

TRABAJO ORIGINAL

Correlación entre la espirometría y la resistencia y reactancia respiratoria medida por oscilometría de impulso en niños asmáticos

MARCELA LINARES P.*, IDA CONCHA M.* y RODOLFO MEYER P.**

CORRELATION BETWEEN SPIROMETRY AND RESPIRATORY RESISTANCE AND REACTANCE MEASURED BY IMPULSE OSCILLOMETRY IN ASTHMATIC CHILDREN

Impulse oscillometry (IOS) is a technique that measures respiratory resistance (Rrs) and reactance (Xrs) at several frequencies, through the interpretation of oscillatory impulses overlapping spontaneous breathing. It is a non-invasive, fast and easy to perform technique that requires minimal patient cooperation. Three of the most sensitive parameters to evaluate peripheral airways obstruction are resistance and reactance at 5 Hertz (Rrs5 and Xrs5), and resonance frequency (RF). The aim of this study was to evaluate the correlation between spirometry and IOS, in asthmatic children. Spirometry and IOS using a Jaeger Masterscreen IOS equipment, were performed in asthmatic children ≥ 6 years old, during a six month period. Only the tests that fulfilled the international criteria of acceptability and reproducibility were used for the study. 98 acceptable tests for both techniques were obtained, in 40 girls and 58 boys of 9.3 y.o. in average (range: 6 to 15 y.o.). FEV₁, FEF₂₅₋₇₅, FEF₂₅, FEF₅₀ and FEF₇₅ were correlated with Rrs5, Xrs5, and RF. Correlation coefficients ranged from $r = 0.5$ to 0.73 ($p < 0.005$ in all correlations). The best correlation obtained was between Rrs5 and FEV₁ ($r = 0.73$) and between Rrs5 and FEF₂₅. ($r = 0.7$). In conclusion, we found a good correlation between spirometry and IOS in this series of 98 asthmatic children. The best correlations obtained were between Rrs5 and FEV₁ and between Rrs5 and FEF₂₅.

Key words: *Impulse oscillometry, spirometry, asthmatic children, respiratory resistance and FEV₁.*

* Pediatra broncopulmonar, Unidad de Gestión Clínica del Niño, Respiratorio Infantil, Hospital Padre Hurtado.

** Kinesiólogo, Unidad de Gestión Clínica del Niño, Respiratorio Infantil, Hospital Padre Hurtado.

RESUMEN

La oscilometría de impulso (IOS) es una técnica a través de la cual se mide la resistencia (Rrs) y la reactancia respiratoria (Xrs) a varias frecuencias simultáneas, a través de la interpretación de impulsos oscilatorios sobrepuestos a la ventilación corriente. Es un método que se realiza en forma rápida, no invasiva, y requiere una cooperación mínima por parte del paciente. Tres de los índices más sensibles para evaluar obstrucción periférica son la resistencia y la reactancia a 5 hertz (Rrs5 y Xrs5), y la frecuencia de resonancia (FR). El objetivo de este trabajo fue correlacionar distintos índices de la espirometría y la oscilometría de impulso (IOS), en niños asmáticos. Durante 6 meses, desde diciembre de 1999, se realiza en forma correlativa IOS y espirometría a todo niño asmático mayor de 6 años de la Unidad de Respiratorio Infantil del Hospital Padre Hurtado, con un equipo Jaeger Masterscreen IOS. Para el análisis de los resultados sólo fueron aceptadas aquellas curvas que cumplieron con los criterios de aceptabilidad y reproducibilidad determinados internacionalmente. Se obtuvo 98 pruebas aceptables para los dos exámenes en 40 niñas y 58 niños, con una edad promedio de 9,3 años (6 a 15 años). Se correlacionó VEF₁, FEF₂₅₋₇₅, FEF₂₅, FEF₅₀, y FEF₇₅ con Xrs5, Rrs5 y FR. Los coeficientes de correlación encontrados oscilaron entre 0,5 y 0,73 ($p < 0,001$ en todas las correlaciones). Las correlaciones mayores entre Rrs5 y VEF₁ ($r = 0,73$); y entre R5 y FEF₂₅ ($r = 0,7$). Los índices espirométricos y la IOS tienen una buena correlación en este grupo de niños asmáticos, la cual es mayor entre Rrs5 y VEF₁ y entre Rrs5 y FEF₂₅.

