

Exploración funcional respiratoria: aplicación clínica

F. Pérez Grimaldi, C. Cabrera Galán, R. Carmona García, A.C. Montás Lorenzo

INTRODUCCIÓN

Las pruebas de función respiratoria (PFR) constituyen un pilar esencial de la Neumología, contribuyendo en su momento de forma decisiva a su configuración como una especialidad médica independiente respecto al tronco común de la Medicina Interna.

Con esta denominación se conoce un amplio grupo de exploraciones que permiten valorar, de forma objetiva y fiable, distintos aspectos del funcionamiento del aparato respiratorio. En la tabla 1 se presenta una clasificación general de las mismas.

Las PFR son fundamentales para la valoración diagnóstica, la evaluación de la respuesta al tratamiento y la determinación del pronóstico en las enfermedades del aparato respiratorio.

Considerando la limitación de espacio, en este capítulo desarrollaremos de forma breve los aspectos fundamentales de las principales PFR, con mayor atención a aquellas de uso más común (entre las que destaca la espirometría forzada); no obstante, haremos mención también de algunas pruebas de uso menos extendido pero que están ganando utilidad más recientemente, como aquellas destinadas a la valoración de las vías finas; en otros casos, como las pruebas de esfuerzo cardiopulmonar, el desarrollo se realizará en otros capítulos de este Manual.

ESPIROMETRÍA

Definición

La espirometría es una prueba básica para el estudio de la función pulmonar. Se trata de una maniobra

que registra el máximo volumen de aire que puede mover un sujeto desde una inspiración máxima hasta una exhalación completa (es decir, hasta que en los pulmones solo quede el volumen residual). Esta medición puede realizarse sin límite de tiempo para la maniobra (espirometría simple) o en el menor tiempo posible (espirometría forzada): de ahora en adelante nos dedicaremos únicamente a la espirometría forzada, por ser la de mayor relevancia clínica. En dicha prueba, al mismo tiempo que se registra el máximo volumen espirado, este se relaciona con el tiempo que dura la maniobra, con lo que es posible obtener medidas de flujo.

Se trata de una exploración sencilla, rápida, asequible, segura y útil para la valoración del enfermo respiratorio desde el punto de vista funcional. Sin embargo, su rentabilidad depende de una correcta cooperación entre el paciente y el personal que la realiza (que debe estar adecuadamente capacitado) y de un estricto control de calidad del equipo empleado y su calibración.

Indicaciones/contraindicaciones

La espirometría forzada es imprescindible para el diagnóstico y seguimiento de la mayoría de las enfermedades respiratorias; en algunos casos además juega un papel determinante en la elección del tratamiento del paciente. Por otro lado, aunque es una prueba segura, determinadas circunstancias contraindican la realización de la misma. En la tabla 2 se muestra un resumen de las principales indicaciones y contraindicaciones.

TABLA 1. Clasificación de las pruebas de función respiratoria.
Estudio de la mecánica ventilatoria:
- Espirometría - Volúmenes pulmonares - Resistencias - Presiones musculares
Estudio del intercambio gaseoso
- Pruebas de capacidad de difusión - Gasometría arterial
Pruebas de esfuerzo
- Esfuerzo submáximo: test de marcha de 6 minutos, prueba de lanzadera - Esfuerzo máximo: cicloergómetro, tapiz rodante
Pruebas de respuesta bronquial a estímulos
- Test de broncodilatación - Test de provocación bronquial (inespecíficas y específicas)
Otras
Pruebas de valoración de vías finas

Determinación

Existen unas condiciones previas a la realización de la espirometría. Deben evitarse el ejercicio intenso, las comidas copiosas, bebidas que contengan cafeína y fumar en las horas previas a la realización de la exploración⁽¹⁾. Según **la finalidad de la exploración, puede ser preciso retirar la medicación broncodilatadora de 6 a 48 horas antes**⁽²⁾ (según la duración del efecto de la misma). Tras tallar y pesar adecuadamente, es necesario **informar al paciente** de la exploración que se le va a realizar de forma clara y sencilla.

Para la exploración se debe evitar todo tipo de ropa ajustada, el paciente debe estar preferiblemente sentado y evitar las flexiones del tronco durante la espirometría. Tras ocluir la nariz con una pinza, se introduce la boquilla en la boca, sellándola con los labios y los dientes; a continuación, el paciente debe realizar una inspiración completa y lenta y, tras esto, realizar una espiración forzada, lo más intensa, rápida y prolongada posible.

