

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Medicina

División de Estudios de Posgrado e Investigación

Secretaría de Salud de México

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias

Ismael Cosío Villegas

**PRECISIÓN EN OSCILOMETRÍA: COMPARANDO RESULTADOS DE ACUERDO A DIFERENTES
ECUACIONES DE REFERENCIA EN DIFERENTES EQUIPOS DE MEDICIÓN**

Tesis de Posgrado

Para obtener el título de especialista en

Neumología Pediátrica

Presenta:

Dra. Alejandra Reyna García Velasco

Tutor:

Dra. Irlanda de Jesús Alvarado Amador

Co-Tutor:

Dra. Laura Graciela Gochicoa Rangel

Ciudad de México, a 15 de agosto del 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dra. Alejandra Renata Baez Saldaña

Titular de la Jefatura de Enseñanza

Dra. Dayana Lorelly Alvarez Monter

Titular del departamento de Formación de Posgrado

Dra. Claudia Garrido Galindo

Jefa de Departamento de Neumología Pediátrica.

Dra. Irlanda de Jesús Alvarado Amador

Médico Adscrito del Servicio de Fisiología Respiratoria.

Dra. Laura Graciela Gochicoa Rangel

Co-Tutor de Tesis

Titular de la Subdirección de Servicios Auxiliares de Diagnóstico y Paramédicos

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a mis padres y a mi hermana por el amor y apoyo incondicional para lograr mis metas

*Agradezco a mis amigos de Neumopediatría por hacer mis días más amenos y por su apoyo
incondicional*

Gracias a Ale, mi mejor amigo por ser parte de mi vida y de mis logros

A mis tutoras por sus enseñanzas durante este viaje de investigación

Agradezco a mis maestros por guiarme y enseñarme

Y agradezco a los niños por ser mi mayor motivación para seguir en este camino

Tabla de contenido

RESUMEN	5
MARCO TEÓRICO.....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	15
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	15
JUSTIFICACIÓN.	15
HIPOTESIS.	16
OBJETIVO GENERAL.	16
MATERIAL Y MÉTODOS:.....	17
DISEÑO DEL ESTUDIO:	17
LUGAR DEL ESTUDIO:.....	17
DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO:.....	17
CRITERIOS DE INCLUSIÓN	17
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	17
CRITERIOS DE ELIMINACIÓN	17
VARIABLES DE DESENLACE Y DESCRIPCIÓN DE LAS OTRAS VARIABLES DE ESTUDIO	18
ANÁLISIS DE RESULTADOS	19
IMPLICACIONES ÉTICAS	19
RESULTADOS.	20
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	24
LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	25
CONCLUSIÓN	25
BIBLIOGRAFÍA:	26

RESUMEN

ANTECEDENTES: La oscilometría es una prueba de función pulmonar encargada de medir la impedancia respiratoria, existen varios dispositivos para realizarla. Impulse Oscillometry System (IOS) y TremoFlo FOT de Thorasys. Aunque ambos dispositivos comparten el mismo principio subyacente, existen diferencias clave en sus características de diseño y funcionamiento que pueden influir en las mediciones de resistencia y reactancia.

OBJETIVO: Evaluar la comparabilidad de los resultados obtenidos mediante las pruebas de oscilometría en niños sanos utilizando los dispositivos Thorasys y Vyaer, al aplicar las ecuaciones de referencia de Ducharme et al y Gochicoa et al respectivamente, con el fin de determinar si ambos equipos son capaces de identificar correctamente a niños sanos y si los resultados de las puntuaciones Z de las variables son intercambiables en la práctica clínica.

MATERIALES Y MÉTODOS: Se realizó un estudio en 46 sujetos mexicanos, entre 3 y 17 años, utilizando los dispositivos Thorasys y Vyaer en el Laboratorio de Función Pulmonar del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Se calcularon los valores Z para variables de oscilometría como R5, R5-R20, X5, AX y Fres, comparando los resultados obtenidos con ambas ecuaciones de referencia.

RESULTADOS: Se encontró una buena concordancia entre la mayoría de las variables de oscilometría, excepto en R5, donde se observó una diferencia significativa entre las ecuaciones de Ducharme y Gochicoa. Esto sugiere que, aunque ambos dispositivos ofrecen resultados similares, la ecuación de Gochicoa podría ser más adecuada para la población mexicana debido a las diferencias antropométricas con la población canadiense.

MARCO TEÓRICO.

Las pruebas de función pulmonar nos ayudan a evaluar la mecánica respiratoria tanto en niños como en adultos. Existen múltiples pruebas, la más utilizada es la espirometría, la cual se puede realizar con éxito en niños que son capaces de seguir instrucciones y realizar esfuerzos máximos, sin embargo, tiene desafíos al momento de realizarse en niños más pequeños, sobretodo la población entre 3 a 5 años. Por lo anterior resulta muy útil contar con una prueba fácil de realizar en este grupo de edad como lo es la oscilometría.

La oscilometria de impulso (IOS) es una prueba basada en la técnica de oscilación forzada (FOT) y se ha utilizado sobretodo en niños de edad preescolar y escolar, es un método simple y no invasivo que solo requiere la cooperación pasiva del paciente. En los últimos años también ha sido útil en adultos con limitaciones físicas y cognitivas. (1).

