

Apoio ao estudo
Estudo da
Função Respiratória I

Este documento pretende ser um auxiliar para o estudo e será atualizado em função da publicação de novas *guidelines*.

Hermínia Brites Dias

2022/2023

[Escreva aqui]

Volumes Pulmonares e Débitos

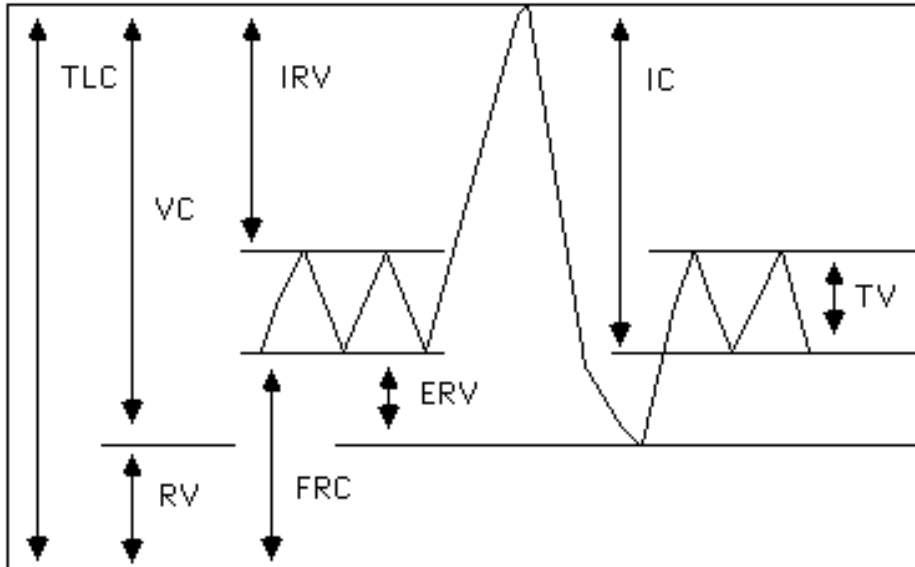


Fig. 1 - Volumes pulmonares

Na figura 1 estão representados:

Volumes:

- volume corrente
- volume de reserva inspiratória
- volume de reserva expiratória
- volume residual

Capacidades:

- capacidade inspiratória
- capacidade vital (lenta) inspiratória/expiratória
- capacidade residual funcional
- capacidade pulmonar total

[Escreva aqui]

Definições

Volumes pulmonares- subdivisões da Capacidade Pulmonar Total:

- **volume corrente** (ou tidal volume- VC ou VT) - volume de ar inspirado ou expirado num ciclo respiratório normal.
- **volume de reserva inspiratória** (ou inspiratory reserve volume- VRI ou IRV)- volume de ar que é possível inspirar para além do nível da inspiração a volume corrente
- **volume de reserva expiratória** (ou expiratory reserve volume- VRE ou ERV) - volume de ar que é possível expirar para além do nível da expiração a volume corrente
- **volume residual** (VR ou RV) - não é medido por espirometria, é o volume de ar que permanece nos pulmões após uma expiração máxima

Capacidades: são a soma de dois ou mais volumes

- **capacidade inspiratória** (ou inspiratory capacity- CI ou IC) - volume de ar que é possível inspirar após a expiração a volume corrente

(volume corrente + volume de reserva inspiratória)

- **capacidade vital**- volume de ar que é possível mobilizar entre a inspiração máxima e a expiração máxima ou vice-versa

(volume corrente + volume de reserva inspiratória + volume de reserva expiratória)

- **capacidade residual funcional** (ou functional residual capacity- CRF ou FRC) - volume de ar que permanece nos pulmões após uma expiração a volume corrente

(volume de reserva expiratória + volume residual)

- **capacidade pulmonar total** (ou total lung capacity - CPT ou TLC) - volume máximo de ar que os pulmões podem conter após uma inspiração máxima

(volume corrente + volume de reserva inspiratória + volume de reserva expiratória + volume residual)

Volumes Pulmonares - Classificações

- Mobilizáveis – aqueles que se conseguem inspirar ou expirar. São medidos por espirometria lenta ou forçada.

[Escreva aqui]

- Não mobilizáveis- não podem ser retirados do pulmão. Na realidade só há um volume não mobilizável, o volume residual. Contudo, porque o VR integra a CPT e a CRF, estas capacidades são vulgarmente designadas como não mobilizáveis. O volume residual é medido indiretamente com base na determinação da CRF e para tal são usados outros métodos de estudo (pletismografia corporal total, diluição de hélio ou lavagem/depuração de azoto)
- Estáticos - não interessa a velocidade do ar
- Dinâmicos - medidos em manobras forçadas

Capacidade Residual Funcional - um caso particular

Em CRF a retração elástica do pulmão é equilibrada pela retração elástica da parede torácica. Na realidade, é esta interação que a determina CRF.

- Abaixo da CRF- retração da parede torácica (para fora) é maior que a do pulmão (para dentro).
- Acima da CRF- retração elástica do pulmão (para dentro) é maior que a da parede torácica.
- Em CRF, estas duas forças equilibram-se, determinando assim o volume de ar nos pulmões

Em volumes pulmonares elevados, a retração elástica da parede torácica também é para dentro promovendo também a expiração se os músculos inspiratórios relaxarem.

A posição corporal afeta retração elástica da parede torácica. Na posição supina o pulmão está sujeito a menor retração externa e a CRF diminui.

Para a determinação da CRF é essencial uma estabilização correta da **Posição Média Respiratória** que se pode definir como **o nível médio do final das expirações de um volume corrente devidamente estabilizado**. Também para a realização de uma capacidade vital lenta (inspiratória ou expiratória) é necessário a estabilização da posição média respiratória pois só assim a CI e o VRE serão bem determinados.

Capacidade Vital

Pode ser **lenta**, quando não interessa a velocidade com que o ar é mobilizado ou **forçada** quando o ar é mobilizado o mais rapidamente possível. Em qualquer dos casos, pode ser:

- Inspiratória – quando partindo de volume residual é pedida uma inspiração máxima (é precedida pela realização de uma manobra de VRE)
- Expiratória - quando partindo de capacidade pulmonar total é pedida uma expiração máxima (é precedida pela realização de uma manobra de CI)
- Dois tempos – em que se realiza uma CI, um período de volume corrente e um VRE. Pode ser necessário em indivíduos muito dispneicos.

A PFR é realizada com o indivíduo sentado (posição standard) mas, em indivíduos com patologia diafragmática ou em patologias neuromusculares (avaliação do diafragma) tem interesse a realização de uma capacidade vital (lenta ou forçada) em posição supina.

Avalia-se: **Sentado/supina: $((1-(VC-supine/VC upright)) \times 100)$**

- Diminuição de 10% na FVC¹
- Diminuição na VC de 10 a 30% em decúbito dorsal: sugestivo de HPD²
- Diminuição na VC superior a 30%: sugestivo de PD bilateral².

Volumes e Capacidades determinados em manobras lentas

- **Volume corrente**
- **Volume de reserva inspiratória**
- **Capacidade inspiratória (volume corrente + volume de reserva inspiratória)**
- **Volume de reserva expiratória**
- **Capacidade vital lenta**

¹ Patel AK, Thakar HM. Spirometric values in sitting, standing and supine position. J Lung Pulm Respir Res. 2015;2(1):1–3.