Requisitos mínimos

Entendemos que una maniobra espirométrica es aceptable si:

- 1. **Está libre de artefactos: tos, boquilla ocluida o esfuerzo insuficiente.**

TABLA 2. Indicaciones y contraindicaciones de la espirometría.
Indicaciones
1) Diagnóstico: - Valoración rutinaria (exámenes de salud, deportistas...). - Valoración pacientes de riesgo (fumadores, exposición partículas nocivas) - Evaluación síntomas (disnea, tos, etc.) y signos (disminución murmullo vesicular, crepitantes...). Diagnóstico, clasificación y seguimiento de enfermedades respiratorias o de otros órganos que afecten a la función respiratoria. - Evaluación del riesgo de procedimientos quirúrgicos (especialmente en cirugía de resección pulmonar).
2) Seguimiento: Monitorización de personas expuestas a sustancias tóxicas para el pulmón. Monitorización de la evolución de enfermedades respiratorias. - Evaluación del efecto de intervenciones terapéuticas.
3) Evaluación de discapacidades (valoraciones legales, exámenes médicos para seguros y programas de rehabilitación).
4) Finalidad científica (estudios epidemiológicos, investigación clínica y obtención de ecuaciones de referencia).
Contraindicaciones
1) Absolutas Neumotórax reciente (al menos 2 dos semanas tras la reexpansión). Hemoptisis aguda. Tromboembolismo pulmonar (hasta estar adecuadamente anticoagulado). Infecciones respiratorias activas (TBC, novovirus, influenza). Inestabilidad hemodinámica. Infarto agudo de miocardio reciente. Angor inestable. Hipertensión intracraneal. Aneurisma torácico o cerebral. - Desprendimiento agudo de retina.
2) Relativas Cirugía craneal/ocular/ORL reciente. Traqueostomía. - Problemas bucales. - Hemiplejía facial. - Náuseas por la boquilla. - Falta de comprensión de la maniobra (ancianos, niños). - Estado físico o mental deteriorado.

- 2. **Comienzo brusco y expulsión continuada hasta alcanzar un flujo cero (menor de 25 ml/seg).**

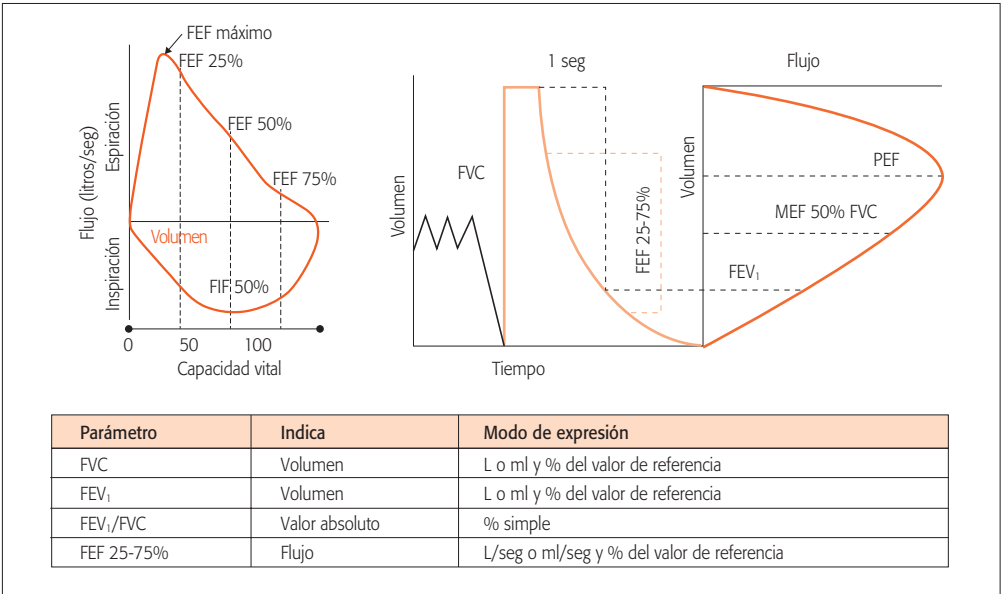


Figura 1. Gráficas flujo/volumen y volumen/tiempo. Parámetros utilizados junto con sus unidades de expresión.

3. El tiempo de espiración ha de ser 6 segundos como mínimo, sin producirse amputación al final de la espirometría y mostrando una meseta de 1 segundo en la gráfica de volumen/tiempo.
4. Son precisas al menos 3 maniobras, con variabilidad entre las dos mejores menor de 150 ml en la FVC y el FEV₁. De no ser así, se repetirá la maniobra hasta obtener 3 curvas satisfactorias siempre con un máximo de 8 maniobras, dejando entre ellas el tiempo suficiente para que el paciente se recupere del esfuerzo. Al finalizar se tomará como válida la mejor cifra obtenida.

Interpretación

La interpretación de los resultados de la espirometría debe realizarse de acuerdo al estado clínico del paciente; su análisis nos permite establecer la existencia de alteración ventilatoria y clasificarla según los patrones espirométricos de disfunción ventilatoria.

Los resultados de la espirometría deben expresarse de forma gráfica y numérica. La representación gráfica se puede obtener como curva de flujo/volumen o volumen/tiempo (Fig. 1).

