

Monitoração da Mecânica Ventilatória Durante Suporte Ventilatório Mecânico Parte I

Adriana Ferreira de Carvalho (*), Ailton Stingelin Crespo (**)

RESUMO

Além do acompanhamento da troca gasosa, a avaliação do paciente em assistência respiratória compreende um largo espectro de índices e valores que vão desde a observação clínica, até dados de mecânica ventilatória, objeto desta revisão.

A obtenção de medidas intermitentes ou contínuas permite caracterizar alterações evolutivas, detectar precocemente as complicações resultantes do suporte ventilatório, definir a resolução ou progressão da doença e o resultado das manobras terapêuticas no curso da insuficiência respiratória, sendo um complemento à assistência clínica rotineira. A mais simples e valiosa monitoração do paciente consiste na observação criteriosa por pessoal qualificado. Os exames físico e radiográfico continuam a ser de suma importância na avaliação do paciente submetido a suporte ventilatório mecânico, e as novas técnicas de monitoração da mecânica respiratória, mais sofisticadas tecnicamente, devem complementar estes métodos básicos de avaliação.

ABSTRACT

Beside the follow-up of the gas exchange, the evaluation of the patient in mechanical ventilatory support includes a large spectrum of indexes and values, from clinical monitoring to ventilatory mechanics data, the scope of this publication.

The achievement of intermmitent or continuous measures allows the characterization of evolutive changes, to detect early complications from the mechanical ventilatory support, to define the cure or progression of the process and the result of therapeutical measures in the course of respiratory failure, being a complementary tool in the routine clinical management. The simpliest and valious monitoring of the patient consists in criterious observation from qualified professionals. The physical examination and laboratory data continues to be of main importance in the evaluation of the patient, and, the new technics of monitoring the respiratory mechanics, technically more sofisticated nowadays, complement these basic methods of evaluation.

Palavras-chaves: Suporte ventilatório mecânico, mecânica ventilatória, síndrome de angústia respiratória aguda, SARA, resistência, complacência estática, complacência dinâmica, pressão positiva expiratória terminal, PEEP, trabalho respiratório.

Key-words: Mechanical ventilatory support, respiratory mechanics, acute respiratory distress syndrome, ARDS, airway resistance, static compliance, dynamic compliance, positive end-expiratory pressure, PEEP, work of breathing.

Pulmão RJ 1998; 7 (3): 207-216

* Médica do Setor de Assistência Respiratória do Hospital Pr6-Cardíaco

** Responsável pelo Setor de Assistência Respiratória do Hospital Pr6-Cardíaco

Artigo recebido para publicação no dia 18/04/1998 e aceito após revisão no dia 10/06/1998, após revisão.

Introdução

Além do acompanhamento da troca gasosa, a avaliação do paciente em assistência respiratória compreende um largo espectro de índices e valores, que vão desde a observação clínica até dados de mecânica ventilatória, objeto desta revisão.

A monitoração da mecânica ventilatória no paciente com insuficiência respiratória pode ser definida como o inter-relacionamento das capacidades e volumes pulmonares com as pressões obtidas. A obtenção de medidas intermitentes ou contínuas permite caracterizar alterações evolutivas, detectar precocemente as complicações resultantes do suporte ventilatório, definir a resolução ou progressão da doença e o resultado das manobras terapêuticas no curso da insuficiência respiratória, sendo um complemento à assistência clínica rotineira. A mais simples e valiosa monitoração do paciente consiste na observação criteriosa por pessoal qualificado. Os exames físico e radiográfico continuam a ser de suma importância na avaliação do paciente submetido a suporte ventilatório mecânico, e as novas técnicas de monitoração da mecânica respiratória, mais sofisticadas tecnicamente, devem complementar estes métodos básicos de avaliação (1).

Volumes e Capacidades Pulmonares

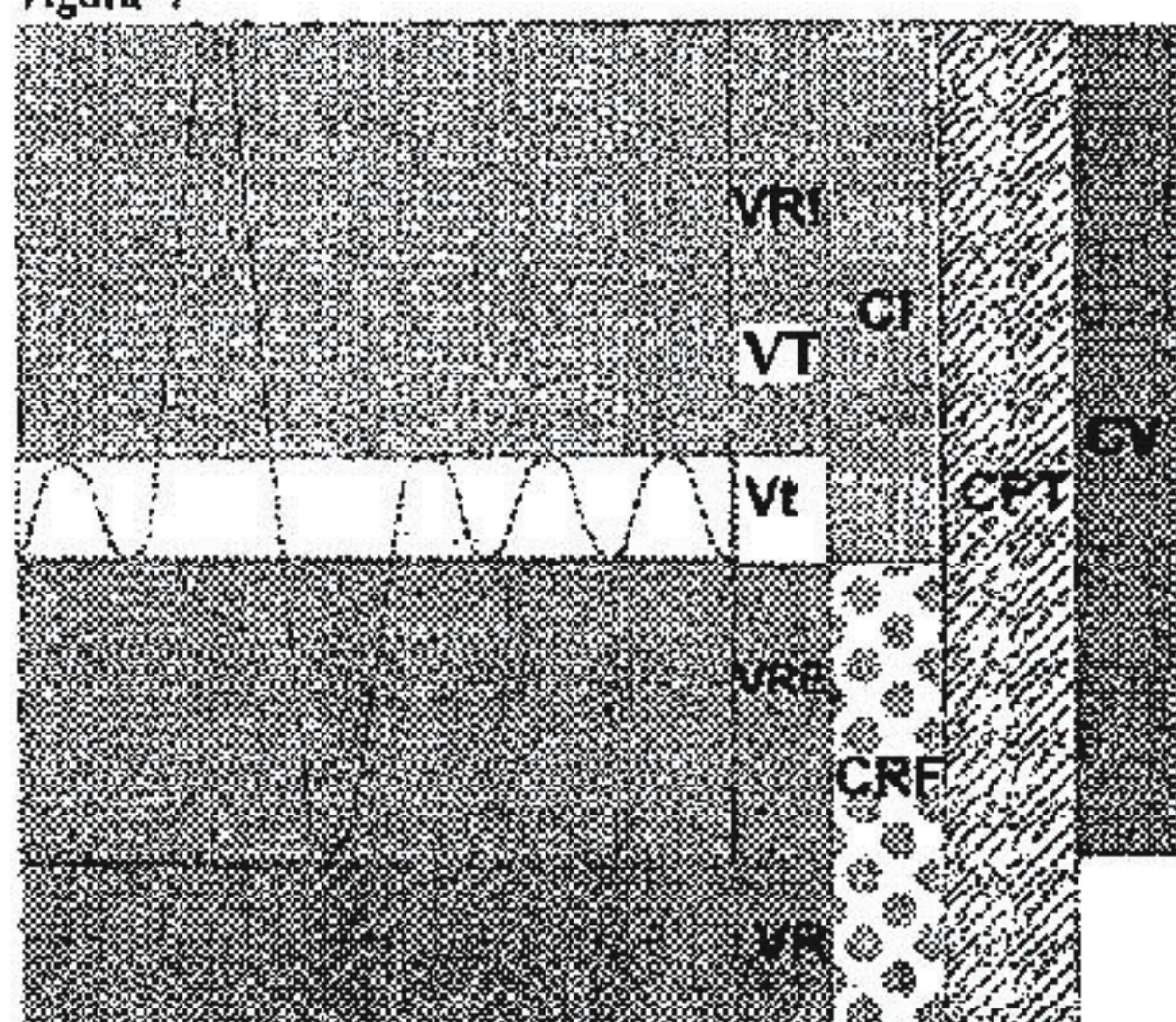
As provas de função respiratória são importantes instrumentos diagnósticos na Pneumologia. São utilizadas para medir volumes, analisar fluxos, quantificar a capacidade de difusão e refletir a distribuição da ventilação. Para uma melhor compreensão das bases fisiológicas e das propriedades físicas do sistema respiratório, toma-se necessária a conceituação dos volumes e capacidades pulmonares, cujos valores podem apresentar uma importante variação nas diversas patologias pulmonares.

