

PRUEBAS FUNCIONALES EN NIÑOS

Elena Urgellés Fajardo, M^a Isabel Barrio Gómez de Agüero,
M^a Carmen Martínez Carrasco

RESUMEN

La *espirometría* es el pilar básico de la exploración funcional respiratoria. Tras realizar correctamente una espirometría podemos obtener los siguientes parámetros: FVC (capacidad vital forzada), FEV₁ (volumen espiratorio forzado en el primer segundo), cociente FEV₁/FVC, FEF₂₅₋₇₅% (flujo espiratorio forzado entre 25 y 75 % de la FVC), PEF (pico espiratorio de flujo) y FEF_{25,50 o 75}% (flujos espiratorios máximos cuando se ha espirado el 25, 50 o 75 % de la FVC). Los resultados obtenidos se expresan en porcentaje de los teóricos, siendo normales valores iguales o mayores del 80 % para FEV₁ y FVC, y del 65 % para FEF₂₅₋₇₅%. Existen tres patrones espirométricos: obstructivo, restrictivo y mixto, que dan lugar a curvas de patrón característico.

En la práctica habitual se realiza una *prueba broncodilatadora* para estudiar la reversibilidad del flujo aéreo, considerándose positivos incrementos del FEV₁ superiores al 12 % respecto al valor previo.

La *provocación bronquial por el ejercicio* es una prueba de provocación bronquial inespecífica que utiliza el ejercicio, uno de los principales desencadenantes de asma. En Pediatría, habitualmente se realiza mediante tapiz rodante. Se considera positivo un descenso del FEV₁ superior al 15 %.

La *pletismografía* mide el volumen residual pulmonar y, por tanto, la capacidad pulmonar total.

INTRODUCCIÓN

La exploración funcional respiratoria es actualmente una herramienta fundamental para el estudio de los niños con problemas neumológicos, siendo de gran ayuda en una

variedad de patologías, fundamentalmente el asma. Su utilización permite tanto confirmar sospechas diagnósticas clínicas como valorar respuestas terapéuticas. Se ha convertido en una exploración utilizada rutinariamente por los pediatras en su práctica diaria.

La *espirometría* es la prueba que se utiliza con mayor frecuencia en los laboratorios de función pulmonar, dado su bajo coste, sencillez y reproducibilidad. Puede ser simple o forzada y permite, no sólo diferenciar las alteraciones respiratorias en obstructivas o restrictivas, sino también sospechar alteraciones de la vía aérea superior. Para su correcta realización se precisa de un laboratorio de exploración funcional respiratoria dirigido por un médico especialista entrenado en función pulmonar, un técnico habituado a trabajar con niños y adiestrado en la técnica, y un espirómetro que debe cumplir unos requerimientos técnicos mínimos y ser calibrado diariamente. En la práctica de la espirometría forzada, se aconseja la realización de una **prueba broncodilatadora** de forma rutinaria para estudio de la reversibilidad del flujo aéreo.

La **provocación bronquial por ejercicio** es una prueba de provocación inespecífica que utiliza el estímulo físico indirecto del ejercicio, que es uno de los principales desencadenantes de asma. Es una prueba muy utilizada en pediatría para el diagnóstico de broncoespasmo inducido por el ejercicio.

La *pletismografía* corporal es un método capaz de medir, de una forma sencilla y exacta, el volumen de aire existente dentro del pulmón en un momento determinado (volúmenes estáticos). Esta técnica permite también cuantificar la resistencia de las vías aéreas al paso de aire durante el mismo procedimiento.

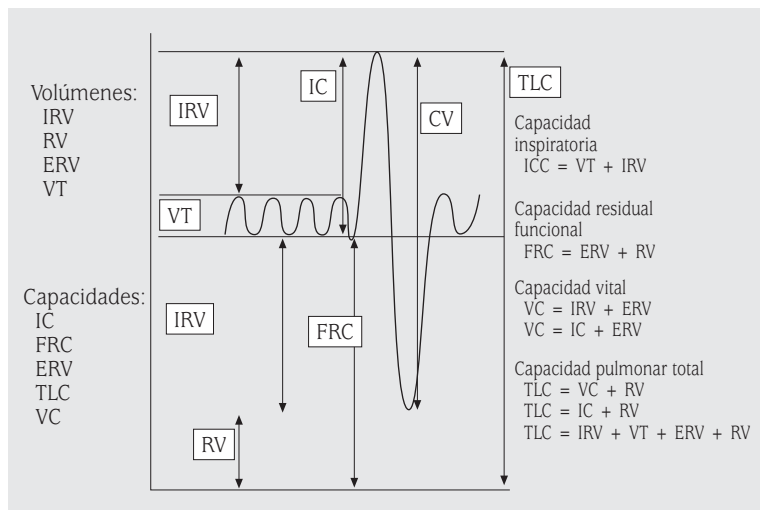


FIGURA 1. Volúmenes y capacidades pulmonares⁽¹⁾.

PRINCIPIOS FISIOLÓGICOS

Las primeras mediciones de los volúmenes pulmonares y sus subdivisiones fueron realizadas por Hutchinson en 1846, diseñando el primer espirómetro moderno⁽¹⁾.

