

Pletismografia – resistência das vias aéreas

CARLOS ALBERTO DE CASTRO PEREIRA, MARIA ÂNGELA F. MOREIRA

1. CONCEITOS E DETERMINANTES FISIOLÓGICOS DO FLUXO AÉREO

Existem três principais medidas de resistência do sistema respiratório; 1) resistência pulmonar; 2) resistência das vias aéreas (Rva) e 3) resistência respiratória total (R Total).

Resistência pulmonar refere-se à resistência coletiva dos tecidos pulmonares e vias aéreas e é usualmente determinada com um balão esofágico. Rva refere-se à resistência ao fluxo nas vias aéreas entre a boca e os alvéolos. Resistência total, como determinado com as técnicas de oscilação forçada e do interruptor, é a soma da Rva, parede torácica e tecido pulmonar.

A resistência das vias aéreas foi medida por pletismografia pela primeira vez em 1956 por Dubois⁽²⁾.

A resistência é modelada pela lei de Poiseuille, que relaciona a queda de pressão friccional associada com o fluxo aéreo à área de secção transversal da via aérea, para a viscosidade específica do gás:

$$P = \mu L V / \pi r^4$$

P = pressão
 μ = viscosidade
L = comprimento do tubo
V = fluxo
r = raio do tubo

Embora este seja um modelo conceitual conveniente, ele se aplica apenas às condições de fluxo laminar e estruturas rígidas. O fluxo nas grandes vias aéreas é turbulento e a natureza elástica das vias aéreas leva a compressão dinâmica, mesmo na ausência de doença.

De um ponto de vista prático, a medida da resistência é feita com base na aplicação da lei de Ohm, na qual **Resistência = Pressão/Fluxo**; conhecendo-se a pressão propulsora e o fluxo, a resistência é calculada. Resistência de vias aéreas (Rva) pode ser então definida como a diferença de pressão entre o alvéolo e a boca dividida pela taxa de fluxo ou como a pressão necessária para produzir um fluxo de 1L/s para dentro e para fora dos pulmões. A condutância das vias aéreas (Gva), o inverso da resistência, é o fluxo gerado por unidade de pressão através das vias aéreas, sendo fornecida juntamente com a Rva.

Quando a resistência das vias aéreas é medida por pletismografia, a pressão alveolar é estimada após oclusão de um obturador, situado ao nível da boca.

Lista de abreviaturas

P – Pressão

V – Fluxo

Rva – Resistência das vias aéreas. A resistência das vias aéreas (Rva) é referida em cmH₂O/L/s.

Gva – Condutância das vias aéreas. A condutância das vias aéreas é referida em L/s/cmH₂O e é recíproca da resistência (1/Rva).

Rva x Vp – Resistência das vias aéreas específica, corrigida para o volume pulmonar.

Gva/Vp – Condutância das vias aéreas, corrigida para o volume pulmonar. A condutância específica das vias aéreas é referida em L/s/cmH₂O/L e é recíproca da resistência (1/Rva) dividida pelo volume pulmonar na qual a medida da resistência foi feita.

VGT – Volume de gás torácico. VGT é expresso em litros (BTPS) e é o volume de gás no pulmão quando o obturador bucal está fechado. Em estudos pletismográficos, é comumente usado para representar a capacidade residual funcional (CRF).

Existem duas presunções fundamentais nesta abordagem⁽³⁾. A primeira é que a pressão medida imediatamente após a oclusão da via aérea reflete a mesma força propulsora que causou o fluxo antes da oclusão. Esta presunção é geralmente verdadeira em um intervalo curto, se o paciente foi bem estimulado e continua a gerar o mesmo esforço respiratório. Pode-se avaliar a validade desta presunção observando-se o sinal de pressão-volume resultante.

A segunda presunção é baseada no princípio de Pascal, que afirma que à medida que não existe fluxo, qualquer pressão imposta em um ponto de um tubo preenchido com fluido ou gás irá ser distribuída igualmente através do tubo. O princípio de Pascal foi desenvolvido para tubos rígidos; devido a que as vias aéreas não são completamente rígidas, presunções de que a pressão de boca iguala a pressão alveolar pode ser inválida, particularmente se o esforço do paciente muda em resposta à oclusão. Com vias aéreas de complacência variada, é possível que a expansão maior de uma região particular de via aérea poderia permitir um desvio de ar para esta região, assim violando a presunção de que o fluxo aéreo cessou. Este conceito tem sido proposto como uma possível explicação para a hiperestimativa dos volumes pulmonares por pletismografia em asmáticos e as medidas hiperestimadas de pressão alveolar durante as medidas de resistência de vias aéreas. Instruções apropriadas e a redução da fre-

quência respiratória para 60-90 respirações por minuto eliminam esta preocupação.

Durante a respiração, ocorre uma diferença (ΔP) de pressão entre o alvéolo e a via aérea aberta (boca), o que gera um fluxo. Se não há fluxo, a pressão fica igual a zero e não há resistência. A resistência das vias aéreas está diretamente relacionada com a pressão e inversamente relacionada com o fluxo aéreo: $Rva = \Delta P (P_{atm} - P_{alv}) / V$.

O aumento da pressão de condução e alterações da pressão transmural das vias aéreas requeridos para aumentar o fluxo também leva a alterações na geometria das vias aéreas intratorácicas, distendendo as vias aéreas na inspiração e acentuando o estreitamento dinâmico na expiração. Assim, a resistência expiratória tende a ser mais alta que a resistência inspiratória.

Há vários fatores que interferem na resistência das vias aéreas: o tamanho das vias aéreas (calibre interno menor ocasiona maior resistência), o número de vias aéreas (a redução da área transversal gera maior resistência) e a retração elástica pulmonar (se aumentada reduz a resistência).

Durante a respiração normal há queda de pressão ao longo da árvore brônquica, sendo os bronquíolos a área de menor resistência, devido ao seu grande número e grande área de secção transversal.

Outras variáveis podem influenciar a resistência, como os volumes pulmonares. A relação entre a Rva e o volume pulmonar é hiperbólica: em grandes volumes pulmonares, o diâmetro das vias aéreas aumenta e a resistência cai; em baixos volumes pulmonares, sucede o contrário (Figura 1). Conseqüentemente torna-se necessário saber o volume pulmonar absoluto no qual a resistência está sendo medida.

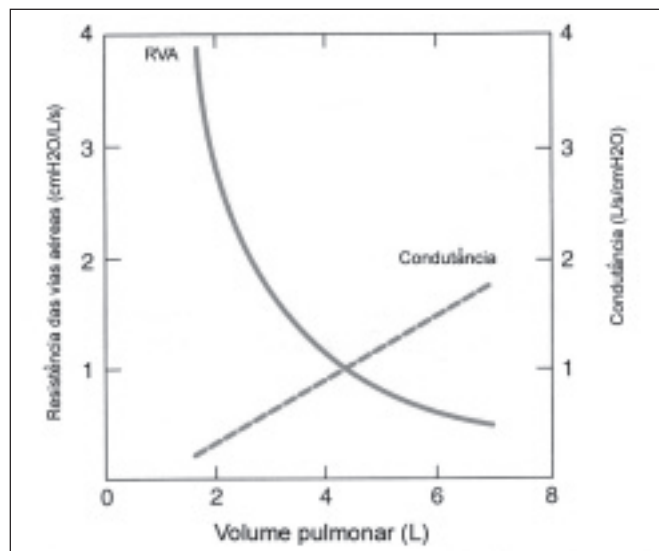


Figura 1 – Variação da resistência e da condutância das vias aéreas com o volume pulmonar

As manobras para medida da Rva por pletismografia não necessitam de inspiração profunda, a qual pode alterar o tono muscular em normais e asmáticos⁽⁴⁾. Em indivíduos normais, a inspiração profunda causa dilatação das vias aéreas, enquanto que em asmáticos pode haver broncoconstrição.

