

SOCIEDAD CHILENA DE NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA

NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA

Órgano oficial de difusión de la **Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica (SOCHINEP)**
y de la **Sociedad Latinoamericana de Neumología Pediátrica (SOLANEP)**

**EDICIÓN ESPECIAL
ACTUALIZACIONES
FUNCIÓN PULMONAR
EN EL NIÑO**



SOCIEDAD CHILENA DE NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA

NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA

Órgano oficial de difusión de la *Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica (SOCHINEP)*
y de la *Sociedad Latinoamericana de Neumología Pediátrica (SOLANEP)*

MAYO 2020 • ACTUALIZACIONES • FUNCIÓN PULMONAR EN EL NIÑO

Órgano oficial de difusión de la
Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica (SOCHINEP)
y de la *Sociedad Latinoamericana de Neumología Pediátrica (SOLANEP)*

ACTUALIZACIÓN EN ESPIROMETRÍA Y CURVA FLUJO / VOLUMEN EN ESCOLARES Y ADOLESCENTES

SCHOOL AND ADOLESCENT SPIROMETRY AND FLOW / VOLUME CURVE UPDATE

Comisión Función Pulmonar Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica:

Dra Solange Caussade^{1,2}, Dra Mónica Saavedra^{3,4}, Dra Hortensia Barrientos⁵ (Coordinadora), Dra Marcela Linares⁶, Dra Viviana Aguirre^{7,8}, Klgo Homero Puppo⁹, Dra Daysi Lewinson¹⁰, Dr Carlos Ubilla^{3,10}, Klgo Rodolfo Meyer¹¹, Klgo Gustavo Moscoso⁵, Dra Cecilia Alvarez¹², Dra Dolores Pavón¹³, Klga Pamela Maturana², Dra Nadinne Clerc².

1. Departamento Cardiología y Enfermedades Respiratorias Pediátricas. Pontificia Universidad Católica de Chile
2. Hospital Dr. Sótero del Río
3. Departamento Pediatría. Campus Norte. Universidad de Chile
4. Clínica Las Condes
5. Servicio Pediatría. Hospital San Borja Arriarán
6. Clínica Indisa
7. Departamento Pediatría. Universidad de Santiago de Chile
8. Hospital El Pino
9. Departamento Kinesiología. Facultad de Medicina. Universidad de Chile
10. Clínica Santa María
11. Servicio Pediatría Hospital Padre Hurtado
11. Departamento Pediatría. Campus Norte. Universidad de Chile
12. Clínica Alemana
13. Hospital Dr Exequiel González Cortés

ABSTRACT

Spirometry is the most commonly used test to evaluate lung function in children and adults. To obtain good quality results, several requirements must be fulfilled: professional capacity of the technician, the quality of the equipment, the patient's collaboration, the use of appropriate reference standards. The purpose of spirometry is to define types of ventilatory alterations of the central and peripheral airways, to evaluate the response to bronchodilators and to guide the presence of restrictive diseases.

The new consensus of national and international experts are described, which have been perfecting several aspects of this test.

Keywords: spirometry, consensus, respiratory system, children.

RESUMEN

La espirometría es el examen más comúnmente utilizado para evaluar la función pulmonar en niños y adultos. Para obtener resultados de buena calidad deben cumplirse varios requisitos, desde la capacidad profesional del técnico, calidad de los equipos, colaboración del paciente y utilización de patrones de referencia adecuados. La espirometría tiene como utilidad definir alteraciones ventilatorias obstructivas de vía aérea central y periférica, evaluar respuesta a broncodilatador y orientar al diagnóstico de enfermedades restrictivas.

Se describen los nuevos consensos de expertos nacionales e internacionales, los cuales han ido perfeccionando varios aspectos de este examen.

Palabras clave: espirometría, consenso, sistema respiratorio, niños.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la función pulmonar es fundamental para la evaluación y seguimiento de pacientes con enfermedades que afecten al aparato respiratorio en forma crónica o recurrente. Desde el último consenso publicado para realizar pruebas de función pulmonar en el niño en Chile, ha habido numerosas publicaciones nacionales e internacionales que muestran importantes cambios para su realización e interpretación (1). La prueba más accesible es la espirometría, la cual evalúa las propiedades mecánicas de la respiración, midiendo los volúmenes y flujos espiratorios forzados (2,3). Para esto el paciente debe realizar una exhalación forzada desde capacidad pulmonar total (CPT) hasta volumen residual (VR), punto en el cual ya no se registra flujo de aire. Como requiere de la colaboración del paciente, se realiza habitualmente desde los 5 a 6 años, sin embargo es posible a edades menores, considerando criterios diferentes para su realización e interpretación, siendo esto motivo de otro capítulo (4).

En esta revisión se presentan los aspectos necesarios para realizar e interpretar este examen en forma adecuada en escolares y adolescentes, para evitar la interpretación incorrecta y toma de decisiones que podrían afectar negativamente al paciente

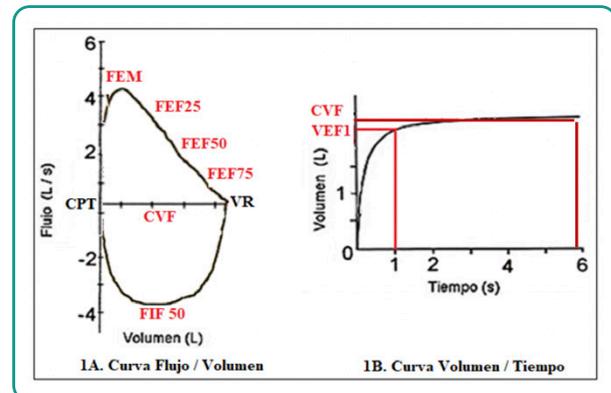
CURVAS Y MEDICIONES ESPIROMÉTRICAS

Mientras el paciente realiza la maniobra forzada se observa el registro gráfico y numérico de los volúmenes y flujos, obteniendo 2 curvas espirométricas: la que relaciona el volumen exhalado en función del tiempo espiratorio (curva volumen / tiempo) y la que relaciona los flujos en relación al volumen pulmonar (curva flujo / volumen) (3,5). Es fundamental contar con ellas al interpretar los resultados, ya que nos indican la calidad del esfuerzo y nos orientan al tipo de alteración ventilatoria (6).

Los 3 parámetros más importantes que mide la espirometría son la Capacidad Vital Forzada (CVF), Volumen espiratorio forzado al primer segundo (VEF₁), y la relación entre ambos (VEF₁/CVF) (7). Normalmente, en el primer segundo se elimina la mayor parte del aire movilizable (cerca del 80% de la CVF). Los flujos espiratorios forzados útiles son el medido a 50% de la CVF (FEF₅₀) y entre el 25 y 75% de la CVF (FEF₂₅₋₇₅) (5). El flujo espiratorio máximo (FEM) es el mayor flujo alcanzado a volumen pulmonar alto, y su utilidad radica en determinar la calidad del esfuerzo inicial.

En la Figura 1 se muestran las curvas y variables espirométricas mencionadas. El volumen residual y la capacidad pulmonar total no son medibles con la espirometría.

Figura 1. Curvas y variables espirométricas



CPT: Capacidad Pulmonar Total. CVF: Capacidad Vital Forzada.

VR: Volumen Residual. VEF₁: Volumen Espirado al primer segundo.

FEM: Flujo Espiratorio Máximo. FEF 25, 50, 75: Flujos Espiratorios Forzados al 25, 50 y 75% de la CVF respectivamente. FIF50: Flujo Inspiratorio Forzado al 50% de la CVF

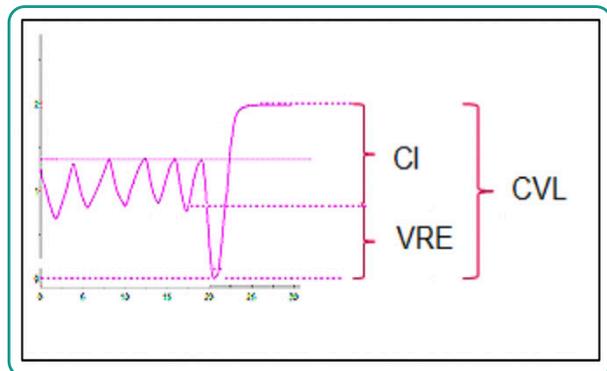
FISIOLOGÍA

Con excepción de la tos, la espiración forzada no suele ocurrir cuando se está respirando normalmente. Al realizar el esfuerzo espiratorio forzado se produce la compresión dinámica de la vía aérea, la que ocurre en el momento en que se igualan las presiones transpulmonar e intraluminal (punto de igual presión: PIP). En un paciente con obstrucción bronquial periférica este PIP se alcanza en áreas más cercanas al alvéolo, determinando una disminución precoz del flujo espiratorio, lo que se manifiesta en cambios en la forma de la curva Flujo/Volumen, tornándose más cóncava (8,9).

En la curva flujo-volumen los flujos entre el 100% y 75% de la CV son dependientes del esfuerzo realizado y reflejan la resistencia de la vía aérea central intratorácica (tráquea distal, bronquios principales). La parte más distal de la curva es independiente del esfuerzo y refleja la resistencia de la vía aérea más periférica (5).

La capacidad vital lenta (CVL o CV) es el volumen máximo que puede ser espirado lentamente después de una inspiración máxima (Figura 2) (3). En una persona sana, sin obstrucción bronquial, el valor de la capacidad vital realizada en forma lenta, a la velocidad que espontáneamente elige el paciente, no difiere de la realizada en forma forzada. En pacientes con obstrucción bronquial esta última produce colapso de la vía aérea con aumento del volumen residual y por lo tanto el valor de la CVF será menor que la CVL. Se menciona esta medición por su utilidad en pacientes con enfermedad obstructiva severa que no logran realizar el esfuerzo para capacidad vital forzada, para precisar el volumen de aire que el paciente es capaz de movilizar.

Figura 1. Capacidad Vital Lenta (CVL)



CI: Capacidad Inspiratoria. VRE: Volumen de Reserva Espiratorio.

INDICACIONES

Las indicaciones para realizar una espirometría estarán dirigidas al estudio de las patologías que afectan al sistema respiratorio, las que se pueden manifestar con patrones obstructivos, restrictivos o ambos. Como no permite medir VR, ni por lo tanto CPT, en caso de alteración restrictiva u obstructiva con CVF disminuida, se debe realizar estudio de volúmenes pulmonares estáticos, mediante dilución de gases o pletismografía para evaluar el componente restrictivo.

Las indicaciones para realizar una espirometría en pediatría se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Indicaciones

INDICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de pacientes con síntomas y signos respiratorios persistentes o recurrentes • Estudio de pacientes con patologías que afecten en forma secundaria el sistema respiratorio • Evaluación de la respuesta broncodilatadora • Evaluación de la hiperreactividad bronquial en pruebas de provocación • Estudio de enfermedades que afectan vía aérea central • Control de la evolución y establecer pronóstico de enfermedades respiratorias crónicas o recurrentes • Evaluación de la respuesta a intervenciones terapéuticas y/o programas de rehabilitación • Evaluación del riesgo de procedimientos quirúrgicos • Evaluación de los efectos de la contaminación en el sistema respiratorio • Investigación

CONSIDERACIONES GENERALES. ESPACIO FÍSICO, EQUIPO Y OPERADOR.

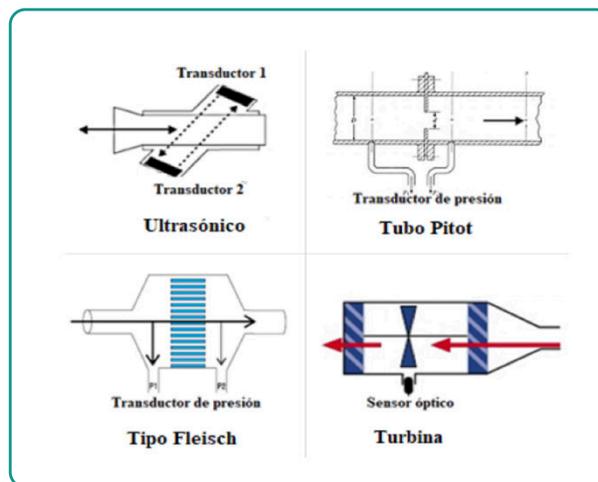
El lugar donde se realiza la espirometría debe cumplir con los requisitos exigidos por la Sociedad Americana de Tórax (ATS) y Sociedad Europea de Enfermedades Respiratorias (ERS). La superficie mínima de la sala debe ser 2 x 3 metros, la temperatura ambiental mínima 17° y máxima 40° C (10,11). La habitación debe mantener un ambiente tranquilo. Debe contar con pesa, estadiómetro y estación ambiental (termómetro de temperatura ambiental, barómetro e higrómetro).

Equipo

Los espirómetros actuales son computarizados y miden flujos, calculando los volúmenes. Pueden ser fijos o portátiles, con sistema abierto o cerrado. El equipo debe contar con una pantalla para visualizar las maniobras realizadas al momento del examen, mostrar las curvas flujo/volumen y volumen/tiempo en tiempo real, condición indispensable para la evaluación de la calidad del examen. Para obtener las mediciones los equipos usan neumotacógrafos o sensores de flujo, siendo actualmente los más utilizados (Figura 3):

- Ultrasonico: mide el tiempo de tránsito de pulsos de ultrasonido, determinando la velocidad de flujo y el volumen. Son muy precisos.
- Sensor de flujo o tubo Pitot: mide el flujo al medir la velocidad a través de un punto dentro del tubo, y está conectado a un transductor de presión diferencial.
- Tipo Fleisch o Lilly: miden la diferencia de presión del flujo laminar previo y posterior a pasar por una resistencia conocida. El software calcula volúmenes en base a este principio
- Turbina: esta gira con el paso del aire espirado. La velocidad de giro es registrada mediante sensor óptico, proporcionando los valores de volúmenes y flujos. Debido al principio de medición, existe controversia acerca de la exactitud de los registros. (12,13).

Figura 3. Sensores de flujo más utilizados



CONTROL DE CALIDAD DE LOS EQUIPOS. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS

Los espirómetros deben cumplir con requisitos mínimos, los que están establecidos y publicados en Chile y en el extranjero (2,7,11,14,15). Se describen los más importantes en la Tabla 2.

Tabla 2. Requerimientos mínimos de los espirómetros

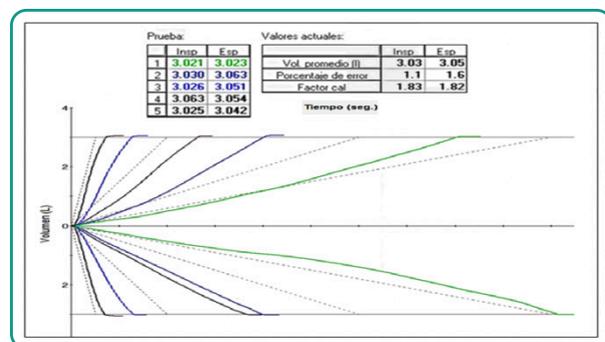
- Registro de tiempo espiratorio mínimo de 15 segundos.
- Capacidad de medición de volúmenes de 0.5 a 8 litros en condiciones BTPS, (temperatura corporal, presión barométrica, saturación de vapor de H₂O), con una precisión de $\pm 3\%$ o 0.050 L (la que resulte superior).
- Capacidad de medir flujos entre 0 y 14 l/s con una sensibilidad de 200 ml/s.
- La resistencia total para un flujo de 14 l/s, debe ser inferior a 1.5 cmH₂O/l/s; esta resistencia no debe superarse con ninguna válvula, boquilla o filtro insertado entre el sujeto y el espirómetro.
- Volumen mínimo detectable 30 ml

CALIBRACIÓN

Los espirómetros de flujo requieren de calibración diaria con una jeringa de 3 litros, debiendo obtenerse una exactitud de 15 ml o 0,5%. Se debe evaluar la linealidad, inyectando los 3 litros de volumen, con 3-5 flujos distintos (entre 2 y 12 litros/segundo) y el volumen medido para cada uno de los flujos utilizados no debe variar más de 3% (± 90 ml).

El espirómetro debe ser calibrado por lo menos una vez al día cuando la temperatura sea estable, pero si ocurren variaciones diarias bruscas iguales o mayores a 3°C en menos de 30 min, debe calibrarse nuevamente (9,10) (Figura 4).

Figura 4. Comprobación de linealidad durante la calibración del equipo. Se inyectan 3l de volumen con jeringa a flujos altos (negro), medianos (azul) y bajos (verde)



Controles biológicos

Consiste en realizar el examen a personas sanas, no fumadoras, de distinto sexo, talla y edad, generalmente personal del laboratorio. Deben ser al menos a 3 sujetos, realizando las mediciones una vez al mes. Se debe calcular promedio, desviación estándar (DS) y coeficiente de variación ($CV = DS/promedio \times 100$) para VEF1 y CVF. Si los resultados se encuentran fuera del promedio $\pm 2DS$, $\pm 5\%$ o 100 ml se requiere evaluación del equipo, de la calibración y de la técnica (6,14).

Personal

El examen será realizado por un profesional de la salud capacitado y certificado en la técnica y que esté habilitado para trabajar con niños.

El laboratorio debe contar con al menos un médico especialista en enfermedades respiratorias pediátricas a cargo de supervisar el cumplimiento de normas de calidad del laboratorio, de interpretar los resultados y emitir el informe.

Normas de higiene y control de infecciones (7)

El operador debe lavarse las manos antes y después de atender a cada paciente, usar boquilla individual. Idealmente utilizar filtro desechable para cada examen. Debe usarse filtro en pacientes con fibrosis quística, tuberculosis, inmunosuprimidos y portadores de enfermedades infectocontagiosas conocidas. Además, en estos casos se aconseja realizar el examen en instancias distintas que al resto de los pacientes.

CONSIDERACIONES DEL PACIENTE

Contraindicaciones (16)

Hay contraindicaciones absolutas y relativas para realizar una espirometría en niños, las que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Contraindicaciones para realizar una espirometría en edad pediátrica

Relativas:

- Lesiones bucales
- Náuseas por uso de boquilla
- Dolor torácico sin causa precisada
- Cirugía torácica, abdominal, ocular y otorrinolaringológica reciente

Absolutas:

- Neumotórax reciente o activo
- Infección activa
- Hemoptisis reciente o activa
- Falta de colaboración y / o comprensión

SUSPENSIÓN DE MEDICAMENTOS

Antes de realizar la espirometría se debe suspender el tratamiento broncodilatador, excepto que su médico indique lo contrario, según la siguiente pauta (7):

- β_2 adrenérgicos y anticolinérgicos de acción corta, por 4 a 8 horas
- β_2 adrenérgicos de acción prolongada, por 12 horas
- β_2 adrenérgicos de acción ultra larga, por 24 horas
- Anticolinérgicos de acción prolongada, por 48 horas
- No es necesario suspender los corticoides inhalados, antileucotrienos ni antihistamínicos previo al examen

PREPARACIÓN DEL PACIENTE

Se debe realizar una breve historia clínica destinada a precisar el diagnóstico, tratamiento utilizado, motivo del examen, medicamentos en uso y detectar presencia de enfermedades infecciosas. Se pesa y mide estatura. En sujetos con marcada deformidad torácica o en aquellos que no puedan ponerse de pie, se mide envergadura (distancia medida desde la punta de los dedos medios de ambas manos, mientras el paciente mantiene las extremidades superiores extendidas al máximo en forma horizontal, medida por la cara anterior del tórax).

El niño no debe acudir al examen en ayunas ni haber realizado ejercicio vigoroso al menos 30 minutos antes.

El operador debe explicar al niño, en forma simple, la técnica para realizar el examen y luego demostrar la maniobra de espiración forzada.

CONSIDERACIONES

- El examen se realiza de preferencia de pie, aunque puede ser sentado
- De preferencia debe usarse pinza nasal, aunque no es obligatorio (17).
- Se pueden emplear programas de incentivo, lo que se debe evaluar individualmente ya que su efectividad es variable (18).
- En escolares y adolescentes se recomienda un mínimo de 3 y un máximo de 8 maniobras.