La FOT se describió por Dubois et al. En 1956 y hasta la fecha sus principios fundamentales permanecen. (2) Esta genera ondas de sonido sinusoidal que se transmiten al sistema respiratorio durante una respiración a volumen corriente midiendo la relación presión/flujo (kPa/l/s). Las ondas en FOT se envían en un rango de frecuencia de 5-35 Hz. Las ondas de alta frecuencia (>20 Hz) viajan a una distancia menor mientras que las de baja frecuencia, menores de 15 Hz viajan a distancias más largas de la vía respiratoria. El metodo modificado, oscilometría de impulso (IOS), fue desarrollado por Michaelson en 1976 y comercializado por Jaeger. A diferencia de la FOT las ondas de presión se envían a una frecuencia constante en ondas cuadradas de 5 Hz, de donde se calculan las otras frecuencias. (3) El método se basa en la aplicación de una señal oscilatoria externa a la apertura de las vías respiratorias (oscilometría de entrada) con el fin de determinar el comportamiento mecánico del sistema respiratorio en términos de cambios en la presión (P) y el flujo. (2). La mecánica pulmonar se determina aplicando pulsaciones que generan flujos que ingresan a través del sujeto durante la respiración espontánea. Los impulsos producidos por el altavoz se superponen a la respiración tidal normal mientras se desplazan a través de las vías

respiratorias grandes y pequeñas. Las frecuencias más altas se reflejan desde las vías respiratorias grandes hacia la boca, mientras que las frecuencias más bajas penetran más profundamente en los pulmones antes de regresar. Un transductor que mide presión y flujo se utiliza para registrar tanto el flujo como la presión durante la inspiración y la espiración. Para separar las señales de presión y flujo del patrón respiratorio, se emplea un proceso de filtrado de señales.

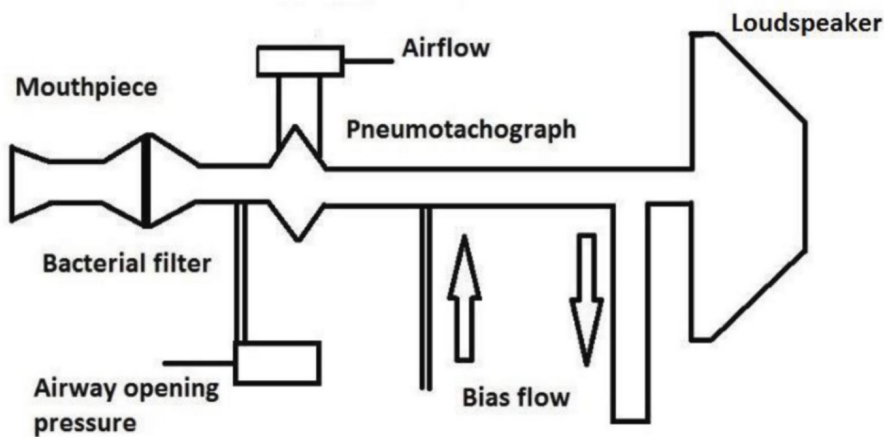


Fig. 1 Diagrama de oscilación forzada.

Conceptos y parámetros de la prueba:

De forma técnica se aplican oscilaciones de presión de 5 Hz y de la que se derivan todas las demás frecuencias, se miden las diferencias de amplitud y fase determinando así la impedancia del sistema respiratorio. Esta mide dos componentes principales: la resistencia y la reactancia.

La impedancia respiratoria se define como la suma de todas las fuerzas (tanto de resistencia como de reactancia) que se oponen a los impulsos de presión (oscilaciones), y se calcula a partir de la relación entre la presión y el flujo en cada frecuencia. (1). La resistencia (R_{rs}) registrada a 5 Hz (R_5) y 20 Hz (R_{20}) corresponde principalmente a la resistencia respiratoria total y a la resistencia de las vías respiratorias centrales, respectivamente. Por otro lado, la reactancia

medida a 5 Hz (X5) indica la elastancia, que se relaciona con la compliance del sistema respiratorio. La variabilidad en la frecuencia de Rrs, calculada como la diferencia entre R5 y R20 ($R5 - R20$), se considera especialmente sensible a la constricción heterogénea en las vías respiratorias periféricas; sin embargo, también puede verse influenciada por la heterogeneidad en las vías más centrales y por los tiempos de constante, así como por el flujo de desvío en las vías respiratorias superiores. Estas características técnicas permiten que la oscilometría ofrezca información complementaria a las pruebas funcionales respiratorias convencionales. (4)

Técnica:

De acuerdo a las recomendaciones de la ERS 2019 (5) se han utilizado diversas configuraciones, se mide a partir de las señales de dos sensores que se encuentran a nivel de la boquilla: un transductor de presión y un caudalímetro basado en un neumotacógrafo con un transductor de presión diferencial.

La calibración es importante ya que garantiza que se realicen correcciones para compensar el rendimiento inadecuado del equipo, esta calibración debe garantizar una ganancia y un desplazamiento de cero, además debe compensar la respuesta de frecuencia de un sensor compensando Zrs para las respuestas dinámicas medidas de los transductores de presión. La obtención de las mediciones depende del hardware (sensores) y el software (procesamiento de datos) utilizados. Los fabricantes deben proporcionar la información sobre la precisión de sus dispositivos para resistencias como reactancias, así la magnitud de la impedancia que vaya a utilizar el dispositivo oscilométrico debe incluir impedancias encontradas en adultos y niños que sean superior al valor absoluto de impedancia (Zrs) que se espera para cualquier población de sujetos. Por lo tanto, se recomienda que las cargas de prueba para las pruebas de adultos sean de $\sim 15 \text{ hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1}$ y para los niños de $\sim 40 \text{ hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1}$. En la actualidad, la mayoría de las cargas de prueba consisten únicamente en un componente mecánicamente resistivo sin embargo lo ideal

sería que las cargas de prueba también incluyan los componentes elásticos e inerciales de la impedancia.

Es necesario verificar que los distintos dispositivos oscilométricos cumplan con las recomendaciones generales para poder probarlos y compararlos objetivamente.

Es importante recalcar que los usuarios de dispositivos comerciales realizan la verificación con cargas de prueba de impedancia por lo tanto las recomendaciones al igual que para otros equipos de función pulmonar, la verificación con cargas debe realizarse diariamente o cada día que se utilice el instrumento.

El procesamiento de señales oscilométricas tiene un impacto importante en la precisión general de las mediciones oscilométricas.

