

Pruebas de función respiratoria

A. Abad Fernández^a, B. Jara Chinarro^a,
J. de Miguel Díez^b y J. L. Álvarez-Sala Walther^c

Servicio de Neumología. ^aHospital Universitario de Getafe. Madrid.

^bHospital Universitario Gregorio Marañón. Madrid.

^cHospital Clínico San Carlos. Madrid.

Introducción

Las pruebas de función respiratoria son una herramienta muy útil en el diagnóstico y el seguimiento de los pacientes que padecen una enfermedad respiratoria o, incluso, no torácica ni broncopulmonar. Aportan información sobre los dos aspectos más importantes de la fisiopatología respiratoria: la mecánica pulmonar y el intercambio gaseoso. El estudio de la mecánica pulmonar permite valorar las resistencias y las propiedades físicas y elásticas del pulmón y de la pared torácica. Para conocerla se dispone de pruebas como la espirometría y la pletismografía. La evaluación del intercambio gaseoso puede realizarse, además de por la gasometría arterial, mediante el análisis de la capacidad de difusión alvéolo-capilar para el monóxido de carbono. A continuación se revisan estas pruebas y se explican sus fundamentos y aplicaciones.

Variables medibles con las pruebas de función respiratoria

La espirometría es una prueba que cuantifica el volumen de aire que el aparato respiratorio de un individuo puede movilizar en función del tiempo. Los instrumentos empleados para realizarla han evolucionado considerablemente desde su aparición hace ya más de 100 años. Desde los iniciales espirómetros de agua con campana se ha pasado a los de fuelle o pistón y, más recientemente, a los basados en la neumotacografía. Estos últimos permiten medir el flujo aéreo a partir del gradiente de presiones que se genera al pasar el aire por una resistencia conocida. Un microprocesador integra la señal de flujo y la convierte en una señal de volumen.

La información obtenida con la espirometría puede complementarse con la que aporta la pletismografía, una prueba que permite medir el volumen de aire compresible que existe en el pulmón, comunicante o no con la vía aérea¹. A continuación se exponen las distintas variables que pueden estudiarse con estas dos técnicas.

PUNTOS CLAVE

Las pruebas de función respiratoria son una herramienta muy útil en el diagnóstico y el seguimiento de los pacientes que padecen una enfermedad respiratoria e, incluso, no respiratoria (extratorácica). Aportan información sobre los dos aspectos más importantes de la fisiopatología respiratoria: la mecánica pulmonar y el intercambio gaseoso. Para el estudio de la mecánica pulmonar se dispone de pruebas como la espirometría y la pletismografía. La evaluación del intercambio gaseoso puede realizarse, además de por la gasometría arterial, mediante el análisis de la capacidad de difusión alvéolo-capilar para el monóxido de carbono (DLCO).

Espirometría. Es una técnica indispensable en la valoración de cualquier enfermo en el que se sospecha una alteración respiratoria. Cuantifica el volumen de aire que el aparato respiratorio puede movilizar en función del tiempo. Permite clasificar los trastornos de la ventilación pulmonar dentro de determinados patrones de anormalidad: a) el restrictivo o de limitación de volumen, b) el obstructivo o de limitación del flujo aéreo y c) el mixto o combinación de ambos.

Pletismografía. Es una técnica útil para medir los volúmenes pulmonares estáticos y dinámicos, por lo que es complementaria de la espirometría. Permite confirmar la existencia de una restricción pulmonar, descartar la presencia de un atrapamiento aéreo, detectar precozmente una limitación al flujo aéreo en los procesos obstructivos y completar el estudio de las alteraciones mixtas.

Test de difusión (DLCO). Mide la facilidad con la que el monóxido de carbono pasa desde el alvéolo a la sangre del capilar pulmonar y se combina con la hemoglobina eritrocitaria. Esta técnica informa, por tanto, sobre el volumen del lecho capilar pulmonar que permanece en contacto con los alvéolos ventilados, sobre la superficie alveolar útil y sobre el espesor de la membrana alvéolo-capilar.

Variables respiratorias estáticas

Se obtienen al medir el volumen de aire que puede inhalarse o exhalarse desde un punto de referencia, sin que se tenga en cuenta para ello el tiempo que se necesita para efectuar esa maniobra (fig.1). Los volúmenes y las capacidades pulmonares (suma de varios volúmenes) que se usan habitualmente en la clínica son el volumen corriente (VT), el volumen residual (RV), la capacidad vital (VC) y la capacidad pulmonar total (TLC). Otros volúmenes con menos utilidad clínica, aunque con un indudable interés fisiológico, son el volumen inspiratorio de reserva (IRV), el volumen espiratorio de reserva (ERV), la capacidad inspiratoria (IC) y la capacidad funcional residual (FRC). Con la espirometría pueden medirse el VT, la VC y la IC. Los demás volúmenes y capacidades sólo pueden conocerse mediante la pletismografía corporal.

Volumen corriente (VT)

Es el volumen de aire que moviliza un individuo cuando respira de forma espontánea. La cuantía de este volumen varía en función del entrenamiento físico y depende de la actividad de los músculos respiratorios y de la elasticidad pulmonar y de la caja torácica.

Volumen espiratorio de reserva (ERV)

Es la cantidad de aire que puede exhalarse a partir de la posición de reposo espiratorio. La cuantía de este volumen depende principalmente de los músculos espiratorios, aunque también es función de la colapsabilidad de la vía aérea superior. Es menor en la posición de decúbito supino que en la de sedestación y suele encontrarse disminuida en los individuos obesos.

