
Determinação dos volumes pulmonares

Métodos de mensuração dos volumes pulmonares

SÉRGIO S. MENNA BARRETO, ANTÔNIO CÉSAR CAVALAZZI

Os volumes que se constituem em subdivisões da CV são de determinação direta, pela espirometria. O VR e os volumes que o compreendem – CRF e CPT – necessitam de determinação por meios indiretos, a saber: técnicas de diluição de gases, pletismografia de corpo inteiro e mensurações radiográficas. A determinação final dos volumes pulmonares é obtida em duas etapas, pela integração da mensuração do volume absoluto, dependendo do método empregado – usualmente obtenção da CRF – e determinação espirométrica da CI e ou da CV.

São os seguintes os métodos empregados, com suas determinações básicas:

1. Pletismografia de corpo inteiro, para a CRF
2. Diluição de gases
 - 2.1. Gases inertes: usualmente hélio (He) e argônio
 - 2.1.1. Diluição do He em circuito fechado, com respirações múltiplas, para CRF
 - 2.1.2. Diluição do He em circuito aberto, em respiração única, para CPT
 - 2.2. Nitrogênio (N₂)
 - 2.2.1. Lavado de nitrogênio em circuito aberto por respiração múltipla, para CRF
 - 2.2.2. Diluição de nitrogênio em circuito aberto por respiração única, para VR e CPT
3. Métodos radiográficos
 - 3.1. Técnica planimétrica, para CPT
 - 3.2. Técnica elipsóide, para CPT

Os métodos mais usados na determinação da CRF são os de diluição de gases. A técnica mais comum é a técnica de diluição do He em circuito fechado (com reinalação), com respirações múltiplas, seguida pelo lavado de nitrogênio em circuito aberto (sem reinalação) por respirações múltiplas. Ambos os métodos medem os espaços aéreos do pulmão que estão em comunicação com a abertura das vias aéreas (boca). Áreas de alçaonamento de ar não serão incorporadas, assim que o volume final será menor que o volume total de gás pulmonar.

- Darling RC, Cournand A, Richards DW Jr. Studies on the intrapulmonary mixture of gases: III. An open circuit method for measuring residual air. *J Clin Invest* 1940;19:609-18.
- Meneely GR, Ball CO, Kory RC, et al. A simplified closed circuit helium dilution method for the determination of the residual volume of the lungs. *Am J Med* 1960;28:824-31.

- Emmanuel G, Briscoe WA, Cournand A. A method for determination of the volume of air in the lungs: measurements in chronic pulmonary emphysema. *J Clin Invest* 1961;40:329-37.
- Schaanning CG, Gulsvik A. Accuracy and precision of helium dilution technique and body plethysmography in measuring lung volumes. *Scand J Clin Lab Invest* 1973;32:271-7.
- Newth CJL, Ernright P, Johnson RL. Multiple-breath nitrogen wash-out techniques: including measurements with patients on ventilators. *Eur Respir J* 1997;10:2174-85.
- Wanger J. *Pulmonary function testing: a practical approach*. 2nd ed. Edition. Baltimore: Williams & Wilkins, 1996.

DILUIÇÃO DO HÉLIO (He) EM CIRCUITO FECHADO, COM RESPIRAÇÕES MÚLTIPLAS, PARA CRF

O método de diluição do He por múltiplas respirações, é o mais usado. Este método utiliza-se da lei da física da mensuração das massas. O hélio, é um gás virtualmente insolúvel no sangue, o que o impede de escapar dos alvéolos para a corrente sanguínea. Assim, o espirômetro e o pulmão atuam como um sistema fechado.

Dispõe-se, para esta medida, de espirômetro volumétrico com circuito fechado, analisador de hélio, circuito respiratório com válvula unidirecional e absorvedor de CO₂ (por exemplo, cal sodada) para que o paciente possa re-inspirar do sistema. Deverá haver também um dispositivo que injete oxigênio sempre que a concentração diminuir de 21%. Uma válvula junto à peça bucal, permite conectar o paciente ao sistema fechado depois de adicionado o hélio a este sistema. O volume corrente e a curva de concentração de He são registradas na tela do computador.

