

# PRUEBAS DE FUNCIÓN PULMONAR EN EL NIÑO

DRA. MARCELA LINARES P.  
PEDIATRA BRONCOPULMONAR.  
CENTRO DE ESPECIALIDADES PEDIÁTRICAS.  
CLÍNICA LAS CONDES.  
HOSPITAL PADRE HURTADO.  
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO.

## RESUMEN

Contar con pruebas de función pulmonar permite realizar un diagnóstico y seguimiento más adecuado en los pacientes que presentan patología respiratoria crónica o recurrente, o en aquellos que padezcan una enfermedad que de forma directa o indirecta afecte al aparato respiratorio.

Estos exámenes se pueden hacer en forma aceptable y reproducible en niños desde los tres a seis años de vida.

En este artículo se detallan las características más importantes de las pruebas de función pulmonar que frecuentemente se utilizan en el niño, como son la espirometría, curva flujo-volumen, prueba de provocación bronquial con ejercicio y con metacolina y la flujometría. También se detalla una técnica novedosa que permite medir la resistencia de la vía aérea, denominada Oscilometría de Impulso, de la cuál se dispone en Clínica Las Condes y tiene la particularidad de requerir mínima cooperación por parte del paciente.

Para el médico que solicita un examen de función pulmonar, es relevante conocer las condiciones de aceptabilidad, reproducibilidad e interpretación básicas, para que tenga un verdadero rol en el manejo de la patología respiratoria del niño.

## SUMMARY

To count on pulmonary function tests, allows a better diagnosis and treatment in patients with chronic or recurrent pulmonary disease or patients with others pathologies that affect the respiratory tract indirectly.

Children at least 3 to 6 years old can do acceptable and reproducible tests.

In this paper we described the most important characteristics of the more frequently pulmonary function test performed in children. They are spirometry, flow-volume curve, bronchial provocation test with exercise and metacholine and flujometry. The Impulse Oscillometry is also described. This is

a new technique that allows measure the airway resistance with almost no patient cooperation, and is available at Clínica las Condes.

The doctor who asks for a pulmonary function test must know about interpretation and acceptability and reproducibility criteria, so that it has a true roll in the handling of the children with respiratory disease.

## INTRODUCCIÓN

Las pruebas de función pulmonar son exámenes que permiten básicamente realizar un diagnóstico fisiopatológico y de esta forma contribuir en el diagnóstico clínico, pronóstico, evolución y respuesta terapéutica de las distintas patologías que afectan al aparato respiratorio.

Se deben solicitar en aquellos pacientes con síntomas respiratorios persistentes o recurrentes y en los que tienen diagnóstico de alguna patología que pueda comprometer al parénquima pulmonar o a la bomba respiratoria.

La realización de este tipo de pruebas en pediatría requiere de consideraciones especiales, como son un ambiente adecuado, sin interferencias ni distracciones, personal habituado a trabajar con niños, utilización en algunos casos de programas de incentivo y en ocasiones entrenamiento previo del niño. Esto permite un rendimiento máximo en la realización de las pruebas y lograr la menor variabilidad posible en los resultados, elementos que son fundamentales para una correcta interpretación del examen (1).

La mayoría de las pruebas de función pulmonar que se utilizan habitualmente en el adulto pueden ser realizadas en niños mayores de seis años, ya que a esta edad es cuando generalmente se alcanza el nivel de comprensión y coordinación necesarias para efectuarlas (2, 3, 4). En los últimos 10 años se ha demostrado que pruebas como la espirometría, puede ser realizada en forma aceptable y reproducible en preescolares, siempre y cuando se adapten los parámetros de aceptabilidad a

este grupo etario, los que son menos exigentes que los clásicamente utilizados para adultos (9, 6). La medición de la función pulmonar se realiza también en lactantes en laboratorios especializados, a través de pruebas más sofisticadas que no requieren de la colaboración del niño y que se utilizan con más frecuencia para investigación que con fines diagnósticos.

Los exámenes que más se utilizan en pediatría son la flujometría, espirometría, la curva flujo-volumen y la provocación bronquial con ejercicio y con metacolina. Algunos laboratorios especializados disponen de técnicas de medición de la resistencia de vía aérea en forma directa que no requieren de cooperación del paciente, estas son la Oscilometría de Impulso (IOS), la medición de resistencia con la técnica de interrupción (RINT) y la Pletismografía.

La flujometría es de bajo costo y fácil acceso y permite objetivar la respuesta broncodilatadora en la oficina del médico y es de utilidad en el automanejo del asma persistente, sobre todo en los pacientes con baja percepción de síntomas (7).

A través de la espirometría y curva flujo-volumen se pueden determinar alteraciones ventilatorias obstrutivas o restrictivas, la respuesta al broncodilatador y los grados de severidad de las mismas (8). Con la curva de flujo-volumen se pueden diferenciar obstrucciones fijas y variables de la vía aérea y si son intra o extratorácicas (1, 9).

La prueba de provocación bronquial con ejercicio es muy útil en pediatría, ya que la actividad física es un estado muy frecuente en la vida diaria del niño, tiene muy pocas contraindicaciones y es un examen de alta especificidad para el diagnóstico de asma (10).

La prueba de provocación bronquial con metacolina se solicita con menor frecuencia, ya que sólo indica la presencia de hiperreactividad bronquial inespecífica, lo que la mayoría de las veces agrega poco a la percepción clínica del médico.

En la Clínica Las Condes disponemos de la medición de resistencia de la vía aérea con la técnica de Oscilometría de Impulso (IOS). Es un método que se realiza en forma rápida, no invasiva, y requiere una cooperación mínima por parte del paciente; lo que lo hace muy atractivo para su utilización en pediatría, ya que es posible de realizar desde los dos años de vida. Es un examen fundamentalmente complementario de la espirometría, ya que permite detectar obstrucción de vía aérea periférica y respuesta broncodilatadora en algunos casos en que las pruebas realizadas con maniobras forzadas como la espirometría son normales (11).