Volumen inspiratorio de reserva (IRV)

Es el volumen de aire que puede entrar en los pulmones después de realizar una inspiración normal (no forzada). Depende tanto de las características del pulmón como de las de los músculos inspiratorios. Su determinación no tiene mucha utilidad en la práctica clínica.

Volumen residual (RV)

Es el volumen de aire que permanece en el interior del pulmón tras una espiración forzada. Depende del tamaño de los pulmones, de la función muscular, de la elasticidad del pulmón y de la colapsabilidad de la vía aérea.

Capacidad residual funcional (FRC)

Es la suma del RV y del ERV. Es el volumen de aire que está presente en el pulmón después de realizar una espiración no forzada. Es el reflejo del equilibrio existente entre las fuerzas que derivan de las propiedades elásticas del pulmón, que tienden a disminuir el volumen pulmonar, y las que son la expresión de las características mecánicas de la caja torácica, que tienden a aumentarlo. Suele variar de manera considerable como respuesta a factores tales como la posición corporal, el ejercicio físico o el entrenamiento muscular.

Capacidad vital forzada (FVC)

Es la cantidad de aire que puede exhalarse con un esfuerzo espiratorio máximo efectuado tras haber realizado una ins-

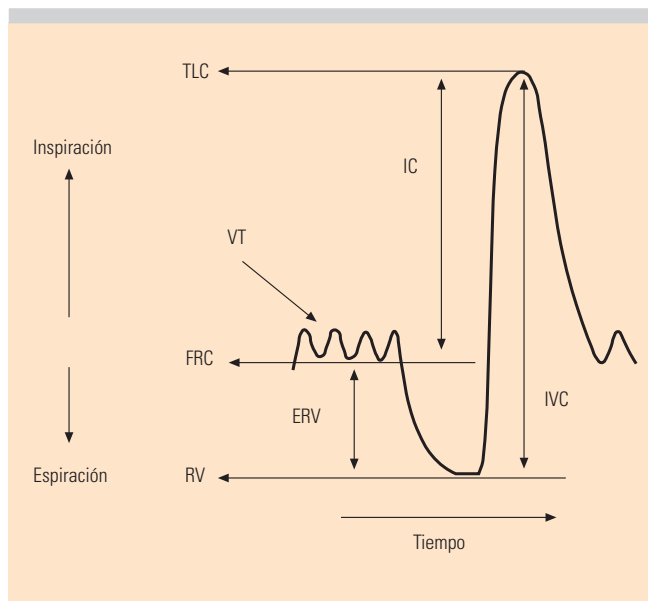


Fig. 1. Representación gráfica de una maniobra espirométrica completa. VT: volumen corriente; RV: volumen residual; ERV: volumen espiratorio de reserva; IC: capacidad inspiratoria; IVC: capacidad vital inspiratoria; FRC: capacidad residual funcional; TLC: capacidad pulmonar total.

piración máxima. Depende de las características elásticas del pulmón, de la fuerza de los músculos espiratorios y de la colapsabilidad de la vía aérea. Es una variable respiratoria dinámica, como se señala más adelante.

Capacidad vital (VC)

También se denomina capacidad vital inspiratoria (IVC) o capacidad vital lenta (SVC) y es el máximo volumen de aire que puede inspirarse con un esfuerzo inspiratorio máximo después de haber llevado a cabo una espiración máxima. Es la suma del ERV, del VT y del IRV o, lo que es lo mismo, del ERV y de la IC. Para medirla debe efectuarse una maniobra de espiración lenta y profunda, hasta alcanzar el RV, que debe seguirse de una inspiración máxima hasta que se alcanza la TLC. Su valor es idéntico al de la FVC en los individuos sanos, pero pueden detectarse diferencias importantes entre ambos parámetros en los sujetos que tienen una obstrucción al flujo aéreo. Esto es así porque si se emplea la maniobra de espiración forzada se produce una compresión dinámica de las vías aéreas periféricas, que dificulta en estos enfermos el vaciamiento completo del pulmón.

Capacidad inspiratoria (IC)

Es el volumen de aire que se obtiene tras realizar una inspiración profunda y máxima desde la FRC. Por tanto, es la suma del VT y del IRV.

Capacidad pulmonar total (TLC)

Es el volumen de gas que contiene el pulmón al final de una inspiración forzada máxima. Es la suma del RV y de la VC. Su magnitud depende del tamaño de los pulmones, de la retracción elástica de la caja torácica, de la retracción elástica de los pulmones, del tamaño del tórax y de la fuerza de los músculos inspiratorios.

Variables respiratorias dinámicas

A diferencia de las variables anteriores, todas ellas estáticas, para medir las dinámicas ha de tenerse en cuenta el tiempo que tarda en efectuarse la maniobra. En realidad, las variables dinámicas son el fundamento de la espirometría forzada. Para cuantificarlas debe llevarse a cabo una maniobra específica, que consiste en la realización de una espiración forzada y máxima, a la mayor velocidad posible, desde una inspiración máxima. Se obtiene así la FVC y el volumen exhalado durante el primer segundo de una espiración forzada (FEV_1), cuya cuantía depende de la edad, la talla y el sexo del individuo y que se considera normal cuando es mayor del 80% de la FVC.

