

Oscilometría de impulso. Una alternativa a la espirometría en enfermedades de vías aéreas pequeñas

H L Ocaña-Servín,^{1*} A Hardy-Pérez,¹ M E Arceo-Guzmán,¹
J Jaimes-García,¹ V E Trujillo-Condes,¹ H U López-Díaz¹

Impulse oscillometry. An alternative to spirometry in small airway diseases

Recibido: 4 de octubre de 2021
Aceptado: 25 de octubre de 2021

Resumen

Introducción: La oscilometría de impulso (ios) es una prueba de función respiratoria que permite evaluar la resistencia (R) al paso del aire y la reactancia (X), que es el complemento de la resistencia, y juntas equivalen a la fuerza que se debe vencer para la entrada y salida del aire. Con la suma de resistencia y reactancia se obtiene la impedancia (Z) del sistema respiratorio que se mide a diferentes frecuencias de oscilación en hercios (Hz). Con el resultado obtenido se tiene un complemento a los resultados de la espirometría y se puede sugerir un patrón obstructivo, ya sea central o periférico o bien un patrón restrictivo. Así mismo, se valora la respuesta de las vías aéreas a medicamentos broncodilatadores o a sustancias broncoconstrictoras, como la metacolina, y valora la evolución de la enfermedad en el paciente. Con el objetivo de búsqueda en la red informática se realizó la revisión de metaaná-

Abstract

Introduction: Impulse oscillometry (ios) is a respiratory function test that allows evaluating the resistance (R) to the passage of air and the reactance (X), which is the complement of the resistance and together with the reactance are equivalent to the force to be overcome for air inlet and outlet. With the sum of resistance and reactance, the impedance (Z) of the respiratory system is obtained, which is measured at different frequencies of oscillation in Hertz (Hz). With the result obtained, there is a complement to the spirometry results in: an obstructive pattern will be suggested, either central or peripheral airways or a restrictive pattern. Likewise, the response of the airways to bronchodilator drugs or bronchoconstrictor substances such as methacholine is assessed and the evolution of the disease in the patient is too assessed. With the objective of searching the computer network, a review

¹Universidad Autónoma del Estado de México, México.

*Autor para correspondencia: hectorl.ocana@gmail.com

lisis, revisiones sistemáticas y ensayos clínicos de la oscilometría de impulso sobre todo en lo que va del siglo XXI, para poder mencionar que existe otra prueba de función respiratoria al alcance de muchos neumólogos e internistas que servirá incluso para pacientes recuperados parcialmente de COVID-19.

Material y métodos: Se buscaron revisiones sistemáticas, metaanálisis y ensayos clínicos de las revistas *New England Journal of Medicine*, *Lancet*, *Science*, *Journal of Apply Physiology*, *Crit Care Med*, *Chest*, *Lung*, *Thorax*, *Journal of Pediatrics*, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, y revistas latinoamericanas como la *Revista de Neumología y Cirugía de Tórax*, la *Revista de Sanidad Militar*, la *Revista Colombiana de Neumología*, utilizando las bases de datos de Pubmed, Medline, SciELO y www.mdconsult.com. Se buscó que los artículos estuvieran enfocados sobre todo en el establecimiento de valores de referencia para sujetos de determinada edad y se realizó de forma virtual en el Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la UAEM, de enero a agosto de 2021.

Resultados y Discusión: A casi 70 años de que se ha propuesto una prueba de función pulmonar complementaria, que es la IOS, sobre todo a la espirometría existen apenas publicaciones de finales del siglo XX y en lo que va del XXI de parámetros de referencia para el análisis de los gráficos obtenidos en la IOS. Sólo existen dos publicaciones mexicanas recientes: una del INER sobre la estandarización del método, así como de su interpretación, pero basado en los parámetros de normalidad establecidos por la ATS/ERS en el 2007. Y otra publicación del 2018 del Hospital Central Militar que sí da las ecuaciones de referencia para población adulta mexicana y hace ver una realidad: la mayoría de los equipos de oscilometría que se compran son alemanes y tienen valores de referencia de la población alemana.