Adiciona-se ao sistema fechado uma quantidade conhecida de He, que atinja uma concentração de aproximadamente 10% (onde também terá O₂ em 21% e N₂ em 69%). Com isso, calcula-se o volume do sistema:

Volume do sistema = He adicionado (L)/Fração de He inicial (% de He/100)

O paciente respira em seu volume corrente e então num momento que esteja em posição expiratória de repouso, ou seja, ao nível de CRF, abre-se a válvula e conecta-se o paciente ao sistema fechado (onde ele expirará no sistema e reinspirará a mistura gasosa que lá se encontra). À medida que o paciente respira, o He vai passando para o pulmão, havendo queda no registro de sua concentração no sistema, até encontrar-se o equilíbrio entre

o He do sistema e do pulmão. Na tela do computador, são registradas essas modificações na concentração do He. Quando a concentração não muda mais que 0,02% em 30 segundos é porque se chegou ao equilíbrio entre o pulmão e sistema (segundo Crapo, 0,05 em 1 minuto). Em normais, isso leva em torno de 3 minutos.

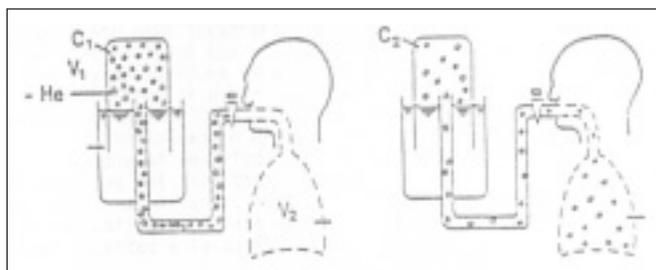


Figura 1 – Método de diluição do He em circuito fechado por respiração múltipla. C1 = concentração do He no espirômetro. V1 = volume do espirômetro. C2 = concentração de He no sistema espirômetro-pulmão. V2 = volume do pulmão em CRF (adicionado do volume do espirômetro).

Através da lei de concentração das massas, o aparelho indicará o valor da CRF:

$$V1 \times C1 = V2 \times C2,$$

Onde:

V1 é o volume inicial do sistema, que é conhecido.
C1 é a concentração inicial do He, que é conhecida.
C2 é a concentração final do He, após o equilíbrio entre o sistema e o pulmão, que também é medida pelo aparelho e conhecida.
V2 é o volume do sistema ao final do exame e é representado pelo volume inicial (V1) adicionado a CRF que era o nível respiratório do paciente quando foi conectado ao sistema.

Então:

$$V1 \times C1 = (CRF + V1) \times C2$$

$$V1 \times C1 = (CRF \times C2) + V1 \times C2$$

$$CRF = (V1 \times C1) - (V1 \times C2)/C2$$

$$CRF = V1 \times (C1 - C2)/C2$$

Como conhecemos V1, C1 e C2, facilmente teremos a CRF.

Como VR = CRF - VRE, o paciente realiza a curva da capacidade vital lenta (CVL), e dela medimos o volume de reserva expiratória (VRE) e com isso teremos o valor do VR.

Há alguns problemas relacionados a este teste em precisão, quando comparado à pletismografia:

1) O volume corrente quando o paciente está com clip nasal, respirando pela boca, poderá ser maior, o que diminuirá o VRE e portanto o VR será superestimado.

2) Há em torno de 100ml de absorção do He pela corrente sanguínea quando se usa o sistema com 6 a 8 litros, levando a leve aumento no resultado da CRF.

3) Em indivíduos com enfisema bolhoso, o He pode não penetrar nessas bolhas, subestimando a CRF.

4) Em pacientes com importante alçaponamento de ar (como em enfisematosos, asmáticos e bronquiectásicos), o equilíbrio da concentração do He pode ser extremamente demorado (por vezes mais que 10 minutos).

5) Fuga de ar (através da peça bucal mal adaptada) é causa comum de erro desta técnica.

Critérios de aceitabilidade do exame:

1) O traçado do volume corrente deve estar estável, demonstrando não haver fuga de ar

2) O padrão respiratório deve ser regular (sucessivos volumes correntes mostram gradual queda do nível expiratório de repouso com o consumo de oxigênio. A adição de O₂ retorna a respiração a sua linha de base).

3) O teste deve ser continuado até a leitura do He variar menos de 0,02% em 30 segundos ou até 10 minutos de exame.

4) A adição de oxigênio deve ser apropriada para a respiração corrente basal (200 a 400ml/minuto).

5) A curva do equilíbrio do He deve ter uma queda regular até o equilíbrio.