En el tórax existen dos fuerzas que trabajan en dirección opuesta: las costillas, que lo expanden y aumentan la capacidad pulmonar, y el retroceso elástico de los pulmones, que lo tracciona hacia dentro, y disminuye su volumen. La **espirometría** puede realizarse mediante una espiración máxima no forzada (espirometría simple) o mediante una espiración forzada a partir de una inspiración máxima (espirometría forzada). En una respiración normal se realiza un esfuerzo inspiratorio activo seguido de una espiración pasiva, movilizándose un volumen de aire que se denomina **volumen corriente o volumen tidal** (V_T). Al final de una respiración normal, las fuerzas netas se encuentran en equilibrio, de manera que el volumen que queda en el tórax tras una espiración en reposo, es la **capacidad residual funcional** (FRC). Si partiendo de una respiración normal realizamos una inspiración máxima alcanzaremos la **capacidad inspiratoria** (IC), que es la suma del **volumen de reserva inspiratorio** (IRV) y el V_T . Si realizamos una espiración máxima, exhalando tanto aire como sea posible, obtenemos el **volumen de reserva**

expiratorio (ERV), permaneciendo todavía una cantidad residual de gas en el pulmón que no puede ser expulsada y que se denomina **volumen residual** (RV). La **capacidad vital** (VC) se define como el volumen máximo de gas que puede ser movilizado dentro y fuera de los pulmones, generado tras una inspiración máxima seguida de una espiración máxima. La suma del RV y la VC se denomina **capacidad pulmonar total** (TCL). Todos estos volúmenes, excepto el RV, la FRC y la TLC, pueden ser medidos por un espirómetro (Fig. 1).

Las técnicas de dilución de gases y la pletismografía permiten medir la FRC y, por tanto, el RV y la TLC⁽²⁾. La técnica de la **pletismografía** se basa en la ley de Boyle, de modo que en condiciones de temperatura constante el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión del mismo. De ello se deriva que los cambios de presión del gas conllevan variaciones de volumen del mismo, siendo en todo momento constante el producto presión por volumen⁽³⁾.

FUNDAMENTOS TÉCNICOS

Espirómetro

Para medir la capacidad de aire de los pulmones y el flujo con el que éste es expulsado existen dos tipos de aparatos: los espirómetros de volumen y los espirómetros de flujo o neu-

motacógrafos. Los espirómetros de **volumen** fueron los espirómetros iniciales y, en la actualidad, siguen utilizándose como equipos de referencia para las señales de calibración, dada la simplicidad y fiabilidad de sus medidas. Son aparatos cerrados que miden el volumen de aire que es expulsado en función del tiempo, proporcionando una curva volumen-tiempo. Pueden ser húmedos (de campana) o secos (de pistón o de fuelle). Los espirómetros de flujo o **neumotacógrafos** son aparatos abiertos que miden inicialmente el flujo a partir de una resistencia conocida que produce una diferencia de presión entre la parte anterior y la posterior a la misma. Esta diferencia se transforma en señal de flujo por medio de un transductor de presión. La señal de flujo es integrada electrónicamente en volumen y, por medio de un cronómetro, relacionada con el tiempo. De esta forma, permiten analizar tanto la inspiración como la espiración y proporcionan de forma indistinta una curva flujo-volumen, flujo-tiempo o volumen-tiempo. Existen varios tipos de neumotacógrafo según el sistema utilizado para la detección de flujo. El más conocido es el tipo Fleisch, descrito en 1925. Otros neumotacógrafos son de malla, de turbina (portátil y barato, pero menos fiable), de alambre caliente y de ultrasonidos⁽⁴⁾.

En todos los casos, el aparato debe cumplir unos requerimientos mínimos para su uso. Entre otros, sencillez, portabilidad, capacidad de almacenamiento de al menos 6 maniobras, registro gráfico simultáneo de la curva flujo-volumen, valores de referencia para compararlos con los datos obtenidos, impresión numérica y gráfica, siguiendo las especificaciones elaboradas por la ERS y ATS⁽⁵⁻⁷⁾. Los espirómetros deben ser calibrados a diario, con una jeringa de 3 litros con un límite de $\pm 3\%$, introduciéndose la presión, temperatura y humedad ambiental. Asimismo, deben tomarse medidas para la limpieza del equipo y control de la infección⁽⁸⁾.

Pletismógrafo

Existen diversos tipos de pletismógrafos: de volumen constante con presión variable,

de presión constante y volumen variable y los mixtos, siendo los primeros los más utilizados. El aparato consiste en una cabina con cierre hermético con una capacidad aproximada de 600 litros y con paredes y puertas de material transparente que permiten la visualización del paciente y evitar la sensación de claustrofobia del mismo durante la realización de la prueba. Además, tienen instalado un sistema de comunicación con el interior de la cabina para la adecuada realización de las maniobras durante la exploración. El sistema de medida consta de varios componentes: un neumotacógrafo, una boquilla desechable, un obturador o válvula para interrumpir el flujo de aire por la boca, transductores de presión y un ordenador. Debe ser calibrado diariamente⁽⁹⁾.

Laboratorio de función pulmonar

Para realizar una espirometría correcta es necesario un espacio físico individualizado, cerrado y aislado acústicamente, con una superficie mínima capaz de reunir a dos personas, el espirómetro y las herramientas accesorias necesarias, como son la jeringa de calibración, el adaptador pediátrico, y boquillas pediátricas desechables, papel para la impresora, cámara de inhalación, fármacos agonistas beta2-adrenérgicos de acción rápida, báscula, tallímetro, termómetro, barómetro e higrómetro. Para fomentar la cooperación del niño es necesario crear un ambiente agradable y con una temperatura adecuada. La atmósfera debe ser tranquila y adecuada para su edad, incluyendo juguetes o pósteres que creen un entorno cómodo para el niño⁽¹⁰⁾.

DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS

Condiciones previas

Para obtener una espirometría correcta es fundamental disponer, no sólo del equipamiento adecuado, sino también de un técnico habituado a trabajar con niños y adiestrado en la realización de la técnica. Antes de iniciar la prueba hay que calibrar el espirómetro, introducir los datos del paciente (nombre, edad,

TABLA 1. Consideraciones técnicas para realizar una espirometría correcta en niños⁽¹¹⁾

1. Ausencia de broncodilatadores durante las 6 h previas
2. Valorar la medicación que toma habitualmente y si cumple los períodos de supresión previa a la realización de la exploración
3. Evitar la comida abundante y bebidas estimulantes (colas) o bebidas gaseosas
4. No realizar ejercicios vigorosos previos a la realización de la espirometría
5. No llevar ropas ajustadas que impidan la movilidad
6. Paciente sentado y erecto, con la cabeza recta y sin cruzar las piernas, sin cinturón ni nada que oprima
7. Usar pinzas nasales (para algunos autores no son imprescindibles)
8. Usar boquillas no deformables (para evitar artefactos debidos a la reducción de la luz por mordedura durante la espiración forzada)
9. Tiempo espiratorio mínimo de 6 s (2-3 s en niños pequeños), un aplanamiento de la curva-flujo-volumen o que no pueda exhalar más
10. La curva obtenida debe tener una morfología adecuada y estar libre de artefactos (inicio retrasado, final prematuro, tos, cierre de glotis). Se realizarán entre un mínimo de 3 y un máximo de 8 maniobras satisfactorias
11. Variabilidad entre los dos mejores FEV₁ y FVC \leq 150 ml (100 ml para FVC \leq 1 L)
12. Es necesaria la impresión en papel para su posterior valoración, incluyendo los datos del paciente, el tipo de prueba realizada, los valores teóricos, los obtenidos por el niño y el porcentaje sobre el teórico

peso y talla), interrogar sobre el consumo de medicamentos, así como la existencia de enfermedades previas, y realizar medición de la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca basal del niño. Es muy importante explicar al niño de forma clara, amena y sencilla en qué consiste la maniobra, animándole con entusiasmo incluso cuando la realice de forma incorrecta, para así conseguir su confianza y máxima cooperación. Los niños suelen aprender más rápido y sin miedo si ven cómo otros niños realizan la maniobra con normalidad, por lo que es aconsejable que el niño que va a realizar la espirometría por primera vez vea cómo otros más expertos la realizan. Debe anotarse en el registro la valoración subjetiva del esfuerzo realizado en la prueba.

En el caso de la realización de una prueba de ejercicio se recomienda que vengan con ropa holgada y zapatillas deportivas que les permita realizar más cómodamente la exploración.

Técnica de realización

Espirometría forzada

El niño debe permanecer sentado, erguido con el tórax erecto, la barbilla elevada y con la cabeza en posición neutral. Se utiliza una pieza bucal no deformable que se introduce en la boca, entre los dientes, sellándola con los labios, evitando fugas. Se ocluye la nariz con unas pinzas nasales adecuadas. Se instruye al niño para que respire normalmente y se familiarice con el aparato hasta lograr, tras varias respiraciones, un volumen corriente constante. La espirometría forzada consiste en realizar una inspiración rápida y completa, mantener el aire 1-2 segundos, e iniciar una espiración forzada enérgica, que se continúa hasta el volumen residual. Es muy importante que el técnico compruebe que se realiza una inspiración máxima, que la espiración se inicia de forma enérgica y que se continúa con el máximo esfuerzo. Hay que realizar un mínimo de tres maniobras aceptables y un máximo de ocho intentos (Tabla 1)⁽¹¹⁾. Con

TABLA 2. Fármacos que alteran la respuesta bronquial y tiempo que deben suspenderse antes de realizar la prueba de broncodilatación⁽¹¹⁾

| Agente farmacológico | Tiempo (h) | Comentarios |
|---|------------|--|
| Agonistas beta-adrenérgicos de acción corta inhalados | 6-8 | |
| Agonistas beta-adrenérgicos de acción corta orales | 24 | |
| Agonistas beta-adrenérgicos de acción prolongada | 24-48 | |
| Anticolinérgicos | 12-24 | |
| Teofilinas de acción corta | 12 | |
| Teofilinas de acción retardada | 48 | |
| Cromoglicato | 8-12 | |
| Nedocromil | 48 | |
| Antihistamínicos | 48 | Algunos autores aconsejan de 3 a 7 días |
| Corticoides inhalados | | No es estrictamente necesario retirarlos |
| Corticoides orales | | No es estrictamente necesario retirarlos |
| Antileucotrienos | 24 | |

el entrenamiento adecuado, niños con edades iguales o superiores a cinco años son capaces de realizar una espirometría aceptable. En este sentido, recientemente la ATS/ERS han publicado recomendaciones acerca de las normas, procedimientos e interpretación de los resultados de la espirometría forzada en niños preescolares⁽¹²⁾.

Prueba de broncodilatación

Se emplea para estudiar la reversibilidad de la obstrucción del flujo aéreo intrapulmonar y debe ser una exploración habitual en todo laboratorio de función pulmonar. Consiste en realizar una espirometría forzada basal y repetir la misma tras 10-20 minutos de la administración de un fármaco broncodilatador. Antes de realizar la prueba, debe comprobarse que el niño no esté tomando ninguna medicación que pueda interferir en la respuesta bronquial (Tabla 2). Los fármacos de elección para realizar esta prueba son los agonistas beta2-adrenérgicos de acción rápida (salbutamol o terbutalina). Aunque las dosis administradas habitualmente pueden ser variables y las últi-

mas recomendaciones de la ATS/ERS no fijan unas dosis concretas, la Sociedad Española de Neumología Pediátrica (SENP) considera que una dosis de 0,4 mg de salbutamol inhalado mediante MDI y cámara espaciadora o 0,5 mg de terbutalina en DPI pueden ser adecuadas para una práctica correcta de esta prueba^(7,13). La técnica de inhalación consiste en administrar las dosis del broncodilatador con MDI con cámara espaciadora “pulsación a pulsación”, es decir, separadas al inicio de una maniobra de inspiración lenta y profunda, manteniendo pausa al finalizar la inspiración y espirando después de una forma muy lenta. Se repetirán tantos ciclos respiratorios como el resultado de dividir el volumen de la cámara (\pm 300 ml en las cámaras infantiles) por el volumen corriente del niño estudiado (10 ml/kg de peso).