A resistência específica das vias aéreas (Rva/Vp) é obtida multiplicando-se a Rva pelo volume no qual foi medida: $Rvs \times Vp = Rva \times VGT$.

A recíproca da resistência chama-se condutância das vias aéreas (Gva), que é a maior ou menor facilidade com que a via aérea se deixa permear (Rigatto). A relação entre condutância e volume pulmonar é linear. Em baixos volumes pulmonares a condutância é baixa e em altos volumes pulmonares a condutância é alta. A relação entre Gva e volume pulmonar é denominada de condutância específica das vias aéreas (Gva/Vp). $Gva = 1/Rva$; $Gva/Vp = Gva/VGT$.

Fluxo aéreo resulta quando a pressão propulsora vence a resistência e a inércia. Rva pode ser caracterizada como a propriedade dinâmica da resistência friccional ao fluxo de gás através das vias aéreas uma vez que o fluxo de gás começou.

Os determinantes do fluxo aéreo são as interações entre a retração elástica, resistência das vias aéreas e o esforço do paciente, que varia dependendo do grau de esforço (expiração forçada ou respiração quieta).

Durante a inspiração, a contração do diafragma e outros músculos inspiratórios expande a caixa torácica, o que cria um gradiente de pressão entre os alvéolos e a boca. Quando este gradiente é suficiente para vencer a resistência, o fluxo inspiratório ocorre. Expiração durante a respiração quieta é basicamente um processo passivo. À medida que os músculos inspiratórios relaxam, a retração elástica reverte o gradiente de pressão de modo semelhante a um balão inflado, uma vez que a oclusão é liberada. Em ambas as fases, a magnitude do fluxo aéreo é determinada pelo gradiente de pressão e Rva. A retração elástica, complacência e o suporte estrutural da via aérea normalmente atuam para maximizar o tamanho da via aérea, expandindo-a durante a inspiração à medida que o volume pulmonar aumenta e resistindo à compressão durante a expiração. Mudanças na Rva refletem alterações na área de secção transversal das vias aéreas.

O parênquima e as vias aéreas são, portanto, interdependentes. O parênquima depende das vias aéreas para fornecer o volume de gás para expansão; as vias aéreas dependem do parênquima para fornecer as forças estabilizadoras que mantêm a permeabilidade das vias aéreas e a distensão para expandir o tamanho da via aérea.

Partindo-se da capacidade pulmonar total, a expiração forçada irá resultar em fluxos máximos no início da expi-

ração. Isto ocorre porque em altos volumes as vias aéreas estão dilatadas (e com mínima resistência), a retração elástica do parênquima é máxima, bem como o esforço do paciente, pela vantagem dos músculos expiratórios. Os fluxos progressivamente são reduzidos à medida que o volume pulmonar decai. À medida que o volume residual é atingido, a forma da curva passa a sofrer maior influência da condutância das vias aéreas.

Em algum ponto, geralmente em torno da Capacidade Residual Funcional (CRF), o efeito da resistência das vias aéreas se torna o fator dominante no fluxo aéreo. Com ulteriores reduções no volume pulmonar, a estabilidade das vias aéreas se torna o fator predominante à medida que forças compressivas aumentam no ponto de fechamento da via aérea.

Esta inter-relação também esclarece a concepção equivocada de que a espirometria provê a mesma informação que a Rva. As medidas derivadas da manobra expiratória forçada dependem da pressão propulsora (pressão elástica), do esforço do paciente bem como da Rva.

Em pacientes com distúrbios restritivos e obstrutivos, o PFE e o VEF_1 em valores absolutos e percentuais podem estar reduzidos. Quando a complacência é reduzida, a incapacidade de expandir o pulmão normalmente irá resultar em queda do PFE e do VEF_1 , porque a área de secção transversal das vias aéreas não aumentou, embora a Rva medida durante a respiração quieta seja normal. O diagnóstico de obstrução usualmente é feito relacionando-se a queda do VEF_1 ou dos fluxos com a Capacidade Vital. Entretanto se esta é reduzida (ex. asmático obeso), a relação VEF_1/CVF poderá ser normal. Nesta situação o aumento da Rva ou a redução da condutância específica indicam a presença de obstrução.

Durante a respiração não forçada em volumes pulmonares ao redor da CRF, a importância da retração elástica, complacência e esforço do paciente como determinantes do fluxo são diminuídos e o efeito da Rva se torna dominante. Existem essencialmente três causas de Rva aumentada durante a respiração normal: 1) oclusão das vias aéreas; 2) constrição do músculo liso; ou 3) colapso das vias aéreas. Estas condições também afetam o fluxo aéreo máximo à medida que a expansão pulmonar não pode aumentar o calibre das vias aéreas. O colapso das vias aéreas é sugerido pela preservação da resistência e fluxos inspiratórios, com redução dos fluxos expiratórios associada à resistência expiratória elevada.

2. MEDIDAS

A pletismografia de corpo inteiro determina o volume de gás torácico bem como a resistência das vias aéreas. Os pletismógrafos podem ser de pressão variável e volume constante, volume variável e pressão constante e de

fluxo variável com volume e pressão constantes. Os primeiros são os mais comuns.

A medida do volume pulmonar se baseia na lei de Boyle, que reza que o volume de um gás em temperatura constante varia inversamente com a pressão aplicada (ver volumes pulmonares).

O pletismógrafo de corpo inteiro é um aparelho composto de um sistema computadorizado acoplado a uma cabine, que deve ser hermeticamente fechada e que possui sensores que captam variações de pressão internas com grande sensibilidade, as quais variam com mudanças no volume do tórax. Estas variações de pressão refletem portanto variações de volume pulmonar⁽²⁾. Na cabine há também um pneumotacógrafo com uma válvula solenóide que permite o registro contínuo e instantâneo do fluxo aéreo. A válvula, comandada do exterior, permite bloquear o fluxo aéreo.

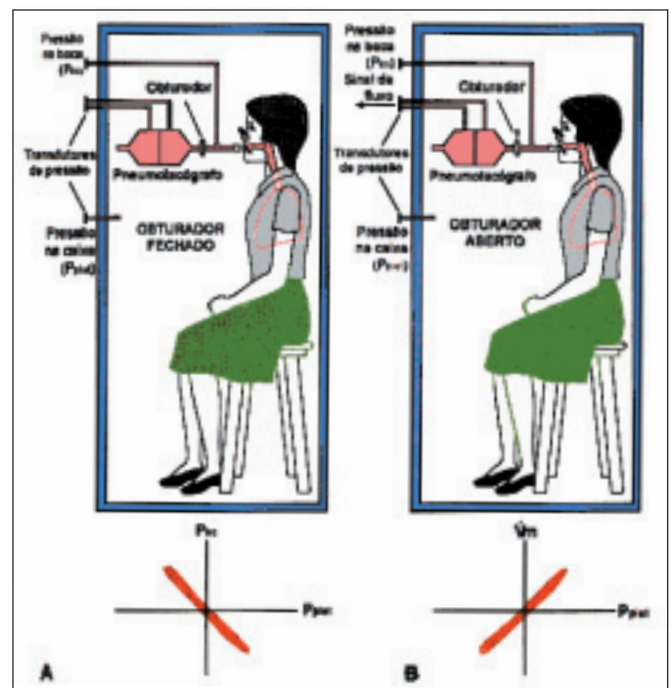


Figura 2 – Medida da resistência das vias aéreas por pletismografia

A calibração deve ser efetuada diariamente, em duas etapas: calibração do fluxo e do integrador com injeções de volume e dos transdutores de pressão com a geração de pressões conhecidas.

A Rva é medida mais frequentemente enquanto o paciente está encerrado em um pletismógrafo de volume constante, construído para medir variações de pressão e fluxo. Duas manobras são requeridas: 1) arquejo com o obturador aberto; 2) arquejo com o obturador fechado. A seguinte explicação presume um pletismógrafo do tipo

volume-constante, embora outros tipos possam ser usados.