MEDICIONES

Ejecución de Maniobra de Capacidad Vital Forzada

- El paciente se conecta a la boquilla del espirómetro y se ocluye la nariz con pinza nasal (puede no utilizarse).
- Luego respira a volumen corriente por 2 a 5 ciclos (espirómetro con circuito cerrado).
- Se le solicita una inhalación rápida hasta llenar completamente de aire los pulmones (capacidad pulmonar total).
- Sin pausa al final de la inspiración debe luego espirar con toda la fuerza y velocidad posible hasta sacar todo el aire, sin detenerse, por al menos 3 segundos en niños de 6 a 10 años, y más de 3 segundos en niños mayores de 10 años (7). Si este tiempo espiratorio no se logra se exige una meseta de al menos 1 segundo en la curva volumen / tiempo. Hay que asegurarse de

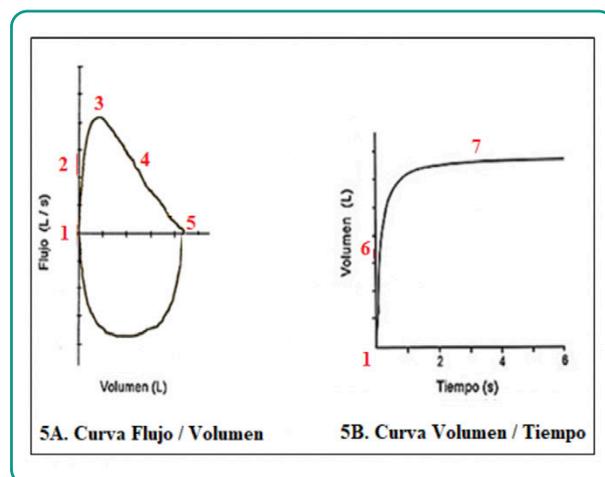
que el paciente realizó su máximo esfuerzo

- Si se requiere curva flujo/volumen inspiratoria, al finalizar la espiración el paciente debe realizar nuevamente una inspiración forzada, hasta capacidad pulmonar total.
- En algunos pacientes es de utilidad recurrir a incentivos para lograr esfuerzos aceptables.

CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD Y REPETIBILIDAD(2,19,20)

Se deben obtener al menos 3 maniobras aceptables y de estas se eligen 2 repetibles. En la Figura 5 se describen los criterios de aceptabilidad y las zonas de las curvas donde deben observarse y en la Figura 6 se muestran ejemplos de espirometrías que no cumplen con algunos de estos criterios.

Figura 5. Zonas de las curvas Flujo/Volumen y Volumen/Tiempo donde se analizan los criterios de aceptabilidad



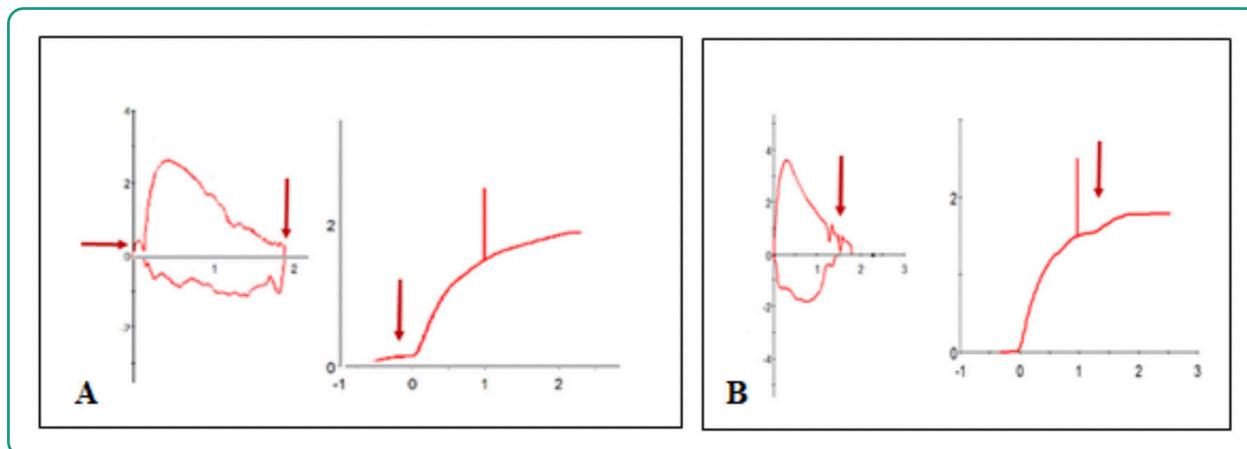
5A. Curva Flujo / Volumen:

1. Volumen de extrapolación retrógrada (VER) menor a 150 ml o 5% de la CVF.
2. Ascenso rápido.
3. Flujo Espiratorio Máximo (FEM) definido.
4. Descenso suave sin artefactos debidos a cierre de glotis, tos, esfuerzo espiratorio variable o evidencias de fuga de aire alrededor de la boquilla.
5. Final en volumen residual, llegando al eje x.

5B. Curva Volumen / Tiempo:

1. Volumen de extrapolación retrógrada (VER) menor a 150 ml o 5% de la CVF.
6. Ascenso parejo.
7. Tiempo espiratorio según lo descrito en el texto, o meseta.

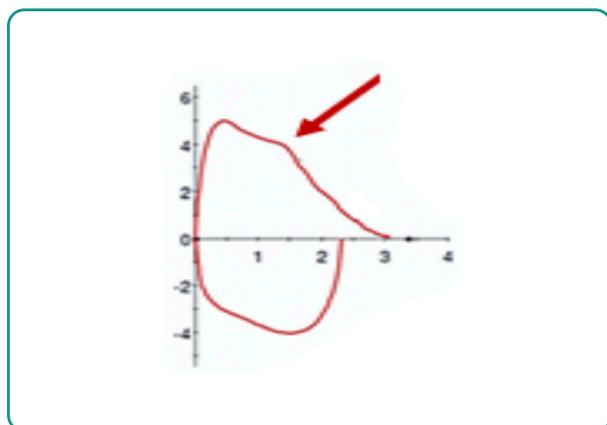
Figura 6. Curvas no aceptables.



A.: Volumen de extrapolación retrógrada aumentado y cese brusco de la espiración. B.: Tos durante la espiración.

La presencia de la “joroba o rodilla del adolescente” no es infrecuente, debe considerarse como un fenómeno aceptable. Se debería a un “enlentecimiento” transitorio del flujo espiratorio debido a una “disminución” transitoria del esfuerzo realizado por el paciente (21) (Figura 7)

Figura 7. Curva flujo / volumen con “joroba”



Para considerar las maniobras repetibles debe haber una diferencia menor a 150 ml y/o 5% entre las 2 mejores CVF y entre los 2 mejores VEF1. En la Tabla 4 se muestran los grados de calidad para espirometrías en escolares y adolescentes, los cuales se basan en estos criterios (20). Se asume el cumplimiento de los criterios de aceptabilidad previo a evaluar los criterios de repetibilidad.

Tabla 4. Criterios de repetibilidad para definir grado de calidad de espirometrías realizadas en escolares y adolescentes (7, 20)

Grado calidad	Criterio
A	≥ 3 Test aceptables con repetibilidad ≤ 150 ML
B	≥ 2 Test aceptables con repetibilidad ≤ 150 mL
C	≥ 2 Test aceptables con repetibilidad ≤ 200 mL
D	≥ 2 Test aceptables con repetibilidad ≤ 250 mL
E	1 test aceptable
F	Ningún test aceptable

RESPUESTA A BRONCODILATADOR

Para evaluar la respuesta a broncodilatador se utiliza salbutamol en aerosol presurizado de dosis medida con aerocámara valvulada, realizando 4 inhalaciones de 100 µg cada una, separadas por 30 segundos. Quince minutos después se repiten las maniobras descritas para CVF (22).

En situaciones especiales se puede evaluar la respuesta a bromuro de ipratropio aplicando 4 inhalaciones de 20 mcg y evaluar la respuesta en 30 minutos (7).

INFORME ESPIROMÉTRICO

Generalidades

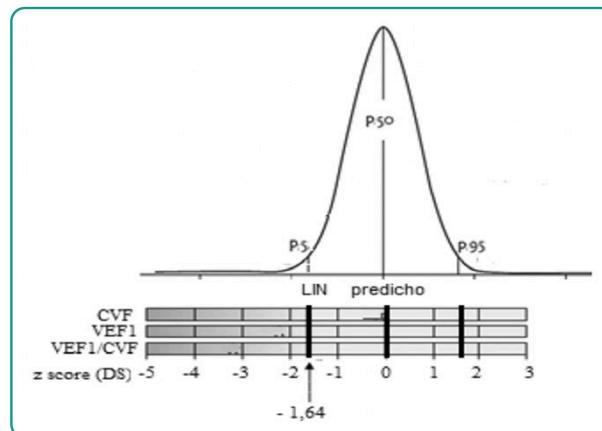
- El informe espirométrico debe incluir los datos del paciente (nombre, fecha de nacimiento, edad, peso, talla), fecha y lugar de realización del examen, especificar el equipo utilizado, tipo y dosis de broncodilatador y valores de referencia utilizados.
- Dejar constancia de la posición en la que se realizó la espirometría (de pie o sentado) y si se utilizó o no pinza nasal.
- Se debe informar los valores absolutos de la mejor curva (la que tenga la suma más alta de CVF y VEF₁ pre-broncodilatador).
- Debe detallarse en el informe los siguientes valores: CVF, VEF₁, VEF₁/CVF y FEF₂₅₋₇₅. El informe debe considerar los rangos de normalidad basándose en Percentil 5 o z score. Se recomienda no utilizar el porcentaje del teórico para su interpretación.
- Consignar el tiempo espiratorio.
- El volumen extrapolado (VER) en valor absoluto y/o porcentaje de la CVF puede consignarse (18,22).
- También se debe incluir los valores obtenidos después de la inhalación de broncodilatador y su cambio, expresado como porcentaje, respecto del valor basal.
- Los trazados flujo-volumen y volumen-tiempo deben ser incluidos en el informe, imprimiendo la mejor curva. Es fundamental una visualización detallada de ambas curvas previo a emitir el informe

Valores de referencia

Los valores obtenidos en las variables espirométricas dependen de factores como edad, peso, género y etnia, siendo el más determinante la talla (25,26). Existe consenso en nuestro país que ya no debe usarse valores teóricos de Knudson et al ya que subestiman los resultados (27,28). Los patrones teóricos de Gutiérrez 1997 aún están vigentes, sin embargo la recomendación actual de la Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica es usar los valores teóricos de la Global Lung Initiative (GLI) publicados el año 2012 (20, 29, 30). Estas ecuaciones se basan en 97.759 mediciones realizadas en hombres y mujeres sanos, de 3 a 95 años de edad, obtenidas en más de 70 países que corresponden a 4 grupos étnicos (30). Tiene la ventaja de ser una ecuación aplicable a lo largo de la vida del paciente, por lo tanto no se producen los "saltos" al cambiar de fórmula predictiva cuando cambia la edad del paciente.

Para interpretar los resultados se introduce el z score, método estadístico que describe qué tan lejos del promedio teórico normal se ubica el valor que obtuvo el paciente. El z score es un puntaje de desviación estándar, por eso en algunos espirometros y textos los expresan como unidades equivalentes (20). El resultado de la variable espirométrica estará alterado si se ubica bajo el límite inferior de normalidad (P5), lo que corresponde a estar bajo $-1,64$ z score. (Figura 8) (4,20, 30, 31).

Figura 8. Distribución de normalidad y sus límites.



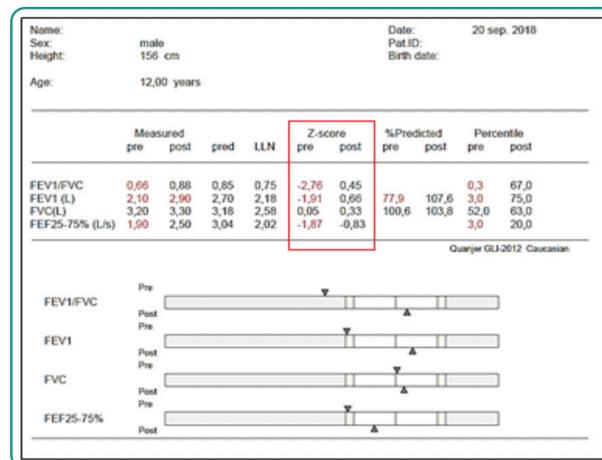
Valor predicho (o teórico): es un valor absoluto y corresponde al promedio del valor de referencia. Se ubica en Percentil 50 o z score 0 o 0 Desviaciones Estándar (DE).

z score: muestra a cuantas unidades de DE se ubica el valor medido en el paciente con respecto al valor teórico promedio.

LIN: valor absoluto que representa al límite inferior de normalidad (P5), se corresponde con el z score (DS) de $-1,64$.

En caso que el espirometro no cuente con estas fórmulas multiétnicas puede accederse a la aplicación de escritorio de Global Lung Initiative para su interpretación (<http://www.ers-education.org/guidelines/global-lung-function-initiative.aspx>). La Figura 9 es un ejemplo de análisis utilizando esta planilla de cálculo.

Figura 9. Ejemplo de cálculos para la interpretación según GLI.



Paciente hombre, 12 años, talla 156 cm. En la parte superior de la figura se muestran los valores basales de la relación VEF₁/CVF, valores de VEF₁ y FEF25-75 por debajo del LIN (expresados como valores absolutos), los que equivalen a $-2,76$, $-1,91$, $-1,87$ DE o z score del promedio teórico respectivamente. Luego de recibir broncodilatador todas las variables se normalizan (se ubican sobre $-1,64$ DE o z score). En la parte inferior de la figura se grafican estos hallazgos (las flechas indican el z score pre y post broncodilatador para cada variable).

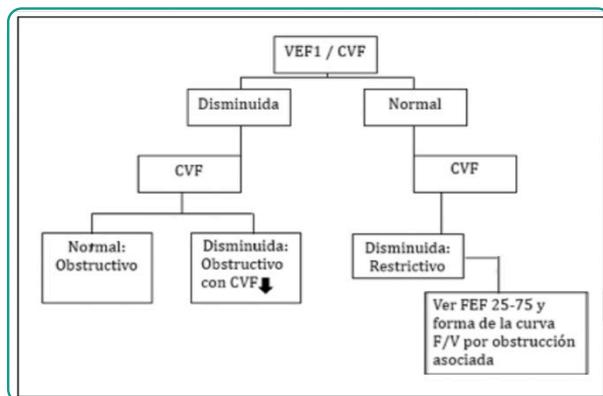
Interpretación

Antes de definir si existen alteraciones espirométricas y emitir el informe, se debe asegurar el cumplimiento de los criterios de aceptabilidad y repetibilidad (2, 5, 14, 15).

Se considera normal una espirometría cuyos parámetros se encuentran sobre -1,64 desviación estándar (o z score) de su promedio teórico. Este valor corresponde al Percentil 5 (5, 10, 19, 20, 21).

Para interpretar el tipo de alteración ventilatoria en la espirometría se debe seguir un algoritmo. En primer lugar hay que observar la relación VEF_1/CVF , si está bajo el LIN se tratará de una alteración obstructiva. Si está por encima se trata de una espirometría normal o restrictiva si además la CVF se ubica por debajo del LIN (Figura 10). Para interpretar la variable VEF_1/CVF se debe considerar la relación en valor absoluto y no como porcentaje del predicho, la que se sugiere eliminar del informe (20).

Figura 10. Algoritmo para interpretación de espirometría.



Las alteraciones pueden ser:

1. Limitación ventilatoria restrictiva: Se caracteriza por presentar la relación VEF_1/CVF normal o aumentada con CVF disminuida, el VEF_1 puede estar proporcionalmente disminuido. Si aparece disminución del FEF_{25-75} se recomienda solo dejar constancia. Si es una alteración restrictiva pura no debiera observarse un cambio significativo con el broncodilatador.

2. Limitación ventilatoria obstructiva: Se caracteriza por una relación VEF_1/CVF disminuida, con o sin VEF_1 disminuido.

3. Limitación ventilatoria obstructiva con CVF disminuida: Se caracteriza por disminución de la relación VEF_1 / CVF , disminución del VEF_1 , y además de la CVF, que puede o no modificarse después del uso de broncodilatador. Este patrón se puede observar en una obstrucción bronquial moderada a severa, o cuando simultáneamente existe una alteración obstructiva y restrictiva. Para diferenciar estas dos situaciones se deben estudiar los volúmenes pulmonares totales, con pletismografía o dilución de gases.

Disminución de flujos espiratorios forzados (FEF_{25-75}):

este índice se deriva de la curva volumen / tiempo, depende del volumen pulmonar (CVF en la espirometría, la que a su vez depende del tiempo espiratorio), y tiene estrecha relación con la presión de retracción elástica pulmonar, la cual está disminuida en niños con enfermedad pulmonar obstructiva moderada a severa (32). Es un parámetro muy variable, cuyos valores de referencia están realizados en individuos sanos, a volúmenes pulmonares más altos que la del paciente obstructivo, por lo que su interpretación no es confiable.

En estudios realizados en adultos y niños se ha demostrado que la interpretación del FEF_{25-75} no agrega valor al informe espirométrico y puede generar informes falsos, por lo que ya no se recomienda informar como alteración ventilatoria obstructiva mínima cuando se encuentra solo el FEF_{25-75} bajo el LIN (33).

En pediatría se observa con frecuencia una espirometría normal con FEF_{25-75} bajo LIN. Si esto va asociado a una curva flujo / volumen de forma cóncava, que luego de administrar broncodilatador cambia a recta o convexa y muestra una respuesta significativa (más del 30% siempre que sea medida a isovolumen, es decir una CVF pre y post broncodilatador sin cambio mayor de 5%), es muy probable que sea la manifestación de una alteración ventilatoria obstructiva. Se sugiere dejar constancia del hallazgo en el informe y dejar su interpretación para el médico que solicita el estudio.

Evaluación de la severidad de las alteraciones espirométricas

Tradicionalmente se usó el porcentaje con respecto al predictivo para clasificar la severidad del compromiso ventilatorio. Pero estos rangos de porcentajes se han determinado arbitrariamente según la edad, sin considerar la distribución normal de las variables. Se sugiere actualmente usar el valor de z score para evitar los sesgos por edad, género y talla.

Para la categorización de la severidad de las alteraciones obstructivas se usa el valor del VEF_1 . Cuando la CVF está disminuida solo se informa como limitación restrictiva, sin categorización, ya que para conocer su severidad se debe medir volúmenes pulmonares totales (7, 20). En la Tabla 6 se muestra la clasificación de severidad según porcentaje, y la actual según rango de z score (22, 34).

Tabla 5. Clasificación de severidad de la obstrucción según Z-score y porcentaje del predicho de VEF_1 .

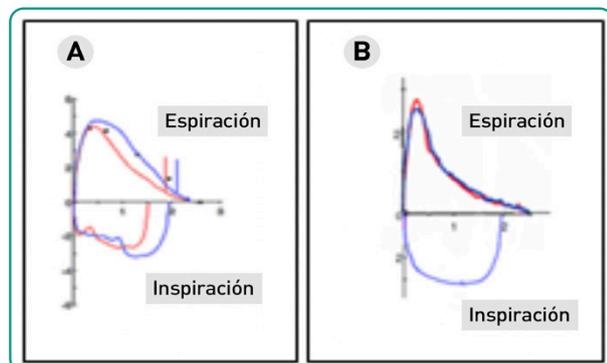
Grado de compromiso	Grado	ATS/ERS 2005	z score
Leve	1	> 70% predicho	≥ -2
Moderado	2	60 - 69 %	≤ -2 a -2,5
Moderadamente grave	3	50 - 59 %	< -2,5 a -3
Grave	4	35 - 49 %	< -3 a -4
Muy grave	5	< 35 %	< -4

Informe respuesta a broncodilatador

Se considera respuesta broncodilatadora significativa al aumento del 12% para VEF_1 y/o 30% para FEF_{25-75} (para este último la medición post broncodilatador debe ser a isovolumen, es decir una CVF que no muestre más de 5% de diferencia con respecto a su medición basal) (22).

