



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES  
RESPIRATORIAS  
ISMAEL COSÍO VILLEGAS



TESIS:

**IMPACTO DEL ESTRÉS SOBRE EL RESULTADO DE LA  
OSCILOMETRÍA DE IMPULSO EN PERSONAS QUE REALIZAN LA  
PRUEBA POR PRIMERA VEZ.**

Para obtener el grado de especialista en:

**Neumología**

PRESENTA:

Dr. Alan Uriel Camacho Jiménez

TUTOR

Dra. Laura Graciela Gochicoa Rangel

CO-TUTOR

Dr. Mario Humberto Vargas Becerra

Ciudad de México, Agosto 2022



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.

## AGRADECIMIENTOS.

A Dios, porque sin el don de la vida que me da cada día este sueño de sería imposible.

A mi familia, en especial a mamá que desde el cielo me guía y me cuida, gracias por todas tus enseñanzas, por todo tu apoyo, tu amor y tu cariño que he hacen ser mejor persona, gracias por ser un pilar fundamental en mi vida, gracias a mi papá por todo el apoyo que me ha brindado, todo un ejemplo a seguir como médico y persona, a mis hermanos Elías y Christian gracias por su incondicional apoyo a lo largo de mi formación, todo el cariño, los momentos difíciles por los que me vieron pasar, su apoyo a pesar de la distancia.

A mi esposa Nely por darle sentido a todo el esfuerzo realizado, por su amor y comprensión en esta larga carrera que emprendimos juntos, por su gran valor por luchar por nuestra relación a pesar de la distancia, por tu dedicación día a día en todo lo que haces y sobre todo por demostrarme tu amor todos los días, gracias por querer formar una familia conmigo, gracias por aceptar ser mi esposa amor, gracias también por traer a nuestras vidas a mis pequeñas chihuahuas Gina y Maggy, las mejores mascotas que puede haber pedido, siempre dándome su amor y apoyo en los momentos más difíciles de la residencia.

A mis tíos, tías, primos y primas por todo el apoyo, y el ánimo que me dan siempre al verlos. En especial a mi tía Maricela, que hace que me llene de alegría y orgullo al verla, ya que gracias a esta especialidad que concluyo fue posible mantenerla con vida a pesar de la pandemia por COVID-19.

A todos los médicos adscritos, mis maestros, en especial a mis tutores y al servicio del Laboratorio de Fisiología Respiratoria del INER. por todo lo que me enseñaron durante estos años, gracias por compartir un poco de sus conocimientos, por sus clases y observaciones me hicieron ser el médico que soy hoy día,

A mis amigos y ahora colegas que conocí en la residencia, que, a pesar de la gran carga de trabajo, y todas las dificultades tuvimos que enfrentar en esta residencia logramos salir adelante.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
MARCO TEÓRICO.....	5
ANTECEDENTES.....	5
PRINCIPIOS CLAVE DE LA OSCILOMETRÍA.....	5
PARAMETROS DE LA OSCILOMETRÍA DE IMPULSO Y SU INTERPRETACIÓN.....	6
MANIOBRA DE OSCILOMETRÍA.....	10
APLICACIONES CLÍNICAS DE LA OSCILOMETRÍA.....	11
<i>IMPACTO DEL ESTRÉS Y EFECTO DEL APRENDIZAJE.....</i>	14
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	15
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
JUSTIFICACIÓN.....	16
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
HIPÓTESIS.....	17
METODOLOGÍA.....	17
Lugar de estudio:.....	17
Diseño del estudio.....	17
Descripción de la población de estudio:.....	17
Variables de desenlace y descripción de las otras variables de estudio.....	18
Metodología.....	19
Consideraciones éticas.....	19
Procedimientos para la recolección de información.....	20
Análisis de resultados.....	20
RESULTADOS.....	21
DISCUSION.....	26
CONCLUSIONES.....	27
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

## INTRODUCCIÓN.

Las pruebas de función respiratoria (PFR) son un grupo de exámenes que evalúan la función pulmonar y tienen aplicación rutinaria en la práctica clínica del médico neumólogo. Son de utilidad en el diagnóstico y pronóstico de diversas enfermedades respiratorias, permiten además evaluar respuesta a tratamientos, así como vigilar la progresión funcional y tienen además utilidad en la valoración de riesgo operatorio.<sup>1</sup>

Las PFR pueden dividirse en pruebas de mecánica de la respiración, pruebas de intercambio gaseoso, pruebas de ejercicio, pruebas de control de la respiración, y biomarcadores inflamatorios.<sup>2</sup> Entre las pruebas que evalúan la mecánica respiratoria se incluyen la espirometría, la pletismografía, la medición de presiones inspiratorias y espiratorias máximas, y la prueba de reto bronquial, sin embargo en estos estudios se requiere de la cooperación del paciente además de que la medición se realiza durante una maniobra de espiración forzada.<sup>2,3</sup>

Actualmente existen pruebas que evalúan la función respiratoria de los sujetos de estudio de una forma mucho más sencilla y que no requieren espiraciones forzadas como lo es la oscilometría de impulso.<sup>2,3</sup>

La oscilometría de impulso es una prueba de función respiratoria que permite medir las propiedades mecánicas del sistema respiratorio (vías aéreas superiores e intratorácicas, tejido pulmonar y pared torácica) durante respiraciones a volumen corriente, mediante la aplicación de una señal de presión oscilante, misma que permite evaluar la impedancia del sistema respiratorio ( $Z_{rs}$ ) a diferentes frecuencias de oscilación.<sup>2</sup>

A partir de la  $Z_{rs}$  se derivan la resistencia ( $R_{rs}$ ) y la reactancia ( $X_{rs}$ ) que son las fuerzas que deben ser vencidas para que el aire pueda ser desplazado dentro y fuera del sistema respiratorio.<sup>2,3,4,5.</sup>

## **MARCO TEÓRICO**

### *ANTECEDENTES*

La oscilometría es una prueba no invasiva descrita por primera vez en 1956 por Dubois et al. La cual se basa en el principio de la técnica de oscilación forzada (FOT), en sus estudios observaron la mecánica de la respiración y su respuesta a diferentes frecuencias de 1 a 35Hz para evaluar las características de la vía aérea, el parénquima pulmonar y el tórax, así como calcular la inercia del sistema, todo esto en sujetos sanos, consientes manteniendo respiraciones tranquilas a volumen corriente a una frecuencia respiratoria normal, con lo cual obtuvieron datos muy heterogéneos acerca de la elasticidad tisular y resistencia de la vía aérea. A partir de entonces se han realizado avances en la técnica, usando los mismos principios.<sup>6</sup>

### *PRINCIPIOS CLAVE DE LA OSCILOMETRÍA*

La oscilometría de impulso es un estudio utilizado para medir as propiedades mecánicas del sistema respiratorio a través de la aplicación de pequeños pulsos de presión.<sup>2</sup>

En la técnica de oscilometría forzada (FOT) las ondas de sonido generadas por un altavoz son transmitidas a los pulmones a través de una boquilla que el paciente coloca en su boca; estas ondas de sonido (que básicamente son ondas de presión) generan cambios de presión que a su vez conllevan cambios en el flujo.<sup>5</sup>

Las oscilaciones a una frecuencia determinada se pueden sobreponer sobre ventilaciones espontáneas a volumen corriente, o incluso en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva (VMI). Los cambios resultantes son captados por un manómetro o neumotacógrafo permitiendo su análisis.<sup>3</sup>

Las ondas de baja frecuencia avanzan más distalmente a lo largo del árbol bronquial hasta los alveolos, y de ahí son reflejadas de regreso mientras que aquellas ondas con frecuencias más altas son reflejadas de las vías aéreas más centrales. Por lo

tanto, los parámetros registrados a diferentes frecuencias representan diferentes regiones de los pulmones. <sup>5</sup>