Las mediciones se realizan durante la respiración a volumen corriente en reposo y se ve afectada por artefactos de las vías respiratorias superiores, degluciones, cierres de cuerdas vocales, tos, obstrucción por mal posicionamiento de la lengua y fugas. El paciente debe respirar de manera estable y relajada, sentado en posición erguida con apoyo de las mejillas, sellado de la boquilla y posición adecuada de la lengua. Se comprueba de forma visual que no existan fugas y se coloca una pinza nasal, se deben dar instrucciones precisas al paciente y un personal capacitado para que la prueba se realice correctamente.

La variabilidad de la prueba depende del número de mediciones técnicamente aceptables para determinar un valor medio. Se recomiendan tres o más mediciones replicadas, independientemente de la duración de la medición, que se consideren aceptables.

Otras causas que pueden afectar los resultados son las respiraciones profundas sobretodo en los asmáticos. En sujetos sanos estas respiraciones pueden proteger contra el estrechamiento de las vías respiratorias sin embargo posterior a la inhalación de un agonista del músculo liso

conducen a dilatación sostenida de las vías respiratorias. En la población pediátrica la talla está relacionada con las resistencias (Rrs) siendo un factor dominante sobre el sexo en niños de edad preescolar y escolar. Calogero et al, realizaron un estudio multicéntrico en niños sanos de Australia e Italia donde analizaron las diferencias en la impedancia del sistema respiratorio, sus resultados evidencian que la impedancia está relacionada a factores antropométricos y observó que las niñas presentan mayor impedancia. (6)

El estándar técnico de oscilometría respiratoria establece que el coeficiente de variación (CoV) entre las réplicas aceptables debe ser de $\leq 15\%$ para niños y $\leq 10\%$ para adultos. Esto se refiere a la consistencia de las mediciones repetidas durante la prueba. El uso de un CoV arbitrario para seleccionar las réplicas garantiza que los valores seleccionados estén cerca entre sí, excluyendo los valores atípicos. Es importante que este criterio de CoV se declare en el informe o en la sección de métodos de las publicaciones. (5)

Frecuencia de resonancia (Fres) : número de frecuencia en el que las fuerzas capacitativas e inerciales se igualan a cero. Las fuerzas elásticas dominan por debajo de la Fres, mientras que la inercia de las vías respiratorias juega un papel importante por encima de Fres.

Area de reactancia (AX): Es el área triangular limitada por Fres y la reactancia a 5 Hz. Tiene alta sensibilidad para la detección de obstrucción de las vías respiratorias pequeñas y valorar la reversibilidad al broncodilatador (3).

Valores de referencia:

La IOS tiene algunas limitaciones, hasta ahora no existe un estándar establecido que incluya recomendaciones a nivel mundial. Se han publicado numerosos estudios tanto en niños como adultos para determinar valores de referencia, proponiendo ecuaciones para la interpretación de los resultados, sin embargo no han sido estandarizados. Existe la necesidad de obtener valores que incluyan respuesta al broncodilatador similares a las que existen para espirometría de

acuerdo a la iniciativa Global de Función Pulmonar (GLI). La ERS recomienda el uso de z-score para cada parámetro incluido en IOS. Las posibles diferencias de las mediciones entre equipos también requieren mas estudios. En la población pediátrica las medidas dependen de las medidas antropométricas como ya lo mencionamos, sobretodo la talla. Otros estudios demostraron la relación entre Rrs incrementa con la edad; Fres y Xrs pueden estar elevadas en la infancia y disminuyen su valor con la edad. (3) (5)

En el 2008 Nowowiejska et al. mostró ecuaciones que demostraron tener un ajuste en los parámetros niños de 3 a 18 años usando IOS en Jaeger en población pediátrica en Polonia. Dentro de sus resultados encontraron que para todas las variables menor X25, la altura fue el mejor predictor. Demostrarón también que las resistencias y Fres disminuyen conforme aumenta la talla, mientras que la reactancia se incrementa. La presentación de los resultados se recomienda en score para facilitar la interpretación. (7)

En el 2013 Schulz et al. Publicó índices en IOS para población adulta caucásica, mostraron diferencias significativas en las mediciones de resistencia y reactancia, estas dependiendo de la edad. También demostraron valores mas altos en mujeres. Las nuevas ecuaciones mostraron tener mejoras en comparación con modelos anteriores en este grupo de edad (8).

En el 2015 Gochicoa et al. publicó valores de referencia en población pediátrica sin embargo la ecuación no había sido validada. En el 2017 se buscó validar esta ecuación de referencia y se comparó el ajuste con otras ecuaciones que han sido publicadas en niños. En el análisis de los límites inferiores y superiores de la normalidad, la ecuación Gochicoa et al. fue la mejor por lo que se recomendó tanto para su uso clínico como de investigación en población mexicana (9).

Como describimos anteriormente la ecuación recomendada en nuestra población ha sido útil tanto en la práctica clínica como con fines de investigación, sin embargo se validó en 1 equipo de medición, lo que nos lleva a más preguntas ya que existen en la actualidad varios dispositivos

portátiles para realizar esta prueba, siendo así, debido a las diferencias de su diseño podría influir en las mediciones por lo que se necesitan más estudios que nos ayuden a comparar los resultados y definir si es aplicable la misma fórmula a todos los equipos.

Aplicación clínica:

La IOS se ha utilizado tanto en población adulta como en niños para el diagnóstico de enfermedades de tipo obstructivo e hiperreactividad bronquial (1). Desde 1988 Duiverman et al estudiaron la función pulmonar de pacientes con displasia broncopulmonar utilizando oscilometría forzada, en este estudio encontraron cambios significativos que sugieren que las alteraciones en la edad pediátrica tienen un impacto a largo plazo ya que se asocia a pérdida de la función pulmonar. (10). Sabemos que en las enfermedades crónicas la evaluación de la función pulmonar es fundamental; existen estudios que han evaluado las asociaciones entre la función pulmonar y los síntomas clínicos en enfermedades crónicas en la edad preescolar como Fibrosis quística, y aunque no se pudo demostrar que realizar pruebas de función pulmonar como oscilometría forzada detectara tempranamente la enfermedad, sobretodo en población asintomática, si detectaron anormalidades por lo que cobra relevancia en pacientes que inician con síntomas (11).