INTRODUCCIÓN

La oscilometría de impulso (IOS) es una técnica que mide una resistencia compleja del sistema respiratorio sobre una escala de frecuencias, la cual se denomina Impedancia Respiratoria (Zrs), y está constituida por dos componentes: la resistencia (Rrs), y la reactancia (Xrs)¹. La primera representa la resistencia al flujo de la vía aérea; y la segunda tiene dos componentes: la Capacitancia (Crs), que corresponde a la elasticidad tóracopulmonar y los cambios proporcionales de volumen pulmonar, y la Inertancia (Irs) que representa la inercia al movimiento de la columna de aire, en el árbol bronquial².

En el método de oscilación forzada, a diferencia de otras técnicas que miden resistencia, las señales de la relación de presión y flujo requeridas para su cálculo, no son generadas por la ventilación corriente del paciente, sino que provienen de la respuesta del sistema respiratorio a un estímulo de presión externo. En

la oscilometría de impulso IOS, se utiliza la deflación de la membrana de un parlante, estimulada eléctricamente, para generar pulsos de presión, que se sobrepone a la ventilación corriente del paciente. Dependiendo de las condiciones del pulmón, y por lo tanto de la respuesta de flujos generada por el mismo, se obtienen distintas relaciones de presión de impulso y flujo, para el cálculo de la impedancia.

La presión y el flujo se miden 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. Los parámetros que se utilizan para su interpretación son la Xrs medida a 5 Hz (Xrs5), la cual determina la "compliance" del sistema respiratorio; la Rrs medida a 5 y 20 Hz (Rrs5, Rrs20), que establecen la resistencia total y central de la vía aérea respectivamente y la frecuencia de resonancia (FR), que es la frecuencia en la cual la Reactancia tiene valor cero (Figura 1).

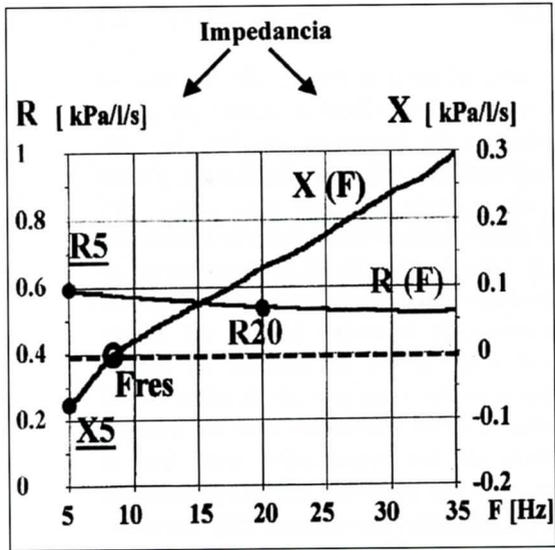


Figura 1. Interpretación gráfica de los resultados de la medición de la resistencia respiratoria con IOS (Impedancia). La impedancia respiratoria está compuesta por: resistencia (R), y reactancia (X); expresados en kPa/L/s, en función de una escala de frecuencias de 5 a 35 Hz. R5: Resistencia a 5 Hz; R20: Resistencia a 20 Hz, X5: Reactancia a 5 Hz; Fres: Frecuencia de resonancia.

Es de amplio conocimiento el gran valor de la espirometría en la evaluación funcional respiratoria. Sin embargo, en niños sólo puede ser realizada en forma aceptable y reproducible a partir de los 6 años de vida.

La 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 pediatría³. Está descrita como una técnica de gran sensibilidad para la detección de obstrucción de la pequeña vía aérea, y es complementaria de otros exámenes de función pulmonar que requieren de mayor cooperación por parte del paciente, como lo es la espirometría⁴⁻⁷.

El objetivo de este trabajo fue correlacionar distintos índices de la espirometría y la IOS en niños asmáticos, para determinar la utilidad de esta última en pediatría.

