

Monitorização Respiratória*

José Otávio Costa Auler Jr., T.S.A.¹, Maria José de Carvalho, T.S.A.²

Auler Jr JOC, Carvalho MJ - Respiratory Monitoring

Os cuidados ao paciente grave ou sob anestesia requerem atenção especial em relação à monitorização, termo relacionado à vigilância contínua destinada a estes pacientes. Ao observarmos a evolução das técnicas de monitorização nos últimos 20 anos, notamos redobrado interesse na monitorização da função cardiovascular e, conseqüentemente, muitos progressos conceituais e tecnológicos foram obtidos^{1,2}.

Em contraste, embora os ventiladores equipados com computadores e dispositivos para medir diferentes variáveis estejam disponíveis há mais de 10 anos, a monitorização da função respiratória permaneceu limitada apenas à medida do pico de pressão nas vias aéreas e análise intermitente da gasimetria arterial. Ultimamente incrementou-se o interesse neste tipo de monitorização, introduzindo-se a oximetria de pulso na prática anestesiológica, capnografia, métodos de avaliação da função dos músculos e mecânica relacionados a respiração, aprimorando-se conceitos básicos de fisiologia com aplicação direta na clínica³.

Os dispositivos de monitorização estão se tornando cada vez mais dispendiosos e sofisticados, cabendo ao médico bem informado a escolha dos mesmos, dependendo dos parâmetros a serem monitorizados e da situação clínica do paciente⁴. A monitorização deve suceder-se ao exame clínico, o qual inclui inspeção, palpação, percussão e ausculta, os quais fornecem importantes informações a respeito de diferentes órgãos e sistemas. Examinando-se as pol-

pas digitais e coloração da pele é possível inferir a função cardiovascular, pulmonar e temperatura corpórea. A análise e integração de todas as informações obtidas clinicamente e/ou com a utilização de aparelhos objetiva conhecer a resposta do paciente a determinado procedimento, diagnosticar problemas ou precocemente reconhecer tendências prejudiciais. A opção pela monitorização invasiva ou não-invasiva deve basear-se na confiabilidade, risco e benefício de cada método, considerando-se o tipo de cirurgia e a condição clínica do paciente.

Ventilação inadequada é a causa mais freqüente de complicações sérias em anestesia. Nesta linha, todos os esforços têm sido direcionados em aumentar a segurança da ventilação artificial. Embora a observação clínica não deva ser colocada em segundo plano, a utilização de monitores facilita a constatação precoce de alterações da função respiratória⁵.

Monitorização da Oxigenação

A manutenção de adequada oxigenação sanguínea e a meta no paciente de UTI ou sob anestesia. A ocorrência de hipoxemia severa, se não percebida a tempo, pode levar a eventos catastróficos como a parada cardíaca. A avaliação da oxigenação pode ser realizada em diferentes locais:

1. Circuito respiratório: Os monitores deste circuito medem especificamente o oxigênio na mistura inalada pelo paciente. Os mais modernos aparelhos de anestesia e os respiradores artificiais utilizados em terapia intensiva já incorporam esta monitorização, com a utilização de polarógrafos ou galvanômetros. O monitor polarográfico de oxigênio funciona com eletrodo de Clark composto de prata (cátion) e platina (ânion). O oxigênio difunde-se através de membrana semipermeável gerando corrente proporcional à tensão de oxigênio no eletrodo. O galvanômetro converte a energia da reação química em voltagem. A célula contém dois eletrodos (catódio e anódio) imersos em solução eletrolítica, separados do oxigênio por membrana semipermeável.

2. Vias aéreas: A monitorização contínua do oxi-

* Trabalho realizado no Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo

1. Professor Associado da Disciplina de Anestesiologia do Departamento de Cirurgia da FMUSP - Diretor do Serviço de Anestesia do INCOR.

2. Pós-Graduada da Disciplina de Anestesiologia do Departamento de Cirurgia da FMUSP - Médica Assistente do Serviço de Anestesia do INCOR.

Correspondência para José Otávio Costa Auler Júnior
R Guarará 538/151
01425 São Paulo SP

gênio é feita a partir de saída apropriada no tubo ou conexão e analisada em equipamentos especiais. Os únicos que reúnem condições de análise rápida e segura são o espectrômetro de massa e o espectrofotômetro. O espectrômetro de massa realiza simultaneamente análise quantitativa e qualitativa do oxigênio e de outros gases e anestésicos.

3. Sangue arterial: A monitorização da oxigenação arterial pode ser feita de diferentes formas:

Oximetria de pulso: mede a fração de oxihemoglobina em relação a hemoglobina reduzida, ou seja ambas absorvem a luz emitida pelo equipamento em diferentes graus (Figura 1). Os sensores são aplicados no lóbulo da orelha ou dedo, sendo que os sensores no lobo da orelha acusam mais precocemente (com diferença de segundos) alterações da saturação arterial de oxigênio. Em determinadas situações o valor fornecido pelo oxímetro pode não ser confiável e nestas circunstâncias a gasimetria arterial deve ser realizada:

- defeitos no sensor ou no aparelho;
- carboxihemoglobinemia;
- metahemoglobinemia⁶;
- presença de corantes intravasculares;
- unhas esmaltadas;
- luz ambiente intensa;
- uso de eletrocautério;
- arritmias cardíacas;
- má perfusão periférica por baixo fluxo local; baixo débito cardíaco ou hipotermia central ou local;
- alteração na forma da curva de dissociação da hemoglobina.