En el laboratorio de función pulmonar en el que se realicen pruebas de provocación bronquial se debe disponer de oxígeno, Ambú, mascarilla de ventilación y agentes broncodilatadores  $\beta_2$  adrenérgicos en aerosol presurizado y en solución para nebulizar, que puedan ser usados fácilmente y en forma rápida y un sistema de ventilación adecuado.

Se requiere de un profesional adecuadamente entrenado y experimentado en la ejecución de las pruebas en niños, y un médico responsable del laboratorio que supervise las condiciones de los exámenes y realice el informe de los mismos, y esté calificado y disponible para manejar una situación de emergencia, como la obstrucción severa de la vía aérea (1, 2).

A continuación se desarrollará con más detalle las indicaciones, algunas condiciones técnicas, interpretación de resultados y utilidad de cada una de las técnicas mencionadas.

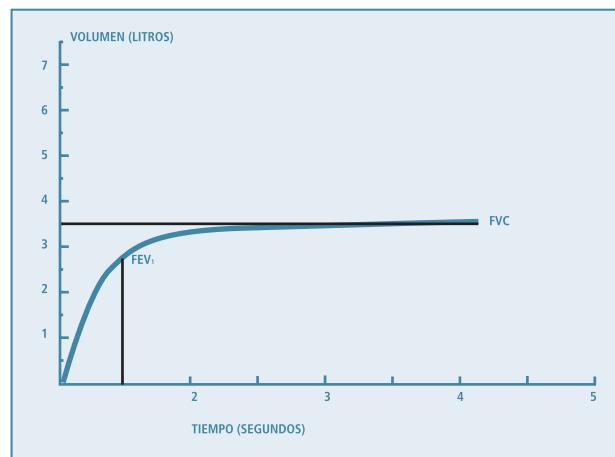
## ESPIROMETRÍA Y CURVA FLUJO-VOLUMEN

La espirometría mide volúmenes y flujos pulmonares, a través del registro de una espiración forzada a partir de una inspiración máxima (capacidad pulmonar total). De ella se obtienen el registro simultáneo de dos sistemas de coordenadas: la curva volumen-tiempo y la curva flujo-volumen (1).

La curva volumen-tiempo muestra los volúmenes espirados en la ordenada y el tiempo en el que se registra cada volumen en la abscisa (figura1). De ella se obtienen los siguientes parámetros:

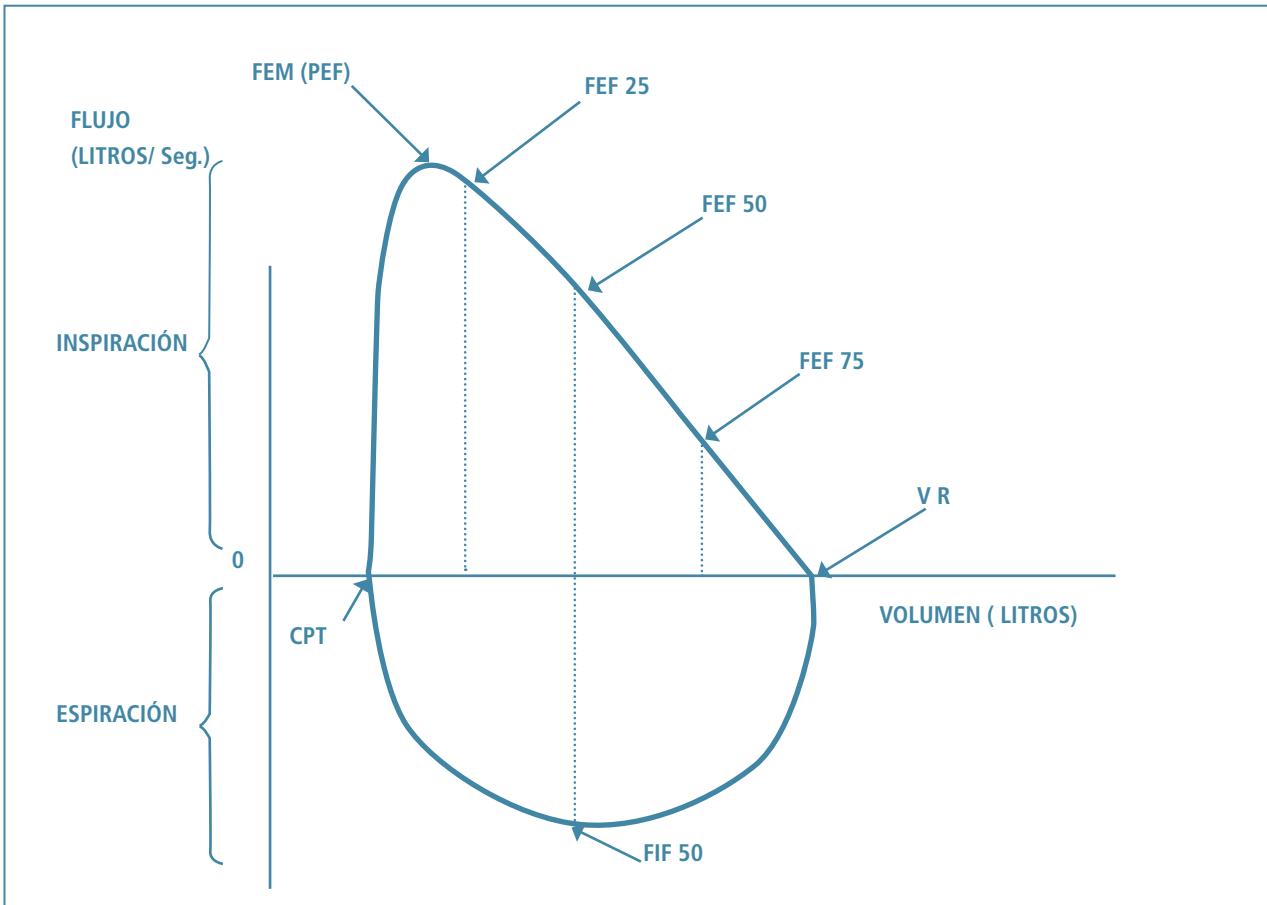
- 1.** Capacidad vital forzada (CVF): lo que corresponde a todo el volumen espirado en forma forzada.
- 2.** Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1).
- 3.** Relación VEF1/CVF o índice de Tiffenau: indica qué proporción de la CVF corresponde a lo espirado en el primer segundo.
- 4.** Flujo espiratorio forzado entre el 25 y 75% de la curva (FEF25-75), es el flujo espirado entre el 25 al 75% de la CVF. Se la relaciona con la resistencia de la pequeña vía aérea.

