

# Oscilometría de impulso (IOS) en niños

**Klgo. Rodolfo Meyer Peirano**

Laboratorio de Función Pulmonar Infantil  
Hospital Padre Hurtado

## Resumen

Este artículo tiene como propósito revisar aspectos fisiológicos, técnicos y clínicos de la oscilometría de impulso aplicada en pediatría; ya que en la actualidad tiene un rol importante en el estudio de la mecánica respiratoria. Es una interesante aproximación al diagnóstico funcional del sistema respiratorio por su fácil realización; en cuanto no necesita de la cooperación activa del paciente, se obtienen resultados comprensibles del sitio y magnitud de la alteración, puede complementar las pruebas de provocación, pesquisar precozmente la respuesta broncodilatadora y participar en el seguimiento de enfermedades crónicas.

**Palabras Claves:** Función pulmonar, resistencia, oscilometría, niños.

## INTRODUCCIÓN

La oscilometría de impulso (IOS) ha sido introducida como una modalidad alternativa o complementaria a las pruebas de función pulmonar convencionales<sup>(1)</sup> y a diferencia de éstas, no utiliza maniobras dependientes del esfuerzo respiratorio, sino que utiliza pequeñas señales de presión externas sobrepuestas a la ventilación espontánea del sujeto que permiten determinar la impedancia del sistema respiratorio<sup>(2)</sup>.

La impedancia, corresponde al impedimento natural al flujo de aire que ofrece el sistema respiratorio, que incluye tanto las pérdidas friccionales como cargas elásticas e inerciales<sup>(3)</sup>. Además, al evitar el esfuerzo -como maniobra- se elimina también la influencia del tono broncomotor en la respuesta<sup>(4)</sup>. A pesar que, han transcurrido más de 50 años de las primeras publicaciones de DuBois y colaboradores<sup>(5,6)</sup>, pareciera que aún la comprensión y uso de la medición de resistencias respiratorias a través del método de oscilación forzada, en particular la IOS sigue siendo difícil y poco desarrollada en nuestro medio. No obstante, el mayor crecimiento ha ocurrido en los últimos 15 años<sup>(7,8)</sup>.

Cogswell et al, en 1973 aplicó esta técnica por primera vez en niños (entre 3 y 12 años), sanos, asmáticos y con fibrosis quística, sugiriendo su amplia utilidad en pediatría<sup>(9)</sup>. El avance de este método ha ido en paralelo con el avance tecnológico en particular los sistemas computacionales que han facilitado su aplicación técnica e interpretación clínica, obteniéndose el año 2007 las guías ATS/ERS que la incluye como método estandarizado para la evaluación de función pulmonar en el niño preescolar<sup>(3)</sup>. Técnicamente, la IOS se

logra aplicando pulsaciones tipo "popping" con un pequeño parlante que es activado eléctricamente por el computador (Figura 1), el cual se deforma en sentido positivo y negativo para generar pequeños flujos que ingresan al sistema respiratorio durante la respiración espontánea del sujeto<sup>(8)</sup> lo que permite un completo análisis comprensivo de la mecánica respiratoria a través de mediciones de la resistencia no elástica (vía aérea) y elásticas (pulmón y tórax) en forma simultánea, conocida como impedancia respiratoria<sup>(2)</sup>. El análisis de la respuesta se realiza en una escala de frecuencias entre 5 y 30 Hertz (Hz), para lo cual se utiliza el método de transformación rápida de Fourier (FFT), el que traslada los datos registrados en el dominio del tiempo, al dominio de una

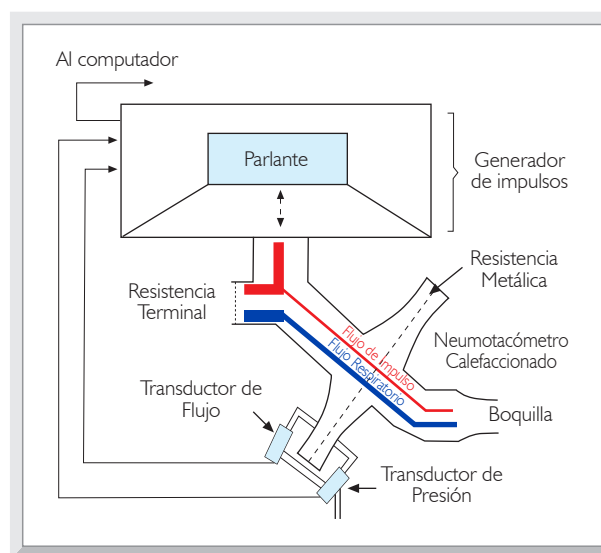


Figura 1.- Esquema del parlante generador de la oscilación forzada conectado a una resistencia terminal, al neumotacómetro, al computador y boquilla. Se ilustra en azul y rojo el flujo del paciente y parlante respectivamente, que son medidos por el neumotacómetro y observados en el monitor del computador (no mostrado).

Correspondencia: Rodolfo Meyer Peirano. Kinesiólogo Respiratorio Hospital Padre Hurtado. Magíster en Pedagogía Universitaria. Profesor Titular Universidad Mayor, Especialista en Kinesiología Respiratoria - DENAKE, Terapeuta Respiratorio Certificado - ICRC. E-mail: romepes@gmail.com

escala de frecuencias y que es el mismo principio usado en los registros electrocardiográficos<sup>(2,11)</sup>.