Conclusiones: La IOS es una prueba que en este siglo XXI se encuentra estandarizada para la evaluación no solo de pacientes en edad pediátrica, sino para pacientes poco cooperadores, y eso la convierte en una prueba complementaria a otros estudios y además de servir al clínico para el diagnóstico, le sirve también para valorar la respuesta en especial a medicamentos broncodilatadores y para el seguimiento de un paciente. Su utilidad más importante está en edad pediátrica y en tercera edad, sin olvidar que es necesario que el país tenga sus propios valores de referencia, adecuados a la edad, la talla, el sexo del paciente y la altura sobre el nivel del mar a la que vive el paciente porque esto tiene que ver con la frecuencia respiratoria en reposo que presenta cada sujeto en salud o en enfermedad.

PALABRAS CLAVE

Oscilometría de impulso, pruebas de función respiratoria, parámetros de referencia.

of meta-analyzes, systematic reviews and clinical trials of impulse oscillometry was carried out, especially so far in the 21st century to be able to mention that there is another respiratory function test available to many pulmonologists and internists that will serve even for partially recovered COVID-19 patients.

Material and methods: Systematic reviews, meta-analyzes and clinical trials were sought from the *New England Journal of Medicine*, *Lancet*, *Science*, *Journal of Apply Physiology*, *Crit Care Med*, *Chest*, *Lung*, *Thorax*, *Journal of Pediatrics*, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, and Latin American countries such as the *Journal: Neumología y Cirugía de Tórax*, *Journal: Revista de Sanidad Militar*, *Journal: Revista Colombiana de Neumología*, using the database of Pubmed, Medline, SciELO, and www.mdconsult.com. It was sought that the articles were focused above all on the establishment of reference values for subjects of a certain age and it was carried out virtually in the Department of Physiology of the Faculty of Medicine of the UAEM, from January to August 2021.

Results and Discussion: Almost 70 years after a complementary function test, which is IOS has been proposed, especially as complement of spirometry; there are hardly any publications from the end of the 20th century and so far the 21st of reference parameters for the analysis of graphs obtained in the IOS. There are only 2 recent Mexican publications: one from the INER on the standardization of the method, as well as its interpretation, but based on the normality parameters established by the ATS/ERS in 2007. And another 2018 publication from the Central Military Hospital that if it gives the reference equation for the Mexican adult population and show a reality: most of the oscillometry equipment that is purchased is German and has reference values of the German population.

Conclusions: The IOS is a test that in this 21st century is standardized for the evaluation not only of pediatrics patients, but also for uncooperative patients, and that makes it a complementary test to other studies and in addition to serving the clinician to the diagnosis, also serves to assess the response, especially to bronchodilator drugs, and to monitor a patient. Its most important utility is in pediatric and elderly age, without forgetting that it is necessary for the country to have its own reference values, appropriate to the age, height, sex, of the patient and the height above sea level at that the patient lives, because the respiratory rate at rest that each subject presents in health or in illness.

KEY WORDS

Impulse oscillometry, respiratory function tests, reference values.

Introducción

Las pruebas de función respiratoria (PFR) son una herramienta indispensable en la práctica clínica neumológica. Desde un punto de vista práctico se han clasificado en pruebas de mecánica de la respiración y pruebas de intercambio gaseoso, y se complementan con pruebas de reto, como el ejercicio o la aplicación de medicamentos, ya sean broncoconstrictores o broncodilatadores. Las pruebas que más se utilizan para analizar la mecánica de la respiración son la espirometría, la pletismografía corporal y las pruebas de reto. Las de intercambio gaseoso son la difusión pulmonar de monóxido de carbono (DL_{CO}), gasometría arterial y venosa, y oximetría de pulso.¹ Sin embargo, al efectuar revisiones históricas de las pruebas de función respiratoria se encuentra que en 1956 Dubois y cols. describieron la técnica de oscilometría forzada (FOT) como otra herramienta para medir la función pulmonar utilizando ondas de sonido de una sola frecuencia generadas por una bocina y enviadas al pulmón durante la respiración normal. El resultado fue la medición de impedancia (Z), resistencia (R) y reactancia (X) del sistema respiratorio, medidas sobre un rango de frecuencia usualmente de 3 a 35 Hz.² La impedancia es la oposición al paso de un flujo o una corriente y resulta de la suma de resistencia y reactancia, su unidad de medida es el ohmio (Ω) y cuando en los circuitos, por lo general eléctricos, hay condensadores se verifica que $Z > 0 = R$. La resistencia mide también la oposición a un flujo de corriente, pero requiere de la suma de la reactancia, que mide la oposición al flujo, pero frente a cambios de corriente.³