**FIGURA 1/ CURVA VOLUMEN-TIEMPO**



VEF1: volumen espiratorio forzado en un segundo. / CVF: capacidad vital forzada.

**FIGURA 2/ CURVA FLUJO-VOLUMEN NORMAL**



FEM: flujo espiratorio máximo. / FEF25: flujo espiratorio forzado al 25% de la capacidad vital forzada. / FEF50: flujo espiratorio forzado al 50% de la capacidad vital forzada. / FEF75: flujo espiratorio forzado al 75% de la capacidad vital forzada. / VR: volumen residual. / FIF 50: flujo inspiratorio forzado en el 50% de la capacidad inspiratoria.

La curva flujo-volumen se genera al realizar una espiración forzada máxima a partir de capacidad pulmonar total (CPT), seguida de una inspiración forzada máxima. Los volúmenes pulmonares se grafican en la ordenada y los flujos espiratorios e inspiratorios en la abscisa (Figura 2).

Estas pruebas se indican para apoyar o descartar el diagnóstico clínico en pacientes con síntomas y signos respiratorios, patologías que pueden alterar la función pulmonar directa o indirectamente, exposición a factores de riesgo como el tabaco, contaminación ambiental, quimioterapia, radioterapia u otros fármacos con conocida toxicidad pulmonar; evaluar el riesgo y pronóstico anestésico o quirúrgico en pacientes con patología respiratoria; evaluar la respuesta a distintos tratamientos (quimioterapia, farmacos, kinesiterapia, etc.); y controlar la progresión de patologías que afecten la función pulmonar en forma directa como la fibrosis quística, o indirecta como por ejemplo las enfermedades neuromusculares (1, 2, 3).

El trazado de la curva flujo volumen siempre debe estar presente porque es necesario para el diagnóstico de obstrucción de vía aérea alta y

además, junto con el trazado de la curva volumen-tiempo, permiten la evaluación de la calidad del examen.

Se aconseja evaluar siempre la respuesta broncodilatadora, para lo cual deben suspenderse los broncodilatadores previamente ( $\beta_2$  adrenérgicos y bromuro de ipratropio, por un espacio de 6 a 8 horas y  $\beta_2$  adrenérgicos de acción prolongada, 24 horas antes). De esta forma se pone en evidencia a los pacientes que tienen una obstrucción manifestada solamente en la respuesta broncodilatadora significativa, con valores espirométricos basales normales. Esto ocurre frecuentemente, ya que los valores de referencia utilizados para interpretar la espirometría generalmente subestiman la patología obstructiva.

En cada examen se obtienen al menos tres curvas que cumplan con los criterios de aceptabilidad determinados internacionalmente. Estos criterios están diseñados para adultos y son difíciles de alcanzar para preescolares e incluso escolares, por lo que se propone realizar e interpretar la espirometría en condiciones adaptadas especialmente en el

**TABLA 1/ TIPOS DE ALTERACIONES SPIROMÉTRICAS**

	Restrictiva	Obstructiva con CVF N	Obstructiva con CVF ↓
<b>CVF</b>	↓	N	↓
<b>VEF<sub>1</sub></b>	↓	No ↓	↓
<b>VEF<sub>1</sub>/CVF</b>	No ↑	↓	↓
<b>FEF<sub>25-75</sub></b>	No ↑	↓	↓

N: normal. / CVF: Capacidad vital forzada. / VEF<sub>1</sub>: Volumen espiratorio forzado en el primer segundo. / FEF<sub>25-75</sub>: flujo espiratorio forzado 25-75. / No ↑: no aumenta. / No ↓: no disminuye. (Ref. 1)

caso de niños de dos a seis años (6).

De tres maniobras aceptables, al menos dos de ellas deben ser reproducibles, o sea, con una variabilidad menor al 5% en la CVF y VEF<sub>1</sub> y menor al 12% en el preescolar en los mismos parámetros.

Los valores de referencia utilizados deben ser registrados en el informe, ya que el resultado puede variar según cual de ellos se utilice. Los más utilizados son los de Knudson, Gutiérrez y Corrales (12, 13, 14, 30). Este último es representativo de la población nacional, incluye sujetos sanos de 5 a 70 años, el inconveniente es que con frecuencia arroja resultados falsos compatibles con restricción.

Una espirometría se considera como normal cuando los valores están por encima del percentil 5; este último se define como aquel sobre el cual se distribuyen los valores espirométricos del 95% de la población normal de referencia (8). Últimamente se ha propuesto que sería más correcto informar con Z score, lo que permite realizar un seguimiento

en el tiempo, de la misma forma en que lo hacemos con los valores antropométricos en la evaluación del crecimiento del niño (5). En Clínica Las Condes disponemos de este tipo de informe en el grupo de preescolares.

En la interpretación de la espirometría, se pueden distinguir alteraciones ventilatorias obstructivas con o sin disminución de la CVF, y restrictivas (Tabla 1). La obstrucción clásicamente se caracteriza por un VEF<sub>1</sub> y/o la relación VEF<sub>1</sub>/CVF por debajo del percentil 5. También puede determinarse por la disminución del FEF<sub>25-75</sub> y de los flujos independientes del esfuerzo, junto con una forma cóncava de la curva flujo-volumen.

El grado de severidad se determina por el VEF<sub>1</sub> en las alteraciones obstructivas y por la CVF en las alteraciones restrictivas, como se resume en la Tabla 2.

