. 2004;100(1):9–15.
3. Bouhemad B, Zhang M, Lu Q, Rouby J-J. Clinical review: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Crit Care*. 2007;11(1):205.
4. Manno E, Navarra M, Faccio L, Motevallian M, Bertolaccini L, Mfochivè A, et al. Deep impact of ultrasound in the intensive care unit: the “ICU-sound” protocol. *Anesthesiology*. 2012;117(4):801–9.
5. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012;38(4):577–91.
6. Bouhemad B, Liu Z-H, Arbelot C, Zhang M, Ferrari F, Le-Guen M, et al. Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reaeration in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med*. 2010;38(1):84–92.
7. Remérand F, Dellamonica J, Mao Z, Ferrari F, Bouhemad B, Jianxin Y, et al. Multiplane ultrasound approach to quantify pleural effusion at the bedside. *Intensive Care Med*. 2010;36(4):656–64.
8. Soummer A, Perbet S, Brisson H, Arbelot C, Constantin J-M, Lu Q, et al. Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress*. *Crit Care Med*. 2012;40(7):2064–72.
9. Dexheimer Neto FL, Dalcin P de TR, Teixeira C, Beltrami FG. Lung ultrasound in critically ill patients: a new diagnostic tool. *J Bras Pneumol*. 2012;38(2):246–56.
10. Chavez MA, Shams N, Ellington LE, Naithani N, Gilman RH, Steinhoff MC, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a systematic review and meta-analysis. *Respir Res*. 2014;15(1):50.
11. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby J-J. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med*. 2011;183(3):341–7.
12. Caltabeloti FP, Monsel A, Arbelot C, Brisson H, Lu Q, Gu W-J, et al. Early fluid loading in acute respiratory distress syndrome with septic shock deteriorates lung aeration without impairing arterial oxygenation: a lung ultrasound observational study. *Crit Care*. 2014;18(3):R91.

13. Baldi G, Gargani L, Abramo A, D'Errico L, Caramella D, Picano E, et al. Lung water assessment by lung ultrasonography in intensive care: a pilot study. *Intensive Care Med.* 2013;39(1):74–84.
14. Ding W, Shen Y, Yang J, He X, Zhang M. Diagnosis of pneumothorax by radiography and ultrasonography: a meta-analysis. *Chest.* 2011;140(4):859–66.
15. Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest.* 2008;134(1):117–25.
16. Silva S, Biendel C, Ruiz J, Olivier M, Bataille B, Geeraerts T, et al. Usefulness of cardiothoracic chest ultrasound in the management of acute respiratory failure in critical care practice. *Chest.* 2013;144(3):859–65.
17. Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, Gatsonis CA, Glasziou PP, Irwig LM, et al. Towards complete and accurate reporting of studies of diagnostic accuracy: the STARD initiative. *BMJ.* 2003;326(7379):41–4.
18. Viera AJ, Garrett JM. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam Med.* 2005;37(5):360–3.
19. Tutino L, Cianchi G, Barbani F, Batacchi S, Cammelli R, Peris A. Time needed to achieve completeness and accuracy in bedside lung ultrasound reporting in intensive care unit. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2010;18:44.
20. Xirouchaki N, Georgopoulos D. Impact of lung ultrasound on clinical decision making in critically ill patients: response to O'Connor et al. *Intensive Care Med.* 2014;40(7):1063.
21. Cortellaro F, Colombo S, Coen D, Duca PG. Lung ultrasound is an accurate diagnostic tool for the diagnosis of pneumonia in the emergency department. *Emerg Med J EMJ.* 2012;29(1):19–23.
22. Bahner DP, Adkins EJ, Hughes D, Barrie M, Boulger CT, Royall NA. Integrated medical school ultrasound: development of an ultrasound vertical curriculum. *Crit Ultrasound J.* 2013;5(1):6.
23. Mosier JM, Malo J, Stolz LA, Bloom JW, Reyes NA, Snyder LS, et al. Critical care ultrasound training: A survey of US fellowship directors. *J Crit Care.* 2014;29(4):645–9.
24. Noble VE, Lamhaut L, Capp R, Bosson N, Liteplo A, Marx J-S, et al. Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers. *BMC Med Educ.* 2009;9:3.
25. Peris A, Tutino L, Zagli G, Batacchi S, Cianchi G, Spina R, et al. The use of point-of-care bedside lung ultrasound significantly reduces the number of radiographs and computed tomography scans in critically ill patients. *Anesth Analg.* settembre de 2010;111(3):687–92.

Acknowledgements:

Dr. Dexheimer Neto was supported by grants from the doctoral fellowship program of CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) / Brazilian Ministry of Education - BEX 6869/13-1.

Dr. Charlotte Arbelot kindly authorized to reproduce images from her personnel database.

Table 1: Lung ultrasound profiles in acute respiratory failure.

Condition	Lung ultrasound finding
Pneumonia	AB profile, or consolidation, or A profile with posterior alveolar syndrome, pleural syndrome, or both
Acute hemodynamic Lung edema	B profile
Obstructive lung disease (<i>ie</i> , decompensated COPD or Asthma)	A profile without DVT
Pneumothorax	A profile with a lung point and no lung sliding
Pulmonary embolism	A profile with DVT

Definition of abbreviations: COPD = Chronic Obstructive Pulmonary Disease:
DVT = Deep Vein Thrombosis.

Table 2: Characteristics of the patients admitted to the ICU for acute respiratory failure (n = 37).^a

Characteristic	Result
Age, years	73.2 ± 14.7
Male gender	16 (43)
BMI	25.7 ± 4.7
APACHE II score	19.2 ± 7.3
Glasgow Coma score	12.7 ± 3.1
pH	7.32 ± 0.13
PaO ₂ /FiO ₂	173.15 ± 108.2
PCO ₂	50.9 ± 48
Previous diseases:	
Cancer	11 (30)
Heart disease	22 (59)
Heart failure	7 (19)
Obstructive lung disease	8 (22)
Neurological disease	7 (19)
Chronic renal failure	4 (11)
Immediate trial of NIV	15 (41)
Success of NIV	6 (16)
Orotracheal intubation at admission (without previous NIV trial)	19 (51)
Spontaneous breathing, n (%)	3 (8)

Definition of abbreviations: BMI = Body Mass Index; APACHE = Acute Physiological and Chronic Health Evaluation; PaO₂ = partial pressure of arterial oxygen; FiO₂ = fraction of inspired oxygen; PCO₂ = carbon dioxide partial pressure; NIV = Non Invasive Ventilation.

^a Data are expressed as mean ± SD or n (%).

Table 3: Diagnostic performance of bedside lung ultrasound for each diagnosis.

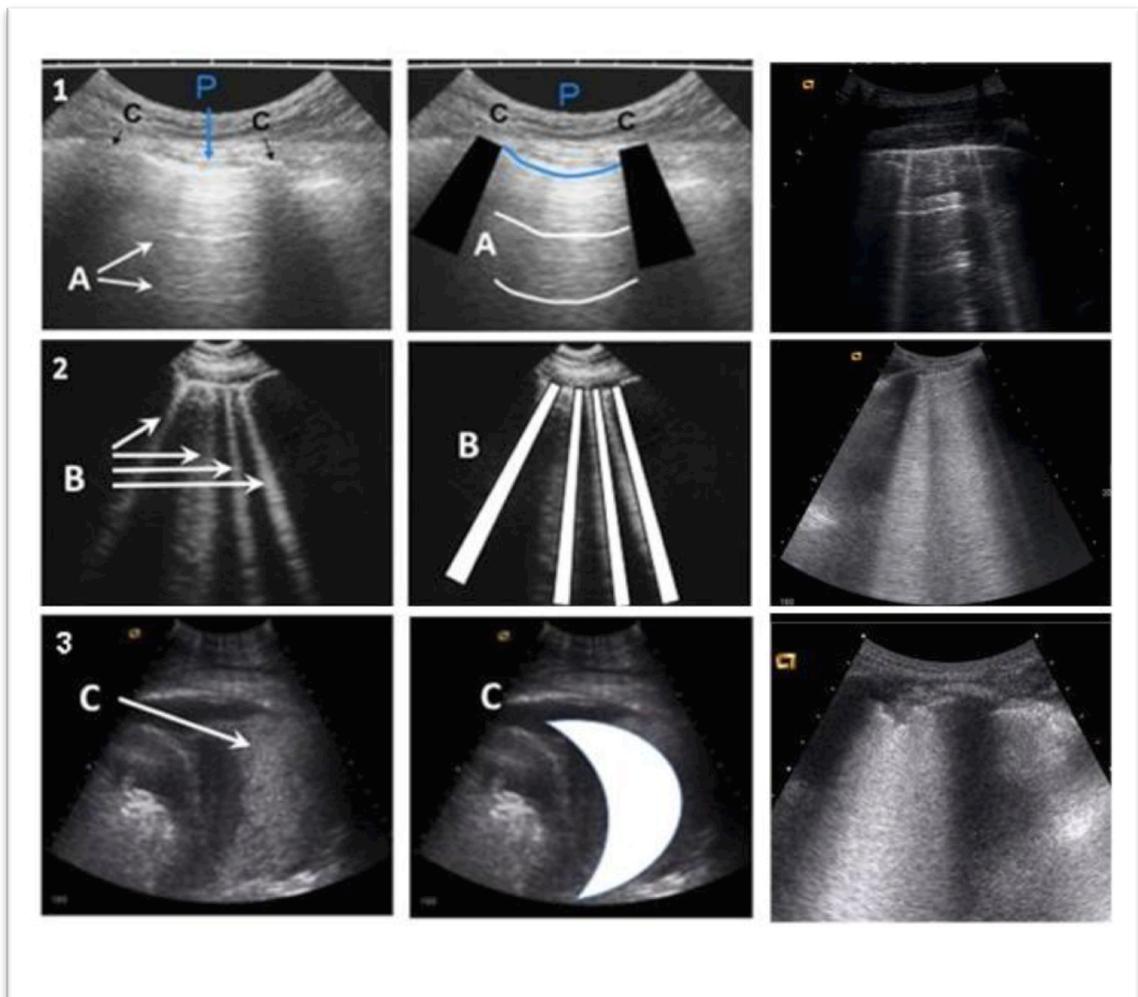
Diagnosis	Sensitivity	Specificity	Positive predictive value	Negative predictive value
Pneumonia, n = 17	88 %	90 %	88%	90 %
Hemodynamic lung edema, n = 15	85 %	87 %	80 %	91%
Obstructive lung disease, n = 4	67 %	100 %	100 %	94%

Figure 1: Lung ultrasound findings (left), their schematic representation (center), and illustrative examples (right).

Adapted from Dexheimer Neto et al (10).

- Panel 1: Normal lung aeration - A profile (A-lines): white (hyperechoic) horizontal lines that are static and appear at regular intervals.
- Panel 2: Partial loss of lung aeration - B Profile (B-lines): hyperechoic vertical artifacts that move in synchrony with the respiratory cycle.
- Panel 3: Total loss of lung aeration - C profile (consolidation): consolidation image appearing as a tissue structure containing white points consists of lung parenchyma.