La American Thoracic Society (ATS) realizó recomendaciones para la realización de pruebas de función pulmonar en menores de 6 años. (12). Se tomaron en cuenta enfermedades como fibrosis quística, displasia broncopulmonar y sibilancias recurrentes; sin embargo hubo limitaciones para emitir una recomendación para usarlos dentro de los estudios de rutina ya que la información es limitada. En dos estudios longitudinales que estudiaron FOT en niños con fibrosis quística, no se encontró asociación entre los parámetros y score clínico. (13) (14).

Equipos:

Existen varios dispositivos para realizar esta prueba, nos centraremos en dos de ellos.

Impulse Oscillometry System (IOS) y TremoFlo FOT de Thorasys. Ambos dispositivos evalúan la mecánica pulmonar de manera no invasiva y con mínima cooperación del paciente. Sin embargo, aunque ambos dispositivos comparten el mismo principio subyacente, existen diferencias clave en sus características de diseño y funcionamiento que pueden influir en las mediciones de resistencia y reactancia.

Oscilometría de Impulso (IOS)

El sistema IOS utiliza una fuente de oscilaciones generada por un altavoz, que emite trenes de pulsos periódicos para evaluar la impedancia respiratoria. Las oscilaciones se producen a frecuencias fundamentales de 5 Hz y sus armónicas (es decir múltiplos de 5 Hz), lo que permite capturar las variaciones en la resistencia (R) y la reactancia (X) a través del sistema respiratorio.

Entre las características específicas de IOS, se destaca su capacidad para medir cinco espectros de impedancia por segundo, lo que le otorga una ventaja en la captura de la variabilidad intra-respiratoria de la reactancia. Esta capacidad podría proporcionar una visión más detallada de la dinámica respiratoria en sujetos sanos. Además, IOS tiende a calcular el área de reactancia (AX) mediante extrapolación si el valor de AX excede la frecuencia armónica más alta (35 Hz), lo cual puede influir en los resultados en comparación con otros dispositivos.

Otra característica notable de IOS es su tendencia a sobreestimar los valores de resistencia en comparación con TremoFlo. Esta sobreestimación puede atribuirse a las diferencias en el contenido de amplitud de la señal de oscilación, donde la mayor parte de la energía se concentra en la frecuencia fundamental de 5 Hz, lo que podría distorsionar la señal debido a las armónicas subsecuentes.

TremoFlo FOT (Técnica de Oscilación forzada) (Thorasys)

El TremoFlo FOT, por otro lado, utiliza una forma de onda sinusoidal que contiene múltiples frecuencias, que se entregan a través de una malla vibratoria. Este dispositivo cubre un rango de frecuencias de 5 a 37 Hz, incluyendo más frecuencias no armónicas en comparación con IOS, lo que podría ofrecer una evaluación más detallada de la reactancia a diferentes niveles del sistema respiratorio.

TremoFlo ha demostrado medir valores de reactancia más negativos y un área de reactancia significativamente mayor en comparación con IOS. Estas características sugieren que TremoFlo podría ser más sensible para detectar cambios en la elasticidad y las propiedades inerciales del tejido pulmonar, particularmente en las vías respiratorias periféricas. En el contexto de sujetos sanos, esta sensibilidad podría ser crucial para identificar sutiles diferencias en la función pulmonar que podrían no ser capturadas por otros dispositivos.

Además, TremoFlo asigna el valor de la frecuencia armónica más alta (37 Hz) si no se alcanza una frecuencia de resonancia durante la medición, lo que puede influir en la precisión y la sensibilidad de las mediciones de reactancia en comparación con IOS.

Comparación entre IOS y TremoFlo

La principal diferencia entre ambos dispositivos radica en cómo procesan y reportan las mediciones de resistencia y reactancia. Mientras que IOS tiende a reportar valores de resistencia más altos y reactancia menos negativa, TremoFlo se distingue por reportar valores de reactancia más negativos y un área de reactancia más amplia. Estas diferencias subrayan la importancia de comprender las características técnicas de cada dispositivo al comparar sus resultados en estudios clínicos y de investigación. (15)(16).

En el marco de esta tesis, el objetivo será comparar las mediciones de impedancia respiratoria obtenidas con IOS y TremoFlo en población pediátrica de sujetos sanos. Esto permitirá evaluar la consistencia entre ambos dispositivos y determinar cuál de ellos ofrece una mayor precisión y

sensibilidad en la evaluación de la función pulmonar en individuos sin patologías respiratorias conocidas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La oscilometría de impulso es una herramienta no invasiva para evaluar la función pulmonar en niños, especialmente útil en aquellos que no pueden realizar maniobras espirométricas convencionales. Existen diversos dispositivos como el Thorasys y el Vyaer, que aplican la técnica de oscilometría, pero es fundamental evaluar si estos equipos son intercambiables y si, al aplicar diferentes ecuaciones de referencia, los resultados obtenidos son consistentes y comparables. En particular, es esencial determinar si estos dispositivos pueden identificar correctamente a niños sanos cuando se utilizan las ecuaciones de referencia de Ducharme et al (para Thorasys) y de Gochicoa et al (para Vyaer). La comparabilidad de estos resultados podría tener implicaciones significativas en la práctica clínica, asegurando una evaluación precisa y consistente de la salud respiratoria infantil.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.

¿Son comparables los resultados obtenidos en niños sanos utilizando los dispositivos de oscilometría Thorasys y Vyaer cuando se aplican las ecuaciones de referencia de Ducharme et al y Gochicoa et al, respectivamente?

JUSTIFICACIÓN.