Durante a manobra de arquejo com o obturador aberto, a pressão na cabine (Pplet) e o fluxo são medidos e mostrados, de modo que a inclinação da relação (isto é, $\Delta P/\Delta P_{plet}$) possa ser determinada (Figura 3). Note que durante a expiração, a Pplet diminui porque o gás nos alvéolos é comprimido pela pressão necessária para gerar o fluxo.

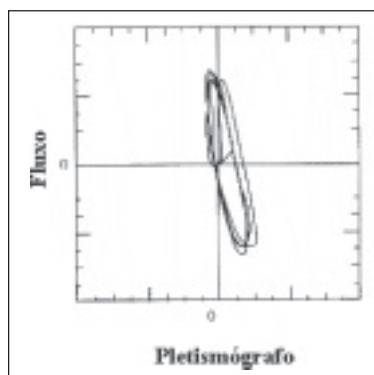


Figura 3 – Representação gráfica de uma alça de resistência com obturador aberto em que a pressão da caixa é desenhada contra a variação do fluxo

Imediatamente após a manobra de arquejamento com o obturador aberto, o obturador é fechado e o paciente arqueja contra o obturador fechado. As mudanças na pressão pletismográfica (ΔP_{plet}) são então medidas e mostradas de modo que a inclinação da relação (isto é, $\Delta P/\Delta P_{plet}$) pode ser determinada (Figura 4). A Rva é obtida da razão das duas inclinações do seguinte modo:

$$Rva = \frac{\Delta Pbc/\Delta Pplet}{\Delta V/\Delta Pplet}$$

Pbc = pressão na boca

ou

$$Rva = \frac{\Delta Pbc}{\Delta V}$$

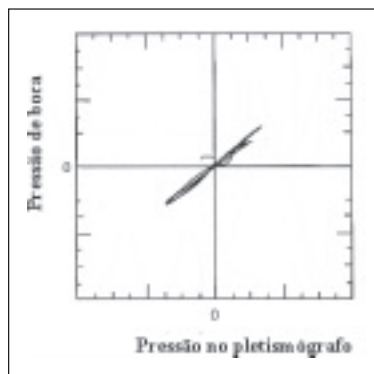


Figura 4 – Traçado obtido com obturador fechado em que a pressão de boca é plotada contra a pressão na caixa

Durante as medidas de resistência, o paciente está sentado com os lábios firmemente fechados em torno do dispositivo sensor de fluxo, usando um grampo nasal, e sustentando as bochechas com as mãos espalmadas. O paciente é instruído a gentilmente arquejar (movendo de 50 a 100ml por respiração). A frequência deve situar-se entre 90-150 respirações por minuto (60 a 90 em casos de obstrução moderada/acentuada ao fluxo aéreo). Durante esta fase, $\Delta V/\Delta P_{plet}$ é mostrada no monitor. Quando um número de arquejos tecnicamente aceitáveis é obtido (tipicamente 3), um obturador bucal é fechado e $\Delta Pbc/\Delta P_{plet}$ é medida, permitindo a medida do volume pulmonar no qual a Rva foi obtida.

Assim, durante as medidas de resistência feitas em um pletismógrafo, o paciente deve selecionar o volume pulmonar no qual sente-se confortável para realizar a manobra (e não deve ser forçado a arquejar na CRF) desde que valores derivados serão ajustados para o volume. Quando o paciente sente-se confortável durante o teste, os resultados são mais consistentes e aceitáveis e serão obtidos em menor tempo. Quando indivíduos com limitação ao fluxo aéreo com ou sem hiperinsuflação são instruídos para arquejar, eles invariavelmente realizam as medidas de resistência em volumes acima da CRF. O valor da Rva em volume pulmonar maior será menor que o valor na CRF, mas o ajuste para o volume irá mostrar que há limitação ao fluxo aéreo (resistência específica elevada ou condutância específica reduzida).

A resistência é expressa como a média de ambas, a resistência inspiratória e expiratória. Contudo, estas podem ser expressas separadamente. À semelhança das curvas espirométricas forçadas ex e inspiratórias, as medidas separadas da Rinsp e Rexp podem indicar doenças específicas de vias aéreas. As medidas de resistência isoladamente são limitadas desde que o volume pulmonar exerce um papel importante em sua determinação. Assim, valores ajustados para o volume devem ser incluídos quando se avalia a presença ou o grau de disfunção pulmonar. Rva é comumente elevada na asma, bronquite crônica, estenose de cordas vocais, tumores de vias aéreas e em indivíduos com pequeno tamanho pulmonar (indivíduos baixos).

Obstrução na espirometria associada a Rva normal aponta para obstrução de vias aéreas periféricas ou enfisema.

No enfisema a resistência expiratória é maior do que a inspiratória, que é normal. A Gva/Vp reduzida indica obstrução ao fluxo aéreo e é normal na presença de tamanho pulmonar pequeno.

3. REALIZAÇÃO DO TESTE⁽⁵⁾

A técnica descrita a seguir refere-se a teste realizado em pletismografia de corpo de volume constante e pressão variável, o tipo mais utilizado.

- O paciente não deve fumar por pelo menos 1 hora antes do teste. Refeição e atividade física também devem ser evitadas neste prazo.

- Broncodilatadores devem ser suspensos antes do exame, à semelhança do descrito em espirometria.

- O diagnóstico clínico e a indicação do exame devem ser anotados; idealmente a radiografia deveria ser revista.

- Os transdutores do pletismógrafo devem preencher as seguintes especificações.

Pressão bucal: ± 20 a $50\text{cmH}_2\text{O}$

Pressão cabina: $\pm 2\text{cmH}_2\text{O}$ com caixa de 500L

Fluxo: $< 2\text{L/s}$

Calibração e verificação

- Assegure-se de que o tubo do transdutor de pressão está conectado na seqüência apropriada, de acordo com a recomendação do fabricante.

- Ligue o equipamento e deixe aquecer pelo tempo adequado.

- Verifique se a porta está livre de vazamento em cada dia de uso.

- Verifique a velocidade de fechamento do obturador bucal e a facilidade de: ativação, fechamento e abertura. O obturador não deve emperrar ou fechar lentamente.

- A calibração do equipamento deve ser realizada pelo menos uma vez ao dia antes dos testes e a cada 4 horas durante o uso.

A calibração de múltiplos transdutores de pressão é necessária. O técnico deve usar um manômetro de água (ou método equivalente) que é capaz de acuradamente dar uma pressão de $\pm 20\text{cmH}_2\text{O}$ (para calibração da pressão da caixa) e um rotâmetro capaz de gerar 0 a 15L/s (para calibração do dispositivo sensor de fluxo).

Em alguns sistemas, a seringa de calibração é usada para calibrar o fluxo. A calibração do dispositivo para medida de volume com uma seringa de calibração de 3,0L deve ser realizada a cada dia do teste. O valor deve diferir $\pm 3\%$ no máximo.

Teste

- O procedimento total deve ser explicado e demonstrado ao paciente. Deve-se salientar a importância de relaxar e respirar “normalmente” entre as medidas e da necessidade de arquejar enquanto as bochechas são sustentadas com as mãos espalmadas.

- A manobra de arquejamento (durante o obturador aberto) requer que as respirações sejam: pequenas (~ 50 a 100ml), rápidas (90 a $150/\text{min}$; com obstrução ao fluxo aéreo 60 - $90/\text{min}$) e uniformes (igual volume de entrada e saída).

- Demonstre a manobra e use frases descritivas. Com o obturador aberto: arquejar “como um cachorrinho”. Obturador fechado: “parecido como respirar com as costas das mãos sobre a boca”.

- Conforte o paciente constantemente, para reduzir a ansiedade associada com o teste ou por estar fechado numa cabine, enfatizando que: o teste deve durar menos de 5 minutos; se o paciente quiser, o teste pode ser interrompido e a porta aberta.

- Verifique se o sistema de comunicação está funcionando. Feche a porta do pletismógrafo e espere o equilíbrio térmico. Informe ao paciente que a temperatura interior deve alcançar um certo nível antes do início do teste, o que pode ser um pouco desconfortável. Observe o paciente e pergunte se está tudo bem.