Observam-se quatro volumes pulmonares que, inter-relacionados, compreendem as quatro capacidades, que são (fig. 1) (2):

- Volume corrente (VT): volume de mistura gasosa ins e expirado a cada movimento respiratório.
- Volume de reserva inspiratória (VRI): volume de gás compreendido entre o volume corrente e o limite máximo da capacidade pulmonar total (CPT).
- Volume de reserva expiratória (VRE): volume de gás expirado compreendido entre o volume corrente e o volume residual (VR).
- Volume residual (VR): volume de gás que permanece nos pulmões após uma expiração máxima.
- Capacidade inspiratória (CI): é a soma do VT com o VRI.

- Capacidade residual funcional (CRF): é a soma do VR com o VRE. Esta medida é uma das mais importantes a nível de acompanhamento, pois representa o conteúdo de gás que permanece nos pulmões ao final de uma expiração normal.
- Capacidade vital: é a soma de VRI, VRE e VT, representando a capacidade respiratória máxima do paciente.
- Capacidade pulmonar total (CPT): é a soma de todos os volumes pulmonares, ou seja, o máximo volume de gás contido nos pulmões, ou então, o valor máximo de volume após uma inspiração máxima.

Figura 1



- VT - Volume Corrente
- VRI - Volume de Reserva Inspiratório
- VRE - Volume de Reserva Expiratório
- VR - Volume Residual
- CI - Capacidade Inspiratória
- CRF - Capacidade Residual Funcional
- CV - Capacidade Vital
- CPT - Capacidade Pulmonar Total

Bases Fisiológicas da Mecânica do Sistema Respiratório

A elasticidade é uma propriedade física da matéria, responsável por fazê-la retornar à forma original (de repouso) após cessada a força externa que a distorceu. Em todos os volumes pulmonares, a força de retração elástica dos pulmões (pel) tende a trazê-los para o seu volume mínimo, ou seja, retração e colapso. Todas as estruturas dos pulmões encontram-se interligadas pela trama de tecido conjuntivo, de modo que, quando há a insuflação, todos os componentes se dilatam, sen-

do este efeito denominado **interdependência** (3). Um outro componente integrante das propriedades elásticas é o surfactante que, por sua tensão superficial, é capaz de equalizar as pressões no interior dos vários alvéolos, reduzindo a pressão motriz necessária para produzir a sua insuflação (4).

Para permitir a avaliação da mecânica pulmonar isoladamente, deve-se ter em mente o conceito da pressão transpulmonar, que é definida como a diferença entre a pressão na abertura das vias aéreas (P_{ao}) e a pressão intrapleurar (esta pode ser avaliada indiretamente através da pressão esofágica - P_{es}).

A parede torácica isoladamente exibe propriedades elásticas próprias. Existe uma tendência à expansão, exceto em volumes pulmonares superiores a 75% da capacidade vital, quando passa a existir tendência à retração. A nível da capacidade residual funcional (CRF), o sistema respiratório está em equilíbrio elástico, ou seja, para movê-lo além ou aquém desse ponto, uma força deve ser aplicada.

Avaliação da Mecânica Ventilatória à Beira do Leito

O sistema respiratório atua mecanicamente como uma bomba, com componentes resistivo e elástico conectados em série. De acordo com a terceira lei de Newton, para produzir uma alteração de volume, forças opostas devem sobrepujar estes componentes. A pressão aplicada deve sobrepor tanto as forças elásticas, para produzir uma variação de volume, como as forças resistivas, para produzir fluxo (5). Um aumento da pressão a nível da boca produz um fluxo de gás através da via aérea, que exibe resistência ao fluxo. Portanto, a medida da mecânica respiratória requer a avaliação contínua das pressões e fluxo ao longo do ciclo respiratório.