En el caso de una espirometría basal con limitación obstructiva, si luego de recibir broncodilatador los valores tienen cambio significativo y se normalizan, se recomienda utilizar el término "reversible". Si se observa un cambio significativo y la espirometría no se normaliza se sugiere concluir como "parcialmente reversible". Si los valores basales son normales y se observa un aumento significativo de la CVF, VEF_1 o FEF_{25-75} después del broncodilatador, se debe consignar esta respuesta. Frecuentemente cuando hay un patrón obstructivo de vía aérea periférica, se observa la fase espiratoria de la curva flujo-volumen de forma cóncava, la que pasa a ser recta o convexa luego del broncodilatador cuando hay respuesta (Figura 11).

Figura 11. Forma de la curva Flujo/Volumen basal y luego del broncodilatador.



A: la fase espiratoria de la curva prebroncodilatador es cóncava (roja). Luego del broncodilatador desaparece la concavidad (azul).

B: ambas curvas espiratorias pre y post broncodilatador (roja y azul respectivamente) cóncavas. En este ejemplo no se observó respuesta al broncodilatador.

ANÁLISIS DE LA FORMA DE LA CURVA FLUJO-VOLUMEN (2)

Corresponde a la representación gráfica de los flujos forzados espiratorios e inspiratorios en relación al volumen pulmonar. Está formada por una fase espiratoria, de forma triangular, y una inspiratoria de forma semicircular. Como ya fue descrito anteriormente, una curva flujo-volumen normal (Figura 1) tiene un rápido incremento del flujo espiratorio hasta llegar al flujo máximo (FEM) y luego declina gradualmente hasta llegar a "0". Sólo la primera parte de la curva espiratoria depende

del esfuerzo, pero la porción inspiratoria es totalmente esfuerzo dependiente.

El análisis de la curva flujo/volumen es de gran utilidad para el diagnóstico de la obstrucción de vía aérea central intra o extratorácica, para la identificación de alteraciones de vía aérea pequeña y como ya se describió, para evaluar la calidad de la maniobra. Ciertas patologías tienen curvas características. Su interpretación se basa fundamentalmente en el análisis de su forma. Los valores absolutos de los flujos presentan gran variabilidad, por lo que ya no se recomienda utilizar la relación FEF_{50}/FIF_{50} para diferenciar una obstrucción variable intra de extratorácica.

Al analizar la forma de la curva es posible distinguir algunos patrones patológicos característicos (Figura 12):

Obstrucción variable de la vía aérea central extratorácica.

Se caracteriza por una disminución de los flujos inspiratorios, observándose un aplastamiento de la fase inspiratoria de la curva. Esto se debe a la dificultad que opone este segmento de la vía aérea a la entrada de aire hacia los pulmones sin oponerse a la espiración normal. Esta curva puede verse en pacientes con paresia de cuerdas vocales, malacia de tráquea extratorácica, estenosis subglótica leve.

Obstrucción variable de la vía aérea central intratorácica.

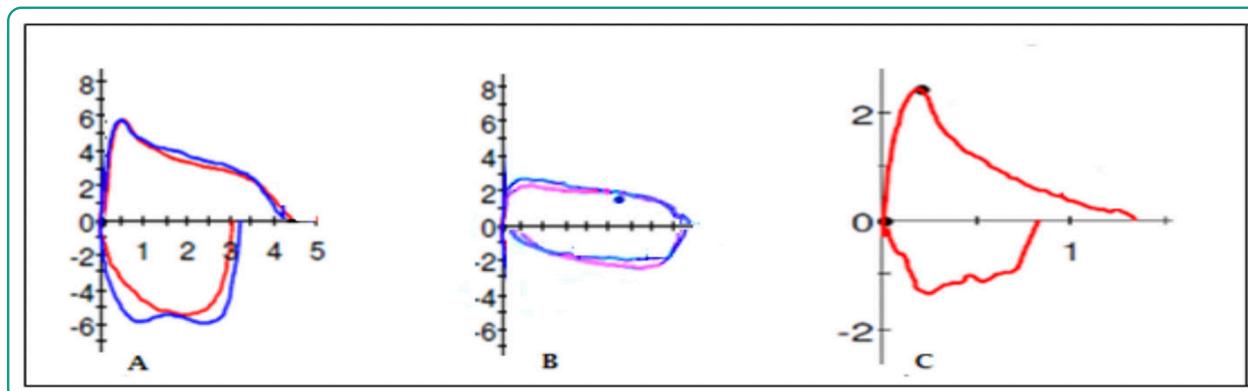
Se caracteriza por una disminución de los flujos espiratorios, tanto dependientes como independientes de esfuerzo, con lo que la curva espiratoria se observa "decapitada". La fase inspiratoria de la curva es normal. Se puede observar en pacientes con traqueo y/o broncomalacia de bronquios fuente. Debido a la debilidad cartilaginosa de sus paredes, o a alteración de la pars membranosa en la espiración se produce un colapso el cual determina disminución del flujo espiratorio

Obstrucción fija de la vía aérea central.

Se caracteriza por reducción en los flujos inspiratorios y espiratorios, en igual proporción, con lo que la curva adquiere una forma rectangular. Ejemplos: compresión extrínseca de tráquea, estenosis subglótica moderada a severa.

Obstrucción bronquial periférica difusa.

Se caracteriza por una disminución de los flujos espiratorios independientes del esfuerzo, observándose una forma cóncava en la parte descendente de la curva espiratoria. La fase inspiratoria es normal. Cuando la obstrucción es severa también se pueden comprometer los flujos dependientes del esfuerzo, observándose una curva espiratoria pequeña y cóncava.

Figura 12. Ejemplos de alteraciones de curva Flujo/Volumen.

- A. Obstrucción variable de vía aérea intratorácica en un paciente con traqueobroncomalacia
 B. Obstrucción fija de vía aérea central causada por tumor de tiroides
 C. Alteración obstructiva de vía aérea distal en asmático

COMENTARIO FINAL

La espirometría es un examen relativamente simple de realizar y los equipos son fáciles de conseguir. Sin embargo el técnico debe conocer la fisiología y fisiopatología, la técnica, ser capaz de identificar los errores del paciente y del equipo, y ser empático con los pacientes pediátricos. La obtención de una espirometría de buena calidad es fundamental para no tomar medidas terapéuticas equivocadas.

Nota: las espirometrías pertenecen al autor SC

Los autores no presentan conflictos de interés

REFERENCIAS

- Linares M, Sánchez I, Corrales R, Díaz A, Escobar AM. Pruebas de función pulmonar en el niño. Rev. Chil. Pediatr. 2000;71(3):228-242.
- Benítez-Pérez RE, Torre-Bouscoulet L, Villca-Alá N, Del-Río-Hidalgo RF, Pérez-Padilla R, Vázquez-García JC y cols. Espirometría: recomendaciones y procedimiento. Neumol Cir Torax 2016;2:173-190
- Escribano Montaner A, N. Díez Monge N. La espirometría forzada. En La Función Pulmonar en el Niño. Principios y aplicaciones. Editores E. González Pérez-Yarza, A. Aldasoro Ruiz, J. Korta Murua, J. Mintegui Aranburu, O. Sardón Prado, 2007, Madrid. P 53-62
- Beydon N, Davis S, Lombardi E, Allen J, Arets HGM, Aurora P et al. An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Pulmonary Function Testing in Preschool Children. Am Respir Crit Care Med 2007;175:1304-1345.
- Anastassios C. Koumbourlis. Interpretation of Pulmonary Function Tests in Clinical Practice. In S.D. Davis et al. (eds.), Diagnostic Tests in Pediatric Pulmonology, chapter 7, pages 109-180
- Gardner R, Clausen L, Crapo R, Repler G, Hankinson J, Johnson R et al. Quality assurance in Pulmonary Function Laboratories. Am Respir Dis 1986;134(3):625-7.
- Gutiérrez M (coordinadora), Beroiza T, Borzone G, Caviedes I, Céspedes J, Gutiérrez M y cols. Espirometría: Manual de procedimientos. SER Chile. Rev Chil Enferm Respir 2018; 34: 171-188
- Zach MS. The physiology of forced expiration. Paediatr Respir Rev 2000;1:36-39.
- Caussade S, Meyer R. Fisiología de la curva flujo/volumen espirométrica. Neumol Pediatr 2014; 9 (1): 31-33
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A et al. Series "ATS/ERS task force: standardisation of lung function testing". Standardisation of spirometry. Eur Respir J 2005; 26:319-338.
- American Thoracic Society. Medical Section of the American Lung Association. Standardization of Spirometry 1994 Update. Am J Respir Crit Care Med 1995;152: 1107-1136.
- Paul KP, Schultz T. Technical Note Evaluation of a pocket-sized turbine spirometer for clinical use with children. Respir Med 1997;91:369-372.
- Schermer T, Verweij F, Cretier R, Pellegrino A, Crockett A, Poels P. Accuracy and Precision of Desktop Spirometers in General Practices. Respir 2012;83:344-352.
- American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. Am. Rev. Respir. Dis.1991;144:1202-1218.
- American Thoracic Society. Medical Section of the American Lung Association. Standardization of Spirometry 1987 Update. Am Rev Respir Dis 1987; 136:1285-1298.
- García-Ríoa F, Calle M, Burgos F, Casand P, del Campoe F, Galdiz J y cols. Normativa SEPAR. Espirometría. Arch

- Bronconeumol 2013; 49(9):388–401.
17. Chavasse R, Johnson P, Francis J, Balfour-Lynn I, Rosenthal M, Bush A. To clip or not to clip. *Eur Respir J* 2003; 21: 876–878.
 18. Gracchi V, Boel M, van der Laag J, van der Ent CK. Spirometry in young children: should computer-animation programs be used during testing? *Eur Respir J* 2003; 21: 872–875.
 19. Arets HGM, Brackel HJL, van der Ent CK. Forced expiratory manoeuvres in children: do they meet ATS and ERS criteria for spirometry? *Eur Respir J* 2001; 18: 655–660.
 20. Culver BH, Graham BL, Coates AL, Wanger J, Berry CE, Clarke PK et al. Recommendations for a Standardized Pulmonary Function Report. An Official American Thoracic Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2017;196(11):1463–1472.
 21. Shin HH, Sears MR, Hancox RJ. Prevalence and correlates of a 'knee' pattern on the maximal expiratory flow-volume loop in young adults. *Respirology* 2014;19, 1052–1058.
 22. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R et al. Series "ATS/ERS Task Force: Standardization of lung function testing" Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005; 26: 948–968.
 23. Tomalak W, Radlinski J, Latawiec W. The quality of spirometric measurements in children younger than 10 years of age in the light of recommendations. *Pol. Pneumonol. Allergol.* 2008; 76: 421–425.
 24. Muller-Brandes C, Kramer U, Gappa M, Seitner-Sorge G, Huls A, von Berg A et al. LUNOKID: can numerical American Thoracic Society/European Respiratory Society quality criteria replace visual inspection of spirometry? *Eur Respir J* 2014; 43: 1347–1356.
 25. Lum S, Bountziouka V, Sonnappa S, Wade A, Cole TJ, Harding S et al. Lung function in children in relation to ethnicity, physique and socio-economic factors. *Eur Respir J*. 2015; 46(6): 1662–1671.
 26. Quanjer PH, Stanojevic S, Stocks J, Hall GL, Prasad KVV, Cole TJ et al. Changes in the FEV1/FVC ratio during childhood and adolescence: an intercontinental study. *Eur Respir J* 2010; 36: 1391–1399.
 27. Knudson RJ, Lebowitz M, Holberg CJ, Burrows B. Changes in the Normal Maximal Expiratory Flow-Volume Curve with Growth and Aging. *Am Rev Respir Dis* 1983; 127:725-734.
 28. Alvarez C, Brockmann P, Bertrand P, Caussade S, Campos E, Sánchez I. Aplicación clínica de los valores de referencia de espirometría realizados en niños chilenos. *Rev Méd Chile* 2004; 132: 1205-1210.
 29. Gutiérrez M, Rioseco F, Rojas A, Casanova D. Ecuaciones de referencia espirométrica en población chilena. *Rev Chil Enf Respir* 1997; 13: 165-77.
 30. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH et al. ERS Task Force. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J* 2012; 40: 1324–1343.
 31. Ben Salah N, Bejar D, Snène H, Ouahchi Y, Mehiri N, Louzir B. Le z-score: nouvel outil dans l'interprétation des données spirométriques. *La Tunisie Médicale* 2017;95(8):767-771.
 32. Lukic K, Coates A. Does the FEF25-75 or the FEF75 have any value in assessing lung disease in children with cystic fibrosis or asthma? *Pediatr Pulmonol* 2015;50:863-8.
 33. Quanjer P, Weiner D, Pretto J, Brazzale D, Boros P. Measurement of FEF25–75% and FEF75% does not contribute to clinical decision making. *Respir J* 2014; 43: 1051–1058
 34. Quanjer P, Pretto J, Brazzale D, Boros P. Grading the severity of airways obstruction: new wine in new bottles. *Eur Respir J* 2014; 43: 505–512.

ACTUALIZACIÓN EN ESPIROMETRÍA EN EL PREESCOLAR

PREESCHOOLS SPIROMETRY UPDATE

Comisión Función Pulmonar Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica:

Dra. Marcela Linares¹, **Dra. Cecilia Alvarez**², **Dra. Hortensia Barrientos**³ (Coordinadora), **Dr. Carlos Ubilla**^{4,5}, **Dra. Daysi Lewinson**⁵, **Dra. Dolores Pavón**⁶, **Klgo. Gustavo Moscoso**³, **Klgo. Homero Puppo**⁷, **Dra. Mónica Saavedra**^{4,8}, **Dra. Nadinne Clerc**⁹, **Klga. Pamela Maturana**⁹, **Klgo. Rodolfo Meyer**¹⁰, **Dra. Solange Caussade**^{9,11}, **Dra. Viviana Aguirre**^{12,13}

1. Clínica Indisa
2. Clínica Alemana
3. Servicio Pediatría. Hospital San Borja Arriarán
4. Departamento Pediatría. Campus Norte. Universidad de Chile
5. Clínica Santa María
6. Hospital Dr Exequiel González Cortés
7. Departamento Kinesiología. Facultad de Medicina. Universidad de Chile
8. Clínica Las Condes
9. Hospital Dr. Sótero del Río
10. Servicio Pediatría Hospital Padre Hurtado
11. Departamento Cardiología y Enfermedades Respiratorias Pediátricas. Pontificia Universidad Católica de Chile
12. Departamento Pediatría. Universidad de Santiago de Chile
13. Hospital El Pino

ABSTRACT

Spirometry is better pulmonary function test for evaluating preschoolers with chronic lung disease and recurrent wheeze. It is useful, accessible and very good performance. For a correct interpretation it must be under the conditions specially controlled for this age group. In this review, product of the work done during the year 2018, by the Committee on pulmonary function in pediatric pulmonology Chilean society, will be showcased aspects for the realization and interpretation of spirometry in preschool children, with emphasis on the differences in the criteria typically described for older children and adults.

Key words: spirometry, preschool, pulmonary function test, consensus, respiratory system.

RESUMEN

La espirometría es la prueba de función pulmonar más adecuada para evaluar a preescolares con enfermedades pulmonares crónicas y sibilancias recurrentes. Es útil, accesible y de buen rendimiento. Para una correcta interpretación debe realizarse bajo las condiciones especialmente normadas para este grupo etario. En esta revisión, producto del trabajo realizado durante el año 2018, por la comisión de función pulmonar de la sociedad Chilena de Neumología Pediátrica, se expondrán los aspectos actualizados para la realización e interpretación de la espirometría en preescolares, con énfasis en las diferencias de los criterios clásicamente descritos para niños mayores y adultos.

Palabras clave: espirometría, preescolares, test de función pulmonar, consenso, sistema respiratorio.

INTRODUCCIÓN

La espirometría tiene un valor indiscutible en la evaluación de la función pulmonar debido a su masiva utilización en forma estandarizada en distintas edades, su accesibilidad en todos los laboratorios de función pulmonar, y la facilidad y familiaridad en la interpretación de los resultados. Permite obtener un seguimiento longitudinal con la misma técnica de función pulmonar en las enfermedades que comienzan en edades tempranas de la vida (1).

La espirometría en el preescolar, al igual que en otras edades, es de utilidad para monitorizar la evolución de la severidad, evaluar respuesta a tratamiento y evaluar objetivamente resultados de la investigación clínica en pacientes portadores de patologías respiratorias (2).

El niño pequeño tiene una capacidad de atención de pocos minutos, a veces se distrae con facilidad y no es capaz de coordinar varias instrucciones al mismo tiempo, por lo que durante la espiración forzada no puede espirar rápido, fuerte y sostener ese esfuerzo por un período de tiempo, en general solo cumple con una de estas condiciones (1, 3). Por otro lado, la mayoría de las veces el volumen de la capacidad vital de los preescolares es expulsado en su totalidad en 1 segundo, alcanzando limitación al flujo dentro de este tiempo espiratorio (1, 4). Estas características

Correspondencia:

Dra. Marcela Linares
Clínica Indisa, Santa María 1810, Santiago, Chile
marcelabeatrizl@gmail.com

fisiológicas explican por qué la estandarización de la espirometría diseñada para adultos, no puede ser aplicada en preescolares, e incluso es difícil de cumplir para los niños mayores (5).

El rendimiento de la espirometría en preescolares varía entre un 60 a 95% según distintas publicaciones y aumenta con la edad (4,6–12).

CONSIDERACIONES DEL EQUIPO, AMBIENTE Y OPERADOR

El espirómetro debe tener la capacidad de evaluar flujos instantáneos con una adecuación de más menos 5%. Para ser utilizado en preescolares debe tener un espacio muerto menor a 2 ml/k de peso, incluyendo el filtro antibacteriano, el que se recomienda se utilice para todos los exámenes (1, 13).

El software puede disponer de incentivos animados (1), aunque no se recomienda utilizarlos de rutina, ya que su efectividad es variable para cada niño y para cada tipo de software utilizado (1).

Las curvas flujo/volumen y volumen/tiempo deben ser analizadas en el momento en que se realiza la maniobra, antes de comenzar la siguiente, lo que permitirá evaluar la calidad del examen e incentivar al niño a corregir los errores de la curva anterior utilizando programas de incentivo si es necesario según cada caso (1).

El operador debe saber ganarse la confianza del niño para que sea capaz de realizar las curvas que cumplan los criterios de aceptabilidad sin asustarlo. Con el mismo objetivo, el ambiente debe ser adecuado para niños, contar con juguetes, libros y videos infantiles (1).

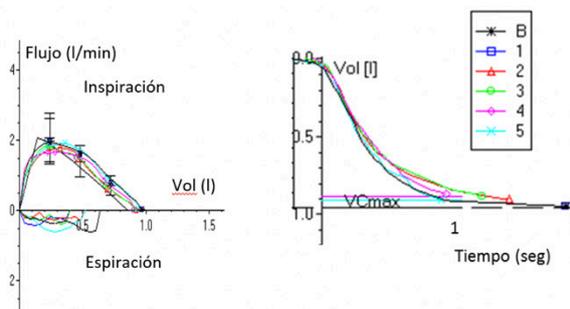
REALIZACIÓN DEL EXAMEN:

Para la realización con éxito de la espirometría en preescolares es conveniente limitar el tiempo de permanencia en el laboratorio durante el cual el niño realice todas las maniobras posibles, no exigir el uso de clip nasal, evaluar individualmente la utilización de programas de incentivo, y grabar todas las maniobras posibles. La posición en que se realiza el examen y el uso de clip nasal, deben ser reportados en el informe. El operador debe observar que no haya escape de aire alrededor de la boquilla, que el niño comience la maniobra sin vacilar y que logre su esfuerzo máximo (1).