MATERIAL Y MÉTODO

Durante 6 meses, desde diciembre de 1999, se realizó a todo niño asmático mayor de 6

años de la unidad de Respiratorio Infantil del Hospital Padre Hurtado, una IOS y una espirometría en forma correlativa. Se utilizó un equipo Jaeger MasterScreen IOS, Würzburg, Alemania, disponible comercialmente. Este incluye un neumotacógrafo Jaeger tipo Lilly, con una resistencia de 36 Pa/l/s, una adecuación de + 3%, un rango de flujo de + 20 l/s, y una frecuencia de respuesta de 0 a 50 Hz. Los transductores de flujo y presión tienen una linealidad < 0,5%.

El equipo fue calibrado diariamente con una jeringa de 2 L, y en forma regular con una impedancia de referencia de 0,2 kPa/L/s.

Se aplicaron, en la boca y a través de un parlante, ondas de presión en forma de pulsos cada 0,2 segundos, sobrepuestas a la respiración espontánea. El parlante utilizado está integrado al equipo, y posee una impedancia de 4 ohm y un rango de frecuencias de < 10 kHz a 8 dB.

Las señales de presión y flujo provenientes de los impulsos se separaron de las provenientes de la respiración corriente a través de un análisis de tiempo y frecuencia; y sólo se utilizaron las primeras para el cálculo de la Impedancia. Los datos se analizaron en un procesador Pentium de 266 MHz.

Las Rrs y Xrs fueron calculadas en un espectro de frecuencias de 5 a 35 Hz.

La oscilometría se realizó 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 cual conecta por un extremo hacia el aire ambiental, y por el otro al parlante que envía los impulsos (Figura 2). Los niños realizaron 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 3). Cada medición continuó hasta obtener al menos un período mínimo de 15 segundos sin interrupciones (apnea, deglución) y libre de artefactos (vocalización o tos), observado en tiempo real en la curva de flujo y presión en función del tiempo^{4,5}. Sólo se aceptaron curvas con una *coherencia* mayor a 90% sobre los 10 Hz^{8,9}. La función de *coherencia* es un índice que evalúa la proporción

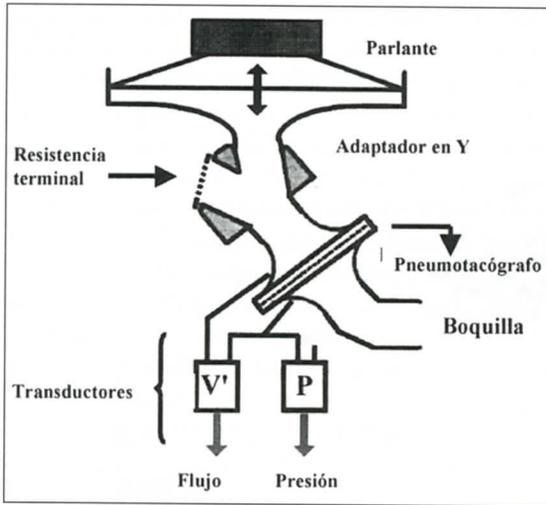


Figura 2. Principio técnico de la medición de la resistencia respiratoria con IOS (impedancia). Boquilla conectada a un neumotacógrafo y este a su vez a un adaptador en "Y", el cual conecta por un extremo hacia el aire ambiental, y por el otro al parlante que envía los impulsos.



Figura 3. Medición en un niño de la resistencia respiratoria con la técnica de oscilometría de impulso (Fotografía publicada con la autorización del paciente y su familia).

de ruido en relación a las señales medidas y la linealidad del sistema estudiado. El examen fue repetido hasta obtener al menos 3 mediciones aceptables.

La espirometría fue realizada en forma repetida, hasta un máximo de 8 veces, y sólo fueron aceptadas aquellas curvas que cumplieron con los criterios de aceptabilidad y reproducibilidad determinados por la Sociedad Americana de Tórax (ATS)¹⁰.

Todos los exámenes del estudio fueron realizados por la misma persona.

Para el análisis de las correlaciones se utilizó el índice de Pearson.