La medicina clínica ha utilizado mucho los parámetros oscilométricos, pero sobre todo para el monitoreo de las unidades de cuidados intensivos y en la toma de la presión arterial, mediante mediciones no invasivas con un equipo similar al del método auscultatorio, pero en vez de usar el estetoscopio y el oído experto, tiene en su interior un sensor de presión electrónico (transductor) para detectar el flujo de sangre y está previamente calibrado con una lectura numérica de la presión sanguínea. El brazalete es inflado y desinflado por una bomba y una válvula operada eléctricamente, que se ajusta en la parte superior del brazo, como presentan variaciones en exactitud, estos equipos deben ser revisados y recalibrados si fuera necesario. Es justo decir que en muchas ocasiones esto no se hace con la frecuencia necesaria.⁴

El análisis del flujo aéreo es la base de las mediciones en la espirometría sobre todo para enfermedades de las vías aéreas pequeñas (menores a 2 mm de diámetro), por tanto, estudiar el flujo y sus características es también la base de la oscilometría de impulso. Aunque en los últimos años ha existido un auge en establecer valores de referencia para los, estos son muy escasos y limitado a poblaciones específicas. Por lo que se puede decir que es una técnica poco conocida y difundida, y que puede tener una alta variabilidad si no se realiza correctamente la maniobra. Se sugiere realizar la los antes de la espirometría, la técnica se realiza respirando por la boca a volumen corriente con una pinza de oclusión nasal y con la cabeza ligeramente inclinada hacia arriba, presionando levemente las mejillas. Se realizan tres oscilometrías correctas (máximo 8) con mediciones de 30 segundos cada una al menos cuatro respiraciones a volumen corriente y con respiraciones regulares. No debe presentarse tos o cierre glótico que alteraría los resultados. Debe pasar un minuto entre las mediciones realizadas, con un espectro de frecuencia entre 5 y 25 Hz, con una variabilidad entre mediciones menores al 10% sobre todo si las frecuencias fueron mayores a 5 Hz. Se analizan valores de resistencia (R) y de reactancia (X) a diferentes Hz, antes y después de aplicación de un broncodilatador en aerosol de acción corta. El resultado final es la media de las tres mejores mediciones para R y para X que cumplieron criterios de aceptabilidad. Se considera la los normal cuando la R a 5 Hz y la R a 20 Hz y el área de reactancia (A_X) están por debajo del límite superior de la normalidad o en ± 1.64 de los valores de impedancia (Z) del predicho. Si los valores están por encima indican una obstrucción de vías aéreas pequeñas, y se ha planteado

que cuando la R a 5 y 20 Hz con una AX > límite superior normal podría inferir un patrón restrictivo.⁵

Con el objetivo de búsqueda en la red informática se realizó el presente metaanálisis y revisión sistemática de la oscilometría de impulso sobre todo en lo que va del siglo XXI para poder mencionar que existe otra prueba de función respiratoria al alcance de muchos neumólogos e internistas o incluso para pacientes recuperados parcialmente de COVID-19.

Material y métodos

Se buscaron revisiones sistemáticas, metaanálisis y ensayos clínicos de las revistas *New England Journal of Medicine*, *Lancet*, *Science*, *Journal of Applied Physiology*, *Crit Care Med*, *Chest*, *Lung*, *Journal of Pediatrics*, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, y revistas latinoamericanas como la *Revista de Neumología y Cirugía de Tórax*, la *Revista de Sanidad Militar*, la *Revista Colombiana de Neumología*, utilizando las bases de datos de Pubmed, Medline, SciELO, MEDLINE, y www.mdconsult.com. Se buscó que los artículos estuvieran enfocados sobre todo en el establecimiento de valores de referencia para sujetos de determinada edad y se realizó de forma virtual en el Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la UAEM, de enero a agosto de 2021.