Se considera como significativo a un incremento mayor del 10 al 15% del VEF<sub>1</sub> y mayor al 30% del FEF<sub>25-75</sub>, siempre que los valores de la

**TABLA 2/ GRADO DE SEVERIDAD DE LA ALTERACIÓN VENTILATORIA. BASADO EN MORENO Y OYARZÚN 1988**

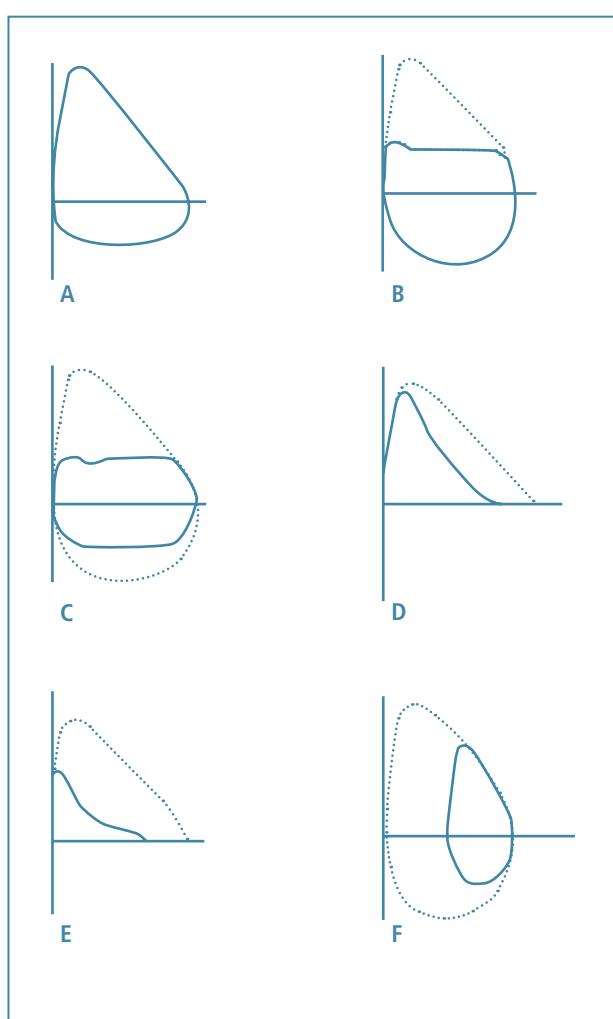
	Alteración restrictiva	Alteración obstructiva
<b>Mínima</b>		<b>FEF<sub>25-75</sub> &lt; LI ***</b>
<b>Leve</b>	<b>CVF &lt; LI * &gt; 65% **</b>	<b>VEF<sub>1</sub> ≥ 65%</b>
<b>Moderada</b>	<b>CVF &lt; 65% &gt; 50%</b>	<b>VEF<sub>1</sub> &lt; 65% ≥ 50%</b>
<b>Avanzada</b>	<b>CVF &lt; 50%</b>	<b>VEF<sub>1</sub> &lt; 50%</b>

\*LI: límite inferior de la normalidad / \*\*: porcentaje del valor de referencia / \*\*\*: CVF, VEF<sub>1</sub>, VEF<sub>1</sub>/CVF normales. (Ref. 1)

CVF pre y postbroncodilatadores sean iguales, ya que el FEF25-75 es una variable altamente dependiente de la CVF.

En la curva flujo-volumen se describen una fase inspiratoria y otra espiratoria. La primera corresponde a la parte inferior, es de forma semicircular desde el Volumen Residual a la CPT. En ella se mide el flujo inspiratorio forzado máximo a nivel del 50% de la CV (FIF50). La fase espiratoria tiene un perfil triangular, presenta un rápido ascenso desde CPT hasta flujo espiratorio máximo (FEM) y un descenso lento con pendiente constante hasta VR. En esta fase se diferencian dos partes: una correspondiente a volúmenes pulmonares altos, donde los flujos son dependientes del esfuerzo, y la otra correspondiente a volúmenes pulmonares bajos, después de espirado el primer tercio de la CV, donde los flujos son independientes del esfuerzo (Figura 1). Del trazado

**FIGURA 3/ PATRONES PATOLÓGICOS TÍPICOS DE LA CURVA FLUJO-VOLUMEN:**



A: Obstrucción variable extratorácica, B: Obstrucción variable intratorácica, C: Obstrucción fija, D: Obstrucción periférica leve, E: obstrucción periférica severa, F: Restricción.

espiratorio se registran habitualmente el FEM y los flujos espiratorios forzados en el 25, 50, y 75% de la CVF (FEF25, FEF50 y FEF75).

Es posible distinguir algunos patrones típicos que se describen a continuación (Figura 3):

#### Patrones obstructivos

Obstrucción variable de la vía aérea superior extratorácica. Se caracteriza por disminución de los flujos inspiratorios, lo que se observa como una fase inspiratoria plana (Figura 2A).

Obstrucción variable de la vía aérea superior intratorácica. Los flujos espiratorios dependientes e independientes del esfuerzo están disminuidos, asumiendo la curva una forma de plateau o "decapitada". La fase inspiratoria es normal (Figura 2B).

Obstrucción fija de la vía aérea superior. Se caracteriza por reducción en igual proporción de los flujos inspiratorios y espiratorios, adquiriendo la curva una forma rectangular. En este caso no es posible diferenciar la localización intra o extratorácica de la lesión mediante la curva flujo-volumen (Figura 2C).

Obstrucción bronquial periférica difusa. Se caracteriza por flujos independientes del esfuerzo disminuidos, por lo que la parte descendente de la fase espiratoria adopta una forma cóncava. En caso de obstrucción severa se puede apreciar también una alteración de los flujos dependientes del esfuerzo (Figura 2D y E).

#### Patrón restrictivo

La CVF y todos los flujos inspiratorios y espiratorios están disminuidos, manteniéndose la forma típica de la curva flujo-volumen normal, pero más pequeña (Figura 2F).