RESULTADOS

Durante un período de 6 meses, desde diciembre de 1999, se obtuvo 98 exámenes que cumplieron con los criterios de aceptabilidad y reproducibilidad para la espirometría y la IOS, en niños con diagnóstico de asma moderado según normas de ATS. La edad promedio fue

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre índices espirométricos e índices obtenidos por oscilometría de impulso en niños asmáticos

Índices Espirométricos	Índices obtenidos por oscilometría de impulso		
	Rrs5	Xrs5	FR
VEF ₁	0,73	0,65	0,58
FEF ₂₅	0,7	0,6	0,64
FEF ₅₀	0,63	0,55	0,6
FEF ₇₅	0,6	0,5	0,6
FEF ₂₅₋₇₅	0,63	0,54	0,6

FEF: flujo espiratorio forzado, el subíndice indica en % el tramo de la CVF

Rrs5: Resistencia respiratoria a 5 Hz; Xrs5: Reactancia a 5 Hz; FR: Frecuencia de resonancia.

Todas las correlaciones fueron estadísticamente significativas: $p < 0,001$

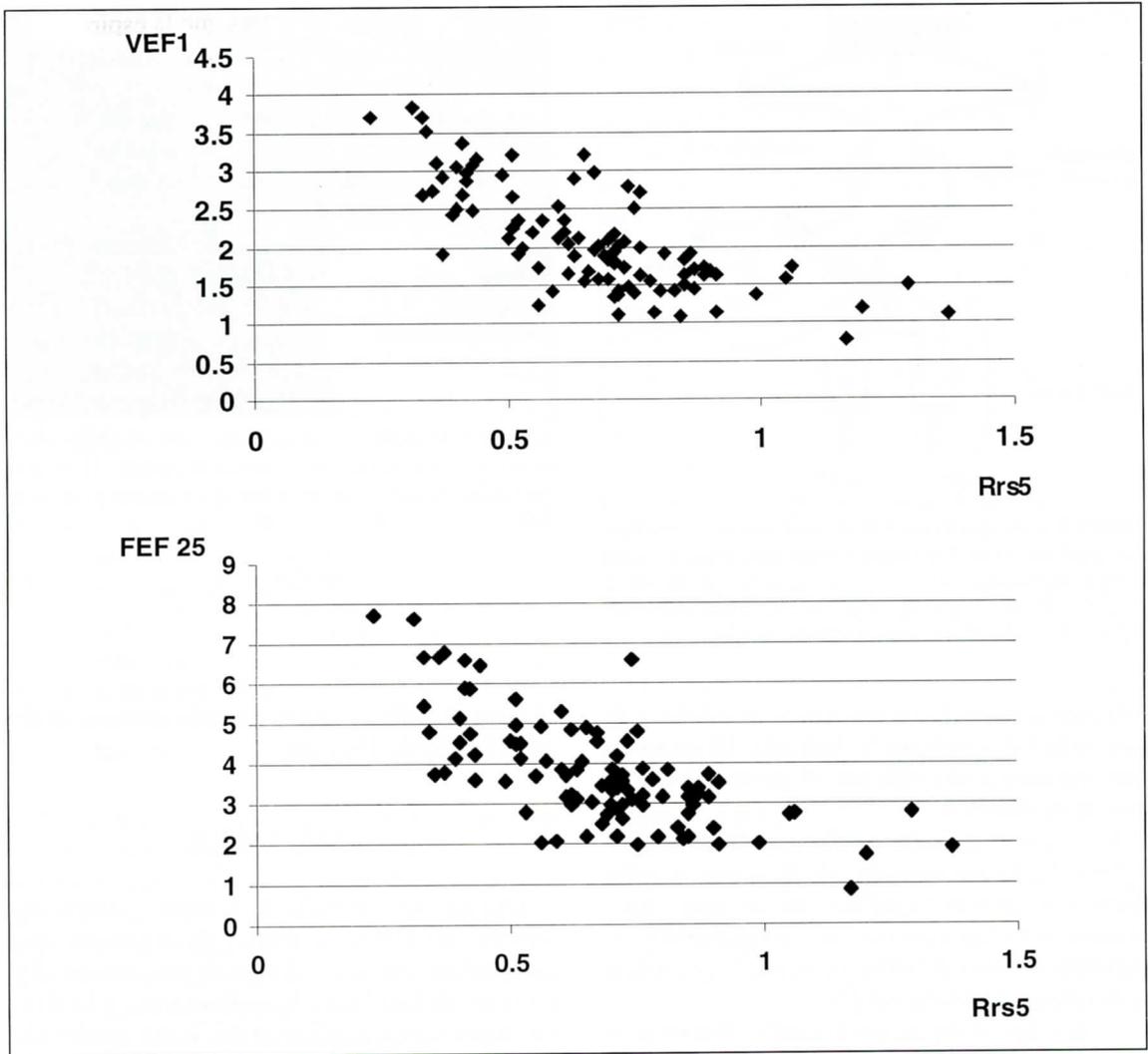


Figura 4. Correlación entre: A) VEF_1 en L y resistencia respiratoria a 5 Hz (Rrs_5) en kPa/L/s. B) FEF_{25} en L/s y Rrs_5 en kPa/L/s.

de 9,3 años, con un rango de 6 a 15 años, y la distribución por sexo fue de 40 niñas, y 58 niños.

El coeficiente de variación intraindividual fue de 19% para Xrs_5 , de 10% para Rrs_5 , y de 4% para FR. Los coeficientes de correlación encontrados se detallan en la Tabla 1, y fueron entre 0,55 y 0,73 con un valor de $p < 0,001$ en todas las correlaciones. Las correlaciones más altas fueron de entre VEF_1 y Rrs_5 ($r = 0,73$), y entre FEF_{25} y Rrs_5 ($r = 0,7$) (Figura 4a y 4b).

DISCUSIÓN

El método oscilatorio para la medición de las propiedades mecánicas del pulmón y tórax, fue descrito por primera vez por Dubois y cols en el año 1956, utilizando el principio conocido como teoría de la onda, y que hasta ese momento sólo había sido aplicado en electricidad¹¹. Es un método que permite determinar la impedancia del sistema respiratorio, a través de la aplicación de variaciones de pre-