- Instrua o paciente para inserir a peça bucal, assegurando que a língua ou os dentes não estejam bloqueando o dispositivo. Depois de colocar o clipe nasal e sustentar as bochechas com os dedos, peça ao paciente para relaxar os ombros e respirar normalmente.

- Ative o computador. Peça ao paciente para arquejar com pequeno volume na frequência desejada (usualmente mostrada na tela). As alças com o obturador aberto devem ser fechadas (ou quase) e lineares (não elípticas), particularmente na faixa de $\pm 0,5\text{L/s}$. O traçado inteiro deve estar visível e dentro da faixa de pressão calibrada (mostrada na tela).

- Assim que duas a três alças com o obturador aberto forem coletadas, feche o obturador bucal e instrua o paciente a continuar arquejando. A alça Pbc/Pplet deve ser fechada ou quase fechada. Variações de pressão aceitáveis devem estar dentro da faixa de pressão calibrada de cada transdutor. O traçado inteiro deve ser visível. As mudanças de pressão que são muito grandes ou muito pequenas podem dar resultados errôneos. Durante a coleta dos dados com o obturador fechado, o tempo deve ser curto ($\leq 2\text{s}$), para evitar desconforto.

- Abra o obturador e instrua o paciente para respirar normalmente.

- Repita as manobras até que quatro a cinco manobras aceitáveis sejam obtidas.

- Assegure que o paciente volta ao volume corrente entre as manobras. A inspiração profunda pode resultar em broncodilatação ou broncoconstrição.

Encoraje o desempenho do paciente durante cada tentativa, oferecendo sugestões de como melhorar em manobras subseqüentes (ex. “reduza a frequência da respiração”, “respire usando volumes menores”, “faça o mesmo na próxima tentativa”).

Pergunte ao paciente se ele é capaz de continuar ou necessita de um período de repouso. Inspeção visualmente cada manobra para assegurar que preenche critérios de aceitação de que não há evidência de desvio térmico e de que as frequências de arquejo são semelhantes. Em alguns indivíduos os valores da Rva tornam-se piores em altas frequências, possivelmente devido às constantes

de tempo desiguais dentro das vias aéreas (“resistência dependente da frequência”).

Se medidas seriadas devem ser realizadas, a frequência de arquejamento deve ser mantida a mesma, para ajudar na interpretação.

Resultados

A média de três a cinco manobras aceitáveis deve ser relatada (o que pode requerer fluxo de +0,5 a -0,5L/s). Para alças que exibem histerese, as alças inspiratórias podem ser usadas e o relatório deve conter um comentário a respeito.

O relatório deve comentar sobre a qualidade do teste e, se apropriado, que critérios não foram alcançados.

Qualidade do teste

Os resultados são válidos se o equipamento funciona bem e o indivíduo é capaz de realizar as manobras de uma maneira aceitável e reprodutível.

Manobras de VGT podem ser consideradas aceitáveis quando:

1. O traçado indica técnica de arquejamento apropriada; a alça da Pbc/Pplet (obturador fechado) deve ser fechada ou quase. O paciente deve sustentar as bochechas com as mãos para impedir mudanças de pressão induzidas pela boca. Isto deve ser feito sem suportar os cotovelos ou elevar os ombros.

2. As mudanças de pressão registradas devem estar dentro da faixa de pressão calibrada de cada transdutor. O traçado inteiro deve ser visível. Variações de pressão que são muito grandes ou muito pequenas podem dar resultados errôneos.

3. Deve haver evidência de equilíbrio térmico, os traçados não devem sofrer desvios.

4. A frequência de arquejamento deveria ser de aproximadamente 1Hz.

O VGT relatado

1) deve ser a média de 3 a 5 manobras aceitáveis, separadas;

2) deve ser calculado usando-se as tangentes ou ângulos que concordam 10% da média; a média de valores altamente variados pode ser relatada, com a observação de variabilidade;

3) deve-se indicar se o volume torácico era na CRF ou em outro nível;

4) deve ser comparado com outras determinações de volume (diluição He, lavagem N₂) se realizadas;

5) para alguns sistemas deve ser corrigido para o peso do paciente.

Uma manobra de capacidade vital lenta. A maior CV obtida deve ser usada para cálculo dos volumes pulmonares derivados. A CI e o VRE devem ser retirados da maior CV.

Comentários

Deve ser enfatizado que as medidas são feitas durante o fluxo aéreo e o fechamento do obturador é meramente um dispositivo de calibração para expressar Pplet em termos de Palv. O fechamento do obturador permite, entretanto, a estimativa simultânea do volume de gás torácico e daí o cálculo da condutância específica das vias aéreas.

Stanescu *et al.*⁽⁶⁾ chamaram a atenção para o erro potencial em pacientes com obstrução ao fluxo aéreo pelo uso da mudança da pressão de boca para indicar a mudança da pressão alveolar – o mesmo erro que causa hiperestimativa do VGT também leva a hiperestimativa da condutância das vias aéreas (subestimativa da resistência das vias aéreas) mas, desde que a Gva e o VGT são alterados na mesma proporção, Gva/Vp não é afetada. A realização do teste com frequências respiratórias mais baixas elimina este problema.

Certas condições patológicas resultam em vazamento no sistema (como tímpanos perfurados ou vazamento na peça bucal). Variações diurnas na função pulmonar causam diferenças; repetir na mesma hora do dia. As medidas de resistência devem preceder as manobras expiratórias forçadas, as quais podem causar broncoespasmo e alterar os valores de repouso. Pacientes com asma não devem realizar manobras de inspiração profunda entre as medidas, o que pode alterar a R, em geral para mais, às vezes para menos.

Padrões

Normalmente, a curva pressão-fluxo, R x V, é discretamente sigmóide, e a pressão de boca *vs.* pressão pletismográfica, com o obturador fechado, é uma linha reta.

Padrão de resistência menor que o normal é observado em pacientes que têm pressão pleural excessivamente negativa ou tração maior que o normal dos tecidos pulmonares sobre as paredes das vias aéreas, como ocorre em fibrose. Isto usualmente é acompanhado por um volume de gás torácico reduzido; assim, a inclinação do volume pulmonar é desenhada como uma linha mais vertical.

Durante o arquejamento, a interface entre o ar quente e úmido dos pulmões e o ar mais frio e seco do pletismógrafo permanece dentro do pneumotacógrafo e daí o fluxo de calor e vapor d'água de um para o outro continua na mesma taxa durante a inspiração e a expiração. Com inspiração mais profunda, o ar mais frio e seco entra nos pulmões, rapidamente recebendo calor, vapor d'água e CO₂, assim expandindo e deslocando a pressão pletismográfica para a direita. Durante a expiração profunda, o ar úmido e quente dos pulmões ultrapassa o tacógrafo e entra no pletismógrafo, onde lentamente esfria e condensa. Tais

mudanças não ocorrem enquanto o obturador está fechado.

O erro mais comum associado com o teste pletismográfico é a falência de alcançar o equilíbrio térmico antes de iniciar o teste. Pplet com a via aérea aberta pode ser usada como uma função da pressão alveolar apenas se mudanças não ocorrem devido à temperatura e umidade do gás e para isso a cabine deve ter umidade e temperatura semelhante às corporais (daí o calor e a umidade dentro do pletismógrafo). O equilíbrio térmico é atingido em certo tempo, usualmente 1 a 3 minutos, dependendo do tamanho do indivíduo e do volume da câmara.

Instabilidade térmica pode ser reconhecida durante o teste pela presença de desvio no traçado, o que causa variações do sinal na tela (Figura 5).

Este desvio torna impossível a verificação precisa das mudanças da pressão alveolar e assim nenhum teste deveria ser realizado até que o desvio não seja mais evidente.