La principal diferencia con la oscilometría de impulso (IOT) es que en la FOT las ondas de sonido a diferentes frecuencias son transmitida de manera secuencial, mientras que, en la IOS, como su nombre lo indica se envía un “impulso” del cual se generan los cálculos matemáticos al descomponerla en las diferentes frecuencias que la componen. <sup>5,7</sup>

Una de las desventajas que presenta la IOS frente a la FOT es que el impulso generado en la IOS puede presentar un poco más de resistencia para el sujeto comparado con las ondas de la FOT pudiendo causar cambios sutiles en la medición de la mecánica respiratoria, sin embargo, entre las ventajas que la IOS tiene es que puede calcular la impedancia a cualquier frecuencia entre 5-30 Hz mientras que en la FOT se calcula únicamente a las frecuencias utilizadas.<sup>7</sup>

En segundo lugar, es una mejor herramienta para identificar alteraciones regionales que tienen un pequeño efecto en la mecánica respiratoria y en tercer lugar la maniobra es más rápida. Tomando lo anterior en cuenta, esto conduce a una mayor eficiencia para las aplicaciones de diagnóstico en un laboratorio de función pulmonar.<sup>5</sup>

### *PARAMETROS DE LA OSCILOMETRÍA DE IMPULSO Y SU INTERPRETACIÓN*

**Impedancia:** Representada como  $Z_{rs}$ . Se refiere a la impedancia del sistema respiratorio la cual refleja las fuerzas totales relacionadas con la resistencia, la elastancia y la inercancia que debe superarse para impulsar el flujo de aire dentro y fuera del pulmón.<sup>2</sup>

$Z_{rs}$  describe ampliamente las propiedades mecánicas de todo el sistema respiratorio (vía aérea, parénquima y pared torácica) y está representado por sus componentes, la resistencia ( $R_{rs}$ ) y reactancia ( $X_{rs}$ ) del sistema respiratorio. Por lo tanto, la

impedancia del sistema respiratorio ( $Z_{rs}$ ) evalúa la relación generada entre cambios de presión y flujo durante el flujo oscilatorio que entra y sale de los pulmones.<sup>3,4</sup>

$Z_{rs}$  desde un punto de vista sencillo puede decirse que tiene 2 componentes uno “real” que es la  $R_{rs}$  y se puede ver como la energía disipada mientras que el otro componente es “imaginario” que es la  $X_{rs}$  un componente reactivo que refleja la energía almacenada.<sup>5</sup>

**Resistencia** representa como  $R_{rs}$ . esta se refiere a la resistencia del sistema respiratorio, la cual refleja las pérdidas por fricción tanto en los gases a medida que fluyen a lo largo de las vías respiratorias como en el parénquima pulmonar y la pared torácica a medida que se estiran y deforman.<sup>2</sup>

$R_{rs}$ . a frecuencias individuales se denota  $R_{rs5}$ ,  $R_{rs6}$ ,  $R_{rs8}$ , etc. Los cambios en  $R_{rs}$  a frecuencias más altas por encima de ~5 Hz reflejan cambios en la resistencia de las vías respiratorias y por lo tanto son sensibles al estrechamiento de las vías respiratorias.<sup>3</sup>

Esto significa que  $R_{rs}$ . podría aumentar en situaciones clínicas como el broncoespasmo o la presencia de secreciones, inflamación de la vía aérea entre otras causas de estrechamiento u obstrucción de las vías respiratorias.<sup>3,4</sup>

La resistencia tisular se vuelve progresivamente más importante a medida que la frecuencia disminuye por debajo de 5 Hz, volviéndose dominante a frecuencias respiratorias normales (~0,2 Hz) e inferiores.<sup>3</sup>

Los componentes de  $R_{rs}$ . incluyen la resistencia central y periférica de la vía aérea, como también las resistencias del parénquima pulmonar y de la pared del tórax.<sup>2</sup> Prácticamente el 80% de las resistencias del sistema respiratorio dependen de las vías aéreas centrales y sólo el 20% de la vía aérea pequeña (<2mm de diámetro) en adultos.<sup>5</sup>

Por lo tanto,  $R_{rs}$ . depende principalmente del calibre de la vía aérea, es decir, vías aéreas más estrechas tendrán resistencias más elevadas debido a que una mayor fuerza de fricción generará pérdidas en la presión del flujo que transcurre por dicha vía.<sup>3,4</sup>

La resistencia es independiente a la frecuencia en sujetos sanos. En caso de obstrucción de las vías aéreas centrales la resistencia en todas las frecuencias se verá aumentada, mientras en la obstrucción de la vía aérea pequeña la resistencia de las frecuencias bajas se verá aumentada sin embargo no se afectarán las resistencias de frecuencias más altas porque estas no alcanzan las vías más distales.<sup>5</sup>

**Reactancia:** Representada como:  $X_{rs}$ . La reactancia del sistema respiratorio refleja la elastancia del sistema respiratorio ( $E_{rs}$ ) debida a la rigidez combinada de los tejidos de la pared torácica y del parénquima pulmonar y la inercia del sistema respiratorio ( $I_{rs}$ ) debida a la inercia de la masa de gas en las vías respiratorias centrales.  $X_{rs}$  se vuelve "más negativo" en la enfermedad pulmonar, lo que indica que el sistema respiratorio se vuelve más rígido. Los cambios intrarrespiratorios en  $X_{rs}$  son útiles para detectar la limitación del flujo espiratorio.<sup>4</sup>

Hasta la fecha,  $I_{rs}$  no se utiliza comúnmente para identificar algún grado de enfermedad respiratoria sin embargo se ha visto que puede alterarse en condiciones que afectan el flujo de gas en las vías respiratorias superiores y centrales.<sup>4</sup>

En contraste con la resistencia, la reactancia  $X_{rs}$  representa el componente "reactivo de la impedancia respiratoria"<sup>3</sup> Por lo tanto tenemos que  $X_{rs}$  está compuesta por la  $I_{rs}$  y  $E_{rs}$ , que es una medida de rigidez del sistema, es decir de la pared torácica, parénquima pulmonar y vías aéreas, la  $E_{rs}$  causa que  $X_{rs}$  sea negativa, y mientras más negativa, indica una mayor  $E_{rs}$ .<sup>3,4</sup>

Por otro lado, la  $I_{rs}$  es un índice de pérdida de presiones debido a la aceleración de la columna de gas en las vías aéreas centrales, depende de la densidad del gas y también del radio de la vía aérea.<sup>3,4</sup>

Se entiende por lo anterior que la  $E_{rs}$  es negativa y la  $I_{rs}$  es positiva. A diferencia de la  $R_{rs}$  la  $X_{rs}$  es dependiente de la frecuencia, ya que las propiedades elásticas del pulmón principalmente se encuentran en la periferia a bajas frecuencias la  $E_{rs}$  domina el sistema por lo tanto la  $X_{rs}$  es negativa, mientras que a mayores

frecuencias la inercia de la columna de aire de las vías centrales domina el sistema siendo la  $X_{rs}$  positiva.<sup>5</sup>

**Frecuencia de Resonancia:  $f_{res}$**  Cuando las magnitudes de  $I_{rs}$  y  $E_{rs}$  son iguales, al estar en direcciones opuestas se cancelan y  $X_{rs}$  se vuelve 0. Este punto se le denomina frecuencia de resonancia ( $f_{res}$ ).<sup>3</sup>

$E_{rs}$  ejerce una mayor contribución a  $X_{rs}$  a medida que la frecuencia disminuye por debajo de la  $f_{res}$ , mientras que  $I_{rs}$  domina cada vez más por encima de la  $f_{res}$ . La frecuencia de un varón adulto sano es de alrededor de 8-12 Hz, pero suele ser mayor en caso de enfermedad pulmonar.<sup>3</sup>