Provocación bronquial por ejercicio

Es una prueba de provocación bronquial inespecífica que utiliza el estímulo físico indirecto del ejercicio, que es uno de los princi-

pales desencadenantes de asma. A pesar de algunas limitaciones (falta de reproducibilidad, entrenamiento previo, dificultad para valorar efecto dosis-respuesta y la influencia de otros factores ambientales) es un procedimiento muy utilizado en Pediatría para el diagnóstico del broncoespasmo inducido por el ejercicio. Igual que en la prueba de broncodilatación, hay que comprobar que el niño no esté tomando fármacos que puedan modificar la respuesta al ejercicio (Tabla 2). También deben evitarse la exposición al tabaco dos horas antes, las infecciones respiratorias en las 3-6 semanas previas y la exposición importante a contaminantes atmosféricos una semana antes. Se recomienda no haber realizado ejercicio ese mismo día.

La provocación puede llevarse a cabo mediante carrera libre, bicicleta ergométrica o, lo que es más frecuente en Pediatría, tapiz rodante. En este último caso, se escoge la velocidad y la inclinación necesaria para una duración total del ejercicio de 6-8 minutos y para mantener durante 4-6 minutos el esfuerzo deseado, alcanzándose una frecuencia cardiaca del 80-90 % de la máxima (220 - edad en años), y una parada progresiva en 30 segundos. Se realiza una espirometría forzada basal y espirometrías seriadas tras esfuerzo (inmediato, 5, 10, 15, 20 y 30 min)⁽¹³⁻¹⁵⁾.

Pletismografía

La cabina se cierra herméticamente con el paciente sentado en su interior y respirando tranquilamente a través de la boquilla (con la nariz ocluida con unas pinzas y las mejillas presionadas) hasta conseguir un volumen corriente estable. Cuando haya realizado unas cuatro respiraciones a volumen corriente y alcance casi la FRC, se escucha el sonido de cierre del oclisor al final de una espiración durante 2-3 segundos y se le indica al paciente que respire más rápidamente ("jadeo"), a una frecuencia entre 25-35 respiraciones por minuto. Tras realizar una serie de 3-5 maniobras de jadeo satisfactorias se abre el oclisor y se indica al

paciente que expulse todo el aire al máximo y que posteriormente haga una maniobra de capacidad vital inspiratoria lenta. En niños pequeños, incapaces de realizar maniobras de jadeo adecuadamente, se puede realizar alternativamente una maniobra inspiratoria rápida contra el oclisor cerrado. Deben realizarse al menos tres maniobras completas, con una diferencia menor del 5 % entre ellas, y el resultado final se expresa como la media de las determinaciones⁽¹⁶⁾.

PRINCIPALES PARÁMETROS Y SU SIGNIFICADO

Curva volumen/tiempo

En abscisas se representa el tiempo y en ordenadas el volumen (Fig. 2). Podemos estudiar los siguientes parámetros:

FVC (capacidad vital forzada)

Es el máximo volumen de aire espirado, tras una inspiración máxima, durante una maniobra forzada. Es un indicador de la capacidad pulmonar y en los individuos normales sus valores son similares a los de la capacidad vital.

FEV₁ (volumen espiratorio forzado en el primer segundo)

Es el volumen de aire espirado en el primer segundo de la maniobra de espiración forzada. Tiene una excelente reproducibilidad y especificidad, aunque es dependiente del esfuerzo. Mide el flujo de la vía aérea central y se correlaciona de forma lineal e inversamente con el grado de obstrucción de la vía aérea. Los niños muy pequeños pueden vaciar completamente sus pulmones en un segundo, por lo que se puede analizar el volumen espirado en menos de un segundo (FEV_{0,5})^(17,18).

FEV₁/FVC

Es el porcentaje de la capacidad vital que se espira en el primer segundo. Es un parámetro muy sensible de obstrucción bronquial. En condiciones normales su valor es superior al 80 %.

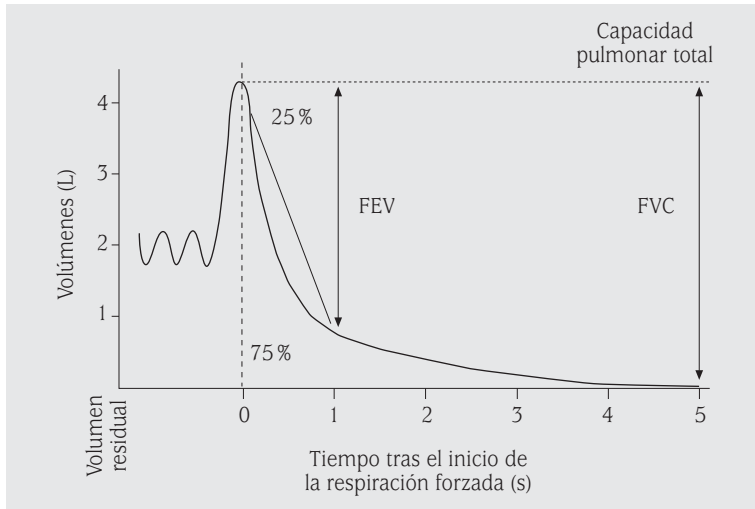


FIGURA 2. Curva volumen-tiempo⁽¹¹⁾.

FEV₁/VC (índice de Tiffeneau)

Puede ser distinto del cociente anterior porque la FVC puede ser algo menor por colapso dinámico de la vía aérea. Su valor normal es superior al 70-75 %.

FEF_{25-75%} (flujo mesoespiratorio)

Es el flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75 % de la FVC. Se mide en la parte central de la curva. Es un parámetro sensible y específico de obstrucción de las pequeñas vías aéreas y puede ser el único valor afectado. Tiene el inconveniente de su escasa reproducibilidad.

Curva flujo/volumen

Relaciona los flujos máximos y los volúmenes dinámicos, proporcionando una rama inspiratoria y otra espiratoria. El primer 30 % de la rama espiratoria es esfuerzo-dependiente, mientras que el resto está condicionado por la compresión dinámica de las vías aéreas (Fig. 3). Podemos medir los siguientes parámetros:

PEF (pico de flujo espiratorio)

Es el pico de flujo espiratorio conseguido durante la maniobra de espiración forzada.