Cuando la maniobra de espiración forzada se efectúa con un espirómetro cerrado puede obtenerse un trazado que relaciona el volumen con el tiempo (fig.1). Sin embargo, cuando la misma maniobra se practica a través de un neumotacógrafo puede conseguirse una curva que pone en relación el flujo aéreo con el volumen pulmonar (curva flujo-volumen) (fig.2). El cociente entre el volumen de aire expulsado entre el 25 y el 75% de la FVC y el tiempo se denomina flujo mesoespiratorio. Este parámetro varía mucho de unos individuos a otros, por lo que su utilidad clínica es limitada. Se considera que el flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% ($FEF_{25-75\%}$) es normal cuando está por encima del 60% del valor teórico que le corresponde al sujeto por su edad, talla y sexo. El flujo espiratorio máximo o pico de flujo espiratorio (PEF) corresponde al flujo aéreo máximo que consigue el individuo al realizar una maniobra forzada y antes de que exhale el 15% de su FVC. Es un parámetro que depende totalmente del esfuerzo que realiza el sujeto.

Curva flujo-volumen

Es una curva que relaciona, como ya se ha dicho, el flujo aéreo con el volumen pulmonar y que tiene una parte espiratoria (asa espiratoria) y otra inspiratoria (asa inspiratoria). Ambas son la expresión de las propiedades mecánicas del pulmón. El asa espiratoria tiene una fase inicial muy dependiente del esfuerzo y otra final independiente de él y que está determinada por la compresión dinámica de la vía aérea. El asa inspiratoria depende, en su totalidad, del esfuerzo del individuo. El análisis de la morfología de la curva flujo-volumen permite valorar la validez de las maniobras realizadas y clasificar a los pacientes dentro de determinados patrones ventilatorios, tal y

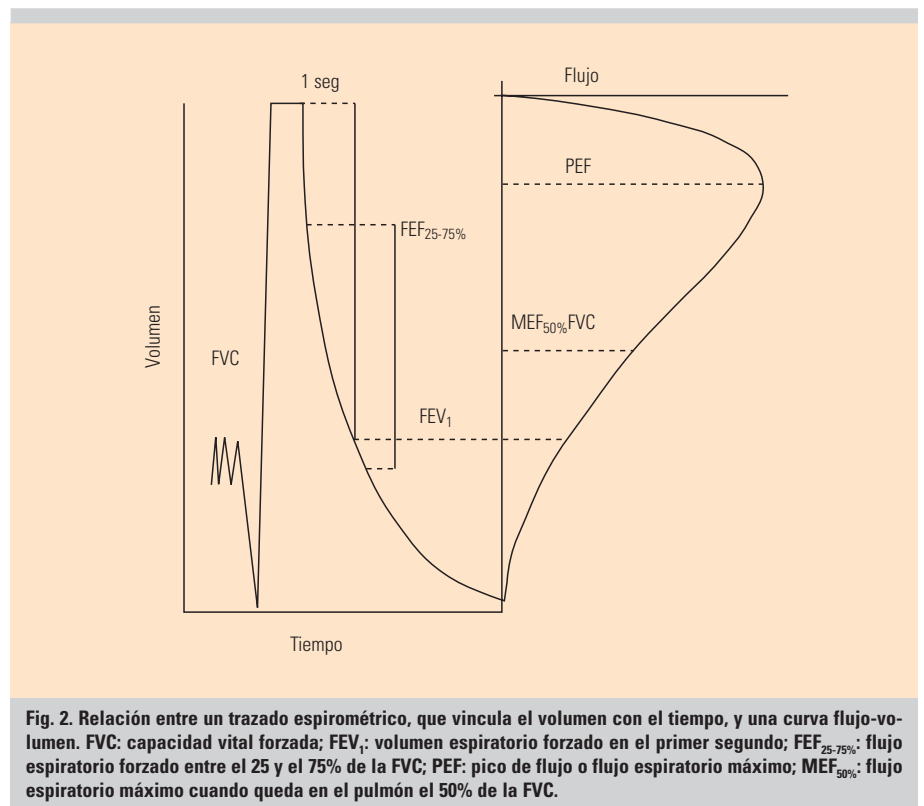


Fig. 2. Relación entre un trazado espirométrico, que vincula el volumen con el tiempo, y una curva flujo-volumen. FVC: capacidad vital forzada; FEV_1 : volumen espiratorio forzado en el primer segundo; $FEF_{25-75\%}$: flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la FVC; PEF: pico de flujo o flujo espiratorio máximo; $MEF_{50\%}$: flujo espiratorio máximo cuando queda en el pulmón el 50% de la FVC.

como se señala más adelante. También permite identificar posibles obstrucciones de la vía aérea superior (fig. 3).

Interpretación de una espirometría

Los parámetros funcionales respiratorios reseñados se miden en litros o en litros/segundo y se expresan en condiciones BTSP (temperatura corporal, presión ambiental y saturación total con vapor de agua). En todos los casos es imprescindible efectuar controles periódicos de calidad y calibrar diariamente el equipo que se utiliza, al objeto de asegurar que las medidas realizadas son fiables y reproducibles. Además, el personal sanitario encargado de llevar a cabo la espirometría debe estar adecuadamente instruido para conseguir, entre otras cosas, que el enfermo realice el máximo esfuerzo posible en cada maniobra. Sólo así pueden evitarse errores que llevan a una mala interpretación posterior de los resultados.