## PARÁMETROS Y ASPECTOS METODOLÓGICOS

La impedancia del sistema respiratorio ( $Z_{rs}$ ) se define como la fuerza neta necesaria que se debe ejercer para mover el gas dentro y fuera del sistema respiratorio, que incluye: vía aérea, pulmones y pared del tórax. Para medir la  $Z_{rs}$  se aplica una presión oscilatoria de gas al sistema y se mide el flujo resultante como respuesta ( $Z = \text{presión/flujo}$  o  $Z = P/V'$ ). La presión necesaria para poder realizar la entrada del gas al sistema, debe vencer 3 fuerzas: La resistencia ( $R$ ) de la vía aérea, la elastancia ( $E$ ) del tórax y pulmón y la inercia<sup>(1)</sup> propia del gas<sup>(8,10)</sup>.

La ecuación de movimiento del sistema se conoce como:

$$\text{Presión} = R(V_y) \times E(V) \times I(V_{yy}), \text{ donde:}$$

$$V = \text{Volumen}; V_y = \text{Flujo y } V_{yy} = \text{Aceleración}$$

La  $Z_{rs}$  depende además de la frecuencia de oscilación; a bajas frecuencias, la  $I$  es despreciable, la  $R$  es menos importante y la  $E$  es dominante; en cambio a altas frecuencias, esta relación es inversa. Las propiedades mecánicas viscoelásticas que tiene el tejido tóraco-pulmonar cambian con la frecuencia de movimiento y es por esta razón que el análisis se realiza a través de un espectro o escala de frecuencias, lo que a la vez permite también discriminar entre los distintos componentes del sistema respiratorio<sup>(10)</sup>.

Entonces, se asume como ecuaciones equivalentes

$$Z = P/V' \text{ y } Z = R + X, \text{ donde:}$$

$$R = \text{Resistencia de la vía aérea;}$$

$$X = \text{Reactancia del sistema tóraco-pulmonar}$$

## RESISTENCIA RESPIRATORIA ( $R_{rs}$ )

Los componentes de la resistencia incluyen: resistencia central (proximal) y periférica (distal) de la vía aérea, como también resistencias del tejido pulmonar y de la pared del tórax<sup>(12)</sup>.

La  $R_5$  (resistencia a 5Hz) o resistencia total de la vía aérea (Figura 2), está dentro de rangos normales cuando la DS es  $\pm 1,64$  del valor predictivo. Si el valor de  $R_5$  está entre  $1,64$  y  $2$  DS la obstrucción es leve, si es mayor  $2$  DS es moderada y si es mayor  $4$  DS es severa<sup>(2)</sup>. También se han considerado valores normales a aquellos que no excedan el 150% del valor predictivo, lo que sería equivalente a una disminución del 20% del volumen espiratorio forzado durante el primer segundo ( $VE_{F1}$ ) y un aumento del 50% de la resistencia de la vía aérea ( $R_{aw}$ )<sup>(13-15)</sup>.

Cuando existe obstrucción en la vía aérea, el valor de  $R_5$  está aumentado por sobre los rangos normales y el lugar de la obstrucción es inferido en relación a la función de frecuencia

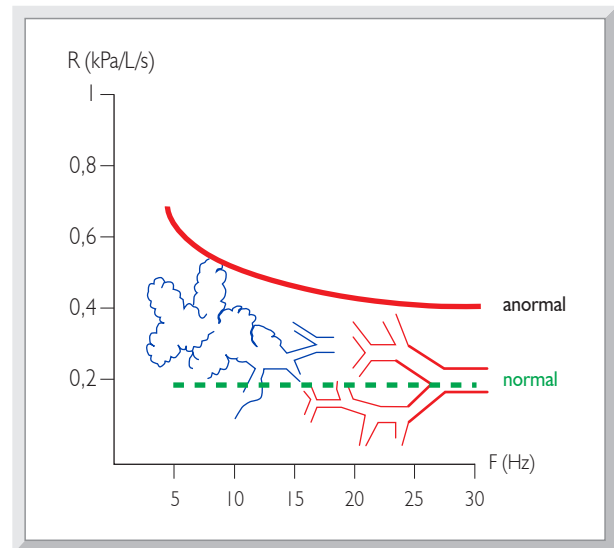


Figura 2.- Gráfico que muestra en el eje vertical el nivel de resistencia ( $R$ ) de la vía aérea medida en función de una escala de frecuencia ( $F$ ) con valores normales (línea verde) y anormales (línea roja), que puede ser el caso de un niño asmático con respuesta al broncodilatador. De fondo se ilustra la relación entre la escala de frecuencia y el sitio de resistencia de la vía aérea, a menor frecuencia evalúa vía aérea periférica y viceversa.

de oscilación, lo que se relaciona con la edad, y que en general es, a menor edad mayor resistencia de vía aérea. Cuando el patrón de obstrucción es sólo de la vía aérea central o proximal el aumento de  $R_{rs}$  es independiente de la frecuencia de oscilación<sup>(16)</sup>. En situaciones en que el patrón de obstrucción implica a la vía aérea distal o periférica, la  $R_{rs}$  aumenta a bajas frecuencias de oscilación y disminuye a altas frecuencias de oscilación.