² Koo P, Oyieng'o DO, Gartman EJ et al. The Maximal Expiratory-to-Inspiratory Pressure Ratio and Supine Vital Capacity as Screening Tests for Diaphragm Dysfunction. Lung 2017;195:29–35

Volumes e Capacidades determinados em manobras forçadas (dinâmicos).

Débitos das vias aéreas

Definições

- **Capacidade vital forçada** (por definição é expiratória) - CVF ou FVC - volume máximo de ar mobilizado entre uma inspiração máxima (até capacidade pulmonar total) e uma expiração máxima (até volume residual) durante uma manobra expiratória forçada
- **Capacidade vital forçada inspiratória** - CVF_{insp} ou FVC_{insp} - volume máximo de ar mobilizado entre uma expiração máxima (até volume residual) e uma inspiração máxima (até capacidade pulmonar total) durante uma manobra inspiratória forçada
- **Volume expiratório máximo no 1º segundo** - VEMS ou FEV_1 - volume de ar expirado no 1º segundo de uma expiração forçada.
- **Volume inspiratório máximo no 1º segundo** - VIMS ou FIV_1 - volume de ar inspirado no 1º segundo de uma inspiração forçada
- **Volume expiratório máximo no 6º segundo** - FEV_6 - volume de ar expirado no 6º segundo de uma expiração forçada.
- **Débitos das vias aéreas**

Débito aéreo é o volume de ar mobilizado por unidade de tempo (normalmente por segundo). Avalia-se o débito máximo de ar que pode ser atingido com a manobra de expiração ou expiração forçada. Avaliam-se: i) o débito máximo, ii) os débitos instantâneos a X % da FVC (exp/insp) e iii) o débito exp. máximo intermédio entre 25 e 75% da FVC. Medem-se em litros por segundo ou em litros por minuto (no caso do PEF).

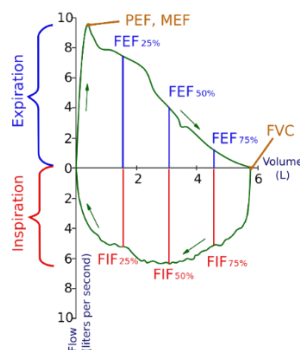


Figura 2. Débitos aéreos, expiratórios e inspiratórios

[Escreva aqui]

Débito expiratório máximo	Débito máximo de ar que pode ser atingido com a manobra de expiração forçada. Mede-se em litros por segundo ou em litro por minuto.	PEF ou DEM
Débito expiratório máximo intermédio, ou meso-expiratório, entre 25 e 75% da FVC	Débito aéreo entre 25 e 75% de uma Capacidade Vital Forçada expiratória. Mede-se em litros por segundo.	FEF 25-75% ou DEMI 25-75%
Débito expiratório máximo a 25% da FVC	Débito instantâneo a 25% da Capacidade Vital Forçada expiratória. Mede-se em litros por segundo.	FEF25% ou DEM25% ou MEF75%
Débito expiratório máximo a 50% da FVC	Débito instantâneo a 50% da Capacidade Vital Forçada expiratória. Mede-se em litros por segundo.	FEF50% ou DEM50% ou MEF50%
Débito expiratório máximo a 75% da FVC	Débito instantâneo a 75% da Capacidade Vital Forçada expiratória. Mede-se em litros por segundo.	FEF75% ou DEM75% ou MEF25%
Débito inspiratório máximo	Débito máximo de ar que pode ser atingido com a manobra de inspiração forçada. Mede-se em litros por segundo ou em litro por minuto.	PIF ou DIM
Débito inspiratório máximo a 25% da FVC	Débito instantâneo a 25% da Capacidade Vital Forçada inspiratória. Mede-se em litros por segundo.	FIF25% ou DIM25% ou MIF75%
Débito inspiratório máximo a 50% da FVC	Débito instantâneo a 50% da Capacidade Vital Forçada inspiratória. Mede-se em litros por segundo.	FIF50% ou DIM50% ou MIF50%
Débito inspiratório máximo a 75% da FVC	Débito instantâneo a 75% da Capacidade Vital Forçada inspiratória. Mede-se em litros por segundo.	FIF75% ou DIM75% ou MIF25%

- **Relação entre o volume de ar expirado no 1º seg e a capacidade vital:**

- Relação entre o ar expirado no 1º segundo da expiração forçada e a capacidade vital lenta - **VEMS/CV% ou FEV₁/VC%** - **Índice de Tiffeneau**

- Relação entre o ar expirado no 1º segundo da expiração forçada e a capacidade vital forçada - percentagem da capacidade vital forçada que é expirada no 1º segundo - **VEMS/CVF% ou FEV₁/FVC%**.

Um indivíduo sem alterações significativas da FR expira no 1º segundo de uma expiração forçada ≈ 80 a 85% da sua capacidade vital.

[Escreva aqui]

Espirometria

Espirometria vem de *spirare* + *metrum*. Assim, a espirometria é um exame que avalia a ventilação na medida em que mede volumes mobilizáveis e débitos das vias aéreas.

Designa-se por espirometria forçada quando o ar é mobilizado o mais rapidamente possível e por espirometria lenta quando se pede ao utente que mobilize o ar normalmente; na realidade não é lenta, pois não se pede que a manobra seja realizada lentamente, mas sim descontraidamente.

Manobras Ventilatórias:

Na espirometria realizam-se diversas manobras ventilatórias.

Quando se avalia o volume corrente, deve-se pedir ao utente que respire “à vontade” (e não “normalmente” de modo a tentar-se evitar que esteja consciente do processo ventilatório, pois só com o controlo da ventilação pelo sistema nervoso autónomo se garante a melhor estabilização da posição média respiratória).

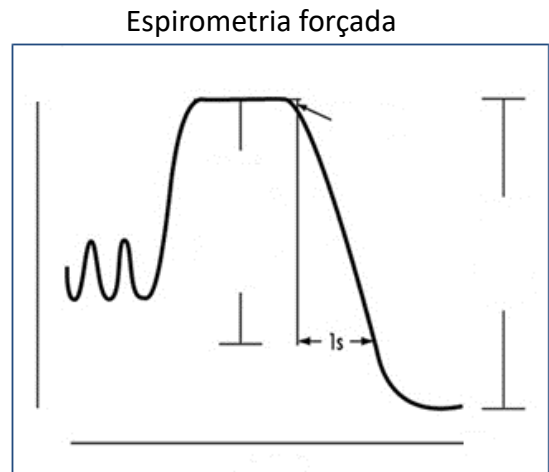
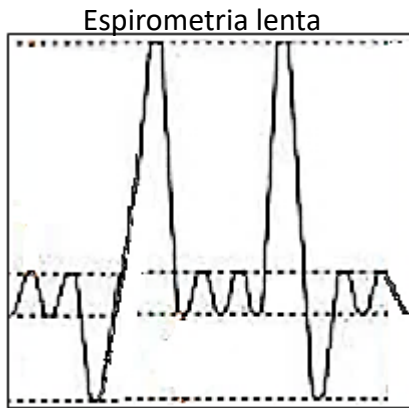
Dependendo do que se quer avaliar, assim se pedem manobras com:

- Respiração com volume e frequência aumentados
- Inspiração máxima (até capacidade pulmonar total)
 - ▶ Inspiração “lenta” / forçada
- Expiração máxima (até volume residual)
 - ▶ Expiração “lenta” / forçada
- Capacidade vital lenta em dois tempos (volume corrente, capacidade inspiratória, volume corrente e volume de reserva expiratória)

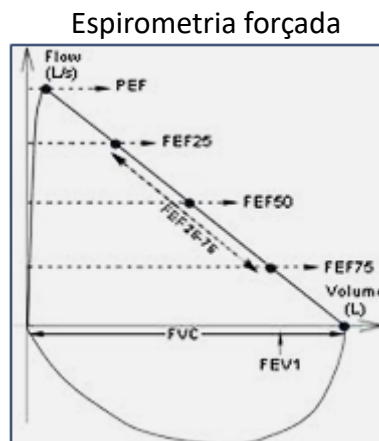
Tipos de registo:

A representação gráfica das manobras ventilatórias faz-se através de dois tipos de registo:

- **Curva de volume-tempo**



- **Curva de débito-volume**



A curva de volume-tempo, normalmente utilizada na espirometria lenta, é útil no controlo da qualidade da espirometria forçada (determinação da capacidade vital forçada), visualizada em simultâneo com a curva de débito-volume, pois permite uma melhor identificação dos níveis inspiratório e expiratório máximo. A curva de volume-tempo alargada permite explorar artefactos ao nível do 1º segundo da expiração forçada e ainda analisar o início da expiração (presença de volume de extrapolação).

A curva de débito-volume fornece informação qualitativa sobre o esforço realizado na manobra através da visualização de um início da expiração rápido e abrupto, permite apreciar a presença de artefactos que possam afetar parâmetros importantes e ainda

[Escreva aqui]

identificar alguns fenómenos associados à presença de uma alteração ventilatória obstrutiva, como o colapso expiratório.

Pletismografia Corporal Total

Resumo

Pletismógrafo corporal total de volume constante:

- cabine hermética (exceto um pequeno escape de pressão: equilíbrio de mudanças lentas de pressão, ex: aquecimento do ar)
- volume de cerca de 700 a 1000 L
- transdutor de pressão da cabine (registra ΔP na cabine)
- transdutor de pressão da boca (registra ΔP na boca durante a oclusão da válvula)
- válvula
- sensor de débito

Princípio da determinação:

- Determinação de ΔP na cabine, de ΔP na boca e do débito aéreo sob condições ventilatórias específicas.
- Usado para avaliar os volumes não mobilizáveis (estáticos) e a resistência das vias aéreas
- Fundamenta-se na lei de Boyle-Mariotte: num compartimento fechado a variação de volume de um gás é inversamente proporcional à variação de pressão. Assim: **pode-se inferir Δ Volume a partir de Δ Pressão.**

O volume de gás intratorácico (VGIT) é a medida pletismográfica da capacidade residual funcional (CRF). Atendendo a que VGIT é um termo inespecífico, que se refere ao gás presente no tórax, é sugerido que esta designação seja substituída por CRF_{plet}^3 .

³ Wanger J, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. European Respiratory Journal 2005; 26: 511–522. Acedido através de <http://www.thoracic.org/sections/publications/statements/pages/pfet/pft3.html>, em 12/09/06.

No método de estudo mais utilizado, a sua determinação baseia-se na lei de Boyle-Mariotte, segundo a qual, em condições isotérmicas o produto da pressão de um gás pelo seu volume é constante⁴. Transdutores de pressão, um na cabine pletismográfica e outro ao nível da boca, permitem a medição das variações de pressão que resultam da compressão e descompressão do gás intratorácico quando uma válvula ao nível da boca é ocluída⁵.

O VGIT abrange todo o ar intrapulmonar (incluindo as zonas mal ou não ventiladas) pelo que em caso de obstrução das vias aéreas pode ser superior à CRF determinada por diluição de He ou por lavagem/depuração de azoto³. Inclui ainda o ar no estômago o qual é negligenciável⁶. Para que o VGIT, ou CRF_{plet} , corresponda à CRF a válvula terá que ser ocluída no final da expiração normal³. Dependendo do equipamento, a válvula poderá encerrar durante o início da inspiração, pelo que um pequeno volume de ar será adicionado à CRF_{plet} ; nestes casos terá que ser feita a correção para o nível de CRF, ou seja, para a posição média respiratória.

Equipamento

O equipamento que normalmente é utilizado é o pletismógrafo barométrico, desenvolvido inicialmente por DuBois et al em 1956⁵. Este é genericamente composto por uma cabine indeformável que possui um sensor de débito e transdutores de pressão para medirem as variações de pressão na boca e na cabine. Independentemente do tipo de pletismógrafo, o transdutor da boca deve possibilitar a medição de pressões iguais ou superiores a ± 5 kPa. É recomendado que a resposta em frequência seja 5 vezes a do sinal que se pretende medir. Contudo, para assegurar a medição correta de manobras ventilatórias superiores a 1 Hz, o transdutor deve ter uma resposta em frequência superior a 8 Hz. O transdutor da cabine deve medir variações de pressão da ordem dos $\pm 0,02$ kPa³.

⁴ Quanjer PhH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault J-C. Lung volumes and forced ventilatory flows. *European Respiratory Journal* 1993; 6: Suppl.16, 5-40.

⁵ American Thoracic Society. Lung Function Testing: Selection of Reference Values and Interpretative Strategies. *American Review of Respiratory Disease* 1991; 144: 1202– 1218.

⁶ Primiano Jr FP. Measurements of the respiratory system. In: Webster JG ed. *Medical Instrumentation, Application and Design*. 3th Edn. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1998; 372-439.

Durante o exame ocorrem variações térmicas que produzem alterações na pressão da cabine. As interferências na qualidade dos registos são evitadas através da existência de um pequeno orifício de escape com uma constante de tempo de 10s e regulável³. O desvio térmico pode ser detetado através da ocorrência sistemática de uma diferença nos declives das manobras de compressão e de descompressão visualizadas no registo volume–pressão⁷.

A válvula, que permite ocluir o débito aéreo, encontra-se acoplada ao sensor de débito que, dependendo da marca do equipamento, for utilizado.