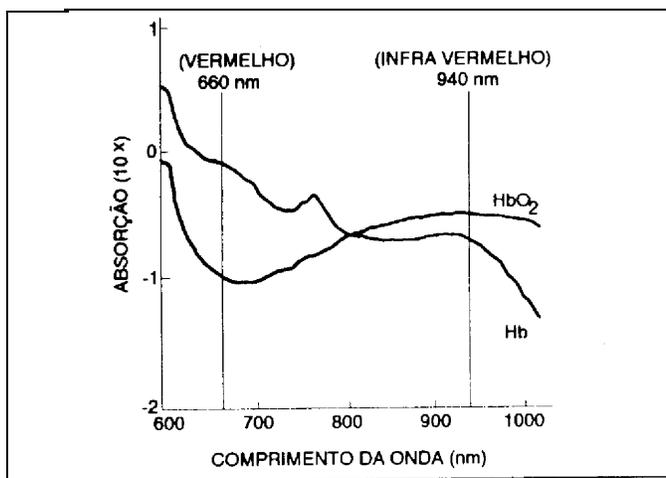


Fig 1- Coeficiente de absorção para a Hb e HbO₂

Monitorização do oxigênio transcutâneo: mede a pressão parcial do oxigênio que se difunde livremente

através da pele intacta e aquecida. Usa o princípio polarográfico de eletrodos que desenvolvem reações químicas na presença de oxigênio. Mede adequadamente a PaO₂ em crianças e adultos bem perfundidos. O aquecimento da pele, a calibração demorada, a fragilidade dos eletrodos e a necessidade de boa perfusão limitam muito seu uso em adultos, sendo mais utilizado em pediatria.

Gasimetria arterial: ainda é dos métodos mais utilizados para avaliação da oxigenação sanguínea. Depende da coleta intermitente de amostras de sangue arterial que são analisadas sucessivamente⁷. Embora invasivo, deve ser sempre realizado quando não se dispõe de monitorização não invasiva, para verificação de outros métodos ou quando se deseja análise de dados não fornecidos pela oximetria como pH e HCO₃.

Fluorescência óptica: Um cateter compacto pode ser inserido por via arterial e deixado na corrente circulatória para avaliação do pH, PaCO₂ e PaO₂. O método baseia-se no princípio da reação entre corante específico e oxigênio com emissão de fluorescência de máxima intensidade quando exposto à luz de determinado comprimento de onda. A intensidade da luz emitida é inversamente proporcional à concentração do oxigênio. Uma fibra óptica serve para receber e transmitir as ondas de luz. O corante fica armazenado numa membrana permeável ao oxigênio. São disponíveis cateteres próprios para o íon hidrogênio, gás carbônico e oxigênio. Embora muito interessante e promissora esta sofisticada metodologia ainda não faz parte da utilização clínica rotineira.

4- Monitorização da oxigenação do Sangue venoso:

Saturação venosa mista de oxigênio: parâmetro fisiológico que pode ser obtido continuamente através de fibra óptica inserida em cateter colocado na artéria pulmonar (os cateteres de Swan-Ganz atuais já incorporam este tipo de monitorização⁸ ou a CvO₂ e SvO₂ podem ser obtidas através de gasometrias venosas seriadas de sangue de cateter central ou preferencialmente de artéria pulmonar.

Como causas de diminuição da SvO₂ temos:

- diminuição do débito cardíaco;
- diminuição da saturação arterial de oxigênio;
- diminuição da concentração de hemoglobina;
- aumento do consumo de oxigênio;

E como causas do aumento da SvO₂ temos:

- aumento da oferta de oxigênio para os tecidos;
- diminuição do consumo de oxigênio;
- *shunt* intracardíaco da esquerda para a direita;
- insuficiência mitral grave;

- falsa medida da SvO₂ devido a demasiada introdução do cateter no tronco da pulmonar.

Este tipo de monitorização tem recebido grande atenção nos últimos anos por ser indicador da disponibilidade de oxigênio aos tecidos, bem como de seu metabolismo oxidativo, sendo considerado mais fiel que os cálculos convencionais de consumo de oxigênio.

Embora pouco utilizado na prática, a avaliação da PvO₂ ou da SvO₂ pode ser realizado em diferentes locais (ex.: veia jugular, seio venoso), podendo-se avaliar o consumo de oxigênio de determinado órgão. Quando os tecidos recebem fluxo sanguíneo reduzido ou têm baixa reserva vascular, como o miocárdio, terão PvO₂ menores, representando maior extração de oxigênio.

5 - Monitorização da Oxigenação Tecidual:

A espectrofotometria permite monitorização contínua da oferta e consumo de oxigênio a um órgão isolado. O método tem dois princípios físicos fundamentais: a luz com comprimento de onda próximo ao infravermelho penetra na pele e osso; a enzima citocromo, que cataliza a utilização de oxigênio pelos tecidos, absorve a luz de determinado comprimento de onda, dependendo do seu estado oxidativo. Em outras palavras, o método mostra se o oxigênio disponível no sangue é suficiente para a ação catalítica que é vital para esta enzima. Medidas clássicas alternativas, como saturação e conteúdo de oxigênio podem estar normais, embora o estado de oxigenação tissular esteja deficiente. O novo método emprega fibra óptica que transmite e recebe os componentes, podendo ser colocada na pele sob o órgão que se queira investigar, por exemplo, o cérebro. A luz transmitida e refletida para trás, em quatro componentes. O método, embora extremamente informativo, ainda não está disponível para uso clínico.