Esto se explica a causa de la redistribución no homogénea del gas intrapulmonar o cambios en las propiedades de reactividad elástica de la vía aérea periférica<sup>(17,18)</sup>. Este fenómeno se conoce como dependencia de las frecuencias, en la medida que aumenta más la resistencia periférica aumenta más la dependencia de frecuencia<sup>(19)</sup>. En los niños preescolares sanos es normal que las resistencias sean dependientes de las frecuencias, en cambio en los adultos significa presencia de obstrucción al flujo en vía aérea periférica<sup>(18,20,21)</sup>.

## REACTANCIA RESPIRATORIA ( $X_{rs}$ )

Es el componente reactivo de la impedancia respiratoria e incluyen las fuerzas de masas inerciales del movimiento de la columna de aire en las vías aéreas de conducción, denominada inercia<sup>(1)</sup> y propiedades elásticas del pulmón periférico, denominada capacitancia ( $C_a$ ) (Figura 3).

La capacitancia es de signo negativo por lo tanto se debe enfatizar que no es sinónimo de compliance ( $C$ ) y es muy prominente a bajas frecuencias. En contraste, la inercia posee signo positivo y es dominante a altas frecuencias. Por lo tanto, la interpretación de la  $X_{rs}$  es altamente dependiente de las frecuencias de oscilación y de la edad del paciente. La reactancia capacitiva distal o  $X_5$ , se interpreta como "la capacidad

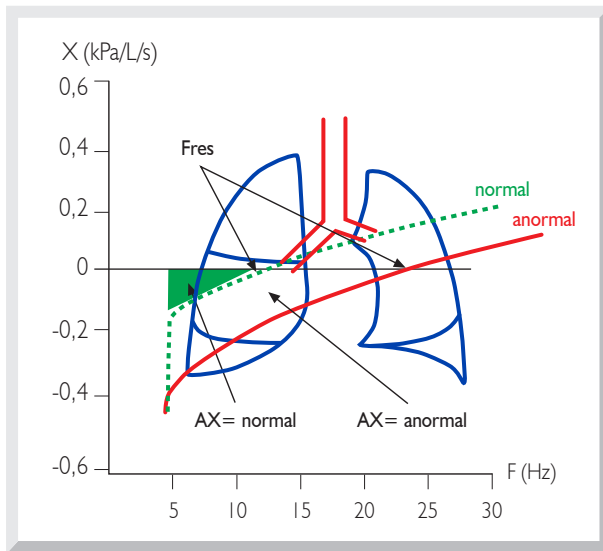


Figura 3.- Gráfico que muestra en el eje vertical el nivel de reactancia (X) tóraco-pulmonar en función de la escala de frecuencia (F) con valores normales (línea verde) y anormales (línea roja). Incluye valores de Frecuencia de resonancia (Fres) y Área de Reactancia (AX) normal y anormal y que puede ser el caso de un niño asmático con respuesta al broncodilatador. De fondo se ilustra la relación entre la escala de frecuencia y el sitio de reactancia. La Reactancia positiva corresponde a componentes inerciales del flujo en la vía aérea (centrales) y Reactancia negativa a componentes elásticos tóraco-pulmonares (periféricos).

del sistema respiratorio para almacenar energía capacitiva, principalmente acumulada en la periferia pulmonar<sup>(4)</sup> algo así como la energía potencial acumulada en un sistema elástico. Sus valores se hacen más negativos siempre que el pulmón tenga una baja capacidad de almacenamiento de energía como ocurre en trastornos de restricción (fibrosis) o de hiperinflación (enfisema), por lo tanto, X5 no es específica para estos tipos de limitaciones y se necesita información adicional para diferenciar obstrucción periférica de la restricción periférica<sup>(2)</sup>.

La frecuencia de resonancia (Fres), se define como el punto en el cual las magnitudes de la reactancia capacitiva e inercial son iguales y tiene un valor igual a cero a distintas frecuencias. Dicho de otra forma, se asume que las resistencias elásticas e inerciales son iguales y opuestas, por lo tanto se cancelan unas con otras<sup>(2)</sup>. La frecuencia de resonancia en niños se registra a frecuencias normalmente más altas que los adultos cuyo valor normal varía entre 7-12 Hz<sup>(22)</sup>. La Fres se encuentra siempre aumentada tanto en trastornos obstructivos como restrictivos y su relevancia está dada en la tendencia individual tanto para la respuesta terapéutica como provocadora<sup>(12,23)</sup>.

El área de reactancia (AX), es el parámetro más nuevo incorporado a IOS y corresponde al índice cuantitativo de la reactancia respiratoria total (Xrs) en todas las frecuencias entre los 5 Hz y la Fres (Figura 2). Este índice integrativo refleja los grados de cambios de obstrucción en la vía aérea periférica y se correlaciona estrechamente con la frecuencia-dependencia de la resistencia<sup>(24,25)</sup> y permitiría evaluar en forma más sensible las respuestas broncodilatadora<sup>(46)</sup> y de los cambios en tratamientos a largo plazo comparado con espirometría<sup>(45)</sup>.