Técnica

Apresentam-se de seguida um conjunto de recomendações, baseadas nas mais recentes³, que visam uniformizar as práticas e minimizar os erros na determinação da CRF_{plet} .

antes:

- 1) após ligado, respeitar o tempo de aquecimento indicado pelo fabricante do equipamento;
- 2) realizar, diariamente, a verificação da calibração dos componentes da cabine pletismográfica relacionados com as determinações;
- 3) sentar confortavelmente o indivíduo e ajustar a altura da peça bucal de modo a permitir uma posição correcta (costas direitas e sem flexão ou extensão do pescoço);
- 4) manter as próteses dentárias (excepto quando constituírem impedimento real para a realização correcta das manobras ventilatórias);
- 5) explicar claramente e demonstrar os procedimentos (porta fechada, colocação da pinça nasal, colocação de ambas as mãos nas faces, manobra de *panting*);
- 6) após o encerramento da porta, respeitar o tempo necessário ao equilíbrio transiente (estabilização térmica da cabine);
- 7) pedir ao indivíduo que coloque a pinça nasal e a peça bucal com os lábios bem adaptados de forma a evitar passagem de ar;

⁷ DuBois AB, Botelho SY, Comroe Jr JH. A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. Journal of Clinical Investigation 1956; 35(3): 327–335.

durante:

8) pedir ao indivíduo que respire normalmente e aguardar pela estabilização da posição média respiratória. Neste ponto deve-se evitar pedir constantemente ao indivíduo para “respirar normalmente”. Essa chamada de atenção provoca a consciencialização do processo ventilatório, que não sendo controlado automaticamente, altera o nível médio expiratório;

9) quando a válvula estiver encerrada pedir ao indivíduo que respire em *panting*, sem exercer demasiada pressão (aproximadamente 1Kpa), com uma frequência entre 0,5 e 1 Hz. Frequências de *panting* superiores a 1,5 Hz, bem como pressões mais elevadas, podem conduzir a erros de medição e frequências inferiores a 0,5 Hz podem interferir negativamente ao nível do escape controlado do sistema. Para ajudar o indivíduo a conseguir um *panting* adequado pode ser utilizado um metrónomo ou então o técnico deve acompanhar o indivíduo marcando o ritmo no momento certo (esta opção tem a vantagem de chamar a atenção para o ritmo no momento da oclusão). A válvula abrirá após um tempo pré-determinado (normalmente 2 a 3s) ou após a detecção de uma pressão cumulativa, inspiratória e expiratória, pré-determinada⁸;

10) obter 3 a 5 registos de boa qualidade, ou seja, com uma componente inspiratória e uma expiratória, e quase sobrepostos³. Contudo, atendendo a que nem sempre é fácil conseguir-se a estabilização da posição média respiratória, um número superior de registos tenderá a diluir eventuais erros. Nessa perspetiva, sugere-se um mínimo de 5 registos, ou seja, a partir do limite superior referido nas orientações da ATS/ERS³.

após:

11) após os registos da CRF_{plet}, solicitar ao indivíduo que realize uma manobra de VRE seguida de uma CVI (como segunda opção poderá realizar uma CI seguida de uma CVE); não estando clarificado nas orientações³ quantas CV lentas devem ser realizadas, sugere-se que sejam 2, uma a meio e outra após a última oclusão. Caso se verifique que não houve boa colaboração, deverá ser realizada ainda uma outra. Para os cálculos será seleccionada a manobra que apresentar o valor mais elevado. É importante que a

⁸ Cotes AL, Peslin R, Rodenstein D, Stocks. Measurement of lung volumes by plethysmography. European Respiratory Journal 1997; 10: 1415–1427.

realização da CV lenta cumpra com os critérios de qualidade; designadamente devem ser observados os plateaus inspiratórios e/ou expiratórios.

12) realizar a CV lenta imediatamente após a abertura da válvula;

13) **apenas se for necessário**, permitir um período de repouso (respiração a volume corrente durante 2 a 3 ciclos) entre as determinações da CRF_{plet} e da CV lenta;

14) o acerto da posição média respiratória deve ser feito nos ciclos que precederam cada oclusão;

15) a CRF_{plet} corresponderá ao valor médio das medições aceitáveis e repetíveis.

Controlo da Qualidade

O registo de manobras inspiratórias e expiratórias, sobrepostas, contra a válvula ocluída já foi referido como uma condição necessária para a qualidade da medição. Outro critério importante relaciona-se com a repetibilidade. Deverão obter-se pelo menos 3 medições (aconselha-se no mínimo 5) aceitáveis que não variem mais de 5% (ou seja, a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo dividida pela média dos valores obtidos terá que ser igual ou inferior a 0.05). Se tal não se verificar, novas determinações devem ser feitas³.

É importante não acrescentar quaisquer tipos de tubos ou ligações aos previstos pelo fabricante pois isto levaria a um aumento do espaço morto que, não estando previsto nos *settings* do aparelho, não será deduzido⁶. Pelo mesmo motivo, é igualmente importante respeitar as especificações quanto aos filtros e peças bocais a utilizar.

A relação entre uma variação de volume e a correspondente variação de pressão na cabine, necessária para a determinação da variação de volume de gás intrapulmonar durante a oclusão da válvula, é obtida durante a calibração dos componentes da cabine. Para tal é induzida a variação, num valor conhecido e pré-determinado (30 – 50 ml)⁹, do volume de ar da cabine pletismográfica. Esta variação de volume irá provocar uma variação de pressão X. Atendendo a que este procedimento é realizado com a cabine pletismográfica vazia é necessária uma correção para o volume corporal do indivíduo.

⁹ Goldman MD, Smith HJ, Ulmer WT. Whole-body plethysmography. European Respiratory Monography, 2005; chapter 2, 31: 15-43. 9. Pellegrino R, et al. Interpretative strategies for lung function tests. European Respiratory Journal 2005; 26: 948–968. Acedido através de <http://www.thoracic.org/sections/publications/statements/pages/pfet/pft3.html>, em 12 /09/06.

Assim, é introduzido o peso do indivíduo em estudo o qual é utilizado para o cálculo do coeficiente de calibração⁹ que permitirá relacionar a variação de pressão na cabine com a variação da pressão alveolar.

A verificação da calibração deve ser repetida, ao longo do dia, se existir suspeita de erro nas medições.

É ainda importante que sejam feitas regularmente determinações nos controlos biológicos (normalmente os técnicos de saúde afetos ao Laboratório de Função Respiratória).

Cálculos

De acordo com a Lei de Boyle-Mariotte:

$$P_1 \times V_1 = (P_1 + \Delta P) \times (V_1 + \Delta V)$$

Tendo por base a expressão anterior temos que, para o cálculo da CRF_{plet} :

P_1 = pressão na boca (pressão atmosférica – P vapor H₂O)

V_1 = CRF_{plet} (incógnita)

ΔP = variação da P na boca; corresponde à variação da P alveolar quando o ar é comprimido e descomprimido através dos movimentos respiratórios contra a válvula encerrada. ΔP é medida na boca durante a oclusão, através de um transdutor acoplado ao sensor de débito e, na ausência de débito aéreo e de encerramento da glote, corresponde à P alveolar;

ΔV = variação do volume intratorácico que ocorre quando o ar é comprimido e descomprimido durante o encerramento da válvula. ΔV é medido através da ΔP que ocorre na cabine como consequência da expansão e retração torácicas que resultam dos movimentos respiratórios contra a válvula ocluída.

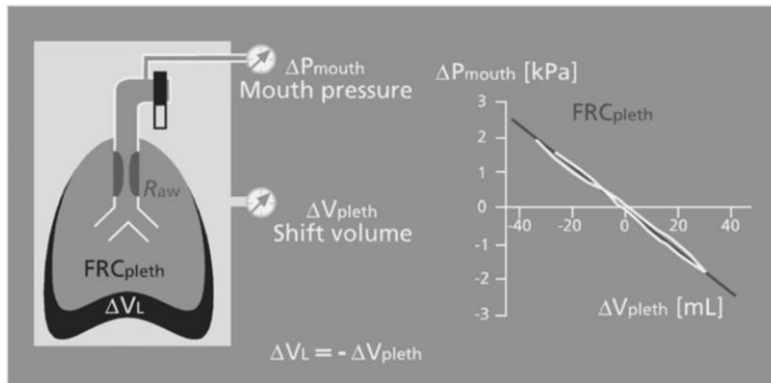
No ecrã do computador a pressão na boca é registada no eixo das ordenadas e em simultâneo a pressão da cabine é registada no eixo das abcissas¹.