Número de maniobras

El preescolar es capaz de realizar un número mayor de maniobras en menos tiempo, ya que su tiempo espiratorio es menor. Esto aumenta la posibilidad de obtener una espirometría aceptable (4). Por este motivo deben realizarse un mínimo de 3 maniobras, sin estipularse un número máximo (3, 12-14). Se deben grabar todas las maniobras realizadas o al menos las 3 visiblemente mejores, las que se definen como de rápido ascenso y con un FEM claramente determinado, espiración sin artefactos ni evidencia de inspiración temprana (Figura 1). Se deben excluir las curvas que denotan fugas, un pobre esfuerzo, cierre glótico, tos y obstrucción de la pieza bucal (4, 5, 15).

Figura 1. Cinco curvas grabadas, visiblemente mejores: FEM claramente determinado y de rápido ascenso, espiración sin artefactos ni evidencia de inspiración temprana y reproducibles. Cada color representa una maniobra diferente. B: mejor curva flujo/volumen.



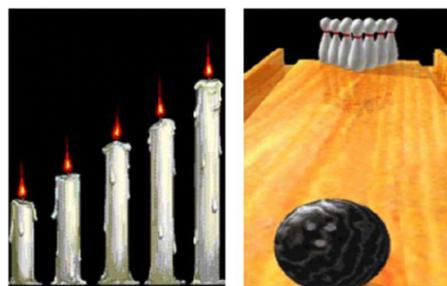
Posición y uso del clip nasal

No hay datos que demuestren si la posición de pie o sentado tiene algún efecto sobre los resultados de la espirometría de preescolares (1). Respecto al uso de clip nasal, no es recomendado utilizarlo de rutina, porque es un elemento distractor y a veces asusta al niño, lo que impide que realice el examen (12). En una publicación realizada por Chavasse y col (16) en un grupo de escolares, se observó que no hay diferencias clínicamente significativas en los valores de VEF_1 y CVF obtenidos con o sin pinza nasal.

Programas de incentivo

Estos programas han sido evaluados en distintas publicaciones con resultados dispares (14, 17). El programa de “apagar las velas”, que es un incentivador de flujo, permite al niño lograr mejor FEM, pero no se facilita una espiración sostenida en el tiempo, por lo que los valores de CVF pueden ser menores. Los programas del “bowling”, inflar el globo” o “el gallito que corre”, son incentivadores de volumen y ayudan a obtener un tiempo espiratorio hasta volumen residual (Figura 2) (1). Por lo tanto, debe evaluarse la utilización de incentivo en cada niño y según la variable que se necesite mejorar, se sugiere priorizar los incentivadores de volumen o de flujo y volumen (1, 3, 12). Para no desanimar al niño exigiendo metas no alcanzables, el flujo y volumen pulmonar objetivo de los programas de incentivo se puede ajustar de forma proporcional (13).

Figura 2. Imágenes de los programas de incentivo de las velas (incentivador de flujo, del inicio de la curva) y el bowling (incentivador de volumen, para lograr un tiempo espiratorio mayor).



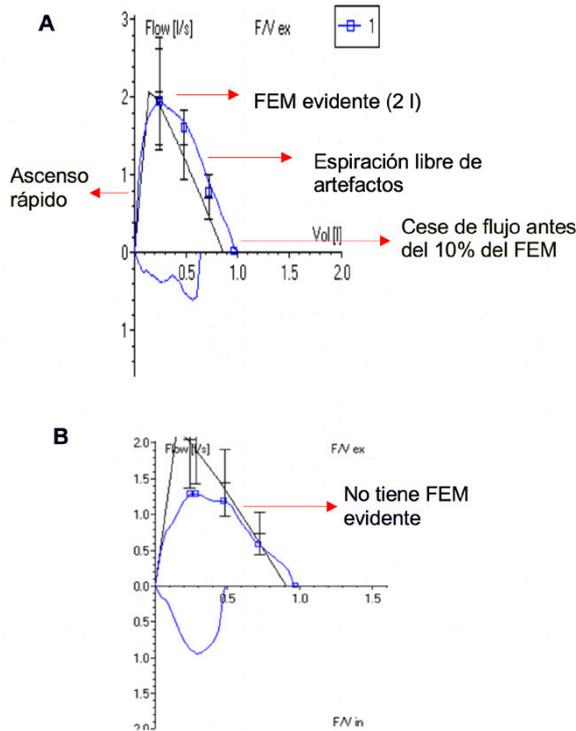
CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD

Si bien están estandarizados los criterios de aceptabilidad de las curvas realizadas en preescolares desde el año 2007 (1), aún hay discrepancias en algunos criterios cuando se valora la calidad de la curva (18). Se detallan a continuación los criterios de aceptabilidad del inicio y final de la curva.

Del inicio de la curva:

En la curva flujo/volumen debe observarse un ascenso rápido y FEM visualmente evidente, de forma triangular y con un solo pico (Figura 3.) (5, 15, 19).

Figura 3. Criterios de aceptabilidad de la curva flujo-volumen del preescolar. A: Ascenso rápido, forma triangular, se observa solo un FEM evidente, sin artefactos y cese de flujo menor al 10% del FEM, en este caso, el FEM tiene un valor de 2 l, por lo que el cese del flujo debe ser menor a 200 ml (10% del FEM). B: ejemplo de curva sin FEM evidente.



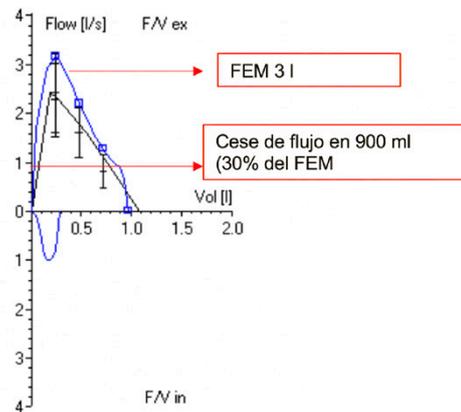
En la curva volumen/tiempo, el volumen de extrapolación retrógrada (VER) aceptable para preescolares es del 12,5% u 80 ml de la CVF (1, 4, 19-21).

Del final de la curva:

El tiempo espiratorio (TE) logrado en el preescolar aumenta con la edad y frecuentemente es de solo 1 segundo. También es muy habitual una terminación abrupta del flujo, con el descenso de la curva espiratoria convexa (1). Por lo que los criterios de aceptabilidad del final de la curva son:

En la curva flujo/volumen: se pueden aceptar curvas con final abrupto, siempre que el valor en el que cesa el flujo espiratorio sea menor al 10% del FEM (Figura 3) (4,13,15,17,19,21,22). Las curvas con cese del flujo mayor al 10% del FEM se las clasifica como de terminación prematura y de ellas solo se puede obtener VEFt (volumen espirado forzado en el tiempo, el que puede ser VEF₁, VEF_{0,5} o VEF_{0,75}) y FEM, no permite evaluar otros flujos ni CVF (Figura 4) (21) (Figura 4).

Figura 4. Ejemplo de curva flujo/volumen con terminación temprana. El flujo termina bruscamente en el 30% del FEM (900 ml). Solo se puede interpretar VEF t y FEM, no CVF ni FEF_{25-75%} en este tipo de curvas.



En la curva volumen/tiempo: lograr un TE de al menos 0,5 segundos y alcanzar un plateau, aunque su ausencia no hace que la curva no sea aceptable, siempre que se cumplan con los criterios de terminación de la curva Flujo/volumen antes mencionados (7, 19).

REPETIBILIDAD

A pesar de la menor colaboración que habitualmente se encuentra en los pre-escolares, el coeficiente de variación obtenido en distintos estudios de VEF₁, CVF VEF_{0,5} y VEF_{0,75} es del 3% al 4%, valores semejantes a lo encontrado en adultos (10). En preescolares se acepta una repetibilidad del 10% de o menos de 100 ml para VEFt y CVF. No alcanzar criterio de repetibilidad no invalidaría el examen, se puede reportar la maniobra de mayor valor siempre que cumpla con los criterios de aceptabilidad (1, 4, 13, 23).

INTERPRETACIÓN

Como el preescolar tiene un volumen pulmonar pequeño en relación a la vía aérea, la mayoría de las veces elimina todo su volumen pulmonar en un segundo, por lo que el VEF₁ y la CVF pueden tener el mismo valor. Debido a esto, el VEF y la relación VEF₁/CVF subestima la obstrucción de vía aérea (1,4,11), por lo que es más adecuado utilizar para la interpretación los volúmenes espirados forzados al 0,5 y 0,75% de la CVF y la relación VEF_{0,5}/

Figura 5. Formato de informe propuesto para la espirometría del preescolar.

Datos del laboratorio y paciente

Curva Flujo/volumen

Curva Volumen/tiempo

Pre broncodilatador					Post broncodilatador				
	Mejor	LIN	Z-score	% teórico	Mejor	Z-score	% teórico	cambio	% cambio
CVF									
VEF1									
VEF1/CVF				NI			NI		
VEF0,5									
VEF0,5/CVF				NI			NI		
VEF0,75									
VEF0,75/CVF				NI			NI		
FEM									
FEF25-75									
TE									

Valores de referencia

Uso de clip Posición

Número de maniobras aceptables

Repetibilidad* de VEF1 VEF0,5 VEF0,75 CVF

TE: tiempo espiratorio. NI: no se informa. *Colocar la repetibilidad de los VEFt obtenidos.

CVF y VEF_{0,75}/CVF (1, 3, 4, 24, 25). En la figura 5 se entrega un formato de informe propuesto para la espirometría del preescolar.

Se ha demostrado en niños y adultos que la interpretación del FEF_{25-75%} no mejora el informe espirométrico, tiene alta variabilidad, es dependiente del volumen al que se mide y los valores de referencia están calculados a mayores volúmenes que los niños con obstrucción bronquial, por lo que no se utiliza para interpretar la espirometría basal (26). De todas formas, en la espirometría del preescolar es de utilidad para evaluar la calidad de la curva y respuesta broncodilatadora (27).

Deben ser reportados la mayor CVF y VEFT, aunque provengan de distintas curvas, siempre que sea de las 2 mejores aceptables. Los flujos deben provenir de la curva con mayor suma de VEF_{0,5} y CVF. Los índices que deben ser reportados y los necesarios para el control de calidad de la espirometría del

preescolar se detallan en la Tabla 1 (1).

No se debe informar grado de severidad como en niños mayores y adultos, ya que no hay escalas disponibles para este grupo etario.

Independientemente de cuál sea el valor de referencia seleccionado se debe disponer del límite inferior o P5 (Percentil 5) y Z score de cada variable para su correcta interpretación (1, 19). Se considera normal a los valores que se encuentran sobre -1,64 desvíos estándar de la media (Z score) o por encima del P5 (1, 19, 28).

En la última actualización de espirometría de la ATS/ERS se recomienda utilizar los valores de referencia multiétnicos GLI (por su sigla en inglés: Global Lung Initiative) que abarcan desde los 3 a los 90 años (28, 29). Tienen la ventaja de ser valores lineales a lo largo de todos los rangos etarios y tienen

Tabla 1. Índices que deben ser reportados y los necesarios para el control de calidad de la espirometría del preescolar.

Índices que deben ser reportados	Índices necesarios para el control de calidad (No necesariamente reportados)
CVF	FEF ₂₅₋₇₅ *
VEF ₁ (en caso de TE mayor a 1 seg)	FEF ₂₅ *
VEF _{0,5}	FEF ₅₀ *
VEF _{0,75}	FEF ₇₅ *
VEFt/CVF	
Repetibilidad de estas variables	VER
Número de maniobras aceptables	TE
Postura	Flujo de cese de espiración expresada como proporción del PEF
Uso de clip nasal	

VER: volumen de extrapolación retrograda, TE tiempo espiratorio. * Algunos de los flujos deben ser reportado. VEFt: volumen espiratorio forzado en el tiempo

el valor de VEF_{0,75} (no dispone de VEF_{0,5}), el P5 y Zscore para su interpretación. A pesar de que estas ecuaciones no tienen incorporados valores de preescolares chilenos, en un estudio publicado recientemente (12) no se observan diferencias significativas en VEF₁ y CVF entre estos niños y los valores de GLI, por lo que se recomienda su uso para la interpretación de la espirometría. Se enfatiza la importancia de colocar la edad exacta del niño con un decimal (por ejemplo 2,7 en un niño de 2 años 7 meses), cuando se utilizan los valores de GLI. Los valores de referencia de GLI disponen de ecuaciones de referencia para VEF_{0,75} y VEF_{0,75}/CVF y los chilenos de VEF_{0,5} y _{0,75}, con sus respectivas relaciones con la CVF (12, 28).

Siempre se debe evaluar la respuesta broncodilatadora, lo que permitirá en algunos casos, determinar patología obstructiva con respuesta al broncodilatador subdiagnosticada con la espirometría basal. Si bien lo que se considera como respuesta al broncodilatador varía levemente entre los distintos estudios, se sugiere interpretar como respuesta significativa (diferencia entre el valor basal y el obtenido luego de inhalar con 400mcg de salbutamol), a un cambio de al menos 12% en VEFt y 35% en FEF₂₅₋₇₅. Este último siempre que se mida a isovolumen, o sea con una diferencia menor al 5% en la CVF entre la curva pre y post broncodilatador (10, 17, 22, 30). Aunque la curva tenga una finalización temprana, si el niño pudo realizar VEF_{0,5} se puede interpretar la respuesta al broncodilatador (22). No hay evidencia suficiente para determinar un valor de corte de la respuesta broncodilatadora en la espirometría, capaz de diferenciar los niños preescolares asmáticos de los que no lo son (30).

La curva flujo volumen completa (fase inspiratoria y espiratoria) es habitualmente difícil de lograr, por lo que en estos casos no se puede interpretar obstrucciones de la vía aérea superior según la forma de la curva.

CONCLUSIONES

La espirometría es un examen de buen rendimiento en preescolares cuando se adecuan los criterios de aceptabilidad, repetibilidad y de realización e interpretación de la maniobra. Es muy útil para evaluar a preescolares con patologías que afectan al aparato respiratorio en forma crónica o recurrente desde edades tempranas de la vida. Se debe utilizar para su interpretación los valores de referencia de GLI, por la importancia del seguimiento longitudinal de enfermedades que comienzan temprano en la vida y por ser ecuaciones representativas de la población preescolar chilena. La respuesta broncodilatadora debe realizarse siempre que sea posible. Por lo tanto, puesto que técnicamente la espirometría es posible en niños preescolares y debido a las implicaciones diagnósticas, de seguimiento y pronósticas que tiene este examen a esta edad, se debe fomentar su realización de forma sistemática en niños con enfermedad respiratoria.

REFERENCIAS

- Beydon N, Davis SD, Lombardi E, Allen JL, Arets HGM, Aurora P, 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(12):1304–45.
- Rosenfeld M, Allen J, Arets BHGM, Aurora P, Beydon N, Calogero C, et al. An official American Thoracic Society workshop report: Optimal lung function tests for monitoring cystic fibrosis, bronchopulmonary dysplasia, and recurrent wheezing in children less than 6 years of age. *Ann Am Thorac Soc.* 2013;10(2):1–11.
- Linares P M, Contreras E I, Cox F PP, Burgos C P, Lara B J, Meyer P R. Evaluación del rendimiento de la espirometría en preescolares sanos con estandarización adaptada a este grupo etario. *Rev Chil Enf Respir.* 2006 ;22(3):155–63.
- Aurora P, Stocks J, Oliver C, Saunders C, Castle R, Chaziparasidis G, et al. Quality Control for Spirometry in Preschool Children with and without Lung Disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004 ;169(10):1152–9.
- Arets HG, Brackel HJ, van der Ent CK. Forced expiratory manoeuvres in children: do they meet ATS and ERS criteria for spirometry? *Eur Respir J.* 2001 ;18(4):655–60.
- Kampschmidt JC, Brooks EG, Cherry DC, Guajardo JR, Wood PR. Feasibility of spirometry testing in preschool children. *Pediatr Pulmonol.* 2016 ;51(3):258–66.
- Martín de Vicente C, de Mir Messa I, Rovira Amigo S, Torrent Vernetta A, Gartner S, Iglesias Serrano I, et al. Validation of Global Lung Function Initiative and All Ages Reference Equations for Forced Spirometry in Healthy Spanish Preschoolers. *Arch Bronconeumol* 2018 ;54(1):24–30.
- França DC, Camargos PAM, Jones MH, Martins JA, Vieira B da SPP, Colosimo EA, et al. Prediction equations for spirometry in four- to six-year-old children. *J Pediatr (Rio J).* 2016 ;92(4):400–8.
- Santos N, Almeida I, Couto M, Morais-Almeida M, Borrego LM. Exequibilidade do estudo funcional respiratório em

- idade pré-escolar na prática clínica. *Rev Port Pneumol*. 2013 ;19(1):38–41.
10. Linares M, Meyer R, Contreras I, Delgado I, Castro-Rodriguez JA. Utility of bronchodilator response for asthma diagnosis in Latino preschoolers. *Allergol Immunopathol (Madr)*. 2014 ;42(6):553–9.
 11. Donaire R, González S, Moya A, Fierro L, Brockmann P, Caussade S. Factibilidad de la interpretación de espirometrías en preescolares según criterios ATS/ERS. *Rev Chil Pediatr*. 2015;86(2):86–91.
 12. Moya A, Villaroel L, Tolosa L, Foncea C, Caussade S. Valores espirométricos en pre-escolares sanos. *Rev Chil Pediatr*. 2019 Feb 19;90(4):69.
 13. Beydon N. Pulmonary function testing in young children. *Paediatr Respir Rev*. 2009 ;10(4):208–13.
 14. Gracchi V, Boel M, van der Laag J, van der Ent CK. Spirometry in young children: should computer-animation programs be used during testing? *Eur Respir J*. 2003 ;21(5):872–5.
 15. Eigen H, Bieler H, Grant D, Christoph K, Terrill D, Heilman D, et al. Spirometric Pulmonary Function in Healthy Preschool Children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001 ;163(3):619–23.
 16. Chavasse R, Johnson P, Francis J, Balfour-Lynn I, Rosenthal M, Bush A. To clip or not to clip? Noseclips for spirometry. *Eur Respir J*. 2003 ;21(5):876–8.
 17. Vilozni D, Barker M, Jellouschek H, Heimann G, Blau H. An Interactive Computer-Animated System (SpiroGame) Facilitates Spirometry in Preschool Children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001 ;164(12):2200–5.
 18. Gatto F, Bedregal P, Ubilla C, Barrientos H, Caussade S. Elaboración de una escala de calidad para la interpretación de espirometrías en preescolares. *Rev Chil Pediatr*. 2016 ;88(1):58–65.
 19. Stanojevic S, Wade A, Cole TJ, Lum S, Custovic A, Silverman M, et al. Spirometry Centile Charts for Young Caucasian Children: The Asthma UK Collaborative Initiative. *Am J Respir Crit Care Med*. 2009 ;180(6):547–52.
 20. Nève V, Edmé J-L, Devos P, Deschildre A, Thumerelle C, Santos C, et al. Spirometry in 3–5-year-old children with asthma. *Pediatr Pulmonol*. 2006 ;41(8):735–43.
 21. Burity EF, Pereira CA, Jones MH, Sayão LB, Andrade AD, Britto M. Early termination of exhalation: Effect on spirometric parameters in healthy preschool children. *J Bras Pneumol* 2011;37:164–170.
 22. Burity EF, Pereira CA de C, Jones MH, Sayão LB, Andrade AD de, Britto MCA de. Bronchodilator response cut-off points and FEV_{0.75} reference values for spirometry in preschoolers. *J Bras Pneumol*. 2016 ;42(5):326–32.
 23. Nystad W, Samuelson S, Nafstad P, Edvardsen E, Stensrud T, Jaakkola J. Feasibility of measuring lung function in preschool children. *Thorax*. 2002 ;57(12):1021.
 24. 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*. 2009 ;70(1):3–11.
 25. Linares M, Meyer R, Cox PP, Contreras I. Utilidad del VEF_{0.5} versus VEF₁ en la interpretación de la espirometría realizada en preescolares asmáticos. *Rev Chil Enferm Respir*. 2007 ;23(3):167–72.
 26. Quanjer PH, Weiner DJ, Pretto JJ, Brazzale DJ, Boros PW. Measurement of FEF_{25-75%} and FEF_{75%} does not contribute to clinical decision making. *Eur Respir J*. 2014;43(4):1051–8.
 27. Caussade S, Saavedra M, Barrientos H, Linares M, Aguirre V, Puppo H, et al. Comisión Función Pulmonar Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica. Vol. 14, *Neumol Pediatr*. 2019.
 28. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J*. 2012;40(6):1324–43.
 29. Culver BH, Graham BL, Coates AL, Wanger J, Berry CE, Clarke PK, et al. Recommendations for a Standardized Pulmonary Function Report. An Official American Thoracic Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017 ;196(11):1463–72.
 30. Raywood E, Lum S, Aurora P, Pike K. The bronchodilator response in preschool children: A systematic review. *Pediatr Pulmonol*. 2016;51(11):1242–50.