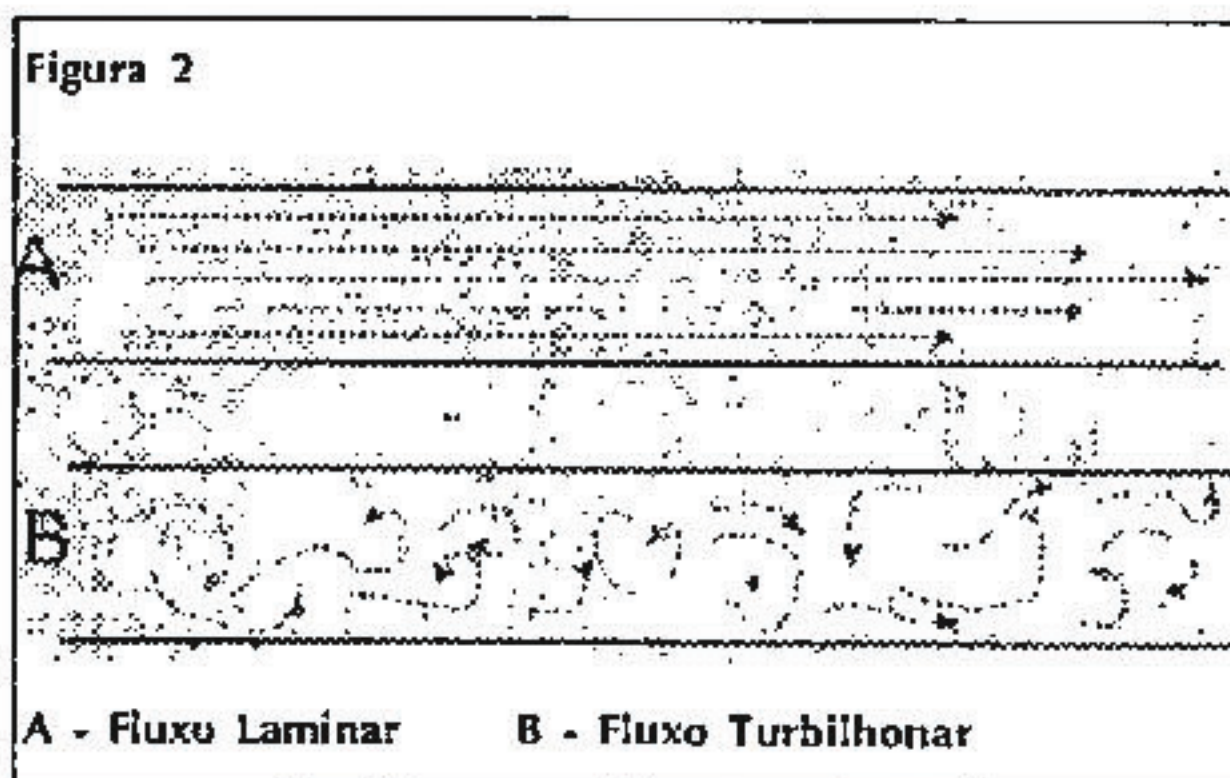
Medida das Pressões em Vias Aéreas

A medida da pressão em vias aéreas (P_{aw}) fornece informação essencial para o cálculo da complacência e resistência durante a insuflação passiva e a avaliação do esforço inspiratório durante os ciclos iniciados pelos pacientes. A avaliação gráfica das pressões nas vias aéreas é necessária para uma precisa determinação destas, podendo ser utilizado um transdutor acoplado a um monitor próprio (fig. 2).

Durante a insuflação passiva, a pressão pico (P_d) indica a pressão necessária para distender o sistema respiratório aos valores pré-determinados de volume corrente e fluxo inspiratório. A P_d é

influenciada pela impedância torácica, parâmetros ventilatórios e a resistência imposta pelo circuito do ventilador. O calibre reduzido da luz do tubo endotraqueal pela presença de secreções, ou a dobra do tubo, produzem um aumento da P_d , enquanto o esforço inspiratório e vazamentos reduzem-a (5,6,7).

A pressão plateau (P_s) é a soma da pressão alveolar no final da expiração (PEEP ou auto-PEEP) e a pressão adicional necessária para distender o sistema respiratório pelo volume corrente. Esta pressão é medida no final da inspiração em fluxo zero, através de uma oclusão transitória (0,5 a 1,5 segundos) da válvula expiratória. Após a oclusão, a P_{aw} decresce rapidamente para um plateau por 0,3 a 2,0 segundos com a redistribuição da mistura gasosa pelo pulmão. A rapidez com que esta pressão é atingida depende da constante de tempo alveolar entre as diversas regiões pulmonares, e, portanto, um paciente com doença pulmonar obstrutiva crônica atingirá o equilíbrio mais lentamente que pacientes com pulmões normais (5). A inability de atingir a pressão plateau pode refletir um valor inadequadamente baixo do fluxo inspiratório estabelecido no ventilador, ou a presença de vazamento no circuito ventilatório ou pulmonar (fístula bronco-pleural) (5). Mantendo-se o volume corrente constante, um aumento do valor da P_s pode indicar redução da complacência



pulmonar ou da parede torácica, atelectasia de um segmento pulmonar ou aumento da capacidade residual funcional (CRF). Os valores da P_s não sofrem variação pela presença de secreções, broncoespasmo ou outras formas de oclusão parcial.

Complacência

A pressão nas vias aéreas desenvolvida durante a fase inspiratória da ventilação por pressão positiva reflete o trabalho necessário para sobrepujar

as forças resistivas e elásticas com um componente inercial praticamente irrelevante. A complacência e resistência podem ser calculadas utilizando transdutores de pressão e fluxo incorporados aos ventiladores mecânicos modernos.

Complacência é a medida da distensibilidade do pulmão, ou deste, e da caixa torácica em série, expressa pela razão da alteração de volume sobre variação de pressão.

$$C = \Delta V / \Delta P$$

A complacência do pulmão normal é aproximadamente 200ml/cm H₂O, enquanto no paciente submetido à ventilação mecânica este valor situa-se em 70ml/cm H₂O (1). Nos pacientes em suporte ventilatório, deve-se considerar, para o cálculo da complacência, o valor da pressão positiva expiratória terminal (PEEP) e do auto-PEEP, quando presente (8).

$$C = VT_{\text{expirado}} / P_{\text{pl}} - (\text{PEEP} + \text{AutoPEEP})$$

Em ventilação com diferentes valores de volume corrente, as pressões pico e plateau podem ser registradas para cada um destes valores, sendo construída uma curva pressão-volume dinâmica e estática. O volume fornecido pelo ventilador dividido pela pressão pico deriva o componente dinâmico da complacência (1). A complacência estática especifica o valor obtido quando a variação de pressão é determinada em pontos de fluxo zero, ou seja, utilizando-se a pressão plateau.

A complacência total do sistema respiratório (C_{eff}) reflete a complacência da parede torácica (C_w), parênquima pulmonar (C_l) e do circuito ventilatório (9). A C_w é influenciada pelas anormalidades da parede torácica, tônus muscular e distensão abdominal, enquanto a C_l reflete a elastância do tecido pulmonar, sendo influenciada por doenças pulmonares intrínsecas, como consolidação e edema pulmonar. O aumento do volume pulmonar comparado à pressão nas vias aéreas (P_{aw}) reflete a complacência do sistema respiratório. Alterações no volume pulmonar comparadas à pressão esofágica (P_{esof}) refletem a complacência da parede torácica (C_w). Alterações do volume, em comparação com a pressão transpulmonar (P_{aw} - P_{esof}), refletem a complacência pulmonar. Uma queda na complacência com valores mais elevados de volume corrente ou PEEP, ou uma combinação destes dois fatores, pode sinalizar hiperinsuflação pulmonar e um maior risco de barotrauma (pneumotórax, pneumomediastino, enfisema subcutâneo).

Medidas acuradas da complacência são obtidas com o paciente sedado adequadamente, sem atividade espontânea. A pressão total gerada pelo ventilador para insuflar os pulmões de um paciente que resiste à ventilação mecânica será maior que em um paciente completamente relaxado. Por outro lado, se o paciente respira ativamente, a pressão desenvolvida pelo ventilador será menor que a pressão total observada com o paciente relaxado. Sendo assim, ambas as situações podem induzir ao erro no cálculo da complacência efetiva do sistema respiratório.