Resultados

En 1956 fue cuando Dubois y cols. describieron la utilidad de las oscilaciones para medir las propiedades mecánicas del pulmón. No se vuelve a hacer referencia alguna hasta 1965 cuando Muysers retomó estos estudios e indicó que eran preferibles a la pletismografía corporal y, en 1971, Muysers y Smidt publicaron por primera vez el método de mono frecuencia oscilatoria para el estudio de las propiedades mecánicas del pulmón.⁶ En 1976, Lander y cols. utilizaron la técnica de múltiples frecuencias por medio de señales auditivas pseudovariables en los Estados Unidos, mejorando con ello muchas de las falencias de la técnica de mono frecuencia. Con el desarrollo de las computadoras, la técnica fue refinándose, primero utilizando modelos animales para determinar efectos de medicamentos en las vías aéreas y después en estudios en humanos señalando que la técnica IOS tiene la ventaja adicional de que puede dilucidar con razonable precisión, el sitio anatómico en donde se encuentra la mayor resistencia al paso del aire.⁷

En 1981, Müller y Vogel publicaron el escrito "Otro aprovechamiento: oscilometría de impulso", donde se describe la técnica mejorada por el uso de patrones de ondas rectangulares, y en 1992 la Sociedad Alemana de Neumología discutió las primeras experiencias sobre este método.⁸ Entre 1991 y 1992 Vogel y Smidt realizaron una muestra de la población alemana que consistió en 506 sujetos entre 18 y 69 años y establecieron los primeros patrones de referencia.⁶ Para principios de este siglo XXI, en Tokio, se generaron ecuaciones predictivas para IOS (con R5, R20 y X5) en 166 japoneses adultos, no fumadores entre 20 a 83 años de edad.⁹ Para el 2005, en el Hospital Universitario de Ginebra, Suiza, se determinaron los valores normales en sujetos mayores de 65 años utilizando FOT, respecto a los parámetros de resistencia respiratoria, este estudio dio los primeros valores de referencia para la evaluación de resistencia con la técnica FOT en sujetos de la tercera edad.¹⁰

En el 2008 se obtuvo una muestra en 125 sujetos australianos sanos de 25 a 74 años de edad y se generaron ecuaciones de predicción a partir de la comparación de los datos obtenidos con los proporcionados por el fabricante del IOS, que eran los parámetros alemanes, y se establecieron similitudes y diferencias.¹¹ En 2013 se llevó a cabo el KORA (Cooperative Health Research en Augsburg, Alemania), estudio que reclutó 154 hombres y 243 mujeres para determinar

nuevamente los valores de predicción para el IOS entre adultos caucásicos con edad >45 años.¹² Para el 2013 se realizó un estudio piloto en 75 sujetos sanos no fumadores de Bergen, Noruega y se estratificó por edad y sexo en población anciana >70 años de edad. Este estudio facilitó valores de referencia y parámetros de la impedancia en “pacientes” de la tercera edad.¹³ Fue en el 2014 cuando se realizó en Polonia el primer estudio netamente clínico para la determinación de parámetros basales, que analizó el impacto de la utilización de la oscilometría de impulso en adultos, y estableció su contribución en la oportunidad del diagnóstico para enfermedades de las vías aéreas pequeñas.¹⁴

Y en Latinoamérica fue en el Laboratorio de Fisiología Pulmonar del Hospital Central Militar de la Cd. de México, donde se llevó a cabo el primer estudio en población mexicana, para generar valores de referencia mexicanos, debido a que al analizar cualquier estudio de pruebas de función pulmonar se requiere el contrastar contra valores de referencia, que hasta ese momento eran americanos o europeos (se aclara que en los valores de referencia que proporcionan las empresas que venden oscilómetros, estos son los valores con que vienen calibrados los aparatos y en ningún estudio previo se analizaron valores de población hispana). Este estudio apareció publicado en el 2018 y pudo estandarizar la técnica con los estándares internacionales de ATS/ERS de 2007.^{15,16} Cuatro años antes, el Departamento de Fisiología Respiratoria del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias publicó las recomendaciones y procedimiento de la oscilometría de impulso y el estudio tuvo el propósito de orientar al clínico acerca de las ventajas y utilidad de la IOS y facilitar la realización del mismo con la descripción del procedimiento, que se estandarizó en el laboratorio de Fisiología Pulmonar, y se propuso una estrategia simplificada para la interpretación clínica de la prueba.¹⁷ En ese mismo año 2014, se publicó en la *Revista Colombiana de Neumología* un artículo de revisión sobre la oscilometría de impulso en adultos, pero concluyeron que se requerían más estudios de calidad para determinar la utilidad de esta prueba diagnóstica en la práctica clínica.¹⁸

Discusión

Como se pudo apreciar hay casi 70 años de que se ha propuesto una prueba de función pulmonar complementaria sobre todo a la espirometría, sin que hasta la fecha tenga la misma validez y aceptación de la espirometría. Esto se ha debido a que apenas en los últimos 3 o 4 años se han presentado cada vez más trabajos en los Congresos de Neumología, ya sea de Estados Unidos, de Europa o de Latinoamérica y es la impresión de los autores de que mucha de la “dificultad” ha consistido en el entendimiento de principios de la física y luego en aplicarlos a la medicina clínica, y el médico no se caracteriza por ser un experto en ciencias básicas sobre todo física, química y matemáticas.