## VARIABILIDAD DE LOS PARÁMETROS

El coeficiente de variación (CV) puede ser usado en casi todos los parámetros y no debiera ser mayor al 10% para Zrs y Rrs superiores a 5 Hz<sup>(8)</sup>. La variabilidad en Xrs es mayor a causa de las características fisiológicas y numéricas implicadas y sus valores pueden ser positivos (en adultos), cercanos a cero o negativos (en niños) por lo tanto, para este parámetro no se recomienda el uso del coeficiente de variación. En consecuencia, para estimar la variabilidad de Rrs y Xrs se sugiere el uso de la desviación estándar, con percentiles del 95% para valores distribuidos normalmente o calcular la diferencia absoluta entre mínimo y máximo de los parámetros de Xrs<sup>(2,26)</sup>.

Existe una variabilidad biológica que depende del ritmo circadiano, variabilidad diaria y de los cambios relacionados a la enfermedad de la vía aérea<sup>(27)</sup>, que corresponde a la variabilidad intrasujeto. Además, depende del tiempo de registro, idealmente entre 15 y 30 segundos y si el patrón respiratorio es regular (a volumen corriente) o irregular (a capacidad vital) lo que correspondería a una combinación de variabilidad inter e intrasujetos<sup>(28,29)</sup>. El examen debiera incluir entre 3 y 5 mediciones con 8 a 16 segundos de duración mínima cada una o más de 4 ciclos respiratorios para su análisis. La variabilidad encontrada en Zrs y Rrs es similar a la de otros métodos como pletismografía, Rint y sGaw<sup>(30)</sup>.

## VALORES DE REFERENCIA

A pesar que, no existe una abundante literatura al respecto, varios trabajos han establecido ecuaciones de referencia que van desde la edad preescolar hasta la adolescencia<sup>(31-34)</sup> y todos los estudios concuerdan en que la Rrs disminuye con el aumento de la talla en los niños preescolares sanos y no existe variación entre géneros<sup>(31,32,35)</sup>. La frecuencia dependencia negativa es más prominente con la disminución de la edad y la Frecuencia de resonancia (Fres) muchas veces supera los 20 Hz, como consecuencia de una reactancia capacitiva distal (X5) muy negativa, esto va disminuyendo con el crecimiento del niño<sup>(35)</sup> llegando en la adolescencia a valores entre 7 y 14 Hz considerados como valores normales de adultos<sup>(36)</sup>. En concordancia, también con el crecimiento los valores para X5 se acercan a 0 o se hacen menos negativos. Duiverman et al<sup>(37)</sup> parece ser la referencia más utilizada para niños, sin embargo se recomienda establecer valores de referencia locales.

## RECOMENDACIONES TÉCNICAS Y CONTROL DE CALIDAD

### Preparación del equipo

Después de 10 minutos de encendido el equipo este, debe ser calibrado diariamente, primero con las variables ambientales o condiciones ATPS (Presión Atmosférica, Temperatura y Humedad Relativa) y luego con una jeringa estándar de 3 litros. Para asegurar la exactitud de los valores medidos además

### PATRONES DE CURVAS DE IOS

#### Patrón Normal

**Resistencia (R)**  
-Consumo de Energía-



R5 Resistencia Total  
R20 Resistencia Proximal

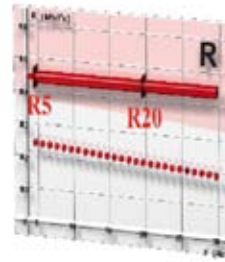
**Reactancia (X)**  
-Acumulación de Energía-



X5 Resistencia Capacitiva Distal  
Fres Frecuencia de Resonancia

#### Obstrucción Proximal

**Resistencia (R)**



R5 normal ( $\geq 150\%$  pred.)  
 $\Delta R5-R20 < 10\%$  no dependiente de la frecuencia

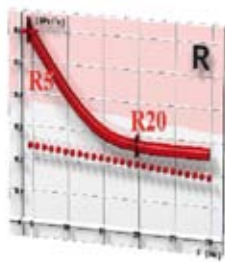
**Reactancia (X)**



X5 normal

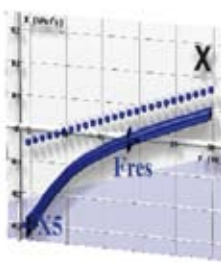
#### Obstrucción Distal

**Resistencia (R)**



R5 anormal ( $\geq 150\%$  pred.)  
 $\Delta R5-R20 > 10\%$  no dependiente de la frecuencia