sión sinusoidal, y midiendo el flujo resultante. El método oscilatorio ha sido fundamentalmente desarrollado durante los últimos 25 años, y comprende distintas técnicas. Se lo denomina monofrecuente o polifrecuente, según la cantidad de frecuencias que se utilicen para su interpretación; y "Random noise" "Pseudorandom noise" (la misma amplitud para todas las frecuencias aplicadas), u oscilometría de impulso (mezcla de frecuencias en forma de pulsos); según las características de la señal de presión aplicada¹. Esta última fue la utilizada en este estudio.

Muchas veces el pediatra broncopulmonar no puede disponer de un diagnóstico fisiopatológico respiratorio, debido a que el estudio de función pulmonar es difícil de obtener en niños menores. Es así como a pesar de que el valor de la espirometría en la evaluación de la función pulmonar respiratoria, es indiscutible, es un método que generalmente no puede ser realizado en forma satisfactoria en niños menores de 6 años, debido a que se requiere de cierto grado de cooperación y comprensión por parte del niño. La IOS es un procedimiento no invasivo, en el que no es necesaria la cooperación activa ni la sedación del paciente, y se realiza en un tiempo promedio de un minuto³. Todo esto hace que esta técnica sea muy atractiva para su utilización en Pediatría. Puede ser utilizada para evaluar la función pulmonar en todas las edades; incluso en el grupo de preescolares, donde no hay métodos de medición de la función pulmonar de fácil ejecución y universalmente disponibles en la actualidad.

Al correlacionar distintos parámetros de la espirometría con la IOS, obtuvimos valores que oscilaron entre 0,55 a 0,73, con un valor de $p < 0,0001$. El coeficiente de variación intraindividual para cada uno de los parámetros de la oscilometría fue de 10% en Rrs5, 19% en Xrs5, y 4% en FR, lo que es muy similar a lo encontrado en otros estudios⁴. Las correlaciones encontradas no son absolutas y varían según los distintos parámetros. Esto se debe probablemente a tres motivos: primero, ambas técnicas miden variables que manifiestan comportamientos fisiológicos diferentes de la estructura del sistema 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^{16,17}, lo que no ocurre en la medición de IOS.