[Escreva aqui]

Assim, $CRF_{plet} = - P \times \frac{\Delta P_{cab}}{\Delta P_{boca}}$

ΔP_{boca}

A $\Delta P_{cab} / \Delta P_{boca}$ representa o declive da recta resultante das variações simultâneas da P na cabine e da P na boca.



Créé et al, 2011

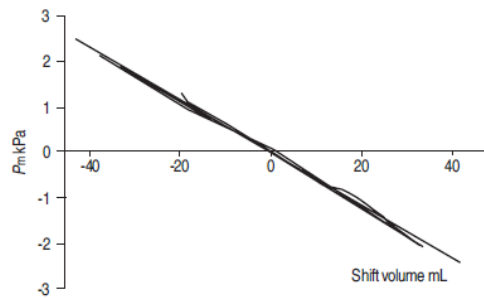


Fig. 4. – Respiratory effort against closed shutter in the same patient as in figures 5–7, showing mouth pressure (P_m) plotted on vertical axis and shift volume (ΔV) on the horizontal axis. Expiratory effort results in positive P_m and negative ΔV , and vice-versa for inspiratory effort. The slope of P_m versus ΔV is proportional to the functional residual capacity determined by plethysmography (FRC_{pleth} ; 3.8 L). This tracing shows good coordination of the obstructed inspiratory and expiratory efforts, with only small departures from a single line.

Wanger et al, 2005

Shift volume¹⁰

Inspiração:

- movimento inspiratório contínuo do tórax
- alteração de volume precede ligeiramente o fluxo de ar: aumento do volume pulmonar ligeiramente > ao volume de ar que passa pelas vias aéreas

Quando a caixa torácica (logo, o volume pulmonar) deixa de aumentar, rapidamente ocorre o equilíbrio das pressões.

¹⁰ Créé et al. Body plethysmography - Its principles and clinical use *Resp Med*, 2011; 105, 959-971.

[Escreva aqui]

Esta pequena diferença (atraso no fluxo de ar durante o ciclo respiratório) é o “volume de deslocamento” - corresponde à diferença de volume em relação ao que a mesma massa de ar ocuparia qdo a pressão se equilibra

Expiração - ocorre o inverso.

O volume de deslocamento representa a ΔV responsável pela descompressão e compressão do ar (necessária para o movimento do ar)

Relaciona-se com a P da cabine e permite medir CRF e RAW: a alteração de volume no pulmão é representada pelo volume de deslocamento e é igual em magnitude, mas de sinal oposto, à alteração de volume da cabine. Como o volume livre da cabine é conhecido (volume total menos o volume corporal do utente estimado a partir do peso corporal) a lei de Boyle-Mariotte é aplicável e permite derivar o deslocamento de volume através da ΔP cabine.

A variação no volume da cabine é igual, mas de sinal oposto, à ΔP cabine. Esta relação é tb determinada durante a calibração da cabine.

Volume de deslocamento e ΔP cabine são fisicamente equivalentes e intercambiáveis, e ambos podem ser usados.

Para que exista correspondência entre a variação de volume intratorácico e a variação de pressão na cabine, é fundamental um fator de relação que é determinado durante a verificação da calibração na cabine³, como já foi referido.

O volume de ar contido nos tubos, filtros e bocais, entre a válvula e a boca, devem ser subtraídos ao volume final⁷ da CRF_{plet}. De igual modo, terá que ser subtraído qualquer volume de ar acima da posição média respiratória, em repouso, a que o indivíduo esteja a respirar no momento da oclusão. Um caso particular é o dos pletismógrafos em que o encerramento da válvula se dá no início da inspiração; esse volume de ar tem que ser subtraído durante a análise dos registos, como já foi referido.

[Escreva aqui]

Interpretação

A valorização dos volumes pulmonares não mobilizáveis permite a clarificação e definição da alteração ventilatória restritiva, mista e ainda da presença de insuflação pulmonar ou de *air trapping* na alteração ventilatória obstrutiva⁹.

Uma CPT abaixo do 5º percentil do seu valor de referência é compatível com uma diminuição do volume pulmonar e sugestiva de alteração restritiva se acompanhada de diminuição dos volumes mobilizáveis com uma relação VEMS/CVF normal⁹. O aumento, acima percentil 95, da CPT, da CRF_{plet} e do VR sugerem a presença de insuflação pulmonar se não for acompanhado por aumento semelhante da CVF.

Alterações ventilatórias

Resumo das ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests

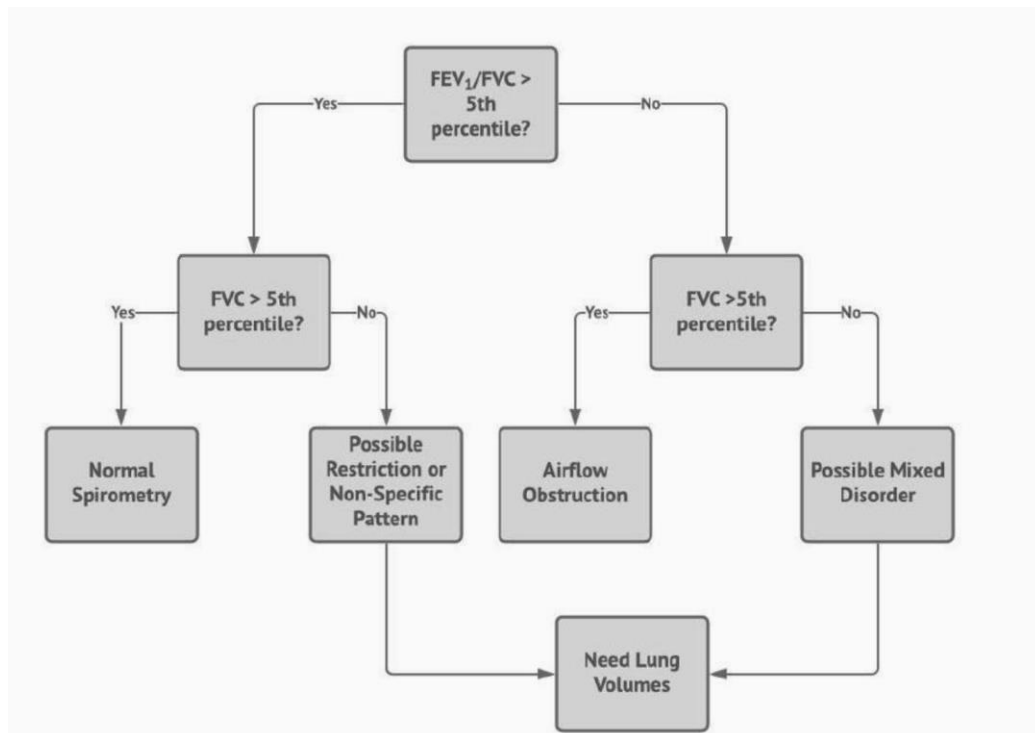
(Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller M, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. Eur Respir J. Doi: 10.1183/13993003.01499-2021.)