La interpretación numérica de la espirometría se basa en la comparación de los valores obtenidos por el paciente con los que teóricamente le corresponde-

rían a un individuo sano de sus mismas características antropométricas (edad, peso, talla, sexo y raza). Los parámetros que utilizamos habitualmente son:

- **Capacidad vital forzada (Forced Vital Capacity) (FVC):** volumen de aire total expulsado mediante una espiración forzada.
- **Volumen espiratorio máximo espirado en el primer segundo (Forced Expiratory Volume) (FEV₁):** volumen de aire máximo expulsado en el primer segundo de la espiración forzada.
- **Relación FEV₁/FVC:** relación porcentual entre FEV₁ y FVC. No debe confundirse con el índice de Tiffeneau (relación FEV₁/VC), dado que en circunstancias patológicas la FVC puede ser inferior a la VC debido al colapso dinámico de la vía aérea.
- **Flujo espiratorio máximo entre el 25% y el 75% de la FVC (Forced Expiratory Flow 25-75) (FEF 25-75%):** relación entre el volumen expulsado entre el 25% y 75% de la FVC y el tiempo que se ha tardado en expulsarlo.
- **Flujo espiratorio máximo o flujo pico (Peak Expiratory Flow) (PEF):** máximo flujo conseguido durante la espiración forzada.

Los valores de la espirometría se pueden expresar como valor absoluto o en porcentaje sobre el valor teórico de referencia. Se considerarán patológicos cuando

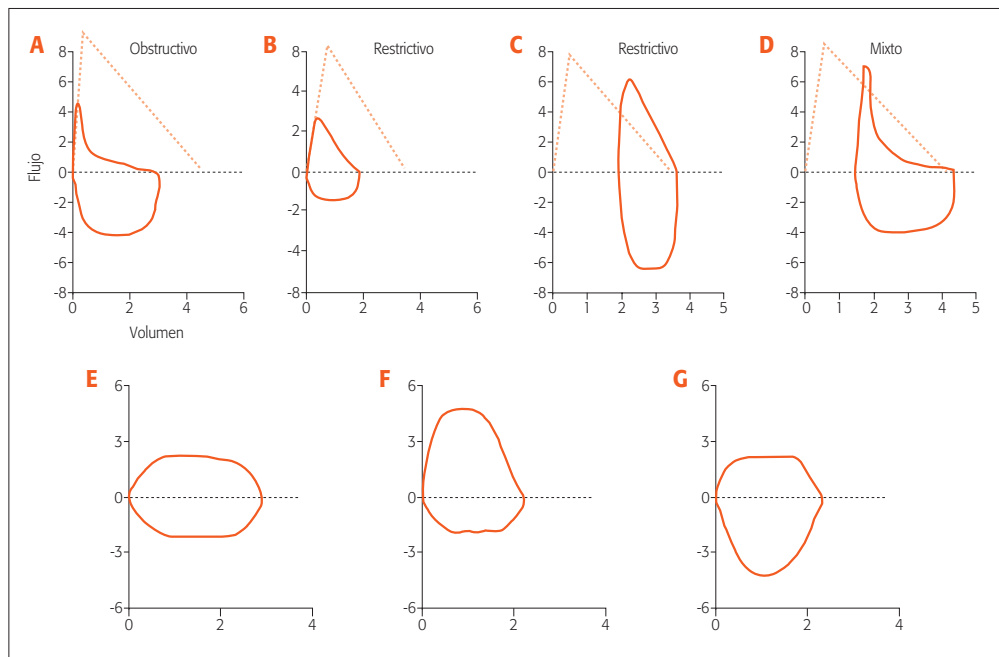


Figura 2. Representaciones de los principales trastornos espirométricos en curvas de flujo volumen. **A)** Trastorno obstructivo. **B y C)** Trastorno restrictivo. **D)** Trastorno mixto. **E)** Obstrucción fija central o de vías aéreas superiores. **F)** Obstrucción variable extratorácica. **G)** Obstrucción variable intratorácica.

se encuentren por debajo de los valores que se consideran como normales. Para FVC y FEV_1 , el 80%, para FEV_1/FVC el 70% y para el FEF 25-75 el 60%.

Alteraciones ventilatorias

Distintos tipos de alteraciones ventilatorias pueden objetivarse en la espirometría⁽³⁾:

- a) **Alteración ventilatoria obstructiva.** Indica una reducción del flujo aéreo, que se puede producir por aumento de la resistencia de las vías aéreas o por la disminución de la retracción elástica del parénquima.

La **curva flujo/volumen** muestra, tras la aparición del **PEF** (puede ser normal o reducido), una caída brusca y una incurvación de concavidad hacia arriba (Fig. 2). Los valores espirométricos presentan una **FVC normal o ligeramente disminuida**, un **FEV_1 reducido** y una **relación FEV_1/FVC disminuida por debajo del límite inferior de la normalidad (LIN)** o el 70% (este último parámetro define la obstrucción). Según **la intensidad de la alteración se establecen los grados de gravedad de la obstrucción** (Tabla 3).