Para medir a complacência pulmonar isoladamente à beira do leito, um método que reflete a pressão transpulmonar deve ser utilizado. Esta pode ser realizada através de um balão esofágico, que consiste em um balonete de látex fino preso à extremidade distal de um tubo, que deve ser corretamente posicionado no interior do esôfago, através do teste de oclusão, que consiste na comparação da P_{tr} e P_{es} durante o esforço inspiratório com a oclusão das vias aéreas no final da expiração. Estas duas medidas não devem diferir em mais de 5%, requerendo um paciente cooperativo (3,5).

Dois métodos podem ser aplicados no paciente submetido à ventilação mecânica: o método da insuflação/desinsuflação e insuflação sustentada.

O método da insuflação/desinsuflação ("super-seringa") é simples e extremamente acurado, mas requer uma breve interrupção da ventilação mecânica e a sedação e curarização do paciente. Uma seringa calibrada acoplada a um transdutor de pressão e um pneumotacógrafo é utilizada para injetar gás em alíquotas de 100ml nos pulmões, de maneira progressiva, com volume e pressão plateau avaliadas a cada passo (insuflação). As alíquotas são administradas até que uma pressão de 50cm H₂O seja alcançada, ou uma estabilidade da curva P-V seja observada. De maneira similar, as medidas são obtidas durante a fase de desinsuflação. Para atingir uma condição de estabilidade, cada passo é seguido de uma pausa de 2 a 3 segundos. Deste modo, uma série de medidas de pressão e volume permitem a construção de uma curva, cuja tangente revela o valor da complacência (10). A análise da curva P-V permite o diagnóstico precoce de algumas alterações da mecânica respiratória, como broncoconstrição, broncoespasmo, secreções nas vias aéreas e atelectasias. A correção destas anormalidades mostra o retorno da curva para a conformação anterior (11). Da análise da curva, uma série

de parâmetros podem ser observados (fig.3) (8,9,12):

- Complacência total do sistema respiratório (TSLC): razão obtida entre o volume de insuflação e a diferença de pressão correspondente.
- Complacência inicial (C_{start}): razão entre a insuflação nos 100ml. iniciais e a pressão correspondente.
- Complacência de insuflação (C_{inf}): porção da curva durante a insuflação no seu segmento mais linear.
- Complacência de deflação: porção da curva durante a deflação no seu segmento mais linear.
- Complacência específica (C_{spec}): razão entre uma determinada complacência e o volume gasoso pulmonar.
- Ponto de inflexão (P_{flex}): pressão correspondente à interseção das linhas de C_{start} e C_{inf} .
- Volume não-recuperado: volume não recuperado dos pulmões após a deflação.
- Área de histerese: área compreendida entre as curvas ins e expiratórias da curva P-V.

A complacência, medida em baixos volumes pulmonares (100-250ml.), pode ser diferente daquela medida em volumes mais altos (250 a 1000ml). A baixa distensibilidade do sistema respiratório visto em baixos volumes mostra que uma maior pressão é necessária para reabrir as vias aéreas. O ponto de inflexão reflete a pressão de abertura ou um aumento súbito da complacência acima de certo volume. A curva P-V em um paci-

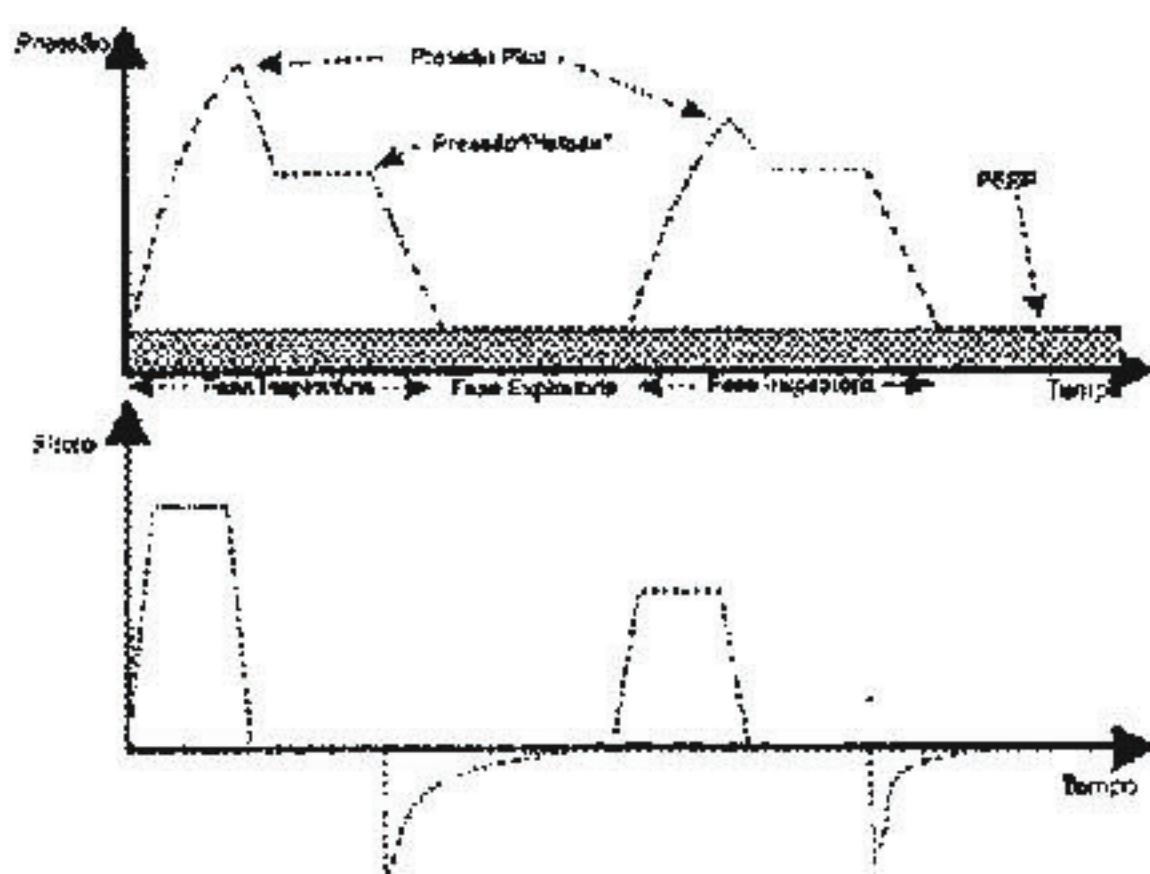
ente com Síndrome de Angústia Respiratória Aguda (SARA), caracteristicamente tem uma forma sinusoidal com ponto de inflexão inferior e superior (8,9). Tem sido proposto que, durante a ventilação sob pressão positiva, o volume corrente esteja situado entre estes dois pontos, sendo o ponto de inflexão inferior um orientador para o nível de PEEP, enquanto o superior reflete o nível seguro da ventilação alveolar (10). A curva de pressão-volume pode ser classificada em quatro categorias por valores de complacência e pela presença ou ausência de ponto de inflexão. As categorias correlacionam-se com os estágios evolutivos da agressão pulmonar aguda (APA).