#### FLUJO ESPIRATORIO MÁXIMO

El monitoreo del flujo espiratorio máximo (FEM), también conocido como PEF (peak expiratory flow), permite documentar la función pulmonar en distintos momentos del día y en el ambiente habitual del paciente, también se puede utilizar para determinar la labilidad bronquial, contribuyendo de esta manera en el diagnóstico de asma.

Es útil para el autocontrol del paciente asmático persistente y por períodos cortos de tiempo, sobre todo cuando el paciente y su familia tienen baja percepción de los síntomas. En este tipo de pacientes asmáticos, permite la detección precoz de las crisis obstructivas, la disminución del número de consultas por reagudización y una mejor adherencia al tratamiento inhalador al poder objetivar la mejoría del cuadro asmático (7).

Pueden utilizarse flujómetros de bajo rango, los que registran 30 l/min como mínimo y 400 l/min como máximo; o de alto rango: con un registro de 60 l/min como mínimo y con 800 l/min como máximo. El rango de medición del FEM en los niños depende de la talla. El flujómetro de Wright ha sido utilizado como "Gold Standard", en



Figura 4/ Flujómetro de Wright.



Figura 5/ Flujómetro mini-wright.

base al cual los demás flujómetros deben ser ajustados (Figura 4). El flujómetro Mini Wright es uno de los más utilizados, ya que es más accesible y no afecta mayormente la precisión y la reproducibilidad de la medición. Es por esto que el flujómetro Mini Wright es de elección en la actualidad (Figura 5).

Debido a que es una maniobra dependiente del esfuerzo, y requiere colaboración por parte del paciente, se recomienda realizar la medición de FEM desde los cinco años de edad. Varios autores sostienen que la interpretación de la medición debe ser cautelosa en los menores de siete años de edad, sobre todo en los cuadros de obstrucción bronquial.

Estando preferentemente de pie, el niño debe realizar una breve espiración forzada máxima desde CPT, con el flujómetro en posición horizontal, el puntero en posición cero, y cuidando de no obstruir él mismo los orificios de salida del aire al sostener el flujómetro. La boca del niño debe estar alrededor de la pieza bucal, y no bloquearla con la lengua. Siempre hay que verificar que el paciente no realice esfuerzo subóptimo voluntario, o que provoque valores artificialmente altos por la expulsión súbita de aire con la lengua y las mejillas ("maniobra escupida"). Se seleccionará el mejor valor obtenido de tres maniobras reproducibles (1).

Para su Interpretación se recomienda utilizar el denominado "mejor valor personal": es el máximo valor obtenido durante un período asintomático, o de mejor control terapéutico. Se determina con el registro de FEM dos veces por día en un período de dos semanas. Este valor se debe reactualizar cada seis meses en el adolescente.

Los valores de referencia más utilizados son las tablas de Goodfrey o Jiménez y colaboradores (15, 16).

La medición aislada de FEM tiene una utilidad muy limitada y solamente puede indicar una obstrucción al flujo aéreo en el momento de la medición, cuando el valor obtenido es < al 80% del predictivo o del "mejor valor personal".

La variabilidad del FEM es un valor propuesto como elemento diagnóstico de asma. Esta se determina promediando los valores diarios obtenidos durante la etapa de observación. En niños sanos se sugiere considerar como límite superior de variabilidad de FEM entre 20 y 31%.

Hay que seleccionar muy especialmente al paciente que va a utilizar PEF en el automanejo del asma, ya que a pesar de que las grandes guías de asma aconsejan su uso, no está demostrada una mejoría del manejo del asma cuando al registro diario de síntomas se le agrega PEF, por otro lado la adherencia es baja, e incluso algunos pacientes inventan los valores para lograr otros beneficios.

## PRUEBAS DE PROVOCACIÓN BRONQUIAL

Las dos pruebas más utilizadas son la provocación bronquial con ejercicio y con metacolina.

El test de ejercicio tiene una sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de asma del 56% y 93% respectivamente (10). Se la denomina prueba de provocación bronquial indirecta, debido a que la contracción del músculo liso bronquial se produce por la liberación de mediadores en la submucosa, distinto de la provocación con metacolina, la que actúa directamente sobre el músculo liso bronquial (17). El test de ejercicio es la prueba de provocación bronquial más específica para diferenciar a niños asmáticos de portadores de otras patologías pulmonares crónicas que también presentan hiperreactividad bronquial (18).

La prueba de provocación bronquial con metacolina tiene una sensibilidad que varía entre 80 y 86% (19). Es altamente inespecífica, ya que sólo evalúa el grado de reactividad de la vía aérea. El aumento de la reactividad bronquial es una característica distintiva del asma, pero también está presente en otras condiciones como atopía, displasia broncopulmonar, fibrosis quística, etc., por lo cual el resultado del examen debe considerarse dentro del contexto del paciente a evaluar (20).

La prueba de ejercicio está indicada para realizar el diagnóstico de asma en niños con cuadro clínico compatible y espirometría normal,

diagnóstico de asma por ejercicio y estudio de la tos crónica. Tanto el ejercicio como la metacolina pueden ser de utilidad para objetivar la gravedad del asma y evaluar la respuesta al tratamiento crónico del niño asmático (21).

Ambas pruebas están contraindicadas en el caso de que el paciente presente un VEF1, PEF, o VEF1/CVF basal < 80% del teórico, o clínica de obstrucción bronquial en el momento de examen (22). Específicamente la provocación con metacolina está además contraindicada en la embarazada. El test de ejercicio no puede efectuarse en pacientes con cardiopatías (arritmias, hipertensión arterial y estenosis aórtica), incapacidad física (enfermedad neuromuscular, ortopédica, o malformación severa), fiebre, insuficiencia respiratoria crónica, diabetes insulino dependiente mal controlada y pacientes con epilepsia no controlada (20).

La edad desde la que un niño normal está en condiciones de hacer una prueba de ejercicio o metacolina con VEF1 en forma correcta, oscila entre los cuatro y siete años.