List of abbreviations: P = pleural line; c = ribs; A = A-lines; B = B-lines; and C = pulmonary consolidation.



8 Artigo Principal

Ultrassom pulmonar auxiliando o desmame da ventilação mecânica em pacientes do desmame difícil: estudo randomizado*.

Felippe Leopoldo Dexheimer Neto ¹, Juliana Mara Stormovski de Andrade ², Ana Carolina Tabajara Raupp ², Raquel da Silva Townsend ², Rafael Viegas Cremonese ², Luciana Tagliari ³, Maria Doroti Sousa da Rosa ³, Mariana Fensterseifer Mattioni ³, Juçara Gasparetto Maccari ³, Cassiano Teixeira ³, Qin Lu ⁴, Jean-Jacques Rouby ⁴, Paulo de Tarso Roth Dalcin ⁵.

¹ Programa de Pós Graduação em Ciências Pneumológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

² Unidade de Terapia Intensiva Adulto do Hospital Ernesto Dornelles, Porto Alegre, Brasil.

³ Centro de Terapia Intensiva Adulto do Hospital Moinhos de Vento, Porto Alegre, Brasil.

⁴ Unidade de Terapia Intensiva Multidisciplinar (Prof. J.J. Rouby), Departamento de Anestesiologia e Terapia Intensiva, Hospital Pitié-Salpêtrière, *Assistance Publique-Hôpitaux de Paris* - AP-HP, Assistência Pública dos Hospitais de Paris - *Université Pierre et Marie Curie* - UPMC, Universidade Pierre e Marie Curie - Paris 6, Paris, França.

⁵ Departamento de Medicina Interna, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

* Estudo desenvolvido no Programa de Pós Graduação em Ciências Pneumológicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil; na Unidade de Terapia Intensiva Adulto do Hospital Ernesto Dornelles, Porto Alegre (RS), Brasil;

no Centro de Terapia Intensiva Adulto do Hospital Moinhos de Vento, Porto Alegre
(RS) Brasil.

RESUMO:

Base Teórica: Desmame difícil da VM - definido por uma falha no TRE ou reintubação - está associado a desfechos desfavoráveis. O USP pode auxiliar nesse cenário, pois permite tratar as causas de falha no desmame.

Objetivo: Avaliar o impacto de um protocolo de intervenções baseadas no USP na duração da VM em pacientes com desmame difícil.

Pacientes e Métodos: Análise preliminar de um ensaio clínico randomizado multicêntrico, avaliando pacientes adultos com desmame difícil. O USP foi realizado diariamente no grupo intervenção, indicando medidas conforme seu resultado: (1) Perfil A - intervenções para aeração pulmonar normal (broncodilatador, anticoagulação ou observar); (2) Perfil B - intervenções para edema pulmonar (diuréticos, ultrafiltração ou vasodilatação); (3) Perfil AB - intervenções de infecção não controlada (antibioticoterapia ou controle de foco); (4) Derrame Pleural - intervenções para sua resolução (diuréticos ou toracocentese). O desfecho primário foi a duração da VM e os secundários foram complicações do desmame.

Resultados: Entre outubro/2012 e dezembro/2013, 42 pacientes foram incluídos. As características de base foram semelhantes, exceto pela maior prevalência da DPOC no grupo controle ($p=0,03$). O USP identificou: Perfil A em 54% da amostra, Perfil B em 32%, Perfil AB em 20% e Derrame Pleural em 12%. O grupo USP utilizou broncodilatadores com maior frequência ($p=0,01$), mas sem diferença em relação às demais intervenções. Quanto aos desfechos, a duração da VM foi semelhante entre o USP e o controle (5,1 vs. 4,8 dias, $p=0,79$), assim como a incidência de complicações.

Conclusão: A presente análise preliminar identificou uma maior utilização de broncodilatadores com a utilização de um protocolo de intervenções baseados no USP para pacientes com desmame difícil. Contudo, sem diferença no tempo de VM.

ABSTRACT:

Rationale: Difficult-weaning - defined by failing the first SBT or being reintubated - is associated with unfavorable outcomes. LUS is very promising in this setting as it allows treating the reasons of weaning failure.

Objective: To evaluate the impact of an interventional protocol based on LUS findings on the length of MV in difficult to wean patients.

Patients and Methods: Preliminary analysis of a randomized multicenter trial, evaluating difficult to wean adult patients. LUS was performed daily in the intervention group and clinical interventions were performed as follows: (1) A Profile - interventions to normal lung aeration (bronchodilator, anticoagulation or observation); (2) B Profile - interventions to pulmonary edema (diuretics, ultrafiltration or vasodilators); AB Profile - interventions to uncontrolled infection (antibiotics and source control); Pleural Effusion - interventions to its resolution (diuretics or pleural drainage). The primary outcome was length of MV and secondary outcomes were complications of weaning.

Results: Between October/2012 and December/2013, 42 patients were included. Baseline characteristics were similar, unless the higher COPD prevalence in control group ($p=0.03$). LUS found A Profile in 54% of patients, B Profile in 32%, AB Profile in 20% and pleural effusion in 12%. LUS protocol indicated bronchodilator therapy more frequently ($p=0.01$), with no difference regarding other interventions. As concern to outcomes, the length of MV was similar between LUS and control (5.1 vs. 4.8 days, $p=0.79$), as were the incidence of complications.

Conclusion: This preliminary analysis indicates a more frequent utilization of bronchodilator therapy with an interventional protocol based on LUS in difficult to wean patients. However, there was no difference in the length of MV.

Introdução:

O processo de desmame da ventilação mecânica (VM) pode representar até 40% do total do período em VM e é definido pela progressiva redução do suporte ventilatório invasivo até a retirada do tubo endotraqueal (1). A extubação é feita após o paciente ser desconectado da VM e ter tolerado, pelo menos, 30 minutos do teste de respiração espontânea (TRE).

Contudo, 30% dos pacientes em VM não toleram o primeiro TRE ou apresentam falha de extubação (2–5). Esse grupo de pacientes é classificado como desmame difícil e possui maior risco de falha em extubações posteriores e de desenvolver complicações associadas à VM. Dentro dessa população, há pacientes que falham em mais de três TRE ou necessitam de mais de 7 dias de desmame, caracterizando o grupo classificado como desmame prolongado e com desfechos ainda piores (4,6).

O ultrassom pulmonar (USP) é um método de avaliação por imagem não invasivo que pode complementar o exame físico e a avaliação clínica (7,8). A técnica do USP baseia-se no fato de que todas as doenças agudas reduzem a aeração dos pulmões, alterando sua superfície e gerando padrões ultrassonográficos previsíveis e distintos (9–11).

O interesse pela utilização do USP em pacientes em desmame da VM torna-se evidente uma vez que o USP monitora e permite tratar as principais doenças que comprometem a aeração pulmonar e que podem ser o motivo da dificuldade no desmame da VM (9,12–18).

Por isso, cogita-se que o USP possa auxiliar o desmame da VM em pacientes com desmame difícil, integrando-se aos cuidados de rotina desses pacientes. Desta forma, desenvolveu-se um ensaio clínico randomizado para avaliar a implementação

de um protocolo clínico de intervenções baseadas nos achados do USP em pacientes com desmame difícil, com o objetivo de avaliar seu impacto sobre o tempo de VM. O presente artigo é uma análise preliminar dos resultados desse estudo.

Métodos:

A proposta do presente ensaio clínico foi a de implementar um protocolo clínico incorporando o USP à rotina de cuidados dos pacientes com desmame difícil. Para a implementação dessa etapa final, foi necessária uma fase de domínio da técnica do USP através da revisão da literatura, elaboração de um referencial teórico, além de treinamento da equipe médica e da validação da técnica (19,20). O presente estudo foi aprovado pelo Comitês de Ética em Pesquisa das instituições participantes (Hospital Ernesto Dornelles - 094/2011 e Hospital Moinhos de Vento - 057/2011), e registrado na plataforma *ClinicalTrials.gov* (NCT01724034).

Os critérios de inclusão no estudo foram: (1) pacientes internados na UTI; (2) idade igual ou superior a 18 anos; (3) VM por pelo menos 48 horas; (4) critérios de desmame difícil - definido por falha prévia em um TRE ou por uma falha de extubação; e (5) obtenção do termo de consentimento livre e esclarecido (apêndice 1). Foram excluídos do estudo os pacientes com qualquer um dos seguintes critérios: (1) definição de cuidados paliativos e/ou de limitações terapêuticas; (2) pacientes em processo de desmame diferente do TRE diário, como pacientes com patologias neurológicas; (3) pacientes com impedimento à realização do USP, como pela presença de curativos, drenos, enfisema subcutâneo ou outros.

Protocolo do estudo:

Os pacientes incluídos foram submetidos à avaliação clínica usual quanto ao momento de se iniciar o desmame da VM. No grupo controle, o desmame seguiu os protocolos institucionais (apêndice 2), enquanto no grupo intervenção o paciente também foi avaliado diariamente com o USP (do momento da randomização até 48 horas após a extubação).

O exame de USP foi realizado por médicos intensivistas seguindo um modelo predeterminado de execução (apêndice 3) e interpretação (apêndice 4). Para tanto, a capacitação da equipe de pesquisa foi padronizada da seguinte maneira: 5 horas de treinamento teórico e 10 exames de USP supervisionados. O USP foi realizado na posição semirrecumbente, com um transdutor curvilinear e avaliou seis quadrantes em cada hemitórax: porções superior e inferior das regiões anterior, lateral e posterior da parede torácica, delimitadas pelas linhas axilares anterior e posterior (21,22).

Quanto à interpretação do USP, para se identificar a aeração pulmonar normal, a visualização do deslizamento pleural é um elemento essencial. Ela corresponde ao movimento intermitente da linha pleural (descrito com uma linha clara cintilante) em ciclos regulares, em sincronia com cada movimento respiratório. Além disso, em regiões pulmonares normalmente aeradas, são identificadas linhas horizontais brancas, em intervalos regulares de profundidade abaixo da linha pleural (chamadas de linhas A). Quando ocorre uma redução da aeração pulmonar, surgem artefatos verticais brancos, originados da linha pleural e que se movem em sincronia com o ciclos respiratórios (chamados de linhas B). E, por fim, quando há perda total da aeração pulmonar, a região pulmonar avaliada apresenta uma textura ultrassonográfica idêntica à dos órgãos sólidos - caracterizando uma consolidação (9,10,21). Cada quadrante pulmonar foi classificado de acordo com o pior achado do

USP e categorizado de acordo com o predomínio de perfil A, de perfil B, de perfil AB (assimetria) ou C (consolidação) em cada hemitórax (9,22) (Figura 1).