Las maniobras que se efectúen deben cumplir determinados criterios de validez. Se requiere que al menos tres de ellas sean reproducibles y que la variación entre ellas sea inferior a 150 ml (5%) en lo que respecta a los valores de la FVC y del FEV_1 . Entre esas tres maniobras útiles pueden elegirse bien los valores más altos de la FVC y del FEV_1 bien la curva en la que la suma de la FVC y del FEV_1 es mayor. Los resultados alcanzados se comparan con unos valores de referencia obtenidos en individuos sanos con una edad, una talla y un sexo equiparables. Se consideran anormales los valores de FVC y de FEV_1 inferiores al 80% del valor de referencia teóricamente predicho. Dada la variabilidad inherente a la espiro-

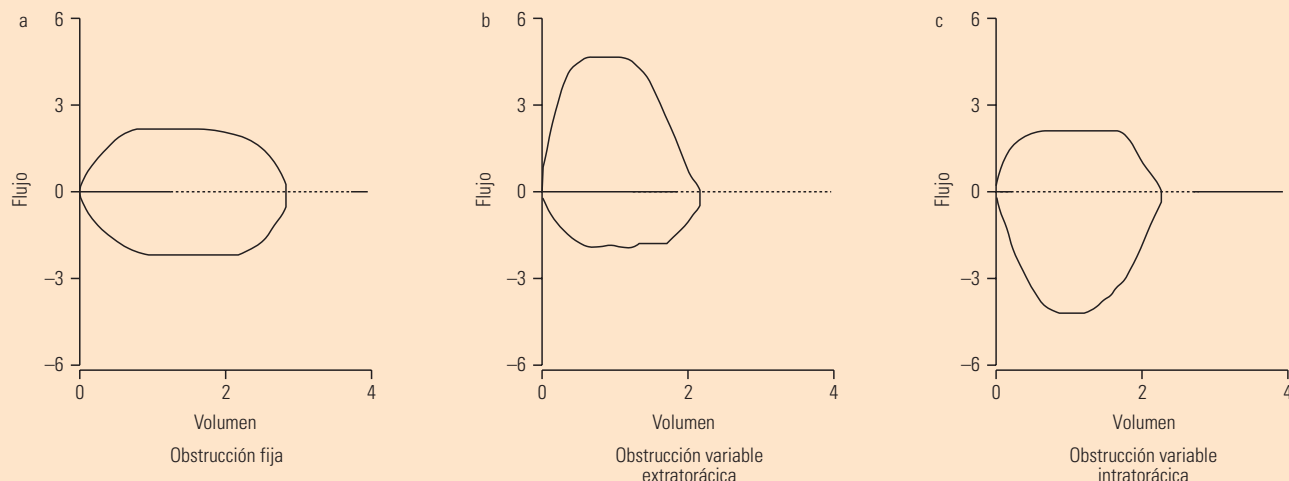


Fig. 3. Utilidad del análisis de la morfología de la curva flujo-volumen en el diagnóstico de la obstrucción de la vía aérea superior.

metría y la influencia de los factores citados es recomendable que los valores hallados que sean inferiores a la normalidad se manejen con prudencia y que se interpreten en atención a los datos clínicos del enfermo. En este sentido hay que recordar que los valores que están fuera del intervalo de referencia (con una confianza del 95%) no siempre son patológicos².

Las indicaciones de la espirometría son numerosas (tabla 1). Es una técnica indispensable en la valoración de cualquier paciente en el que se sospecha una alteración respiratoria, sobre todo si se tiene en cuenta que prácticamente no tiene contraindicaciones (tabla 2)³. Los parámetros más utilizados en la interpretación inicial de una espirometría son el FEV₁, la FVC y el cociente FEV₁/FVC en la maniobra forzada, y la VC y el cociente FEV₁/VC (índice de Tiffeneau) en la maniobra lenta. El análisis de estos parámetros permite clasificar los trastornos de la ventilación pulmonar dentro de determinados patrones de anormalidad: a) el restrictivo o de limitación de volumen (disminución de la FVC); b) el obstructivo o de limitación del flujo aéreo (disminución del FEV₁); y c) el mixto o de combinación de ambos (fig. 4).

Patrón ventilatorio obstructivo

Se caracteriza por la existencia de un cociente FEV₁/FVC inferior al 70% del valor de referencia. Puede deberse a una obstrucción de la vía aérea causada por una contracción del músculo liso bronquial (broncospasmo), una inflamación de la mucosa bronquial (bronquitis, bronquiolitis) o el depósito de algún material en el interior de la vía aérea (moco, tumores, cuerpos extraños, etc.), pero también puede tener su origen en una pérdida de la elasticidad pulmonar (enfisema), un aumento de la colapsabilidad de la pared bronquial (enfisema, traqueobroncomalacia) o una compresión extrínseca de la vía aérea (masas, adenopatías, etc.). El cociente FEV₁/FVC también puede estar disminuido, sin ser patológico, cuando el valor de estos parámetros supera a los normales,

TABLA 1

Indicaciones de la espirometría

Diagnósticas

- Valorar la posible existencia de una enfermedad respiratoria ante la presencia de síntomas, signos o pruebas diagnósticas (analíticas, radiológicas, etc.) sugerentes
- Medir el efecto de una enfermedad no respiratoria sobre la función pulmonar
- Identificar a los individuos con riesgo de padecer una enfermedad pulmonar ocupacional
- Evaluar el riesgo preoperatorio
- Valorar el pronóstico de las enfermedades respiratorias
- Determinar el estado de salud antes de iniciar programas de entrenamiento físico

Para la monitorización y seguimiento de enfermedades

- Determinar la respuesta a un tratamiento
- Describir el curso de las enfermedades respiratorias
- Monitorizar a personas expuestas a sustancias tóxicas o de riesgo
- Evaluar los efectos adversos de fármacos que pueden ser tóxicos para el pulmón