FEF_{25%}, FEF_{50%}, FEF_{75%}

Son los flujos espiratorios máximos instantáneos cuando el 25, el 50 o el 75 % de la FVC

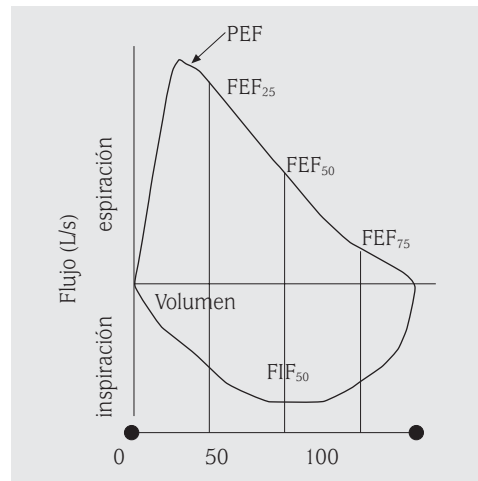


FIGURA 3. Curva flujo/volumen⁽²⁶⁾.

han sido espirados. Son parámetros independientes del esfuerzo y valoran especialmente la pequeña vía aérea. Su disminución produce un aplanamiento cóncavo de la rama espiratoria de la curva flujo-volumen, característico de los trastornos obstructivos.

Prueba de broncodilatación

Para la expresión de la respuesta broncodilatadora se utilizan varios índices, sin existir un consenso universal sobre cuál es el más adecuado. En niños, la fórmula más utilizada es:

$$\Delta \text{FEV}_1 \text{ respecto al inicial (\%)} = \frac{[(\text{FEV}_1 \text{ post} - \text{FEV}_1 \text{ pre}) / \text{FEV}_1 \text{ pre}] \times 100}{}$$

Este índice introduce un sesgo matemático al estar el FEV₁ de partida en el denominador⁽¹⁹⁾. En adultos, la ERS⁽⁶⁾ recomienda considerar el empleo alternativo de esta otra fórmula:

$$\Delta \text{FEV}_1 \text{ respecto al teórico (\%)} = \frac{[(\text{FEV}_1 \text{ post} - \text{FEV}_1 \text{ pre}) / \text{FEV}_1 \text{ teórico}] \times 100}{}$$

Estudios en niños⁽²⁰⁾ concluyen que ésta también es la mejor manera de expresar la respuesta broncodilatadora, pues no depende de la edad, talla o calibre bronquial.

Provocación bronquial por ejercicio

La principal variable a analizar en esta prueba es el FEV₁, que se mide en la espirometría basal y en las realizadas de forma seriada tras la finalización del ejercicio. En cada determinación, se recomienda obtener al menos dos determinaciones válidas, de manera que no haya variaciones del FEV₁ mayores de 0,2 L⁽¹⁵⁾. Si el FEV₁ no se recupera hasta un intervalo del 10% del basal tras 30 minutos o el paciente presenta disnea en cualquier momento de la prueba, se administra un agonista beta2-adrenérgico de acción rápida y se comprueba la reversibilidad de la obstrucción.

Pletismografía

Durante la realización de una pletismografía, se produce un calentamiento del aire inspirado a través del neumotacógrafo mientras que durante la espiración el gas pierde esta característica, por lo que es aconsejable la corrección de los valores obtenidos (ATPS) para las condiciones estándar de temperatura, presión y humedad (BTPS). Esta conversión está incorporada de forma automática en los pletismógrafos actuales.

El pletismógrafo mide el volumen de gas intratorácico (TGV), que es un equivalente de la FRC. A diferencia de las técnicas de dilución de gases, la pletismografía aporta una medida precisa de la FRC, no afectada por espacios alveolares mal ventilados que con frecuencia infravaloran los volúmenes pulmonares. Al in-

corporar una determinación de ERV y otra de VC, el pletismógrafo también proporciona los parámetros de TLC y RV. Además, en la misma maniobra exploratoria, se puede medir la resistencia de la vía aérea (Raw)⁽²¹⁾.

INTERPRETACIÓN

Espirometría basal

La valoración de la espirometría se hace comparando los resultados de los parámetros obtenidos con los valores teóricos de referencia (edad, género, peso, raza y, sobre todo, talla)⁽²²⁻²⁴⁾ y observando la morfología de la curva. Recientemente, se han establecido valores espirométricos de referencia en niños preescolares sanos entre los 2 y 7 años⁽²⁵⁾. El resultado obtenido se expresa como porcentaje del teórico, siendo normales valores del FEV₁ y FVC $\geq 80\%$ del predicho y del FEF_{25-75%} $\geq 65\%$ del predicho.

Antes de interpretar la espirometría, es importante valorar la calidad del estudio. Para ello existen unos criterios de aceptabilidad y reproducibilidad: forma adecuada de la curva (libre de artefactos por tos o cierre precoz de la glotis), un esfuerzo satisfactorio del niño con un inicio correcto de la maniobra, una espiración sostenida y al menos tres valores de FVC con una diferencia inferior al 5% (Fig. 4)⁽²⁶⁾.

En la espirometría podemos identificar tres patrones básicos, obstructivo, restrictivo y mixto, que pueden afectar de forma más o menos intensa al FEV₁ y a la FVC, pudiéndose clasificar cada uno de ellos según el grado de disminución respecto al valor teórico, en leve (65-80%), moderado (50-64%), grave (35-49%) y muy grave (< 35%).