El uso de la oscilometría de impulso se ha incrementado debido a su capacidad para evaluar la función pulmonar en poblaciones pediátricas, particularmente en niños pequeños y aquellos con

dificultades para realizar pruebas espirométricas convencionales. Sin embargo, la diversidad de dispositivos y las diferentes ecuaciones de referencia aplicadas pueden generar variaciones en los resultados, lo que podría afectar la interpretación clínica. Evaluar la comparabilidad entre diferentes dispositivos y sus respectivas ecuaciones de referencia es crucial para garantizar que los resultados obtenidos reflejen con precisión la salud pulmonar de los niños evaluados. Este estudio pretende proporcionar evidencia sobre la validez de estos dispositivos en la identificación de niños sanos y contribuir a la estandarización de las pruebas de oscilometría en la práctica clínica.

HIPOTESIS.

Los dispositivos de oscilometría Thorasys y Vyaer, al aplicar las ecuaciones de referencia de Ducharme et al y Gochicoa et al respectivamente, son capaces de identificar correctamente a niños sanos, y los resultados obtenidos son comparables entre ambos equipos.

OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la comparabilidad de los resultados obtenidos mediante las pruebas de oscilometría en niños sanos utilizando los dispositivos Thorasys y Vyaer, al aplicar las ecuaciones de referencia de Ducharme et al y Gochicoa et al respectivamente, con el fin de determinar si ambos equipos son capaces de identificar correctamente a niños sanos y si los resultados de las puntuaciones Z de las variables son intercambiables en la práctica clínica.

MATERIAL Y MÉTODOS:

Diseño del estudio: Estudio prospectivo, transversal y analítico

Se realizó un estudio en 46 sujetos mexicanos, entre 3 y 17 años, utilizando los dispositivos Thorasys y Vyaer en el Laboratorio de Función Pulmonar del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Se calcularon los valores Z para variables de oscilometría como R5, R5-R20, X5, AX y Fres, comparando los resultados obtenidos con ambas ecuaciones de referencia.

Lugar del estudio: Laboratorio de Función Pulmonar del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Dr. Ismael Cosío Villegas.

Descripción de la población de estudio: Sujetos sanos pulmonares, entre los 3 y 17 años.

Criterios de inclusión

- Sujetos sanos, ambos sexos, mayores de 3 años de edad
- Sujetos de nacionalidad mexicana
- Sano pulmonar: (nunca fumador, menos de 100 cigarrillos en la vida, sin síntomas respiratorios, sin diagnóstico respiratorio, sin exposición en las últimas 2 semanas a humos o vapores de cigarrillos electrónicos)

Criterios de exclusión

- Aquellos participantes cuyos resultados del cuestionario de evaluación pulmonar indicaron enfermedad pulmonar, sintomatología respiratoria significativa o antecedentes perinatales de patología pulmonar

Criterios de eliminación

- Maniobras incompletas
- Maniobras no aceptables ni repetibles

Variables de desenlace y descripción de las otras variables de estudio

Tabla 1. Operacionalización de las variables				
Nombre de la variable	Definición conceptual	Escala de medición	Indicador	Tipo de variable
Variables independientes				
Edad	Tiempo transcurrido en años a partir de la fecha de nacimiento	Años cumplidos	4-80	Cuantitativa continua
Sexo	Sexo biológico al nacimiento	N/A	0: mujer 1: hombre	Cualitativa dicotómica
Talla	Estatura o altura de las personas	Cm	0- 200 cm	Cuantitativa continua
Peso	Peso de los sujetos	Kg	0-200	Cuantitativa continua
Variables dependientes				
R 5 Hz	Resistencia en vías aéreas totales	Kpa/L/s		Cuantitativa numérica
R 20 Hz	Resistencia en vías aéreas centrales	Kpa/L/s		Cuantitativa numérica
R 5 – R 20	Diferencia de la resistencia	Kpa/L/s		Cuantitativa numérica
X 5 Hz	Reactancia a 5 Hz	Kpa/L/s		Cuantitativa numérica

Frecuencia de resonancia (Fres)	Punto en el cual la capacitancia y la inercia están en cero a distintas frecuencias	Hz		Cuantitativa numérica
Área de reactancia (AX)	Indica la reactancia respiratoria total de forma cuantitativa	Kpa/L		Cuantitativa numérica
Diagnóstico funcional	Indica el estado funcional respiratorio de los sujetos	N/A	Normal, obstrucción distal, obstrucción proximal, sugerente de restricción	Cualitativa

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis estadístico se realizó utilizando estadística descriptiva, adecuada según la naturaleza y el comportamiento de cada variable. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, la cual confirmó una distribución paramétrica. Para comparar los resultados de ambos equipos, se empleó la prueba t de Student para muestras pareadas. Los resultados se presentan como media y desviación estándar. El análisis de los datos se llevó a cabo con el software Stata, versión 13.

IMPLICACIONES ÉTICAS

Este estudio se clasifica como una investigación sin riesgo. Se llevó a cabo cumpliendo con las normativas éticas, el reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, y la Declaración de Helsinki de 1975, revisada en 1996 en Sudáfrica, además de seguir las buenas prácticas clínicas. El estudio se realizó en estricta conformidad con los lineamientos establecidos en el Título Segundo, Capítulo I, Artículo 17, Categoría II del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud.

RESULTADOS.

En este estudio se incluyeron 46 sujetos mexicanos, con edades comprendidas entre los 3 y 17 años, y una edad promedio de 8.8 años. Todos los participantes presentaron un índice de masa corporal dentro de los rangos normales. Ver Tabla 1.

Se calcularon los valores Z para las variables de oscilometría, incluyendo R5, R5-R20, X5, AX y Fres. Se observó un buen ajuste entre todas las variables, excepto en R5, donde se encontró una diferencia estadísticamente significativa. Ver Tabla 2.

Se realizaron gráficas para comprender la relación entre las dos ecuaciones de referencia, Gochicoa y Ducharme.