- b) **Alteración ventilatoria restrictiva.** Se produce en enfermedades que condicionan una disminución del volumen pulmonar, **que puede aparecer por patología pulmonar, de la caja torácica o neuromuscular**. Aunque la espirometría nos da información sobre una alteración restrictiva, para una caracterización completa será necesaria la medición de los volúmenes pulmonares estáticos.

La **curva flujo/volumen** muestra una morfología normal, pero de tamaño reducido (Fig. 2). Los valores espirométricos presentan una **FVC disminuida**, un **FEV_1 normal o disminuido** y una **relación FEV_1/FVC aumentada por encima del LIN**. Según la intensidad de la alteración se establecen los grados de gravedad de la restricción (Tabla 3).

- c) **Alteración ventilatoria mixta.** Combina las características de las dos anteriores. Para conocer con precisión el componente de restricción debemos utilizar los **volúmenes pulmonares estáticos**. La curva flujo/volumen mostrará una curva disminuida de tamaño, con morfología obstructiva. Los **valores espirométricos** mostrarán una **FVC, un FEV_1 y una relación FEV_1/FVC disminuidas**.

TABLA 3. Clasificación de gravedad en las alteraciones ventilatorias según las recomendaciones de la ATS/ERS.		
Nivel de gravedad	Trastorno obstructivo (FEV1)	Trastorno restrictivo (FVC)
Leve	> 70%	> 70%
Moderada	60-69%	60-69%
Moderadamente grave	50-59%	50-59%
Grave	35-49%	35-49%
Muy grave	< 35%	< 35%

d) Estenosis vía aérea central. El análisis de la morfología de la curva nos puede permitir la detección de estenosis de vías altas (laringe y tráquea) tanto por afectación intratorácica como extratorácica, con aparición de una curva “en meseta” (Fig. 2).

Prueba broncodilatadora

El test de broncodilatación tiene por objeto poner de manifiesto la posible existencia de reversibilidad de la obstrucción bronquial. Para ello hay que realizar una espirometría basal y repetirla unos 15 minutos después de inhalar un broncodilatador beta-adrenérgico de acción rápida (400 µg de salbutamol o equivalente) administrados a ser posible mediante cámara espaciadora.

A continuación se comparan los resultados de la espirometría basal con los de la espirometría post-broncodilatación. Consideraremos positiva la prueba si existe una mejoría del FEV₁ o de la FVC igual o mayor al 12% y 200 ml; se desaconseja el uso del FEV 25-75% o los flujos instantáneos para valorar reversibilidad.

La prueba broncodilatadora tiene una gran especificidad y escasa sensibilidad, por lo que un resultado positivo será un buen indicador de hiperreactividad bronquial. Sin embargo, una prueba negativa no descarta su existencia, ya que el paciente puede encontrarse en una fase asintomática con buen control del proceso.

VOLÚMENES PULMONARES

Definición

En la fisiología de la ventilación, podemos considerar los volúmenes pulmonares como dinámicos (aquellos que se movilizan con la respiración, medibles mediante espirometría) y estáticos (que no se

movilizan, no medibles con la espirometría). La suma de dos o más volúmenes constituye una capacidad pulmonar; hay cuatro volúmenes y cuatro capacidades, que aparecen reflejados en la figura 3.

Los tres volúmenes pulmonares estáticos, de interés clínico, son: el volumen residual (VR), volumen de gas que permanece dentro del pulmón tras una espiración forzada máxima; la capacidad residual funcional (CRF), que corresponde con el volumen de gas que hay en los pulmones al final de una espiración a volumen corriente; y la capacidad pulmonar total (CPT), que es el máximo volumen de gas que pueden contener los pulmones.

Indicaciones/contraindicaciones

Las indicaciones de la medición de los volúmenes pulmonares son variadas, pudiendo destacar, entre ellas, las siguientes⁽⁴⁾:

- Establecer con seguridad el diagnóstico de una alteración ventilatoria restrictiva y la magnitud de la restricción real en los patrones espirométricos de alteración mixta.
- Caracterizar el patrón de alteración funcional en enfermedades restrictivas (toracógeno, neuromuscular, etc.).
- Cuantificar adecuadamente el volumen residual.

Las contraindicaciones para la realización de estos tests son las mismas que para la realización de la espirometría. En el caso de la pletismografía, habría que añadir la claustrofobia y todas aquellas circunstancias que impidan el acceso del paciente a la cabina.

Determinación

Se han descrito diversas técnicas para determinar los volúmenes estáticos, pero los principales son dos: la pletismografía corporal y el método de dilución de los gases.