Patrón obstructivo

Se produce por una obstrucción de las vías aéreas desde la tráquea hasta los bronquiolos, limitándose la espiración y disminuyendo principalmente el FEV₁ y, en consecuencia, la relación FEV₁/FVC. En casos graves, este cociente puede ser normal por disminución no sólo del FEV₁, sino también de la FVC. En casos leves de obstrucción, los flujos mesoespirato-

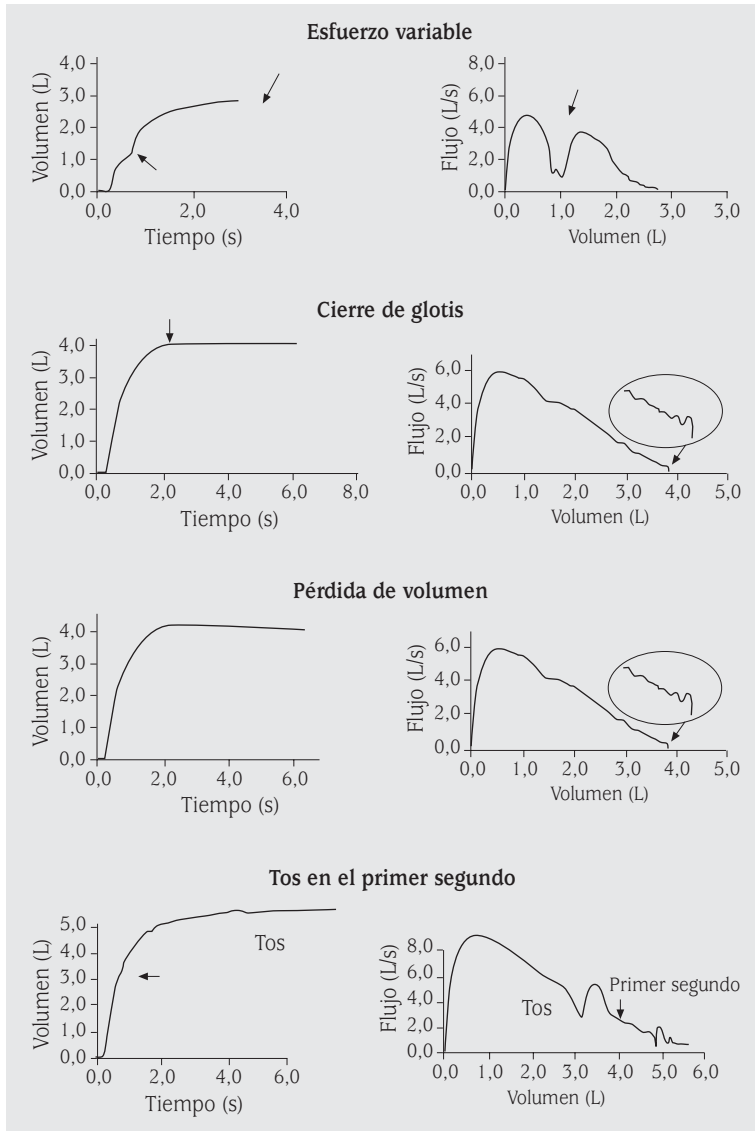


FIGURA 4. Curvas espirométricas no válidas⁽³⁴⁾.

rios pueden ser el único parámetro alterado. Este patrón confiere a la curva flujo-volumen una forma cóncava o excavada.

Patrón restrictivo

Se produce por una disminución del tamaño pulmonar, de la caja torácica o por enfermedades neuromusculares. Existe una disminución de la FVC, siendo la relación FEV₁/FVC normal o aumentada (superior al 75%).

La forma de la curva flujo-volumen es normal, aunque más pequeña que la teórica.

Patrón mixto

Engloba aquellos procesos que cursan con ambos tipos de alteraciones ventilatorias, precisándose la medida de los volúmenes pulmonares estáticos para delimitar el grado de alteración de cada componente (Fig. 5).

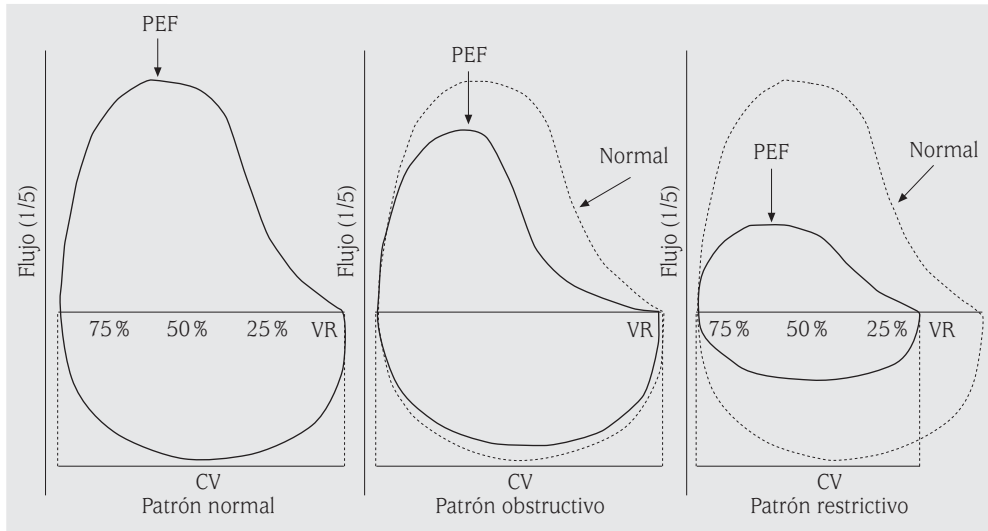


FIGURA 5. Curva flujo/volumen: patrón normal, obstructivo y restrictivo⁽¹¹⁾.

Además, la forma de la curva flujo-volumen permite sospechar ciertas alteraciones, como las obstrucciones fijas o variables intra- y extratorácicas de la vía aérea superior.