En los niños, la frecuencia es generalmente superior a 8 Hz y disminuye con la edad; en enfermedades pulmonares tanto obstructivas como restrictivas  $f_{res}$  incrementa más de lo normal, debido a que la  $X_{rs}$  se vuelve más negativa en frecuencias bajas.<sup>3,4,5</sup>

**Área de reactancia:** A diferencia de  $R_{rs}$  en sujeto sanos,  $X_{rs}$  es dependiente de frecuencia en el rango de frecuencias medias. El área bajo la curva de reactancia (AX) es el área inscrita por la curva  $X_{rs}$  entre la frecuencia más baja medida y la  $f_{res}$ .<sup>2</sup>

Por lo tanto, AX es una medida integrada por los componentes de menor frecuencia de  $X_{rs}$  determinada principalmente por  $E_{rs}$  y afectada por el punto en que  $X_{rs}$  cruza el eje de la  $f_{res}$  determinado tanto por  $E_{rs}$  como por  $I_{rs}$ .<sup>5</sup>

Adicionalmente tiene la ventaja de tener unidades positivas en lugar de negativas y es una medida que evalúa  $X_{rs}$  en un rango de frecuencias, con unidades de elastancia  $\text{hPa}\cdot\text{L}^{-1}$ .<sup>3,4</sup>

Evaluar AX ( $X_{rs}$  en todas las frecuencias por debajo de  $f_{res}$ ) en la clínica es potencialmente más sensible a los cambios en las propiedades elásticas del sistema respiratorio que  $X_{rs}$  en una sola frecuencia.<sup>3,4</sup>

## *MANIOBRA DE OSCILOMETRÍA*

La técnica de la oscilometría de impulso es relativamente sencilla en comparación con otras pruebas como la espirometría ya que únicamente requiere que el paciente mantenga respiraciones a volumen corriente de manera tranquila.<sup>2</sup>

Para realizar la maniobra primero se le debe explicar al paciente el procedimiento a realizar, se coloca una pinza nasal para evitar que el paciente respire por la nariz, el paciente o un personal de salud sostiene las mejillas, se coloca una boquilla con filtro en la cual no debe meter la lengua, ni morderla, debe sellar los labios alrededor de la misma y respirar tranquilamente, se le explica que debe mantenerse tranquilo y no asustarse, y mantener una respiración tranquila.<sup>2</sup>

Se realiza una medición en 30 segundos, se deberán realizar 3 mediciones y estas maniobras deberán cumplir con criterios de aceptabilidad y repetibilidad, es decir: en primer lugar, el sujeto debe realizar al menos 4 respiraciones a volumen corriente de forma regular y en segundo lugar la morfología de las curvas debe estar libres de artefactos como: tos, cierre glótico, o respiraciones agitadas. Además, deberá haber una variabilidad entre mediciones menor al 10% en frecuencias mayores a 5Hz.<sup>2</sup>

La oscilometría es una prueba validada y estandarizada, la cual es recomendada por la sociedad europea respiratoria para identificar alteraciones en las propiedades mecánicas de la vía aérea.<sup>3</sup>

La mayoría de los parámetros medidos por oscilometría pueden ser evaluados usando un coeficiente de variación el cual no deberá tener una variabilidad a corto plazo mayor de un 10% para magnitudes de  $Z_{rs}$  y  $R_{rs}$  a frecuencias  $<5\text{Hz}$ . La variabilidad para  $X_{rs}$  es mayor debido a características fisiológicas y también numéricas, debido a que es comúnmente muy cercano a 0 y puede ser negativo o positivo.<sup>7</sup>

## APLICACIONES CLÍNICAS DE LA OSCILOMETRÍA

Actualmente se sabe que la oscilometría de impulso tiene un rol importante en identificación de resistencia en la vía aérea, y podría tener utilidad en el diagnóstico y seguimiento de múltiples enfermedades del sistema respiratorio.<sup>4</sup>

**Asma.** Las mediciones realizadas mediante oscilometría pueden diferenciar adultos asmáticos de controles sanos, así como identificar el grado de obstrucción, y diferenciar entre grupos de pacientes con asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Es especialmente útil en el diagnóstico de asma en pacientes con espirometría normal ya que presenta una sensibilidad mayor para la identificación de alteraciones en la vía aérea.<sup>4,8</sup>

También se ha estudiado los efectos terapéuticos de diferentes corticosteroides inhalados para el tratamiento de asma de acuerdo a su respuesta por oscilometría y evaluados con test como *Asthma Health Questionnaire* (AHQ) y *Asthma Control Test* (ACT), encontrándose diferentes respuestas a tratamiento de acuerdo al subtipo encontrado por oscilometría (predominio central, predominio periférico o sin resistencia) y al tamaño de partícula utilizada, sugiriendo que la oscilometría podría ser una herramienta útil en la selección de ICS y la evaluación del fenotipo de asma por oscilometría.<sup>9</sup>

Otros parámetros, además de las resistencias y la reactancia, podrían tener utilidad en el diagnóstico de asma tales como AX y  $R_{rs5-20}$  así también podrían tener utilidad para predecir pérdida en el control del asma así como monitorizar cambios clínicos al tratamiento.<sup>4,10</sup>

Un término en particular definido como “disfunción de la vía aérea pequeña” (SAD, por sus siglas en inglés) ha tomado importancia, y está bien reconocido en asma, aun así, el rol que tiene en la evaluación y control de asma no está bien definido.<sup>10</sup>

El estudio ATLANTIS, en el cual se compararon pacientes con y sin diagnóstico de asma evaluados con espirometría, oscilometría, pletismografía y lavado de nitrógeno con múltiples respiraciones, encontró que SAD se encuentra

principalmente en pacientes con asma grave, correlacionando con cuestionarios de calidad de vida, así como exacerbaciones recientes.<sup>9,10</sup>

Otros estudios además han revelado que la oscilometría, en especial los parámetros de  $R_{rs5-20}$  AX, y  $X_{rs5}$  son fuertes contribuyentes para la detección de disfunción de la vía aérea pequeña SAD, incluso en pacientes que se presentan con síntomas respiratorios, pero con otras pruebas de función respiratoria normales como por ejemplo espirometría sin embargo es importante mencionar que no hay valores específicos para el diagnóstico de SAD.<sup>9,11,12</sup>

### **Respuesta a broncodilatador**

El estándar de oscilometría de la ERS 2019 actualiza los puntos de corte para respuesta a broncodilatador en adultos y niños sanos, siendo una respuesta una disminución de 40% en  $R_{rs}$  a 5Hz, un aumento del 50% en  $X_{rs}$  a 5Hz, y una disminución de 80% en AX comparado con sus valores basales.<sup>3,4</sup>

En adultos se ha identificado más frecuentemente respuesta a broncodilatador utilizando oscilometría que espirometría, con cambios en  $X_{rs}$  y AX, con lo que se identifica mejor a sujetos con asma no controlado.<sup>4,13</sup>

La respuesta a broncodilatador tradicionalmente se ha definido por espirometría como un aumento de 200ml y >12% en FEV<sub>1</sub> y/o FVC en espirometría, sin embargo, estudios en oscilometría han encontrado que los valores de R5-R20, así como AX presentan una mayor sensibilidad comparado con estos valores, e incluso FEF<sub>25-75</sub>. en pacientes con asma de leve a grave.<sup>14,16</sup>