Seguindo o protocolo do ensaio clínico, as seguintes intervenções terapêuticas foram indicadas conforme os achados do USP (Figura 2 e apêndice 5):

- Ausência de deslizamento pleural: indicada nova radiografia do tórax para avaliar a posição do tubo endotraqueal e descartar pneumotórax (9,18,23);
- Perfil A: recomendada revisão da indicação clínica do uso e/ou dose de broncodilatadores (22) e avaliação ultrassonográfica para a presença de trombose venosa profunda (teste de compressão das veias femorais e das poplíteas, conforme protocolo de exame previamente validado - apêndice 6) (24) e, se achados negativos, manutenção das medidas já instituídas;
- Perfil B na avaliação anterior do tórax bilateralmente: indica administração de diurético (mínimo 40 mg de furosemida por dia para negativar, pelo menos, 1000 ml no balanço hídrico de 24 horas), aumento da ultrafiltração (com o objetivo de negativar, pelo menos, 1000 ml no balanço hídrico de 24 horas) ou administração de vasodilatadores (reduzir, pelo menos, em 20% a pressão sistólica antes do novo TRE) (14–17);
- Achados assimétricos entre os hemitórax (Padrão AB) ou perfil C: indica avaliação clínica de outros possíveis sinais de falha do tratamento antimicrobiano ou necessidade de controle do foco de infecção (13,22);
- Derrame pleural simples (unilateral ou bilateral): quando a distância entre a parede torácica e pulmão na linha axilar posterior foi maior do que 3 cm, indica administração de diurético (mínimo 40 mg de furosemida por dia para negativar, pelo menos, 1000 ml no balanço hídrico de 24 horas), aumento da ultrafiltração (com o objetivo de negativar, pelo menos, 1000 ml no balanço hídrico de 24

horas), ou toracocentese diagnóstica e/ou de alívio - conforme avaliação da equipe assistencial (29–32);

- Derrame pleural complexo: quando identifica-se a presença de debris, septações e/ou distribuição irregular – derrame pleural em espaços intercostais ipsi-laterais não adjacentes - indica toracocentese diagnóstica, investigação de imagem e/ou avaliação por equipe de cirurgia torácica, conforme avaliação da equipe assistencial (29,33).

Foram coletados dados demográficos referentes ao pacientes, resultados dos exames de USP, intervenções terapêuticas realizadas e evolução clínica ao longo da internação na UTI e no hospital. O desfecho primário do estudo foi tempo para desmame da VM - definido por extubação por um período superior a 48 horas ou pela suspensão da utilização da VM em pacientes traqueostomizados por período superior a 48 horas. Os desfechos secundários avaliaram a proporção de intervenções indicadas pelo USP, a taxa de sucesso no desmame, a incidência de falhas na extubação, de desmame prolongado e de pneumonias associadas à VM e a necessidade de traqueostomia. Além disso foram avaliados a duração da internação e a mortalidade na UTI e no hospital.

Coleta de Dados, Randomização e Análise Estatística:

A coleta de dados foi realizada no Centro de Terapia Intensiva Adulto do Hospital Moinhos de Vento (31 leitos) e na UTI Adulta do Hospital Ernesto Dornelles (22 leitos). Ambos são hospitais privados de Porto Alegre cujas UTIs atendem pacientes clínicos e cirúrgicos.

Baseado em uma coorte prévia de pacientes com desmame difícil, estimou-se a magnitude do efeito em dois dias (34). Para demonstrar essa diferença, deverão ser

acompanhados 64 pacientes consecutivos por grupo, com poder de 80% e erro alfa bidirecional de 5%. Para tanto, os pacientes foram randomizados em 23 blocos de 6 indivíduos conforme a intenção de tratamento. O sorteio da randomização foi realizado de forma centralizada por um pesquisador cegado.

No que tange à análise estatística, as variáveis categóricas foram expressas como números e percentuais, enquanto as variáveis contínuas foram apresentadas como média \pm desvio padrão. Além disso, foi realizada a análise quanto a normalidade da distribuição da amostra através do teste de Shapiro-Wilk ou de Kolmogorov-Smirnov. As variáveis contínuas foram comparadas através do teste t de Student e o teste U de Mann Whitney, enquanto foi utilizado o teste de Qui-quadrado ou teste exato de Fisher para as variáveis dicotômicas. Utilizou-se o método de Kaplan-Meier e o teste de log-rank para avaliar o efeito das intervenções guiadas pelo USP na probabilidade cumulativa de sucesso na extubação. Todos os testes foram bilaterais, e o valor de p inferior a 0,05 foi considerado como estatisticamente significativos. A análise estatística foi realizada utilizando o programa SPSS, versão 16 (IBM Inc., Armonk, NY, EUA).

Resultados:

Durante o período de outubro de 2012 à dezembro de 2013, 139 pacientes preencheram os critérios de desmame difícil. Destes, 46 pacientes (33%) preencheram os critérios de inclusão, sendo que 28 foram randomizados para o grupo intervenção, enquanto 18 foram alocados no grupo controle. Após a randomização, 4 pacientes do grupo intervenção foram excluídos do estudo - conforme descrito na Figura 3. Assim, trata-se de uma análise preliminar de 42 pacientes, que correspondem a 33% da amostra total.

As características de base dos grupos estão descritas na Tabela 1 e o motivo da intubação e VM na Tabela 2. Os grupos foram semelhantes em todas características analisadas, exceto pela maior prevalência da Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) no grupo controle.

No grupo intervenção foram realizados 113 exames de USP, média de $4,7 \pm 2,36$ exames por paciente. Houve perda da oportunidade de realizar o USP diário em 8,8% dos dias de seguimento.

Os achados do exame de USP estão descritos na Tabela 3, enquanto as proporções de intervenções indicadas para auxiliar o desmame da VM estão na Tabela 4. No que tange ao balanço hídrico cumulativo ao final do desmame da VM, a mediana do grupo USP foi de -1862 ± 3872 mL e de 836 ± 3487 mL no grupo controle, com $p = 0,23$.

Destaca-se que em 50% da amostra (12 pacientes) não houve alteração do USP ao longo do acompanhamento e das intervenções, embora 6 desses pacientes apresentassem alterações no USP.

Ao longo do estudo, 35 pacientes foram extubados com sucesso (tempo médio de 5,02 dias, com intervalo de confiança de 95% de 4,14 a 5,9). O desfecho primário do estudo - tempo para desmame da VM - está descrito na Tabela 5, assim como os desfechos secundários, não havendo diferença entre os grupos nessa análise preliminar. De modo semelhante, a análise da curva de sobrevida após a randomização foi equivalente entre os grupos - Figura 4.

Discussão:

O presente artigo apresenta os resultados preliminares de um ensaio clínico randomizado que avalia o impacto de um protocolo de intervenções baseadas no USP com o objetivo de reduzir o tempo em VM de pacientes com desmame difícil. O USP é uma técnica de monitorização da aeração pulmonar recentemente desenvolvida. Vincular essa ferramenta à intervenções clínicas específicas para auxiliar o desmame da VM foi uma iniciativa inédita desse estudo. Contudo - na presente análise - não houve diferença entre os grupos em termos de duração da VM, de sucesso do desmame ou da incidência de complicações associadas à VM.

Pacientes com desmame simples e desmame difícil apresentam desfechos similares (35). No entanto, falhas de extubação estão associadas a maior tempo de internação, maiores custos e maior mortalidade (5,36). Além disso, a transição do desmame difícil para o desmame prolongado também está associada a piores desfechos (35,37). Em uma coorte de 4968 pacientes, a probabilidade ajustada de morte foi constante até o sétimo dia de desmame - quando se caracteriza o desmame prolongado - havendo, então, uma elevação da mortalidade de 7,2% para 12,1% (38). Por isso, a proposta do presente estudo foi a de investigar intervenções que pudessem acelerar a recuperação de pacientes nesse período de transição entre um estágio de probabilidade mais baixa de complicações (desmame difícil) e um estágio mais grave (desmame prolongado) (35,37-39).

Destaca-se a elevada mortalidade da população estudada - 33% durante a internação na UTI, elevando-se para um total de 48% intrahospitalar. Dados internacionais estimam que a população com desmame difícil ou prolongado corresponda a 30% do total dos pacientes em VM e apresente uma mortalidade na

UTI de aproximadamente 25%, ressaltando a gravidade dessa condição e maior consumo de recursos (4,35,37).

Em relação aos achados do USP, foi identificado um padrão de aeração normal - Perfil A - na maioria dos exames (54,5%). O que indicou uma maior utilização de terapêutica broncodilatadora em relação ao grupo controle - visto que a persistência de obstrução dinâmica das vias aéreas seria a possível etiologia para a descompensação ventilatória desses pacientes (22).

Em 32% da amostra, o padrão do USP era compatível com edema pulmonar - Perfil B - contudo não houve diferença quanto à utilização de medidas para o tratamento de tal etiologia - seja através de diuréticos, ultrafiltração ou vasodilatadores.

Sobrecarga hídrica é associada a dificuldades no desmame da VM. Em um estudo que avaliou os fatores associados à falha de extubação em pacientes que haviam tolerado o TRE, um balanço hídrico (BH) positivo nas 24 horas anteriores à extubação esteve associado a uma maior taxa de reintubação (OR 1,7 com IC95% de 1,10 a 2,84) (40). De modo semelhante, Wiedemann et al (41) demonstraram que - em pacientes com a SDRA - a oxigenação pode ser melhorada e o tempo de VM reduzido quando se opta por uma estratégia restritiva de fluidos, mantendo-se um BH negativo.

No presente estudo, visando o tratamento da sobrecarga hídrica, ao final do desmame da VM a mediana do BH do grupo auxiliado pelo USP foi 2,7 litros mais negativa do que no grupo controle, contudo sem diferença estatística (-1862 mL vs. +836 mL, respectivamente com $p = 0,23$). Essa diferença foi semelhante a de um estudo que avaliou a utilização do peptídeo natriurético cerebral (brain natriuretic peptide - BNP), no qual essa estratégia esteve associada a uma redução no tempo para

extubação (42). Apesar da utilização do BNP não ter sido avaliada no presente estudo, a presença de perfil B e o número de linhas B já foram previamente correlacionados a esse marcador (43,44).

A identificação de um padrão AB ou C em 21,5% dos USP era compatível com a hipótese de descompensação infecciosa. Apesar de tal achado, a monitorização através do USP não esteve associada a um maior uso de antibioticoterapia ou à indicação mais frequente de investigação de um novo foco infeccioso. De fato, pneumonia foi o motivo da intubação em 40% dos pacientes do estudo. É importante destacar que o achado de um padrão no USP sugestivo de infecção poderia estar relacionado ao motivo da intubação e não necessariamente a uma nova complicação infecciosa - justificando a semelhança no número de intervenções entre os grupos (0,62 vs. 0,55, $p = 0,97$). Uma potencial utilização do USP é monitorizar a aeração pulmonar para acompanhar o tratamento antimicrobiano. Em um estudo que acompanhou a evolução do USP ao longo do tratamento de pacientes com pneumonia associada à VM, foi possível documentar a melhora da aeração pulmonar e o aumento do volume pulmonar aerado ao final do tratamento (13).