6) Múltiplas medidas da CRF não devem variar mais de 10%. A média das medidas aceitáveis deve ser o resultado final.

Recomenda-se repetir o teste por duas vezes para maior confiabilidade, o que deve ser feito com intervalos maiores que cinco minutos.

REFERÊNCIAS

1. American Association for Respiratory Care. Clinical practice guidelines: static volumes. Resp Care 1993;39:830-6.
2. American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. Am Rev Respir Dis 1991; 144:1202.
3. American Thoracic Society. Standardization of spirometry: 1994 update. Am Respir Crit Care Med 1995;152:1107-36.
4. British Thoracic Society and the Association of Respiratory Technicians and Physiologists. Guidelines for the measurement of respiratory function. Respir Med 1994;88:165-94.
5. Cavallazzi AC, Beppu OS, Afonso JE, Santos ML, Ratto OR. Estudo de alguns parâmetros da função pulmonar em obesos sem hipoventilação. J Pneumol 1981;7:218-22.
6. Cherniack RM. Pulmonary function testing. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders, 1992;316p.
7. Comroe Jr JH. Fisiologia da respiração. 2nd ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1977;295p.
8. Corrêa da Silva LC, Rubin AS, Corrêa da Silva LM. Avaliação funcional pulmonar. Rio de Janeiro: Revinter: 2000;171p.
9. Crapo RO, Morris AH, Clayton PD, et al. Lung volumes in healthy nonsmoking adults. Bull Europ Physiopathol Respir 1982;18:419.
10. Crapo RO. Pulmonary function testing. N Engl J Med 1994;331:25-30.

11. Dias RM, Clauvet PR, Siqueira HR, Rufino R. Testes de função respiratória. Rio de Janeiro: Atheneu, 2000;211p.
12. Forster II RE, Dubois AB, Briscoe WA, Fisher AB. The lung. Third ed. Chicago: Year Book Medical Publisher, Inc, 1986;329p.
13. Hathirat S, Rezentti AD, Mitchel M. Measurement of the tidal lung capacity by helium dilution in a constant volume system. Am Rev Resp Dis 1970;102:760.
14. Leff AR, Schumacker PT. Fisiologia respiratória: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interlivros, 1996;214p.
15. Lemle A. Provas de função pulmonar na prática diária. Rio de Janeiro: Ed. Publicações Científicas, 1994;250p.
16. Rodenstein DO, Stanescu DC. Reassessment of lung volumes measurements by helium dilution and by body plethysmography in chronic obstruction. Am Rev Resp Dis 1982;126:1040.
17. Ruppel GL. Manual of pulmonary function testing. 7th ed. St Louis: Mosby-Year Book Inc., 1997;365p.
18. West JB. Fisiologia respiratória moderna. São Paulo: Manole, 1977; 175p.
19. West JB. Fisiologia respiratória moderna. São Paulo: Manole, 1979; 234p.

PLETISMOGRAFIA DE CORPO INTEIRO

A pletismografia (= registro das modificações de volume) consiste na aplicação do princípio da lei de Boyle (Boyle-Mariotte): em condições isotérmicas, o produto de volume pela pressão de um gás é constante (aumentando o volume diminui a pressão, e vice-versa, assim que o produto não se altera).

O método pletismográfico é considerado o padrão áureo para a determinação dos volumes pulmonares, pela precisão, rapidez, reprodutibilidade, capacidade de avaliar todo volume pulmonar (inclusive ar alçaponado), possibilidade de determinação associada da resistência e condutância das vias aéreas virtualmente na mesma manobra. Por outro lado, como mede todo o gás que se encontra no tórax (esôfago, às vezes câmara de ar no estômago, eventualmente ar pleural), o resultado final corresponde mais ao volume de gás torácico (VGT) do que a CRF. Na prática, afóra casos identificados de coleções gasosas torácicas não pertencentes ao pulmão, o VGT corresponde à CRF.

Tipos de pletismógrafos. Os pletismógrafos de corpo inteiro medem o volume de gás pulmonar durante manobras respiratórias, pelo registro de câmbios de pressão, de volume ou de fluxo. Assim, conforme os sensores das variáveis consideradas, podem ser classificados em:

- Pletismógrafos de volume constante e pressão variável (pletismógrafos de pressão): variação de volume determinada por transdutores de pressão. É o mais usado.
- Pletismógrafo de volume variável e pressão constante:

(a) com variação de volume medido por espirometria associada (pletismógrafos de deslocamento de volume).