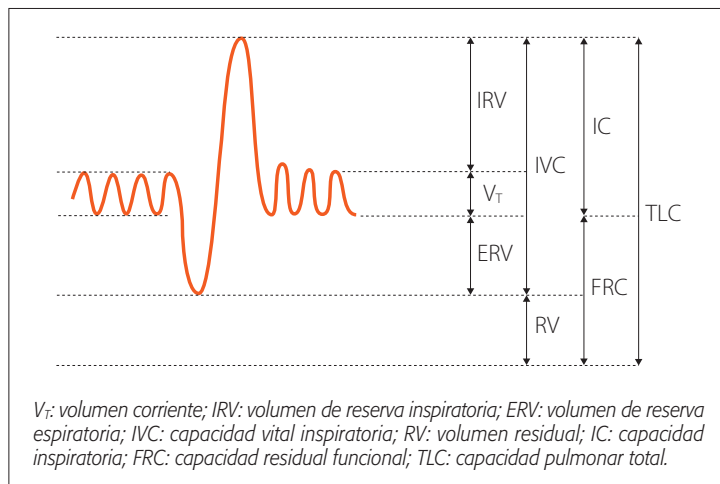


Figura 3. Volúmenes y capacidades sobre una curva espirométrica volumen/tiempo.

a) Pletismografía corporal

Es el **método más rápido y preciso** (entre otras ventajas), aunque también es más **costoso**. Se basa en la aplicación de la ley de Boyle-Mariotte: a temperatura constante, el volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión, es decir, el producto de la presión (P) por el volumen (V) es siempre constante (K): $P \times V = K$.

De este modo, si se produce un cambio de situación (de 1 a 2), se cumplirá que $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$. En el pletismógrafo el aparato respiratorio se convierte en un circuito cerrado en el que se cumple esa ley.

Aunque existen tres tipos de pletismógrafos, el más usado en la clínica es el pletismógrafo corporal de volumen constante. En esta determinación se emplea una cabina hermética y rígida de volumen conocido, donde respira el paciente a través de un sistema formado por una boquilla, una válvula para interrumpir el flujo de aire y un neumotacógrafo. Entre la boquilla y la válvula existe un transductor que mide la presión en la de la boca (Pb). Un segundo transductor mide la presión dentro de la cabina (Pc).

La **pletismografía mide todo el gas intratorácico (TGV) al final de la espiración no forzada, lo que equivale a la CRF**. Al realizar una espirometría posterior, se calcula el VR restando a la CRF el volumen de reserva espiratorio. La TLC se obtiene sumando el VR a la CV.

b) Método de dilución de gases

Es el **método más extendido, entre otras cosas por que precisa menos espacio físico, es más barato y el dis-**

positivo puede usarse para las pruebas de difusión; no obstante, es un sistema más lento que la pletismografía.

Con esta técnica el paciente inhala un **volumen de gas conocido (V1)** que contiene una concentración conocida (C1) de un gas inerte que no es soluble en los tejidos, que puede ser nitrógeno o generalmente helio (He).

Se basa en la ley de conservación de masas, según la que, a temperatura constante, la masa de un gas no varía. Es decir, el producto del volumen por la concentración permanece constante.

Mediante técnicas de respiración única o múltiples, a través de un espirómetro con una mezcla de aire y He, el He se va mezclando con el aire del pulmón y su concentración disminuye, lo que permite el cálculo de los volúmenes estáticos (V2) en función de la concentración del gas inerte que haya quedado tras la respiración (C2), mediante la siguiente relación: $C_1 \times V_1 = C_2 \times (V_1 + V_2)$. El test nos permite conocer la CRF; después, realizando una espirometría, se calculan el resto de volúmenes y capacidades.

Interpretación

La medición de volúmenes pulmonares estáticos aporta una información complementaria a la espirometría. El resultado **se expresa en valor absoluto y como porcentaje de su valor de referencia**.

De forma general, se considera que la **TLC se encuentra dentro de la normalidad si está entre el 80 y el 120%** de los valores de referencia; en el caso de la FRC y el VR estos límites serían entre el 65 y el 120%.

Según el nivel de afectación de la TLC, distinguiremos distintos niveles de restricción: ligera ($< \text{LIN}$ pero $\geq 70\%$), moderada ($< 70\%$ y $\geq 60\%$), moderadamente grave ($< 60\%$ y $\geq 50\%$), grave ($< 50\%$ y $\geq 35\%$) y muy grave ($\leq 34\%$).

Finalmente, también podremos determinar la presencia de hiperinsuflación que vendría definida por una FRC o una relación RV/TLC $> 120\%$.

PRUEBAS DE DIFUSIÓN DE GASES

Definición

La capacidad de transferencia del monóxido de carbono (TLCO) o difusión (DLCO) es una prueba pulmonar muy utilizada en la clínica para el estudio del intercambio pulmonar de gases⁽⁴⁾; este estudio se completa con la gasometría arterial.

Se define como el volumen de CO transferido a la sangre por unidad de tiempo y por gradiente de presión parcial del gas. Esta no solo informa del estado funcional de la membrana alveolo-capilar, sino también del conjunto de factores que determinan la transferencia del CO desde el pulmón hasta la hemoglobina.