Ainda no que se refere aos achados do USP, destaca-se a prevalência de DP em 33% da amostra ($n = 8$), sendo que em 4% havia sinais de DP complicado. Apesar de não ser um fator avaliado de maneira rotineira no processo de desmame da VM, estudos observacionais descrevem uma incidência de até 60% de DP em pacientes em VM (45). Embora a drenagem DP guiada pelo USP melhore a troca gasosa e possa acelerar o processo de desmame da VM (29), o papel da toracocentese no desmame da VM ainda é considerado controverso (46). Novamente, a utilização do USP não

esteve associada a um aumento no número de intervenções relacionadas à presença de DP (toracocentese e avaliações especializadas).

Dentre as limitações do presente estudo, destaca-se o número amostral reduzido - 33% da amostra estimada inicialmente. Além disso, a maior prevalência da DPOC no grupo controle pode influenciar o tempo para desmame da VM.

Pelas características do estudo, não foi possível realizar o cegamento da equipe para as intervenções, o que pode ter se traduzido na similaridade das terapêuticas entre os dois grupos - visto que a mesma era responsável por todos os pacientes do estudo. Além das intervenções semelhantes, mesmo o uso do USP era permitido para o grupo controle - também um viés do o estudo. Outra potencial limitação é o fato de que a atividade diafragmática não foi avaliada dentro desse protocolo de USP, o que poderia melhor caracterizar pacientes com um componente de fraqueza muscular como etiologia para a dificuldade no desmame (47,48).

Por outro lado, um ponto forte do estudo foi a preocupação em descartar um possível viés de operador, já que diferentes operadores podem interpretar o USP de forma diversa. Por isso, além da padronização do treinamento e do exame, a validação da concordância e do rendimento diagnóstico do USP foi uma etapa essencial para a realização deste ensaio clínico randomizado (20).

Conclusão:

A presente análise preliminar não evidenciou redução no tempo de VM com a utilização de um protocolo de intervenções baseados no USP. Apesar da maior utilização de broncodilatadores no grupo guiado por USP, a distribuição similar das demais intervenções não permitiu avaliar o impacto desse protocolo em outras potenciais causas de falha no desmame.

Referências:

1. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, Epstein SK, Fink JB, Heffner JE, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. *Chest*. 2001;120(6 Suppl):375S – 95S.
2. Esteban A, Alía I, Tobin MJ, Gil A, Gordo F, Vallverdú I, et al. Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;159(2):512–8.
3. Vallverdú I, Calaf N, Subirana M, Net A, Benito S, Mancebo J. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of a two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;158(6):1855–62.
4. Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J*. 2007;29(5):1033–56.
5. Thille AW, Harrois A, Schortgen F, Brun-Buisson C, Brochard L. Outcomes of extubation failure in medical intensive care unit patients. *Crit Care Med*. 2011;39(12):2612–8.
6. Epstein SK. Weaning from ventilatory support. *Curr Opin Crit Care*. 2009;15(1):36–43.
7. Koenig SJ, Narasimhan M, Mayo PH. Thoracic ultrasonography for the pulmonary specialist. *Chest*. 2011;140(5):1332–41.
8. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby J-J. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung

ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology*. 2004;100(1):9–15.

9. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012;38(4):577–91.

10. Lichtenstein D. Should lung ultrasonography be more widely used in the assessment of acute respiratory disease? *Expert Rev Respir Med*. 2010;4(5):533–8.

11. Mayo PH, Levitov A, Slonim A. Ultrasound evaluation of the lung. In: Levitov A, Mayo PH, Slonim AD, editors. *Critical care ultrasonography*. New York: McGraw-Hill; 2009. p.251-8.

12. Manno E, Navarra M, Faccio L, Motevallian M, Bertolaccini L, Mfochivè A, et al. Deep impact of ultrasound in the intensive care unit: the “ICU-sound” protocol. *Anesthesiology*. 2012;117(4):801–9.

13. Bouhemad B, Liu Z-H, Arbelot C, Zhang M, Ferarri F, Le-Guen M, et al. Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reaeration in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med*. 2010;38(1):84–92.

14. Chavez MA, Shams N, Ellington LE, Naithani N, Gilman RH, Steinhoff MC, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a systematic review and meta-analysis. *Respir Res*. 2014;15(1):50.

15. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby J-J. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med*. 2011;183(3):341–7.

16. Caltabeloti FP, Monsel A, Arbelot C, Brisson H, Lu Q, Gu W-J, et al. Early fluid loading in acute respiratory distress syndrome with septic shock deteriorates

lung aeration without impairing arterial oxygenation: a lung ultrasound observational study. *Crit Care*. 2014;18(3):R91.

17. Baldi G, Gargani L, Abramo A, D'Errico L, Caramella D, Picano E, et al. Lung water assessment by lung ultrasonography in intensive care: a pilot study. *Intensive Care Med*. 2013;39(1):74–84.

18. Ding W, Shen Y, Yang J, He X, Zhang M. Diagnosis of pneumothorax by radiography and ultrasonography: a meta-analysis. *Chest*. 2011;140(4):859–66.

19. Dexheimer Neto FL, Dalcin P de TR, Teixeira C, Beltrami FG. Lung ultrasound in critically ill patients: a new diagnostic tool. *J Bras Pneumol*. 2012;38(2):246–56.

20. Dexheimer FL, de Andrade JMS, Raupp ACT, Townsend R da S, Beltrami FG, Brisson H, et al. Diagnostic accuracy of the Bedside Lung Ultrasound in Emergency protocol for the diagnosis of acute respiratory failure in spontaneously breathing patients. *J Bras Pneumol*. 2015;41(1):58–64.

21. Bouhemad B, Zhang M, Lu Q, Rouby J-J. Clinical review: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Crit Care*. 2007;11(1):205.

22. Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. 2008;134(1):117–25.

23. Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding. *Chest*. 1995;108(5):1345–8.

24. Kory PD, Pellecchia CM, Shiloh AL, Mayo PH, DiBello C, Koenig S. Accuracy of ultrasonography performed by critical care physicians for the diagnosis of DVT. *Chest*. 2011;139(3):538–42.

25. Lichtenstein DA, Mezière GA, Lagoueyte J-F, Biderman P, Goldstein I, Gepner A. A-lines and B-lines: lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest*. 2009;136(4):1014–20.
26. Noble VE, Murray AF, Capp R, Sylvia-Reardon MH, Steele DJR, Liteplo A. Ultrasound assessment for extravascular lung water in patients undergoing hemodialysis. Time course for resolution. *Chest*. 2009;135(6):1433–9.
27. Picano E, Frassi F, Agricola E, Gligorova S, Gargani L, Mottola G. Ultrasound lung comets: a clinically useful sign of extravascular lung water. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19(3):356–63.
28. Agricola E, Bove T, Oppizzi M, Marino G, Zangrillo A, Margonato A, et al. “Ultrasound comet-tail images”: a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest*. 2005;127(5):1690–5.
29. Kupfer Y, Seneviratne C, Chawla K, Ramachandran K, Tessler S. Chest tube drainage of transudative pleural effusions hastens liberation from mechanical ventilation. *Chest*. 2011;139(3):519–23.
30. Balik M, Plasil P, Waldauf P, Pazout J, Fric M, Otahal M, et al. Ultrasound estimation of volume of pleural fluid in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med*. 2006;32(2):318–21.
31. Remérand F, Dellamonica J, Mao Z, Ferrari F, Bouhemad B, Jianxin Y, et al. Multiplane ultrasound approach to quantify pleural effusion at the bedside. *Intensive Care Med*. 2010;36(4):656–64.
32. Roch A, Bojan M, Michelet P, Romain F, Bregeon F, Papazian L, et al. Usefulness of ultrasonography in predicting pleural effusions > 500 mL in patients receiving mechanical ventilation. *Chest*. 2005;127(1):224–32.

33. Tu C-Y, Hsu W-H, Hsia T-C, Chen H-J, Tsai K-D, Hung C-W, et al. Pleural effusions in febrile medical ICU patients: chest ultrasound study. *Chest*. 2004;126(4):1274–80.
34. Teixeira C, Maccari JG, Vieira SRR, Oliveira RP, Savi A, Machado AS, et al. Impact of a mechanical ventilation weaning protocol on the extubation failure rate in difficult-to-wean patients. *J Bras Pneumol*. 2012;38(3):364–71.
35. Sellares J, Ferrer M, Cano E, Loureiro H, Valencia M, Torres A. Predictors of prolonged weaning and survival during ventilator weaning in a respiratory ICU. *Intensive Care Med*. 2011;37(5):775–84.
36. Menon N, Joffe AM, Deem S, Yanez ND, Grabinsky A, Dagal AH, et al. Occurrence and complications of tracheal reintubation in critically ill adults. *Respir Care*. 2012;57(10):1555–63.
37. Tonnelier A, Tonnelier J-M, Nowak E, Gut-Gobert C, Prat G, Renault A, et al. Clinical relevance of classification according to weaning difficulty. *Respir Care*. 2011;56(5):583–90.
38. Peñuelas O, Frutos-Vivar F, Fernández C, Anzueto A, Epstein SK, Apezteguía C, et al. Characteristics and outcomes of ventilated patients according to time to liberation from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2011;184(4):430–7.
39. Funk G-C, Anders S, Breyer M-K, Burghuber OC, Edelmann G, Heindl W, et al. Incidence and outcome of weaning from mechanical ventilation according to new categories. *Eur Respir J*. 2010;35(1):88–94.
40. Frutos-Vivar F, Ferguson ND, Esteban A, Epstein SK, Arabi Y, Apezteguía C, et al. Risk factors for extubation failure in patients following a successful spontaneous breathing trial. *Chest*. 2006;130(6):1664–71.

41. National Heart, Lung, and Blood Institute Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Clinical Trials Network, Wiedemann HP, Wheeler AP, Bernard GR, Thompson BT, Hayden D, et al. Comparison of two fluid-management strategies in acute lung injury. *N Engl J Med.* 2006;354(24):2564–75.
42. Mekontso Dessap A, Roche-Campo F, Kouatchet A, Tomicic V, Beduneau G, Sonnevile R, et al. Natriuretic peptide-driven fluid management during ventilator weaning: a randomized controlled trial. *Am J Respir Crit Care Med.* 2012;186(12):1256–63.
43. Gargani L, Frassi F, Soldati G, Tesorio P, Gheorghide M, Picano E. Ultrasound lung comets for the differential diagnosis of acute cardiogenic dyspnoea: a comparison with natriuretic peptides. *Eur J Heart Fail.* 2008;10(1):70–7.
44. Manson WC, Bonz JW, Carmody K, Osborne M, Moore CL. Identification of Sonographic B-lines with Linear Transducer Predicts Elevated B-Type Natriuretic Peptide Level. *West J Emerg Med.* 2011;12(1):102–6.
45. Walden AP, Jones QC, Matsa R, Wise MP. Pleural effusions on the intensive care unit; hidden morbidity with therapeutic potential. *Respirol Carlton Vic.* 2013;18(2):246–54.
46. Goligher EC, Leis JA, Fowler RA, Pinto R, Adhikari NKJ, Ferguson ND. Utility and safety of draining pleural effusions in mechanically ventilated patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2011;15(1):R46.
47. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax.* 2014;69(5):423–7.
48. Peñuelas Ó, Thille AW, Esteban A. Discontinuation of ventilatory support: new solutions to old dilemmas. *Curr Opin Crit Care.* 2015;21(1):74–81.