Antes de comenzar cualquiera de las pruebas se debe suspender la administración de  $\beta_2$  adrenérgicos y bromuro de ipratropio durante seis a ocho horas,  $\beta_2$  adrenérgicos de acción prolongada y antihistamínicos por 48 horas, y antileucotrienos por 24 horas.

Deberán constar en el informe las drogas que el paciente está recibiendo en el momento del examen, teniendo en cuenta que los corticoides inhalados tienen un efecto atenuador de la respuesta de la vía aérea cuando son administrados por más de cuatro semanas, lo cual hay que considerar en la interpretación de los resultados. El niño debe estar libre de infecciones respiratorias agudas durante las tres a cuatro semanas previas a la realización del examen (1, 21).

### PRUEBA DE PROVOCACIÓN CON EJERCICIO

Es una prueba de provocación bronquial no farmacológica, que mide la respuesta de la vía aérea ante un ejercicio de intensidad y características preestablecidas. El broncoespasmo generado en la prueba de ejercicio se debe a la liberación de mediadores inflamatorios de los mastocitos, provocado por la deshidratación y aumento de osmolaridad de la submucosa, debido a la hiperventilación de aire frío y seco (23).

La prueba consiste en hacer correr al niño durante seis minutos con el requisito de alcanzar una FC submáxima en los últimos cuatro minutos de carrera. Preferiblemente la carrera debe realizarse en una cinta sin fin, con una pendiente de 10° y una velocidad de 5-9 km/h, o bien con carrera libre al aire libre o en el interior, sobre una superficie previamente delimitada. El niño debe respirar por la boca durante el ejercicio, para lo cual se aconseja utilizar pinza nasal. Se mide el VEF1 o el PEF antes de comenzar el ejercicio y a los 1, 3, 5, 10 y 15 minutos postejercicio. Cuando el niño alcanza una respuesta positiva, se administra salbutamol en forma de nebulización o inhalador presurizado (1, 24). La prueba de ejercicio se considera positiva cuando se observa una

caída máxima del PEF o VEF1 > al 15% - 12% del basal (20, 23, 24). Preferentemente, el niño debe estar sin realizar ejercicio durante la hora previa al estudio, debido a que de otra manera el examen se puede estar efectuando durante el período refractario, lo que dará un resultado falso negativo (23).

Se debe medir y consignar en el informe la temperatura y humedad ambiental durante el examen. Para aumentar el rendimiento de la prueba se recomienda un ambiente con un contenido absoluto de agua menor a 10 mg por litro de aire, lo que equivale en término medio a 50% de humedad, con una temperatura entre 20°C y 25°C (24).

La prueba de ejercicio realizada con carrera al aire libre puede estar modificada por diversos elementos como la polinización y el nivel y tipo de contaminantes. Estos factores se deben tener en cuenta en el momento de interpretar los resultados del estudio. Se sugiere no hacerla con niveles de ICAP > a 300 (1).

### PRUEBA DE PROVOCACIÓN BRONQUIAL CON METACOLINA

Es una prueba de provocación bronquial farmacológica, altamente inespecífica, por lo que su utilidad es menor que el test de ejercicio (10).

La metacolina es un agonista colinérgico que se une a los receptores de acetilcolina del músculo liso de las vías aéreas, provocando contracción dosis dependiente. Su vida media es mayor a 30 minutos, lo que permite obtener un efecto acumulativo de las concentraciones de metacolina administradas. Los efectos secundarios son escasos, destacando la rinorrea y cefalea en casos aislados.

La metacolina se presenta en polvo seco higroscópico, por lo que se debe mantener en ambiente seco y estrictamente refrigerada. Debe prepararse en forma estéril.

El método más utilizado es el de Cockcroft y cols, con respiración bucal continua y tranquila (25). Se realiza una espirometría basal para descartar una obstrucción de la vía aérea que contraindique la realización del examen y luego se nebuliza cada cinco minutos, primero el diluyente y luego diluciones en concentración creciente de metacolina desde 0,06 hasta 16 mg/ml. Se selecciona el mejor VEF1 después de cada nebulización. Al término del examen se administra bromuro de ipratropio con fenoterol o salbutamol, en forma de nebulización o a través de inhalador de dosis medida (MDI) (20).

El examen se suspende en caso de producirse una caída del VEF1 con el diluyente mayor o igual al 10% en relación al VEF1 basal, una caída del VEF1 igual o mayor a 20% respecto del VEF1 postdiluyente (obtención de PC20), realización del examen hasta 16 mg/ml sin llegar a obtener PC20, o la aparición de efectos adversos como cefalea y tos persistente (1, 20).

El grado de respuesta de la vía aérea a la metacolina se evalúa a través

del cálculo de la PC20, que se define como la concentración de metacolina que causa 20% de caída del VEF1 con respecto al VEF1 obtenido con diluyente (y no con el VEF1 basal).

En mayores de 15 años se pueden determinar los siguientes rangos de hiperreactividad:

Reactividad normal	PC20 > 16 mg/ml
Hiperreactividad bronquial leve	PC20 4-16 mg/ml
Hiperreactividad bronquial moderada	PC20 1-4 mg/ml
Hiperreactividad bronquial severa	PC20 < 1 mg/ml

En relación a estos valores, en niños se ha demostrado que la edad tiene un efecto significativo sobre la respuesta a la metacolina, no existiendo un consenso con respecto a la PC20 en niños. Se ha observado que a medida que aumenta la edad, la respuesta de la vía aérea a la metacolina en niños normales disminuye, es decir, aumenta la PC20 (26, 27).

En nuestro medio se estudiaron con test de metacolina niños sanos de 8 a 14 años y se observó que la PC20 alcanzada es menor que en adultos normales (19).