O segundo erro mais comum se relaciona com instruções inadequadas. A determinação da Rva é diferente de outros testes de função pulmonar no sentido de que o paciente não é solicitado para realizar esforços máximos. Durante a manobra de Rva, o paciente deve fazer excursões suaves antes e depois do fechamento do obturador.

Estes esforços devem ser cuidadosamente controlados para tamanho e frequência. Comumente, o esforço do paciente é muito grande (Figura 6).

A prática é essencial. Uma boa técnica é praticar a manobra com o indivíduo antes de fechar a porta da cabine e repetir a manobra enquanto se aguarda para o equilíbrio térmico.

Outra abordagem excelente é treinar o indivíduo e fazer a medida da Rva antes de fechar a válvula e medir o volume de gás torácico. Isto é baseado na premissa de que é mais fácil ensinar ao paciente arfar com o obturador aberto do que com ele fechado.

Os traçados deveriam incluir esforços na faixa de $\pm 2L/s$ de fluxo com o obturador aberto e semelhantes com o obturador fechado. Esforços grandes tendem a reduzir a reprodutibilidade e adicionam efeitos de histerese ao traçado; esforços pequenos tendem a ampliar os erros de medida associados com o desenho da linha através dos dados.

Outros padrões que denotam problemas técnicos são mostrados na Figura 7⁽³⁾.

A formação de alça com o obturador fechado pode ocorrer se há um vazamento no pletismógrafo, na peça

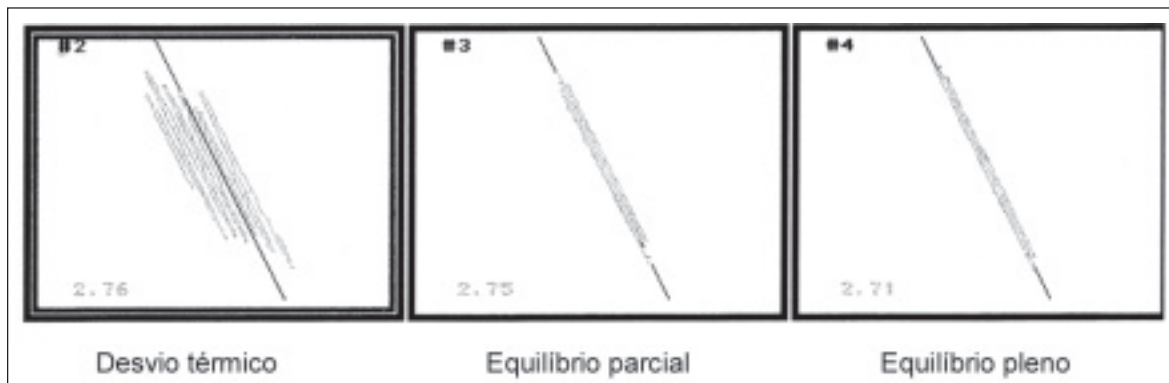


Figura 5 – Equilíbrio térmico na pletismografia

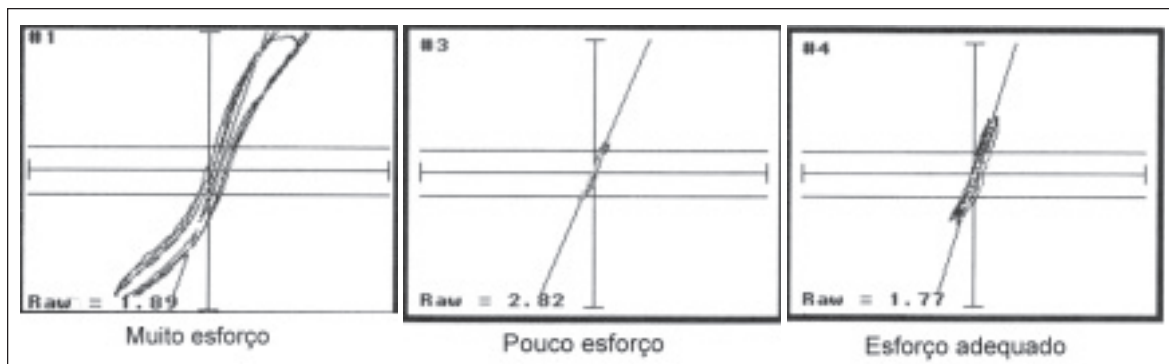


Figura 6 – Esforços variáveis na determinação da resistência das vias aéreas

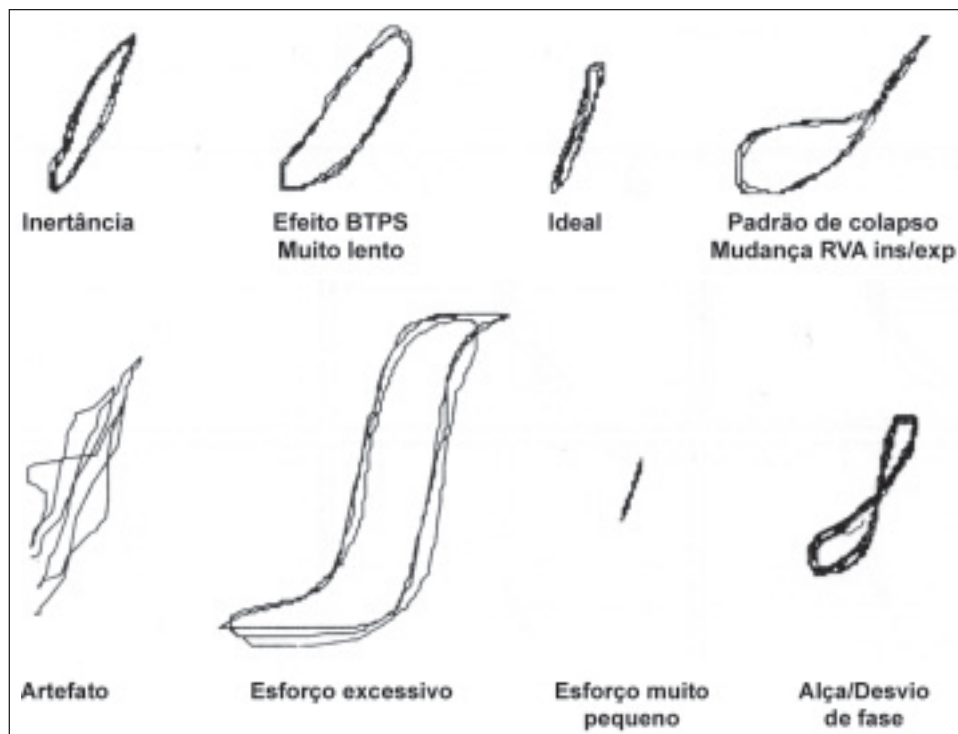


Figura 7 – Alças de medida da resistência

bucal, clipe nasal não está sendo usado ou está mal colocado, o tubo que mede a pressão bucal está parcialmente obstruído, há fechamento da laringe, as bochechas estão abauladas, ou existe grande quantidade de gás abdominal.

Na presença de obstrução ao fluxo aéreo, a curva é mais inclinada para a direita, mas não pode ser horizontal. Alguns pacientes têm uma curva pressão-fluxo que é dobrada no meio, indicando que a resistência associada com a direção expiratória do fluxo aéreo é maior que aquela que ocorre durante a inspiração. Esta curva em **8** denota respirações muito rápidas que excedem as características de frequência de resposta do pletismógrafo ou heterogeneidade das constantes de tempo entre as unidades pulmonares⁽⁵⁾. Esta situação é comumente remediada solicitando-se ao paciente que respire em frequências menores.

Uma alça no sentido dos ponteiros do relógio na curva inspiratória revela um aumento da resistência à medida que o volume pulmonar é reduzido (padrão de colapso, mudança na Rva inspiração/expiração). Ocasionalmente se percebe uma alça completa (inertância). Isto implica que o gás em parte do pulmão não pode ou não entra ou não deixa aquela região em tempo de liberar sua pressão à medida que o fluxo de gás inspiratório e expiratório cessa no pneumotacógrafo. Gás aprisionado se comporta desta maneira. Enchimento e esvaziamento retardado de regiões também atua da mesma maneira. Deve-se reduzir a frequência respiratória, para tentar minimizar a

alça. Para se assegurar da existência de tal alça deve-se descartar um desvio de fase no tacógrafo, artefato de temperatura do gás, peça bucal frouxa, abaulamento de bochechas e vazamento no pletismógrafo).