Con la oscilometría se mide en forma directa la resistencia de la vía aérea total y central, a través de Rrs5 y Rrs20 respectivamente, y la *compliance* del sistema respiratorio a través de Xrs5⁴. En cambio, los volúmenes y flujos obtenidos en la espirometría establecen en forma indirecta la resistencia respiratoria, la cuál a su vez está determinada por la resistencia al flujo de la vía aérea, y la *compliance* del sistema respiratorio¹⁵. El tipo de patología es el que va a determinar cuál de estos dos últimos componentes van a influir en menor o mayor medida en la resistencia respiratoria expresada a través de los flujos de la espirometría.

El componente fisiopatológico que predomina en el asma es la resistencia al flujo de la vía aérea, por lo que es lógico encontrar que los flujos de la espirometría tengan mayor correlación con Rrs5 que con Xrs5 y FR, en el grupo de niños asmáticos aquí estudiado. Incluso se observa una mejor correlación de Rrs5 con los parámetros espirométricos que dependen de la porción temprana de la curva espiratoria máxima: VEF₁ y FEF₂₅ ($r = 0,73$ y $0,7$ respectivamente), que con FEF₅₀, FEF₇₅, o FEF₂₅₋₇₅ (0,63; 0,6 y 0,63 respectivamente). Esto puede ser debido a que los flujos de la primera parte de la curva espiratoria forzada están determinados sobre todo por la resistencia de la vía aérea, mientras que la *compliance* del sistema respiratorio es el componente fisiopatológico que juega un papel más importante en la determinación de los flujos espirados desde el 50% de la CVF. Estos hallazgos concuerdan con lo observado en otras comunicaciones¹⁶.

Cuando las variables de la espirometría están más determinadas por la *compliance* del sistema respiratorio, se correlacionarían mejor con Xrs5 que con Rrs5, como ha sido demostrado en niños con antecedente de prematuridad y enfermedad pulmonar crónica¹⁵.

Por otra parte, la espirometría se realiza en forma forzada, mientras que la IOS se realiza

con el paciente respirando a volumen corriente, por lo que si nos encontramos con una vía aérea inestable o colapsable y de diámetro normal, el aumento de resistencia se puede manifestar solamente en la espirometría, y no en la IOS. Esto se ha observado en pacientes con Fibrosis Quística, en los que la espirometría puede ser más sensible que la IOS para detectar obstrucción¹⁸. Esto se explica por el efecto de la compresión dinámica de la vía aérea durante la maniobra de espiración forzada, la cual se manifiesta más precozmente en vías aéreas más colapsables, como ocurre en pacientes con Fibrosis Quística (FQ). Este efecto no se pone de manifiesto cuando el paciente ventila a volumen corriente, como en la IOS^{18,7}. La respuesta paradójal del VEF₁ al broncodilatador, en pacientes con FQ, no se observa en la IOS, y se explicaría por la misma teoría⁷.

Las propiedades mecánicas del pulmón en niños asmáticos han sido descritas por distintos métodos oscilométricos, observándose que la obstrucción de la vía aérea está asociada con el aumento de la Rrs, mostrando mejor sensibilidad los valores medidos a frecuencias bajas (2-6 Hz)^{3,9,4,5,16}. Este patrón de anormalidad ha sido similar cuando se utilizó tanto el método de "Pseudorandom noise"^{3,16}, como la oscilometría de impulso^{4,5}.

Aunque existen estudios que relacionan la espirometría y la oscilación forzada, éstos son difíciles de comparar con estos resultados, debido a que la técnica de medición, las características de la población estudiada, y el índice de resistencia utilizado para establecer la correlación, son diferentes en todas ellas.

Köning y cols, encontraron correlaciones de 0,51 a 0,88 ($p < 0,001$) entre valores espirométricos y Rrs6 y Rrs26 medidas con un método de oscilación forzada de tipo "Random noise", en un grupo de 30 niños asmáticos¹⁶. Lebecque y Stanescu observaron que el VEF₁ y la Rrs concordaban en la determinación de obstrucción mucho más frecuentemente en niños con diagnóstico de asma que en niños con Fibrosis Quística. Este estudio se realizó con un sistema de oscilación forzada que utiliza una frecuencia única a 10 Hz¹⁸.