Conhecendo-se o débito cardíaco, a saturação da hemoglobina e a pressão parcial de oxigênio no sangue arterial e venoso, o valor da hemoglobina e a fração inspirada pode-se realizar os cálculos de oxigenação:

Conteúdo arterial de oxigênio (CaO₂): representa a quantidade de oxigênio transportado pela hemoglobina e a pequena parcela dissolvida no sangue arterial. Valor normal: 187 a 20 ml. dl⁻¹.

$$CaO_2 = (1,34 \cdot Hb \cdot SaO_2/100) + (PaO_2 \cdot 0,0031)$$

Conteúdo venoso de oxigênio (CvO₂): idem ao anterior para o sangue venoso. Valor normal: 112 a 15 ml.dl⁻¹.

$$CvO_2 = (1,34 \cdot Hb \cdot SvO_2/100) + (PvO_2 \cdot 0,0031)$$

Diferença artério-venosa de oxigênio (Da-vO₂): mede quanto, de oxigênio existe no sangue arterial a mais que no sangue venoso. Valores muito altos refletem grande extração de oxigênio do sangue, que é característico dos tecidos que estão recebendo baixo fluxo sanguíneo. Isto ocorre durante o choque, quando o fluxo sanguíneo é desviado para cérebro e coração. Valor normal: 4 a 5 ml.dl⁻¹.

$$Da-vO_2 = CaO_2 - CvO_2$$

Transporte de oxigênio (VaO₂): expressa a quantidade de oxigênio que deixa o coração a cada minuto. E a quantidade de oxigênio que está disponível para os tecidos. Normalmente, menos de 30% do oxigênio é efetivamente extraído do sangue. De acordo com alguns estudos, este é bom índice de sobrevivência na fase precoce do choque. Valor normal: 950 a 1150 ml.min⁻¹.

$$VaO_2 = CaO_2 \cdot DC \cdot 10$$

Consumo de oxigênio (VO₂): Representa o consumo de oxigênio pelos tecidos na unidade de tempo. Valor normal: 195 a 285 ml.min⁻¹ (ou 150 a 200 ml.min⁻¹.m²). Índice de consumo de oxigênio menor que 100 ml.min⁻¹.m² são preocupantes por indicarem que as necessidades metabólicas teciduais não estão sendo satisfeitas.

$$VO_2 = Da-vO_2 \cdot DC \cdot 10$$

$$I VO_2 = VO_2 \cdot SC^{-1} (SC - \text{superfície corporal})$$

Extração de oxigênio (ERO₂): é a razão entre o consumo e o transporte de oxigênio. É a fração do oxigênio transportado que é extraído e consumido pelos tecidos. Normalmente, apenas um quinto do oxigênio do sangue arterial é extraído pelos capilares. Durante o choque, há diminuição do fluxo sanguíneo e os tecidos extraem maior quantidade de oxigênio do sangue arterial. Valores acima de 0,30 causam preocupação e valores acima de 0,35 são motivos de alarme. É um bom índice prognóstico nas fases iniciais do choque, Valor normal: 0,20 a 0,28.

$$ERO_2 = (CaO_2 - CvO_2) / CaO_2 \text{ ou}$$

$$ERO_2 = VO_2 / VaO_2$$

Diferença alvéolo arterial de oxigênio (DA-aO₂): avalia a eficácia da troca de oxigênio entre o alvéolo e o capilar pulmonar. Valor normal- 10 a 15 mmHg (ar ambiente) e 10a 65 mmHg (FiO₂- 1). Elevações na diferença alvéolo arterial de oxigênio indicam falência respiratória instalada ou incipiente. Considerando-se o quociente respiratório como igual a 1, a fórmula simplificada para o cálculo da DA-aO₂ é:

$$DA-aO_2 - PB -47- PaCO_2$$

onde PB - pressão barométrica.

Shunt pulmonar (Qs/Qt): mesmo em indivíduos hígidos, pequena quantidade do sangue que sai do ventrículo direito chega ao átrio esquerdo sem ter entrado em contato com o capilar pulmonar, devido principalmente à presença das veias brônquicas e de Tebesius (Valor normal: 3 a 5%). Em algumas situações, volume adicional de sangue permanece sem ser oxigenado, por passar através de alvéolos pobremente ventilados, áreas de bloqueio alvéolo capilar ou mesmo pela presença de cardiopatias cianóticas (*shunt* central). Alguns autores consideram valores próximos a 15 para o *shunt* pulmonar, sugestivos de insuficiência pulmonar moderada e valores de 30 ou mais como insuficiência pulmonar grave.

Concluindo, temos atualmente grande número de monitores disponíveis para avaliação da oxigenação. Isto pode trazer alguma dificuldade pois os sistemas de alarme e dados disponíveis podem ser diferentes, aconselhando-se, portanto, a padronização do equipamento e a verificação real de seus limites de informação e confiança.

Monitorização da Ventilação

A ventilação pulmonar normalmente é monitorizada indiretamente através da observação da expansão do tórax, ajuste do volume corrente e frequência respiratória adequados ao paciente, monitorização da pressão de insuflação pulmonar através de manômetro e da utilização de ventilômetro para avaliação dos volumes respiratórios. Intermitentemente realiza-se coleta de sangue arterial para análise da pressão parcial de CO₂. Recentemente, houve incorporação de equipamentos para medida continua do CO₂ exalado ou transcutâneo.

CO₂ exalado: O significado fisiológico do capnograma data de 1928 mas so atualmente conseguiu-se desenvolver equipamentos seguros e com custo acessível para mensuração deste gás⁹. Basicamente, utilizam-se as técnicas de absorção de luz infravermelha e a espectrometria de massa. No sistema

infravermelho, o feixe de luz passa através do gás, a luz absorve as moléculas consumindo parte da energia da mesma. O sistema faz comparação entre a quantidade de energia infravermelha absorvida e o referencial zero, mostrando instantaneamente a concentração do gás. O espectrômetro para uso médico utiliza analisador de gases, onde o gás é aspirado por poderoso vácuo, dentro do qual é bombardeado por feixe ionizante. Os íons são então expostos a campo eletrostático e a forte atração magnética define curvatura cujo raio representa a massa do íon. Existem vários problemas com os espectrômetros de massa, como o fato de gases como gás carbônico e óxido nítrico terem a mesma massa atômica e, assim, apresentarem a mesma medição no equipamento. Complexos métodos para distinguir as diferentes moléculas têm sido propostos pelos fabricantes e o custo dos equipamentos continua elevado.