El CO atraviesa la barrera alveolo-capilar de una manera similar a la del O_2 , pero dada su alta afinidad por la hemoglobina, unas 210 veces la del O_2 , el CO se fija rápidamente a la Hb; además, su presión parcial en sangre puede considerarse constante y cercana a cero a lo largo de todo el recorrido por el capilar pulmonar. Ello permite estimar el gradiente de difusión con solo medir la presión del CO alveolar.

Indicaciones/contraindicaciones

Esta técnica estará indicada en todos aquellos pacientes en los que nos interese valorar el intercambio de gases; de forma más concreta, hay algunas situaciones en las que es especialmente útil:

- Diagnóstico diferencial de la **patología restrictiva**. Ayuda a diferenciar la patología intersticial de otras causas de afectación restrictiva, como la patología torácica o neuromuscular.
- **Patología intersticial**. Se utiliza para la valoración inicial (es un marcador temprano) y el seguimiento, aunque no se ha demostrado que sea un factor pronóstico.
- **EPOC**. Es útil en la valoración del componente de enfisema, que reduce la DLCO, aspecto que no se produce en otras enfermedades obstructivas.

- **Hemorragias pulmonares**. Es también útil para detectar hemorragias pulmonares que aumentan la DLCO.

- **Estudio preoperatorio**. Útil en la valoración prequirúrgica de cualquier cirugía mayor y sobre todo antes de la cirugía de resección pulmonar.

Las contraindicaciones para esta técnica son superponibles a las de la espirometría forzada.

Determinación

Para su determinación se pueden emplear numerosos métodos, pero el más habitual es la técnica de respiración única con apnea. Es una técnica bien estandarizada, considerada como la referencia para el cálculo de la DLCO en las pruebas de función pulmonar. Otros métodos de determinación son la técnica del estado estable y la de la reinhalación.

Interpretación

Esta prueba nos aporta información sobre la superficie vascular disponible para el intercambio, es decir, aquellos capilares en contacto con alvéolos ventilados. Por este motivo, los resultados que encontremos van a estar condicionados por varias circunstancias a considerar: factor de difusión de la membrana alveolo-capilar, alteraciones en el volumen capilar pulmonar y alteraciones en la tasa de combinación del gas con la hemoglobina.

Esto hace que, antes de interpretarlo, el resultado inicial debería corregirse por el volumen alveolar y la hemoglobina del sujeto. De esta manera, obtendremos los siguientes parámetros:

- DLCO/SB. Capacidad de transferencia de CO por el método de la respiración única (*single-breath*). Su valor normal en reposo es de 25 ml/min/mmHg.
- DLCO/VA o cociente de Krogh (KCO). Se corrige por el volumen alveolar (VA), por lo que a la unidad de medida se le añaden los litros de VA, quedando expresada en ml/min/mmHg/L.

Aunque en general hay acuerdo en la dificultad de establecer valores de referencia, se pueden considerar como normales valores entre el 80 y el 120%.

GASOMETRÍA ARTERIAL

La gasometría arterial (GA) representa la prueba más rápida y eficaz para informar sobre el estado global de la función primaria del aparato respiratorio, esto es, el aporte de oxígeno al organismo y la eliminación del anhídrido carbónico.

drido carbónico del mismo. El concepto de insuficiencia respiratoria se basa exclusivamente en la medición de la presión parcial de los gases fisiológicos en sangre arterial.

Las variables que se determinan en la GA son la presión parcial de oxígeno (PaO_2), la presión parcial de dióxido de carbono (PaCO_2) y el pH; el resto de parámetros se derivan de los anteriores. En la práctica clínica diaria se consideran normales, a nivel del mar, todos aquellos valores de PO_2 superiores a 80 mmHg, con cifras de PCO_2 situadas entre 35 y 45 mmHg y de pH entre 7,35 y 7,45. Con estos valores podremos determinar la existencia de hipoxemia y el grado de la misma, hipercapnia o hipocapnia así como los estados de acidosis y alcalosis.

PRUEBAS DE PROVOCACIÓN BRONQUIAL

Definición y clasificación

La hiperrespuesta bronquial (HB) es el estrechamiento excesivo de la luz aérea ante estímulos físicos o químicos que habitualmente solo provocan una reducción escasa o nula del calibre de la vía respiratoria⁽⁹⁾. Las pruebas de provocación bronquial pretenden provocar un broncoespasmo controlado y detectable mediante la inhalación de diferentes sustancias o la realización de determinadas maniobras que tienen como consecuencia una acción broncoconstrictora conocida.

Son clasificadas tradicionalmente en pruebas específicas (se administran sustancias que producen broncoconstricción solo en individuos sensibles a las mismas) e inespecíficas (se administran sustancias farmacológicas o agentes físicos que denotan la hiperrespuesta en cualquier sujeto con HB).