(b) com variação de volume medida por integração de fluxos (pletismógrafos de fluxo).

PLETISMOGRAFIA DE CORPO INTEIRO COM VOLUME CONSTANTE E PRESSÃO VARIÁVEL

Este é o método mais usado, e sua descrição serve de base para o entendimento do método pletismográfico.

Componentes. Este tipo de pletismógrafo é constituído dos seguintes elementos: (a) uma caixa que se torna hermética quando do fechamento da porta, de aproximadamente 700-1.000 litros, (b) manômetro para medir a pressão na caixa, (c) peça bucal para respiração, composta de fluxômetro por pneumotacografia, manômetro para medir a pressão na boca (= alvéolo), e interruptor do fluxo aéreo controlado eletricamente. As variações de pressão na boca e na caixa pletismográfica são apresentadas como linhas de inclinação/deflexão (eixos *y* e *x*) em um mostrador osciloscópico que atualmente é computadorizado.

Fundamentação. O paciente é colocado inteiramente dentro do pletismógrafo (*body box*/caixa) hermético, de onde respira. O volume total de gás (pulmão-caixa) permanece, então, constante. À medida que o paciente (a) faz esforços respiratórios rápidos repetitivos suaves (*panting*) ou (b) respira normalmente (modernos osciloscópios computadorizados), contra um interruptor ocluindo a via aérea, o gás nos pulmões é alternadamente descomprimido (rarefeito) e comprimido e os câmbios no volume pulmonar são refletidos por câmbios inversos de compressão e descompressão (rarefação) do gás na caixa, o que é refletido por variação de pressão na caixa pletismográfica. Em outras palavras, a pressão no pletismógrafo muda com câmbios no volume pulmonar; com a magnitude de câmbio ns pressão da caixa correspondendo à magnitude de câmbio de volume pulmonar.

Então, o volume pulmonar não é medido diretamente; mede-se a diferença de volume, que é refletida pelos câmbios na pressão interna do pletismógrafo. Entenda-se que a manobra de esforços respiratórios repetitivos produzirá compressão e descompressão do gás no pulmão e na caixa. Assim, medem-se basicamente câmbios na pressão da caixa, em lugar de câmbios de volume pulmonar, que são obtidos por cálculo.

A manobra fundamental para a determinação de volumes é a inspiração contra uma via aérea ocluída. O esforço inspiratório contra uma via aérea ocluída produz ligeiro aumento do volume pulmonar, com rarefação do gás torácico (essencialmente gás alveolar) acompanhando redução da pressão na via aérea (boca = alvéolo: aplicação do enunciado de Pascal, segundo o qual a pressão aplicada a uma extremidade de um tubo rígido será propagada para a outra extremidade), e resultando aumento da pressão na caixa. Para o cálculo do VGT, o ângulo formado pela deflexão (*y* versus *x*) que expressa a variação de pressão na boca e no pletismógrafo é comparado com a

razão do sinal obtido pela calibração da caixa. Aplicando-se a lei de Boyle calcula-se o volume pulmonar.

A manobra de respiração tranqüila com o obturador aberto registra o fluxo e a variação de pressão na caixa, que é proporcional à variação de pressão alveolar, servindo para a mensuração da resistência das vias aéreas.

O pletismógrafo em si só é imprescindível para determinação da variação de volume pulmonar pela variação de sua pressão interna. As outras mensurações (P_{CRF} e ΔP , ambas na boca (= alvéolo) não necessitam do pletismógrafo.

A calibração é essencial para a determinação pletismográfica. Esta consiste em conhecer-se a relação entre diferença de pressão (ΔP) e diferença de volume (ΔV) para o volume existente na caixa hermética, o que é obtido aplicando-se uma mudança conhecida em seu volume (usa-se um pistão ou seringa) e medindo-se a mudança de pressão, preferentemente enquanto o indivíduo está sentado no pletismógrafo. Os modernos pletismógrafos computadorizados têm sistema automático de calibração.

Como todo o gás no tórax é expandido e comprimido com as manobras respiratórias, calcula-se o volume de todo o gás contido no tórax, chamado volume de gás torácico (VGT) além do gás contido na CRF.

