



# Universidad Andrés Bello

Universidad Nacional Andrés Bello  
Facultad de Ciencias de la Rehabilitación  
Escuela Kinesiología

Comportamiento electromiográfico de los músculos diafragma y ECOM, en el contexto del uso de válvula umbral con carga incremental, en sujetos sedentarios y fumadores entre 35 a 55 años.

Tesis para optar al Grado Académico de Licenciado en Kinesiología.

Autores:

Macarena Canales.

Jessica Calderón.

Catalina Muñoz.

Yannine Valenzuela.

Profesor guía: Leonidas Arias.

Santiago de Chile, Octubre 2017

## **RESUMEN**

Se ha determinado que el uso de la válvula umbral con carga del 30% de la Pimáx aumenta la fuerza de la musculatura inspiratoria, disminuye la disnea y mejora el patrón ventilatorio durante el ejercicio. Para la realización del entrenamiento de la musculatura respiratoria se requiere establecer la carga máxima que pueden ejercer estos músculos, para que a partir de este valor de referencia, se generen mecanismos de modulación y dosificación de la carga.

En este marco la presente investigación tuvo como objetivo, determinar la carga máxima en que los músculos diafragma y ECOM logran su mayor amplitud de activación, en hombres y mujeres, fumadores y sedentarios entre 35 a 55 años, inscritos en el CESFAM San Luis de la comuna de Peñalolén, Santiago. Para lo cual se utilizó un enfoque de investigación cuantitativo y un diseño descriptivo de corte transversal. La unidad de análisis consistió en 9 participantes, los cuales fueron seleccionados de manera no probabilística, por conveniencia. La variable estudiada fue la carga máxima definida al momento que se alcance la mayor amplitud de señal, obtenida al evaluar los músculos diafragma y ECOM mediante un análisis electromiográfico y espirométrico. Este último permitió obtener el tiempo en que se desarrolla la CI (capacidad inspiratoria), bajo distintos niveles de carga según la PiMax., espacio temporal en el cual se evaluó la amplitud de la señal para cada músculo, nivel de carga y participante.

Se concluye que la máxima amplitud de activación del ECOM y diafragma se logró al 30% y 40% de la Pimax respectivamente, para 8 de 9 sujetos.

## Tabla de contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Problema de investigación</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Pregunta de investigación</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Delimitación</b>	<b>9</b>
1.3.1 Espacial	9
1.3.2 Cronológica	9
1.3.3 Conceptual	9
<b>1.4 Objetivos</b>	<b>9</b>
1.4.1 Objetivo general	9
1.4.2 Objetivos específicos	10
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Sistema Respiratorio</b>	<b>10</b>
2.1.1 Comportamiento del sistema respiratorio en el ciclo vital	12
2.1.2 Variables que afectan al sistema respiratorio	18
2.1.2.1 Diferencia entre hombres y mujeres	18
2.1.2.2 Tabaquismo	19
2.1.2.3 Sedentarismo	23
<b>2.2 Rehabilitación pulmonar</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Sistemas de evaluación del sistema respiratorio</b>	<b>27</b>
2.3.1 Espirometría	27
2.3.2.1 Tipos de Alteración Espirométrica	29
2.3.2.2 Usos de la Espirometría <sup>40</sup>	31
<b>2.3.2 Electromiografía</b>	<b>31</b>
2.3.2.1 Contracción muscular	32
2.3.2.2 Registro electromiográfico	34
2.3.2.2.1 Electrodo de alambre fino	34
2.3.2.2.2 Electrodo de superficie	34
2.3.2.2.3 Posición de electrodos	35
<b>2.3.3 Válvula umbral</b>	<b>36</b>
<b>3. Diseño Metodológico</b>	<b>37</b>
<b>3.1 Tipo de investigación o estudio</b>	<b>37</b>
<b>3.2 Población y muestra</b>	<b>37</b>