Prueba de broncodilatación

Aunque no existe un consenso en la definición de positividad de la respuesta broncodilatadora, mayoritariamente se considera aceptado que incrementos del FEV_1 sobre el valor teórico superiores al 12% indican una respuesta claramente significativa⁽²⁷⁾. Un aumento del FEV_1 entre el 9 y 12% sobre el valor teórico se considera respuesta broncodilatadora moderada e incrementos del FEV_1 inferiores al 9% sobre el valor teórico indican un efecto broncodilatador nulo⁽¹¹⁾.

Test de esfuerzo

Disminuciones del 10% del FEV_1 basal tras el ejercicio se consideran anormales, pero para el diagnóstico de broncoespasmo inducido por el ejercicio se precisa un descenso del $FEV_1 \geq 15\%$. La realización de esfuerzos subóptimos o de ejercicio físico previo a la prueba, puede dar lugar a falsos negativos. Asimismo, la realización de inspiraciones poco completas durante

la espirometría puede dar valores no reales de FEV_1 , ocasionándose falsos positivos⁽¹³⁾.

Pletismografía

Los valores de referencia publicados en la literatura para los parámetros pletismográficos de los niños deben ser utilizados con precaución pues están sujetos a discusión y existen diversos estudios publicados al respecto⁽²⁸⁻³²⁾. La alteración de los volúmenes pulmonares estáticos permite diferenciar enfermedades con patrón obstructivo, restrictivo o mixto. El patrón obstructivo de los volúmenes pulmonares en la pletismografía se define por el aumento de la TLC, RV y FRC con reducción de la VC. En enfermedades con patrón restrictivo se observa una reducción de la TLC por debajo del 80% del teórico con una relación FEV_1/VC normal⁽²⁷⁾. En el caso de tener una disminución de la TLC con un índice Tiffeneau reducido, se considera que el patrón es mixto.

Con respecto a la Raw, existen valores de referencia para niños y niñas entre 4 y 19 años de edad, con un rango entre 1,5 a 4,0 $cmH_2O/L/seg$ ⁽³⁰⁾. Recientemente, se ha revisado la realización de esta técnica y se ha propuesto

un protocolo y unos criterios de calidad en niños a partir de los 2 años de edad⁽⁹⁾. La Raw es un parámetro de obstrucción de las vías aéreas y su estudio se realiza rutinariamente durante la determinación de los volúmenes pulmonares, aunque es prácticamente normal en pacientes con obstrucción leve. Asimismo, la morfología de la curva proporciona información sobre la localización de la obstrucción. Por ejemplo, la morfología en S itálica puede indicar obstrucción difusa leve. El aumento de la resistencia inspiratoria sugiere un trastorno de las vías aéreas extratorácicas (disfunción de cuerdas vocales), mientras que el aumento marcado de resistencia inspiratoria y espiratoria es sugestivo de obstrucción traqueal⁽²¹⁾.

RELEVANCIA CLÍNICA: INDICACIONES

Las principales indicaciones de la espirometría son identificar la ausencia o presencia de enfermedad respiratoria, diagnosticar enfermedades intersticiales en estadios iniciales y valorar el impacto respiratorio de las enfermedades multiorgánicas. Asimismo la morfología de la curva flujo-volumen permite detectar estenosis de la vía aérea superior. La realización de espirometrías seriadas en un mismo paciente permite evaluar en el tiempo la eficacia de las medidas preventivas y/o terapéuticas aplicadas. La prueba de broncodilatación aporta información sobre la reversibilidad bronquial y sus modificaciones con el tratamiento. El ejercicio es una parte importante de la actividad diaria de los niños, tanto sanos como con enfermedades respiratorias. La provocación bronquial por ejercicio sirve para el diagnóstico de asma en pacientes con una historia clínica compatible con una espirometría basal y prueba broncodilatadora normales, siendo una prueba bastante específica de asma. Asimismo, es importante conocer la tolerancia al ejercicio en otras enfermedades como la fibrosis quística o la displasia broncopulmonar⁽⁵³⁾.

En Pediatría, las contraindicaciones absolutas para la realización de estas pruebas son muy poco frecuentes (hipersensibilidad a los

fármacos utilizados o alteraciones cardíacas graves). En el caso de la provocación por ejercicio, se requiere la ausencia de síntomas clínicos de asma en el momento de la prueba así como parámetros basales de FVC y FEV₁ iguales o superiores al 80 % del valor teórico. La pletismografía permite el estudio de los volúmenes estáticos y capacidades pulmonares, que no pueden ser medidos con la espirometría simple y ayudan en el diagnóstico y seguimiento de las enfermedades restrictivas pulmonares. También puede ser útil en la evaluación de algunas enfermedades obstructivas crónicas como el asma o la enfermedad pulmonar crónica del prematuro. La Raw es un parámetro de obstrucción de las vías aéreas y debe interpretarse conjuntamente con los parámetros espirométricos. Asimismo, la morfología de la curva obtenida puede también proporcionar información sobre la localización de dicha obstrucción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hutchinson J. On the capacity of the lungs, and on the respiratory movements, with the view of establishing a precise and easy method of detecting disease by the spirometer. *Lancet*. 1846; 1: 630-2.
2. Castile RG. Pulmonary function testing in children. En: *Kendig's disorders of the respiratory tract in children*. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2006. p. 168-85.
3. Navarro M, Rodríguez E, Pérez G. En: *Función pulmonar en niños (II): pletismografía corporal*. Sanitaria; 2000. p. 161-83.
4. Pérez-Frías J, Pérez Ruiz E, Cordón Martínez AM, Rodríguez Vives MA. La espirometría forzada. En: *III Curso sobre la función pulmonar en el niño (principios y aplicaciones)*. Madrid: Ergon; 2001. p. 19-36.
5. American Thoracic Society. Standardisation of spirometry. 1994 Update. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995; 152: 1107-36.
6. 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; 16: 5-40.

7. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *ATS/ERS Task Force: Standardization of Lung Function Testing*. *Eur Respir J*. 2005; 26: 319-38.
8. Frey U, Stocks J, Coates A, Sly P, Bates J, on behalf of the ERS/ATS Task force on Standards for Infant Respiratory Function Testing. Standards for infant respiratory function testing: ERS/ATS Task Force. Specifications for equipment used for infant pulmonary function testing. *Eur Respir J*. 2000; 16: 731-40.
9. Bisgaard H, Nielsen KG. Plethysmographic measurements of specific airway resistance in young children. *Chest*. 2005; 128 (1): 355-62.
10. Korta Murua J, Sardón Prado O. En: *Función pulmonar en niños (I): la espirometría forzada*. Sanitaria; 2000. p. 127-59.
11. Oliva Hernández C, Gómez Pastrana D, Sirvent Gómez J, Asensio de la Cruz O y Grupo de Técnicas de la Sociedad Española de Neumología Pediátrica. Estudio de la función pulmonar en el paciente colaborador (Parte I). *An Pediatr (Barc)*. 2007; 66 (4): 393-406.
12. Beydon Y, Davis SD, Lombardi E, Arets HGM, Aurora P, Bisgaard H, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007; 175: 1304-45.
13. Asensio de la Cruz O, Cordon Martínez A, Elorz Lambarri J, Moreno Galdó A, Villa Asensi JR y Grupo de Técnicas de la Sociedad Española de Neumología Pediátrica. Estudio de la función pulmonar en el paciente colaborador (Parte II). *An Pediatr (Barc)*. 2007; 66 (5): 518-30.
14. Navarro M, Ledesma I, Pérez G, Romero MM. Test de esfuerzo. En: *La Función Pulmonar en el Niño (principios y aplicaciones)*. Madrid: Ergon; 2007. p. 69-77.
15. Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, Enright PL, Hankinson JL, Irvin CG, et al. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing-1999. This official statement of the American Thoracic Society was adopted by the ATS Board of Directors, July 1999. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000; 161: 309-29.
16. Villa JR, Almería E. Pletismografía. En: *La Función Pulmonar en el Niño (principios y aplicaciones)*. Madrid: Ergon; 2007. p. 91-8.
17. Jones MH, Howard J, Davis S, Kisling J, Tepper RS. Sensitivity of spirometric measurements to detect airway obstruction in infants. *Am J Crit Care Med*. 2003; 167: 1283-6.
18. Jones M, Castile R, Davis S, Kisling J, Filbrun D, Flucke R, et al. Forced expiratory flows and volumes in infants; normative data and lung growth. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000; 161: 353-59.
19. Dompeling E, Van Schayck CP, Molema J, Akkermans R, Folgering H, Van Grunsven PM, et al. A comparison of six different ways of expressing the bronchodilating response in asthma and COPD; reproducibility and dependence of pre-bronchodilator FEV1. *Eur Respir J*. 1992; 5: 975-81.
20. Pardos C, Fuertes J, Nerin de la Puerta I, González Pérez-Yarza E. ¿Cuándo se considera positivo el test de broncodilatador? *An Esp Pediatr*. 2002; 57: 5-11.
21. Liñán S, Reverté C, Cobos N. Exploración funcional respiratoria en el niño colaborador. En: *Tratado de Neumología Infantil*. 2ª edición. Madrid: Ergon; 2009. p. 151-88.
22. Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB. Spirometric reference values from a sample of the General U.S. Population. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999; 159: 179-87.
23. Quanjer PH, Borsboom GJ, Brunekreef B, Zach M, Forche G, Cotes JE, et al. Spirometric reference values for white European children and adolescents: Polgar revisited. *Pediatr Pulmonol*. 1995; 19 (2): 135-42.
24. Morato MD, González Pérez-Yarza E, Empanaza JI, Pérez A, Aguirre A, Delgado A. Valores espirométricos en niños sanos de un área de urbana de la Comunidad Autónoma Vasca. *An Esp Pediatr*. 1999; 51: 17-21.
25. Pérez-Yarza EG, Villa JR, Cobos N, Navarro M, Salcedo A, Martín C, et al. Espirometría forzada en preescolares sanos bajo las recomendaciones de la ATS/ERS: estudio CANDELA. *An Pediatr (Barc)*. 2009; 70 (1): 3-11.
26. Escribano Montaner A, Díez Monge N. La espirometría forzada. En: *La función pulmonar en el niño (principios y aplicaciones)*. Madrid: Ergon; 2007. p. 53.
27. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies for lung tests. In series "ATS/ERS Task Force: Standardisation of lung function testing". *Eur Respir J*. 2005; 26: 948-68.
28. Hulskamp G, Hoo A, Ljunberg H, Lum S, Pillow JJ, Stocks J. Progressive decline in plethysmographic lung volumes in infants. Physiology or technology? *Am J Respir Crit Care Med*. 2003; 168: 1003-9.

29. Stocks J, Godfrey S, Beardsmore C, Bar-Yishay E, Castile R. Plethysmographic measurements of lung volume and airway resistance. In series "Standards for infant respiratory function testing: ERS/ATS Task Force". *Eur Respir J.* 2001; 17: 302-29.
30. Rosenthal M, Cramer D, Bain SH, Denison D, Bush A, Warner JO. Lung function in white children aged 4 to 19 years: II-Single breath analysis and plethysmography. *Thorax.* 1993; 48: 803-8.
31. Stocks J, Quanjer H. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. ATS Workshop on lung volume measurements official statement of the European respiratory society. *Eur Respir J.* 1995; 8: 492-506.
32. Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. In series "ATS/ERS Task Force: Standardisation of lung function testing". *Eur Respir J.* 2005; 26 (3): 511-22.
33. Baraldi E, Carraro S. Exercise testing and chronic lung diseases in children. *Paediatr Respir Rev.* 2006; 7S: S196-8.
34. Equipo Respirar. Taller de Espirometría. Módulo 4: Ejemplos de curvas no aceptables. (consultado el 15 de septiembre de 2011). Disponible en: www.respirar.org/espirom/modulo4te.htm