Introdução

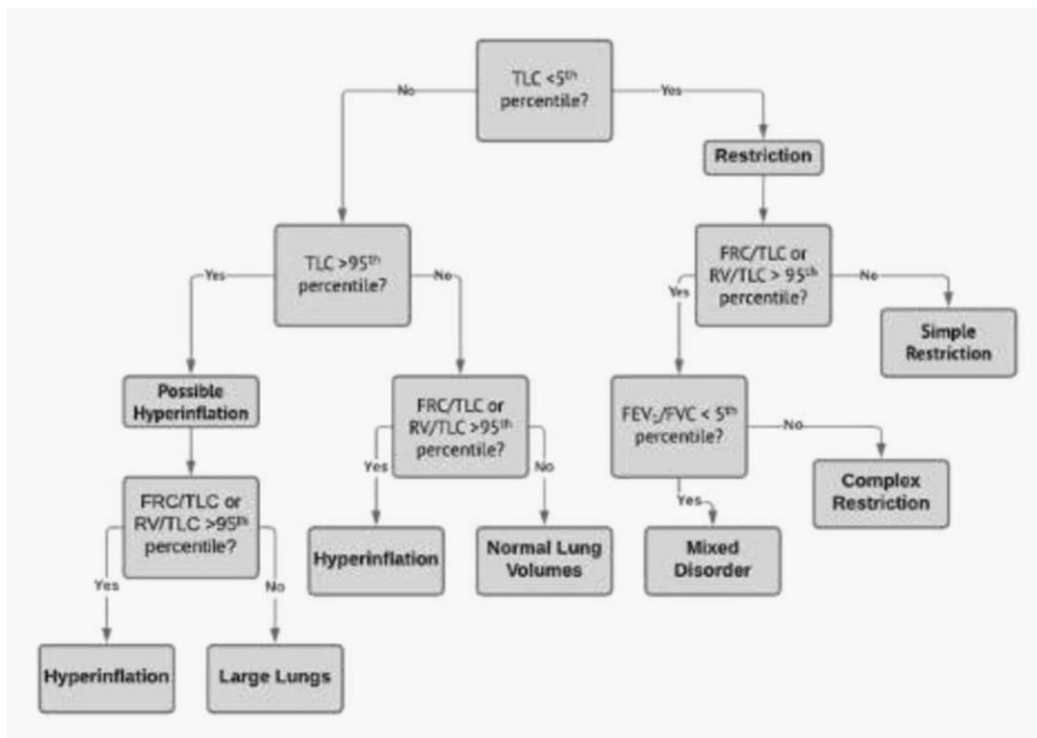
Neste documento sistematiza-se as orientações ERS/ATS, 2021 para a interpretação da PFR basal no que respeita à identificação das alterações ventilatórias. Quando necessário, foi: i) feita referência às orientações ATS/ERS, 2005; ii) eliminado texto considerado demasiado confuso e fora de contexto; iii) adicionado um comentário, destacado a cinzento.

Este documento não substitui a leitura integral do documento original das orientações

Alterações ventilatórias



[Escreva aqui]



1. Alteração ventilatória obstrutiva

É definida por uma FEV_1/FVC (ou VC) abaixo do limite inferior da normalidade (LLN) definido como o percentil 5 de uma população normal.

O uso da VC (a maior VC seja lenta ou forçada) em vez da FVC (na relação FEV_1/FVC) foi recomendado nas *guidelines* sobre interpretação de 2005¹¹. Nas orientações de 2021¹², Stanojevic et al. recomendam a utilização da FEV_1/VC pois: i) a FEV_1/VC pode ser mais sensível, mas não tão específico como FEV_1/FVC na identificação da alteração obstrutiva, ii) a manobra da FVC é mais padronizada que a da VC lenta (inspiratória ou expiratória), iii) tanto o FEV_1 como a FVC são medidos na mesma manobra forçada.

Em adultos, o FEV_6 pode substituir a FVC mas só se fossem usados os LLNs adequados para a FEV_1/FEV_6 e as equações GLI não incluem o FEV_6 .

Outra medida espirométrica de alteração ventilatória obstrutiva, é a capacidade inspiratória. Uma diminuição da IC (**Nota HBD**: com uma posição média respiratória

¹¹ Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, Coates A, van der Grinten CP, Gustafsson P, Hankinson J, et al. Interpretive strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005;26:946–968.

¹² Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller M, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J* 2021; in press (<https://doi.org/10.1183/13993003.01499-2021>).

[Escreva aqui]

devidamente estabilizada) geralmente reflete uma FRC elevada devido ao aprisionamento de ar. A IC, quando relacionada com a TLC, correlaciona-se estreitamente com as exacerbações agudas e a sobrevida em indivíduos com DPOC; a redução da CI durante o exercício é um importante determinante de dispneia e intolerância ao exercício.

Relativamente aos volumes não mobilizáveis, se verificar-se um aumento no RV ou RV/TLC (Nota HBD: não deve ser “ou RV/TLC” mas sim “e RV/TLC”), acima do percentil 95, pode indicar insuflação ou aprisionamento de ar (*air trapping*) relacionado com a obstrução das vias aéreas. Segundo Stanojevic et al., uma das primeiras manifestações da doença das pequenas vias aéreas é um aumento do RV ou RV/TLC devido ao encerramento prematuro das vias aéreas e aprisionamento de ar. Com a progressão da doença, a insuflação pulmonar e o aprisionamento de ar são refletidos por aumentos na FRC ou FRC/TLC (Nota HBD: não deve ser “ou FRC/TLC” mas sim “e ou FRC/TLC”) e frequentemente na TLC (Nota HBD: no caso do enfisema pulmonar). Uma FRC/TLC aumentada indica uma diminuição da capacidade inspiratória, típico da DPOC e intimamente associada à tolerância reduzida ao exercício e à dispneia.

Obstrução das pequenas vias aéreas

Acredita-se que as primeiras alterações associadas a doenças respiratórias que produzem obstrução do fluxo aéreo ocorram nas vias aéreas de menor calibre e mais distais. Como a área transversal total das pequenas vias aéreas (PVA) é muito grande, elas oferecem pouca resistência ao débito aéreo em altos volumes pulmonares pelo que o comprometimento dessas vias aéreas tem pouco impacto no FEV₁. No entanto, à medida que a expiração prossegue durante uma manobra de expiração forçada máxima, as PVA diminuem de calibre, com um aumento acentuado da resistência, o que pode reduzir substancialmente o débito expiratório em volumes pulmonares menores. Além disso, a perda da retração elástica, se existirem alterações enfisematosas no parênquima pulmonar, também contribui para a redução dos débitos expiratórios forçados. Assim, verifica-se na obstrução das PAV uma diminuição do débito na porção terminal do espirograma, mesmo quando a parte inicial é pouco afetada, e que é bem visível na curva de débito-volume. Contudo, outros parâmetros e outras técnicas têm sido apontadas como melhor alternativa para avaliar as PAV.

[Escreva aqui]

2. Obstruções altas (obstrução das vias aéreas centrais e superiores)

A obstrução das vias aéreas centrais e a obstrução das vias aéreas superiores ocorrem nas vias aéreas fora do parênquima pulmonar. Podem ocorrer nas vias aéreas intratorácicas (traqueia intratorácica e brônquios principais) ou vias aéreas extratorácicas (faringe, laringe e porção extratorácica da traqueia).