Para el diagnóstico y seguimiento de la evolución de discapacidades

- Por razones legales
- Como parte de un programa de rehabilitación

Para cuestiones de salud pública

- En estudios clínicos o epidemiológicos
- En el cribado de pacientes de riesgo

TABLA 2

Contraindicaciones para la realización de una espirometría

- Imposibilidad física (lesiones bucales, traqueostomía, paresia facial) o mental
- Dolor torácico o traumatismo torácico reciente
- Neumotórax o hemoptisis reciente
- Angor pectoris inestable, antecedentes de síncope
- Desprendimiento de retina

como puede ocurrir en algunos individuos sanos o en los atletas. Conviene señalar que la curva flujo-volumen que se observa cuando el patrón ventilatorio es obstructivo tiene una morfología muy característica, fácilmente identificable.

trata también de disminuir la dificultad inherente a realizar una espiración prolongada, que a veces es difícil para los enfermos obstructivos. El FEV₆ tiene una sensibilidad del 95% y una especificidad del 97% en el diagnóstico de la obstrucción⁴.

El valor del FEF_{25-75%} se ha utilizado clásicamente para detectar la enfermedad de las pequeñas vías aéreas. Sin embargo, su aplicación clínica es controvertida. Sí conviene señalar, no obstante, que cuando los valores del cociente FEV₁/FVC están próximos al límite inferior de la normalidad este parámetro puede considerarse como indicativo de una obstrucción leve.

La espirometría sirve, además, para valorar la gravedad de los trastornos identificados. La alteración de los parámetros funcionales se correlaciona bien con la capacidad para realizar las actividades habituales de la vida diaria y un esfuerzo físico, con la morbilidad y con el pronóstico de la enfermedad de base (tabla 3)^{1,5}.

Patrón ventilatorio restrictivo

Se caracteriza por la existencia de un cociente FEV₁/FVC normal, con una FVC inferior al 80% del valor de referencia. Puede deberse a enfermedades pulmonares (neumonitis intersticial, resección pulmonar, etc.), extrapulmonares (obesidad, deformidades de la columna, derrame pleural, etc.) o neuromusculares (distrofias, miopatías congénitas, etc.), pero también a un pobre esfuerzo inspiratorio, a un cierre de la glotis o a una

obstrucción grave con atrapamiento aéreo. En todo caso, debe saberse que la espirometría forzada es más útil para excluir un trastorno ventilatorio restrictivo que para confirmarlo. Para ello debe recurrirse siempre a medir los volúmenes pulmonares estáticos mediante una pletismografía o una técnica de dilución con helio.

Patrón ventilatorio mixto

Se caracteriza por la existencia de una reducción de la FVC, del FEV₁ y, en menor grado, de la relación FEV₁/FVC. Pue-