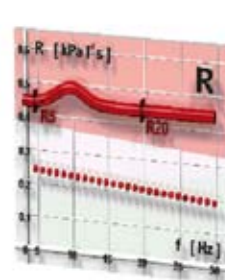
**Reactancia (X)**



X5 anormal  
<X5 pred. - 0,15 kPa/l/s

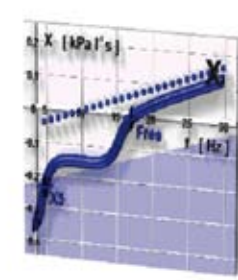
#### Obstrucción Extratorácica

**Resistencia (R)**



R5 anormal ( $\geq 150\%$  pred.)  
Con aumento de R a 10 Hz

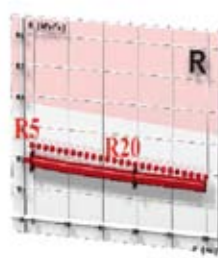
**Reactancia (X)**



Meseta en la curva de X5

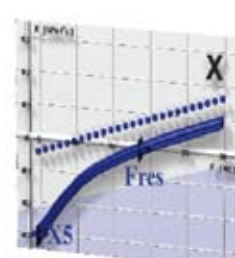
#### Trastorno Neuromuscular

**Resistencia (R)**



R5 y R20 normales

**Reactancia (X)**



X5 anormal  
<X5 pred. - 0,15 kPa/l/s

se debe calibrar con una resistencia de  $2 \text{ kPa} \times \text{L}^{-1} \times \text{s}$ , y que los valores obtenidos para toda la escala de frecuencias debe ser  $\leq a 10\%$  o  $\leq a 0,1 \text{ kPa} \times \text{L}^{-1} \times \text{s}$ . Idealmente se recomienda realizar la calibración con el filtro antibacteriano incorporado. El neumotacómetro utilizado es del tipo de sensor de flujo de presión diferencial o tipo Lilly. También, se ha descrito la calibración con jeringas de volúmenes proporcionales según la edad, es decir jeringas menores a 3 litros para equipos que miden niños pequeños. En los niños que son capaces de realizar espirometría forzada, la IOS debe precederla para evitar la influencia del esfuerzo y en aquellos preescolares muy pequeños, entre 2 a 4 años, la IOS sirve además como técnica facilitadora para la realización de espirometría posterior.

### Preparación el paciente

La medición se realiza en posición sentada erguida con la cabeza en posición neutra o levemente extendida utilizando una silla fija (sin ruedas) y sin movimientos de las extremidades. Como la señal oscilatoria se aplica con la vía aérea abierta y respirando tranquilamente a nivel de capacidad residual funcional (volumen corriente), por lo tanto previamente al niño debe ser familiarizado con la boquilla poniéndola primero en sus manos y luego el mismo en su propia boca, momento en el cual se advierte el sellado externo con los labios y la no introducción de la lengua por el interior de la boquilla, lo cual evitará artefactos de pérdida o aumento de resistencia respectivamente. También, se le instruye el uso obligatorio de la pinza nasal.

En los niños mayores, se debe instruir el uso de ambas manos apoyando firmemente las mejillas con el propósito de evitar que se disipen las presiones oscilatorias a nivel de la boca y puedan introducirse adecuadamente al sistema respiratorio. Para los niños menores, particularmente preescolares, el operador debe afirmar con una mano ambas mejillas pasando externamente por el piso de la boca, esto permite evaluar movimientos de la lengua o deglución que pueden afectar el registro.

### Realización técnica

Antes de conectarse el paciente al equipo, el programa se pone en funcionamiento y tanto el registro visual del paciente como del registro gráfico en la pantalla del equipo son muy importantes para el control de calidad. En la pantalla se debe registrar una respiración tranquila durante 30 segundos en los niños escolares y en los preescolares como se dijo antes, 15 a 20 segundos o al menos 4 ciclos respiratorios que no muestren mesetas o "plateau" por suspensión del flujo a causa de cierre glótico, deglución o tos, también son causa de eliminación de registro las respiraciones irregulares o hiper-ventilación aguda, como también fugas de gas entorno a la boquilla. Adicionalmente, se puede realizar una medición a capacidad vital lenta en sujetos en que son muy estables en su función pulmonar, dotando a la medición en mayor sensibilidad para la detección de aumento de resistencias en

condiciones de volúmenes pulmonares mayores a la ventilación corriente.

### Criterios de aceptabilidad

La función de coherencia ha sido utilizada como una variable importante para la aceptación de mediciones, corresponde a un número entre 0 y 1 y es similar al coeficiente de correlación que proporciona un índice de causalidad entre la entrada (*input*) y salida (*output*) en un sistema lineal. Los valores esperados debieran ser superiores a 0.95; si fueran menores se atribuye a presencia de ruidos no respiratorios, sin embargo tanto niños pequeños como pacientes portadores de bronquilitis obliterante pueden tener coherencias bajas o inferiores a 0.7 a 5Hz y no lo haría un registro incorrecto sino más bien propio de la condición clínica de obstrucción, recordar que la turbulencia aérea por obstrucción bronquial genera aumento de ruidos respiratorios que están representados por coherencias bajas. Aunque, en preescolares no se puede ofrecer una recomendación general y como es un valor dependiente de frecuencias bajas, se sugiere observar valores  $\geq a 0.9$  a partir de los 10 Hz. Los otros criterios de aceptabilidad se relacionan con el control visual del examen que no tenga interferencias ni artefactos, descriptos previamente.

### Criterios de reproducibilidad

Aunque se ha descrito en niños sanos un rango de variabilidad entre 5 y 14%<sup>(38)</sup> como también una significativa influencia del ritmo circadiano en niños asmáticos que llega al 20%<sup>(39)</sup> las recomendaciones son las siguientes. Un total entre 3 o 5 mediciones técnicamente aceptables pueden ser registradas con un CV no mayor al 10% para Zrs y Rrs. Si esto no se produce puede haber una sub o sobreestimación de la respuesta broncodilatadora y pruebas de provocación, afectando finalmente el control de la enfermedad respiratoria.

## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Debido al amplio uso de la espirometría, algunos investigadores han intentado buscar alguna correlación entre los parámetros de IOS y espirometría, lo cual no es muy apropiado ya que conceptualmente utilizan maniobras y formas de estudiar la mecánica respiratoria diferente. Algunos niños sin respuesta al broncodilatador en una espirometría normal si exhiben de forma frecuente una respuesta al salbutamol empleando IOS<sup>(40,41)</sup>, como también pacientes con alteración de parámetros en IOS, muestren espirometría normal o alterada con y sin respuesta al uso de  $\beta_2$ -agonista<sup>(42)</sup>.