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO CÁLCULO DA CRF PELO TÉCNICA PLETISMOGRÁFICA DE VOLUME CONSTANTE E PRESSÃO VARIÁVEL APLICANDO-SE A LEI DE BOYLE

$$(P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2)$$

P_{CRF} pressão alveolar, presumida por medida da P na boca por transdutor de pressão, sem esforço respiratório.

ΔP câmbio de pressão na boca (= alveolar) durante inspiração contra interruptor.

V_{CRF} volume de gás torácico (VGT = CRF) que se quer determinar.

ΔV câmbio de volume pulmonar durante a compressão do tórax pelos músculos respiratórios quando via aérea está obstruída pelo interruptor, medido indiretamente pela variação de pressão do pletismógrafo de volume constante e pressão variável [$\Delta V = \Delta P \text{ plet}$].

O volume e a pressão iniciais em CRF (VGT), antes do começo das manobras de respiração rápida, são P_1 e V_1 . [$P_1 = P_{CRF}$, $V_1 = V_{CRF}$]. A pressão e o volume ao fim da fase inspiratória da manobra de respiração rápida são P_2 e V_2

$$P_{CRF} \cdot V_{CRF} = P_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

$$\text{Se } P_2 = P_{CRF} + \Delta P \text{ e } V_2 = V_{CRF} + \Delta V \quad (2)$$

$$P_{CRF} \cdot V_{CRF} = (P_{CRF} + \Delta P) \cdot (V_{CRF} + \Delta V) \quad (3)$$

$$P_{CRF} \cdot V_{CRF} = P_{CRF} \cdot V_{CRF} + P_{CRF} \cdot \Delta V + V_{CRF} \cdot \Delta P + \Delta P \Delta V \quad (4)$$

O valor da P_{CRF} é 760mmHg e o da CRF é ao redor de 3.000ml; como o valor de ΔP é de cerca de 20mmHg e o da ΔV de cerca de 30ml, o produto $\Delta P \Delta V$ pode ser ignorado, por pouco expressivo.

$$P_{CRF} \cdot V_{CRF} = P_{CRF} \cdot V_{CRF} + P_{CRF} \cdot \Delta V + V_{CRF} \cdot \Delta P \quad (5)$$

$$\text{Corta-se } P_{CRF} \cdot V_{CRF} = P_{CRF} \cdot V_{CRF} \\ 0 = P_{CRF} \cdot \Delta V + \Delta P \cdot V_{CRF} \quad (6)$$

$$\Delta P \cdot V_{CRF} = - P_{CRF} \cdot \Delta V \quad (7)$$

$$V_{CRF} = - P_{CRF} \cdot \Delta V / \Delta P$$

Ignora-se o sinal negativo

$$V_{CRF} = P_{CRF} \cdot \Delta V \text{ pul} / \Delta P \text{ boca [ou } P \text{ boca} \cdot \Delta V / \Delta P] \quad (8)$$

$$V_{CRF} = P \text{ atm} - 47 \cdot \Delta P \text{ plet} / \Delta P \text{ boca} \quad (9)$$

Se a tangente do ângulo dos câmbios de volume (ΔV) plotados contra os câmbios de pressão na boca (ΔP) é determinada, a equação torna-se:

$$VGT = P \text{ atm} - 47 \cdot \text{tang } \Delta K \quad (10)$$

Onde K é o fator de calibração $\Delta V / \Delta P$

- Leff AR, Schumacker PT. Respiratory physiology: basics and application. Philadelphia: W.B. Saunders, 1993.
- Wanger J. Pulmonary function testing: a practical approach. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1996.

CALIBRAÇÃO

A calibração consiste em conhecer-se a relação entre diferença de pressão (ΔP) e diferença de volume (ΔV) para o volume existente na caixa hermética. A calibração deve ser efetuada diariamente sem o paciente ou até mesmo antes de cada exame com o paciente sentado. Calibra-se o fluxômetro com injeções de volume e os transdutores de pressão com a geração de pressões, isto é, aplica-se uma mudança conhecida em seu volume (usa-se um pistão ou seringa) e mede-se a mudança de pressão resultante. Considerando-se um pletismógrafo de 700 litros, uma deflexão plena do osciloscópio pode ser obtida com um câmbio de volume de 70-100ml, equivalente a um câmbio de pressão de 0,1cm H₂O.