<b>3.3 Aspectos éticos de la investigación</b>	<b>38</b>
<b>3.4 Variables</b>	<b>39</b>
<b>3.5 Materiales y métodos</b>	<b>40</b>
3.5.1 Materiales	40
3.5.2 Recolección de datos y mediciones	43
3.5.3 Prueba piloto	44
3.5.4 Técnica para el análisis de información.	45
3.5.4.1 Variables electrofisiológicas	45
3.5.4.2 Análisis de datos	48
<b>4. Resultados</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Amplitud de activación muscular</b>	<b>49</b>
4.1.1 Amplitud de activación muscular con un 40% de carga máxima	49
4.1.2 Amplitud de activación muscular con un 50% de carga máxima	51
<b>5. Discusión</b>	<b>54</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>7. Apéndice</b>	<b>61</b>
<b>Anexo N°1: Distribución cronológica de la investigación</b>	<b>69</b>
<b>Anexo N°2: Encuesta</b>	<b>70</b>
<b>Anexo N°3: Recolección de Datos</b>	<b>72</b>
<b>Anexo N°4: Consentimiento Informado</b>	<b>74</b>
<b>Anexo N°5: Protocolo aprobación proyecto comité de ética</b>	<b>79</b>

## **1. Introducción**

### **1.1 Problema de investigación**

Dentro del área de la salud se ha demostrado que el hábito de realizar actividad física por más de 30 minutos al menos 3 veces por semana<sup>1</sup> y a una intensidad moderada, reduce el riesgo de ciertas patologías, como por ejemplo la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)<sup>2</sup>. Al considerar los factores, de tiempo, intensidad y frecuencia del ejercicio físico, nos damos cuenta de que un gran porcentaje de la población es efectivamente sedentaria y que su nivel de actividad es bastante pobre<sup>3</sup>.

En la Encuesta Nacional de Hábitos de Actividad Física y Deportes en la población de 18 años y más, realizada por el Ministerio del Deporte el año 2015, se encuentra que un 80,2% de los chilenos es sedentario. Dentro de ellos solamente el 12% realiza actividad física dos o menos veces por semana, y 68,2% se consideran inactivos<sup>4</sup>. Además en los primeros resultados de la Encuesta Nacional de Salud del año 2016-2017 se evidencia un cambio importante en el estado nutricional de la población chilena, donde un 39,8% esta con sobrepeso, 31,2% en obesidad y 3,2% obesidad mórbida<sup>5</sup>. Por lo tanto, podemos deducir que la condición de salud general de la población se encuentra afectada, siendo proclive a sufrir enfermedades crónicas no transmisibles y distintas patologías relacionadas a la falta de ejercicio. Si nos enfocamos en el sistema respiratorio, la inactividad física precipita el deterioro de las estructuras parenquimatosas y la degeneración de las miofibrillas del árbol bronquial, en donde la reducida expansión compromete las fuerzas que mantienen las vías aéreas abiertas y puede incrementar la respuesta contráctil del músculo liso<sup>6</sup>.

Por otro lado, se conoce que el principal músculo inspiratorio es el diafragma, responsable de movilizar más de las dos terceras partes del aire que entra en los

pulmones durante la respiración tranquila<sup>7</sup>. En esta línea, se demostró que existe una variación de los volúmenes totales al someter esta musculatura a diferentes cargas desde 10 cm de H<sub>2</sub>O hasta 40 cm de H<sub>2</sub>O, estos cambios de volúmenes ocurren en las mujeres a los 20 cm H<sub>2</sub>O en comparación a los hombres que ocurre a los 30 cm H<sub>2</sub>O<sup>8</sup>, estas diferencias deben tenerse en cuenta durante el entrenamiento muscular inspiratorio para la rehabilitación pulmonar, sin embargo, estos parámetros fueron obtenidos en población sana entre 18 y 30 años. Además, está estudiado en pacientes con EPOC entre 61 y 63 años, el uso de la válvula umbral con carga del 30% de la Pimáx, comparado con carga del 10% de la Pimáx<sup>57</sup>, aumenta la fuerza de la musculatura inspiratoria, disminuye la disnea y mejora el patrón ventilatorio durante el ejercicio<sup>9</sup>, variables que podrían estar sobrevaloradas si es que en el entrenamiento se hiciera con los niveles de carga adecuadas, según condición y rango etario. En cuanto a la evaluación de los componentes de frecuencia electromiográfica en la actividad de los músculos responsables de la movilización de aire, como lo son el diafragma y el esternocleidomastoideo (ECOM), se deja de manifiesto que este último, presenta una disminución en su frecuencia de activación a los 30 cm de H<sub>2</sub>O y el diafragma a los 40 cm de H<sub>2</sub>O<sup>8</sup>. Además, en relación a estudios nacionales, en particular el realizado por estudiantes de Kinesiología de la Universidad Andrés Bello durante el año 2015<sup>10</sup>, se tiene conocimiento que con el uso de válvula umbral con carga incremental, se logra un punto máximo de activación del diafragma y ECOM al 40% de la Pimax, en sujetos no sedentarios entre los 18 y 25 años, valor podría ser mayor, ya que la válvula utilizada presentaba limitaciones, relacionada con la carga máxima que se podía implementar en los sujetos analizados. Todos estos antecedentes, condicionan la comprensión de los parámetros óptimos en los cuales se debiera generar la rehabilitación de la musculatura respiratoria, haciendo alusión al nivel de carga utilizada para un determinado rango etario y condiciones de comorbilidad asociadas.