ACTUALIZACIÓN EN LA PRUEBA DE PROVOCACIÓN BRONQUIAL CON METACOLINA EN EL NIÑO

UPDATE IN THE BRONCHIAL CHALLENGE TEST WITH METHACHOLINE IN CHILDREN

Comisión Función Pulmonar Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica:

Dr. Carlos Ubilla^{1,2}, Dra. Mónica Saavedra³, Dra. Daysi Lewinson², Dra. Marcela Linares⁴, Dra. Cecilia Alvarez⁵, Dra. Hortensia Barrientos⁶(Coordinadora), Dra Dolores Pavón⁷, Kigo Gustavo Moscoso⁶, Kigo Homero Puppo⁸, Dra Nadinne Clerc⁹, Kiga Pamela Maturana⁹, Kigo Rodolfo Meyer¹⁰, Dra. Solange Caussade^{9,11}, Dra Viviana Aguirre^{12,13}

1. Departamento Pediatría. Campus Norte. Universidad de Chile

2. Clínica Santa María

3. Clínica Las Condes

4. Clínica Indisa

5. Clínica Alemana

6. Servicio Pediatría. Hospital San Borja Arriarán

7. Hospital Dr Exequiel González Cortés

8. Departamento Kinesiología. Facultad de Medicina. Universidad de Chile

9. Hospital Dr. Sótero del Río

10. Servicio Pediatría Hospital Padre Hurtado

11. Departamento Cardiología y Enfermedades Respiratorias Pediátricas. Pontificia Universidad Católica de Chile

12. Departamento Pediatría. Universidad de Santiago de Chile

13. Hospital El Pino

ABSTRACT

This document updates the recommendations of the bronchial challenge test with methacholine in children. It is based primarily on the recommendations contained in the guide on the technical standard of the bronchial challenge test for methacholine from the European Society of Respiratory Diseases. The main change is the recommendation to use PD20 (methacholine dose that causes a 20% drop in FEV1) instead of PC20 (methacholine concentration that causes a 20% drop in FEV1), which allows for comparable results when different devices and different protocols are used.

Key words: methacholine, asthma, bronchial hyperreactivity.

RESUMEN

Este documento actualiza las recomendaciones de la prueba de provocación bronquial con metacolina en niños. Se basa fundamentalmente en las recomendaciones contenidas en la guía sobre el estándar técnico de la prueba de provocación bronquial de metacolina de la Sociedad Europea de Enfermedades Respiratorias. El principal cambio es la recomendación de utilizar la PD20 (dosis de metacolina que provoca una caída de 20% del VEF1) en vez de PC20 (concentración de metacolina que provoca una caída del 20% en el VEF1), lo cual permite tener resultados comparables cuando se usan diferentes dispositivos y diferentes protocolos.

Palabras clave: metacolina, asma, hiperreactividad bronquial.

INTRODUCCIÓN

La prueba de provocación bronquial con metacolina es una prueba inespecífica y directa, que evalúa el grado de reactividad de la vía aérea. Constituye la prueba de provocación bronquial más indicada en la práctica clínica habitual. El aumento de la reactividad bronquial es una característica distintiva del asma, pero también está presente en otras

condiciones como displasia broncopulmonar, bronquiectasias, rinitis alérgica, fibrosis quística, infecciones virales y también en niños sanos. Además, la reactividad bronquial en un paciente puede cambiar en el tiempo, aumentar en las exacerbaciones, disminuir durante el tratamiento con antiinflamatorios y estar ausente en periodos asintomáticos (1,2,3). Por esto, el resultado del examen debe considerarse dentro del contexto del paciente a evaluar.

Esta prueba de provocación se utiliza para evaluar la hiperreactividad de la vía aérea, que se define como un aumento de la sensibilidad y respuesta exagerada a estímulos no alérgicos que causan broncoconstricción.

Correspondencia:

Dr. Carlos Ubilla
ubicarlos@gmail.com

Es un apoyo en el diagnóstico de asma bronquial, permite evaluar su gravedad, la respuesta al tratamiento de mantenimiento en el niño asmático y medir la reactividad bronquial en otras condiciones diferentes al asma.

Tiene una sensibilidad que varía entre 80 y 86% y una especificidad del 60 al 68% para el diagnóstico de asma, dependiendo de la población analizada (4,5). En población con sintomatología clínica, la prueba es altamente sensible, por lo que una prueba de metacolina normal ($PC_{20} > 16$ mg/ml o $PD_{20} > 400$ μ g) excluye efectivamente el asma actual. Su indicación principal es ayudar a determinar si los síntomas respiratorios actuales son debidos a asma o hacer que el diagnóstico sea poco probable en el caso que esta sea negativa. Si bien es comparable con otros métodos farmacológicos, se prefiere su uso en niños por su mayor simplicidad técnica y por presentar menos efectos adversos.

La metacolina es un derivado sintético del neurotransmisor acetilcolina que estimula directamente los receptores muscarínicos sobre el músculo liso bronquial cuando se inhala. La metacolina se metaboliza por la acetilcolinesterasa, pero más lentamente que la acetilcolina. Sus efectos pueden ser parcialmente bloqueados por agentes anticolinérgicos tales como el bromuro de ipratropio.

ESTANDARIZACIÓN DE LA PRUEBA

Esta revisión se basa fundamentalmente en las recomendaciones contenidas en la guía sobre el estándar técnico de la prueba de provocación bronquial de metacolina de la Sociedad Europea de Enfermedades Respiratorias (1).

La edad desde la que un niño está en condiciones de hacer una prueba de metacolina en forma confiable generalmente es desde los 5 años. Si el niño pequeño no logra hacer VEF1, se puede evaluar la respuesta a metacolina mediante medición de Oscilometría de Impulso, VEF 0,5, $TcPCO_2$, auscultación de sibilancias, lo que no es objetivo de este manuscrito.

Condiciones generales: la prueba debe efectuarse a un paciente por vez y ser realizado por personal calificado, entrenado en este tipo de examen y con experiencia en niños. El laboratorio donde se realice el examen debe estar a cargo de un médico especialista responsable de evaluar y verificar la calificación del técnico que realiza la prueba. Debe haber un médico accesible y estar disponible un equipo de reanimación.

Previo al examen debe explicarse al niño y su cuidador la naturaleza del examen y es aconsejable contar con consentimiento informado, firmado por la persona responsable del niño.

Contraindicaciones: las contraindicaciones para la prueba de metacolina están relacionadas con el compromiso de la calidad de la prueba o la exposición del paciente a un mayor riesgo o incomodidad. Estas son:

- VEF1 < 60% del valor predicho
- Incapacidad para realizar maniobras de espirometría aceptables y repetibles

- Enfermedades cardiovasculares
- Cirugía ocular reciente o riesgo de elevación de la presión intracraneal

Suspensión de medicamentos: Los pacientes deben recibir una lista de los medicamentos que deben ser suspendidos antes de la prueba y el tiempo de suspensión de estos (Tabla 1). No es necesario suspender los medicamentos para el asma que no sean broncodilatadores cuando el propósito de la prueba es evaluar la respuesta al tratamiento. Los antihistamínicos no afectan la respuesta a la metacolina. Los corticoides inhalados y los antagonistas de leucotrienos no deben suspenderse salvo indicación del médico tratante. La cafeína y productos derivados no influyen en el examen.

En el informe se debe dejar constancia de los medicamentos que el paciente está recibiendo en el momento de realizar la prueba.

Tabla 1. Tiempo de suspensión de medicamentos

Medicamento	Tiempo de suspensión
β agonistas acción corta	6 horas
β agonistas acción larga	36 horas
β agonistas acción ultra larga	48 horas
Bromuro de ipratropio	12 horas
Antimuscarínicos acción prolongada	7 dí
Teofilinas orales	12-24 horas

Seguridad: la metacolina inhalada provoca broncoconstricción. En el diseño de la sala de trabajo y en la realización de los procedimientos se debe velar por la seguridad de los pacientes y del personal de salud. La sala de examen debe tener una ventilación adecuada para proporcionar al menos dos intercambios completos de aire por hora, para evitar la acumulación de dosis y proteger al personal. Las preparaciones con distintas concentraciones de metacolina deben estar adecuadamente etiquetadas y así evitar la administración inadvertida de una alta concentración de metacolina. Cuando la caída del VEF1 es menor a 20%, la dosis siguiente se puede administrar con poco riesgo de broncoconstricción grave.

En general los efectos de la metacolina son transitorios y leves, como sibilancias, tos, disnea. Es poco frecuente una respuesta broncoconstrictora retardada o prolongada.

Una formulación de metacolina disponible en Chile y que está aprobada por la FDA (por su sigla en inglés Food and drug administration) es Provocholine, que viene en viales sellados de 100 mg liofilizado y las diluciones deben ser preparadas por personal calificado de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Como diluyente se puede utilizar suero fisiológico. En tabla 2 se muestran ejemplos de diluciones para protocolos duplicando dosis o cuadruplicando dosis. El almacenamiento de la metacolina en polvo es a temperatura ambiente, no más de 25°C. La solución reconstituida se debe almacenar entre 2 a 8° C, con duración máxima de 2 semanas.

Método: si bien en la actualidad generalmente se utiliza la PC20 (concentración de metacolina que provoca una caída del 20% en el VEF1) la recomendación actual es utilizar la PD20 (dosis de metacolina que provoca una caída de 20% del VEF1). La PD20 permite resultados comparables cuando se usan diferentes dispositivos y diferentes protocolos.

Dispositivos de administración: aunque puede utilizarse cualquier nebulizador, es indispensable que el fabricante describa las características necesarias para que el nebulizador pueda ser utilizado en la prueba de metacolina. Se debe entregar información sobre las propiedades y características del dispositivo y del tamaño de partículas que otorga, para permitir la construcción de una tabla de dosis de concentración para el protocolo de inhalación.

Protocolo de inhalación: la guía 1999 (4) sugirió que al respirar a volumen corriente la nebulización debía durar 2 minutos. La recomendación de la guía 2017 (1) establece que el tiempo va a depender del rendimiento y características del nebulizador. No se recomienda el método de respiración profunda porque tiene un efecto broncoprotector, lo que reduce la sensibilidad de la prueba.

Dosis de provocación versus concentración de provocación: la dosis de metacolina entregada en cualquier nivel de un protocolo de provocación se relaciona con la concentración de la solución administrada, con la velocidad de salida del dispositivo de administración, con el tiempo de inhalación de aerosol y con la distribución de tamaño de partícula del aerosol de metacolina, lo que estima la fracción suministrada a las vías respiratorias inferiores. Es factible calcular una dosis suministrada para cualquier combinación de dispositivo y protocolo de inhalación. La dosis de metacolina, expresada como PD20, permite una correlación de los resultados más consistente que la PC20 cuando se comparan las respuestas realizadas por diferentes protocolos. La PD20 es la dosis de metacolina que causa una caída del 20% en FEV1 y se calcula de la misma manera que el PC20. Se recomienda calcular PD20 como la dosis administrada interpolada entre los pasos de dosis antes y después de una caída del 20% en el FEV1, sin consideración de efecto acumulativo anterior. En el caso de usar la técnica PC20, debe calibrarse el nebulizador que se empleará en el examen, para conocer su débito y asegurar que cumple con los requerimientos necesarios. Luego de la nebulización con solución fisiológica, se debe nebulizar con

concentraciones crecientes de metacolina, partiendo con 0,3 mg/ml y duplicar la concentración en las dosis subsiguientes hasta obtener PC20 o llegar a 16 mg/ml sin no se produce PC20.

Ejecución de la prueba:

1) Se deben preparar las concentraciones de metacolina predeterminadas en viales estériles y almacenarlas en un refrigerador (Tabla 2). Hay que asegurar que el espirómetro esté funcionando correctamente y que se han llevado a cabo los controles de calibración.

Tabla 2. Esquema para preparar diluciones de metacolina.

		NaCl (0.9%)	Dilución obtenida
Ejemplo de esquema de diluciones cuadruplicando concentraciones			
100 mg	100 mg	6.25 ml	A: 16 mg/ml
	3 ml de dilución A	9 ml	B: 4 mg/ml
	3 ml de dilución B	9 ml	C: 1 mg/ml
	3 ml de dilución C	9 ml	D: 0.25 mg/ml
	3 ml de dilución D	9 ml	E: 0.0625 mg/ml
	3 ml de dilución E	9 ml	F: 0.015625 mg/ml
Ejemplo de esquema de diluciones duplicando concentraciones			
100 mg	100 mg	6.25 ml	A: 16 mg/ml
	3 ml de dilución A	9 ml	B: 8 mg/ml
	3 ml de dilución B	9 ml	C: 4 mg/ml
	3 ml de dilución C	9 ml	D: 2 mg/ml
	3 ml de dilución D	9 ml	E: 1 mg/ml
	3 ml de dilución E	9 ml	F: 0.5 mg/ml
	3 ml de dilución F	9 ml	G: 0.25 mg/ml
	3 ml de dilución G	9 ml	H: 0.125 mg/ml
	3 ml de dilución H	9 ml	I: 0.0625 mg/ml
	3 ml de dilución I	9 ml	J: 0.03125 mg/ml

Usando un vial de metacolina de 100 mg y NaCl (0.9%) como diluyente: La tabla muestra el rango de concentraciones disponibles para producir dosis apropiadas usando ejemplos duplicando diluciones y cuadruplicando diluciones.

2) Retirar los viales del refrigerador 30 minutos antes de la prueba de modo que las mezclas estén a temperatura ambiente antes del uso. Introducir un volumen apropiado de diluyente (3 ml de solución fisiológica) en el nebulizador, usando una jeringa estéril.

3) Asegurar la correcta preparación del paciente y efectuar una espirometría previo a la realización de la prueba para confirmar que el paciente puede realizar una espirometría aceptable y repetible, y para determinar si la prueba está contraindicada debido a obstrucción bronquial basal.

4) Iniciar la prueba con el diluyente utilizando el nebulizador elegido, el que también será utilizado para las soluciones de metacolina. Se recomienda iniciar la prueba con la nebulización solamente del diluyente, en particular si esta es la primera prueba de provocación para el paciente y así asegurar que no hay reactividad bronquial excesiva. Aplicar una pinza en la nariz e instruir al paciente a respirar tranquilamente por la boca durante el tiempo apropiado para el nebulizador específico.

5) Realizar la espirometría post-diluyente a 30 y 90 segundos después que la nebulización se ha completado. Luego de cada nebulización de metacolina se debe evaluar la disminución del FEV1 respecto al obtenido luego de nebulizar con diluyente, hasta que se observe una caída del 20%.

6) El diluyente no debe causar un cambio significativo del VEF1 previo a la prueba. Si el FEV1 ha aumentado o disminuido <10% del FEV1 previo, proceder a administrar la primera dosis de metacolina. Si se produce una caída $\geq 20\%$ del FEV1 después de diluyente, la prueba debe ser cancelada y el paciente debe ser citado para otra oportunidad. De lo contrario iniciar las nebulizaciones progresivas de metacolina. Realizar espirometría a los 30 y 90 segundos después de que se complete la nebulización. A fin de mantener el efecto acumulativo de metacolina relativamente constante, el intervalo de tiempo entre dos concentraciones (desde el inicio de una nebulización hasta el inicio de la siguiente) debe mantenerse constante en 5 minutos usando un cronómetro para este efecto.

7) En cada dosis, se informa el VEF1 más alto de las maniobras aceptables.

8) El examen debe ser suspendido en caso de producirse una caída del VEF1 igual o mayor a 20% respecto del VEF1 post diluyente o al llegar a la última dilución establecida (400 μmol o 16 mg/ml).

9) Es importante tener en cuenta los signos y síntomas de obstrucción (tos sibilancias, etc) que se puedan presentar, en cuyo caso se debe administrar un broncodilatador inhalado de acción rápida, esperar 5-10 min, y repetir la espirometría. Es recomendable el paso con diluyente. Esto permite dar al paciente la oportunidad de aprender la técnica de inhalación con el nebulizador y la práctica en la realización de la espirometría. El significado clínico de una respuesta positiva al diluyente es desconocido; algunos pacientes pueden ser hiper respondedores al diluyente (solución salina) o pueden estar experimentando broncoconstricción inducida por la maniobra.

Presentación de resultados: los resultados se presentan como un porcentaje de disminución en VEF1 con respecto al VEF1 post-diluyente. Los datos deben presentarse para cada paso en el protocolo, incluyendo la espirometría post-broncodilatador.

Si el VEF1 no cae al menos 20% después de la dosis más alta, entonces PD20 debe informarse como "mayor que la dosis final dada". No se debe extrapolar más allá de la última dosis. Si el VEF1 disminuye más de 20% después de la inhalación del diluyente se debe informar "Hubo una disminución significativa del VEF1 después de la inhalación del diluyente y la metacolina no fue administrada".

Interpretación de la prueba de provocación bronquial: es importante destacar que más que una sensibilidad o especificidad dada, lo que hace la prueba de metacolina en cuanto a diagnóstico de asma es cambiar una probabilidad pretest a una probabilidad post test. Es por esto que la interpretación final del valor del examen la realiza el médico que atiende al paciente y solicitó el examen y es una ayuda en el planteamiento diagnóstico (6).

En la Tabla 3 se observan los distintos puntos de corte sugeridos para PD20 y PC20.

Es necesario hacer notar que no existe consenso nacional ni internacional sobre los valores de referencia para PC20 ni PD20 en niños y los puntos de corte son arbitrarios.

Tabla 3. Categorías de reactividad bronquial a metacolina

PD20 μmol (μg)	PC20 mg/ml	Interpretación
> 2 (> 400)	> 16	Normal
0.5-2,0 (100-400)	4-16	HRB límite
0.13-0.5 (25-100)	1-4	HRB leve
0.03-0.13 (6-25)	0.25-1	HRB moderada
< 0.03 (< 6)	< 0,25	HRB marcada

PD20: dosis de provocación de una caída del 20% en VEF1; PC20: concentración de provocación provocando una caída del 20% en FEV1; HRB: hiperreactividad bronquial

CONCLUSIONES

No existe un Gold Standard para el diagnóstico de asma por lo que el rendimiento de la prueba de provocación de metacolina ha sido difícil de establecer. Hay que considerar la posibilidad

de falsos negativos por efecto protector de inspiraciones profundas que impiden la caída del VEF1 o por no haber suspendido los medicamentos el tiempo indicado.

La prueba de provocación con metacolina es más útil en la exclusión del diagnóstico de asma que en el establecimiento de ella, porque su valor predictivo negativo, cuando los síntomas respiratorios están presentes, es mayor que su valor predictivo positivo.

La prueba de provocación bronquial con metacolina es un elemento más a considerar en el proceso diagnóstico del asma.