Observamos la comparación de las ecuaciones de referencia Gochicoa y Ducharme para la relación entre la edad en años (eje X) y la puntuación Z de las resistencias medidas a 5 Hz (eje y). Se observa mayor dispersión alrededor de la línea de tendencia a mayor edad, mostrando una correlación débil. **(Ver Figura 1).**

Se observó la gráfica para la puntuación Z de la relación de R5-R20 (**Ver figura 2**) existe una buena correlación entre ambas ecuaciones, aunque con cierta dispersión en la minoría de los puntos. Además se observan outliers significativos que podrían tratarse de casos especiales. La línea de tendencia de ambas ecuaciones se ajusta adecuadamente.

En la puntuación Z de X5 muestra una buena relación entre ambas ecuaciones. Es importante recordar que el punto de discriminación para identificar reactancias anormales se encuentra en una puntuación Z negativa. En este contexto, se aprecia que, a menor edad, la ecuación de Ducharme tiende a generar valores más negativos. Aunque se observa cierta dispersión y la presencia de algunos outliers, en general, los puntos se ajustan razonablemente bien a las líneas de tendencia de ambas ecuaciones. **(Ver Figura 3).**

Se encontró que la ecuación de Ducharme ajusta bien los datos en relación con la puntuación Z de Fres respecto a la edad, mientras que la ecuación de Gochicoa muestra una mayor dispersión de los datos a edades más tempranas. Sin embargo, es importante recordar que el comportamiento normal de la Fres es inversamente proporcional a la edad y no sigue una relación lineal, como parece sugerir la ecuación de Ducharme en este contexto. **(Ver Figura 4).**

Se observó buena relación para la puntuación Z de AX entre ambas ecuaciones; sin embargo, los datos correspondientes a la ecuación de Ducharme muestran una mayor dispersión. Es

importante recordar que AX es un resultado compuesto, lo que podría contribuir a esta variabilidad. (Ver Figura 5).