**Prueba de reto bronquial.** La oscilometría también se puede utilizar como una alternativa a la espirometría durante las pruebas de reto bronquial, la principal ventaja que esta tiene es una mayor sensibilidad para detectar hiperreactividad bronquial, lo cual puede ayudar a reducir la duración de la prueba y las dosis de broncoprovocación utilizadas, se han descrito valores de aumento de 20 a 50% en  $R_{rs}$  y disminución de  $X_{rs}$  de hasta 80%.<sup>14,15</sup>

**Respuesta a tratamiento en asma.** La respuesta a diferentes corticoesteroides inhalados ha sido estudiada en estudios que comparan ICS vs LABA o ICS vs

ICS/LABA, demostrando diferencias, especialmente en parámetros como  $R_{rs}$   $X_{RS}$  y AX siendo estos más sensibles que otros parámetros de la espirometría.<sup>4,17</sup>

Se ha encontrado mejor correlación entre mejoría de síntomas en pacientes con asma mal controlado con estos parámetros de la oscilometría, sugiriendo que reflejan mejor la función de la vía aérea periférica. En un estudio se comparó el uso de terapia ICS basada en el tamaño de partícula para tratar obstrucción de vía aérea central o periférica, sin embargo, se requieren más estudios para definir adecuadamente pacientes con afección de vía aérea pequeña<sup>9,18</sup>

### **EPOC.**

La oscilometría tiene un rol importante en la evaluación de los pacientes con EPOC, ya que no solamente tiene una buena correlación con los valores encontrados en espirometría por FEV<sub>1</sub> y FVC, además es de utilidad en pacientes que presentan dificultades para realizar una maniobra adecuada de espirometría.<sup>19</sup> Además de esto tiene un papel importante en la detección temprana de pacientes con riesgo de EPOC que presentan espirometría normal, y se han visto que valores como  $R_{rs}$   $X_{rs}$  en 5Hz tienen alteración en pacientes fumadores.<sup>20</sup>

Así mismo estos parámetros de la oscilometría tienen una mayor sensibilidad para la detección de respuesta a broncodilatadores como ICS/LABA, también se espera que el uso rutinario de oscilometrías en domicilio sea clínicamente útil para valorar la obstrucción del flujo aéreo<sup>3,20</sup>

### **Obesidad**

Los efectos de la obesidad en la vía aérea se han estudiado mediante oscilometría, encontrando una mayor sensibilidad para detectar alteraciones en comparación con la espirometría, p ej. se han encontrado alteraciones en  $X_{rs}$  lo cual sugiere que hay un aumento heterogéneo en el estrechamiento de la vía aérea periférica, además de un incremento en la rigidez del tórax que contribuye en este efecto.<sup>21</sup> También

se ha encontrado aumento en  $R_{rs}$  posiblemente por una disminución de volumen pulmonar además de congestión en la vasculatura pulmonar y edema de la vía aérea.<sup>3,21</sup>

Otros estudios en oscilometría han evaluado su utilidad en diversos temas en los cuales se requiere más investigación para sacar conclusiones e identificar su utilidad como lo son bronquiolitis obliterante, enfermedades restrictivas, apnea obstructiva del sueño, pacientes en cuidados intensivos, disfunción cordal, fibrosis quística, exposiciones ambientales y ocupacionales.<sup>3</sup>

### ***IMPACTO DEL ESTRÉS Y EFECTO DEL APRENDIZAJE.***

De acuerdo a la última actualización de los estándares para la realización de oscilometría de impulso (King et al., 2020), se recomienda la realización de 3 maniobras consecutivas de oscilometría tomando el valor promedio de sus mediciones para su interpretación<sup>2</sup>, sin embargo, poco se ha estudiado acerca de la variabilidad presentada como consecuencia del efecto aprendizaje una vez que el sujeto conoce la maniobra y se reduce el impacto que le genera el estrés de realizar la prueba.

Con respecto a este efecto en la prueba de caminata de 6 minutos, que es una prueba de ejercicio submáximo ampliamente utilizada para la valoración objetiva de la tolerancia al ejercicio de pacientes con enfermedades pulmonares crónicas<sup>27</sup>, se ha observado que una de las variables que interviene en los resultados de la prueba es un aumento en la distancia recorrida con la repetición de la prueba debido a lo que se denomina efecto del aprendizaje<sup>23</sup>

Esta respuesta se ha estudiado en diferentes estudios, obteniendo rangos variables de mejoría en la distancia caminada (4.5 a 33%) con la repetición del test a comparación con la primera vez que se realiza la prueba, encontrando los mejores resultados en un segundo test, no hay evidencia encontrada hasta ahora que reporte una mayor mejoría al repetir la prueba más de una vez.<sup>23,27</sup> Es por esto que

los estándares de la ATS recomiendan en algunos casos realizar un test de práctica con el fin de reportar la mayor cantidad de metros recorrida, esta mejoría podría estar dada por una mayor familiarización con la prueba y disminución del estrés al realizarla<sup>24,27</sup>.

Los resultados de las pruebas en la caminata de 6 minutos en las que se ha estudiado este efecto reportan que al realizar una maniobra de práctica y se presenta una mayor cantidad de metros recorridos al repetir la prueba.<sup>25,26</sup> Se ha reportado que este efecto de mejoría secundaria a la práctica del test tiene un efecto temporal, ya que después de 1 mes se pierde este efecto.<sup>28,29,30</sup>

Tomando la evidencia anterior en cuenta, podría ser que exista un resultado similar en la oscilometría de impulso, sin embargo, no se han realizado estudios que compraren si existe mejoría al repetir la maniobra debido a una reducción en el impacto del estrés debido a realizar la prueba por primera vez. Por lo tanto, sería conveniente estudiar el efecto de aprendizaje en esta prueba, existen estudios que han comparado la variabilidad y reproductibilidad de las maniobras de oscilometría<sup>25</sup>, sin embargo, no se han comparado los resultados de comparar los resultados de la oscilometría al realizar un test de prueba.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La oscilometría de impulso es una prueba de función respiratoria que permite medir las propiedades mecánicas del sistema respiratorio, evaluando la impedancia del sistema respiratorio a diferentes frecuencias de oscilación. Hasta la fecha no hay estudios acerca del impacto generado por el estrés en el resultado de la oscilometría de impulso en personas adultas al realizar la prueba por primera vez.

Debido a diferentes aspectos que intervienen en la realización de la maniobra de oscilometría, como lo es el estrés al realizar la prueba por primera vez, se pueden generar cambios en los resultados obtenidos; al permitirle al sujeto realizar una maniobra de práctica podría generar un cambio importante en los resultados de la oscilometría de impulso.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el impacto del estrés sobre el resultado de la oscilometría de impulso en personas que realizan la prueba por primera vez?

## **JUSTIFICACIÓN**

El impacto de realizar maniobras de práctica en las pruebas de función respiratoria ha sido descrito en otras pruebas de función respiratoria como en la prueba de caminata de 6 minutos en la cual se ha evidenciado una mejoría en cuanto a la distancia recorrida, dicho cambio se atribuye a que el sujeto conoce la maniobra a realizar, y, disminuye el estrés de realizar la misma y obtiene mejores resultados.

Se espera que exista un efecto similar al realizar una prueba de práctica en la maniobra de oscilometría, y que se obtengan mejores resultados, de ser así podría implementarse el realizar una maniobra de práctica para tener resultados más confiables en esta prueba.

## **OBJETIVO GENERAL**

Comparar los cambios observados en la medición de la resistencia de la vía aérea medida por oscilometría de impulso al realizar 2 maniobras con un intervalo de tiempo de 20 minutos entre cada prueba.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Comparar los cambios observados en la medición de R5hz, R10hz, R15hz, R20hz R5-R20, (R5-R20)/R5, X5hz, X10hz, X15hz, X20hz, fres, AX mediante oscilometría

de impulso al realizar 2 maniobras con un intervalo de tiempo de 20 minutos entre cada prueba.