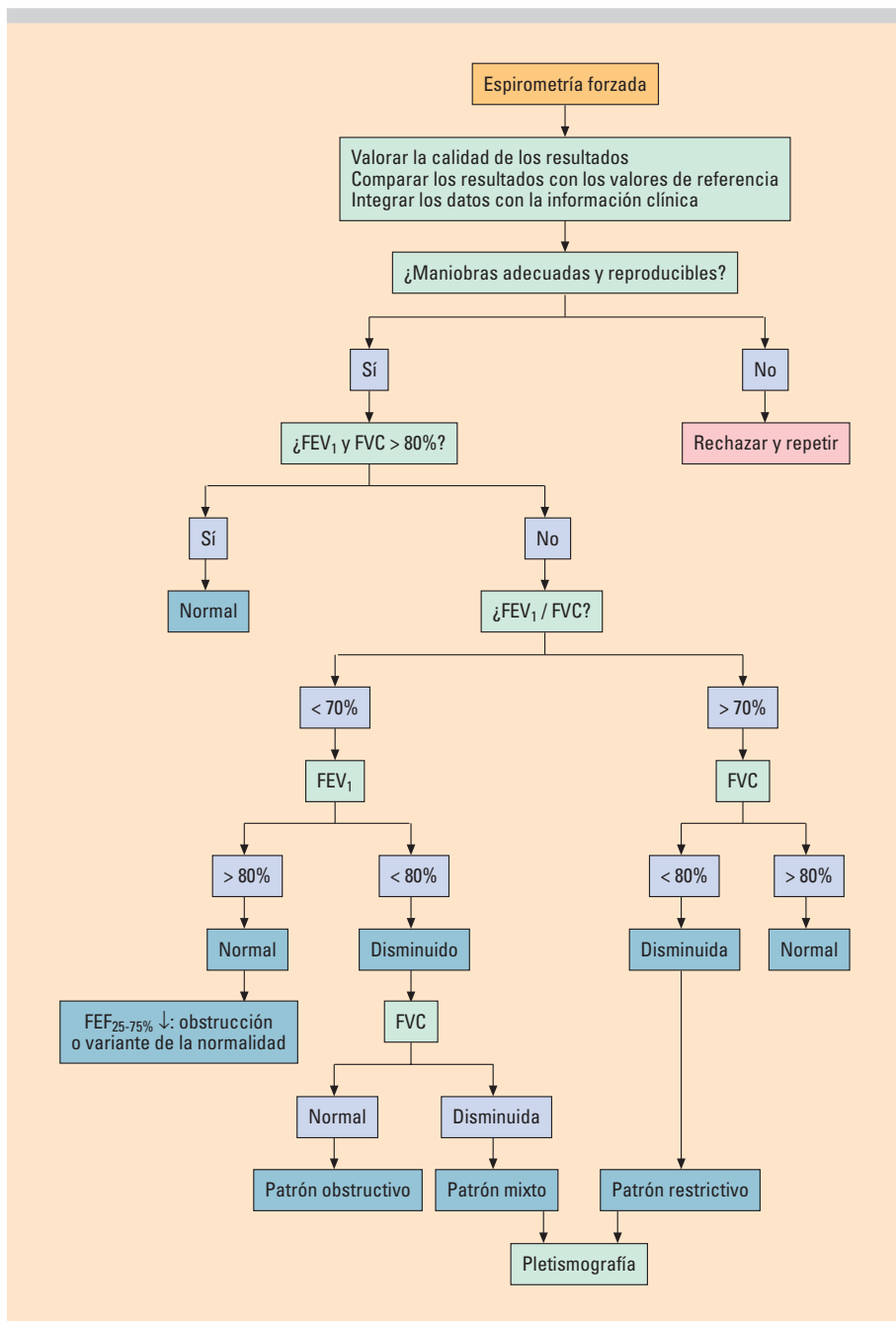


Fig. 4. Interpretación de una espirometría forzada. FVC: capacidad vital forzada; FEV₁: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FEF_{25-75%}: flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la FVC.

Finalmente, es útil saber que si la VC lenta es un 10% mayor que la FVC es muy probable que exista un atrapamiento aéreo, fenómeno que se produce como consecuencia del aumento de la resistencia de las vías aéreas intratorácicas y la pérdida de la capacidad para la retracción elástica del pulmón. Esta circunstancia se observa con frecuencia en los enfermos que padecen un enfisema grave.

Recientemente se ha propuesto el uso del FEV₆ (volumen espiratorio forzado a los 6 segundos de iniciar la espiración) como alternativa al de la FVC, al objeto de evitar la variabilidad que se produce en la técnica cuando se termina antes de tiempo la maniobra espiratoria forzada. Con ello se

TABLA 3

Cuantificación de la gravedad de las alteraciones detectadas en una espirometría forzada

Trastornos obstructivos		Trastornos restrictivos	
ATS	FEV₁	ATS	TLC
Leves	≥ 70%	Leves	≥ 70%
Moderados	50-69%	Moderados	60-70%
Graves	< 50%	Graves	< 60%
SEPAR	FEV₁		
Leves	65-80%		
Moderados	50-64%		
Graves	35-49%		
Muy graves	< 35%		

ATS: American Thoracic Society; SEPAR: Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica; TLC capacidad pulmonar total; FEV₁: volumen espiratorio forzado en el primer segundo.

de deberse a la coexistencia de una fibrosis pulmonar con una inflamación endobronquial o a la concurrencia de distintas enfermedades respiratorias. En la práctica, el problema fundamental se cifra en diferenciar un patrón mixto real de un trastorno obstructivo grave que cursa con una disminución de la FVC como consecuencia de un atrapamiento aéreo y de un aumento del RV. Para ello es muy útil tener en cuenta la morfología de la curva flujo-volumen, la diferencia existente entre la VC lenta y la FVC y la respuesta a los fármacos broncodilatadores. Si a pesar de ello persisten las dudas es necesario recurrir a una pletismografía para medir el RV y la TLC.

La espirometría en la obstrucción de la vía aérea superior

Las alteraciones que se producen en la morfología de la curva flujo-volumen en una maniobra de respiración forzada son muy útiles para diagnosticar y detectar precozmente los procesos que cursan con una obstrucción de la vía aérea superior (parálisis de las cuerdas vocales, estenosis traqueales, compresiones extrínsecas, etc.). En función del aspecto morfológico de la curva pueden identificarse los patrones que se exponen a continuación (fig. 3).

Patrón de obstrucción fija de la vía aérea

Se debe a lesiones anulares de la tráquea y se caracteriza porque la curva no se modifica con los esfuerzos inspiratorio y espiratorio. Se observa una imagen en meseta en las ramas inspiratoria y espiratoria de la curva flujo-volumen.

Patrón de obstrucción variable extratorácica

Se debe a lesiones situadas a más de 2 cm por encima del manubrio esternal, como ocurre en el caso de la parálisis de las cuerdas vocales. En la espiración la presión en el interior de la vía aérea es mayor, por lo que no hay limitación al flujo aéreo. Sin embargo, con la inspiración se observa como aparece una imagen en meseta en la rama inspiratoria de dicha curva.

Patrón de obstrucción variable intratorácica

Se debe a lesiones localizadas en la porción distal de la tráquea. Durante la espiración la presión pleural es mayor que

la de la vía aérea, con lo que ésta se comprime. Como consecuencia se produce una limitación al flujo aéreo en dicha fase del ciclo respiratorio, lo que da lugar a una imagen en meseta en la rama espiratoria de la curva flujo-volumen⁶.

Prueba de broncodilatación o de reversibilidad

La prueba broncodilatadora permite identificar la existencia de una posible reversibilidad en la obstrucción bronquial detectada, así como medir el grado de dicha reversibilidad. Se emplea para detectar precozmente la presencia de una obstrucción al flujo aéreo, en el diagnóstico diferencial entre la obstrucción reversible (asma) e irreversible (enfermedad pulmonar obstructiva crónica [EPOC]) y en la evaluación del efecto del tratamiento broncodilatador o esteroideo instaurado.

Para llevarla a cabo se utiliza habitualmente un agonista beta-2 adrenérgico (200 µg de salbutamol o 500 µg de terbutalina) o un agente anticolinérgico (40 µg de bromuro de ipratropio). La respuesta se evalúa al realizar una segunda espirometría a los 15 minutos de la primera. La prueba broncodilatadora tiene una gran variabilidad a lo largo del tiempo para un mismo individuo, por lo que la broncorreversibilidad debe establecerse en medidas seriadas. Además, la ausencia de respuesta no descarta su existencia. El parámetro más utilizado para definir la reversibilidad es el FEV₁, dado que es el más reproducible. Se considera que la prueba es positiva cuando el FEV₁ aumenta un 12% y, al mismo tiempo, no menos de 200 ml respecto al valor basal².