Figura 1. Relación de la puntuación Z de R5

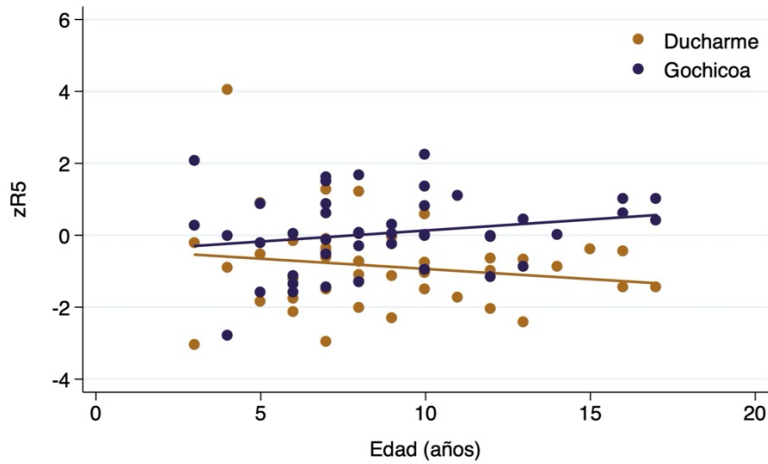


Figura 2. Relación de la puntuación Z de R5-R20

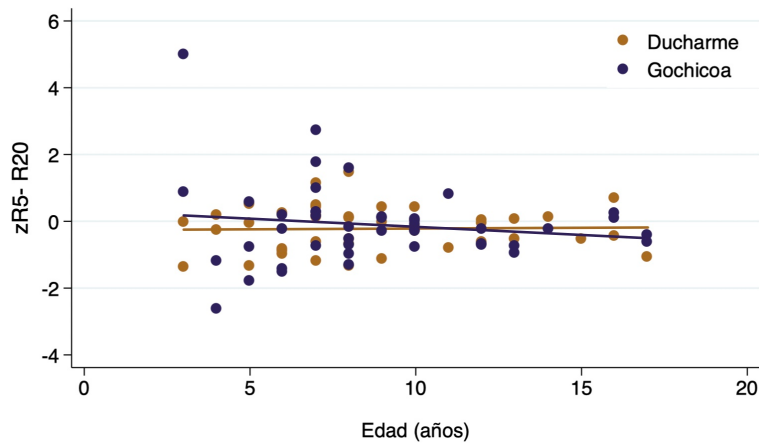


Figura 3. Relación de la puntuación Z de X5

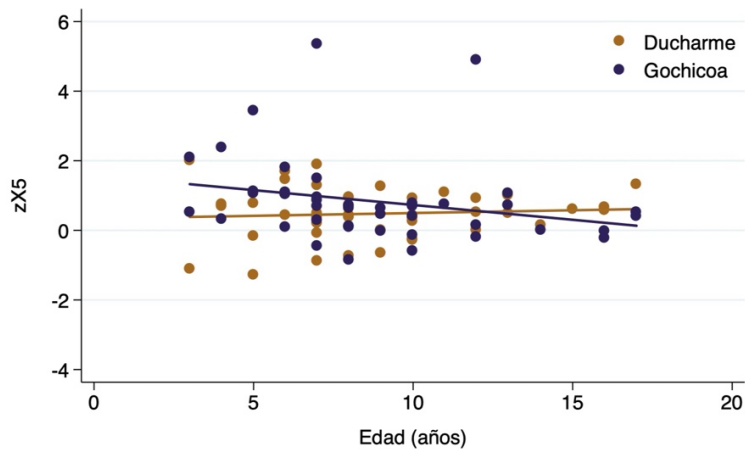


Figura 4. Relación de la puntuación Z en Fres

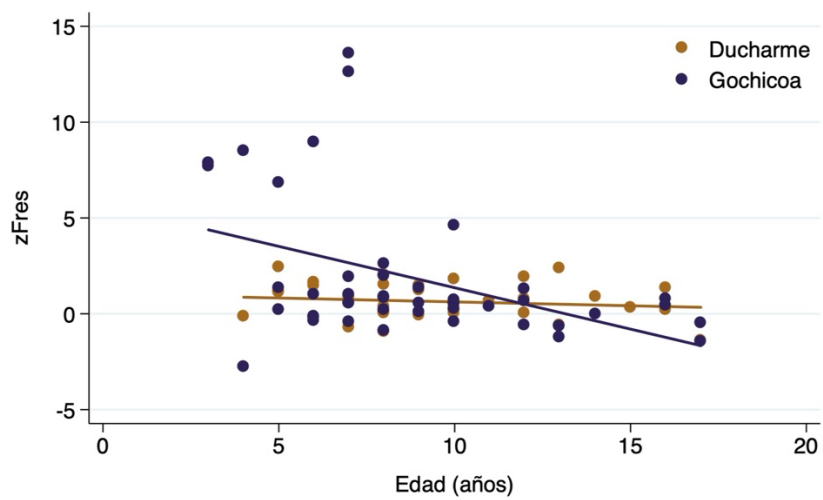


Figura 5. Relación de puntuación Z para AX

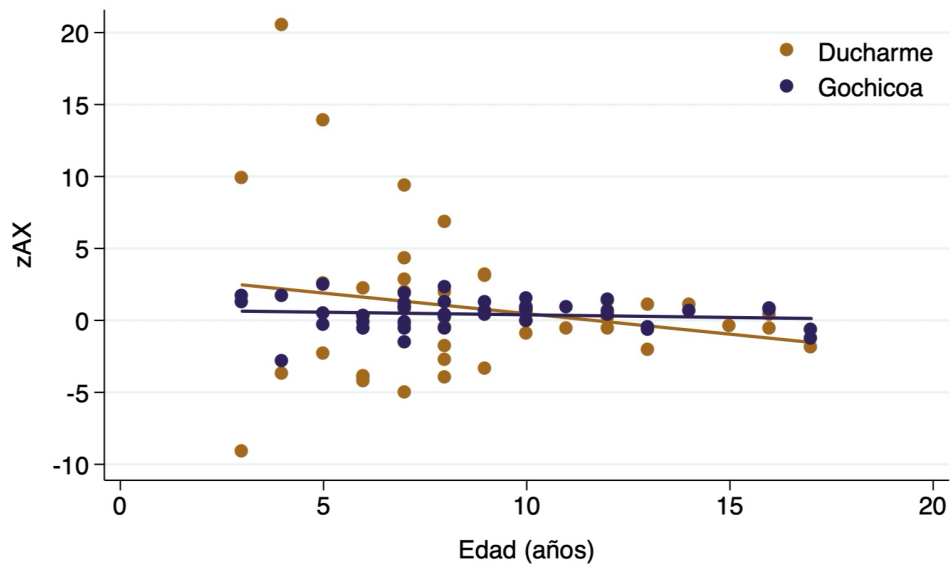


Tabla 1. Características demográficas de la población de estudio

	Media $\pm$ DE
n	47
Sexo (mujer/hombre)	45% / 55%
Edad, años	8.8 $\pm$ 3.7
Talla, cm	131.2 $\pm$ 21.2
Peso, Kg	34.9 $\pm$ 16.3
Índice de masa corporal, Kg/m ²	19.1 $\pm$ 4.5

Tabla 2. Comparación de las variables oscilométricas de ambos equipos de medición y ecuaciones de referencia.

	IOS	AOS	Valor de P*
R5	0.66 ± 0.24	0.57 ± 0.27	0.0044
R5 - R20	0.18 ± 0.12	0.14 ± 0.09	0.0221
X5	-0.18 ± 0.1	-0.25 ± 0.1	0.0001
Fres	25.8 ± 11.5	25.5 ± 4.9	0.0578
AX	2.08 ± 1.56	2.96 ± 2.51	0.0013
	Gochicoa	Ducharme	Valor de P*
zR5	-0.87 ± 1.22	0.06 ± 1.06	< 0.0001
zR5-R20	-0.22 ± 0.65	-0.12 ± 1.23	0.5322
zX5	0.48 ± 0.74	0.83 ± 1.23	0.1008
zFres	0.8 ± 5.08	1.85 ± 3.65	0.2339
zAX	0.65 ± 0.88	0.43 ± 1.02	0.5971

Variables representadas en medianas y desviación estándar.

*Prueba T de Student pareada, P<0.05 estadísticamente significativo

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En el presente estudio, se observó una buena relación entre las puntuaciones Z de las variables de oscilometría, incluyendo la diferencia entre las resistencias medidas a 5 Hz y 20 Hz (R5-R20), la reactancia a 5 Hz (X5), la frecuencia de resonancia (Fres) y el área de reactancia (AX). Sin embargo, se encontró una diferencia estadísticamente significativa en las resistencias medidas a 5 Hz (R5) (**Ver Tabla 2.**) donde, con el aumento de la edad, los valores tienden a alejarse más del cero en la ecuación de Ducharme, mostrando una tendencia hacia valores negativos.

Una posible explicación para este fenómeno radica en el tipo de población utilizada en cada estudio. Mientras que el estudio de Ducharme se realizó en pacientes canadienses, donde la altura fue el predictor más fuerte para sus resultados, nuestro estudio se llevó a cabo en una población mexicana. La diferencia en estatura entre ambas poblaciones, siendo la estatura promedio menor en México, podría desempeñar un papel importante en las variaciones observadas. En este caso la ecuación de Gochicoa muestra un mejor ajuste, manteniendo los datos más cercanos a cero, esta ecuación fue realizada en mexicanos.

Otra explicación es que aunque el estudio realizado por Ducharme et al, incluyó un rango amplio de edades (3-17 años), hubo menos participantes en los extremos del rango. Esto podría limitar la aplicabilidad de las ecuaciones para niños muy pequeños o adolescentes mayores.