Delacourt y cols, encuentran que la resis-

tencia extrapolada a 0 Hz, determinada por "Pseudorandom noise", se correlaciona independientemente con VEF₁ y FEM₅₀, en un grupo de 181 niños asmáticos¹⁹.

En ninguno de estos tres estudios mencionados se midió reactancia.

En niños sanos se han encontrado correlaciones de 0,79 y 0,84 entre Rez (Resistencia total del sistema respiratorio) y FEF₂₅₋₇₅ y VEF₁ respectivamente²⁰.

La técnica de oscilación forzada ha sido correlacionada en niños asmáticos, con otras pruebas de función pulmonar que también pueden ser realizadas en menores de 6 años, como el PEF (flujo espiratorio máximo), la resistencia de la vía aérea medida por pletismografía (Raw), y por la técnica de interrupción única (Rint), y la medición transcutánea de oxígeno (TcPO₂).

Se encontró correlación ($r = 0,72$) entre el PEF y la resistencia total medida por oscilometría, durante la provocación bronquial con ejercicio, en niños sanos y asmáticos²¹.

Con respecto a la Raw, Buhr y cols demostraron su correspondencia con la oscilación forzada durante la provocación bronquial con carbacol en niños asmáticos⁶. Observaron que ambas técnicas fueron igualmente sensibles para detectar obstrucción y obtuvieron una buena correlación ($r = 0,83$) entre el porcentaje de cambio de Raw y el cambio absoluto de X5 corregido por la edad y la Rrs basal, de cada uno de los niños estudiados⁶. Bisgaard y Klug también encontraron que los parámetros de la IOS varían en forma paralela con la Raw, en la curva de dosis-respuesta a la metacolina en niños asmáticos, siendo X5 y Raw igualmente sensibles para detectar los cambios de la función pulmonar provocados por cada dosis de metacolina^{4,5}. Por otro lado, se ha establecido que la Raw, tiene mejor especificidad, sensibilidad, y valor predictivo positivo que la IOS, para establecer respuesta broncodilatadora en niños asmáticos²³.

Tanto la medición de resistencia por la técnica de interrupción única (Rint) como la TcPO₂, tendrían una sensibilidad significativamente menor que la X5 para detectar obstrucción durante la provocación bronquial con metacolina^{4,5}. En un trabajo publicado recién-

temente por Delacourt y colaboradores, se concluyó que la oscilación forzada provee una evaluación más real de la obstrucción de la vía aérea y su reversibilidad, comparada con la técnica de "interrupción única", en un grupo de niños asmáticos mayores de 3 años²².

Como se observa en este trabajo y en la literatura, la IOS tiene una buena correlación con pruebas de función pulmonar que requieren de una maniobra forzada como la espirometría y el VEF₁, y con otras técnicas que no requieren cooperación del paciente para su realización. Es una prueba que se realiza con facilidad y rapidez, y requiere de un equipo más simple que otras técnicas como la pletismografía¹². También ha demostrado ser más sensible que la TcPO₂ y la Rint^{4,5,22}.

Es así como la impedancia medida por oscilometría ha sido sugerida como una alternativa conveniente para el estudio de función pulmonar, y evaluación de la reactividad bronquial en niños, cuando no se pueden lograr curvas espirométricas aceptables y reproducibles^{15,18}.