Rexp e Rinsp, se medidas separadamente: o ângulo deve incluir fluxos de 0 a -1,0L/s para a resistência inspiratória e 0 a +1,0L/s para a resistência expiratória (Figura 8).

O valor da condutância e resistência específicas jaz na consideração do volume pulmonar no qual são medidos. Devido a que a Rva normalmente diminui com o volume pulmonar aumentado, uma reação compensatória normal para pacientes com DPOC é hiperinsuflação para

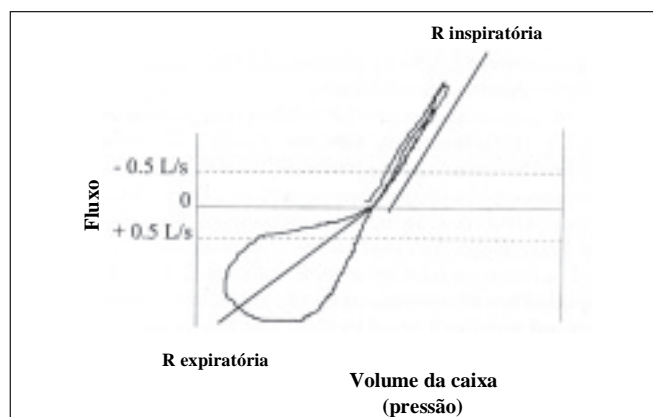


Figura 8 – Padrão de colapso das vias aéreas com medidas em separado da R inspiratória e R expiratória

manter uma resistência menor. Seguindo-se broncodilação, se a hiperinsuflação é removida, a Rva pode parecer inalterada, mesmo que melhora significativa seja notada nos volumes e fluxos pulmonares. O uso da Gva e Rva específicas permite a detecção de pequenas mudanças no calibre das vias aéreas, a despeito da compensação de volume.

4. INDICAÇÕES

A determinação por pletismografia corporal do VGT, Rva e Gva pode ser indicada em diversas situações.

1) Melhor classificação dos distúrbios ventilatórios

Pletismografia é o método mais rápido e acurado para medir os volumes pulmonares absolutos. O pletismógrafo mede o volume total compressível no tórax e sua acurácia não é afetada pela presença de espaços aéreos mal ventilados, que freqüentemente resulta em subestimativa do volume pulmonar pelas técnicas de diluição dos gases. Os valores em indivíduos normais para os volumes não diferem entre as técnicas com diluição dos gases e com pletismografia e, assim, podem ser adotadas as equações usuais.

Vinte a quarenta por cento dos distúrbios restritivos, assim caracterizados pela espirometria, serão classificados como inespecíficos quando se mede a CPT⁽⁷⁾. Em pacientes com obstrução ao fluxo aéreo e CV(F) reduzida, a determinação da CPT é necessária para classificação correta do distúrbio, como misto ou obstrutivo isolado. Quando a CV(F) se situa na faixa prevista, a CPT raramente será reduzida, de modo que sua medida é supérflua.

Nas doenças com obstrução ao fluxo aéreo, a CPT tende a aumentar. Portanto, na presença de distúrbio combinado, o que se espera é uma CPT não tão elevada para o que seria esperado em obstrução ao fluxo aéreo (mas que pode se situar na faixa normal) e não apenas abaixo do previsto. Se esta última for usada para caracterizar distúrbio misto, raramente este diagnóstico funcional será feito.

Em 668 pacientes com DPOC, Dijkstra⁽⁸⁾ encontrou por pletismografia, VR em média de 190%, variando (IC 95%) entre 105 e 297%. A CPT foi em média 111%, variando entre 90 a 154%. Em 268 asmáticos a CPT variou entre 88-134% do previsto. Pereira e Sato⁽⁹⁾ avaliaram a CPT por diluição de hélio em 100 pacientes com obstrução ao fluxo aéreo. Doença potencialmente restritiva associada foi excluída por achados clínicos e cardiológicos. A CPT foi em média de 122% e o 5º percentil foi de 94%. Com base nestes dois estudos, o achado de obstrução ao fluxo aéreo associado com CPT ≤ 90% sugere distúrbio misto. Algoritmos para interpretação dos distúrbios ventilatórios com as medidas de volume por pletismografia são mostrados nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1
Interpretação da função pulmonar quando a CV(F) é reduzida e pletismografia é disponível (I)

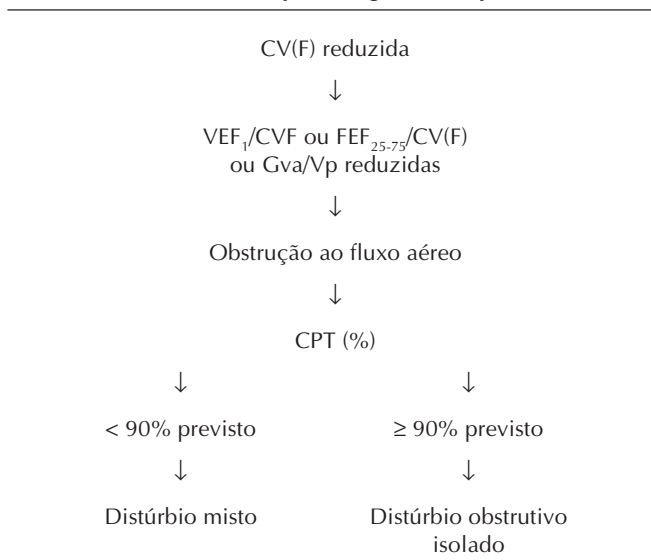
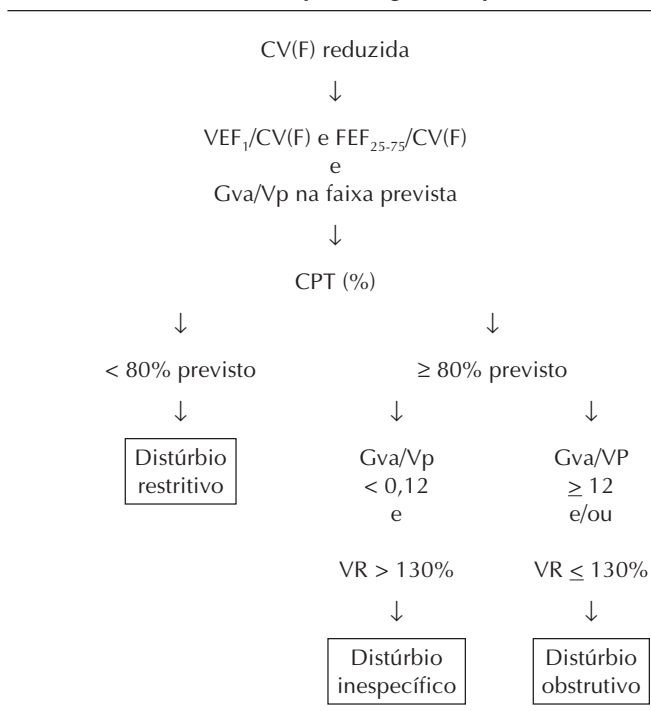


TABELA 2
Interpretação da função pulmonar quando a CV(F) é reduzida com pletismografia disponível (II)



2) Doenças obstrutivas

A medida da CV reflete primariamente a função parenquimatosa. O Pico de Fluxo reflete primariamente a retração elástica, o volume pulmonar, e a força. Os volu-

mes em determinados tempos refletem a função da via aérea, o componente parenquimatoso, e a diferença de pressão entre os alvéolos e a boca à medida que ela se relaciona com o ponto de igual pressão e estreitamento das vias aéreas; contudo elas são menos sensíveis à força ou ao esforço. Quando o fluxo é prejudicado, os volumes forçados englobam volumes pulmonares mais elevados e assim englobam disfunção parenquimatosa e de vias aéreas. Com restrição os volumes forçados incluem mais da CV total e assim a ênfase se desloca para o envolvimento parenquimatoso.