Figura 1: Achados do ultrassom pulmonar (esquerda), representação esquemática (centro) e exemplos ilustrativos (direita).

P: linha pleural; c: costelas; A: linhas A; B: linhas B; e C: consolidação pulmonar (reproduzido com autorização de Dexheimer Neto et al. (20)).

Painel 1: Aeração pulmonar normal – perfil A (linhas A): linhas horizontais brancas (hiperecogênicas) que são estáticas e aparecem em intervalos regulares.

Painel 2: Perda parcial da aeração pulmonar – perfil B (linhas B): artefatos verticais hiperecogênicos que se movem em sincronia com o ciclo respiratório.

Painel 3: Perda total da aeração pulmonar – perfil C (consolidação): imagem de consolidação que aparece como uma estrutura de tecido contendo pontos brancos constituídos de parênquima pulmonar.

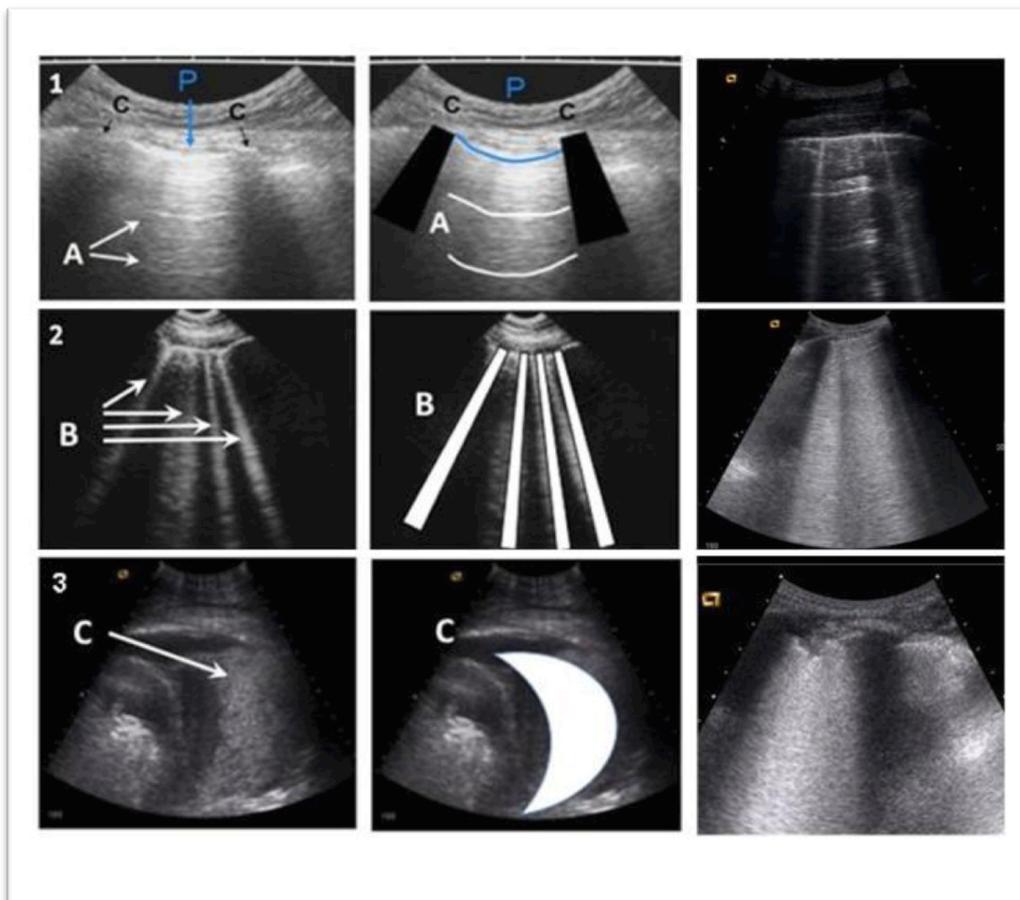


Figura 2: Intervenções terapêuticas indicadas conforme os achados do ultrassom pulmonar.

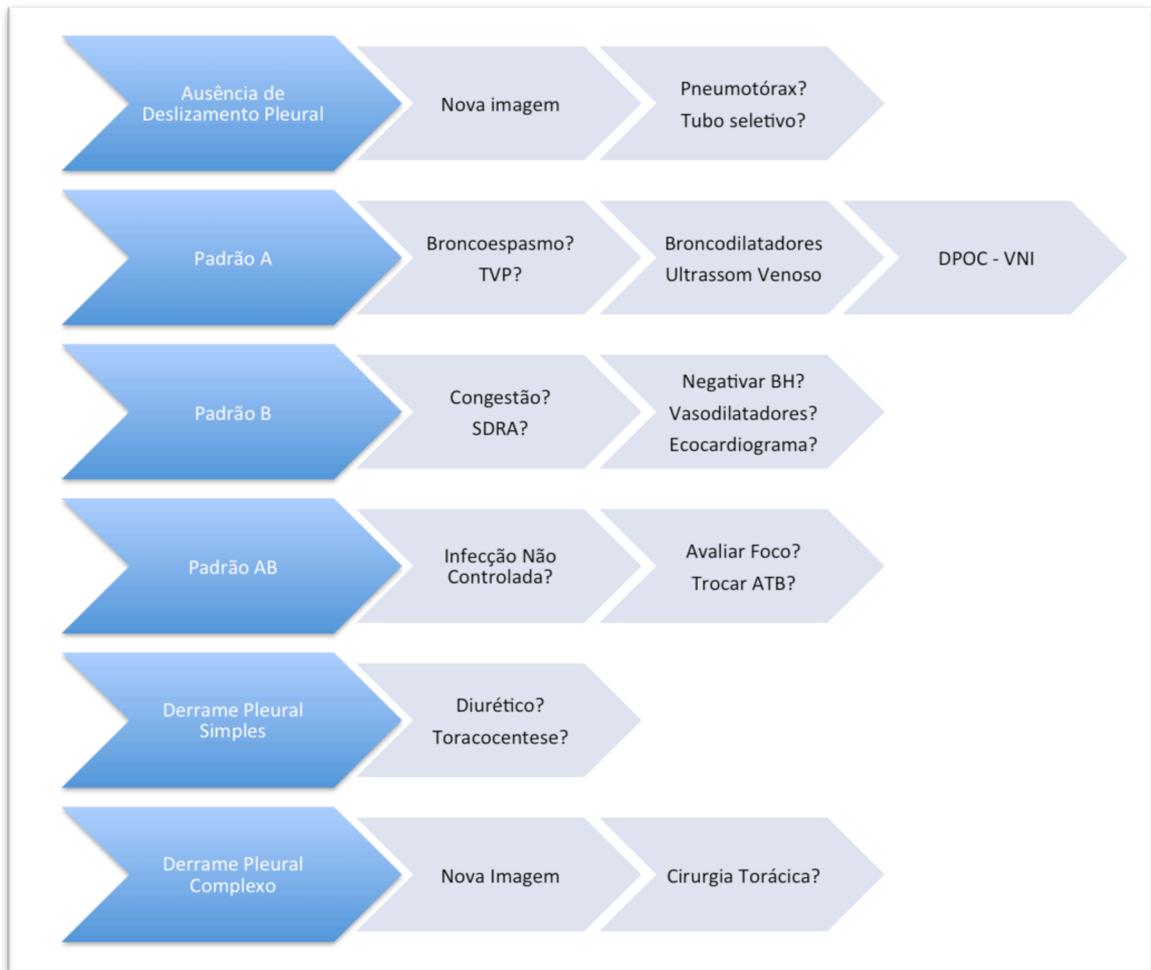


Figura 3: Fluxograma do estudo.

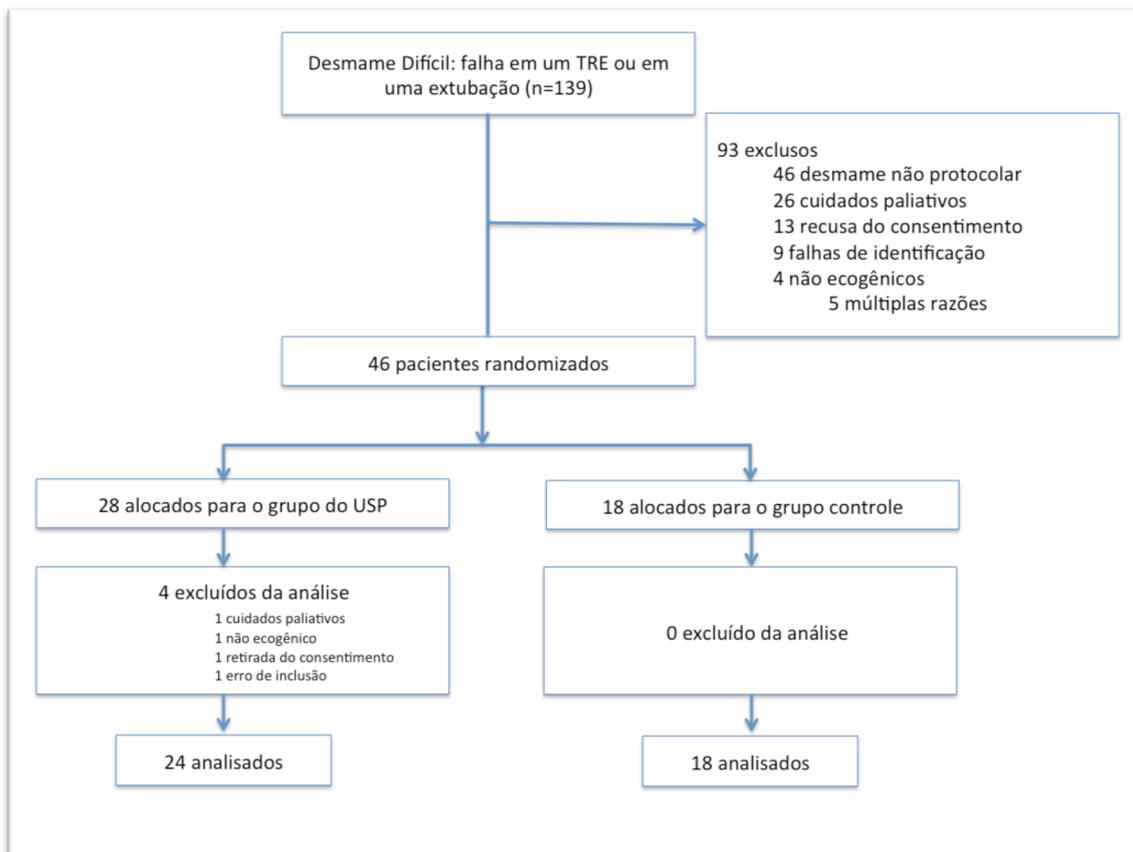


Figura 4: Probabilidade de desmame da VM durante o estudo.