Em relação aos aspectos clínicos da capnometria deve-se entender que o padrão normal depende do metabolismo, circulação e ventilação alveolar (figura 2).

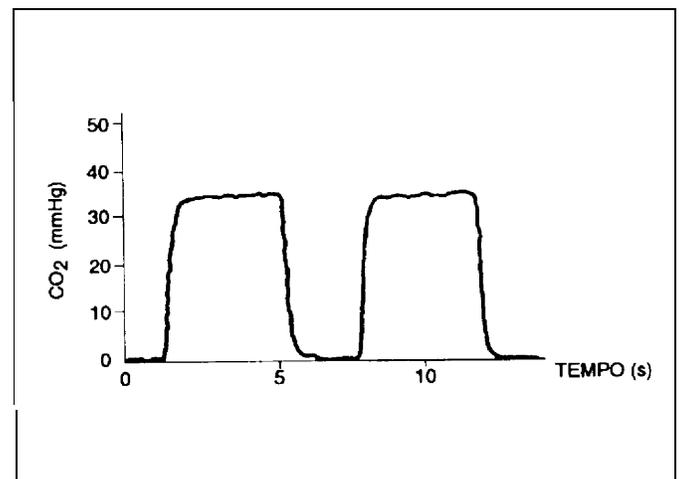


Fig 2- Capnograma normal.

Durante a monitorização contínua, três funções são extremamente úteis no paciente sob assistência ventilatória:

O desvio da configuração normal do capnograma deve ser investigada. Em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica o ar é expelido de alvéolos com diferenças constantes de tempo, dando configuração bizarra ao capnograma.

O achatamento ou ausência do capnograma pode ser atribuído à desconexão do circuito respiratório, parada cardíaca, embolia pulmonar ou algum problema com o tubo traqueal.

- A diminuição da altura do capnograma pode ser

devida a qualquer fator que instantaneamente aumente o espaço morto, como a hipotensão arterial.

-O aumento na altura do capnograma pode ser devido ao aumento do metabolismo, como na hipertermia ou na sepsis, ou por CO₂ liberado pela circulação como durante laparoscopia ou infusão de bicarbonato.

- Quando a linha de base do capnograma não retorna a zero durante a inspiração deve-se suspeitar de reinalação de CO₂.

Os problemas técnicos mais críticos na capnografia clínica referem-se à monitorização de recém-nascidos ou crianças de baixo peso, onde a porcentagem de erro pode ser maior.

A utilização da capnografia tem sido sugerida por aumentar a segurança do ato cirúrgico. É um meio não invasivo de detectar problemas que podem ocorrer durante a assistência respiratória como a desconexão do ventilador, intubação seletiva, embolia pulmonar e hipertermia. Quando utilizada em conjunto com a oximetria de pulso, a monitorização de todos os movimentos respiratórios confere extraordinária segurança ao paciente, melhorando incrivelmente a qualidade da assistência ventilatória.

CO₂ transcutâneo

Baseia-se no princípio do aquecimento da pele que, acima de 40°C difunde os gases através da mesma¹⁰. O eletrodo é colocado sobre a pele e possui aquecedor e sensor de temperatura. O eletrodo é composto de solução eletrolítica e membrana permeável ao CO₂. Quando o gás carbônico difunde-se através da membrana, reage quimicamente liberando hidrogênio e bicarbonato. A produção de hidrogênio altera o pH da solução e esta variação é proporcional à variação do CO₂ do sangue.

Em pacientes hemodinamicamente estáveis e com a perfusão da pele normal, a diferença entre o CO₂ transcutâneo e o expirado é constante. Entretanto, nenhum dos dois métodos reflete com acurácia a PaCO₂ devendo-se considerar sempre todos os fatores de erro na utilização de quaisquer dos dois métodos não invasivos de monitorização do CO₂.

Pressão arterial de CO₂

Avalia-se através de análise intermitente da gasimetria artéria¹⁷ ou cateteres intra-arteriais com fluorescência óptica (análise contínua). Utilizado quando não se dispõe de monitorização não invasiva ou para confirmação dos valores apresentados por estes métodos.

Avaliação da Função do Centro Respiratório

Uma abordagem para avaliação do comando respiratório é a medida do fluxo inspiratório médio, que é obtido dividindo-se o volume corrente pelo tempo inspiratório, devendo-se levar em consideração que alterações da mecânica respiratória podem alterar o resultado obtido.

A medida da pressão da via aérea 100 milissegundos após início de esforço com a via aérea ocluída permite avaliar o comando do centro respiratório, sendo também utilizado na avaliação da musculatura respiratória.

Nenhum desses métodos de avaliação é completamente confiável, sendo importante aqui a avaliação clínica como medida da frequência respiratória e avaliação do padrão respiratório do paciente.

Avaliação da Função da Musculatura Respiratória

Atualmente tem-se dado grande atenção à função da musculatura respiratória, especialmente do diafragma, nas doenças respiratórias ou ao retorno de sua ação após curarização ou após assistência ventilatória prolongada²⁻¹¹.