Por lo tanto, debe ser enfatizado el carácter complementario de la IOS al resto de las pruebas de función pulmonar y la importancia cuando se realiza como único examen posible de realizar cuando el paciente no coopera o es incapaz de

Tabla 1.- Esta tabla resume los valores normales y distintos niveles de anormalidad combinando R5 y X5. La función pulmonar debe ser evaluada utilizando ambos parámetros y es anormal siempre que cada uno o ambos estén alterados.

Resistencia [kPa/(l/s)] R5% valor predictivo	X5 mayor al predictivo-0,15	X5 menor al predictivo-0,15	X5 menor al predictivo-0,3	X5 menor al predictivo-0,6
< 150	normal	leve	moderada	severa
≥ 150 < 200	leve	moderada	severa	severa
≥ 200 < 300	moderada	severa	severa	severa
> 300	severa	severa	severa	severa

realizar un esfuerzo máximo como exige la espirometría (secueledos severos de infecciones respiratorias, trastornos neurológicos, trastornos neuromusculares y miopatías, síndromes genéticos)<sup>(43)</sup>.

La mayoría de los estudios realizados han sido diseñados para validar la técnica con los otros métodos<sup>(30,33,44)</sup>, evaluar la capacidad de detectar obstrucción de la vía aérea en niños enfermos y compararlos con niños sanos<sup>(8)</sup>, cuantificar la obstrucción bronquial, la respuesta broncodilatadora e hiperreactividad a las pruebas de provocación y en distintas condiciones como desde el servicio de urgencia hasta el laboratorio<sup>(45)</sup>.

La interpretación de los resultados obtenidos debe considerar la mayor sensibilidad de IOS respecto de la espirometría en cuanto a la condición clínica del niño al momento de la medición, es decir se correlaciona mejor con los síntomas actuales y también con el seguimiento de la enfermedad respiratoria. La tabla 1, sugiere los rangos de normalidad y grados de anormalidad según los datos obtenidos en distintos estudios y correlacionados con otros métodos que miden resistencia de la vía aérea como pletismografía, del interruptor u oclusión y compliance<sup>(2,3,8)</sup>. Se ilustran los patrones posibles de observar en condición de normalidad y en distintas alteraciones que posibilita obtener un diagnóstico diferencial funcional respecto del lugar más dominante de aumento de resistencia, ya sea de la vía aérea o del pulmón o ambas.

### Identificación de hiperreactividad bronquial (HRB)

La interpretación de los cambios en los parámetros obtenidos como respuesta de los agentes broncomotores debe considerar la variabilidad de ese parámetro. Una respuesta positiva es aquella que muestra un cambio de más de dos veces el CV del valor promedio basal. La magnitud del cambio también puede ser expresado como la diferencia entre el valor post-broncodilatador (o broncoconstrictor) de Rrs y el valor de Rrs basal dividido por el valor de la DS basal, esta relación se define como score DS.

### Pruebas de provocación

La utilización de metacolina como agente broncoconstrictor ha sido aplicado ampliamente para la detección de HRB. La realización de esta prueba con sus 2 métodos disponibles, que son por dosis o por concentración, permite establecer el umbral de HB a través de la PD20 o PC20 respectivamente utilizando el VEF<sub>1</sub> como parámetro, que corresponde a una disminución del 20% del VEF<sub>1</sub> basal a una dosis o concentración de metacolina dada.

En niños, se ha establecido como PD40 Rrs o PD50 utilizando distintas drogas broncoesasmódicas<sup>(47)</sup>, que significa un aumento de las resistencias respiratorias entre un 40 o 50% respecto del valor basal, tal como ocurre con las resistencias pletismográficas<sup>(48)</sup>. Se ha correlacionado estrechamente y en forma lineal a PD20 de VEF<sub>1</sub> con PD40 de Rrs<sup>(49)</sup>; sin embargo, en algunos pacientes el aumento de la Rrs se logra entre 2 a 3 dosis previas a la disminución del VEF<sub>1</sub> o en pacientes que a dosis máxima de metacolina (16 mg/ml) son normales, la IOS muestra un aumento de las resistencias.

### Reversibilidad

Cuando los parámetros basales están alterados, los distintos estudios realizados han permitido sugerir como punto de corte para la condición de reversibilidad, una disminución en 12% de la Rrs respecto del valor basal<sup>(18,41)</sup>.

### Respuesta broncodilatadora

El uso de valores porcentuales (%) es lo más utilizado para establecer la respuesta broncodilatadora, sin embargo también se usan fórmulas que consideran la DS. Para los valores porcentuales, una reducción en el rango de 20-25% de la Rrs correspondería a una respuesta broncodilatadora significativa, incluyen en este criterio los parámetros de Zrs o Z5, R5, R20 y para Fres 20%<sup>(40,41,46)</sup>. Cuando se compara con valores espirométricos, el uso de DS se debe considerar una disminución de Rsr e I DS lo que correspondería a una respuesta broncodilatadora significativa<sup>(51)</sup>.