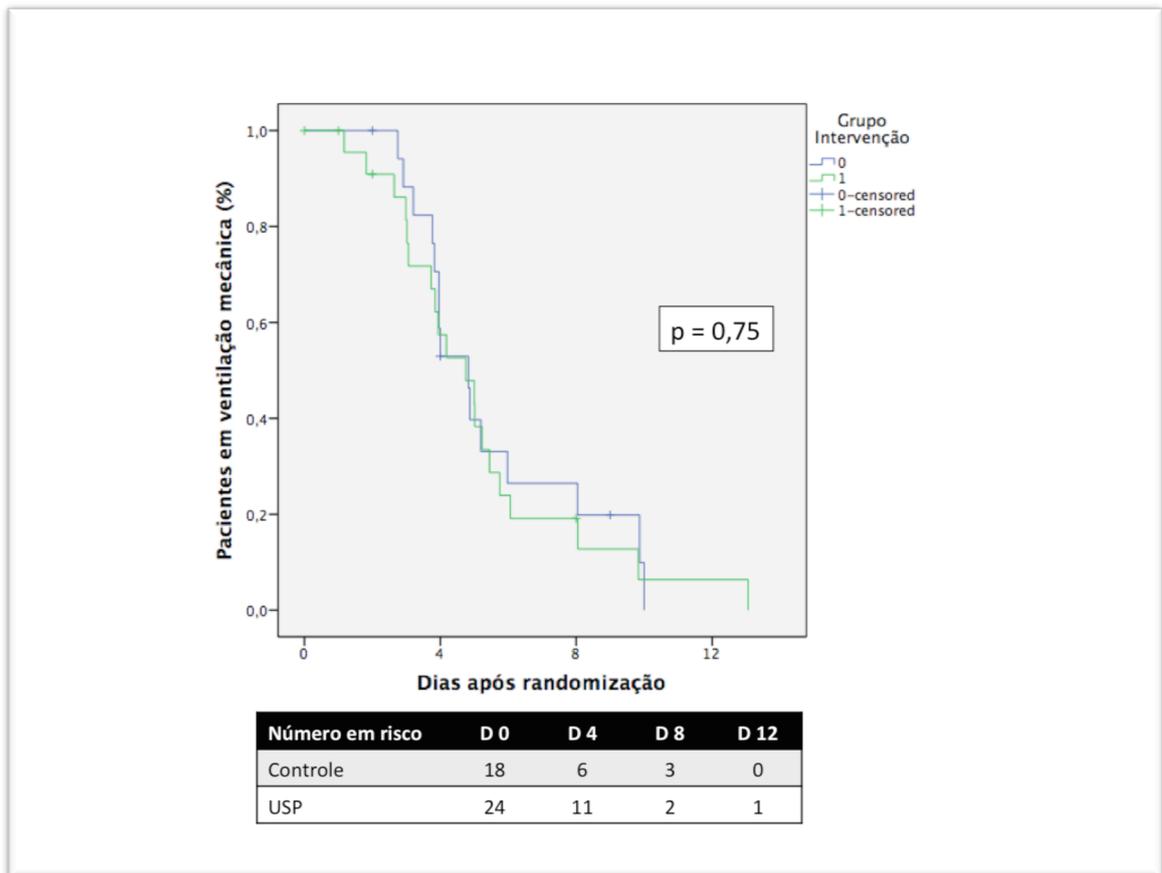


Tabela 1: Características de base.

	Controle n = 18	USP n = 24	p
Idade	74 ± 15,4	72 ± 11	0,57
Masculino	15 (83)	22 (91)	0,63
IMC	24,6 ± 4,1	24,8 ± 3,9	0,85
APACHE II	22,1 ± 6,9	20,6 ± 6,8	0,50
SOFA	6 ± 1,8	6,3 ± 3,3	0,75
Tempo de VM antes da randomização, dias	4,3	4,1	0,82
Tempo de internação na UTI antes da randomização, dias	6,5 ± 7,7	4,8 ± 3,1	0,42
Doenças prévias			
DPOC	8 (44)	3 (12)	0,03
Insuficiência cardíaca	8 (44)	7 (33)	0,34
Insuficiência renal	3 (16)	6 (25)	0,70
Cirrose	1 (5)	0 (0)	0,42
Sequela Neurológica	3 (16)	0 (0)	0,07
Neoplasia	2 (11)	0 (0)	0,17
Motivo da internação na UTI			
Insuficiência respiratória	9 (50)	9 (37)	0,53
Choque hemorrágico	0 (0)	2 (8)	0,49
Choque séptico ou sepse grave	0 (0)	3 (12)	0,24
Síndrome coronariana aguda	2 (11)	2 (8)	1
Descompensação de insuficiência cardíaca	1 (5)	0 (0)	0,42
Parada cardiorrespiratória	0 (0)	1 (4)	1
Alteração aguda do sensorio	1 (5)	3 (12)	0,62
Cirurgia grande porte	3 (16)	3 (12)	1
Trauma	1 (5)	1 (4)	1
Outros	1 (5)	0 (0)	0,42

Os dados são expressos em média \pm desvio padrão ou valor absoluto e (%). USP = ultrassom pulmonar, IMC = índice de massa corpórea, APACHE II= *acute physiology and chronic health disease classification system II*, SOFA = *sequential organ failure assessment* , VM = ventilação mecânica, UTI = unidade de terapia intensiva, DPOC = doença pulmonar obstrutiva crônica.

Tabela 2: Motivo da intubação.

	Controle n = 18	USP n = 24	p
Cirurgia de urgência	3 (16)	1 (4)	0,29
Cirurgia grande porte	2 (11)	0 (0)	0,17
Descompensação de insuficiência cardíaca	4 (22)	2 (8)	0,37
Pneumonia	6 (33)	11 (45)	0,53
Exacerbação da DPOC	1 (5)	0 (0)	0,42
SDRA	0 (0)	1 (4)	1
Sepse extra pulmonar	1 (5)	4 (16)	0,37
Politrauma	1 (5)	1 (4)	1
Parada cardiorrespiratória	0 (0)	1 (4)	1
Alteração aguda do sensório	0 (0)	1 (4)	1
Choque hemorrágico	0 (0)	2 (8)	0,49

Os dados são expressos em valor absoluto e (%). USP = ultrassom pulmonar, DPOC = doença pulmonar obstrutiva crônica, SDRA = síndrome do desconforto respiratório agudo.

Tabela 3: Achados da avaliação do USP.

Achado no USP	Exames de USP n = 113	Grupo Intervenção n = 24
Perfil A, n (%)	56 (54,5)	17 (70)
- Perfil A em todos os dias avaliados	29 (25)	6 (25)
Perfil B, n (%)	34 (32,2)	12 (50)
- Perfil B em todos os dias avaliados	11 (9,7)	4 (16)
Perfil AB, n (%)	23 (20)	11 (45)
- Perfil AB em todos os dias avaliados	7 (6)	2 (8)
Presença de derrame pleural, n (%)	14 (12)	8 (33)
Derrame pleural simples, n (%)	12 (10)	7 (29)
- Derrame pleural Simples e Perfil A	7 (58)	5 (20)
- Derrame pleural simples e Perfil B	4 (33)	4 (16)
- Derrame pleural simples e Perfil AB	1 (8)	1 (4)
Derrame pleural complexo	2 (1)	1 (4)

Os dados são expressos em valor absoluto e (%). USP = ultrassom pulmonar.

Tabela 4: Média de intervenções diárias indicadas para auxiliar o desmame da VM.

Intervenção / dia	Controle n = 18	USP n = 24	p
Novo radiograma do tórax	0,02 ± 0,05	0,05 ± 0,13	0,59
Broncodilatadores	0	0,7 ± 0,14	0,01
Investigação de TVP / TEP	0,03 ± 0,09	0,03 ± 0,06	0,51
Manutenção das medidas	1,39 ± 2,5	2 ± 1,77	0,07
Intervenções orientadas para um perfil de aeração pulmonar normal (Perfil A)	0,17 ± 0,51	0,75 ± 1,25	0,03
Diurético	0,29 ± 0,26	0,27 ± 0,34	0,76
Ultrafiltração	0,11 ± 0,26	0,28 ± 0,39	0,24
Vasodilatação	0,17 ± 0,29	0,06 ± 0,17	0,06
Intervenções orientadas para um perfil de edema pulmonar (Perfil B)	0,59 ± 0,5	0,62 ± 0,51	0,82
Troca de antimicrobiano	0,06 ± 0,09	0,06 ± 0,13	0,61
Investigação de outro foco	0,02 ± 0,08	0,04 ± 0,08	0,32
Intervenções orientadas para um perfil de infecção não controlada (Perfil AB)	0,09 ± 0,15	0,11 ± 0,16	0,95
Toracocentese	0,01 ± 0,03	0,01 ± 0,04	0,86
Avaliação da Cirurgia Torácica	0,02 ± 0,07	0,03 ± 0,13	0,2
Intervenções orientadas para derrame pleural	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,03	0,09

Os dados são expressos em média \pm desvio padrão ou valor absoluto e (%). VM = ventilação mecânica, USP = ultrassom pulmonar, TVP = trombose venosa profunda, TEP = tromboembolismo pulmonar.

Tabela 5: Desfechos do desmame e complicações da VM.

	Controle	USP	p
	n = 18	n = 24	
<i>Desfecho Primário</i>			
Dias em VM após randomização	4,8 ± 2,0	5,1 ± 2,5	0,79
<i>Desfechos Secundários</i>			
Dias de VM	8,99 ± 4,5	9,14 ± 4,37	0,78
Sucesso no Desmame	15 (83)	20 (83)	1
Falha de extubação	3 (16)	4 (16)	1
Traqueostomia	4 (22)	2 (8)	0,37
Desmame prolongado	1 (5)	3 (12)	0,62
Pneumonia	1 (5)	4 (16)	0,62
Duração da internação na UTI	12 ± 104	15 ± 11	0,77
Duração da internação no hospital	16 ± 107	23 ± 32	0,3
Mortalidade na UTI	7 (39)	7 (26)	0,48
Mortalidade no hospital	10 (55)	10 (41)	0,26

Os dados são expressos em média ou mediana ± desvio padrão ou valor absoluto e (%). VM = ventilação mecânica, USP = ultrassom pulmonar, UTI = unidade de terapia intensiva.

9 Conclusões

O presente estudo, pioneiro no ensino e aplicação clínica do USP em nosso país, demonstra que a avaliação de pacientes graves através desse método é viável e que pode ser agregada aos cuidados de nossas UTIs.

Após um breve período de treinamento - médicos não especializados em ultrassonografia demonstraram uma elevada acurácia para o diagnóstico das etiologias mais frequentes de IRpA de maneira rápida e segura para os pacientes.