## **HIPÓTESIS**

Hay un cambio de más de 10% en las resistencias medidas en R5hz al realizar 2 maniobras con un intervalo de tiempo de 20 minutos entre cada prueba debido al efecto de aprendizaje.

H<sub>0</sub>: No hay un cambio de más de 10% en las resistencias medidas en R5hz al realizar 2 maniobras con un intervalo de tiempo de 20 minutos entre cada prueba debido al efecto de aprendizaje.

## **METODOLOGÍA**

### *Lugar de estudio:*

Laboratorio de Fisiología Respiratoria del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, en la Ciudad de México.

### *Diseño del estudio.*

Estudio analítico, transversal, prospectivo.

### *Descripción de la población de estudio:*

#### Criterios de inclusión:

- Pacientes de sexo indistinto.
- Sujetos que no hayan realizado una oscilometría de impulso previamente.
- Sujetos de investigación que sean capaces de realizar la prueba.

#### Criterios de exclusión:

- Pacientes que tenían problema neurológico.
- Infección respiratoria aguda.
- Pacientes con enfermedades neuromusculares.

Criterios de eliminación:

- Sujetos que no pudieron realizar una prueba calidad A.

Tamaño de muestra:

Se incluirán 45 pacientes que acudan al laboratorio de fisiología respiratoria para realizar pruebas de función respiratoria.

*Variables de desenlace y descripción de las otras variables de estudio.*

Variables de desenlace:

NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO DE VARIABLE	INDICADOR
<b>Edad</b>	Tiempo transcurrido en años a partir de la fecha de nacimiento.	años	Cuantitativa	5- 100
<b>Sexo</b>	Fenotipo del humano con sus características físicas, biológicas y sociales que establecen diferencias entre el hombre y la mujer	NA	Cualitativa nominal Dicotómica	0: mujer 1: hombre

<b>Índice de masa corporal (IMC).</b>	Razón matemática que asocia masa y talla de un individuo	(kg/m <sup>2</sup> )	Cualitativa	Bajo peso por debajo de 18.5 kg/m <sup>2</sup> , peso normal: 18.5 a 25, sobrepeso: 25 a 30, obesidad: más de 30.
<b>RESISTENCIAS</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• r5</li> <li>• r5zscore</li> <li>• r10</li> <li>• r10zscore</li> <li>• r15</li> <li>• r15zscore</li> <li>• r20</li> <li>• r20zscore</li> <li>• r5r20</li> <li>• r5r20zscore</li> <li>• r5r20r5</li> <li>• r5r20r5score</li> </ul>	Cuantitativa continua	-5 – 10
<b>REACTANCIAS</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• x5</li> <li>• x5zscore</li> <li>• x10</li> <li>• x10zscore</li> <li>• x15</li> <li>• x15zscore</li> <li>• x20</li> <li>• x20zscore</li> <li>• fres</li> <li>• freszscore</li> <li>• ax</li> <li>• axzscore</li> </ul>	Cuantitativa continua	-15 a +15

## Metodología

### *Consideraciones éticas.*

Fue aprobado por el Comité Institucional de Investigación y Ética (código C27-22) del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) Ismael Cosío Villegas en la Ciudad de México, fue diseñado y completado.

El protocolo se incluyó en el proyecto titulado: “Validación de diferentes equipos de pruebas de función pulmonar: oscilometría de impulso, fracción exhalada de óxido nítrico y pletismografía”.

#### *Procedimientos para la recolección de información.*

El estudio se realizó de mayo a septiembre de 2022 en el laboratorio de pruebas de función respiratoria del INER un centro de referencia de tercer nivel para enfermedades respiratorias, ubicado en la Ciudad de México a 2240m sobre el nivel del mar.

Los sujetos elegibles fueron individuos que acudieron a su cita para pruebas de función respiratoria que pudieran realizar la maniobra de oscilometría.

Todos los participantes realizaron 2 pruebas de oscilometría de impulso siguiendo las normas de los estándares ATS / ERS con una diferencia de 20 minutos entre cada una. Durante dicho periodo se les pedía que se mantuvieran en reposo, no se les aplicó broncodilatadores ni se realizó ninguna otra prueba durante dicho periodo.

Todo el equipo utilizado tenía ajuste automático de cálculos por presión barométrica y temperatura ambiente, medidas directamente por los equipos, se ajustaron siguiendo los estándares. Personal con amplio entrenamiento y experiencia supervisó todas las maniobras.

#### *Análisis de resultados*

Las características generales de la población se muestran en medias y desviaciones estándar o medianas y mínimos-máximos de acuerdo a la distribución de las variables.

Todas las variables se expresarán de acuerdo a su tipo y distribución. Se describirán los valores de las variables R5Hz, R10Hz, R15Hz, R20Hz, R5-R20, R5-R20/R5, X5, X10, X15, X20 fres y AX junto con sus respectivos valores de score Z con su

mediana y percentil 5 y 95. Para comparar las variables intra sujeto en las 2 diferentes pruebas se utilizará una prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas.

La base de datos llenada será llenada en Microsoft Excel y transformada al formato estadístico STATA todas las variables se expresarán de acuerdo a su tipo y distribución.

## **RESULTADOS.**

Se reclutaron un total de 45 sujetos los cuales acudieron al Laboratorio de Fisiología Respiratoria del INER para realización de pruebas. El cuadro 1 describe las características demográficas de la población de estudio.

La edad promedio fue de 37.7 años, con una desviación estándar de 22.7, cuyo valor mínimo fue 5 y máximo 78, el peso promedio fue de 63.9 kg. La talla promedio fue de 1.57 m. el IMC promedio fue de 25.

---

**Cuadro 1. Características generales de la población estudiada. N=45**

<b>Variable</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Edad, años	37.7	22.7	5.0	78.0
Peso, kg	63.9	24.0	16.0	114.0
Talla, cm	157.1	16.0	108.0	179.0
IMC, kg/m <sup>2</sup>	25.0	7.5	11.1	48.9

En el cuadro 2 se describen los valores z de R5Hz, R10Hz, R15Hz, R20Hz, R5-R20, (R5-R20)/R5 con su mediana y percentil 5 y 95, en su primera maniobra y los cambios presentados 20 minutos después en la segunda maniobra, como puede observarse existe una diferencia estadísticamente significativa en R5Hz, R10Hz, R15Hz, R20Hz.

**Cuadro 2. Resultados de las resistencias obtenidas en la primera y segunda maniobra. Los resultados se muestran en valores-z**

<b>Variable</b>	<b>1ª maniobra Mediana(p5-p95)</b>	<b>2ª maniobra Mediana(p5-p95)</b>	<b>Valor p</b>
<b>R5</b>	0.8(-1 - 6)	0.6(-1.2 - 5.3)	0.02
<b>R10</b>	0.8(-0.7 - 5.7)	0.6(-1.1 - 5.2)	0.007
<b>R15</b>	0.9(-0.8 - 5)	0.6(-1.1 - 4.7)	0.005
<b>R20</b>	0.7(-1 - 4.5)	0.5(-1.4 - 4.1)	0.007
<b>R5-R20</b>	0.6(-0.4 - 7.8)	0.5(-1 - 7.2)	0.38
<b>R5-R20/R5</b>	0.2(-0.8 - 3)	0.3(-0.7 - 2.9)	0.17