REFERENCIAS

1. Coates AL, Wanger J, Cockcroft DW, Culver BH, Diamant Z, Gauvreau G, et al. ERS technical standard on bronchial challenge testing: general considerations and performance of methacholine challenge tests. *Eur Respir J*. 2017;49(5)
2. Linares M, Sánchez I, Corrales R. Pruebas de Función Pulmonar en el niño. *Revista Chilena de Pediatría* 2000; 71:228-242.
3. Davis E, Cockcroft D. Past, present and future uses of methacholine testing. *Expert Rev. Respir. Med.* 6(3), 321-329 (2012).
4. Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, et al. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing—1999. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:309-329.
5. Carlsten C, Dimich-Ward H, Ferguson A, Becker A, Dybuncio A, Chan-Yeung M. Airway hyperresponsiveness to methacholine in 7-year-old children: sensitivity and specificity for pediatric allergist-diagnosed asthma. *Pediatr. Pulmonol.* 46(2), 175–178 (2011).
6. Liem JJ, Kozyrskyj AL, Cockcroft DW, Becker AB. Diagnosing asthma in children: what is the role for methacholine bronchoprovocation testing? *Pediatr. Pulmonol.* 43(5), 481–489 (2008).

ACTUALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE PROVOCACIÓN BRONQUIAL CON EJERCICIO (PPBE)

UPDATE OF THE BRONCHIAL PROVOCATION TEST WITH EXERCISE

Comisión Función Pulmonar Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica:

Dra. Solange Caussade^{1,2}, Dra. Marcela Linares³, Dra. Hortensia Barrientos (Coordinadora)⁴, Klgo. Homero Puppo⁵, Dra. Nadinne Clerc², Dra. Viviana Aguirre⁶, Klgo. Rodolfo Meyer⁷, Dra. Cecilia Alvarez⁸, Dra. Dolores Pavón⁹, Klga. Pamela Maturana², Dra. Daysi Lewinson¹⁰, Dr. Carlos Ubilla^{10,11}, Klgo. Gustavo Moscoso⁴, Dra. Mónica Saavedra,^{11,12}

1 Departamento Cardiología y Enfermedades Respiratorias Pediátricas. Pontificia Universidad Católica de Chile

2 Hospital Dr. Sótero del Río

3 Clínica Indisa

4 Servicio Pediatría. Hospital San Borja Arriarán

5 Departamento Kinesiología. Facultad de Medicina. Universidad de Chile

6 Departamento Pediatría. Universidad de Santiago de Chile

7 Servicio Pediatría Hospital Padre Hurtado. Universidad del Desarrollo

8 Clínica Alemana. Universidad del Desarrollo

9 Servicio Pediatría Hospital Dr Exequiel González Cortés

10 Clínica Santa María

11 Departamento Pediatría. Campus Norte. Universidad de Chile

12 Clínica Las Condes

ABSTRACT

The bronchial challenge test with exercise aims to demonstrate the presence of exercise-induced bronchial hyperreactivity, characteristic of bronchial asthma. Its realization is well standardized, requiring special environmental conditions, preparation and sub-maximum effort of the patient. The response is measured by spirometry, and it is considered a positive exercise test a drop in the expired volume at the first second (FEV1) of 10%. This article describes the elements necessary to facilitate this exam, according to national and international standards and guidelines.

Key words: bronchial hyperreactivity, exercise, bronchial provocation test, children.

RESUMEN

La prueba de provocación bronquial con ejercicio tiene como objetivo demostrar la presencia de hiperreactividad bronquial inducida por ejercicio, característica del asma bronquial. Su realización está bien estandarizada, requiriendo de condiciones ambientales especiales, preparación y esfuerzo submáximo del paciente. La respuesta se mide mediante espirometría, y se considera una prueba de provocación con ejercicio positivo, a una caída del volumen espirado al primer segundo (VEF1) del 10%. En este artículo se describen los elementos necesarios para facilitar la realización de este examen, acorde a normas y guías nacionales e internacionales.

Palabras clave: ejercicio, provocación bronquial, hiperreactividad bronquial, niños.

INTRODUCCIÓN

La PPBE es una prueba indirecta que actúa estimulando la liberación de mediadores en la mucosa bronquial, mecanismo fisiopatológico semejante al que ocurre en el asma. Esta respuesta al ejercicio desencadena la contracción del músculo liso bronquial, lo que se denomina broncoconstricción inducida por ejercicio (BIE). Sobre esa base, las pruebas indirectas son más específicas para el diagnóstico de asma, pero generalmente menos sensibles que las pruebas directas (1-3).

El objetivo de la PPBE es demostrar la presencia de hiperreactividad bronquial, la cual se objetiva con la medición del Volumen Espiratorio Forzado al 1er segundo (VEF1). (4). Se sugiere medir la respuesta con VEF1 y no FEM (Flujo espiratorio máximo) por su mayor repetibilidad y reproducibilidad (5).

El BIE no ocurre necesariamente en presencia de asma bronquial, está presente en 10-18% de la población general, en 30-70% de atletas de elite y en 30-90% de los pacientes con asma persistente (1,2). Sus síntomas pueden ser tos, sibilancias, opresión torácica o dificultad respiratoria relacionados con el ejercicio, los cuales no son específicos de asma (4). En relación al asma bronquial, según el punto de corte elegido para caída del VEF1, su sensibilidad varía entre 40-60%, y su especificidad 70-90% (4,6,7).

Correspondencia:

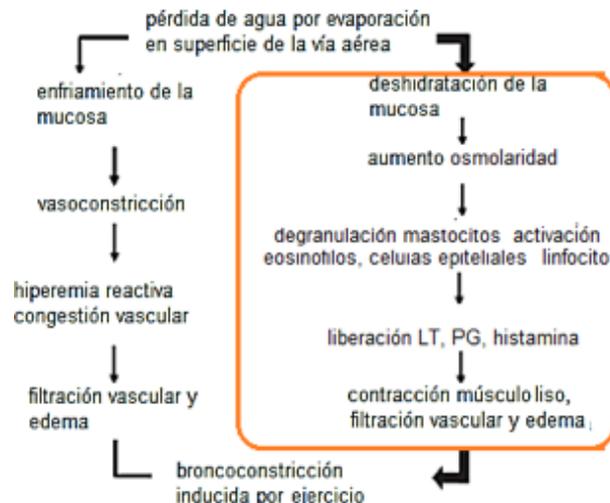
Dra Solange Caussade
solangecaussade@gmail.com

PATOGENIA BRONCOCONSTRICCIÓN INDUCIDA POR EJERCICIO

Aunque el mecanismo no está completamente aclarado, las teorías más aceptadas se refieren a los cambios producidos en la vía aérea debidos a la hiperventilación (Figura 1). Al aumentar la frecuencia respiratoria aumenta la inspiración de un mayor volumen de aire relativamente frío y seco, ya que al usar la pinza nasal el paciente respira por la boca. La mucosa respiratoria pierde calor y humedad, lo que produce aumento de la osmolaridad en su superficie. Esto provoca la activación de mastocitos y células epiteliales, los cuales liberan factores proinflamatorios como histamina, leucotrienos, prostaglandinas y otras citoquinas que estimulan al músculo bronquial. La inhalación de aire frío también produce vasoconstricción, seguida de hiperemia reactiva, con congestión vascular bronquial, edema y por lo tanto disminución del calibre de la vía aérea. (Figura 1) (1,3,8,9).

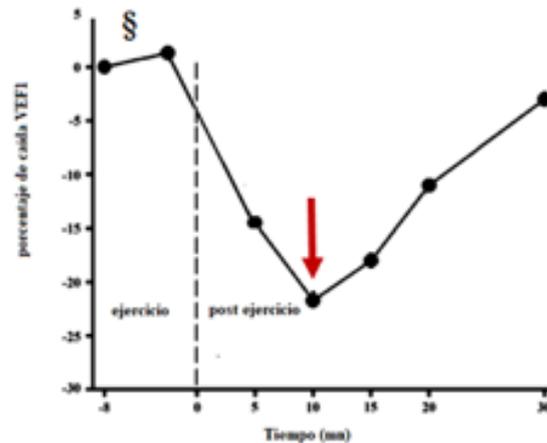
Los principales determinantes de la expresión de la respuesta y severidad frente al ejercicio son el contenido de agua y la temperatura del aire inspirado y nivel de ventilación alcanzado y mantenido (3,4,7).

Figura 1. Mecanismos fisiopatológicos de la broncoconstricción inducida por ejercicio.



Durante el ejercicio la vía aérea muestra una leve dilatación inicial, aumentando los valores del VEF1. Posteriormente aparece la broncoconstricción que es máxima frecuentemente entre los 2 y 5 minutos después de finalizar el ejercicio. Este broncoespasmo cede espontáneamente, alcanzando las cifras basales a los 30-60 minutos. En el laboratorio esta broncoconstricción se revierte con mayor rapidez utilizando un broncodilatador (10) (Figura 2).

Figura 2. Mediciones del VEF1 durante la prueba de provocación bronquial con ejercicio en un niño asmático.



En este ejemplo se puede observar que el VEF1 aumenta levemente con respecto al basal durante la carrera (\$) Luego de finalizar los 6-8 minutos de carrera el VEF1 disminuye más de un 10% (flecha roja) y se recupera espontáneamente a los 30 minutos.

INDICACIONES

La principal indicación de la PBBE es demostrar la presencia de BIE en pacientes asmáticos con antecedentes de dificultad respiratoria, tos, ruido respiratorio o sensación de ahogo relacionados con el ejercicio. También se indica para controlar la efectividad del tratamiento de mantención, y ajustar su dosificación según respuesta.

Por otro lado es de ayuda para diferenciar el BIE de otras causas de síntomas relacionados con el ejercicio, siendo los más frecuentes de origen laríngeo, tal como la disfunción de cuerdas vocales (8,11).

CONTRAINDICACIONES

- Falta de colaboración o comprensión del procedimiento
- Paciente cursando obstrucción bronquial
- Por el riesgo de broncoconstricción severa se recomienda que el VEF1 previo al examen sea $\geq 75\%$ y la $SpO_2 \geq 93\%$ (2)
- Ejercicio intenso dentro de las 4 horas previas (período refractario)
- Cardiopatías (fundamentalmente arritmias), hipertensión arterial
- Enfermedad neuromuscular u ortopédica
- Fiebre

- Diabetes insulino dependiente no controlada
- Epilepsia no controlada (2,8)

PREPARACIÓN DEL PACIENTE

El paciente debe acudir con ropa cómoda y zapatillas, y haber consumido comida ligera. Además no debe haber realizado ejercicio intenso las 4 horas previas a la citación ya que se ha visto que el 50% de los pacientes con EIB son refractarios a un segundo examen luego de 1 hora. La mayoría pierde este estado a las 2 horas, pero ocasionalmente puede durar hasta 4 horas (1,2,8).

Suspensión de medicamentos (Tabla 1)

La indicación de suspender el tratamiento de mantención del paciente queda a criterio del médico que solicita el examen. En relación al montelukast, este comienza a proteger la vía aérea desde las 2 horas de recibido, con una duración de su efecto hasta 12-24 horas (4). Los corticoides inhalados muestran protección después de 1 semana de uso continuo (4).

Tabla 1. Tiempo de suspensión de medicamentos.

Medicamento	Tiempo de suspensión
β agonistas acción corta : salbutamol, terbutalina	6 hrs
β agonistas acción larga : salmeterol, formoterol	36 hrs
β agonistas acción ultra larga : indacaterol, olodaterol, vilanterol	48 hrs
Antimuscarínicos acción corta: Bromuro ipratropio	12 hrs
Antimuscarínicos acción prolongada : tiotropio, glicopirrolato	7 hrs
Antagonistas receptores leucotrienos (montelukast, zafirlukast)	12 hrs - 4 ds
Teofilinas orales	12-24 hrs
Cromonas	4 hrs
Cafeína	24 hrs
Antiinflamatorios no esteroideos (ibuprofeno, indometacina)	3 hrs

Con respecto a la suspensión de antihistamínicos, también se deja a criterio del médico tratante. Se sugiere suspender 72 horas antes del examen, sin embargo se ha visto que loratadina, cetirizina, fexofenadina no afectan los resultados del estudio (12-14). El consumo de cafeína disminuye la reactividad bronquial por ejercicio por lo cual el paciente no debe ingerir este producto al menos 24 horas previo al examen. Los alimentos que contienen cafeína son el té, café, coca-cola, chocolate (15,16).

Deberán constar en el informe los medicamentos que el paciente está recibiendo en el momento de la prueba.

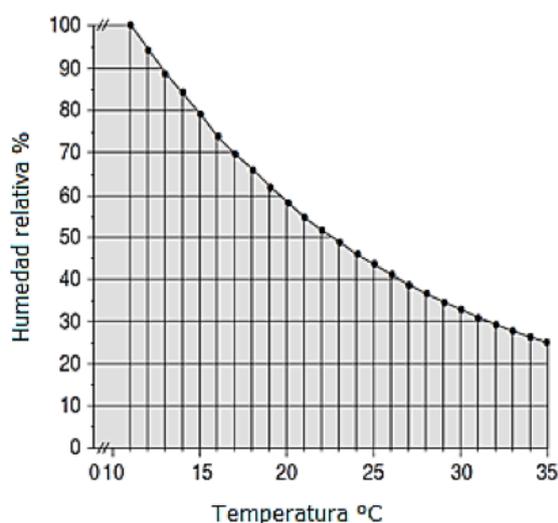
PROCEDIMIENTO

El examen se realiza en el laboratorio de función pulmonar, bajo condiciones ambientales de humedad y temperatura controladas, siendo lo ideal 50% y 20-25° respectivamente. Estas pueden variar pero deben ubicarse dentro del área que se muestra en nomograma (Figura 3) (4). El paciente debe usar pinza nasal para producir la pérdida de agua en la vía aérea.

Se prefiere la utilización de trotadora antes que bicicleta ya que se obtiene más rápido el aumento de la ventilación. Esta debe alcanzar el 40-60% de la ventilación voluntaria máxima (estimada como VEF1 x 35). Para facilitar la evaluación de la intensidad del ejercicio, la frecuencia cardíaca (FC) sustituye la medición de la ventilación (3,11). Esta debe alcanzar un nivel submáximo que se calcula con las fórmulas de la Tabla 2. En niños la FC debe aumentar al menos en 85%, con un máximo de 95%. La segunda fórmula, publicada recientemente, es más exacta (11). La FC debe monitorizarse en forma continua con cinta torácica (por ejemplo cinta Polar®) o saturómetro. El grado de entrenamiento físico y peso corporal influyen en el nivel y velocidad para conseguir la FC esperada. La duración del ejercicio es de 6 a 8 minutos, debiendo mantenerse constante al menos los 4 minutos finales la FC submáxima. El grado de inclinación y la velocidad de la trotadora se establecen una vez que se alcanza este nivel de esfuerzo. Se sugiere iniciar con una inclinación de 3°, aumentando máximo hasta 10° y velocidad 3,6 millas/hora (1-3,8).

Tabla 2. Fórmulas para calcular Frecuencia Cardíaca submaxima (FCsm) durante la prueba

$FC_{sm} = (220 - \text{edad}) \times 85 \text{ a } 95\%$
$FC_{sm} = 208 - 0,7 \times \text{edad}$

Figura 3. Condiciones ambientales.

El área sombreada representa las condiciones ideales para realizar la prueba de ejercicio (1)

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA

La realización e interpretación de la espirometría basal y post ejercicio deben seguir las correspondientes recomendaciones (17). Debe registrarse las curvas flujo/volumen y volumen /tiempo para controlar la calidad de las maniobras.

La variable utilizada es el VEF1, ya que muestra mayor repetibilidad y reproducibilidad que Flujo Espiratorio Máximo (FEM) (1,5,8). En pacientes en edad pre-escolar puede utilizarse la medición de VEFO,5 (18). No se requiere de una maniobra de CVF completa, basta con que el paciente espire 1 segundo. Se deben obtener 2 o 3 VEF1 (o VEFO,5) (4,5), eligiendo la medición de mayor valor. El esquema sugerido para medir VEF1 post ejercicio es : 3,5,10,15,20 y 30 minutos luego de finalizada la carrera. Puede agregarse mediciones al minuto si el paciente presenta sibilancias audibles a distancia u otro signo de apremio respiratorio (4,5,8,19,20).

La forma de calcular la caída de VEF1 (o VEFO,5) es:

$$\% \text{ de caída VEF}_1 = \frac{\text{valor basal} - \text{valor caída}}{\text{valor basal}} \times 100$$

Una vez concluidas las mediciones, si el paciente presenta respuesta positiva debe administrarse 400 µcr de salbutamol y repetir la espirometría para confirmar normalidad

funcional respiratoria.

Debe detenerse el examen en caso de: sibilancias audibles a distancia, disnea importante, síntomas vagales, dolor precordial, desaturación y debe consignarse la presencia de sibilancias y la SpO2.

Criterio de positividad

En niños sanos la caída máxima del VEF1 es de aproximadamente 4% (6,7). En escolares se considera respuesta positiva una caída del VEF1 ≥ 10 – 15 % (2-4,6-8). La caída de un 10% otorga mayor sensibilidad y especificidad semejante al uso de una caída del 15% (1,6). El punto de corte sugerido es de 10%. En preescolares se considera positiva una caída del VEFO,5 de 13% (18).

Falsos negativo

Las causas más frecuentes son las condiciones ambientales que no favorecen la broncoconstricción (calor, mayor humedad) y no lograr la FC submáxima, requerida. También puede haber falso negativo en los pacientes que realizan ejercicio intenso previo a la realización del examen (período refractario) y quienes no han suspendido el uso de B adrenérgicos.

Falsos positivo

La causa más frecuente es la falta de esfuerzo espirométrico. También considerar diagnóstico diferencial: disfunción laringea inducida por ejercicio, siendo la más frecuente la disfunción de cuerdas vocales (11).

MEDIDAS DE SEGURIDAD

En la última estandarización de la Sociedad Europea (ERS 2018) (2) se recomienda que se monitoree la presión arterial y electrocardiograma. Debido a que el registro de ECG durante el procedimiento es difícil de cumplir en la mayoría de los laboratorios de función pulmonar, se sugiere que el paciente cuente con un ECG de 3 canales cuando no hay sospecha de cardiopatía y de 12 canales cuando hay sospecha, antes de realizar el estudio (2). Además se debe registrar en forma continua la SpO2. Después de inhalar con broncodilatador el VEF1 debe volver al menos al 90% del basal. El técnico o médico quien realiza el examen debe estar capacitado para detectar signos de obstrucción bronquial y de insuficiencia respiratoria. Es imperativo contar con carro de paro (2).

INFORME

Descripción del examen

Informar espirometría basal, anotar VEF1 basal, condiciones ambientales (temperatura y humedad de la sala), frecuencia cardiaca basal y post carrera, SpO2 basal y post carrera. Anotar medicamentos que el paciente recibe el día del examen. Referir espirómetro utilizado y protocolo del examen. Se sugiere mostrar la respuesta del VEF1 según la Tabla 3.

Tabla 3. Informe respuesta VEF1.

Tiempo	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min
VEF1 (L)						
% Caída						

El VEF1 al minuto es optativo.

Solo describir lo que se observa en el examen y expresar la conclusión de la siguiente forma:

- “no hubo broncoconstricción significativa”
- “hubo broncoconstricción leve-moderada-severa”

Graduación de la severidad de la broncoconstricción: (5)

- Leve: caída VEF1 $\geq 10\%$ y $<25\%$
- Moderada: caída VEF1 $\geq 25\%$ y $<50\%$
- Severa: caída VEF1 $\geq 50\%$

CONSIDERACIONES ESPECIALES

Atletas de elite

Si la prueba de ejercicio es normal considerar la realización de otros exámenes (prueba de metacolina, hiperventilación eucapnica). El criterio para evaluar la BIE debiera basarse en el deporte específico, en el ambiente en que este se desarrolla, y el examen realizarse con la intensidad que el atleta desarrolla el esfuerzo en competición. Si se realiza la PPBE en laboratorio se sugiere considerar positividad una caída del VEF1 de 7% (1,20)

Prueba de provocación bronquial con carrera libre

Si no se cuenta con cinta trotadora podría realizarse carrera libre. No es reproducible como el examen realizado en laboratorio pero es mucho más sensible (21). Es útil como screening para BIE, aunque es complejo estandarizar las condiciones ambientales y cumplir con las medidas de seguridad que sugieren las guías internacionales (2, 22). Las condiciones ambientales pueden aumentar el desarrollo y severidad de la BIE, por inhalación de alérgenos o poluyentes (4).