No que tange à utilização do USP para auxiliar o desmame da VM em pacientes com desmame difícil, a presente análise preliminar não evidenciou redução no tempo de VM com a utilização de um protocolo de intervenções baseados no USP. Apesar da maior utilização de broncodilatadores no grupo guiado por USP, a distribuição similar das demais intervenções não permitiu avaliar o impacto desse protocolo em outras potenciais causas de falha no desmame.

Além disso, o presente estudo destaca a gravidade e a elevada mortalidade dessa população. Ressalta-se, assim, a importância de ferramentas e protocolos voltados a um adequado manejo e uma melhor evolução clínica dos pacientes com desmame difícil da VM.

10 Considerações finais e perspectivas futuras

O USP é uma técnica recentemente desenvolvida que no presente estudo mostrou-se útil para avaliação de pacientes com patologias respiratórias graves, uma vez que permite diagnosticar e monitorar a aeração pulmonar.

Os resultados obtidos até o presente momento, sugerem que a aquisição dessa habilidade é útil em agilizar e qualificar o cuidado dos pacientes com patologias respiratórias. Assim, almeja-se completar a coleta de dados e, futuramente, publicar os resultados obtidos.

Uma vez demonstrada a vantagem da utilização do USP no desmame difícil da VM, o próximo passo será estender esse método a outros centros, assim como a uma gama mais ampla de patologias. Além disso, através da troca de experiências com um centro de referência internacional, nosso grupo firmou uma parceria de pesquisa e de desenvolvimento de projetos com este centro, possibilitando a manutenção desta parceria.

Dada a ampla disponibilidade do método e a perspectiva de melhora da qualidade assistencial com a sua utilização, espera-se um aumento progressivo da utilização do USP. A avaliação e o ensino dessa técnica nas doenças respiratórias é o caminho natural do seguimento dessa investigação.

11 Anexo e apêndices

11.1 Anexo 1: Escore clínico de infecção pulmonar (CPIS).

Variável	Valor	Pontos
Temperatura	$\geq 36,5$ ou $\leq 38,4$	0
	$\geq 38,5$ ou $\leq 38,9$	1
	≥ 39 ou $< 36,5$	2
Leucócitos	≥ 4000 ou ≤ 11000	0
	< 4000 ou > 11000	1
	Formas jovens $\geq 50\%$	Adicionar 1 ponto
Secreção Traqueal	Ausente	0
	Não-purulenta	1
	Purulenta	2
Oxigenação	$PaO_2/FiO_2 > 240$ ou SDRA ($PaO_2/FiO_2 \leq 200$, POAP ≤ 18 mmHg e infiltrado bilateral agudo)	0
	$PaO_2/FiO_2 \leq 240$ e sem ARDS	2
Radiografia Pulmonar	Sem infiltrado	0
	Infiltrado difuso	1
	Infiltrado localizado	2
Progressão Radiológica	Sem progressão	0
	Progressão (após exclusão de insuficiência cardíaca e ARDS)	2
Aspirado Traqueal	Sem crescimento ou raros/poucos patógenos	0
	Patógenos em quantidade moderada a pesada	1
	Mesmo patógeno na coloração de Gram	Adicionar 1 ponto
Total	Escore > 6 é considerado sugestivo de pneumonia	

11.2 Apêndice 1: Termo de consentimento livre e esclarecido.

Título do Estudo: Ultrassom pulmonar auxiliando o desmame da ventilação mecânica em pacientes com desmame difícil: estudo randomizado.

O Senhor (a) está sendo convidado a participar de um projeto de pesquisa. Por favor, leia este documento com bastante atenção antes de assiná-lo. Caso haja alguma palavra ou frase que o senhor (a) não consiga entender, converse com o pesquisador responsável pelo estudo ou com um membro da equipe desta pesquisa para esclarecê-los.

A proposta desse termo é explicar tudo sobre o estudo e solicitar a sua permissão para participar do mesmo.

Caso o paciente não tenha condições de ler e/ou compreender este termo, o mesmo poderá ser assinado e datado por um membro da família ou responsável legal pelo paciente.

Objetivo do Estudo:

Você está sendo convidado a participar de um estudo clínico sobre pacientes internados em Unidades de Terapia Intensiva e em processo de retirada (desmame) da Ventilação Mecânica. Esse estudo é coordenado pelos médicos Dr. Felipe Leopoldo Dexheimer Neto (médico do Hospital Moinhos de Vento e do Hospital Ernesto Dornelles) e Dr. Cassiano Teixeira (médico do Hospital Moinhos de Vento).

O desmame ventilatório é um processo prolongado e comum nas Unidades (Centros) de Terapia Intensiva (UTIs/CTIs). Consiste na retirada gradual do respirador mecânico do paciente, avaliando a cada momento a sua tolerância. Tradicionalmente utilizam-se a avaliação clínica e os testes de respiração espontânea para avaliar a possibilidade de extubação.

Procedimento do Estudo:

O estudo consiste na comparação de dois grupos de pacientes.

Um dos grupos receberá o tratamento rotineiro, enquanto outro será avaliado diariamente com o ultrassom pulmonar. A partir dos achados do exame de ultrassom, serão tomadas medidas na tentativa de melhorar as condições para o desmame da

ventilação mecânica (por exemplo: novos exames/radiografias, uso de diuréticos, avaliação de outros especialistas, entre outros).

Você poderá cancelar sua participação nesta fase do estudo em qualquer momento.

Riscos Potenciais, Efeitos Colaterais e Desconforto:

A sua participação é absolutamente voluntária e anônima. Você não será identificado de forma alguma e as suas informações serão anotadas de forma anônima. Não há riscos adicionais durante a participação no estudo, uma vez que todas as intervenções são realizadas de forma corriqueira em pacientes críticos (por exemplo: novos exames/radiografias, uso de diuréticos, avaliação de outros especialistas, entre outros).

Benefícios para o participante:

Você não terá nenhum benefício direto com a sua participação neste estudo, da mesma maneira que nada mudará no seu cuidado caso você não deseje participar. Entretanto, os resultados deste estudo serão úteis para a melhoria dos cuidados dos pacientes em condições semelhantes a sua e para a qualidade do nosso trabalho na UTI.

Compensação:

Não há despesas pessoais para o participante em qualquer fase do estudo, incluindo exames e consultas. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação. Se existir qualquer despesa adicional, ela será absorvida pelo orçamento da pesquisa.

Participação Voluntária / Desistência do Estudo:

Sua participação neste estudo é totalmente voluntária, ou seja, você somente participa se quiser.

A não participação no estudo não implicará em nenhuma alteração no seu acompanhamento médico tão pouco alterará a relação da equipe médica com o mesmo. Após assinar o consentimento, você terá total liberdade de retirá-lo a

qualquer momento e deixar de participar do estudo se assim o desejar, sem quaisquer prejuízos à continuidade do tratamento e acompanhamento na instituição.

Novas Informações:

Quaisquer novas informações que possam afetar a sua segurança ou influenciar na sua decisão de continuar a participação no estudo serão fornecidas a você por escrito. Se você decidir continuar neste estudo, terá que assinar um novo (revisado) termo de consentimento informado para documentar seu conhecimento sobre novas informações.

Danos Relacionados à Pesquisa:

Não se aplica, visto que o exame de ultrassom é não invasivo e indolor e pelo fato de que as intervenções associadas são consideradas seguras e corriqueiras (por exemplo: novos exames/radiografias, uso de diuréticos, avaliação de outros especialistas, entre outros).

Utilização de Registros Médicos e Confidencialidade:

Todas as informações colhidas e os resultados dos testes serão analisado em caráter estritamente científico, mantendo-se a confidencialidade (segredo) do paciente a todo o momento, ou seja, em nenhum momento os dados que o identifique serão divulgados, a menos que seja exigido por lei.

Os registros médicos que trazem a sua identificação e esse termo de consentimento assinado poderão ser inspecionados por agências reguladoras e pelo Comitê de Ética em Pesquisa.

Os resultados desta pesquisa poderão ser apresentados em reuniões ou publicações, contudo, sua identidade não será revelada nessas apresentações.

Quem Devo Entrar em Contato em Caso de Dúvida:

Em qualquer etapa do estudo você terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. Os responsáveis pelo estudo são Cassiano Teixeira e Felipe Leopoldo Dexheimer Neto, que poderão ser encontrados nas Unidades de Terapia Intensiva ou nos respectivos telefones: (51) 3314 3387 ou (51) 91195508.

Em caso de dúvidas ou preocupações quanto aos seus direitos como participante deste estudo, o (a) senhor (a) pode entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) deste hospital, através do telefone (51) 3314 3690.

Declaração de Consentimento:

Concordo em participar do estudo intitulado “**Ultrassom pulmonar auxiliando o desmame da ventilação mecânica em pacientes com desmame difícil: estudo randomizado**”. Entendo que o médico assistente responsável pelos cuidados do paciente não se opõe à participação neste estudo.

Li e entendi o documento de consentimento e o objetivo do estudo, bem como seus possíveis benefícios e riscos. Tive a oportunidade de perguntar sobre o estudo e todas as minhas dúvidas foram esclarecidas. Entendo que estou livre para decidir não participar desta pesquisa.

Eu autorizo a utilização de meus registros médicos (prontuário médico) pelo pesquisador, autoridades regulatórias e pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da instituição.

Receberei uma via assinada e datada deste documento.

Entendo que ao assinar este documento, não estou abdicando de nenhum dos meus direitos legais.

Eu, _____, CREMERS _____
(Médico Assistente do [a] paciente supracitado [a]), concordo com a participação de meu paciente após a autorização do familiar responsável.

_____	_____
Assinatura	Data
_____	_____
Nome do Voluntário em Letra de Forma	Data
_____	_____
Assinatura do Voluntário	Data

Se o paciente não é capaz de consentir:

A sua assinatura, como responsável pelo paciente, significa que você leu este formulário ou que ele foi lido para você, que lhe foram dadas todas as explicações sobre o estudo, que você recebeu respostas para as suas dúvidas, está satisfeito com as informações que lhe foram dadas e concordou com a participação do paciente no estudo.

_____ não é capaz de dar o seu consentimento.

Nome do Paciente em Letra de Forma

Nome do Responsável em Letra de Forma
paciente

Grau de Parentesco com o

Assinatura do Responsável

Data

Eu, abaixo assinado, expliquei completamente os detalhes relevantes deste estudo ao paciente indicado acima e/ou pessoa autorizada para consentir pelo paciente

Assinatura da Pessoa que Obteve o Consentimento

Data

11.3 Apêndice 2: Protocolo institucional de desmame da VM.

É realizada diariamente a triagem de pacientes em condições de desmame da VM e extubação. Este protocolo deve ser realizado em conjunto com o protocolo de sedação da Unidade de Terapia Intensiva.