**R= resistencias**

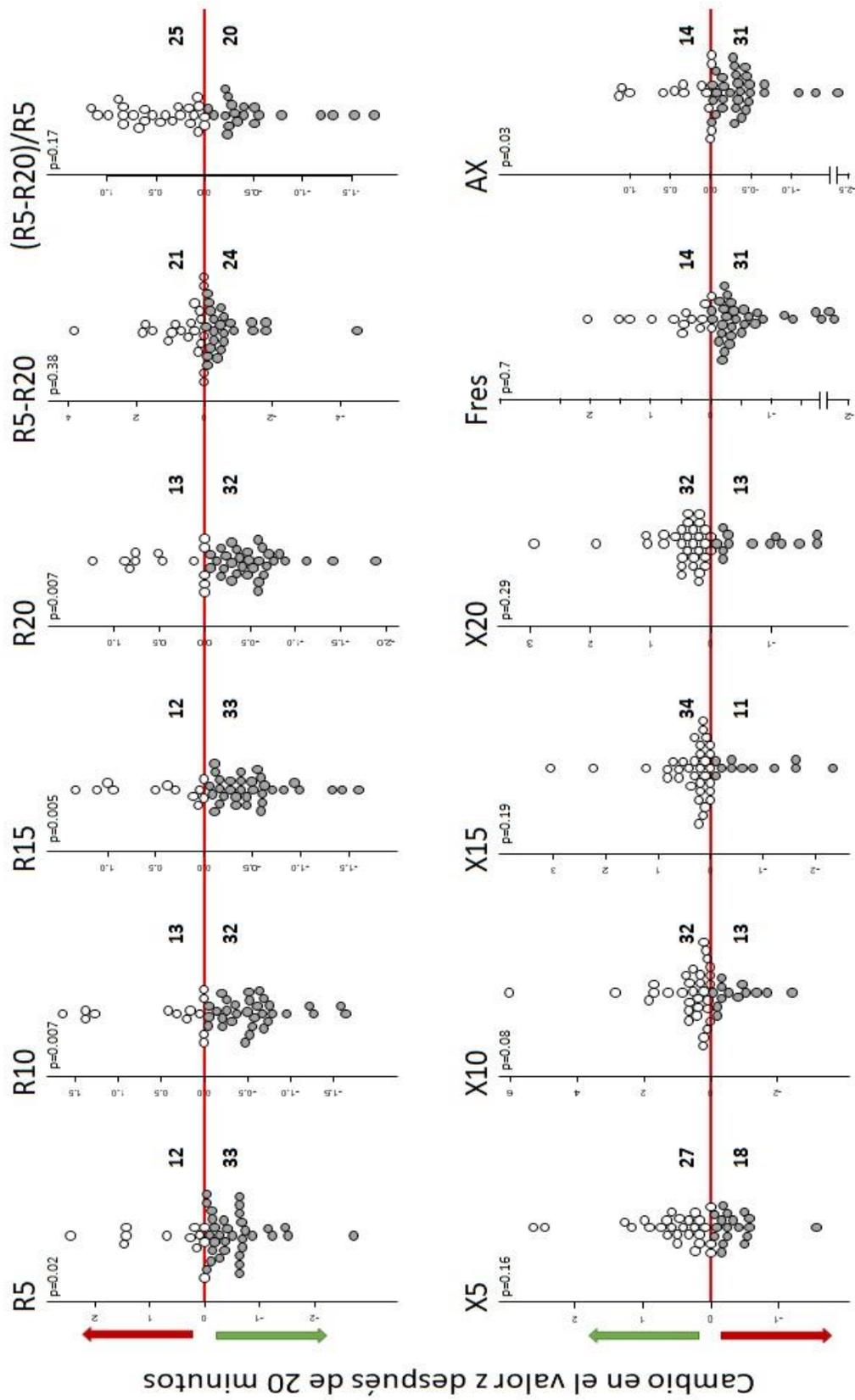
En el cuadro 3 se describen los valores z de X5Hz, X10Hz, X15Hz, X20Hz, Fres, AX con su mediana y percentil 5 y 95, en su primera maniobra y los cambios presentados 20 minutos después en la segunda maniobra, se agrega además el valor de p para estas variables, siendo estadísticamente significativo las diferencias encontradas en AX.

**Cuadro 3.** Resultados de las reactancias y frecuencia de resonancia obtenidas en la primera y segunda maniobra. Los resultados se muestran en valores-z

<b>Variable</b>	<b>1ª maniobra Mediana(p5-p95)</b>	<b>2ª maniobra Mediana(p5-p95)</b>	<b>Valor p</b>
<b>X5</b>	-1(-4.2 - 0.5)	-0.7(-4.1 - 0.6)	0.16
<b>X10</b>	-0.8(-6.5 - 0.8)	-0.5(-4.7 - 0.6)	0.08
<b>X15</b>	-0.9(-5.5 - 1)	-0.6(-6.1 - 0.6)	0.19
<b>X20</b>	-1(-5.4 - 1)	-0.9(-5 - 0.7)	0.29
<b>Fres</b>	1.1(-0.8 - 9.4)	1(-0.6 - 8.2)	0.7
<b>AX</b>	1.4(-0.7 - 3.7)	1.1(-0.5 - 3.9)	0.03

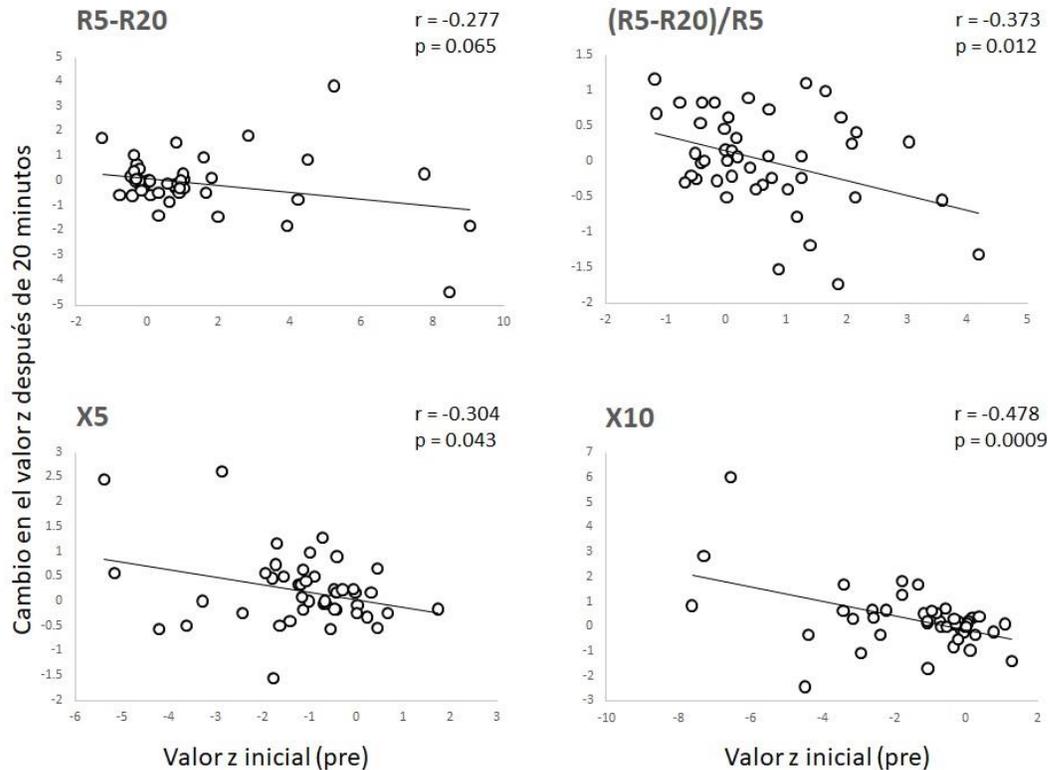
En la figura 1 se presenta un gráfico con los cambios observados en el valor-z en las variables R5Hz, R10Hz, R15Hz, R20Hz, R5-R20, R5-R20/R5, X5Hz, X10Hz, X15Hz, X20Hz, Fres, AX, comparado con la primera maniobra que realizan los sujetos comparada con la segunda maniobra realizada a los 20 minutos, se puede observar que existe un cambio en las resistencias después de la primera medición principalmente en R5Hz, R10Hz, R15Hz, R20Hz, así como una tendencia a que las reactancias se vuelvan más positivas.