As medidas da Rva ou Gva, por outro lado, refletem predominantemente o calibre das vias aéreas. A maior parte da Rva reside nas grandes vias aéreas acima da 4ª geração e inclui a orofaringe. Hogg⁽¹⁰⁾ sugeriu que as vias aéreas periféricas (< 2-3mm) contribuem com aproximadamente 20% da resistência total em normais, mas estudos mais recentes estimam a contribuição relativa a aproximadamente 40%^(11,12). Em pacientes com DPOC, o componente periférico aumenta dramaticamente enquanto que o valor absoluto da Rva pode permanecer inalterado, devido à compensação resultante da hiperinsuflação. A Gva/Vp estará geralmente reduzida.

Há uma correlação negativa entre a resistência das vias aéreas e os fluxos expiratórios máximos e o VEF₁⁽¹³⁾, de modo que em geral a espirometria é suficiente para o diagnóstico de obstrução difusa ao fluxo aéreo, porém em casos individuais a medida da Gva pode ser mais sensível.

A pletismografia é indicada para avaliação de doenças obstrutivas como enfisema bolhoso, bronquiectasias, asma e bronquiolites, que resultam em CV(F) reduzida e volumes pulmonares artificialmente baixos se os volumes forem medidos por diluição de hélio ou lavagem de nitrogênio. Nestes casos não é incomum o encontro de falso distúrbio restritivo pela espirometria, especialmente se fatores que impedem a expansão da caixa torácica, como obesidade, estão associados.

O diagnóstico de obstrução ao fluxo aéreo pode ser feito pelo encontro de condutância específica de vias aéreas reduzida e/ou volume residual elevado. Este pode ser isoladamente elevado, o que sugere enfisema ou obstrução de vias aéreas periféricas, como visto em bronquiolites.

Um exemplo real é mostrado abaixo:

72 anos, não tabagista, feminina, obesa, dispnéia há 3 meses.
Exame físico normal. Radiografia e tomografia de tórax de alta resolução normais. Tomografia expiratória com áreas de aprisionamento de ar.

	Previsto	Pré-Bd	% previsto	Pós-Bd	% previsto	% mudança
CVF	2,91	2,10	72	2,17	75	3
VEF ₁	2,19	1,74	79	1,74	79	0
VEF ₁ /CVF	75	83		80		
FEF _{25-75%}	1,90	1,49	79	1,54	81	
TFF _{25-75%}		0,76		0,75		-1
CV	2,91	2,35	81	3,15	108	34
VR	2,26	2,38	105	1,54	68	-35
CPT	5,14	4,73	92	4,69	91	-1
Rva	1,29	3,94	306	2,65	206	-33
Gva	0,26	0,08	31	0,12	48	53
DCO	23,2	20,1	87			

Comentários: Nota-se diferença significativa entre as medidas da capacidade vital lenta e forçada (0,25L), sugestiva de aprisionamento de ar. Embora pela espirometria não se caracterize obstrução do fluxo aéreo, a condutância das vias aéreas é reduzida. Após broncodilatador houve elevação significativa da CV e da Gva, bem como redução do volume residual, demonstrando que havia ar aprisionado. A DCO é normal.

Concluiu-se como doença obstrutiva de vias aéreas periféricas.

A partir destes dados a TCAR expirada revelou áreas com aprisionamento de ar.

A biópsia transbrônquica foi inconclusiva, mas o lavado broncoalveolar mostrou linfocitose significativa. Indicada biópsia pulmonar a céu aberto, que mostrou tratar-se de bronquiolite por pneumonia de hipersensibilidade.

A paciente referia trabalho recente em ambiente com paredes mofadas.

3) Doença bolhosa

No enfisema bolhoso ou em bolhas pulmonares, estas são ventiladas colateralmente por comunicações muito pequenas, o que impede sua medida de volume pelos métodos de diluição dos gases.

Bolhas (espaços aéreos cheios de ar, de parede fina freqüentemente multiloculadas) podem ser vistas em pulmões sem outras alterações. No teste de função pulmonar, sua presença é sugerida por um aumento no volume residual medido pletismograficamente em comparação com o volume pulmonar medido pela diluição dos gases. Devido a que os espaços aéreos cheios de ar comprimem o pulmão normal, o padrão espirométrico pode ser “restritivo” na espirometria.

Mais comumente, as bolhas são parte de enfisema generalizado. Evidência funcional de limitação ao fluxo aéreo e enfisema estão presentes. As bolhas em pacientes com limitação crônica ao fluxo aéreo são mais comuns em lobos superiores.

Indicação cirúrgica: pacientes com: 1) dispnéia significativa (muitos doentes com enfisema parasseptal têm dispnéia discreta ou ausente); 2) bolhas ocupando mais de 40-50% do pulmão; 3) diferença CRF pletismográfica – CRF diluição gases > 1L; 4) Dco/VA normal ou pouco alterada (significando enfisema difuso ausente ou pouco expressivo), e 5) achados de compressão do parênquima remanescente, como CV reduzida. A TCAR pode corroborar em vários destes achados.

Uma diferença entre a CRF pletismográfica e por diluição de gases acima de 1L caracteriza espaço significativo preenchido pelas bolhas, o que, na ausência de enfisema difuso associado (como visto na TCAR ou pela Dco/VA), sugere sucesso cirúrgico^(14,15).

4) Obstrução de vias aéreas centrais

Desde que a resistência das vias aéreas é dominada pelo calibre da parte mais estreita da árvore brônquica, sua medida é particularmente sensível ao estreitamento da traquéia e laringe⁽¹⁶⁾. Lesões traumáticas e corpos estranhos em grandes vias aéreas também ocasionam aumento da resistência, acompanhada de aumento do trabalho respiratório. O fluxo aéreo na traquéia e grandes brônquios é essencialmente turbulento, e a obstrução acentua esta turbulência.

5) Resposta a broncodilatador

Watanabe *et al.* mediram as variações da resistência e condutância das vias aéreas em 75 indivíduos normais de 20 a 81 anos de idade (16 eram fumantes)⁽¹⁷⁾. Calculando-se o limite superior de resposta (teste unicaudal) as

seguintes respostas são consideradas significativas em relação ao valor inicial:

Rva – 35%; Gva – 49%; Gva/Vp – 46%

A resposta é melhor caracterizada em obstrutivos pela Gva/Vp, desde que freqüentemente o uso de Bd resulta em queda do volume pulmonar, o que pode manter a resistência inalterada ou menos reduzida. **Valores acima de 50% para Gva/Vp caracterizam broncodilatação significativa.**

Diversos estudos demonstraram que, em pacientes com obstrução ao fluxo aéreo, a melhora da dispnéia e do desempenho de exercício após broncodilatador se correlaciona melhor com a redução dos volumes pulmonares, por desinsuflação pulmonar, do que com a mudança do VEF₁^(18,19). Além disso, o broncodilatador muda a elasticidade da parede brônquica, o que facilita seu colapso na expiração. A medida da resistência das vias aéreas (que é feita sem manobra forçada) e a determinação dos volumes pulmonares, ambos possíveis pela pletismografia, permitem a rápida medida da resposta ao broncodilatador, em termos de volumes, Rva e Gva/Vp.

6) Hiperresponsividade brônquica em resposta a metacolina, histamina, carbacol ou hiperventilação isocâpnica.