Avaliação dos critérios para o desmame:

- Evidência de melhora ou resolução da causa da intubação e normalização dos distúrbios metabólicos;
- Estar ventilando no modo pressão suporte (PSV) com pressão suporte (PS) entre 18 e 5 cmH₂O, PEEP \leq 8 cmH₂O e FiO₂ \leq 0.4, mantendo Frequência Respiratória (FR) \leq 35 mpm, Volume de Ar Corrente (VAC) \geq 5ml/Kg, PaO₂ \geq 60mmHg, Oximetria \geq 90%, PaO₂/FiO₂ $>$ 300 e pH \geq 7,25;
- Estabilidade hemodinâmica - Frequência Cardíaca (FC) $<$ 140bpm; Pressão Arterial Sistólica (PAS) \geq 90mmHg, mesmo que esteja em uso de baixas doses de drogas vasoativas; ausência de arritmias complexas ou angina instável;
- Escala de Ramsay 2-3 (se estiver com sedação) ou escala de Glasgow para avaliação de coma \geq 8;
- Drive ventilatório preservado, assim como reflexo de tosse e vômito; necessidade de aspiração traqueal por períodos $>$ 2h.

A decisão do teste de ventilação espontânea dependerá da discussão em equipe sobre as condições ventilatórias e clínicas do paciente.

Protocolo do Teste de Respiração Espontânea (30 a 120 minutos):

- Atendimento de fisioterapia pré teste;
- Posicionar o paciente em decúbito dorsal com a cabeceira elevada a 45 graus;

- Desconectar o VM do Tubo Orotraqueal / Traqueostomia;
- Aspirar o Tubo Orotraqueal / Traqueostomia e a cavidade oral;
- Inserir no Tubo Orotraqueal / Traqueostomia uma peça T AYRE conectado à fonte de oxigênio com fluxo de 1 até 5 L/min, objetivando manter a Oximetria de Pulso $\geq 90\%$.
- Monitorizar os sinais vitais e o padrão ventilatório por 30 a 120 minutos.

Tolerância ao Teste de Respiração Espontânea:

Será considerada tolerância ao teste, quando o paciente mantiver os seguintes parâmetros: FR ≤ 35 mpm, Oximetria $\geq 90\%$, FC ≤ 140 bpm ou $< 20\%$ do basal, PAS ≥ 90 mmHg e ≤ 180 mmHg, ausência de sudorese, agitação ou alteração do nível de consciência e padrão ventilatório adequado.

Após tolerância ao teste, e reavaliação da equipe, será realizada a extubação traqueal.

Crterios para se interromper o Teste de Respiração Espontânea:

Serão considerados sinais de intolerância: Oximetria de pulso $< 90\%$ com oxigênio suplementar até 5 L/min; FR > 40 mpm; sudorese; agitação ou sonolência excessivas; uso de musculatura acessória; FC > 140 bpm ou elevação $> 20\%$ do basal; e novas arritmias cardíacas.

Caso ocorra intolerância ao Teste de Respiração Espontânea, o paciente deverá voltar para a VM na modalidade PSV, com os ajustes em que o paciente fique confortável (FR < 35 mpm e VAC > 5 ml/kg), e descanse por 24 horas.

Repete-se o teste uma vez ao dia, até que o paciente tolere o teste por 30-120 minutos. Quando houver falha nos testes de respiração espontânea deve-se realizar a

busca de possíveis fatores pulmonares ou extrapulmonares que possam contribuir para a falha do desmame e/ou da extubação. O mecanismo de falha deve ser sempre discutido em equipe.

Sucesso do desmame e/ou da extubação:

O sucesso da extubação se dará após a tolerância de 48 horas em ventilação espontânea com boa condição ventilatória. Caso contrário, havendo necessidade de reintubação, considera-se que houve falha do desmame e/ou da extubação.

Considera-se como falha do desmame quando o paciente não tolerou a retirada do suporte ventilatório (ventilador mecânico), e falha da extubação quando o insucesso foi devido à retirada da prótese ventilatória (TOT).

Utilização de recursos facilitadores do desmame:

Pacientes com alto risco de falha, como os que já falharam uma vez e aqueles com Insuficiência Cardíaca Congestiva (ICC) ou com Doenças Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), podem se beneficiar com a utilização de ventilação mecânica não invasiva (VMNI), imediatamente após a extubação, pelo período mínimo de 8 horas consecutivas, e após este período, intermitentemente, se necessário (discussão em equipe).

11.4 Apêndice 3: Modelo predeterminado do USP.

	Direita		Esquerda	
Paraesternal ou Linha Hemiclavicular Superior	<input type="checkbox"/> Deslizamento Pleural		<input type="checkbox"/> Deslizamento Pleural	<input type="checkbox"/> Pulso Pulmonar
	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B
Paraesternal ou Linha Hemiclavicular Inferior	<input type="checkbox"/> Deslizamento Pleural		<input type="checkbox"/> Deslizamento Pleural	<input type="checkbox"/> Pulso Pulmonar
	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B
Axilar anterior ou Axilar média Superior	<input type="checkbox"/> Deslizamento Pleural		<input type="checkbox"/> Deslizamento Pleural	<input type="checkbox"/> Pulso Pulmonar
	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B
Axilar anterior ou Axilar média Inferior	<input type="checkbox"/> Deslizamento Pleural		<input type="checkbox"/> Deslizamento Pleural	<input type="checkbox"/> Pulso Pulmonar
	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B
	<input type="checkbox"/> Derrame > 3 cm		<input type="checkbox"/> Derrame > 3 cm	
Posterior Superior	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B
	<input type="checkbox"/> Derrame → <input type="checkbox"/> > 3 cm <input type="checkbox"/> > 5 cm		<input type="checkbox"/> Derrame → <input type="checkbox"/> > 3 cm <input type="checkbox"/> > 5 cm	
Posterior Inferior	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B	<input type="checkbox"/> Padrão A	<input type="checkbox"/> Padrão B
	<input type="checkbox"/> Derrame → <input type="checkbox"/> > 3 cm <input type="checkbox"/> > 5 cm		<input type="checkbox"/> Derrame → <input type="checkbox"/> > 3 cm <input type="checkbox"/> > 5 cm	
Padrão Final (4/6)	<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B	
Derrame Pleural	<input type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Complexo		<input type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Complexo	
Operador:				
Aparelho / Transdutor:				

Achados	Intervenções		
Ausência de Deslizamento Pleural ou Pulso Pulmonar	<input type="checkbox"/> Rx	<input type="checkbox"/> Posição TOT	<input type="checkbox"/> PTX
A	<input type="checkbox"/> Broncoespasmo	<input type="checkbox"/> TVP / TEP	<input type="checkbox"/> Mantida
B	<input type="checkbox"/> Furosemida	<input type="checkbox"/> Ultrafiltrar	<input type="checkbox"/> Vasodilatador
AB	<input type="checkbox"/> Infecção não-controlada	<input type="checkbox"/> Troca ATB	<input type="checkbox"/> Avaliar foco
DP Simples	<input type="checkbox"/> Furosemida	<input type="checkbox"/> Toracocentese	
DP Complexo	<input type="checkbox"/> Imagem	<input type="checkbox"/> Avaliação da Cirurgia Torácica	

11.5 Apêndice 4: Modelo predeterminado de interpretação do USP.

Avaliação dicotômica, operador dependente:

1. Deslizamento pleural:
 - a. Evidência de deslizamento pleural, cintilância da linha pleural acompanhando ciclo ventilatório;
 - b. Pneumotórax excluído se “Deslizamento Pleural” presente ou haver presença de linhas B;
2. Padrão A:
 - a. Detecção de predomínio de Linhas A (artefatos ecogênicos paralelos à linha pleural, ocorrendo de maneira equidistante entre si) ou menos de que três linhas B nos espaços intercostais avaliados;
3. Padrão B:
 - a. Presença de três ou mais linhas B (linhas ecogênicas transversais à linha pleural) em, pelo menos, dois espaços intercostais adjacentes nas linhas anteriores do tórax (axilar anterior, hemiclavicular ou paraesternal);
4. Padrão final:
 - a. Avaliar a predominância em cada hemitórax (concordância entre 3-4 pontos/6);
 - b. Padrão A, B e AB.
5. Derrame pleural:
 - a. Definição: imagem anecóica, presente nas regiões dependentes dos hemitórax, confirmada após identificação do pulmão, diafragma, e órgãos sólidos (fígado ou baço, conforme sintopia);

- b. Mensuração: mensuração da distância da parede torácica ou diafragma até o parênquima pulmonar (utilizar a maior distância).
6. Derrame pleural complexo:
- a. Definição: imagem anecóica presente nas regiões não dependentes dos hemitórax ou identificada em espaços intercostais ipsi-laterais não-adjacentes, ou presença de imagem ecogênica (debris) ou de septações.

11.6 Apêndice 5: Modelo predeterminado de intervenções pelo USP.

1. Ausência de Deslizamento Pleural ou de Pulso Pulmonar:
 - Revisar posicionamento do tubo orotraqueal – radiograma de tórax;
 - Descartar pneumotórax – radiograma de tórax;
2. Padrão A (predomínio):
 - Revisar medidas para broncoespasmo, se indicação clínica;
 - Avaliar Trombose Venosa Profunda – teste de compressão das veias femorais comuns, femorais superficiais e poplíteas;
 - Seguir desmame conforme protocolo institucional;
3. Padrão B (predomínio) - manejo de congestão, conforme avaliação clínica:
 - Administrar diurético – mínimo 40 mg de furosemida em 24 horas, com o objetivo de negativar o balanço hídrico de 24 horas em, pelo menos, 1000 ml;
 - Aumentar a ultrafiltração, com o objetivo de negativar o balanço hídrico de 24 horas em, pelo menos, 1000 ml;
 - Administrar vasodilatadores – manter uma redução mínima de 20% da pressão sistólica até novo TRE;
4. Padrão AB:
 - Avaliar a presença de outros sinais de falha no tratamento antimicrobiano – discutir troca de antimicrobiano ou controle do foco;
5. Derrame pleural maior do que 3 cm, abordagem conforme avaliação clínica:
 - Administrar diurético – mínimo 40 mg de furosemida em 24 horas, com o objetivo de negativar o balanço hídrico de 24 horas em, pelo menos, 1000 ml;

- Aumentar a ultrafiltração, com o objetivo de negativar o balanço hídrico de 24 horas em, pelo menos, 1000 ml;
 - Toracocentese diagnóstica e/ou de alívio;
6. Derrame pleural complexo (debris, septações ou posição anômala), conforme avaliação da equipe assistencial:
- Toracocentese diagnóstica e/ou de alívio;
 - Investigação de imagem;
 - Avaliação por equipe de cirurgia torácica.

11.7 Apêndice 6: Protocolo de avaliação para TVP.

Realizar o exame ultrassonográfico dos membros inferiores conforme protocolo previamente validado (58):

- a) Identificação das veias femorais comuns e teste da compressão em três pontos distintos, comparando os achados entre os lados;
- b) Identificação das veias poplíteas e teste da compressão em dois pontos distintos, comparando os achados entre os lados;

Caso os achados sejam simétricos e a compressão bilateral seja obtida:

- c) Teste da compressão bilateral das veias femorais superficiais, com intervalos de 2 cm, entre as veias femorais comuns e as veias poplíteas.