Las pruebas de provocación inespecíficas se dividen a su vez en directas, que usan fármacos (metacolina, histamina, prostaglandinas) que actúan directamente sobre las células efectoras, e indirectas, que emplean estímulos (adenosina, manitol, ejercicio, etc.) que actúan sobre células capaces de liberar mediadores y provocar broncoconstricción.

De todas ellas, la prueba de metacolina es la mejor estandarizada, más empleada y una de las que menos efectos colaterales produce. Por ello, nos referiremos a ella a continuación.

Indicaciones/contraindicaciones

En la clínica habitual, las pruebas de provocación bronquial se indican para el diagnóstico del asma y/o

hiperreactividad bronquial en pacientes con espirometría normal y test de broncodilatación negativo, la monitorización del estado de hiperreactividad bronquial en diversas enfermedades y el estudio de hiperrespuesta secundaria al tabaquismo y otros irritantes (incluyendo agentes laborales).

En cuanto a las contraindicaciones, en general son las mismas que para la espirometría. A esto habría que añadir como contraindicación absoluta la hipersensibilidad a los fármacos usados y la obstrucción grave basal ($\text{FEV}_1 < 50\%$ del valor de referencia); como contraindicación relativa se añadiría la obstrucción moderada al flujo aéreo ($\text{FEV}_1 < 65\%$).

Realización e interpretación de los resultados

Las pruebas de provocación bronquial (PPB) se realizan principalmente administrando el estímulo por vía inhalatoria. Para la determinación del test se realiza una espirometría basal, posteriormente se administra la sustancia (en concentraciones crecientes) o se realiza la maniobra y se efectúan nuevas espirometrías para comparar los resultados.

El parámetro más utilizado es el FEV_1 , puesto que es muy reproducible, de fácil realización y no precisa de un equipo demasiado complejo; no obstante, no es el único parámetro que pueda emplearse en la interpretación de la prueba.

En el test de metacolina, la interpretación de la provocación bronquial se lleva a cabo relacionando la intensidad del estímulo y la respuesta observada mediante la construcción de una curva dosis-respuesta (CDR). Consiste en la representación en escala semilogarítmica de la concentración del fármaco empleado en el eje de abscisas, mientras que la modificación de la función pulmonar se sitúa en el eje de ordenadas.

La respuesta broncoconstrictora se mide generalmente con la PD20, que expresa la concentración de fármaco capaz de provocar un descenso en el FEV_1 del 20%. Analizando dicha curva, podremos estudiar la sensibilidad (dosis de provocación) y la reactividad (intensidad y progresión de la respuesta una vez desencadenada la broncoconstricción). Cuanto más sensible es el individuo, más pequeña será la dosis necesaria para alcanzar al PD20. Los valores de referencia se deberán establecer con precisión en cada laboratorio.

EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR RESPIRATORIA

Indicaciones

En general, estaría indicada en cualquier paciente en que se sospeche una disfunción muscular respiratoria. De forma más concreta, podríamos destacar como indicaciones:

- Enfermedades sistémicas con posible afectación muscular respiratoria (dermatomiositis, lupus eritematoso sistémico, etc.).
- Enfermedades neuromusculares (ELA, miastenias...).
- Alteraciones ventilatorias restrictivas de origen incierto.

Determinación e interpretación

De las diferentes maniobras que pueden emplearse para la medición de distintas presiones musculares del aparato respiratorio, la más habitual es la medición de presiones estáticas máximas en la boca.

Es una técnica sencilla, no invasiva y con una reproducibilidad aceptable. Para su determinación se requiere de un manómetro para medir la presión generada en la boca y un sistema de oclusión de la vía aérea. Consiste en medir la presión que se genera en la boca durante una maniobra inspiratoria (PI máx) y/o espiratoria (PE máx) máximas con la vía aérea ocluida durante 3-5 segundos.

Debido al fenómeno del aprendizaje, se propone realizar un mínimo de 6 maniobras hasta alcanzar 3 reproducibles, con un descanso de 1 minuto entre ellas. Entre la medición de PI máx y PE máx, el paciente debe descansar 5 minutos. Una vez obtenido el registro, se eligen las 3 mejores maniobras que cumplan criterios de aceptabilidad y sean reproducibles (diferencia $< 5\%$ o < 5 cmH₂O entre las 3 gráficas).

En general, se acepta que una PI máx mayor de 80 cmH₂O permite excluir razonablemente la presencia de debilidad muscular relevante y valores menores de 50 cmH₂O deben llevar a sospecharla. Cuando la PI máx es $< 30\%$ es habitual el fallo ventilatorio y con valores por debajo del 25% la hipercapnia es un dato constante.

Otra determinación de interés es la máxima ventilación voluntaria (MVV), una modalidad que permite de forma indirecta valorar la resistencia de los músculos respiratorios. Es una prueba sencilla y reproducible,

que consiste en realizar inspiraciones rápidas y forzadas durante 15 segundos. Se estima que una MVV igual o inferior al máximo volumen respiratorio teórico (calculado como FEV₁ 30%) indica una reducción de la resistencia a la fatiga.