#### Medición de la Resistencia de la vía aérea con Oscilometría de Impulso (IOS)

La IOS es una técnica que mide una resistencia compleja del aparato respiratorio sobre una escala de frecuencias, la cual se denomina Im-

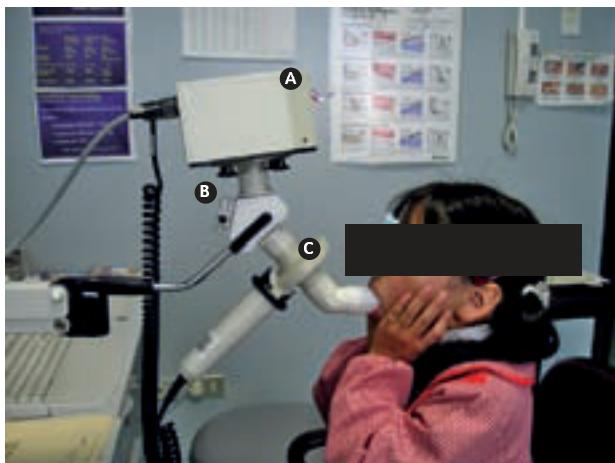


Figura 7/ Niña realizando IOS: respirando aire ambiente a volumen corriente, a través de una boquilla conectada a un neumotacógrafo y éste a su vez a un adaptador en Y, el cuál conecta por un extremo hacia el aire ambiental, y por el otro al parlante que envía los impulsos.

A/ Parlante, B/ Hacia aire ambiental, C/ Neumotacógrafo.

pedancia Respiratoria (Zrs). Está constituida por dos componentes: la Resistencia (Rrs), y la Reactancia (Xrs), la primera representa la resistencia al flujo de la vía aérea y la segunda corresponde a la elasticidad toracopulmonar y los cambios proporcionales de volumen pulmonar (Figura 6) (28).

Este examen se realiza con el niño en posición sentada, respirando aire ambiente a volumen corriente, a través de una boquilla conectada a un neumotacógrafo y este a su vez a un adaptador en Y, el cuál conecta por un extremo hacia el aire ambiental, y por el otro a un parlante que envía impulsos hacia la vía aérea. Los niños realizan el examen con pinza nasal, y sosteniendo firmemente sus mejillas con ambas manos, para evitar el escape de los impulsos hacia las paredes de la boca (Figura 7). Se obtienen al menos tres mediciones aceptables de 15 segundos cada una (11).

La Presión y flujo de la vía aérea son medidas a nivel de la boca en función del tiempo, pero el cálculo de Rrs y Xrs se expresa en función de un espectro de frecuencias entre 5 y 35 Hz, a través de la transformación matemática de Fourier (Figura 6).

Las variables medidas con espirometría e IOS tienen un coeficiente de correlación entre 0,5 a 0,7 y varían según los distintos parámetros (11). Esto se debe probablemente a tres motivos: primero, ambas técnicas miden variables que manifiestan comportamientos fisiológicos diferentes de la estructura del aparato respiratorio; segundo, la IOS se realiza con el paciente ventilando a volumen corriente, mientras que la Espirometría es una maniobra de espiración forzada; y tercero, la inspiración máxima necesaria para realizar la espirometría, puede causar un cambio reflejo del tono de la vía aérea, e influir en los parámetros espirométricos, lo que no ocurre en la medición de IOS. Debido a estos

FIGURA 6/ COMPONENTES DE LA IMPEDANCIA RESPIRATORIA

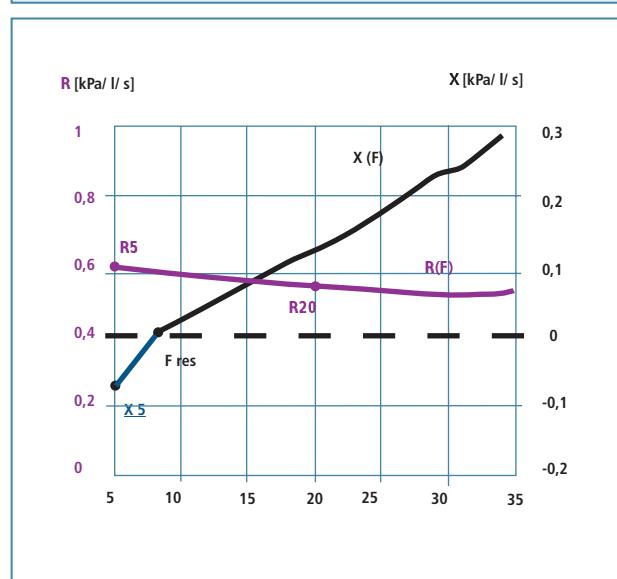


Figura 6/ Componentes de la Impedancia Respiratoria (Zrs) expresado en un espectro de frecuencias de 5 a 35 Hz: Resistencia de la vía aérea (R) en rojo, Reactancia (X) formada por: Capacitancia en azul e Inertancia en negro.

motivos, la IOS es un examen complementario de la espirometría en la evaluación funcional respiratoria y una buena alternativa en el caso de que el paciente no pueda realizar exámenes que requieren de mayor cooperación y coordinación como la espirometría (29).

En conclusión, los exámenes de función pulmonar son de gran utilidad en pediatría para el apoyo en el diagnóstico, evaluación terapéutica, determinación de la progresión de la enfermedad y pronóstico, de pacientes afectados por enfermedades respiratorias crónicas o recurrentes y enfermedades sistémicas que comprometan al aparato respiratorio a nivel pulmonar o de la caja torácica. Un examen de función pulmonar practicado sin las exigencias necesarias en cada caso, puede llevar a falsas interpretaciones diagnósticas. Por lo tanto, para que estos exámenes tengan un rol en el manejo clínico de estos niños, deben estar realizados en un laboratorio confiable, con altos niveles de control de calidad, con la participación activa de un médico idóneo en el tema, responsable de los informes y de la continua actualización de las técnicas.