Se presenta a continuación un resumen más simplificado de qué equipos se utilizan, cómo es el procedimiento y una manera sencilla de proceder al análisis e interpretación de los resultados:

Equipo

El equipo con el software debe reunir por el momento las recomendaciones técnicas internacionales emitidas por la Sociedad Americana del Tórax (ATS) y de la Sociedad Respiratoria Europea (ERS) que da requerimientos mínimos:

- Oscilómetro de pulso con neumotacógrafo y transductor de presión y flujo.
- Jeringa de 3 L para la calibración del volumen.
- Capacidad del equipo de realizar mediciones entre 0.5 a 8 L con exactitud de $\pm 3\%$, flujos de 0 a 14 L/s y tiempo de registro de al menos 30 segundos.
- Resistencia de 0.2 kPa para verificación de calibración de presión.
- Pantalla para presentación de gráficas de flujo, R, X y coherencia (Coeh). Esto lo da el software.

- Impresión del reporte que incluya información del paciente, valores de referencia, los valores de oscilometría obtenidos R, X y Z a las frecuencias de 5,10, 15,20, 25 30 Hz, y gráficos de R y X para las tres mejores maniobras. Generalmente, el estudio se practica antes y después de la aplicación de broncodilatador de acción corta con cámara espaciadora de 300 ml o más.

La prueba de oscilometría requiere preparación del paciente y se recomienda que se utilice el siguiente párrafo para explicar el procedimiento: "La oscilometría de impulso es una prueba que consiste en respirar tranquilamente a través de una boquilla que sirve para conocer las resistencias que puedan existir en sus bronquios y saber si existe o no obstrucción. Si observamos que existe un aumento en las resistencias, procederemos a administrar un medicamento llamado salbutamol, esperaremos unos minutos y volveremos a realizar la prueba para ver si mejora con la administración del medicamento".¹⁷ En opinión de los autores todavía debe ser más sencilla la explicación y variable de acuerdo con edad, género y nivel cultural de c/u de los pacientes. La estatura se mide en centímetros (cm) y con el individuo erecto, sin zapatos, talones juntos y mirando al frente (se recomiendan los estadímetros de pared). Si el sujeto no puede estar de pie se usa la extensión de los brazos como una estimación de la estatura y el resultado se interpreta: para hombres extensión de brazos en cm dividido entre 1.03 y para mujeres se divide entre 1.01. La edad se registra en años cumplidos y la prueba se efectúa con el paciente sentado en una silla con soporte para brazos. Debe permanecer sentado con el tórax y cuello en posición erguida y con ambos pies apoyados sobre el piso. Se le coloca una pinza en la nariz y se le pide que sostenga sus mejillas con sus manos. Se coloca una boquilla con filtro en la boca y se pide que respire tranquilamente, evitando que la lengua obstruya la boquilla. Se le demuestra el ruido que hace el equipo para que no se asuste.¹⁷

Una vez explicado el procedimiento se realizan tres mediciones de 30 segundos cada una, vigilando que la morfología de los gráficos esté libre de artefactos: tos, cierre glótico y respiración agitada. Entre las mediciones se aconseja esperar por 60 segundos al menos. Después de las tres mediciones y valorando que sean aceptables se administra el salbutamol 400 microgramos en adultos y 200 microgramos en niños con cámara espaciadora. Y con el sujeto en reposo 20 minutos después se repite el procedimiento.¹⁷

Para la interpretación de la prueba se toman los valores promedio y se comparan con los valores de referencia. En opinión de los autores se deben de utilizar en Toluca, México, las ecuaciones propuestas como valores de referencia en el Hospital Central Militar en vez de las del ATS/ERS que se presentan en el cuadro 1. La ecuación es la siguiente:

$$\text{Variable} = \text{constante} + (\text{sexo} \times \text{constante de sexo}) + (\text{talla} \times \text{constante de talla}) + (\text{edad} \times \text{constante de edad})$$

De acuerdo con los valores encontrados en el Hospital Central Militar sus valores coinciden en ciertas variables al compararlos con otros estudios, por ejemplo, tanto el estudio australiano como el de la Cd de México demostró que la edad influye en los valores de IOS. También se encontró que la reactancia (XRs) está asociada sobre todo a la talla, igual que los estudios japoneses.