EVALUACIÓN DE LA VÍA AÉREA PEQUEÑA

Las vías aéreas periféricas (o vía aérea pequeña) son vías de un diámetro interno inferior a 2 mm que pueden suponer una parte importante de la resistencia total al flujo aéreo en determinadas patologías obstructivas.

Este fenómeno es especialmente relevante en el caso del asma bronquial, en la que diversos estudios han demostrado que la inflamación es muy significativa en esta zona⁽⁶⁾.

Por todo ello, se trata de una zona interesante desde el punto de vista de la evaluación funcional respiratoria, que no puede ser estudiada adecuadamente mediante las pruebas funcionales habituales. Esta valoración se está realizando fundamentalmente con pruebas de imagen y con pruebas funcionales como la oscilometría de impulso y la prueba de lavado de nitrógeno; desarrollaremos brevemente estas últimas.

La oscilometría de impulso es una prueba funcional (de preparación similar a la espirometría) en la que se aplican pequeños pulsos de presión al paciente mientras respira a través de una boquilla, produciendo oscilaciones de flujo con una frecuencia variable (lo que nos permite valorar distintas zonas de la vía aérea). Los cambios que se producen como consecuencia de estos pulsos de presión son captados por un manómetro y un neumotacógrafo, lo que permite obtener la impedancia, que es la fuerza neta a vencer para mover el gas dentro y fuera del aparato respiratorio⁽⁷⁾.

La impedancia va a estar condicionada por diversos factores, entre ellos la resistencia de la vía aérea, que a su vez se compone de una resistencia central y una resistencia periférica. La oscilometría de impulso nos permite valorar estos dos aspectos de forma individualizada (según la frecuencia a la que se emitan el impulso), por lo que nos va a proporcionar información sobre el nivel de afectación de la vía aérea pequeña.

En cuanto a las indicaciones de esta prueba, aparte de la valoración de la afectación de la vía fina, es muy útil para pacientes poco colaboradores, por lo que su uso está más extendido en la Pediatría.

La prueba de lavado de nitrógeno mediante respiración única es un procedimiento clásico para la valoración de la vía aérea pequeña. En ella, se realiza un análisis de la concentración espirada de nitrógeno desde la capacidad pulmonar total hasta el volumen residual, mientras el paciente respira oxígeno puro.

Ello nos permite construir unas curvas que relacionan volumen y concentración de nitrógeno, de las que se va extrapolar, entre otras cosas, el volumen al cual se produce el cierre de la vía aérea pequeña y que, por tanto, induce atrapamiento aéreo⁽⁸⁾.

En los pacientes que presenten una mayor afectación de la vía aérea pequeña (por ejemplo en los asmáticos mal controlados), el volumen de cierre será más alto que en controles sanos; de este modo, esta prueba aporta una valoración información sobre el nivel de afectación de la vía aérea pequeña.

Más recientemente se ha desarrollado un método de lavado de nitrógeno por respiración múltiple, del que se van a obtener parámetros que nos pueden aportar información sobre el impacto de fármacos que están especialmente destinados a actuar sobre dicha vía aérea pequeña.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sanchís J, Casan P, Castillo J, González N, Palenciano L, Roca J. Normativa para la práctica de la espirometría forzada. Arch Bronconeumol. 1989; 25: 132-42.
2. García-Río F, Calle M, Burgos F, Casan P, del Campo F, Galdiz JB, et al. Normativa SEPAR: Espirometría. Arch Bronconeumol. 2013; 49: 388-401.
3. García de Vinuesa Broncano G, García de Vinuesa Calvo G. Exploración función respiratoria: aplicación clínica. En: Soto Campos JC, ed. Manual de diagnóstico y terapéutica en Neumología. 2ª ed. Madrid: Ergon; 2009. p. 73-88.
4. García-Río F, Gómez-Mendieta MA. Monografías Neumología. Volumen XVIII. Exploración funcional respiratoria. Madrid: Ergon; 2011.
5. Perpiñá M, García-Río F, Álvarez-Gutiérrez FJ, Cisneros C, Compte L, Entrenas LM, et al. Normativa sobre el estudio de la hiperrespuesta bronquial inespecífica en el asma. Arch Bronconeumol. 2013; 49: 432-46.
6. Usmani OS. Small-airway disease in asthma: pharmacological considerations. Curr Opin Pulm Med. 2015; 21: 55-67.
7. Gochicoa-Rangel L, Cantú-González G, Miguel-Reyes JL, Rodríguez-Moreno L, Torre-Bouscoulet L. Oscilometría de impulso. Recomendaciones y procedimiento. Neumol Cir Tórax. 2014; 73: 138-49.
8. Álvarez-Puebla MJ, García-Río F. Fisiología y fisiopatología de la vía aérea pequeña en el asma. Arch Bronconeumol. 2011; 47 (Supl 2): 10-6.