Considerando-se que a força gerada pelos músculos, respiratórios pode ser avaliada em termos de pressão gerada (o estiramento muscular pela alteração de volume produzida e a velocidade de estiramento pelo fluxo gerado), diversas técnicas como a avaliação da pressão transdiafragmática ou a resposta à estimulação do nervo frênico podem ser utilizadas para avaliar a função muscular, todas elas com limitações. O movimento paradoxal da caixa torácica e do abdômen tem-se mostrado indicador mais simples de fadiga da musculatura respiratória. Entretanto, a fadiga não é nem necessária, nem suficiente para o desenvolvimento do movimento paradoxal da caixa torácica e abdômen, mas o aumento do trabalho respiratório é o mecanismo predominantemente responsável para o desenvolvimento de tal padrão.

Avaliação da pressão inspiratória máxima com via aérea ocluído^{2,12}:

Embora existam críticas ao método, como o fato da oclusão produzir alterações no padrão respiratório, que podem não estar exprimindo o que ocorreria na ausência de oclusão; e a não consideração da complacência pulmonar, tem sido bastante utilizado devido a sua simplicidade esta incluído no índice de avaliação da insuficiência respiratória junto com parâmetros como frequência respiratória, volume corrente, PaO₂ e PaCO₂. O método é utilizado também para avaliação após período de assistência ventilatória, permitindo desmame mais preciso. Indivíduos normais alcançam valores de 115 ± 27 cmH₂O e alguns estudos demonstram que, dos pacientes que

apresentavam-se com pressão inspiratória máxima, com via aérea ocluída, acima de -30 cm H₂O, todos mantiveram-se extubados, enquanto aqueles com pressão abaixo de -20 cm H₂O não mantiveram ventilação espontânea.

Avaliação da Mecânica Respiratória

Raramente realiza-se a avaliação das propriedades mecânicas do sistema respiratório de pacientes ventilados artificialmente durante anestesia ou por insuficiência respiratória. O conceito de que tal avaliação é difícil de ser realizada não corresponde à realidade, desde que com algum equipamento portátil como pneumotacógrafo e transdutores eletrônicos de pressão, pode-se obter rapidamente informações importantes sobre a mecânica respiratória, tanto de pacientes em respiração espontânea, como sob ventilação mecânica. As medidas de elasticidade do sistema respiratório e seus subcomponentes, pulmões e caixa torácica, podem ser utilizados para a avaliação e estabelecimento de prognóstico dos pacientes ventilados artificialmente^{2,13}.

Espirometria: é um dos diversos métodos que pode ser utilizado na avaliação da mecânica pulmonar mas, embora simples, a necessidade de colaboração do paciente limita sua utilização. No paciente em respiração espontânea realiza-se frequentemente a avaliação da capacidade vital, que representa o esforço dependente da quantidade de ar que o indivíduo consegue exalar após uma inspiração máxima. É método sensível em detectar alterações da mecânica respiratória, mas pouco específico pois sua redução pode ocorrer devido alterações neuromusculares como a curarização ou diversos tipos de doenças, em alterações restritivas e obstrutivas das vias aéreas, ou mesmo por falta de colaboração do paciente. O valor normal da capacidade vital varia entre 65 a 75 ml. kg⁻¹ mas valores maiores que 10 ml.kg⁻¹ são considerados favoráveis para se prosseguir desmame do respirador.

- Avaliação da mecânica respiratória no paciente intubado: recentemente foram introduzidos novos métodos para o estudo da mecânica respiratória no paciente intubado^{13,14,15,16}, situação na qual estão excluídas as vias aéreas superiores, onde normalmente se dá o maior componente de turbulência ao fluxo aéreo. Nestes estudos é importante levar-se em conta a relação pressão/fluxo da cânula traqueal, que é uma função da fórmula $P = a.V^b$, sendo a e b constantes (figura 3).

Dentre os métodos de estudo, pode-se utilizar o do ciclo respiratório único, o método das múltiplas oclusões e o da oclusão da via aérea no final da inspiração (EIOM - *end inflation occlusion method*). Este último é prático por se utilizar do artifício já

presente nos respiradores artificiais modernos que é a pausa inspiratória.

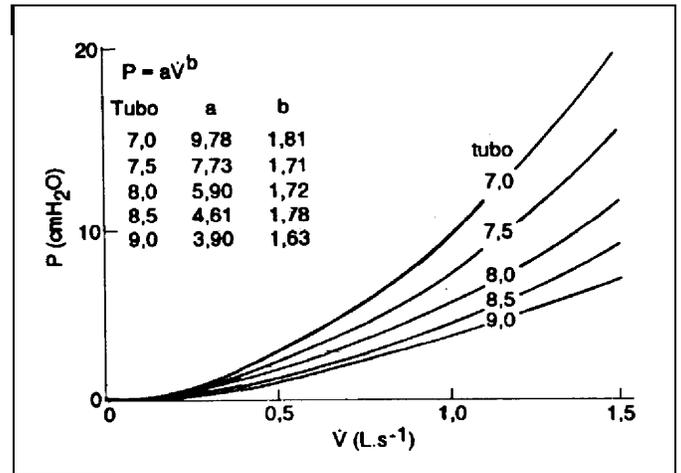


Fig. 3- Relação pressão/fluxo para cânulas traqueais de diferentes diâmetros.

No método EIOM estudam-se pacientes intubados, anestesiados e curarizados, sob ventilação mecânica com fluxo inspiratório constante e pausa inspiratória (oclusão das vias aéreas no final da inspiração). Conforme mostra a figura 4, há queda rápida no registro da pressão traqueal, seguida de queda mais lenta, até atingir platô, que corresponde a pressão elástica do sistema respiratório. Com a utilização de balão esofágico é possível o registro da pressão pleural subdividindo-a nas pressões: (Pel,rs), caixa torácica (Pel,w) e pulmonar (Pel, L) (figura 4). Com a obtenção desses registros é possível o estudo das propriedades elásticas e resistivas do sistema respiratório.