Pletismografía

La pletismografía es una técnica útil para medir los volúmenes pulmonares estáticos y dinámicos, por lo que es complementaria de la espirometría. El pletismógrafo corporal está compuesto por una cabina con un cierre hermético, dentro de la cual se sitúa al enfermo. La cabina está provista de un transductor, que mide los cambios de volumen que se producen en su interior. Según el tipo de transductor empleado se distinguen dos tipos de pletismógrafos: a) los de volumen constante (cuantifican las variaciones de presión); y b) los de presión constante (cuantifican las variaciones de volumen). Como se ha señalado anteriormente, los volúmenes pulmonares dependen de la distensibilidad pulmonar, de la musculatura de la pared torácica y de otros factores fisiológicos, tales como la edad, el sexo o la raza.

La pletismografía es una prueba útil para confirmar la existencia de una restricción pulmonar, para descartar la presencia de un atrapamiento aéreo, para detectar precozmente una limitación al flujo aéreo en los procesos obstructivos (pacientes con una espirometría normal, pero que tienen un aumento del RV), para completar el estudio de las alteraciones "mixtas" y para identificar cada una de ellas. A continuación se exponen algunos aspectos prácticos relacionados con esta técnica⁷.

Trastornos obstructivos

En este apartado se incluyen algunos procesos como la EPOC, el asma y las bronquiectasias. Hay que tener en cuenta que en los enfermos con un enfisema puede observarse a veces una espirometría normal coincidente con una elevación del RV, de la FRC y de la TLC, todo ello como consecuencia del atrapamiento aéreo. Es ésta una alteración muy inicial en la evolución de la enfermedad, por lo que resulta útil para el diagnóstico precoz del enfisema.

Trastornos restrictivos parenquimatosos

En este apartado se engloban la neumonectomía y el edema pulmonar, aunque las neumoopatías intersticiales, en concreto la fibrosis pulmonar idiopática, son el mejor ejemplo para explicar los hallazgos que se observan en los trastornos restrictivos parenquimatosos. Estos trastornos se caracterizan por una disminución de la mayoría de los volúmenes pulmonares, como consecuencia de la alteración que aparece en la retracción elástica pulmonar. Así, se encuentran reducidos tanto la TLC como la FVC y la FRC. Aunque el RV puede mantenerse inicialmente dentro de la normalidad, cuando la enfermedad progresa suelen afectarse las vías respiratorias de menor calibre, produciéndose entonces un cierre prematuro de las mismas en la espiración. Ello ocasiona una caída del RV. Por el contrario, el RV y la TLC aumentan cuando existe una obstrucción al flujo aéreo.

Trastornos restrictivos extraparenquimatosos

Se agrupan en este apartado las enfermedades de la pleura (derrame pleural, neumotórax, paquipleuritis, etc.) y las deformidades de la columna dorsal o de la caja torácica (cifoescoliosis, espondilitis anquilosante, etc.). En el caso de las cifoescoliosis se produce una disminución de la VC y de la TLC que es proporcional al grado de curvatura de la lesión. Además, el RV puede elevarse como consecuencia del acortamiento del tiempo espiratorio. En el caso de las paquipleuritis los hallazgos son similares. La espondilitis anquilosante ocasiona una disminución de la movilidad torácica, que suele quedar en posición inspiratoria. Evolutivamente puede aparecer una fibrosis pulmonar, que predomina en los campos superiores. La pletismografía muestra un atrapamiento aéreo (RV y FRC aumentados), mientras que el ERV y la VC suelen encontrarse reducidos.

Afectación muscular

En los enfermos que padecen algún trastorno neuromuscular los volúmenes pulmonares estáticos suelen estar disminuidos. La caída de la VC en alguno de sus dos componentes (IC y ERV) puede indicar la existencia de una alteración de la musculatura inspiratoria o de la espiratoria, respectivamente. El RV y la TLC también están bajos en estos en-

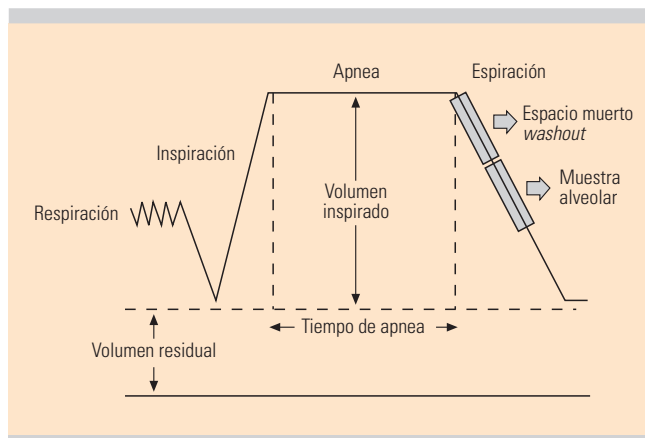


Fig. 5. Representación esquemática de la maniobra de medición de la capacidad de difusión alvéolo-capilar para el monóxido de carbono por el método de la respiración única.

fermos, salvo que tengan una EPOC asociada. También conviene recordar que cuando existe una parálisis diafrágica bilateral la diferencia en el valor de la VC realizada en posición sentada y la obtenida en decúbito supino es superior al 30%. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que las enfermedades musculares suelen cursar con una exploración funcional respiratoria inicialmente normal. Por ello es muy útil recurrir a la medición de las presiones máximas inspiratoria (MIP) y espiratoria (MEP), que tienen una mayor sensibilidad para detectar estas enfermedades en sus fases iniciales. No obstante, en todas ellas se produce, con el tiempo, una disminución en todos los volúmenes pulmonares.