Mais comumente utilizada nas Unidades de Terapia Intensiva, o método da insuflação sustentada consiste em obter-se uma pausa no final da expiração (manual ou por um ajuste dos parâmetros do ventilador) para determinar a pressão estática (plateau), sendo o volume medido por um sensor de fluxo ou espirômetro. A pausa inspiratória deve ser de 1 a 2 segundos para obter fluxo zero e uma situação de equilíbrio. Ventiladores microprocessados calculam este valor após uma pausa de 0,5 segundo. Em alguns casos, esta pausa mais curta pode ser necessária quando a demanda ventilatória do paciente não permite uma pausa mais longa. Em alguns pacientes, porém, uma pausa tão curta pode produzir resultados incorretos pela ausência de um estado de equilíbrio (por exemplo, em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica). A presença de vazamentos no circuito ventilatório, a presença de ventilações espontâneas, exalação forçada, soluços ou qualquer atividade muscular durante o período de pausa inspiratória, pode comprometer o resultado, levando a um cálculo incorreto da complacência (9).

Aplicações Práticas

- A complacência pulmonar é constante até volumes pulmonares elevados (75% da capacidade vital). A partir deste ponto, algumas regiões já atingiram seu ponto máximo de distensão elástica, e o pulmão torna-se menos complacente.
- A complacência pode ser utilizada para estabelecer a tendência do sistema respiratório, como guia de aplicação da Pressão Positiva Expiratória Terminal (PEEP) e para determinar o volume corrente adequado (9).
- Alterações da complacência ocorridas dentro de 24 horas de observação podem alertar para alterações agudas do sistema respiratório. A Diminuição

Figura 3



deste valor pode significar o desenvolvimento de edema pulmonar, pneumonia, intubação seletiva, pneumotórax ou atelectasia. A interpretação das alterações evolutivas da complacência deve levar em consideração as mudanças dos parâmetros ventilatórios. Qualquer alteração no volume corrente é capaz de modificar o grau de distensão alveolar ao final da inspiração, assim como o nível de PEEP pode alterar a capacidade residual funcional, ambos alterando o valor da complacência (9).

- O acompanhamento dos valores de complacência ao longo de vários dias pode refletir a resolução ou progressão da doença pulmonar, especialmente quando estes valores são colocados em forma de gráfico.

- Com o aumento do PEEP, a complacência estática pode ser um bom indicador da hiperdistensão alveolar. Durante incrementos iniciais do PEEP, vários alvéolos são recrutados, aumentando o valor da complacência pulmonar. Com maiores valores de PEEP, entretanto, observa-se a hiperdistensão destes alvéolos, levando o valor da complacência pulmonar a diminuir. Uma redução do valor da complacência em níveis mais elevados de PEEP sugere que este deva ser reduzido para minimizar a possibilidade de volu/ barotrauma (9).

- A C_{eff} pode ser utilizada para determinar o volume corrente a ser aplicado em situações especiais como, por exemplo, após pneumectomia, em pacientes com cifoescoliose, obesos, ou quando deseja-se volumes correntes maiores sem entretanto haver hiperdistensão alveolar (por exemplo, em pacientes que apresentam repetidos episódios de atelectasia). Volumes correntes elevados podem, por si só, levar a APA por distensão do assoalho alveolar e pela liberação de mediadores inflamatórios. O valor de complacência estática deve ser determinado após cinco minutos da aplicação do novo valor do volume corrente, para permitir a estabilização (9).

Resistência ao Fluxo Aéreo

Durante a movimentação do sistema respiratório, um elemento adicional deve ser vencido pela pressão motriz: a resistência (R_{rs}). Contribuem para esta, a resistência das vias aéreas e a resistência à movimentação dos tecidos pulmonares e da caixa torácica, dividindo-se, então, em dois componentes: pulmonar (R_L) e da parede (R_w). A resistência pulmonar pode ser, por sua vez, dividida em resistência das vias aéreas e resistência

tecidual (3). A resistência das vias aéreas pode ser definida como a razão entre o gradiente de pressão necessário para levar o ar do ambiente até os alvéolos, e o fluxo aéreo. Com fluxo laminar, a R_{aw} depende diretamente do comprimento das vias aéreas e da viscosidade do gás, variando inversamente com a quarta potência do raio dos segmentos da árvore brônquica (Lei de Poiseuille) (2). Em presença de fluxos mais elevados, pode ocorrer fluxo turbilhonar, deixando a resistência de ser constante. Neste caso, as moléculas gasosas interagem de maneira desordenada, sendo a densidade do gás um fator crítico na determinação da resistência. A resistência tecidual é determinada pelas perdas energéticas geradas pela viscosidade (atrito), relacionada à movimentação das moléculas que constituem os tecidos pulmonares (fig. 4).

A resistência pulmonar varia com o fluxo aéreo e o volume pulmonar. Com a progressiva elevação do fluxo, mantido o volume constante, a resistência mostra-se inicialmente decrescente, para então tornar-se crescente. Mantido o fluxo constante, com o aumento do volume, a resistência se eleva progressivamente (9).

Embora nem sempre considerada, a resistência da parede torácica (R_w) pode chegar a 30% da resistência total do sistema. A R_w diminui com o aumento do fluxo aéreo e se eleva com o aumento do volume pulmonar.