Es importante destacar que, aunque algunas variables mostraron un comportamiento similar en la población estudiada con ambas ecuaciones, es crucial recordar que Fres y AX están fisiológicamente relacionadas con la edad y la estatura. Esto significa que, si la muestra no incluye suficientes individuos en los extremos de la edad, es probable que se observe una mayor dispersión en la puntuación Z, lo que puede resultar en un poder estadístico insuficiente para obtener información precisa en esos rangos de edad.

En este estudio se encontraron valores fuera del rango de la normalidad pese a trabajar con sujetos sanos, por lo que sugerimos que se hagan más investigaciones para evaluar los factores que pueden influir en los resultados de la oscilometría como condición física, entorno ambiental, e incluso la variabilidad circadiana.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Tamaño de muestra pequeño

Sólo se analizaron las pruebas basales, por lo que es imposible saber si alguno de los participantes pudo haber mostrado una respuesta significativa al broncodilatador.

CONCLUSIÓN

El uso de la puntuación Z en ambas ecuaciones mejora la concordancia entre ellas para la mayoría de las variables de oscilometría (R5-R20, AX, X5, Fres), con la excepción de R5. Esto contribuye a una mayor estandarización en la interpretación de los resultados obtenidos mediante oscilometría en sujetos sanos con estos equipos (Vyaer, Thorasys).

BIBLIOGRAFÍA:

1. Bickel S, Popler J, Lesnick B, Eid N. Impulse Oscillometry: Interpretation and Practical Applications. *Chest*. 2014 Sep 1;146(3):841–7.
2. Skylogianni E, Douros K, Anthracopoulos MB, Fouzas S. The Forced Oscillation Technique in Paediatric Respiratory Practice. Vol. 18, *Paediatric Respiratory Reviews*. W.B. Saunders Ltd; 2016. p. 46–51.
3. Bednarek M, Grabicki M, Piorunek T, Batura-Gabryel H. “Current place of impulse oscillometry in the assessment of pulmonary diseases.” *Respir Med*. 2020 Aug 1;170:105952.
4. Liang X, Zheng J, Gao Y, Zhang Z, Han W, Du J, et al. Clinical application of oscillometry in respiratory diseases: an impulse oscillometry registry. *ERJ Open Res* [Internet]. 2022 Oct 1 [cited 2024 Jul 22];8(4). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pbidi.unam.mx:2443/36267898/>
5. King GG, Bates J, Berger KI, Calverley P, De Melo PL, Dellacà RL, et al. Technical standards for respiratory oscillometry. [cited 2024 Aug 10]; Available from: <https://doi.org/10.1183/13993003.00753-2019>
6. Claudia Calogero MJS. Respiratory impedance and bronchodilator responsiveness in healthy children aged 2–13 years | Enhanced Reader.
7. ĩena Nowowiejska B, Tomalak W, Radlin ´ski J, Radlin ´ski R, Siergiejko G, Latawiec W, et al. Transient Reference Values for Impulse Oscillometry for Children Aged 3-18 Years. *Pediatr Pulmonol* [Internet]. 2008 [cited 2024 Aug 14];43:1193–7. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppul.20926>

8. Schulz H, Flexeder C, Behr J, Heier M, Holle R, Huber RM, et al. Reference Values of Impulse Oscillometric Lung Function Indices in Adults of Advanced Age. *PLoS One*. 2013 May 15;8(5).
9. Gochicoa-Rangel L, del Río-Hidalgo R, Hernández-Ruiz J, Rodríguez-Moreno L, Martínez-Briseño D, Mora-Romero U, et al. Validating reference equations for impulse oscillometry in healthy Mexican children. *Respir Care*. 2017;62(9):1156–65.
10. Duiverman EJ, Den Boer JA, Roorda RJ, Rooyackers CMHM, Valstar M, Kerrebijn KF. Lung function and bronchial responsiveness measured by forced oscillometry after bronchopulmonary dysplasia. *Arch Dis Child* [Internet]. 1988 [cited 2024 Aug 14];63(7 Spec No):727. Available from: [/pmc/articles/PMC1590126/?report=abstract](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1590126/)
11. Ren CL, Rosenfeld M, Mayer OH, Davis SD, Kloster M, Castile RG, et al. Analysis of the associations between lung function and clinical features in preschool children with Cystic Fibrosis. *Pediatr Pulmonol* [Internet]. 2012 Jun 1 [cited 2024 Aug 14];47(6):574–81. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ppul.21590>
12. Rosenfeld M, Allen J, Arets BHGM, Aurora P, Beydon N, Calogero C, et al. An official American Thoracic Society workshop report: optimal lung function tests for monitoring cystic fibrosis, bronchopulmonary dysplasia, and recurrent wheezing in children less than 6 years of age. *Ann Am Thorac Soc* [Internet]. 2013 Apr [cited 2024 Aug 14];10(2). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23607855/>
13. Kerby GS, Rosenfeld M, Ren CL, Mayer OH, Brumback L, Castile R, et al. Lung function distinguishes preschool children with CF from healthy controls in a multi-center setting. *Pediatr Pulmonol* [Internet]. 2012 Jun [cited 2024 Aug 14];47(6):597–605. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22081559/>

14. Nielsen KG, Pressler T, Klug B, Koch C, Bisgaard H. Serial lung function and responsiveness in cystic fibrosis during early childhood. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2004 Jun 1 [cited 2024 Aug 14];169(11):1209–16. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15028557/>
15. Kuo CRW, Jabbal S, Lipworth B. I Say IOS You Say AOS: Comparative Bias in Respiratory Impedance Measurements. *Lung*. 2019 Aug 15;197(4):473–81.
16. Soares M, Richardson M, Thorpe J, Owers-Bradley J, Siddiqui S. Comparison of Forced and Impulse Oscillometry Measurements: A Clinical Population and Printed Airway Model Study. *Sci Rep*. 2019 Dec 1;9(1).