Si se utilizan los valores proporcionados por el software y el equipo es alemán se trata de las ecuaciones de Vogel & Smidt⁶ en población caucásica y publicado en el 2013, que mostró diferencias importantes en relación con las que se tomaron en cuenta en el Hospital Central Militar. En la publicación del Departamento de Fisiología del INER del 2014 se dan las siguientes ecuaciones de referencia^{19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30} y proponen más bien un algoritmo en el que propone promediar maniobras y obtener los porcentajes del predicho y los límites superiores de normalidad de la guía ATS/ERS,¹⁵ que se mencionarán más adelante.

Cuadro 1

Datos obtenidos para el cálculo de valores de referencia de los valores de oscilometría de impulso en adultos del Hospital Central Militar

Valor de IOS	Constante	Sexo	Talla	Edad
Zrs5	0.0462	-0.034	-0.125	0.001
Rrs5	0.448	-0.034	-0.122	0.001
Rrs10	0.431	-0.037	-0.166	0.001
Rrs15	0.405	-0.038	-0.104	0.002
Rrs20	0.425	-0.038	-0.111	0.002
Rrs5 – Rrs20	0.023	0.004	-0.011	0
Xrs5	-0.11	-0.007	0.05	0.0015
Xrs10	-0.064	-0.001	0.041	5
Xrs15	-0.084	-0.002	0.06	0
Xrs20	-0.068	-0.001	0.071	0
AX	8.676	-0.377	-3.12	0.016

Donde:

Variable = Z5, R5-R20, X5-X20, AX

Sexo= Femenino (0) y Masculino (1)

Talla= Estatura expresada en metros

Edad= Expresada en número de años

Fuente: Contreras-Morales J, Salazar-Soriano AB, Chagoya-Bello JC y cols.¹⁶

Ecuaciones de referencia propuestos en la literatura internacional:^{9,11,19-30}

Newbury W.¹¹ 100 sujetos (25-74 años)

Mujeres:

$$R5=0.768+0.00064 \times E-0.00276 \times T \text{ (CLSN} = +0.218)$$

$$R20= 0.4821 + 0.00034 \times E-0.00125 \times T \text{ (CLSN} = +0.154)$$

$$X5 = 0.4689 -0.00092 \times E+ 0.00245 \times T \text{ (CLSN} =+0.092)$$

Hombres:

$$R5 = 1.1672 -0.0017 \times E+0.0043 \times P-0.007 \times T \text{ (CLSN} =+0.161)$$

$$R20 = 0.9216 - 0.0013 \times E+0.0027 \times P-0.0049 \times T \text{ (CLSN} = + 131)$$

$$X5 = 0.3593 + 0.00013 \times E+0.0016 \times T \text{ (CLSN} = +0.055)$$

Shiota S⁹. 166 sujetos (20-83 años)

$$R5 = 3.841167 * \text{Log } T + 8.671580$$

$$R20 = -2.546561 * \text{Log } T + 5.841867$$

$$X5 = -0.000097 * E +1.018597 * \text{Log } T -2.343672$$

Dencker M.¹⁹ 360 sujetos (2.1-11.1 años)

$$R5=0.266 + 0.759 * T^{-3} + 0.004 * P$$

$$R20= 0.259 + 0.630 * T^{-3}$$

$$X5 = 0.123 - 0.225 * T^{-3}$$

Frei J.²⁰ 222 sujetos (niños y niñas) (3-10 años)

$$R5=2.11679-0.0099 * T$$

$$R20= 1.45644-0.0065 * T$$

$$X5 = -1.1974 + 0.00673 * T$$

Para todas estas ecuaciones es necesario considerar que:

R5= Resistencias a 5 Hz

R20= Resistencias a 20 Hz

X5= Reactancia a 5 Hz

E= Edad

T= Talla (cm)

P= Peso (kg)

CLSN= Constante para predecir el límite superior de la normalidad

Log T= Logaritmo de la talla

Como puede apreciarse se presentan dos ecuaciones de valores de referencia en adultos de >20 años y dos ecuaciones en niños de 2 a 11 años.