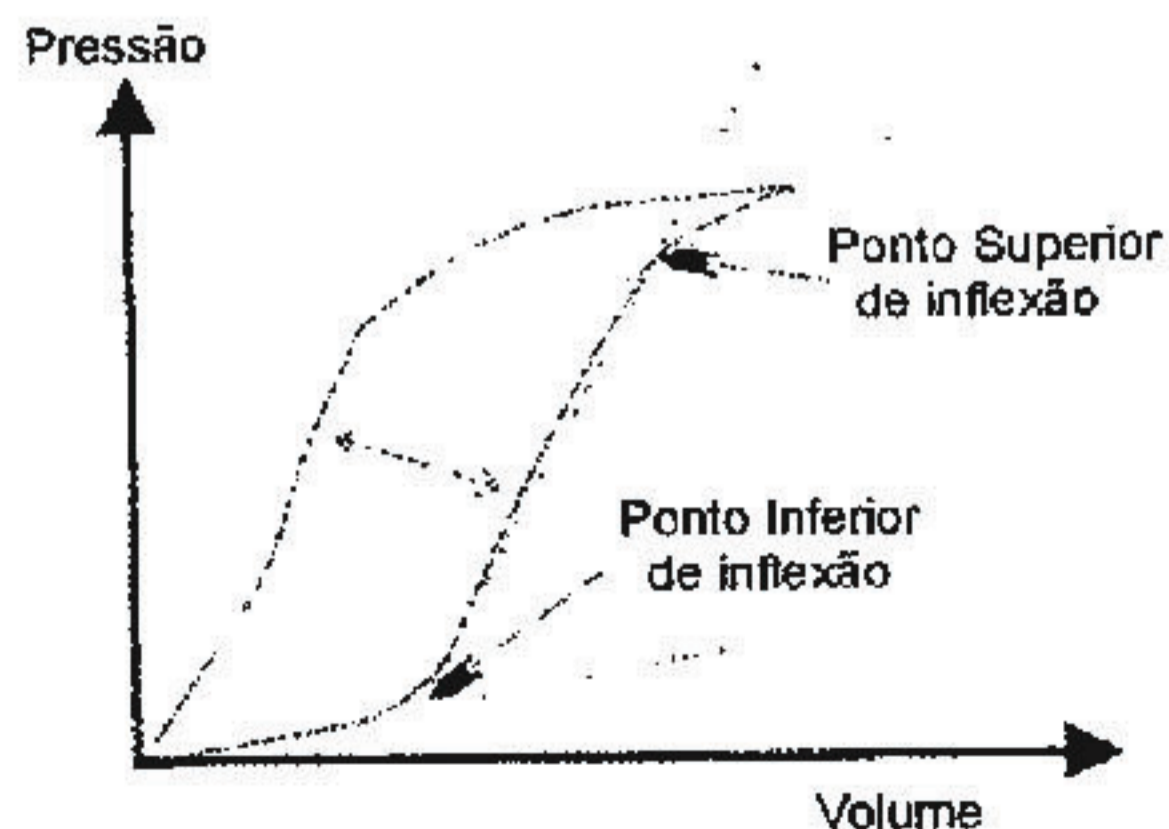
$$R_{aw} = P1 - P2 / V$$

Onde:

$P1 - P2 =$ diferencial entre o início e o fim do segmento

$V =$ fluxo de gás

Figura 4



A resistência consiste no componente de fricção da impedância do sistema respiratório, exibindo a dependência volume/fluxo (6). A resistência inspiratória é calculada estabelecendo-se o gradiente de pressão entre pressão pico e pressão **plateau**, ocorrido após a oclusão da via aérea durante um fluxo inspiratório constante. A resistência expiratória pode ser calculada com uma série de interrupções breves durante a expiração passiva completa, determinando-se a diferença entre a pressão alveolar e das vias aéreas, dividindo-a pelo valor do fluxo expiratório. O valor normal da resistência situa-se entre 2,5cm H₂O/L/s, sendo observados valores elevados em pacientes com SARA e com limitação ao fluxo aéreo (8). O aumento da resistência das vias aéreas no paciente com SARA e insuficiência ventricular esquerda deve-se ao edema da parede das vias aéreas e a presença de líquido e secreção na luz brônquica. Ainda na SARA, este valor pode ainda estar elevado devido à perda da capacidade residual funcional.

A resistência encontra-se aumentada no broncoespasmo e sua avaliação evolutiva pode refletir a resposta à terapêutica broncodilatadora instituída em pacientes submetidos a suporte ventilatório mecânico. Os valores e padrões da onda de fluxo inspiratório e o volume corrente devem permanecer constantes para uma correta avaliação. A resistência inspiratória pode ser utilizada como guia para determinar o nível de suporte ventilatório a ser instituído para evitar um trabalho respiratório resistivo excessivo durante o processo de desmame da prótese ventilatória, embora este método não leve em conta os diferentes valores de fluxo observados durante incursões mandatórias e espontâneas.

Onda Fluxo-Volume

Vários ventiladores apresentam no seu "software" a capacidade de demonstrar graficamente as curvas de fluxo ins e expiratório. Padrões anormais da curva podem alertar para a presença de secreção nas vias aéreas, PEEP intrínseco (auto-PEEP) ou limitação ao fluxo expiratório. Na presença de secreção nas vias aéreas, um padrão serrilhado é observado. Uma forma côncava em direção à linha de base na fase expiratória é um indicador sensível da limitação do fluxo aéreo e a presença de auto-PEEP.

Capacidade Residual Funcional

A capacidade residual funcional (CVF) é o volume de gás remanescente nos pulmões ao final

de uma expiração normal. Estes métodos avaliam o volume pulmonar aerado (13).

A avaliação da capacidade residual funcional durante a ventilação mecânica é de difícil realização técnica, geralmente utilizando gases inertes que não reajam com outras moléculas e que sejam insolúveis em água, sangue, tecidos e componentes do sistema respiratório. Nitrogênio e hidrogênio foram utilizados, mas o gás que melhor preenche os critérios acima citados é o hélio. Nos pacientes submetidos à ventilação mecânica, o método de diluição com hélio e nitrogênio em circuito fechado pode ser utilizado, apesar de não ser aplicado rotineiramente (9). A desvantagem deste método é que apenas aéreas bem ventiladas do pulmão são avaliadas. Se o paciente possui grandes bolhas ("blebs"), este espaço não será incluído no cálculo da CRF (2).

O efeito da PEEP no aumento da CRF pode ser medido diretamente pela técnica de diluição de gases citada acima ou por métodos indiretos, que são estimativas a partir das alterações da complacência do sistema respiratório pela análise da curva PV e pelo aumento do volume expiratório após uma retirada súbita do PEEP. Dois outros métodos, podem ser utilizados para tal fim: pletismografia e determinação do auto-PEEP.

A pletismografia respiratória utiliza duas faixas, uma no tórax e outra no abdome, para monitorar os movimentos torácicos durante as incursões respiratórias e, a partir disto, calcular a capacidade residual funcional com o processamento destas informações por um monitor microprocessado. A medida da CVF por pletismografia inclui o volume de gás contido no interior das bolhas e, assim, a diferença entre os valores de CVF medidos pelo método de diluição de gases e pela pletismografia pode ser utilizada para auxiliar na detecção de grandes bolhas.

O método da determinação do auto-PEEP pode ser utilizado para determinar a capacidade residual funcional, baseado no princípio da hiperdistensão alveolar. A hiperinsuflação dinâmica ocorre em situações em que o tempo expiratório é insuficiente para permitir a deflação completa entre os ciclos respiratórios, geralmente observada em pacientes com altos valores de volume-minuto, tempo expiratório insuficiente (ventilação com relação ins:ex invertida) ou valores de resistência das vias aéreas elevados (limitação ao fluxo aéreo) (6,10). As conseqüências clínicas deste fenômeno, produzindo o chamado auto-PEEP,

incluem barotrauma, aumento do trabalho respiratório durante ventilações espontâneas, dificuldade do paciente em iniciar ventilações assistidas e efeitos hemodinâmicos do aumento da pressão positiva (hipotensão arterial, redução do débito cardíaco, entre outros).