La variable a medir debe ser VEF1. La duración de la carrera y FC son semejantes a las anteriormente descritas. La FC se mide previo y posterior a la carrera, esta última no debe interrumpirse. Si el paciente presenta broncoconstricción significativa la interpretación debe considerar las condiciones ambientales en las cuales se realizó el estímulo (polenes, contaminantes ambientales, temperatura y humedad). Se considera significativa una caída del VEF1 de 15%.

REFERENCIAS

1. Weiler JM, Bonini S, Coifman R, Craig TJ, Delgado L, Capao-Filipe M et al. American Academy of Allergy, Asthma & Immunology Work Group Report: Exercise-induced asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2007;119:1349-1358.
2. Hallstrand TS, Leuppi JD, Joos G, Hall JL, Carlsen K-H, Kaminsky DA et al. ERS technical standard on bronchial challenge testing: pathophysiology and methodology of indirect airway challenge testing. *Eur Respir J* 2018; 52: 1801033
3. Anderson SD. “Indirect” challenges from science to clinical practice. *Eur Clin Respir J* 2016;3: 31096.
4. Weiler JM, Bonini S, Craig TJ, Pearlman DS, Rundell KW, Silvers WS et al. Pathogenesis, prevalence, diagnosis and management of exercise-induced bronchoconstriction: a practice parameter. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2010;105:S1-S47.
5. Parsons JP, Hallstrand TS, Mastronarde JG, Kaminsky DA, Rundell KW, Hull JH et al. An Official American Thoracic Society Clinical Practice Guideline: Exercise-induced Bronchoconstriction. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;187:1016-1027
6. Fuentes C, Contreras S, Padilla O, Castro-Rodríguez JA, Moya A, Caussade S. Exercise Challenge Test: Is a 15% Fall in FEV1 Sufficient for Diagnosis? *Journal of Asthma* 2011;48:729-735
7. Godfrey S, Springer C, Bar-Yishay E, Avital A. Cut-off points defining normal and asthmatic bronchial reactivity to exercise and inhalation challenges in children and young adults. *Eur Respir J* 1999;14:659-668
8. American Thoracic Society. Guidelines for Methacholine and Exercise Challenge Testing—1999. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:309-329.
9. Anderson SD, Daviskas E. The mechanism of exercise-induced asthma is ... *J Allergy Clin Immunol*. 2000;106:453-9.
10. Rundell KW, Slee JB. Exercise and other indirect challenges to demonstrate asthma or exercise-induced bronchoconstriction in athletes. *J Allergy Clin Immunol* 2008;122:238-46.
11. Weiler JM, Brannan JD, Randolph CC, Hallstrand

- TS, Parsons J, Silvers W et al. Exercise-induced bronchoconstriction. Update-2016. *J Allergy Clin Immunol* 2016;138:1292-5.
12. Manjra I, Nel H, Maharaj B. Effect of Desloratadine on Patients with Allergic Rhinitis and Exercise-Induced Bronchoconstriction: A Placebo Controlled Study. *J Asthma* 2009;46:156-159.
 13. Peroni DG, Piacentini GL, Pietrobelli A, Loiacono A, De Gasperi W, Sabbion A et al. The combination of single-dose montelukast and loratadine on exercise-induced bronchospasm in children. *Eur Respir J* 2002; 19: 104-107
 14. Ghosh SK, De Vos C, McIlroy I, Patel KR. Effect of cetirizine on exercise induced asthma. *Thorax* 1991;46:242-244
 15. Duffy P, Phillips Y. Caffeine Consumption Decreases the Response to bronchoprovocation Challenge with Dry Gas Hyperventilation. *Chest* 1991; 99:1374-77.
 16. Kivity S, Ben Aharon Y, Man A, Topilsky M. The Effect of Caffeine on Exercise-Induced Bronchoconstriction. *Chest* 1990; 97:1083-85.
 17. SOCHINEP. Actualización en espirometría y curva flujo / volumen en escolares y adolescentes. *Neumol Pediatr* 2019; 14 (1): 41 – 51.
 18. Vilozni D, Bentur L, Efrati O, Barak A, Szeinberg A, Shoseyov D et al. Exercise Challenge Test in 3- to 6-Year-Old Asthmatic Children. *Chest* 2007;132:497-503.
 19. Anderson SD, Kippelen P. Assessment of EIB .What You Need to Know to Optimize Test Results. *Inmunol Allergy Clin N Am* 2013; 33: 363-380.
 20. Parsons J, Mastrorarde JG. Exercise-induced bronchoconstriction in athletes. *Chest* 2005;128:3966-3974.
 21. Shapiro GG, Pierson WE, Furukawa CT, Bierman CW. A comparison of the effectiveness of free-running and treadmill exercise for assessing exercise-induced bronchospasm in clinical practice. *J Allergy Clin Immunol*. 1979;64(6 pt 2):609-11.
 22. Haby MM, Peat JK, Mellis CM, Anderson SD, Woolcock AJ. An exercise challenge for epidemiological studies of childhood asthma: validity and repeatability. *Eur Respir J* 1995;8, 729-736.

UTILIDAD DE LOS ESTUDIOS DE FUNCIÓN PULMONAR EN EL NIÑO

UTILITY OF LUNG FUNCTION TESTS IN CHILDREN

Dr. Prof. Luciano E. Busi

Hospital de Trelew, Chubut, Argentina

Comité de Neumonología de la Sociedad Argentina de Pediatría

Asociación Argentina de Medicina Respiratoria

ABSTRACT

Pulmonary function testing in children includes a large number of methods and aspects. Children constitute a very heterogeneous group of individuals, among which are non-collaborative infants and preschoolers who represent a challenge in the development of new methods that do not require collaboration or coordination. This review attempts to achieve a comprehensive approach to pulmonary function tests in children that allow the physician working in pediatrics to get to know: their pathophysiological bases; the reasons for a request for a pulmonary function test taking into account the underlying pathophysiological process that is suspected; the study procedures; the possible clinical findings and their interpretation; the advantages and limitations of several of the tests. Information related to spirometry is developed more specifically, since it is the most widespread, accessible and widely validated methods.

Keywords: pulmonary function test, respiratory disease, pediatrics, spirometry, obstructive pulmonary disease.

RESUMEN

El estudio de la función pulmonar (FP) en niños abarca un gran número de métodos y aspectos. La edad pediátrica en sí constituye un grupo muy heterogéneo de individuos, entre los que se encuentran los de edades más tempranas que son no colaborativos y que representan un desafío en el desarrollo de nuevos métodos que no requieran colaboración ni coordinación. En esta revisión se describirá un enfoque integral de los estudios de FP más utilizados en niños. Se mencionan sus bases fisiopatológicas; los motivos de un pedido de estudio de FP teniendo en cuenta el proceso fisiopatológico subyacente que se sospecha; los posibles hallazgos clínicos y su interpretación y las ventajas y limitaciones de varios de los test.

Palabras clave: test de función pulmonar, enfermedad respiratoria, pediatría, espirometría, enfermedad pulmonar obstructiva.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la FP en niños abarca un gran número de métodos y aspectos. La edad pediátrica en sí constituye un grupo muy heterogéneo de individuos, entre los que se encuentran los de edades más tempranas que son no colaborativos y que representan un desafío en el desarrollo de nuevos métodos que no requieran colaboración ni coordinación. Antes de comenzar una revisión de los mismos señalaré algunas particularidades del sistema respiratorio en este grupo etario:

- Los lactantes son respiradores nasales preferentemente, con una resistencia nasal que representa aproximadamente el 50% de la resistencia total de la vía aérea. Como consecuencia se recomienda esperar por lo menos 3 semanas luego de una infección respiratoria para realizar un test de FP y tener en cuenta que menos porcentaje de material aerosolizado llega al pulmón que en un adulto respirador bucal.
- Los niños presentan una pared torácica altamente

complaciente. Esto produce una tendencia a la baja (en relación a la capacidad pulmonar total) y a la inestabilidad de la capacidad residual funcional (CRF), así como una tendencia al cierre de la pequeña vía aérea durante la respiración corriente o tidal. En los primeros meses de vida los niños regulan el flujo y tiempo espiratorio para mantener la CRF.

- Durante el primer año de vida, el reflejo de Hering-Breuer está fisiológicamente activo durante la respiración tidal.
- El estudio de la FP en los niños más pequeños se hace muchas veces durante el sueño debido a la falta de cooperación de los mismos, requiriendo algún tipo de sedación en ocasiones.
- Los niños preescolares requieren un gran estímulo y mucha paciencia para realizar los test de FP que requieran cooperación. Puede ser de ayuda por ejemplo entregar el tubo de cartón o plástico para espirometría para practicar en casa días previos a la realización del estudio, así como la utilización de juegos o estímulos visuales.

Cualquiera sea el estudio de función pulmonar (EFP) utilizado, es fundamental:

- Tener en claro qué es lo que se busca con el estudio. Para ello se especifican en la tabla 1 los posibles usos de los estudios de función pulmonar en niños (1).
- Tener en cuenta la relevancia, confiabilidad y factibilidad de los diferentes estudios disponibles (figura 1) (2).
- La utilización de valores de referencia adecuados (3), lo cual evita la mala interpretación de los resultados. No todos los test de función pulmonar tienen valores de referencia

Correspondencia:

Dr. Prof. Luciano E. Busi

adecuados para todos los grupos etarios y razas o poblaciones específicas.

- Que la metodología del estudio esté estandarizada entre los diferentes centros (4) para disminuir las diferencias posibles entre los mismos.
- Que los reportes de los estudios sigan las últimas normas redactadas y aceptadas por las diferentes sociedades reconocidas mundialmente (5).

Siempre el pedido del EFP debe estar basado en el proceso fisiopatológico subyacente que se sospecha. En la tabla 2 se muestran ejemplos de la información clínica que puede derivarse de los principales EFP en niños (6). Se han desarrollado y validado diferentes protocolos para referenciar pacientes a un laboratorio de función pulmonar pediátrico, teniendo en cuenta diferentes variables (entre ellos patología y edad) (ver tabla 3).

Se han realizado grandes esfuerzos en términos de evaluar cada uno de los EFP para cada enfermedad en cada grupo etario, no sólo en lo relativo al diagnóstico sino también al seguimiento o monitoreo de pacientes pediátricos con diferentes patologías. En la tabla 4 se muestra un ejemplo de ello, en un documento de la American Thoracic Society (ATS) referido específicamente a niños menores de 6 años (7). Para este grupo etario se han desarrollado un número importante de EFP pero muchos de ellos aún no han sido validados correctamente.

La realización de EFP en pediatría requiere una pericia y empatía especiales, para lo cual el personal debe ser seleccionado y entrenado acorde a ello, con énfasis en la paciencia, la excelente comunicación y la necesidad de verificar la precisión del equipamiento a intervalos frecuentes.

Espirometría

Como puede observarse en la tabla 3, la espirometría sigue siendo el EFP más usado en pediatría para diagnóstico y seguimiento de diversas patologías, así como para la utilización en diferentes situaciones como trasplantes o evaluación quirúrgica. Como se ha observado en diversos estudios puede ser realizada a partir de los 3 o 4 años de edad (8,9,10), requiriendo muchas veces entrenamiento previo del paciente y repetidas citaciones frente a los fallos en su realización. El procedimiento para su realización y los criterios de aceptabilidad y repetibilidad se resumen en las tablas 5 y 6.

Se recomienda utilizar las ecuaciones de la iniciativa Global Lung Function (GLI) publicadas desde el año 2012(11), en las cuales se definieron las siguientes categorías étnicas: caucásicos, afroamericanos, del nordeste asiático, del sudeste asiático y otros/mixto. Se insta a los diferentes países o regiones a validar las ecuaciones en su población, ya que puede haber diferencias significativas. Por ejemplo, en un estudio que publicamos en el año 2018(8) encontramos más adecuada la ecuación de caucásicos que la de otros/mixto para nuestra población en Argentina.

Hallazgos clínicos e interpretación. Los resultados cualitativos y cuantitativos permiten una primera evaluación de la naturaleza del desorden respiratorio. Si un trastorno obstructivo es encontrado, puede distinguirse además si es de origen intra o extratorácico. La espirometría refleja

mayormente cambios localizados en las vías aéreas centrales, con muy poca representación de las periféricas (12). El VEF_1 (así como el $VEF_{0,75}$) representa mayormente la función de vías aéreas con un diámetro interno mayor a 2mm, mientras que para vías aéreas más pequeñas otros índices como el $FEF_{25-75\%}$ parecen más apropiados(13,14).

La forma de la parte espiratoria de la curva flujo-volumen es cóncava en patologías pulmonares obstructivas (figura 2), mientras que la estenosis traqueal intratorácica provoca un aplanamiento de esta parte de la curva. La estenosis extratorácica suele aplanar la parte inspiratoria de la curva y la estenosis fija aplanar tanto la parte inspiratoria como espiratoria. En patologías restrictivas suele observarse una disminución general de los valores sin cambios en la forma de la curva (figura 3), pero sin embargo la restricción debe confirmarse con otros métodos que midan capacidad pulmonar total y volumen residual (VR) (por ejemplo pletismografía).

La respuesta broncodilatadora a sustancias como el salbutamol puede ayudar en la distinción de patologías como el asma. Se insta a realizar más estudios en diferentes poblaciones y grupos etarios para definir respuesta broncodilatadora normal y patológica(17).

Ventajas. Es portable y de relativamente bajo costo. Puede realizarse desde los 3 años de edad, con alta reproducibilidad.

Limitaciones. No logra determinar capacidad pulmonar total ni volumen residual. No puede realizarse en menores de 3 años de edad. Para lograr una buena calidad en el estudio, deben repetirse las maniobras, lo cual puede llevar a una alteración del diámetro de las vías aéreas (15).

Pletismografía corporal total (PCT)

Es el método de elección para determinar Raw (resistencia de la vía aérea) y volúmenes pulmonares, en especial aquellos que no puede medir la espirometría como la CPT, VR y CRF. Puede realizarse a partir de los 6 años de edad, si bien en lactantes se puede realizar bajo sueño con equipos especializados y en laboratorios de alta complejidad. Comparado con la espirometría, requiere de menor esfuerzo. Sin embargo muchos niños tienen miedo de sentarse en dentro de una caja cerrada y les cuesta seguir las instrucciones. Como método aislado no detecta correctamente los trastornos ventilatorios leves a moderados de la pequeña vía aérea. Se trata de un equipamiento de alto costo.

El parámetro de Raw específica (sRaw) es el producto de la resistencia de la vía aérea por la CRF. Es un parámetro podría ser más sensible que la espirometría para detectar obstrucción de la vía aérea y puede realizarse a edades más tempranas que la PCT (puede obtenerse desde edad preescolar).

Técnicas de oclusión de la vía aérea

Típicamente se realiza la oclusión de la vía aérea durante el pico del flujo espiratorio tidal o espiración media, intentando medir la resistencia del sistema respiratorio pasivo, llamada resistencia por interrupción. Se trata de métodos no invasivos y de fácil realización, pudiendo realizarse desde la edad preescolar. No son generalmente usados en la práctica

clínica usual ya que presenta diversos problemas como por ejemplo ser muy afectado por la resistencia de la vía aérea superior en muchos pacientes (ej. lactantes) y la falta del equipo en la mayoría de los centros.

Técnica de dilución con helio

Es un método relativamente simple que se utiliza principalmente para determinar la CRF. Generalmente acompaña a la DLCO. Se realiza fácilmente en el niño durante la respiración tidal, pero tiene la gran desventaja de no detectar el gas atrapado (atrapamiento aéreo).

Lavado de gas inerte mediante respiraciones múltiples (multiple breath washout)

Permite detectar la falta de homogeneidad de la ventilación y determinar la CRF. Resulta mejor que la espirometría y la PCT para evaluar trastornos de la pequeña vía aérea (16), permitiendo detectar alteraciones en diversas patologías aun antes de que el paciente presente síntomas o signos tomográficos (17). Es de fácil realización, pudiendo realizarse a cualquier edad (18).

Técnica de oscilación forzada y oscilometría de impulso

Determinan los mecanismos del sistema respiratorio midiendo su respuesta a estímulos externos. Se pueden realizar desde edad preescolar por su facilidad, ya que se toman los datos durante la respiración tidal (19). También tienen la ventaja de ser portátiles. Se usan principalmente para enfermedades pulmonares obstructivas, ya sea en etapa aguda o crónica¹⁰. Tienen las desventajas de ser afectados por la compliance de la vía aérea superior y de no ser de utilidad para patología restrictiva (20).

Medición del óxido nítrico (ON) exhalado y nasal

El óxido nítrico exhalado es una medición indirecta de la inflamación de la vía aérea, estudiado principalmente en asma (21). Puede ser utilizado como herramienta para el monitoreo del control y progresión del asma en niños a partir de los 6 años de edad (22), pero presenta la desventaja de ser influenciado por muchas variables como raza, edad y patrón de respiración tidal (23). Se ha demostrado la utilidad de la medición del ON nasal en el screening de discinesia ciliar primaria (24).

Medición de la capacidad de difusión

Estima la capacidad de difusión de O₂ y CO₂ de la membrana alvéolo-capilar midiendo la capacidad de difusión del CO (DLCO). Puede ser realizada a partir de los 6-8 años de edad. Puede ser afectada por hemoglobinopatías, anemia o émbolos, ejercicio, obesidad o shunts de izquierda a derecha. Tiene gran utilidad en el estudio de intersticiopatías principalmente (25).

Prueba de ejercicio cardiopulmonar

Es una prueba que se realiza normalmente en centros especializados. Se ha demostrado su utilidad en el seguimiento de cardiopatías, enfermedades pulmonares diversas (como por ejemplo enfermedad pulmonar crónica neonatal) y situaciones pre o post trasplante.

Otros estudios

Existen otros estudios de función pulmonar en pediatría que no detallaré en esta revisión (tomografía por impedancia eléctrica, pletismografía inductiva respiratoria, condensado de aire exhalado, etc.), muchos de los cuales se encuentran en etapa de investigación con utilidad clínica no determinada aun.

CONCLUSIONES

Esta revisión muestra sólo una mirada rápida a los métodos de función pulmonar que pueden utilizarse en niños. Muchos de ellos se utilizan rutinariamente en la práctica clínica, mientras que otros quedan todavía reservados para los ámbitos de investigación. Se requiere de personal altamente entrenado para la realización e interpretación de los estudios, siempre a la luz de la historia clínica completa del paciente. Las principales instituciones y sociedades científicas respiratorias a nivel mundial instan a todos los países y regiones a validar localmente los diferentes métodos de función pulmonar en pediatría, lo cual redundará en una mejoría en el desarrollo de consensos y por lo tanto en el manejo de las diversas patologías.

Declaración de conflicto de intereses

Declaro no poseer ningún conflicto de intereses en el desarrollo de esta revisión.

Agradecimientos

Al Dr. Juan Balinotti, neumonólogo infantil del Hospital de Niños "Dr. Ricardo Gutiérrez" de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Tabla 1. Usos de los estudios de función pulmonar en niños.

Establecer anomalías mecánicas pulmonares en niños con síntomas respiratorios
Cuantificar el grado de disfunción pulmonar
Definir la naturaleza de la disfunción pulmonar (obstruiva, restrictiva o mixta)
Ayudar a definir el sitio de obstrucción de la vía aérea (central o periférica)
Diferenciar entre obstrucción de la vía aérea fija o variable, y entre intratorácica o extratorácica
Seguir la evolución de enfermedades respiratorias
Evaluar el efecto de intervenciones terapéuticas y guiar los cambios en la terapia
Detectar el aumento de la reactividad de la vía aérea
Evaluar el riesgo potencial de procedimientos diagnósticos o terapéuticos que requieran anestesia
Monitorear los efectos adversos pulmonares de quimio o radioterapia
Ayudar en la predicción del pronóstico y cuantificar la discapacidad pulmonar
Investigar el efecto de enfermedades agudas y crónicas en el crecimiento pulmonar
Servir como mediciones de resultados en estudios clínicos

Figura 1. Relevancia, confiabilidad y factibilidad de los test de función pulmonar (TFP).