Nos estadios iniciais podem não levar a uma diminuição do FEV₁ e/ou FVC, mas o PEF pode já estar severamente diminuído. Se evoluir, acabará por diminuir o FEV₁ e a FVC.

Os índices apresentados na tabela seguinte podem ajudar a distinguir a obstrução intratorácica da extratorácica. Uma relação FEV₁/PEF > 8 ml/L/min em adultos sugere a presença de obstrução das vias aéreas centrais ou superiores.

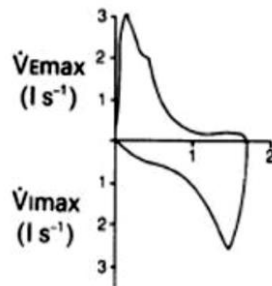
	Extrathoracic Obstruction		Intrathoracic Obstruction
	Fixed	Variable	
PEF	Decreased	Normal or decreased	Decreased
FIF ₅₀	Decreased	Decreased	Normal or decreased
FIF ₅₀ /FEF ₅₀	~1	<1	>1

A inspeção da curva de débito-volume é útil na avaliação de uma obstrução alta. Em manobras bem colaboradas, o padrão repetível de um plateau no débito inspiratório máximo na presença de um débito expiratório relativamente normal sugere obstrução variável extratorácica. Por outro lado, o padrão repetível de um plateau no débito expiratório máximo com débito inspiratório relativamente normal sugere obstrução variável das vias aéreas centrais intratorácicas. Se o plateau se verifica tanto na inspiração como na expiração forçadas sugere obstrução fixa das vias aéreas centrais ou superiores.

Na obstrução unilateral do brônquio principal, um evento raro, o débito inspiratório máximo tende a ser maior no início do que no final da inspiração forçada devido a um atraso no enchimento pulmonar. Nesse caso, durante a expiração forçada, o débito inicialmente diminui durante a expiração forçada, à medida que as regiões de esvaziamento rápido do pulmão se esvaziam, e depois estabiliza na porção média do

[Escreva aqui]

ciclo expiratório, pois as regiões de esvaziamento mais lento passam a dominar o débito expiratório.



Outro padrão de oscilações de fluxo (padrão dente de serra) pode ser ocasionalmente observado na fase inspiratória ou expiratória e provavelmente representa uma instabilidade mecânica da parede das vias aéreas. (Nota HBD: Pode ser visto, por ex: em utentes com SAOS).

2. Alteração ventilatória restritiva

A diminuição dos volumes pulmonares define a alteração ventilatória restritiva que se caracteriza por uma diminuição da TLC abaixo do LLN (percentil 5). A presença de uma alteração ventilatória restritiva pode ser suspeitada apenas pela espirometria quando a FVC está reduzida e a FEV_1/FVC está dentro da normalidade ou aumentada e a curva fluxo-volume mostra um padrão convexo (refletindo retração elástica aumentada).

Na maioria dos processos de doença restritiva, o FEV_1 , FVC e TLC estão tipicamente reduzidos aproximadamente na mesma proporção; esse padrão é conhecido como “restrição simples”. No entanto, alguns indivíduos apresentam redução da FVC desproporcional à redução da TLC, indicando um RV desproporcionalmente elevado. Esse padrão é denominado “restrição complexa” e está associado a processos que prejudicam o esvaziamento pulmonar, como doença neuromuscular, restrição da parede torácica ou obstrução oculta com aprisionamento de gás (Nota HBD: serão casos específicos provavelmente mais relacionados com bolhas de enfisema ou doença inicial das vias aéreas com colapso expiratório. Esta última poderá progredir para patologia obstrutiva que associada à restritiva pode determinar uma alteração mista).

[Escreva aqui]

3. Alteração ventilatória mista

A alteração ventilatória mista é caracterizada pela coexistência de obstrução e restrição e é definida fisiologicamente quando FEV_1/FVC e TLC estão abaixo do LIN (percentil 5). Como a FVC pode estar igualmente diminuída tanto na obstrução quanto na restrição, a presença de um componente restritivo num indivíduo obstruído tem que ser confirmada pela presença de uma TLC diminuída. A alteração mista geralmente envolve a combinação de um distúrbio do parênquima pulmonar associado a um distúrbio não pulmonar, como seja DPOC e insuficiência cardíaca congestiva.

4. Padrão “inespecífico”

FEV_1 e FVC diminuídos com FEV_1/FVC dentro da normalidade. Nas *guidelines* ATS/ERS, 2005, sobre a interpretação da PFR, Pellegrino et al. referem que este padrão reflete com mais frequência a uma inspiração ou expiração incompletas quando a FVC é realizada. Mas, que também pode verificar-se quando uma grande limitação do débito impede a expiração completa até RV e que neste caso se visualiza uma concavidade na curva débito-volume no final da manobra e um FEF75% dentro da normalidade. A TLC também estará normal. Referem ainda que medir a capacidade vital lenta e usar o Índice de Tiffeneau por dar uma estimativa mais correta da relação entre o FEV_1 e a capacidade vital. (Nota HBD: uma tão grande limitação do débito aéreo não se deveria repercutir num FEV_1 também diminuído?...)

Os autores apontam outras explicações possíveis para esse padrão: o colapso não homogêneo de pequenas vias aéreas no início da expiração. Neste caso, a TLC pode estar dentro da normalidade, mas o RV está geralmente aumentado.

Quando se verifica FEV_1 e FVC diminuídos com FEV_1/FVC e TLC dentro da normalidade, os autores sugerem um estudo da resposta ao BD.

Nas *guidelines* ERS/ATS, 2021, sobre a interpretação da PFR, Stanojevic et al. referem que o padrão inespecífico (“non-specific”) era caracterizado por FVC e/ou FEV_1 diminuídos, FEV_1/FVC e TLC dentro da normalidade. Não é o que está escrito nas *guidelines* de 2005, como se pode verificar pelo parágrafo anterior. Aliás, se só o FEV_1 estivesse diminuído a FEV_1/FVC também estaria diminuída e a alteração seria obstrutiva.

[Escreva aqui]

Stanojevic et al., para além das causas possíveis apontadas por Pellegrino et al. acrescentam que esse padrão pode relacionar-se com uma alteração restritiva, o que é óbvio, e que é necessária uma TLC diminuída para confirmar a restrição. Referem ainda que o padrão inespecífico pode ser um indicador precoce de um processo restritivo em que a redução da FVC ainda não é acompanhada de redução do RV (**Nota HBD**: esta última afirmação é pouco clara e deve ser analisada cuidadosamente).

Stanojevic et al. também introduzem nas *guidelines* a designação de espirometria alterada com relação preservada ou “PRISm”, já anteriormente discutida por outros autores, quando se verifica um padrão inespecífico e não se tem acesso à TLC. Mais uma vez, referem que a TLC é essencial para esclarecer esse padrão e confirmar uma alteração restritiva.

Stanojevic et al. tb recomendam que seja feito um estudo da resposta ao BD quando o padrão inespecífico (FVC e FEV₁ diminuídos com FEV₁/FVC e TLC dentro da normalidade) se verifica e não se relaciona com manobras pouco colaboradas.