Figura 1.



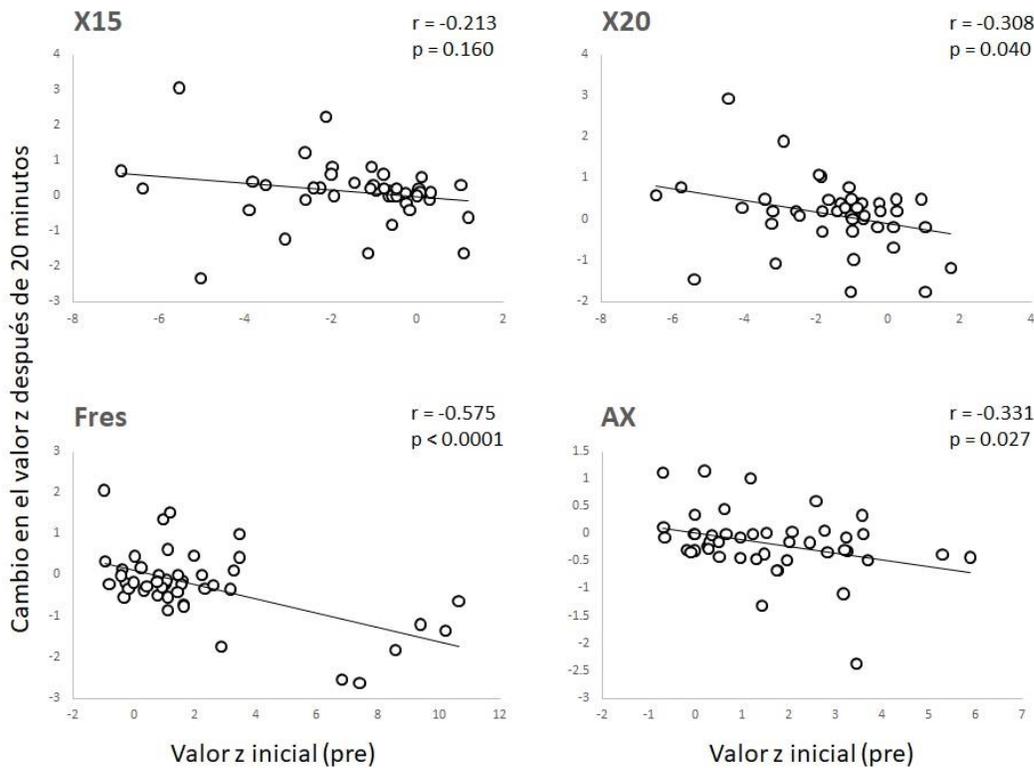
En la figura 2 se muestra la asociación que se encontró en el cambio con respecto al valor-z en R5-R20,  $(R5-R20) / R5$ , X5Hz y X10Hz, comparando la primera con la segunda maniobra a los 20 minutos, como puede observarse el valor del coeficiente de correlación fue estadísticamente significativo en  $(R5-R20) / R5$ , X5Hz y X10Hz.

Figura 2.



En la figura 3 se muestra la asociación que se encontró en el cambio con respecto al valor-z en X15, X20, Fres y AX comparando la primera con la segunda maniobra a los 20 minutos, como puede observarse el valor del coeficiente de correlación fue estadísticamente significativo en X20, Fres y AX.

Figura 3.



## DISCUSION

En este estudio se pudo observar que existen cambios estadísticamente significativos en las resistencias y reactancias obtenidas por IOS, en individuos que realizaban por primera vez el estudio de oscilometría y 20 minutos después de la prueba.

Existe con una tendencia a que las resistencias disminuyan y que las reactancias se vuelvan más positivas, todo esto sin ningún tipo de intervención, lo cual demuestra que existe un cambio debido al efecto de aprendizaje o al estrés en los individuos estudiados.

Desde el punto de vista teórico, nuestro planteamiento inicial era que al realizar una maniobra de práctica de oscilometría y repetirla a los 20 minutos encontraríamos una disminución en las resistencias y un aumento en las reactancias, con el objetivo

de proponerlo para la estandarización de la maniobra, en nuestro estudio los resultados encontrados indican que si existen cambios que son compatibles con este efecto del aprendizaje y disminución del estrés.

Existen estudios que han buscado diferencias al realizar maniobras de práctica en pruebas de función respiratoria como (Knox, 1988) quien describió por primera vez un cambio en la prueba de caminata de 6 minutos con aumento en los metros recorridos de hasta 33%, en nuestro caso al realizar una maniobra de practica en los sujetos de estudio encontramos un cambio en los resultados de las resistencias y reactancias estadísticamente significativo.

Como se ha mencionado anteriormente uno de los parámetros de la técnica de IOS que nos refleja el estado de la vía aérea pequeña es  $R5-R20$  así como  $(R5-R20)R5^2$ , en nuestro estudio encontramos diferencias significativas al repetir la prueba a los 20 minutos en estos valores, lo cual podría interpretarse como un cambio que se da en la vía aérea pequeña como resultado de un grado menor de estrés en los sujetos de estudio.

En nuestro estudio encontramos una diferencia en el resultado de la oscilometría de impulso al realizar una maniobra de práctica, teniendo en cuenta que el estándar para la prueba de caminata de 6 minutos de la ATS<sup>24</sup> recomienda realizar una prueba de práctica debido al efecto del aprendizaje, podríamos recomendar realizar una prueba de práctica para obtener resultados más confiables debido al efecto del aprendizaje y una disminución del impacto generado por estrés de realizar la prueba por primera vez.

## **CONCLUSIONES**

Con base en lo que encontramos en nuestro estudio podemos concluir que el realizar una maniobra de prueba para reducir el estrés de los sujetos que realizan la prueba de oscilometría de impulso genera cambios estadísticamente significativos, por lo cual podría proponerse en casos seleccionados realizar una maniobra de práctica para obtener resultados más confiables en esta prueba..

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Gochicoa-Rangel, L., Cantú-González, G., Miguel-Reyes, J., Rodríguez-Moreno, L., & Torre-Bouscoulet, L. (2019). Oscilometría de impulso. Recomendaciones y procedimiento. *NCT Neumología y Cirugía de Tórax*, 78(S2), 124–134. <https://doi.org/10.35366/nts192e>
2. King, G. G., Bates, J., Berger, K. I., Calverley, P., de Melo, P. L., Dellac, R. L., Oostveen, E. (2020). Technical standards for respiratory oscillometry. *Eur Respir J*, 55(2). <https://doi.org/10.1183/13993003.00753-2019>
3. Kaminsky, D. A., Simpson, S. J., Berger, K. I., Calverley, P., de Melo, P. L., Dandurand, R., . . . Thamrin, C. (2022b). Clinical significance and applications of oscillometry. *Eur Respir Rev*, 31(163). <https://doi.org/10.1183/16000617.0208-2021>
4. Desiraju, K., & Agrawal, A. (2016a). Impulse oscillometry: The state-of-art for lung function testing. *Lung India*, 33(4), 410-416. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.184875>.
5. DuBois, A. B., Brody, A. W., Lewis, D. H., & Burgess, B. F. (1956). Oscillation Mechanics of Lungs and Chest in Man. *Journal of Applied Physiology*, 8(6), 587–594. <https://doi.org/10.1152/jappl.1956.8.6.587>
6. Smith, H. & Reinhold, Petra & Goldman, M.. (2005). Forced oscillation technique and impulse oscillometry. *European Respiratory Monograph*. 31. [10.1183/1025448x.00031005](https://doi.org/10.1183/1025448x.00031005).
7. Lipworth, B., & Chan, R. (2021). Normal spirometry equates to normal impulse oscillometry in healthy subjects. *Respiratory Research*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12931-021-01693-0>
8. Sugawara, H., Saito, A., Yokoyama, S., Tsunematsu, K., Chiba, H., & Takahashi, H. (2020). A retrospective analysis of usefulness of impulse oscillometry system in the treatment of asthma. *Respir Res*, 21(1), 226. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01494-x>
9. Postma, D. S., Brightling, C., Baldi, S., van den Berge, M., Fabbri, L. M., Gagnatelli, A., Papi, A., van der Molen, T., Rabe, K. F., Siddiqui, S., Singh, D., Nicolini, G., Kraft, M., Pizzichini, E., Cukier, A., Stelmach, R., Olivenstein,