A presença de auto-PEEP é um indicador do aprisionamento de ar com um aumento da capacidade residual funcional. Para a sua determinação, a porção expiratória do ventilador é ocluída brevemente no fim da expiração, enquanto a frequência respiratória é estabelecida em zero, utilizando-se a válvula de Braschi (fig. 5). Sob estas condições, o valor verificado no manômetro corresponde a pressão alveolar expiratória terminal, ou seja, o nível de auto-PEEP. Exalação forçada ou esforço inspiratório invalida a avaliação do auto-PEEP.

Monitoração da Atividade e Função dos Músculos Respiratórios Durante a Ventilação Mecânica

A monitoração da função muscular respiratória inclui a avaliação da atividade muscular durante a ventilação mecânica, da força muscular respiratória e da habilidade em assumir ventilações espontâneas nas fases prévias ao desmame da prótese ventilatória. A magnitude do trabalho respiratório assumida pelo ventilador depende do modo ventilatório e da sincronia entre o paciente e a máquina. Apenas durante a paralisia por bloqueadores neuro-musculares, pode-se considerar que o paciente encontra-se absolutamente passivo. Modos como a ventilação mandatória intermitente ou ventilação sob suporte pressórico requerem uma certa magnitude de atividade muscular pela sua natureza. Um trabalho praticamente equivalente à respiração espontânea pode ser observado nos modo assistido quando a demanda

inspiratória de fluxo excede os valores fornecidos pelo ventilador.

Flutuações isométricas da P_{aw} refletem alterações das pressões intrapleurais e alveolar, e, portanto, a pressão máxima gerada contra uma via aérea ocluída pode estimar a força muscular ins e expiratória. A pressão desenvolvida pelos músculos esqueléticos do sistema respiratório correlaciona-se com o comprimento da fibra muscular antes da contração. Sendo assim, a pressão inspiratória máxima é desenvolvida com a oclusão da via aérea a partir do VR, enquanto a pressão expiratória máxima é determinada sob a CPT (5).

A pressão inspiratória máxima (PI_{max}) é avaliada contra a oclusão da via aérea ao final da expiração (volume residual), consistindo em uma avaliação da força muscular global, sendo um indicador favorável ao desmame da prótese ventilatória quando em valores mais negativos que $-30\text{cm H}_2\text{O}$. Esta medida requer a cooperação do paciente para obter-se um valor confiável, e, pela variabilidade deste índice em função do volume pulmonar em que a PI_{max} é medida, esta deve ser feita no volume residual. Pacientes normais podem desenvolver $-120\text{cm H}_2\text{O}$ (5,6,10,13).

A pressão expiratória máxima (PE_{max}) é iniciada a partir da capacidade pulmonar total (CPT), sendo um reflexo da habilidade de tosse e da força muscular (5,10).

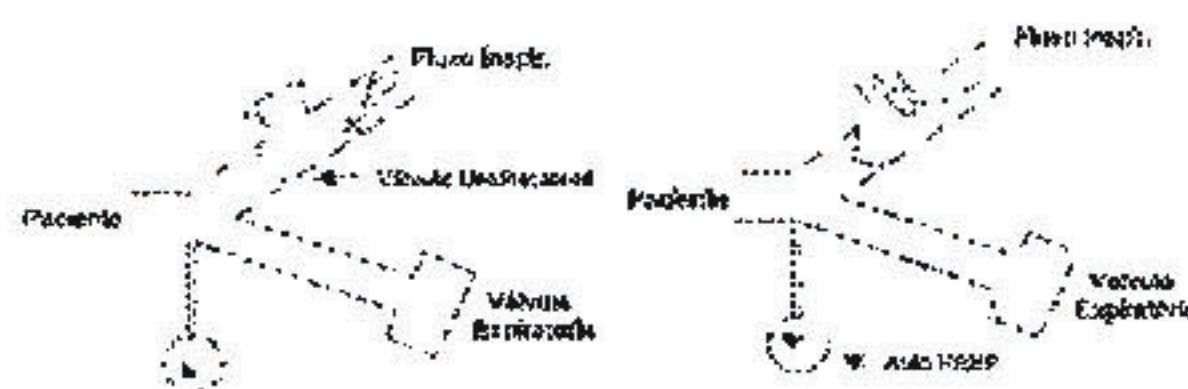
Embora a paralisia diafragmática seja uma causa incomum de insuficiência respiratória nas Unidades de Terapia Intensiva, a disfunção diafragmática é um achado comum nestes pacientes. A fraqueza muscular diafragmática deve ser suspeitada quando uma grande queda da capacidade vital é observada no momento em que o paciente assume a posição supina. A força muscular diafragmática pode ser medida através da avaliação da pressão transdiafragmática. A pressão esofágica e gástrica são obtidas utilizando-se um balão, sendo a pressão transdiafragmática a diferença entre a pressão esofágica e gástrica.

Pacientes que são submetidos a suporte ventilatório prolongado podem ainda apresentar consumo muscular, distúrbios metabólicos e doença neuromuscular secundária como a polineuropatia por bloqueadores neuro-musculares, dificultando a retirada do SVM.

Esforço Respiratório

O esforço ("drive") respiratório pode ser avaliado indiretamente pela mensuração da pressão

Figura 5



- A - Válvula de Braschi Fechada
O Respirador funciona normalmente.
- B - Válvula de Braschi Aberta na Expiração
O manômetro indicará o auto-PEEP.

das vias aéreas, 0,1 segundo após o início de um esforço inspiratório contra uma via aérea ocluída (pressão de oclusão ou $P_{o,1}$). Altos valores de $P_{o,1}$ refletem ativação neuromuscular aumentada do sistema respiratório e parecem relacionar-se com a fadiga ventilatória. Uma correlação entre $P_{o,1}$ e o trabalho respiratório prevê que valores baixos de $P_{o,1}$ relacionam-se a um desmame de sucesso, enquanto valores maiores que 6cm H₂O refletem reservas energéticas inadequadas para suportar o desafio da ventilação não assistida (6,10).

Sinais Clínicos de Aumento do Trabalho Respiratório, Atividade Muscular Respiratória e Fadiga

O trabalho respiratório pode ser estimado utilizando o produto do volume corrente e a alteração da pressão esofágica, utilizando transdutores de pressão, pneumotacômetros e integradores. Devido à complexa tecnologia deste equipamento sua aplicação clínica tem sido limitada. A procura por sinais clínicos de trabalho respiratório e atividade muscular respiratória aumentados, permanece de extrema importância. É possível observar sinais de extremo esforço inspiratório, mesmo quando o paciente encontra-se conectado à prótese ventilatória. Estes sinais incluem a retração sub ou supraclavicular e extensão repetida do pescoço. Parâmetros ventilatórios inadequados, particularmente o fluxo inspiratório ou sensibilidade, podem ser a origem da descoordenação entre o paciente e o ventilador, produzindo aumento do trabalho respiratório e sinais de dispnéia. Contrações da musculatura paraesternal e do escaleno, durante a inspiração, e contrações abdominais durante a expiração são sinais de aumento do trabalho respiratório. O movimento paradoxical do abdome reflete fadiga muscular respiratória durante os modos espontâneos de ventilação. Respiração alternante, ou seja, o uso alternado do diafragma e dos músculos acessórios da respiração, é um padrão de atividade muscular associada à fadiga muscular (7, 9).