FATOR DE CALIBRAÇÃO DA PRESSÃO NA CAIXA/FATOR DE CALIBRAÇÃO DA PRESSÃO NA BOCA

Ex. (Wanger): injeção de 10ml na caixa produz 1cm de deflexão horizontal (**x**); aplicando-se a pressão na boca de 2,5cm H₂O obtém-se um deflexão vertical (**y**) de 1cm. Então, no caso, o fator de calibração é 10ml/cm/2,5cm H₂O/cm ou 10ml/2,5cm H₂O ou 4ml/cm H₂O.

Considerando-se a constante da pressão atmosférica (760-47) e o conhecimento do fator de calibração, resta apurar-se a tangente que será decorrente das manobras respiratórias.

TÉCNICA INTEGRADA PARA DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA DAS VIAS AÉREAS E DE VOLUMES PULMONARES

(a) O paciente senta-se dentro da caixa calibrada, e a porta é fechada. Após aproximadamente um minuto para a compensação da temperatura, o paciente toma a peça bucal e, com grampo nasal e compressão manual nas regiões malares (bochechas) bilateralmente, inicia os movimentos respiratórios a serem registrados.

(b) **Determinação da resistência das vias aéreas.** Inicialmente o paciente faz (a) esforços respiratórios rápidos repetitivos suaves (*panting*) idealmente com frequências de 1 a 3 movimentos por segundo, (b) respira normalmente, de 3 a 8 respirações. As oscilações resultantes das variações de pressão são registradas imediatamente (em forma de alças) pelos manômetros na boca e na caixa, e os fluxos aéreos são medidos pelo pneumotacógrafo. Durante esta fase, sem obstrução ao fluxo, registra-se fluxo e variação de pressão na caixa (que refletem câmbios na pressão alveolar), que plotados graficamente produzem uma curva em S (fluxo no eixo vertical **y** e variação de pressão na caixa no eixo horizontal **x**). A tangente medida a partir desta curva deve passar através do fluxo zero e conectar + 0,5L/s e - 0,5L/s no fluxo. A resistência das vias aéreas é calculada a partir da relação entre a diferença de pressão alveolar (ΔP_{alv}) e a diferença de fluxo (ΔV).

(c) **Determinação de volumes.** Quando os registros (as alças) da resistência são reproduzíveis ativa-se a oclusão da válvula (aciona-se o interruptor/*shutter*) e o paciente tenta inalar contra uma via aérea ocluída. O registro de um simples esforço inspiratório é imediato: a relação entre as variações da pressão na boca e a pressão na caixa serão plotadas graficamente, gerando uma reta. A linha traçada e o eixo horizontal formam o ângulo a partir do qual é calculada a tangente. Pode-se repetir a mensuração algumas vezes, para maior segurança quanto aos resultados.

(d) **Espirometria.** Após o tempo estipulado, abre-se a válvula automaticamente e uma manobra de espirometria é executada para registro da CI ($CRF + CI = CPT$) e da CV ($CPT - CV = VR$), preferentemente a CVL. Pode-se igualmente executar-se uma expiração forçada para registro do VER ($CRF - VER = VR$), e seguir uma CV ($CV + VR = CPT$).

Nota: O aparelho converte os sinais de pressão e fluxo captados em sinais eletrônicos. Os atuais pletismógrafos computadorizados geralmente escolhem o melhor traçado para retirar as tangentes, mas o técnico deve visualizar todas as curvas e poder ajustar as tangentes geradas pelo computador manualmente.

Reprodutibilidade. O coeficiente de variação de mensurações repetidas não deve ultrapassar +/- 5% em

pacientes normais e em paciente com limitação do fluxo aéreo.

Acurácia. As técnicas de diluição de gases subestimam os volumes pulmonares na medida em que não englobam área de alçaponamento de ar. Assim, o método pletismográfico é o indicado em pacientes com limitação grave ao fluxo aéreo (DPOC grave). Entretanto, deve ser considerado que em pacientes com resistência elevada das vias aéreas pode haver sobreestimação do VGT pela pletismografia. Isso decorre de um descompasso entre as pressões na boca e nos alvéolos, com redução da pressão na boca em relação à pressão alveolar (em normais, com a glote aberta, pressão na boca = pressão alveolar). Com o uso de esforços respiratórios repetitivos (*panting*), a frequência deve ser 1s, e respiração no mais alto volume possível, para reduzir a compressão de gás nas vias aéreas.