Avaliação das propriedades resistivas do sistema respiratório: leva-se em consideração a alteração de volume em relação ao fluxo:

$$Rrs = \text{Pres,rs} / V$$

Com fluxo constante, a resistência total do sistema respiratório é:

$$Rrs, \text{ max} = (\text{Ptr,max} - \text{Pel, rs}) / V$$

Mas, apes a oclusão da via aérea no final da inspiração a queda das Ptr não é homogênea. Ocorre queda rápida até Pi, seguida de queda lenta de Pi até Pel.

Portanto:

$$\text{Rinit,rs} = (\text{Ptr,max} - \text{Pi}) / V$$

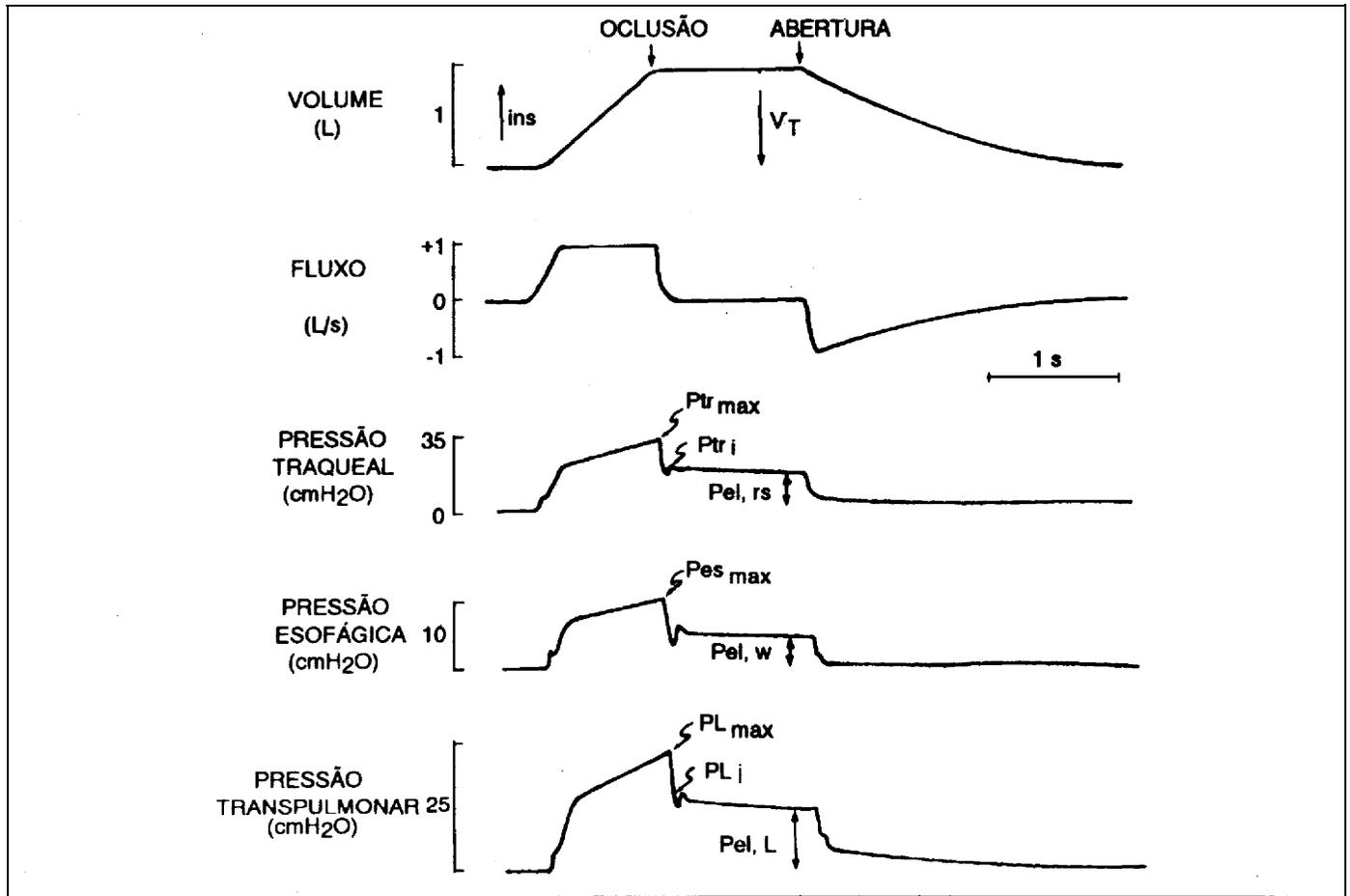


Fig 4- Curvas de volume, fluxo, pressão traqueal, pressão esofágica e pressão transpulmonar durante estudo da mecânica respiratória pelo método da oclusão no final da inspiração (EIOM), onde V_T = volume corrente, $P_{tr,max}$ = pressão traqueal máxima, $P_{tr,i}$ = ponto de inflexão, $P_{el,rs}$ = pressão elástica do sistema respiratório, $P_{es,max}$ = pressão esofágica máxima, $P_{el,w}$ = pressão elástica da parede torácica, $P_{L,max}$ = pressão transpulmonar máxima, $P_{L,i}$ = ponto de inflexão transpulmonar e $P_{el,L}$ = pressão elástica transpulmonar.

que corresponde à resistência que seria obtida se todo o sistema tivesse constante de tempo igual. Mas isto não ocorre devido ao fenômeno de *pendeluft* e *stress relaxation*.