## BIBLIOGRAFIA

- 1/** Linares M, Sanchez I, Corrales R, Díaz A, Escobar A. Pruebas de función pulmonar en el niño. Rev. Chil. Pediatr. 2000; 71 (3): 228-244.
- 2/** American Thoracic Society. Standardization of spirometry: 1994 Update. Am J Respir Crit Care Med 1995; 152: 1107-36.
- 3/** Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC: Lung volumes and forced ventilatory flows. Official Statement of the European Respiratory Society. Eur Respir J 1993; 6: 5-83.
- 4/** Arets HG, Brakel HJ, van der Ent CK. Forced expiratory manoeuvres in children: do they meet ATS and ERS criteria for spirometry? Eur Respir J 2001; 18: 655-666.
- 5/** Aurora P, Stocks J, Oliver C, Saunders C, Castle R, Chaziparasidis G, Bush A: Quality control for spirometry in pre-school children with and without lung disease. Am J Respir Crit Care Med 2004; 169: 1152-59.
- 6/** Linares M, Contreras I., Cox PP, Burgos P, Lara J, Meyer R. Evaluación del rendimiento de la espirometría en preescolares sanos con estandarización adaptada a este grupo etario. Rev Chil Enf Respir, 2006, 22:155-163.
- 7/** Lebowitz M, Quanjer P: ERS Statement on Peak Expiratory Flow. Eur Respir J 1997; 10: 1s-83s.
- 8/** Moreno R, Oyarzún M: Recomendaciones sobre informe espirométrico. Primera Parte. Enferm Respir Cir Torac 1988; 4: 97-103.
- 9/** Moreno R, Oyarzún M: Recomendaciones sobre informe espirométrico. Segunda Parte. Enferm Respir Cir Torac 1988; 4: 138-49.
- 10/** Godfrey S, Springer C, Noviski N, Maayan Ch, Avital A: Exercise but not methacholine differentiates asthma from chronic lung disease in children. Thorax 1991; 46: 488-92.
- 11/** Linares M, Concha I, y Meyer R. Correlación entre la espirometría y la resistencia (Rrs) y reactancia (Xrs) respiratoria medida por Oscilometría de Impulso (IOS), en niños asmáticos. Rev Chil Enf Respir 2002; 18: 90-98.
- 12/** Knudson RJ, Lebowitz MD., Holberg Cl., Borrows B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume with growth and aging. Am Rev Respir Dis 1983; 127:725-734.
- 13/** Gutiérrez M, Rioseco F, Rojas A, Casanova D: Determinación de valores espirométricos en una población chilena normal mayor de 5 años, a nivel del mar. Rev Med Chile 1996; 124: 1295-306.
- 14/** Corrales R, Fierro AM, Gutiérrez M, et al: Valores espirométricos normales para niños chilenos. Rev Chil Enf Respir 1992; 8: 148-57.
- 15/** Godfrey S, Kamburoff PL, Nairn JL: Spirometry, lung volumes and airway resistance in normal children ages 5 to 18 years. Br J Chest 1970; 64: 15-24.
- 16/** Jiménez J, Ceruti E, Casar C, Díaz A: Flujo espiratorio máximo (FEM) en escolares chilenos medido con el aparato de Wright. Rev Med Chile 1978; 106: 12.
- 17/** Joos GF, O'Connor B, Anderson SD, Chung F, Cockcroft DW, Dahlen B, DiMaria G, Foresi A, Hargreave FE, Holgate ST, Inman M, Lotvall J, Magnussen H, Polosa R, Postma DS, Riedler J; ERS Task Force. Indirect airway challenges. Eur Respir J. 2003; Jun 21 (6): 1050-68.
- 18/** Godfrey S, Bar-Yishay E: Exercised-induced asthma revisited. Respir Med 1993; 87: 331-44.
- 19/** Mallol J, Auger F, Simmonds S, Ovalle R, Figueroa L: Reactividad bronquial al ejercicio y metacolina en niños asmáticos chilenos. Rev Chil Enf Respir 1996; 12: 95-102.
- 20/** Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, Enright PL, Hankinson JL, Irvin CG, MacIntyre NR, McKay RT, Wanger JS, Anderson SD, Cockcroft DW, Fish JE, Sterk PJ. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing-1999. Am J Respir Crit Care Med. 2000 Jan;161(1):309-29.
- 21/** Ancic P, Moreno R: Recomendaciones para las pruebas de provocación bronquial farmacológica. Rev Chil Enf Respir 199; 7: 132-41.
- 22/** Sterk P, Fabbri L, Quanjer Ph, et al: Airway Responsiveness. Standardized challenge testing with pharmacological, physical and sensitizing stimuli in adults. Eur Respir J 1993; 6 (Suppl 16): 53-83.

**23/** McFadden E, Gilbert I: Review articles. Exercise-induced asthma. N Engl J Med 1994; 330: 1362-7.

**24/** Haby M, Anderson S, Peat J, Mellis C, Toelle B, Woolcock A: An exercise challenge protocol for epidemiological studies of asthma in children: comparison with histamine challenge. Eur Respir J 1994; 7:43-9.

**25/** Cockcroft DW, Killian DN, Mellon JJA, Hargreave FE: Bronchial reactivity to inhaled histamine: a method and a clinical survey. Clin Allergy 1977; 7: 235-47.

**26/** Sánchez I, Clavería C, Alvarez C, Lisboa C: Tensión transcutánea de oxígeno y sibilancias en la evaluación de la reactividad bronquial en niños sanos y asmáticos de 3 a 6 años. Rev Chil Enf Respir 1997; 13: 138-45.

**27/** Corrales R, Leiva A, Moreno R: Influencia del crecimiento y desarollo en la respuesta bronquial a metacolina. Enf Respir Cir Torac 1990; 6: 40 (A).

**28/** Vogel J, Smidt U. Impulse Oscillometry. Analysis of lung mechanics in general practice and the clinic, epidemiological and experimental research. 1994, Ed pmi Verlagsgruppe GmbH. Frankfurt am Main, Germany.

**29/** Hellinckx J, De Boeck K, Demedts M. No paradoxical bronchodilator response with forced oscillation technique in children with cystic fibrosis. Chest. 1998; 113: 55-59.

**30/** American Thoracic Society. Lung Function Testing: Selection of reference values and interpretative strategies. Am Rev Respir Dis 1991; 144:1202-1218.