Capacidad de difusión del monóxido de carbono

La medición de la capacidad de difusión alvéolo-capilar del monóxido de carbono (DLCO) mide la velocidad con la que el monóxido de carbono (CO) pasa desde el alvéolo a la sangre para combinarse con la hemoglobina. Esta técnica informa, por tanto, sobre el volumen del lecho capilar pulmonar que permanece en contacto con los alvéolos ventilados, sobre la superficie alveolar útil y sobre el espesor de la membrana alvéolo-capilar.

Existen muchas formas de medir la DLCO, aunque la más utilizada, por su sencillez, es la denominada de la respiración única con apnea (fig. 5). El método consiste en realizar una espiración forzada hasta el RV para, posteriormente, inspirar al máximo hasta alcanzar la TLC mientras se inhala una mezcla de un gas formado por helio al 10% y por CO al 0,3%. Una vez alcanzada la TLC debe mantenerse una apnea durante un período de 10 segundos, para exhalar luego todo el aire contenido en los pulmones, cuyo contenido en CO se cuantifica. Debe recordarse que en esta medición se desecha la parte inicial de la espiración (entre 750 y 1.000 ml), que teóricamente se corresponde con el volumen del espacio muerto. Todo lo demás es analizable⁸. La DLCO se calcula mediante la siguiente fórmula:

ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (VI)

$$DLCO = \frac{\text{Volumen alveolar} \times \text{tiempo de apnea} \times \text{fracción alveolar inicial de CO}}{(\text{presión atmosférica} - 47) \times \text{fracción alveolar final de CO}}$$

La técnica de la respiración única tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, los pacientes que padecen una enfermedad pulmonar avanzada son incapaces de mantener una apnea de 10 segundos, que para ellos es demasiado larga. Además, en ellos el volumen espiratorio se encuentra reducido (por debajo de 700 ml), por lo que es imposible calcular el volumen alveolar. Otros factores a tener en cuenta que también pueden alterar la DLCO son los que se refieren a los trastornos en la concentración de la hemoglobina (anemia, poliglobulia), a las alteraciones hemodinámicas, al ejercicio y a la posición corporal.

La DLCO se encuentra aumentada en la policitemia, las vasculitis (enfermedad de Goodpasture, granulomatosis de Wegener) y las hemorragias alveolares. También puede elevarse, aunque por motivos no claros, en los enfermos que tienen una crisis asmática. La DLCO puede disminuir en las siguientes enfermedades:

1. *Enfisema pulmonar*. La medición de la DLCO no sólo es útil para afianzar el diagnóstico de esta enfermedad, sino también para diferenciarla de otras, sobre todo de la bronquitis crónica. Además, la disminución de la DLCO puede ser la primera alteración detectable. La DLCO también es de gran ayuda para valorar la progresión de la enfermedad. Además, se correlaciona bastante bien con los hallazgos radiológicos que se observan en una tomografía axial computarizada torácica.

2. *Neumopatías intersticiales*. La caída de la DLCO que se aprecia en estos trastornos se debe, principalmente, a la pérdida de la superficie de intercambio entre los alvéolos y los capilares pulmonares, aunque también al aumento del grosor de la pared alvéolo-capilar. Además, la DLCO es útil en el seguimiento de estas enfermedades y tiene un cierto valor pronóstico, aunque debe tenerse en cuenta que inicialmente puede ser normal.

3. *Hipertensión pulmonar*. La DLCO se encuentra reducida tanto en la hipertensión pulmonar primaria como en la secundaria a un tromboembolismo pulmonar. Los valores de la DLCO pueden persistir bajos durante bastante tiempo después de haber instaurado el tratamiento trombolítico que se indica en estos casos.

Bibliografía

● Importante ●● Muy importante

- ✓ Metaanálisis
- ✓ Ensayo clínico controlado
- ✓ Epidemiología

1. ● Sanchis Aldás J, Casan Clará P, Castillo Gómez J, González Mangado N, Palenciano Ballesteros L, Roca Torrent J. *Espirometría forzada*. En: Caminero Luna JA, Fernández Fau L, editores. *Recomendaciones SEPAR*. Barcelona: Doyma; 1998. p.1-18.
2. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report working party standardization of lung function tests, European Community for Steel and Coal. Official statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J*. 1993;6 Suppl 16:S5-40.
3. ● Miller MR, Hankinson V, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. *Standardisation of spirometry*. *Eur Respir J*. 2005; 26:319-38.
4. Swanney MP, Jensen RL, Crichton DA, Beckert LE, Cardno LA, Crapo RO. FEV6 is an acceptable surrogate for FVC in the spirometric diagnosis of airway obstruction and restriction. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;162:917-9.
5. American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis*. 1991;144: 1202-19.
6. García Pachón E, Sanchis J. Características funcionales de la obstrucción de la vía aérea superior. *Arch Bronconeumol*. 1993;29:80-7.
7. ● Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. *Standardisation of the measurement of lung volumes*. *Eur Respir J*. 2005;26:511-22.
8. MacIntyre N, Crapo RO, Viegi G, Johnson DC, van der Grinten CPM, Brusasco V, et al. *Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung*. *Eur Respir J*. 2005;26:720-35.