Então:

$$R_{diff,rs} = (P_i - P_{el}) / V$$

ou:

$$R_{diff,rs} = R_{rs,max} - R_{i,rs}$$

O *pendeluft* corresponde ao fluxo de ar dentro dos pulmões entre segmentos com diferentes constantes de tempo. Tal fenômeno ocorre nas vias aéreas mais periféricas e é possível que a resistência homogênea corresponda à resistência central e a resistência não homogênea corresponda à resistência periférica do pulmão.

Quando se dispõe da medida da pressão esofagi-

ca para avaliação da pressão pleural é possível o cálculo em separado da resistência pulmonar e da caixa torácica.

Avaliação das propriedades elásticas do sistema respiratório:

As propriedades elásticas do sistema respiratório permitem que este recupere sua configuração e volume iniciais uma vez que as forças de distensão tenham cessado. Estas características servem para o estudo da complacência do sistema pulmonar (C_{rs}):

$$C_{rs} = \Delta V / \Delta P$$

A complacência efetiva do sistema respiratório, produto da divisão do volume corrente pelo pico de pressão nas vias aéreas tem sido usado como parâmetro, as vezes o único, da avaliação da mecânica

respiratória em pacientes entubados e ventilados artificialmente. No entanto, este parâmetro incorpora a impedância total do sistema frente à introdução de volume pelo aparelho, sendo afetado tanto por modificações da resistência, como da elasticidade do sistema respiratório. A complacência efetiva é, portanto, índice sensível das disfunções do sistema respiratório, mas pouco específica, pois altera-se frente a situações que vão, desde a presença de secreção na cânula traqueal, até edema pulmonar grave. Mesmo considerando-se a pouca especificidade da complacência efetiva, esta variável tem sido apontada como indicador seguro para o seguimento e prognóstico dos pacientes com insuficiência respiratória aguda sob ventilação mecânica.

Utiliza-se freqüentemente a medida da elastância, que melhor reflete as propriedades elásticas do sistema respiratório:

$$Ers = \Delta P / \Delta V$$

Na ausência de PEEP (pressão positiva ao final da expiração) intrínseco (auto-PEEP) ou extrínseco, a elastância estática do sistema respiratório é dada por:

$$Est,rs = Pel,rs/V_T$$

sendo V_T - volume Corrente

E a elastância dinâmica é dada por:

$$Edyn,rs = - pi,rs/V_T$$

A complacência estática dá informações sobre o estado do tecido pulmonar (pneumonia, atelectasia, edema pulmonar, etc.) e a complacência dinâmica dá informações sobre as propriedades resistivas do pulmão, sendo afetado por broncoconstricção e secreção nas vias aéreas.

A mais interessante contribuição da curva PV do ponto de vista clínico e terapêutico é a visualização do fenômeno da abertura na forma de uma inflexão no início da parte lenta da pausa inspiratória (P_i). Esta alteração no declive da curva representa alteração na complacência e transição de zona de baixa distensibilidade para outra de alta distensibilidade, e pode ser devida apenas a mecanismo de abertura e recrutamento alveolar. Demonstrou-se que quando se utiliza PEEP- P_i a troca gasosa pulmonar melhora e o *shunt* diminui, melhorando a PaO_2 . E o ponto onde a máxima complacência coincide com a função pulmonar ótima por ocorrer grande recrutamento anatômico.

Auto-PEEP ou PEEP intrínseco¹⁷

Em indivíduos normais, o volume pulmonar no final da expiração, representado pela capacidade

residual funcional, representa o balanço entre as pressões de recolhimento elástico do pulmão e a caixa torácica. Entretanto, em indivíduos com insuficiência respiratória, o volume pulmonar, ao final da expiração, pode não ser determinado por um equilíbrio entre forças estáticas e o volume pulmonar pode exceder a CRF. Tal hiperinsuflação pode ocorrer em pacientes com limitação ao fluxo aéreo (*air trapping*) ou quando o tempo expiratório é demasiadamente curto.

A presença de auto-PEEP tem várias implicações importantes no paciente sob ventilação mecânica, desde que predispõe ao barotrauma e a instabilidade hemodinâmica, aumenta o trabalho respiratório e diminui a eficiência da força gerada pelos músculos respiratórios. Quando a complacência torácica está sendo avaliada, a presença de auto-PEEP deve ser considerada.

Avaliação do trabalho respiratório^{2,18}

Um dos principais objetivos da ventilação mecânica é permitir o repouso dos músculos respiratórios, permitindo que eles se recuperem de fadiga prévia. Entretanto, dependendo dos parâmetros estipulados e do tipo de assistência realizada, os pacientes podem continuar realizando considerável quantidade de trabalho mesmo enquanto sob assistência. Um trabalho mínimo pode ser desejável para evitar atrofia muscular mas, se excessivo, pode impedir a melhora do paciente e desmame do respirador.

Durante ventilação controlada em paciente completamente curarizado, o ventilador desenvolve toda a pressão necessária para superar as propriedades resistivas, elásticas e inerciais do sistema respiratório. Durante ventilação assistida, o paciente usualmente inicia a inspiração gerando pressões de -1 a -2 cmH₂O. Entretanto, os músculos inspiratórios continuam a contrair-se por certo período mesmo o ventilador tendo iniciado a inspiração. Assumindo que o trabalho externo necessário para insuflar o sistema respiratório é semelhante, sob condições ativas ou passivas, a quantidade de esforço realizada pela musculatura do paciente pode ser calculada subtraindo-se a área sob a curva pressão-volume gerada durante o tempo que o paciente esta contribuindo para o trabalho inspiratório daquela gerada na ausência de atividade muscular.