- R., Zhang, Q., Badorrek, P., . . . Hanania, N. (2019). Exploring the relevance and extent of small airways dysfunction in asthma (ATLANTIS): baseline data from a prospective cohort study. *The Lancet Respiratory Medicine*, 7(5), 402–416. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(19\)30049-9](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(19)30049-9).
10. Lu, L., Peng, J., Zhao, N., Wu, F., Tian, H., Yang, H., . . . Zhou, Y. (2022). Discordant Spirometry and Impulse Oscillometry Assessments in the Diagnosis of Small Airway Dysfunction. *Front Physiol*, 13, 892448. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.892448>.
11. Li, L. Y., Yan, T. S., Yang, J., Li, Y. Q., Fu, L. X., Lan, L., Liang, B. M., Wang, M. Y., & Luo, F. M. (2021). Impulse oscillometry for detection of small airway dysfunction in subjects with chronic respiratory symptoms and preserved pulmonary function. *Respiratory Research*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12931-021-01662-7>
12. Alfieri, V., Aiello, M., Pisi, R., Tzani, P., Mariani, E., Marangio, E., Olivieri, D., Nicolini, G., & Chetta, A. (2014). Small airway dysfunction is associated to excessive bronchoconstriction in asthmatic patients. *Respiratory Research*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12931-014-0086-1>.
13. Chan, R., & Lipworth, B. J. (2022). Oscillometry bronchodilator response in adult moderate to severe eosinophilic asthma patients: A prospective cohort study. *Clin Exp Allergy*. <https://doi.org/10.1111/cea.14185>.
14. Katsoulis, K., Kipourou, M., Quaranta Vitaliano, N., & Kostikas, K. (2022). Predicting Bronchial Hyperresponsiveness in Patients with Asthma: The Role of Impulse Oscillometry. *Arch Bronconeumol*. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2022.05.007>
15. Hsiao, Y. H., Lin, Y. J., Jeng, T. H., Su, K. C., Ko, H. K., Yang, S. N., . . . Kou, Y. R. (2022). Potentiality of impulse oscillometry to evaluate bronchodilator reversibility in untreated adult patients with newly diagnosed asthma. *J Chin Med Assoc*. <https://doi.org/10.1097/JCMA.0000000000000757>
16. Alfieri, V., Aiello, M., Pisi, R., Tzani, P., Mariani, E., Marangio, E., Olivieri, D., Nicolini, G., & Chetta, A. (2014b). Small airway dysfunction is associated to

- excessive bronchoconstriction in asthmatic patients. *Respiratory Research*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12931-014-0086-1>.
17. Schiphof-Godart, L., van der Wiel, E., ten Hacken, N. H., van den Berge, M., Postma, D. S., & van der Molen, T. (2014). Development of a tool to recognize small airways dysfunction in asthma (SADT). *Health and Quality of Life Outcomes*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s12955-014-0155-7>
  18. Diong, B., Singh, K., & Menendez, R. (2013). Effects of two inhaled corticosteroid/long-acting beta-agonist combinations on small-airway dysfunction in mild asthmatics measured by impulse oscillometry. *J Asthma Allergy*, 6, 109-116. <https://doi.org/10.2147/JAA.S48827>
  19. Piorunek, T., Kostrzewska, M., Cofta, S., Batura-Gabryel, H., Andrzejczak, P., Bogdański, P., & Wysocka, E. (2015). Impulse oscillometry in the diagnosis of airway resistance in chronic obstructive pulmonary disease. *Adv Exp Med Biol*, 838, 47-52. [https://doi.org/10.1007/5584\\_2014\\_49](https://doi.org/10.1007/5584_2014_49)
  20. Piorunek, T., Kostrzewska, M., Stelmach-Mardas, M., Mardas, M., Michalak, S., Goździk-Spychalska, J., & Batura-Gabryel, H. (2017). Small Airway Obstruction in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Potential Parameters for Early Detection. *Adv Exp Med Biol*, 980, 75-82. [https://doi.org/10.1007/5584\\_2016\\_208](https://doi.org/10.1007/5584_2016_208).
  21. Perossi, L., Holtz, M., Santos, D. O. D., Perossi, J., Souza, H. C. D. D., Salgado Junior, W., & Gastaldi, A. C.. (2022). Increased airway resistance can be related to the decrease in the functional capacity in obese women. *PLOS ONE*, 17(6), e0267546. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267546>
  22. Wollmer, P., Tufvesson, E., Wennersten, A., Malmqvist, U., Engström, G., Olsson, H. K., Zaigham, S., Frantz, S., & Nihlén, U.. (2021). Within-session reproducibility of forced oscillometry. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 41(5), 401–407. <https://doi.org/10.1111/cpf.12706>.
  23. Wu, G., Sanderson, B., & Bittner, V. (2003). The 6-minute walk test: How important is the learning effect? *American Heart Journal*, 146(1), 129–133. [https://doi.org/10.1016/s0002-8703\(03\)00119-4](https://doi.org/10.1016/s0002-8703(03)00119-4).

- 24.ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories (2002). ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 166(1), 111–117. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.166.1.at1102>
- 25.Wollmer, P., Tufvesson, E., Wennersten, A., Malmqvist, U., Engström, G., Olsson, H. K., Zaigham, S., Frantz, S., & Nihlén, U. (2021). Within-session reproducibility of forced oscillometry. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 41(5), 401–407. <https://doi.org/10.1111/cpf.12706>
- 26.Ekman, M. J., Klintonberg, M., Björck, U., Norström, F., & Ridderstråle, M. (2013). Six-minute walk test before and after a weight reduction program in obese subjects. *Obesity*, 21(3), E236-E243. <https://doi.org/10.1002/oby.20046>
- 27.JENKINS, S., & CECINS, N. M. (2010). Six-minute walk test in pulmonary rehabilitation: Do all patients need a practice test? *Respirology*, 15(8), 1192–1196. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2010.01841.x>
- 28.Spencer, L., Zafiroopoulos, B., Denniss, W., Fowler, D., Alison, J., & Celermajer, D. (2018). Is there a learning effect when the 6-minute walk test is repeated in people with suspected pulmonary hypertension? *Chronic Respiratory Disease*, 15(4), 339–346. <https://doi.org/10.1177/1479972317752762>
- 29.Gochicoa-Rangel, L., Torre-Bouscoulet, L., Martinez-Briseno, D., Rodriguez-Moreno, L., Cantu-Gonzalez, G., & Vargas, M. H.. (2015). Values of Impulse Oscillometry in Healthy Mexican Children and Adolescents. *Respiratory Care*, 60(1), 119–127. <https://doi.org/10.4187/respcare.03374>.
- 30.Knox, A. J., Morrison, J. F., & Muers, M. F. (1988). Reproducibility of walking test results in chronic obstructive airways disease. *Thorax*, 43(5), 388–392. <https://doi.org/10.1136/thx.43.5.388>