Dois métodos podem ser utilizados em pacientes sob suporte ventilatório para avaliar o trabalho respiratório (WOB) (10). O consumo de oxigênio (VO₂) dos músculos respiratórios pode ser estimado pela alteração do VO₂ total quando altera-se de um modo ventilatório com suporte pleno para um modo puramente espontâneo (7). Outro método de avaliação do WOB consiste na avaliação

da alteração da pressão pleural e do volume corrente e sua integração a uma curva pressão-volume. A pressão pleural é estimada utilizando-se um balão esofágico. O WOB normal situa-se entre 0,3 e 0,6J/L. O WOB pode estar consideravelmente aumentado em pacientes intubados e sob ventilação espontânea, devido às forças resistivas e elásticas aumentadas pela patologia de base ou pelo trabalho imposto pela ventilação espontânea, através do tubo orotraqueal, circuito do respirador e válvula de demanda (6).

Variáveis Medidas Durante a Ventilação Espontânea

A avaliação da habilidade do paciente em ser retirado do suporte ventilatório inclui a mensuração de variáveis ventilatórias, durante um breve teste em ventilação espontânea não assistida. Estas medidas (frequência respiratória espontânea, volume corrente e volume minuto) refletem a mecânica ventilatória e a função muscular de maneira simples. A medida da força inspiratória negativa (NIF), durante a oclusão rápida da via aérea, quantifica a força muscular inspiratória. O tempo mínimo de oclusão é de 20 segundos para garantir o esforço máximo, de preferência, através de peça T adaptada ao tubo orotraqueal, capaz de permitir a expiração, sem permitir o fluxo inspiratório (9). Em volume pulmonar mínimo, os músculos respiratórios podem gerar a contração de grande amplitude. Medidas adicionais do sucesso do desmame da prótese ventilatória incluem:

- Capacidade vital, um índice dependente da mecânica e do esforço, reflete a força muscular, com um valor de 10 a 15ml/kg, sendo orientador do sucesso do desmame.
- Ventilação voluntária máxima igual a duas vezes o volume minuto em repouso.
- Razão volume minuto / ventilação minuto máximo reflete indiretamente a reserva energética no paciente cooperativo. Razões menores que 1:2 indicam que a ventilação espontânea pode ser assumida após a retirada do suporte ventilatório (6).
- Razão frequência respiratória/volume corrente: em estudo por Tobin e Yang, este índice, quando menor que 105, mostrou correlação com desmame de sucesso em 90% dos pacientes (4).

Conclusão

A monitoração do paciente submetido à suporte ventilatório mecânico é caracterizada pela avaliação contínua e corretamente interpretada de vários índices ou testes, que anteriormente demandavam monitores extremamente complexos, e que hoje podem ser obtidos mais rotineiramente, estando um grande número destes já incorporados ao armamentário dos ventiladores microprocessados. Apesar dos avanços obtidos, a tecnologia envolvida na monitoração da mecânica ventilatória no paciente sob SVM tem evoluído progressivamente, com uma aplicabilidade prática limitada, persistindo como um recurso de monitoração pouco utilizado nas UTIs. No entanto, seu papel, que cresce dia-a-dia, tende a se situar não como um substituto, mas como um complemento da avaliação clínica e radiológica.

Procurou-se, na 1ª parte desta revisão, destacar os aspectos básicos mais importantes da mecânica respiratória, visando principalmente uma aplicabilidade prática. Devido a extensão do tema, seguir-se-á a 2ª parte que abrangerá detalhes mais relacionados às curvas e alças, detecção de problemas e possíveis intervenções terapêuticas, guiadas principalmente pela análise dos dados da mecânica tóraco-pulmonar.

Referências Bibliográficas

- 1-Bone RC. Monitoring ventilatory mechanics in acute respiratory failure. *Respir Care* 1983;28:597-604.
- 2-Shapiro BA, Harrison RA, Kacmarek RM, et al. In *Clinical Application of Respiratory Care*. Year Book Medical Publishers. Chicago. 1979. 3rd edition.
- 3-Zin WA. Métodos e técnicas para a monitoração das propriedades elásticas e resistivas dos pulmões e da parede torácica na insuficiência respiratória aguda. *Jornal de Pneumologia* 1990;16(2):91-96.
- 4-Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med* 1991;324:1445-1450.
- 5-Truitt JD, Marini JJ. Evaluation of thoracic mechanics in the ventilated patient. Part I: primary measurements. *Journal of Critical Care* 1988; 3:133-150.
- 6-Marini JJ. Lung mechanics determinations at the bedside: instrumentation and clinical application. *Respir Care* 1990;35:669-694.
- 7-Truitt JD, Marini JJ. Evaluation of thoracic mechanics in the ventilated patient. Part II: applied mechanics. *Journal of Critical Care* 1988; 3:199-213.
- 8-Mancebo J, Benito S. Pulmonary mechanics in acute respiratory failure. *Intensive Care World*. 1993;10:64-67.
- 9-Capps JS, Hicks GH. Monitoring non-gas respiratory variables during mechanical ventilation. *Respir Care* 1987;32:558-568.
- 10-Macnaughton PD. Assessment of lung function in the ventilated patient. *Intensive Care Med* 1997;23:810-818.
- 11-Bone RC. Pressure-volume measurements in detection of bronchoesasm and mucous plugging in acute respiratory failure. *Respir Care* 1976;21:620-626.
- 12-Gattinoni L, Pesenti A, Avali L, et al. Pressure-volume curve of total respiratory system in acute respiratory failure. *Am Rev Respir Dis* 1987;136:730-736.
- 13-Fairley HB. Monitoring respiratory mechanics. *Respir Care* 1985;30:406-412.



BUSONID[®]

budesonida

A DIREÇÃO CERTA NO TRATAMENTO DA ASMA

aplicação
1

2 VEZES AO DIA

USO ADULTO
E PEDIÁTRICO



Potente ação Antiinflamatória
local com atividade
sistêmica muito baixa⁽¹⁾



(1) PIPKORN, U; Runderantz, H - Budesonide and Beclomethasone dipropionate in hay fever a single blind comparison.

Biosintética
ASSISTANCE
0800-15-1036
www.biosintetica.com.br

Biosintética
Cuidados pela vida