El algoritmo propuesto por el INER considera los siguientes parámetros para realizar la interpretación:

R5Hz < LSN y R 20 Hz < LSN y AX < LSN= Estudio Normal (en donde LSN= Límite superior de normalidad)

R5Hz > LSN y R20 Hz < LSN y/o AX > LSN = Obstrucción vía aérea distal o pequeña.

R5Hz > LSN y R20 Hz > LSN y/o AX > LSN = Obstrucción vía aérea proximal o central

R5Hz < LSN y R20 Hz < LSN y/o AX > LSN = Sugiere restricción

AX = Área de Reactancia.

Dado que nuestro país requiere tener sus propios valores de referencia, como se emplean en la interpretación de la espirometría, la sugerencia es tomar para adultos las del Hospital Central Militar y para niños, solicitar a los importantes hospitales de pediatría con que cuenta el país realizar en el menor tiempo posible valores para infantes de uno y otro sexo mexicanos.

Para la interpretación se sugiere valorar el algoritmo del Departamento de Fisiología de INER y si es aplicable al equipo con el que se realizó el estudio, utilizarlo sin lugar a duda. Sin olvidar que los parámetros de normalidad de ATS/ERS son anteriores a 2007 y en el lapso transcurrido de 10 a 15 años pueden existir cambios tendientes a hacer una vía aérea con mayor predominio parasimpático por influencia de la contaminación del aire.³¹

Conclusiones

La IOS es una prueba que en este siglo XXI se encuentra estandarizada para la evaluación no solo de pacientes en edad pediátrica, sino para pacientes poco cooperadores, y eso la convierte en una prueba complementaria a otros estudios y además de servir al clínico para el diagnóstico, le sirve también para valorar la respuesta en especial a medicamentos broncodilatadores y para el seguimiento de un paciente.

Su utilidad más importante está en edad pediátrica y en tercera edad, sin olvidar que es necesario que el país tenga sus propios valores de referencia, adecuados a la edad, la talla, el sexo del paciente y la altura sobre el nivel del mar a la que vive el paciente porque esto tiene que ver con la frecuencia respiratoria en reposo que presenta cada sujeto en salud o en enfermedad.

La recomendación de los autores es que los Hospitales, sobre todo de tercer nivel, tengan este equipo como estudio complementario para los pacientes, y su utilidad será aún más importante en todos aquellos pacientes que fueron infectados por el COVID-19 y quedaron con secuelas pulmonares.

Financiación:

No existió financiamiento para la realización del proyecto.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

1. Vargas-Domínguez C, Gochicoa-Rangel L, Velázquez-Uncal M. y cols. Pruebas de función respiratoria, ¿cuál y a quién? Rev Neumol Cir.Torax. 2011; 70(2): 101-117.
2. Dubois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BF Jr. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. J. Appl Physiol. 1956; 8(6):587-594.
3. https://www.google.com/search?q=impedancia+reactancia+y+resistencia&rlz=1c1JZAP_esMX932MX937&aqs=chrome.1.69i57j69i...
4. O'Rourke M. Mechanical principles in arterial disease. Hypertension. 1995; 26(1):2-9.
5. Oostveen E, MacLeod D, Lorino H, Farré R, Hantos Z. et al. ERS Task Force on Respiratory Impedance Measurements. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. Eur Respir J. 2003; 22(6): 1026-1041.
6. Vogel J, Smidt U. (eds.). Impulse oscillometry: analysis of lung mechanics in general practice and the clinical epidemiological and experimental research. Frankfurt and Main, Germany: Ed. PMI Verlagsgruppe GmbH: 1994.
7. Díaz-Santos G, Adolfo-Hincapié G, Ordoñez J. Oscilometría de impulso en adultos: una prueba de función pulmonar complementaria. Rev Colomb Neumol. 2014; 26(2): 80-91.
8. Pride N B. Forced oscillation techniques for measuring mechanical properties of the respiratory system. Thorax. 1992; 47(4): 317-320.
9. Shiota S, Katoh M, Fujii M, Aoki S et al. Predictive equations and the reliability of the impulse oscillatory system in Japanese adult subjects. Respirology. 2005; 10(3): 310-315.
10. Guo YF, Herrmann F, Michel JP, Janssens JP. Normal values for respiratory resistance using forced oscillation in subjects >65 years old. Eur Respir J. 2005; 26(4): 602-608.