Monitorização Respiratória Hemodinâmica

Os sistemas cardiovascular e respiratório estão intimamente relacionados, tanto anatômica como funcionalmente e freqüentemente a monitorização de um, implica na necessidade de monitorização do outro e vice versa^{4,19}. Muitas vezes é necessário o diagnóstico diferencial entre congestão pulmonar de causa intrínseca ou cardiogênica e neste caso a

avaliação hemodinâmica pode ser fundamental. Outras vezes, necessita-se saber se alterações na pressão intratorácica devidas à ventilação mecânica, com ou sem utilização de PEEP, estão alterando a função cardiovascular e a monitorização hemodinâmica concomitante torna-se imperiosa.

Quando se dispõe de cateter de artéria pulmonar pode-se avaliar a variação do débito cardíaco secundário a qualquer tipo de ventilação; e as alterações da pressão da artéria pulmonar que ocorrem na evolução de patologias como na síndrome de angústia respiratória do adulto. A avaliação da pressão atrial esquerda permite diferenciação entre edema pulmonar de causa intrínseca ou cardiogênica. Além disso, com a oclusão do balão distal do cateter da artéria pulmonar e injeção de contraste é possível a avaliação de um segmento da circulação pulmonar através de estudo radiológico^{2,20}.

Concluindo, a monitorização de diferentes aspectos da função respiratória pode não só prevenir ca-

tástrofes como permitir melhor avaliação funcional do paciente. As trocas gasosas pulmonares podem ser avaliadas por índices derivados das medidas dos gases sanguíneos arteriais, mas estes são limitados devido a sua natureza invasiva. Eletrodos intrarteriais estão sendo desenvolvidos e são promissores na monitorização contínua dos gases sanguíneos. Os cateteres de artéria pulmonar já dispõem de dispositivos para monitorização contínua da PvO₂ e avaliação não invasiva da saturação arterial de O₂ pode ser feita com o oxímetro de pulso e eletrodos transcutâneos. A avaliação da função da musculatura respiratória é útil na determinação da necessidade de ventilação mecânica ou de possibilidade de desmame do ventilador. Muitas informações sobre as propriedades mecânicas do sistema respiratório podem já ser obtidas de forma simples e rápida à beira do leito. Mas, embora forneçam informações úteis, nenhum método substitui a cuidadosa avaliação clínica do paciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. Gravenstein J S, Paulus D A. Clinical monitoring practice. 2nd edition - Ed.J.B. Lippincott Company, 1987.
02. Benito S, Net A. Pulmonary Function in Mechanically Ventilated Patients. In: Update in Intensive Care and Emergency Medicine. Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1991.
03. Tobin M J. Mechanical Ventilation . Critical Care Clinics. 1990;6(3):679-709.
04. Casey D. Blitt. Monitoring in Anesthesia and Critical Care Medicine. Ed. Churchill Livingstone, 1985.
05. Tobin M J. State of art: Respiratory monitoring in the intensive care unit. Am Rev Respir Dis 1988;38:1625-1642
06. Barker S ,. Tremper K K, Hyatt J. Effects os methemoglobinemia on pulse oximetry and mixed venous oximetry. Anesthesiology 1989; 70:112-117
07. Shapiro B A. Arterial Blood gas *monitoring*. Crit Care Clin 1988;4:479-492.
08. Kuff J V, Vaughn S, Yan SC, et al. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in patients with acute myocardial infarction. Chest 1989;95:607-611.
09. Snyder J V, Elliot F L, Grenvik A. Capnography. Clin Crit Care Med 1982; 4:100-121.
10. Mc Lellan PA, Goldstein R S, Ramcharan V, et al Transcutaneous carbon dioxide monitoring. Am Rev Respir Dis 1981 ;124:199-201.
11. Derenne J P, Mackelem P T, Roussos C. The respiratory muscles: mechanics, control and pathophysiology. Am Rev Respir Dis 1988; 118:119-133, 373-390, 581-601.
12. Sasson C S H, Te T T, Mahute C K, et al. Airway occlusion pressure: an important indicator for successful weaning in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Am Rev Respir Dis 1987; 135:107-113
13. Milic-Emili J, Gottfried S B, Rossi A. Non invasive measurement Of respiratory mechanics in ICU patient. Int J Clin Monit Comput 1987; 4:11-20.
14. Martins M A. Relações fluxo-resistivas no sistema respiratório normal - Aspectos aplicados. J Pneumol.1987; 13(supl 1):21-26.
15. Zin W A. Métodos e técnicas para a monitorização das propriedades elásticas e resistivas dos pulmões e da parede torácica na insuficiência respiratória aguda. J Pneumol 1990; 16:91-96.
16. Auler Jr. J O C, Zin W A, caldeira M P R, Saldiva P H N. Pre and postoperative inspiratory mechanics in ischemic and valvular heart disease. Chest 1987;92:984-990.
17. Pepe P E, Marini J J, Occult positive end-expiratory pressure in mechanically patients with airflow obstruction. Am Rev Respir Dis 1982; 126:166-170.
18. Marini J J, Rodriguez M, Lamb V, Bedside estimation of the inspiratory work of breathing during mechanical ventilation. Chest 1986; 89:56-63.
19. Wiedemann H P, Matthay M A, Matthay R A. cardiovascular-pulmonary monitoring in the intensive care unit (part 2). Chest 1984; 85(4):656-667,
20. Rocco M, Teboul J L, Rekik N, Conti G, et al. Interpretation of balloon occlusion pulmonary angiography during mechanical ventilation with PEEP in acute respiratory failure. Am Rev Respir Dis, 1988;137:228-231.