O teste de broncoprovocação pode ser avaliado através de medidas de condutância específica ou de resistência das vias aéreas, embora a resposta seja usualmente avaliada pelo VEF₁. É dito que as medidas de Rva e Gva são mais variáveis que o VEF₁. Em um estudo nacional a sensibilidade e a especificidade foram semelhantes em 50 normais e 50 asmáticos, quando as respostas do VEF₁ e da Rva foram comparadas⁽²⁰⁾. Aumentos de 35% da Rva ou quedas de 35-40% na Gva/Vp são considerados significativas e ocorrem em média com doses 2,5 menores do que as necessárias para queda de 20% do VEF₁.

Seis a 15% dos pacientes com testes espirométricos negativos desenvolvem sibilos durante o teste de broncoprovocação, sem queda do VEF₁⁽²¹⁾. A inspiração profunda que precede a manobra expiratória forçada pode abolir a broncoconstrição induzida em vários pacientes. A medida da Rva, ao não utilizar manobras inspiratórias máximas, evidencia hiperreatividade nestes casos.

7) Cirurgia redutora de volume

Avaliação pletismográfica é essencial na seleção dos candidatos à cirurgia.

A medida da resistência inspiratória das vias aéreas e dos volumes pulmonares, especialmente da relação VR/CPT, são bons preditores do sucesso cirúrgico em pacientes selecionados (ver indicações de espirometria)^(22,23).

8) Para acompanhar o curso da doença e a resposta ao tratamento

Contra-indicações

Contra-indicações relativas são:

- 1) Confusão mental, incoordenação muscular, e outras condições que impeçam o indivíduo de entrar na cabine do pletismógrafo ou de realizar as manobras adequadas.
- 2) Claustrofobia
- 3) Uso de infusões IV com bombas ou outros equipamentos que não cabem no pletismógrafo, ou que podem interferir com as mudanças de pressão (ex. dreno torácico, tímpano perfurado)
- 4) Uso de O₂ contínuo que não pode ser interrompido

5. VALORES NORMAIS

Não existem estudos adequados para medida da resistência em grande número de não fumantes, selecionados ao acaso da população geral.

Os valores amplamente citados de Briscoe e DuBois são dos anos 50⁽²⁴⁾. Apenas 26 adultos com idade entre 16-81 anos, de ambos os sexos, foram estudados. Condutância específica variou entre 0,13 a 0,30L/s/cmH₂O.

Pelzer e Thomson⁽²⁵⁾ mediram a condutância específica em 82 normais, de 17-82 anos. A Gva/Vp foi independente da idade, altura e sexo e teve distribuição log-normal; apenas 47 eram não fumantes. Valores normais para condutância específica variaram de 0,11 a 0,40. Recalculando seus dados apenas para os não fumantes, (n = 47) e considerando a distribuição como log-normal, o limite inferior seria de 0,13 e o limite superior, de 0,37.

Em um grupo de 85 pacientes com espirometria normal, de acordo com o I Consenso da SBPT, avaliados na Unidade de Fisiologia Pulmonar do Serviço de Pneumologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (dados não publicados), sem alçaponamento aéreo na pletismografia, o valor da Rva foi de 1,40 ± 0,85cmH₂O/L/s (0,55 a 2,55) e da Gva/Vp 0,24 ± 0,12L/s/cmH₂O (0,12 a 0,36).

Com base nestes estudos sugerimos que os valores normais adotados sejam:

$$Rva = 0,5 \text{ a } 2,50 \text{ cmH}_2\text{O/L/s}$$

$$Gva/Vp = 0,12 \text{ a } 0,37 \text{ L/s/cmH}_2\text{O}$$

TABELA 3
Classificação de gravidade da obstrução ao fluxo aéreo pela medida da resistência⁽²⁶⁾

Rva	Gravidade
2,5-4,4	Leve
4,5-8,0	Moderada
> 8,0	Acentuada

REFERÊNCIAS

1. Jardim JRB, Romaldini H, Ratto OR. Proposta para unificação dos termos e símbolos pneumológicos no Brasil. *J Pneumol* 1983;9:45-51.
2. Dubois AB, Botelho SY, Comroe JH. A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. *J Clin Invest* 1956; 35:327-35.
3. Snow M. Airway resistance measurements. *Respir Care Clin N Am* 1997;3:235-45.
4. O'Byrne P, Zamel N. Airway challenges with inhaled constrictor mediators. In: Spector S. Provocation testing in clinical practice, Marcel Dekker, 1995;277-92.
5. Wanger J. Specific conductance/resistance by body plethysmography. In: _____. Pulmonary function laboratory management and procedure manual. American Thoracic Society, p. 1-20.
6. Stanescu DC, Rodenstein D, Cauberghe M, Van de Woestijne KP. Failure of body plethysmography in bronchial asthma. *J Appl Physiol* 1982;52: 939-48.
7. Aaron SD, Dales RE, Cardinal P. How accurate is spirometry at predicting restrictive pulmonary impairment? *Chest* 1999;115:869-73.
8. Dykstra BJ, Scanlon PD, Kester MM, et al. Lung volumes in 4,774 patients with obstructive lung disease. *Chest* 1999;115:68-74.
9. Pereira CAC, Sato T. Limitação ao fluxo aéreo e capacidade vital reduzida: distúrbio ventilatório obstrutivo ou combinado? *J Pneumol* 1991;17:59-68.
10. Hogg JC, Macklem PT, Thurlbeck WM. Site and nature of airway obstruction in chronic obstructive lung disease. *N Engl J Med* 1968;278:1355-60.
11. Hoppin FG Jr, Green M, Morgan MS. Relationship of central and peripheral airway resistance to lung volume in dogs. *J Appl Physiol* 1978;44:728-37.
12. Fullton JM, Hayes DA, Pimmel RL. Pulmonary impedance in dogs measured by forced random noise with a retrograde catheter. *J Appl Physiol* 1982;52:725-33.
13. Hyatt R, Scanlon P, Nakamura M. Interpretation of pulmonary function testing - A practical guide, Lippincott-Raven, 1997.
14. Snider GL. Reduction pneumoplasty for giant bullous emphysema. *Chest* 1996;109:540-8.
15. Mickoladze GD. Functional results of surgery for bullous emphysema. *Chest* 1992;101:119-22.
16. Shim C, Corro P, Park SS, Williams MH Jr. Pulmonary function studies in patients with upper airway obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1972;106:233-8.
17. Watanabe S, Renzetti AD Jr, Begin R, Bigler AH. Airway responsiveness to a bronchodilator aerosol. I. Normal human subjects. *Am Rev Respir Dis* 1974;109:530-7.
18. O'Donnell DE, Forkert L, Webb KA. Evaluation of bronchodilator responses in patients with "irreversible" emphysema. *Eur Respir J* 2001; 18:914-20.
19. Newton MF, O'Donnell DE, Forkert L. Response of lung volumes to inhaled salbutamol in a large population of patients with severe hyperinflation. *Chest* 2002;121:1042-50.
20. Ribeiro M, Silva RCC, Pereira CAC. Resposta brônquica ao carbacol em normais e asmáticos leves avaliada por espirometria e pletismografia. *J Pneumol* 1992;18(Supl):8.
21. Bohadana AB. Lung sounds in asthma and chronic obstructive pulmonary disease. *Monaldi Arch Chest Dis* 2000;55:484-7.
22. Ingenito EP, Evans RB, Loring SH, Kaczka DW, Rodenhouse JD, Body SC, Sugarbaker DJ, Mentzer SJ, DeCamp MM, Reilly JJ Jr. Relation between preoperative inspiratory lung resistance and the outcome of lung-volume-reduction surgery for emphysema. *N Engl J Med* 1998;338:1181-5.
23. Thurnheer R, Engel H, Weder W, Stammberger U, Laube I, Russi EW, Bloch KE. Role of lung perfusion scintigraphy in relation to chest computed tomography and pulmonary function in the evaluation of candidates for lung volume reduction surgery. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:301-10.
24. Briscoe WA, DuBois AB. The relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume in subjects of different age and body size. *J Clin Invest* 1958;37:1279-85.
25. Pelzer AM, Thomson ML. Effect of age, sex, stature, and smoking habits on human airway conductance. *J Appl Physiol* 1966;21:469-76.