## REFERENCIAS

- 1) Al-Mutairi SS, Sharma PN, Al-Alawi A, Al-Deen JS. Impulse oscillometry: an alternative modality to the conventional pulmonary function test to categorise obstructive pulmonary disorders. *Clin Exp Med* 2007; 7: 56-64.
- 2) Smith HJ, Reinhold P, Goldman MD. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. *Eur Respir Mon* 2005; 31: 72-105.
- 3) Beydon N et al. An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Pulmonary Function Testing in Preschool Children. *Am J Respir Crit Care Med* 2007; 75: 1323-8.
- 4) Navajas D, Farré R. Oscillation mechanics. *Eur Respir Mon* 1999; 4: 112-40.
- 5) DuBois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BF. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. *J Appl Physiol* 1956; 8: 587-94.
- 6) Vogel J, Smidt U. Impulse Oscillometry - Analysis of Lung Mechanics in General Practice and the Clinic, Epidemiological and Experimental Research. Frankfurt, Pmi Verlagsgesellschaft GmbH 1994.
- 7) Van de Woestijne KP, Desager K, Duiverman EJ, Marchal F. Recommendations for measurement of respiratory input impedance by means of the forced oscillation method. *Eur Respir Rev* 1994; 4: 235-37.
- 8) Oostveen E, McLeod D, Lorino H, Farre R, Hantos Z, Desager K, Marchal F. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. *Eur Respir J* 2003; 22: 1026-41.
- 9) Cogswell JJ. Forced oscillation technique for determination of resistance to breathing in children. *Arch Dis Child* 1973; 48: 259-66.
- 10) Ruppel GL. Manual of Pulmonary Function Testing. 9<sup>a</sup> Ed. 1999 Mosby. Chapter 8 y 9, páginas 269-70; 302-4.
- 11) Christenson DW, Reddy BRS, Rowlandson GI. Evaluation of Fourier transform filter for high-resolution ECG. *J of Electrocard* 1990; 22: S1 33-40.
- 12) Pride N. Forced oscillation techniques for measuring mechanical properties of the respiratory system. *Thorax* 1992; 47: 317-20.
- 13) Van Noord J, Clément J, Van de Woestijne K, Demedts M. Total respiratory resistance and reactance as a measurement of response to bronchial challenge with histamine. *Am Rev Respir Dis* 1989; 139: 921-26.
- 14) Bouaziz N, Beyaert C, Gauthier R, Monin P, Peslin R, Marchal F. Respiratory system reactance as an indicator of the intrathoracic airway response to methacholine in children. *Pediatr Pulmonol* 1996; 22: 7-13.
- 15) Duiverman EJ, Neijens HJ, Van der Snee-van Smaalen, Kerrebijn KF. Comparison of forced oscillometry and forced expirations for measuring dose-related responses to inhaled methacholine in asthmatic children. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1986; 22: 33-36.
- 16) Ländser F, Clément J, Van De Woestijne K. Normal values of total respiratory resistance and reactance determined by forced oscillations. Influence of smoking. *Chest* 1982; 81: 586-91.
- 17) Lorino AM, Zerah F, Mariette C, Harf A, Lorino H. Respiratory resistive impedance in obstructive patients: linear regression analysis vs viscoelastic modelling. *Eur Respir J* 1997; 10: 150-5.
- 18) Delacourt C, Lorino H, Herve-Guillot M, Reinert P, Harf A, Housset B. Use of the forced oscillation technique to assess airway obstruction and reversibility in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 730-6.
- 19) Cauberghe M, Van de Woestijne KP. Changes of respiratory input impedance during breathing in humans. *J Appl Physiol* 1992; 73: 2355-62.
- 20) Clément J, Dumoulin B, Gubbelsmans R, Hendriks S, Van de Woestijne K. Reference values of total respiratory resistance and reactance between 4 and 26 Hz in children and adolescents aged 4-20 years. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1987; 23: 441-8.
- 21) Solymar L, Aronsson PH, Bake B, Bjure J. Respiratory resistance and impedance magnitude in healthy children aged 2-18 years. *Pediatr Pulmonol* 1985; 1: 134-40.
- 22) Wouters EFM, Polko AH, Schouten HJA, Visser BF. Contribution of impedance measurement of the respiratory system to bronchial challenge tests. *J Asthma* 1988; 25: 259-67.
- 23) Clément J, Ländser F, Van de Woestijne K. Total resistance and reactance in patients with respiratory complaints with and without airways obstruction. *Chest* 1983; 2: 215-20.
- 24) Goldman M. Clinical application of forced oscillation. *Pulm Pharm & Therap* 2001; 14: 341-50.
- 25) Skloot G, Goldman M, Fischer D, et al. Respiratory symptoms and physiologic assessment of ironworkers at the World Trade Center disaster site. *Chest* 2004; 125: 1248-55.
- 26) Reinhold P, Smith HJ, Langenberg A, Lekeux P. Measurement of respiratory impedance in healthy calves using the impulse oscillation technique - physiological and methodological aspects. *Vet J* 1998; 155: 27-38.
- 27) Goldman M, Carter R, Klein R, Fritz G, Carter B, Pachucki P. Within- and between-day variability of respiratory impedance using impulse oscillometry in adolescent asthmatics. *Ped Pulmonol* 2002; 34: 312-9.
- 28) Barnikol W. Perspektiven einer innovativen funktionsdiagnostik des bronchialsystems [Prospectives of innovative function diagnostics of the bronchial system]. München-Deisenhofen, Dustri-Verlag, Dr. Karl Feistle, 1997; pp. 22-40.