Concluimos que la Rrs5, Xrs5, y FR obtenidos en la IOS, tienen una buena correlación con los valores de la espirometría en niños asmáticos, sobre todo entre el VEF₁ y el FEF₂₅ con la Rrs5. La IOS podría ser un método de gran ayuda en la evaluación de la función pulmonar en niños que no pueden realizar maniobras forzadas o de mayor complejidad; y es un examen complementario de otras pruebas de función pulmonar.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- 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, Alemania.
- 2.- SOLYMAR L, LANDSER F J, DUIVERMAN E. Measurement of resistance with the forced oscillation technique. Eur Respir J Suppl 1989; 4: 150s-3s.
- 3.- SOLYMAR L, ARONSSON P H, SIXT R. The forced oscillation technique in children with respiratory disease. Pediatr Pulmonol ; 1985; 1: 256-61.
- 4.- BISGAARD H, KLUG B. Lung function measurement in awake young children. Eur Respir J 1995; 8: 2067-75.
- 5.- KLUG B, BISGAARD H. Measurement of lung function in awake 2-4 years old asthmatic children during methacholine challenge and acute asthma. Pediatr Pulmonol 1996; 21: 290-300.
- 6.- BUHR W, JÖRRES R, BERDEL D, LANDSER F J. Correspondence between forced oscillation and body plethysmography during bronchoprovocation with carbachol in children. Pediatr Pulmonol 1990; 8: 280-8.
- 7.- HELLINCKX J, DE BOECK K, DEMEDTS M. No paradoxical bronchodilator response with forced oscillation technique in children with cystic fibrosis. Chest 1998; 113: 55-9.
- 8.- DESAGER K N, BUHR W, WILLEMEN M, VAN BEVER H P, DE BACKER W, VERMEIRE P A et al. Measurement of total respiratory impedance in infants by the forced oscillation technique. J Appl Physiol 1991; 71: 770-6.
- 9.- 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.
- 10.- American Thoracic Society. Standardization of Spirometry, 1994 Update. Am J Respir Crit Care Med 1995; 152: 1107-36.
- 11.- DUBOIS A B, BRODY A W, LEWIS D H, BURGESS B F. Oscillation mechanics of lung and chest in man. J Appl Physiol 1956; 8: 587-94.
- 12.- DESAGER K N, MARCHAL F, VAN DE WOESTIJNE K P. Forced Oscillation Technique; en Stocks J, Sly P, Tepper R, Morgan W eds, Infant Respiratory Function Testing, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. Wiley-Liss Inc 1996; 355-78.
- 13.- GOVAERTS E, CAUBERGHES M, DEMEDTS M, VAN DE WOESTIJNE K. Head generator versus conventional technique in respiratory input impedance measurements. Eur Respir Rev 1994; 4: 143-9.
- 14.- PELSIN R, DUVIVER C, GALLINA C, CERVANTES P. Upper airway artifact in respiratory impedance measurements. Am Rev Respir Dis 1985; 132: 712-4.
- 15.- MALMBERG L, MIESKONEN S, PELKONEN A, KARI A, SOVIJÄRVI A, TURPEINEN M. Lung function measurement by the oscillometric method in prematurely born children with chronic lung disease. Eur Respir J 2000; 16: 598-603.
- 16.- KÖNIG P, HORDVIK N L, PIMMEL R L. Forced random noise resistance determination in childhood asthma. Chest 1984; 86: 884-90.
- 17.- BOUHUYS A, VAN DE WOESTIJNE K. Mechanical consequences of airway smooth muscle relaxation. J Appl Physiol 1971; 30: 670-6.
- 18.- LEBECQUE P, STANESCU D. Respiratory resistance by the forced oscillation technique in asthmatic children and cystic fibrosis patients. Eur Respir J 1997; 10: 891-5.
- 19.- 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 Care Med* 2000; 161: 730-6.
- 20.- LEBECQUE P, SPIER S, LAPIERRE J G, LAMARE A, ZINMAN R, COATES A L. Histamine challenge test in children using forced oscillation to measure total respiratory resistance. *Chest* 1987; 92: 313- 8.
- 21.- LENNEY W, MILNER A. Recurrent wheezing in the preschool child. *Arch Dis Child* 1978; 53: 468-73.
- 22.- DELACOURT C, LORINO H, FUHRMAN C, HERVE-GUILLOT M, REINERT P, HARF A et al. Comparison of the Forced Oscillation Technique and the Interrupter Technique for assessing airway obstruction and its reversibility in children. *Am J Respir Care Med* 2001; 164: 965-72.
- 23.- HELLINCKX J, DE BOECK K, BANDE-KNOPS J, VAN DER POEL M, DEMEDTS M. Bronchodilator response in 3-6,5 years old healthy and stable asthmatic children. *Eur Respir J* 1998; 12: 438-43.