REFERÊNCIAS

1. Dubois AB, Bothelho SY, Comroe JH, Jr. A new method for measuring airways resistance in man using a body plethysmography: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. *J Clin Invest* 1956;35:327-35.
2. Mead J. Volume displacement body plethysmograph for respiratory measurements in human subjects. *J Appl Physiol* 1960;7:36-40.
3. Stanescu DC, De Sutter P, Van de Woestijne KP. Pressure-corrected flow body plethysmograph. *Am Rev Respir Dis* 1972;105:304-5.
4. Bohadana AB, Teculescu D, Peslin R, Jansen da Silva JM, Pino J. Comparison of four methods for calculating the total lung capacity measured by body plethysmography. *Bull Physiopathol Respir* 1980;16:769-76.
5. Desmond KJ, Demizio DL, Allen PD, Beaudry PH, Coates AL. An alternate method for the determination of functional residual capacity in a plethysmograph. *Am Rev Respir Dis* 1988;137:273-76.

DETERMINAÇÃO RADIOGRÁFICA DO VOLUME PULMONAR

É uma prática comum avaliar-se o tamanho do pulmão pela simples observação das imagens radiográficas do pulmão. Este processo subjetivo pode ser transformado em quantificação objetiva, por meio de duas técnicas: (a) técnica planimétrica e (b) técnica elipsóide, ambas para CPT, já que dependem de inspiração profunda. O método radiográfico tem boa acurácia quando comparado com os outros métodos; não é subestimado por áreas alçaponadas ou superestimados por coleções extrapulmonares de gases e permite comparação evolutiva. Entretanto, só permite mensuração da CPT, depende da qualidade da inspiração e da técnica radiográfica em si.

Técnica planimétrica. Utiliza um planímetro, que é um dispositivo que permite traçar linhas em duas dimensões e com isso a mensuração integrada de uma área. As medidas são tomadas em projeções pósterio-anterior (PA) e lateral (LAT) e convertidas em volume. Inclui o coração e exclui o esterno.

- Harris TR, Pratt PC, Kilburn KH. Total lung capacity measured by roentgenogram. *Am J Med* 1971;50:756-63.

Técnica elipsóide. Divide o pulmão em cinco seções transversas elípticas, cujas áreas são determinadas em PA e LAT, e convertidas em volume. A área cardíaca, o diafragma e o conteúdo de sangue do tórax podem ser separados e excluídos.

- Bernhard HJ, Pierce JA, Joyce JW, Bates JH. Roentgenographic determination of total lung capacity, a new method evaluated in health, emphysema and congestive heart failure. *Am J Med* 1960;28:51-60.

A comparação de ambos os métodos em indivíduos normais apresenta alto grau de correlação, a saber: até 0,93 para a técnica elipsóide e até 0,97 para a técnica planimétrica. Embora as correlações sejam elevadas, as diferenças em casos individuais podem ser grandes.

- Clausen JL, Powel Zarins L. Estimation of lung volumes from chest radiographs. In: Clausen JL, ed. *Pulmonary function testing guidelines and controversies, equipment, methods and normal values*. New York: Academic Press, Inc. 1982;155-63.

- Clausen JL. Measurement of absolute lung volume by imaging techniques. *Eur Respir J* 1997;10:2427-31.
- Crapo RO, Montague T, Armstrong J. Inspiratory lung volume achieved on routine chest films. *Invest Radiol* 1979;14:137-40.
- Ries AL, Clausen JL, Friedman PJ. Measurement of lung volumes from supine portable chest radiographs. 1979;47:1332-5.
- Bush A, Denison DM. Use of different magnification factors to calculate radiological lung volumes. *Thorax* 1986;41:158-9.

VALORES DE REFERÊNCIA

Caucasianos, 18-70 anos de idade.

1. Schoenberg B, Beck GJ, Bouhuys A. Growth and decay of pulmonary function in healthy blacks and white. *Respir Physiol* 1978;33:367-93.
2. Stocks J, Quanjer Ph H. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. *ATS Workshop on Lung Volume Measurements. Official Statement of the European Respiratory Society. Eur Respir J* 1995;8:492-506.
3. Neder JA, Andreoni S, Castelo-Filho A, Nery LE. Reference values for lung function tests. I. Static volumes. *Braz J Med Biol Res* 1999;32:703-17.