- 29) Peslin R, Ying Y, Gallina C, Duvivier C. Within-breath variations of forced oscillation resistance in healthy subjects. *Eur Respir J* 1992; 5: 86-92.
- 30) Klug B, Bisgaard H. Measurement of lung function in awake 2-4-year-old asthmatic children during methacholine challenge and acute asthma: a comparison of the impulse oscillation technique, the interrupter technique, and transcutaneous measurement of oxygen versus whole-body plethysmography. *Pediatr Pulmonol* 1996; 21: 290-300.
- 31) Clément J, Dumoulin B, Gubbelsmans R, Hendriks S, Van de Woestijne K. Reference values of total respiratory resistance and reactance between 4 and 26 Hz in children and adolescents aged 4-20 years. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1987; 23: 441-8.
- 32) Solymar L, Aronsson PH, Bake B, Bjure J. Respiratory resistance and impedance magnitude in healthy children aged 2-18 years. *Pediatr Pulmonol* 1985; 1: 134-40.
- 33) Klug B, Bisgaard H. Specific airway resistance, interrupter resistance, and respiratory impedance in healthy children aged 2-7 years. *Pediatr Pulmonol* 1998; 25: 322-31.
- 34) Denker M, Malmberg LP, Valind S et al: Reference values for respiratory system impedance by using impulse oscillometry in children aged 2-11 years. *Clin Physiol Funct Imaging* 2006; 26: 247-50.
- 35) Frei J, Jutla J, Kramer G, Hatzakis GE, Ducharme FM, Davis GM. Impulse Oscillometry: Reference Values in Children 100 to 150 cm in Height and 3 to 10 Years of Age. *Chest* 2005; 128: 1266-73.
- 36) Pasker HG, Mertens I, Clément J, Van de Woestijne KP. Normal values of total respiratory input resistance and reactance for adult men and women. *Eur Respir Rev* 1994; 4: 134-37.
- 37) Duiverman EJ, Clément J, van de Woestijne KP, et al. Forced oscillation technique: reference values for resistance and reactance over a frequency spectrum of 2-26 Hz in healthy children aged 2.3-12.5 years. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1985; 21: 171-8.
- 38) Lebecque P, Desmond K, Swartebroeckx Y, Dubois P, Lulling J, Coates A. Measurement of respiratory system resistance by forced oscillation in normal children: a comparison with spirometric values. *Pediatr Pulmonol* 1991; 10: 117-122.
- 39) Reinhold P, Uysteuyst C. The intra-subject variability of respiratory impedance a new parameter of clinical relevance. *Eur Respir J* 2000; 16: Suppl 31, 134s.
- 40) Nielsen KG, Bisgaard H. Discriminative capacity of bronchodilator response measured with three different lung function techniques in asthmatic and healthy children aged 2 to 5 years. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 554-9.
- 41) Hellinckx J, De Boeck K, Bande-Knops J, van der Poel M, Demedts M. Bronchodilator response in 3-6.5 year old healthy and stable asthmatic children. *Eur Respir J* 1998; 12: 438-43.
- 42) Linares M, Meyer R, Soto G. Evaluación de la respuesta broncodilatadora en pacientes secuestrados de adenovirus. *Rev Chil Pediatr* 2004; 75 (supl): S37-S44.
- 43) Castro-Rodríguez JA, Daszencies C, García M, Meyer R, González R. Adenovirus Pneumonia in Infants and Factors for Developing Bronchiolitis Obliterans: A 5-Year Follow-Up. *Pediatr Pulmonol* 2006; 41: 947-53.
- 44) Linares M, Concha I, Meyer R. Correlación entre la espirometría y la resistencia y reactancia respiratoria Medida por Oscilometría de Impulso (IOS), en niños asmáticos. *Rev Chil Enferm Respir* 2002; 18, 2: 90-8.
- 45) Ducharme F, Davis M. Measurement of respiratory resistance in the emergency department. *Chest* 1997; 111: 1519-25.
- 46) Larsen GK, Morgan W, et al. Impulse oscillometry versus spirometry in a long-term study of controller therapy for pediatric asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2009; 123: 861-7.
- 47) Marotta A, Klinnert MD, Price MR, Larsen GL, Liu AH. Impulse oscillometry provides an effective measure of lung dysfunction in 4-year-old children at risk for persistent asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2003; 112: 317-22.
- 48) Duiverman EJ, Neijens HJ, Van der Snee-van Smaalen M, Kerrebijn KF. Comparison of forced oscillometry and forced expirations for measuring dose-related responses to inhaled methacholine in asthmatic children. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1986; 22: 433-6.
- 49) Lebecque P, Spier S, Lapierre JG, Lamarre A, Zinman R, Coates AL. Histamine challenge test in children using forced oscillation to measure total respiratory resistance. *Chest* 1987; 92: 313-8.
- 50) Badier M, Guillot C, Dubus JC. Bronchial challenge with carbachol in 3-6-year-old children: body plethysmography assessments. *Pediatr Pulmonol* 1999; 27: 117-23.
- 51) Pauwels JH, Desager KN, Creten WL, Van der Veken J, Van Bever HP. Study of the bronchodilating effect of three doses of nebulized oxitropium bromide in asthmatic preschool children using the forced oscillation technique. *Eur J Pediatr* 1997; 156: 329-32.