Por otro lado, la función pulmonar se ve disminuida con el transcurso de los años, ya que el tejido de los pulmones va cambiando conforme al tiempo. Un ejemplo de lo anterior es que a los 16 años se provoca un aumento en la distensibilidad pulmonar, la que luego acorde a los años se modifica, generando una retracción pulmonar<sup>13</sup>. A medida que pasa el tiempo y los años en cada individuo se van produciendo cambios en la musculatura primaria de la respiración, como el diafragma, lo cual se refleja principalmente en una disminución de la fuerza, que a largo plazo provoca que el usuario comience a utilizar la musculatura accesoria aun estando en situaciones de reposo. En un estudio realizado por Martínez, se demostró que la capacidad inspiratoria se ve alterada en un rango de disminución entre 24 y 28 mL/año, considerando 50 personas con un promedio etéreo de 36 años<sup>13</sup>.

El entrenamiento de la musculatura respiratoria se realiza por ejemplo, en usuarios con EPOC, debemos considerar que este trastorno provoca una limitación al flujo aéreo comúnmente progresivo. Además, la mortalidad ha aumentado casi el doble en mujeres durante los últimos años, y que el principal factor de riesgo es el tabaquismo, donde la media de consumo de cigarrillos anuales por persona en la mayoría de países de América Latina varía de 500 a 1499. Destacar que en los países de altos ingresos, existe evidencia que la prevalencia del tabaquismo en los hombres está disminuyendo ligeramente, mientras que para las mujeres va en aumento<sup>14</sup>. Los principales síntomas de la enfermedad crónica obstructiva son tos, disnea y un aumento en la producción de secreciones, donde la gravedad de estos síntomas tiene una mayor prevalencia en Santiago, cercano al 33% en comparación con Montevideo con un total de un 20%. También hay evidencia, por un estudio realizado por El Proyecto Latinoamericano para la Investigación de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva (PLATINO), que en los países de América Latina la EPOC es una causa creciente de muerte; según este mismo estudio

la prevalencia de tabaquismo, los ingresos hospitalarios por problemas respiratorios y la exposición al carbón y biomasa son más altos en Santiago de Chile comparado con los demás países de América Latina. Por otro lado, al detectar el EPOC en etapas tempranas se sugiere que se puede mejorar la función pulmonar, combatir de forma óptima el progreso de la enfermedad y así enlentecer el deterioro de la calidad de vida de las personas<sup>14</sup>, siempre y cuando se consideren estrategias de intervención eficaces y eficientes.