11. Newbury W, Crockett A, Newbury J. A pilot study to evaluate Australian predictive equations for the impulse oscillometry system. *Respirology*. 2008; 13(7): 1070-1075.
12. Schulz H, Flexeder C, Behr J, et al. Reference values of impulse oscillometric lung function indices in adults of advanced age. *PLoS ONE*. 2013; 8(5): e63366.
13. Aarli BB, Eagan TM, Ellingsen I. et al. Reference values for within-breath pulmonary impedance parameters in asymptomatic elderly. *Clin Respir J*. 2013; 7(3): 245-252.
14. Tomalak W, Czajkowska-Malinowska M, Radlinski J. Application of impulse oscillometry in respiratory system, evaluation in elderly patients. *Pneumonol Alergol. Pol*. 2014; 82(4): 330-335.
15. Beydon N, Davis SD, Lombardii E. et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society, ATS/ERS, statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007; 175(12): 1304-1345.
16. Contreras-Morales J, Salazar-Soriano AB, Chagoya-Bello JC y cols. Estandarización de la oscilometría de impulso y generación de ecuaciones piloto para generar valores de referencia en el Hospital Central Militar. *Rev Sanid Milit Mex*. 2018; 72(2): 90-97.
17. Gochicoa-Rangel L, Cantú-González G, Miguel-Reyes JL y cols. Oscilometría de impulso. Recomendaciones y procedimiento. *Neumol Cir Tórax*. 2014; 73(2): 138-149.
18. Díaz-Santos G, Adolfo-Hincapié G, Ordoñez J y Awad C. Oscilometría de impulso en adultos: una prueba de función complementaria. *Revista Colombiana de Neumología*. 2014; 26(2): 80-91.
19. Dencker M, Malmberg LP, Valind S. et al. Reference values use for respiratory system impedance by using impulse oscillometry in children aged 2-11 years. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2006; 26(4): 247-250.
20. Frei J, Jutla J, Kramer G et al. Impulse oscillometry: reference values in children 100 to 150 cm in height and 3 to 10 years of age. *Chest* 2005; 128(3): 1266-1273.
21. Amra B, Soltaninejad F, Golshan M. Respiratory resistance by impulse oscillometry in healthy Iranian children aged 5-19 years. *Iran J Allergy Asthma Immunol*. 2008; 7(1): 25-29.
22. Lee JY, Seo JH, Kim HY, et al. Reference values of impulse oscillometry and its utility in the diagnosis of asthma in young Korean children. *J Asthma*. 2012; 49(8): 811-816.
23. Nowowiejska B, Tomalak W, Radlinski J. et al. Transient reference values for impulse oscillometry for children aged 3-18 years. *Pediatr Pulmonol*. 2008; 43(12): 1193-1197.
24. Jee HM, Keak JH, Jung da W, et al. Useful parameters of bronchial hyperresponsiveness measured with an impulse oscillation technique in preschool children. *J Asthma*. 2010; 47(3): 277-232.
25. Horsman TA, Duke RK, Davenport PW. Airway response to mannitol challenge in asthmatic children using impulse oscillometry. *J Asthma*. 2009; 46(6): 600-603.
26. Mauer MP, Cummings KR. Impulse oscillometry and respiratory symptoms in World Trade Center responders, 6 years post-9/11. *Lung* 2010; 188(2): 107-113.
27. Malmberg LP, Makelä MJ, Mattila PS, et al. Exercise-induced changes in respiratory impedance in young wheezy children and nonatopic controls. *Pediatr Pulmonol*. 2008; 43(6): 438-544.
28. Ortiz G, Menendez R. The effects of inhaled albuterol and salmeterol in 2-5 year-old asthmatic children as measured by impulse oscillometry. *J. Asthma*. 2002; 39(6): 531-536.
29. Smith HJ, Reinhold P, Goldman MD. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. *Eur Respir Mon*. 2005; 31: 72-105.
30. Al-Mutairi SS, Sharma PN, Al-Alawi A, et al. Impulse oscillometry: an alternative modality to the conventional pulmonary function test to categorize obstructive pulmonary disorders. *Clin. Exp. Med*. 2007; 7(2): 56-64.
31. Larsen GL, Morgan W, Heldt GP et al. Childhood Asthma Research and Education Network of the National Heart, Lung and Blood Institute. Impulse oscillometry versus spirometry in a long-term study of controller therapy for pediatric asthma. *J Allergy Clin Immunol*. 2009; 123(4): 861-867.