Disanapse (Dysanapsis) e outros padrões de alteração do FEV₁, FVC e FEV₁/FVC:

Em 1974, Green et al.¹³ designaram por crescimento disanápico o crescimento desproporcional entre tamanho do pulmão e o calibre das vias aéreas. Os autores descreveram grandes variações nos débitos expiratórios máximos em indivíduos normais com tamanhos pulmonares semelhantes e postularam que as diferenças nos débitos expiratórios máximos observados eram devidas a diferenças entre indivíduos no calibre e na geometria das vias aéreas (calibre versus comprimento). Sugeriram que era uma variante da normalidade.

Nas guidelines ATS/ERS, 2005, Pellegrino et al. referem que em indivíduos saudáveis não é claro o significado de uma alteração obstrutiva (FEV₁/FVC inferior ao LLN) na presença de um FEV₁ dentro da normalidade e que este padrão pode relacionar-se com disanapse. Se este padrão representa uma alteração obstrutiva depende, segundo as mais recentes guidelines ERS/ATS, 2021 da probabilidade prévia de doença obstrutiva e possivelmente dos resultados de testes adicionais, como por ex: a resposta ao BD.

¹³ Green M, Mead J, Turner JM. Variability of maximum expiratory flow-volume curves. J Appl Physiol 1974;37:67–74.

Table 3. Functional Classification of Common Impairments Assessed by Conventional PFTs and their Pathophysiological Determinants

Obstructive ventilatory impairments*	Narrowing of the airways in the lung by physical obstruction or by dynamic airway collapsing. More proximal airway properties determine airflow resistance at large lung volumes and drive the FEV ₁ /FVC measurement; more distal airway properties determine airflow resistance at small lung volumes and drive flow measurements later in a maximal exhalation. Because airway obstruction impairs lung emptying, it is often accompanied by air trapping and hyperinflation that may reduce the FVC but is more directly assessed by the RV measurement.
Restrictive ventilatory impairments*	Reduction in the size of the lung. This may reflect lung parenchymal or an inability to fully inhale due to extrapulmonary factors (e.g., weakness, chest wall abnormalities, obesity). Lung restriction reduces FEV ₁ , FVC, (but not the FEV ₁ /FVC ratio) and TLC.
Gas transfer impairments	Reduction in transport of gas (carbon monoxide transfer as a surrogate for oxygen) between the alveolar spaces and alveolar capillary blood. This may be due to a reduction in alveolar surface area, abnormal alveolar-capillary membrane properties, or reduced pulmonary capillary blood (hemoglobin) volume. Impaired gas transfer is generally assessed by analysis of carbon monoxide uptake during a breath-hold (D _L CO). Some conditions can lead to an increase in gas transfer.

* Many authorities also use the term “ventilatory impairments” to group obstructive and restrictive impairments.

Nota HBD

De acordo com o texto do documento, as PFR's basais avaliam:

1. Débito aéreo (insp. e exp.)
2. Volumes e capacidades (não mobilizáveis)
3. Transferência alvéolo-capilar do CO

Na realidade, seria preferível (mais completo e mais caracterizador do que é um estudo da função respiratória):

1. Volumes e capacidades mobilizáveis e débitos aéreos
2. Volumes e capacidades (não mobilizáveis)
3. Trocas gasosas (gasimetria arterial e TLCO)

As tabelas seguintes apresentam uma sistematização da proposta de interpretação destas *guidelines* que pode conduzir à ideia, errada, de que se podem identificar diferentes padrões dependendo da técnica (espirometria ou PCT). É importante que se entenda que a interpretação da PFR basal inicia-se com a avaliação de cada parâmetro, comparando com o valor de referência (valor médio) e com o limite de normalidade que se aplicar (LIN, LSN ou ambos). Mas que, posteriormente, é necessário avaliar a resposta
[Escreva aqui]

de todos os parâmetros e se esta é consistente (como a tabela 7 sugere). Ou seja, tem que ser feita uma avaliação global da prova basal para que a conclusão seja coerente e correta.

Table 4. Classification of Ventilatory Impairments Defined by Spirometry. Reduced or elevated results are defined by the lower and upper limits of normal respectively.

	FEV ₁	FVC	FEV ₁ /FVC	Comments
Obstructive impairments	Normal/↓	Normal	↓	
Restrictive impairments	↓	↓	Normal/↑	TLC reduced to confirm
Non-specific pattern (121)	↓	↓	Normal	TLC normal; additional testing may be helpful (e.g. bronchodilator response, Raw). When TLC is not available, this pattern has been described in population-based studies as preserved ratio-impaired spirometry (PRISm), in current and former smokers (122)
Muscle weakness	↓	↓	Normal	Lack of sharp Peak Expiratory Flow
Suboptimal effort	↓	↓	Normal	Lack of sharp Peak Expiratory Flow
Mixed disorder	↓	↓	↓	Need lung volumes to confirm
Dysanapsis(118)	Normal	Normal /↑	↓	May be normal variant

Table 6. Classification of Ventilatory Impairments defined by Lung Volumes

	TLC	FRC	RV	FRC/TLC	RV/TLC	Comments
Large lungs	↑	↑	↑	Normal	Normal	Normal variant above ULN
Obstruction	Normal /↑	Normal /↑	↑	Normal /↑	↑	Hyperinflation if FRC/TLC and RV/TLC elevated; gas trapping if only RV/TLC elevated (e.g., COPD)
Simple Restriction	↓	↓	↓	Normal	Normal	e.g., ILD
Complex Restriction(156)	↓	↓	Normal /↑	Normal	↑	When the FEV ₁ /FVC is normal complex refers to the process contributing to restrictive process that disproportionately reduces FVC relative to TLC. (e.g., small airway disease with gas trapping and obesity).
Mixed Disorder	↓	Normal /↓	Normal /↑	Normal /↑	Normal /↑	Typically, FEV ₁ /FVC is reduced (e.g., combined ILD and COPD)
Muscle weakness	↓	Normal/↓	↑	↑	↑	When effort appears sufficient. TLC is reduced especially with diaphragm weakness. RV is increased especially with expiratory muscle weakness.
Suboptimal effort	↓	Normal	↑	↑	↑	Especially when effort appears insufficient
Obesity	Normal /↓	↓	Normal /↑	Normal /↓	Normal /↑	ERV low; reduced TLC at very high BMI (>40) (37)

[Escreva aqui]

Table 7. Summary of Types of Spirometrically defined and Lung Volume defined Ventilatory Impairments.

Ventilatory Impairments	Patterns
Obstruction	<ul style="list-style-type: none"> • FEV₁/FVC < 5th percentile. • Decrease in flow at low lung volume may reflect small airway disease in individuals (100, 101, 108). • Concomitant decrease in FEV₁ and FVC most commonly due to poor effort but may reflect airflow obstruction or a restrictive pattern. Recommend lung volumes. • Measurement of absolute lung volumes may assist in diagnosis and assessment of hyperinflation(108). • Measurement of airflow resistance may assist in diagnosis(139).
Restriction	<ul style="list-style-type: none"> • TLC <5th percentile • Reduced FVC does not prove restrictive impairment but may be suggestive of restriction when FEV₁/FVC is normal or increased. • Low TLC from single breath test not reliable, especially with low FEV₁/FVC (125). • A normal FVC usually excludes restriction(153)
Mixed	<ul style="list-style-type: none"> • FEV₁/FVC and TLC both < 5th percentile.