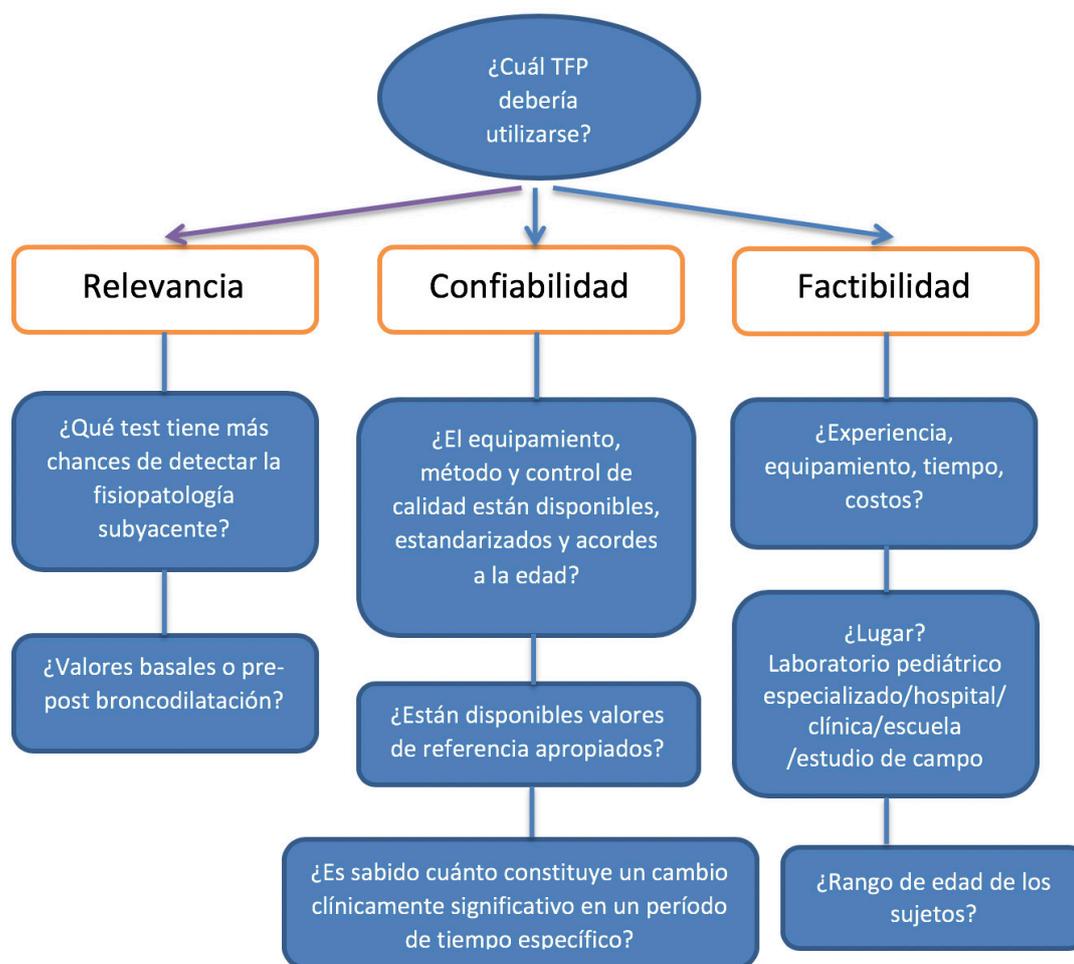


Tabla 2. Ejemplos de información clínica derivada de los estudios de función pulmonar en niños.

Aspecto clínico	Método
Atrapamiento aéreo	Pletismografía corporal total, PIR, técnicas de <i>washout</i> con gas inerte
Obstrucción de la vía aérea, respuesta a estímulos	Espirometría, pletismografía corporal total, técnicas de oclusión de la vía aérea (TOU, TOM), TOF, oscilometría de impulso
Detección de apnea	PIR, TIE
Inflamación, efecto de medicaciones	ON exhalado, condensado de aire exhalado
Ubicación de la obstrucción	TOF, oscilometría de impulso, TIE, espirometría, pletismografía corporal total
Patología pleural	TIE, pletismografía corporal total
Transferencia de gases pulmonares	DLCO
Drive respiratorio, fuerza muscular respiratoria	$P_{0,1}$, medición de P_{imax}
Restricción	Pletismografía corporal total, DLCO
Reversibilidad de la obstrucción, efecto de la medicación	Espirometría, pletismografía corporal total, TOU, TOM, TOF, oscilometría de impulso, TIE
Estadificación de enfermedad, evaluación de riesgo de intervenciones	Espirometría, pletismografía corporal total, ON exhalado
Asincronía tóraco-abdominal, trabajo de la respiración	PIR
Falta de homogeneidad de la ventilación	Técnicas de <i>washout</i> con gas inerte, TIE
Desajuste o falta de concordancia de la ventilación-perfusión	DLCO, TIE

PIR: Pletismografía inductiva respiratoria; TOF: Técnica de oscilación forzada; TOU: técnica de oclusión única; TOM: técnica de oclusión múltiple; TIE: tomografía de impedancia eléctrica; ON: óxido nítrico; DLCO: capacidad de difusión del pulmón para monóxido de carbono; P_{imax} : presión inspiratoria máxima; $P_{0,1}$: presión de oclusión.

Tabla 3. Protocolos más usuales para referir pacientes pediátricos a un laboratorio de función pulmonar.

Grupo de pacientes		SpO2	MBW	FeNO	Espir	Plet	DLCO	TE3m	TC6m	MIP/MEP
Asma				√	√ BDR					
Fibrosis quística	RA	√	√ (3-8 años de edad)		√	√				
	Consultorio externo				√					
Trasplante pulmonar	Pre	√			√	√		√	√	
	Post	√	√ a los 6 meses	√	√					
	Post: RA	√	√	√	√	√		√	√	
Pre trasplante cardíaco					√				√	
Trasplante médula ósea	Pre		√ (3-8 años de edad)		√	√	√			
	Post: RA		√ (3-8 años de edad)		√	√	√			
	Post: consultorio externo				√		√			
Oncología					√		√			
Prequirúrgico		√			√					
Medicina metabólica					√					
Reumatología					√		√			
Neuromuscular					√ (sentado y supino)					√

RA: revisión anual; BDR: respuesta broncodilatadora; SpO2: saturación de oxígeno por saturometría; MBW: técnica de multiple breath washout; FeNO: óxido nítrico exhalado; Espir: espirometría; Plet: pletismografía; DLCO: difusión pulmonar de monóxido de carbono; TE3m: test escalonado de 3 minutos, TC6m: test de caminata de 6 minutos; MIP: máxima presión inspiratoria; MEP: máxima presión espiratoria.

Tabla 4. Test de función pulmonar para monitoreo de diferentes patologías en niños menores de 6 años.

	RVRTC de lactante	Pletis de lactante	Espiro preescolar	sRaw preescolar	Rint preescolar	FOT preescolar	MBW
Equipamiento comercial	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Procedimiento operativo estandarizado	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
¿Es seguro?	Sí*	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Es factible?	Sí*	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Valores de referencia adecuados	No†	No†	Sí‡	No	Sí‡	Sí‡	Sí‡
Variabilidad intra-test intra-sujeto medida	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Discrimina población enferma de sanos	No	No	No	No	No	No	Si
Útil en FQ	Sí	si	Sí§	si	No	Conflictivo	Sí
Útil en DBP	Sí	Sí	Desconocido	Desconocido	Desconocido	Desconocido	Probablemente no
Útil en Sibilancias recurrentes	Sí	No	Sí¶	Desconocido	Sí¶	Desconocido	Probablemente
Evidencia de utilidad clínica	No evaluada	No evaluada	Escasa	No evaluada	No evaluada	No evaluada	No evaluada

RVRTC: técnica de rápida compresión tóraco-abdominal a volúmenes elevados; Pletis: pletismografía; Espiro: espirometría; sRaw: resistencia específica de la vía aérea; Rint: técnica de resistencia por interrupción; FOT: técnica de oscilación forzada; MBW: técnica de multiple breath washout; FQ: fibrosis quística; DBP: displasia broncopulmonar.

*: en laboratorios experimentados luego de intenso entrenamiento.

†: valores de referencia no validados para ningún equipo comercial

‡: no existe para todos los grupos raciales

§: Importante superposición entre pacientes con fibrosis quística y sanos; MBW discrimina mejor en preescolares

¶: la respuesta broncodilatadora discrimina mejor que los valores basales

Tabla 5. Procedimiento de la maniobra de CVF†.

Lavado de manos (o limpieza con producto adecuado)
Preparación del paciente Desinfectante para manos del paciente Confirmar datos del paciente (sexo, edad, etc.) Medir peso y talla Preguntar por actividades recientes, medicación y contraindicaciones; anotar síntomas existentes
Instrucciones y demostración del test Posición de la pieza bucal y clip nasal Postura correcta con cabeza ligeramente elevada Inspiración rápida hasta llenar completamente Espirar con esfuerzo máximo hasta vaciar completamente Inspirar con máximo esfuerzo hasta llenar completamente Confirmar que el paciente comprendió y está dispuesto a realizar el estudio
Realizar la maniobra Indicar al paciente a que tome la posición correcta Colocar clip nasal Inspirar completamente y rápidamente con una pausa ≤ 2 segundos a nivel de capacidad pulmonar total (CPT) Espirar con máximo esfuerzo hasta que no pueda ser expelido más aire Inspirar con máximo esfuerzo hasta llenar completamente‡ Repetir las instrucciones según necesidad, estimulando vigorosamente Repetir hasta llegar a un mínimo de 3 maniobras, con un máximo que varía según la edad* Chequear la repetibilidad del VEF1 y la CVF

*el número máximo de maniobras puede variar desde 8 de niños mayores hasta 15 en preescolares.

†se pueden requerir más pasos en enfermedades específicas con énfasis en control de infecciones

‡se requieren eliminar pasos para espirometrías de espiración exclusiva

Tabla 6. Criterios de aceptabilidad, usabilidad y repetibilidad para VEF1 y CVF.

Lavado de manos (o limpieza con producto adecuado)	Requerido para aceptabilidad		Requerido para usabilidad	
	VEF ₁	CVF	VEF ₁	CVF
VE ≤5% de CVF o 100ml	sí	sí	sí	sí
Sin evidencia de configuración de flujo cero defectuosa	sí	sí	sí	sí
Sin tos en el primer segundo de espiración*	sí	no	sí	no
Sin cierre glótico en el primer segundo de espiración*	sí	sí	sí	sí
Sin cierre glótico después de 1 segundo de espiración	no	sí	no	no
Debe lograr uno de estos 3 indicadores de fin de espiración forzada: 1.- Plateau espiratorio (≤0,025 L en el últimos segundo de espiración) 2.- Tiempo espiratorio ≥15 seg 3.- CVF dentro de la tolerancia de repetibilidad de o mayor que la CVF observada previamente	no	sí	no	no
Sin evidencia de obstrucción de pieza bucal o espirómetro	sí	sí	no	no
Sin evidencia de fuga o escape de aire	sí	sí	no	no
Si la máxima inspiración luego del final de la espiración forzada es mayor que la CVF, entonces la CVIF-CVF debe ser ≤0,1 L o 5% de la CVF, lo que se mayor ‡	sí	sí	no	no
Criterios de repetibilidad (en valores de FEV1 y CVF aceptables)				
Edad >6 años: la diferencia entre las dos mayores CVF debe ser ≤150ml y la diferencia entre los dos mayores FEV1 debe ser ≤150ml				
Edad ≤6 años: la diferencia entre las dos mayores CVF debe ser ≤100ml o 10% del mayor valor, el que sea mayor, y la diferencia entre los dos mayores FEV1 debe ser ≤150ml o 10% del mayor valor, el que sea mayor				

VE: volumen extrapolado; L: litros; CVIF: capacidad vital inspiratoria forzada

*en niños de 6 años de edad o menores, deben tener al menos 0,75 segundos de espiración sin cierre glótico ni tos, para determinar FEV_{0,75}

‡A pesar de que la realización de la maniobra de máxima inspiración forzada es fuertemente recomendada, su ausencia no imposibilita que una maniobra sea aceptable, a no ser que se esté investigando específicamente una obstrucción extratorácica.

Figura 2. Curva flujo-volumen espirométrica con perfil obstructivo. En sombreado, curva normal. En verde, mejor curva obtenida por el paciente. Obsérvese que la curva del paciente presenta concavidad.

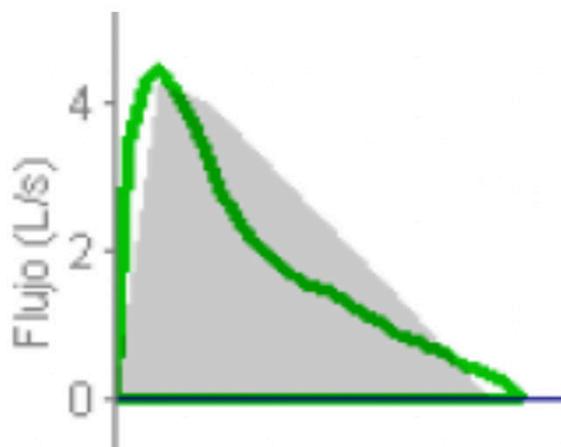
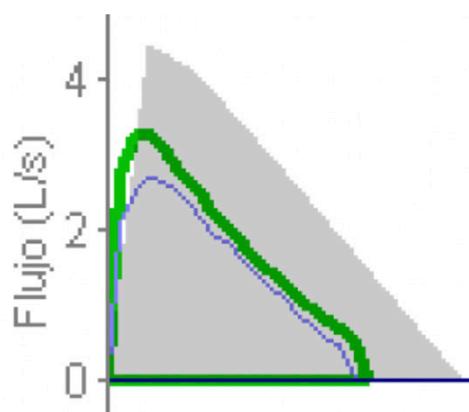


Figura 3. Curva flujo-volumen espirométrica con perfil restrictivo. En sombreado, curva normal. En verde, mejor curva obtenida por el paciente. Obsérvese que la curva del paciente presenta forma normal pero con menores valores.



REFERENCIAS

1. Castile RG et al. Pulmonary function testing in children. En: Wilmott RW et al. *Kendig and Chernick's Disorders of the respiratory tract in children*. Philadelphia, USA: Elsevier; 2012. p. 211-260.
2. Stocks J, Kirkby J, Lum S. How to avoid misinterpreting lung function tests in children: a few practical tips. *Paediatr Respir Rev*. 2014;15(2):170-80.
3. Coates AL. Using reference values to interpret pulmonary function tests. *Paediatr Respir Rev*. 2011;12(3):206-7.
4. Paton J, Beardsmore C, Laverty A, King C, Oliver C, Young D et al. Discrepancies between pediatric laboratories in pulmonary function results from healthy children. *Pediatr Pulmonol*. 2012;47(6):588-96.
5. Culver BH, Graham BL, Coates AL, Wanger J, Berry CE, Clarke PK et al; ATS Committee on Proficiency Standards for Pulmonary Function Laboratories. Recommendations for a Standardized Pulmonary Function Report. An Official American Thoracic Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;196(11):1463-1472.
6. Vogt B, Falkenberg C, Weiler N, Frerichs I. Pulmonary function testing in children and infants. *Physiol Meas*. 2014;35(3):R59-90.
7. Rosenfeld M, Allen J, Arets BH, Aurora P, Beydon N, Calogero C et al; American Thoracic Society Assembly on Pediatrics Working Group on Infant and Preschool Lung Function Testing. An official American Thoracic Society workshop report: optimal lung function tests for monitoring cystic fibrosis, bronchopulmonary dysplasia, and recurrent wheezing in children less than 6 years of age. *Ann Am Thorac Soc*. 2013;10(2):S1-S11.
8. Busi LE, Sly PD. Validation of the GLI-2012 spirometry reference equations in Argentinian children. *Pediatr Pulmonol*. 2018;53(2):204-208.
9. Santos N, Almeida I, Couto M, Morais-Almeida M, Borrego LM. Feasibility of routine respiratory function testing in preschool children. *Rev Port Pneumol*. 2013;19(1):38-41.
10. Beydon N, Davis SD, Lombardi E, Allen JL, Arets HG, Aurora P et al; American Thoracic Society/European Respiratory Society Working Group on Infant and Young Children Pulmonary Function Testing. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;175(12):1304-45.
11. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH et al; ERS Global Lung Function Initiative. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J*. 2012;40(6):1324-43.
12. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200(8):e70-e88.
13. Bar-Yishay E, Amirav I, Goldberg S. Comparison of maximal midexpiratory flow rate and forced expiratory flow at 50% of vital capacity in children. *Chest*. 2003;123(3):731-5.
14. McFadden ER Jr, Linden DA. A reduction in maximum mid-expiratory flow rate. A spirographic manifestation of small airway disease. *Am J Med*. 1972;52(6):725-37.
15. Milanese M, Mondino C, Tosca M, Canonica GW, Brusasco V. Modulation of airway caliber by deep inhalation in children. *J Appl Physiol* (1985). 2000;88(4):1259-64.
16. Aurora P, Bush A, Gustafsson P, Oliver C, Wallis C, Price J et al; London Cystic Fibrosis Collaboration. Multiple-breath washout as a marker of lung disease in preschool children with cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005;171(3):249-56.
17. Rosenfeld M, Farrell PM, Kloster M, Swanson JO, Vu T, Brumback L et al. Association of lung function, chest radiographs and clinical features in infants with cystic fibrosis. *Eur Respir J*. 2013;42(6):1545-52.
18. Gustafsson PM, Aurora P, Lindblad A. Evaluation of ventilation maldistribution as an early indicator of lung disease in children with cystic fibrosis. *Eur Respir J*. 2003;22(6):972-9.
19. Sly PD, Hayden MJ, Peták F, Hantos Z. Measurement of low-frequency respiratory impedance in infants. *Am J Respir Crit Care Med*. 1996;154(1):161-6.
20. Oostveen E, Dom S, Desager K, Hagendorens M, De Backer W, Weyler J. Lung function and bronchodilator response in 4-year-old children with different wheezing phenotypes. *Eur Respir J*. 2010;35(4):865-72.
21. Buchvald F, Hermansen MN, Nielsen KG, Bisgaard H. Exhaled nitric oxide predicts exercise-induced bronchoconstriction in asthmatic school children. *Chest*. 2005;128(4):1964-7.
22. Jones SL, Kittelson J, Cowan JO, Flannery EM, Hancox RJ, McLachlan CR et al. The predictive value of exhaled nitric oxide measurements in assessing changes in asthma control. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164(5):738-43.
23. American Thoracic Society; European Respiratory Society. ATS/ERS recommendations for standardized procedures for the online and offline measurement of exhaled lower respiratory nitric oxide and nasal nitric oxide, 2005. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005;171(8):912-30.
24. Dalrymple RA, Kenia P. European Respiratory Society guidelines for the diagnosis of primary ciliary dyskinesia: a guideline review. *Arch Dis Child Educ Pract Ed*. 2019;104(5):265-269.
25. Buchvald F, Petersen BL, Damgaard K, Deterding R, Langston C, Fan LL et al. Frequency, treatment, and functional outcome in children with hypersensitivity pneumonitis. *Pediatr Pulmonol*. 2011;46(11):1098-107.

Trex[®]

AZITROMIZINA / SAVAL



Presentaciones Pediátricas:

- **TREX[®]** Envase con 15 ml de suspensión (200 mg / 5 ml)
- **TREX[®]** Envase con 30 ml de suspensión (200 mg / 5 ml)
- **TREX[®]** Suspensión Forte: Envase con 20 ml de suspensión (400 mg / 5 ml)
- **TREX[®]** Suspensión Forte: Envase con 30 ml de suspensión (400 mg / 5 ml)



Unidad | **Pediatría**

Material promocional exclusivo para médicos cirujanos y químicos farmacéuticos.
Información completa para prescribir disponible para el cuerpo médico en www.savall.cl
y/o a través de su representante médico.

www.savall.cl

LS
SAVAL