En Chile no existen estudios que hayan realizado un análisis electromiográfico y espirométrico durante el uso de válvula umbral con carga incremental en hombres y mujeres, sedentarios y fumadores entre 35 a 55 años. En este contexto, al utilizar la variable electromiográfica de “amplitud de la señal” es decir el nivel de actividad del músculo, nos ayudara a establecer a que carga inspiratoria se produce la mayor demanda muscular. Por último es importante considerar elementos claves como el rango etáreo, en donde estudios del Grupo Internacional de Cuidados Respiratorios Primarios (IPCRG) sugiere que todos los fumadores de 35 años en adelante, que presenten algún tipo de síntoma relacionado con el EPOC debería someterse a una espirometría para lograr un diagnóstico temprano de esta patología; y la evaluación de la capacidad funcional en la que se producen los máximos niveles de amplitud de la musculatura. Es por esto que resulta fundamental establecer cuáles son los parámetros de entrenamiento para esta población, estableciendo en primera instancia los niveles de máxima amplitud muscular para el rango etario objetivo, pero que carezcan de condiciones respiratorias diagnosticadas.

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿Cuál es la carga máxima en que los músculos diafragma y ECOM logran sus mayores niveles de activación muscular, en hombres y mujeres, sedentarios y fumadores entre 35 a 55 años, analizados en el CESFAM San Luis, de la comuna de Peñalolén, durante los meses de Junio-Julio de 2017?

## **1.3 Delimitación**

### **1.3.1 Espacial**

La recolección de datos se realizó en un box de atención facilitado por CESFAM San Luis, comuna de Peñalolén, Santiago de Chile.

### **1.3.2 Cronológica**

El proyecto de investigación se llevó a cabo desde Marzo de 2016 a Octubre de 2017 (Ver anexo N°1).

### **1.3.3 Conceptual**

El proyecto de investigación centró su análisis teórico, en cuatro grandes ejes temáticos, función muscular, sedentarismo, tabaquismo y mecanismos de evaluación del sistema respiratorio.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar la carga máxima en que los músculos diafragma y ECOM logran su mayor amplitud de activación, en hombres y mujeres, fumadores y sedentarios entre 35 a 55 años, inscritos en el CESFAM San Luis de la comuna de Peñalolén, Santiago.

### **1.4.2 Objetivo específico**

- a) Describir la actividad electromiográfica del diafragma y del ECOM según diferentes cargas impuestas, en sujetos entre 35 a 55 años inscritos en CESFAM San Luis.

## **2. Marco Teórico**

### **2.1 Sistema Respiratorio**

El sistema respiratorio tiene como principal objetivo la captación de aire del exterior, concretamente el oxígeno ( $O_2$ ). Para ello, se ponen en funcionamiento una serie de mecanismos que resultan en la respiración y ventilación. Gracias a la entrada de aire en los pulmones, podemos pasar el oxígeno a la sangre para que sea transportado a los tejidos, en donde es utilizado para la combustión y producción de energía aeróbica. La razón por la cual necesitamos oxígeno es precisamente ésta, para poder oxidar (“quemar”) los combustibles almacenados y poder obtener la energía necesaria para los procesos vitales. Uno de los residuos de la oxidación es la producción de un gas denominado dióxido de carbono ( $CO_2$ ), este gas procedente del metabolismo celular se elimina desde los tejidos, a través del torrente sanguíneo, hasta llegar a los pulmones en donde será liberado a la atmósfera<sup>15</sup>.

Entre las funciones principales del sistema respiratorio están<sup>15</sup>:

- La captación de  $O_2$ , para la producción de energía.
- La liberación de  $CO_2$  de nuestro organismo al exterior.
- La regulación del pH interno, es decir el equilibrio ácido-base.
- Regulación de la temperatura corporal.
- La fonación, es decir, poder llevar a cabo la comunicación oral.

El pulmón también desempeña otras funciones, tales como metabolizar ciertos componentes, filtrar materiales no deseados de la circulación y actuar como un reservorio de sangre. Pero su función principal es sin duda el intercambio gaseoso<sup>16</sup>.

Las vías aéreas consisten en una serie de tubos ramificados que se vuelven más estrechos, más cortos y más numerosos a medida que penetran más profundamente dentro del pulmón. La tráquea se divide en los bronquios principales derecho e izquierdo, que a su vez se dividen en bronquios lobulares y luego en segmentarios. Este proceso continúa hasta alcanzar los bronquiolos terminales, que representan las vías aéreas de menor calibre. Todos estos bronquios constituyen la vía aérea de conducción. Su función es la de conducir el aire inspirado hacia las regiones de intercambio gaseoso del pulmón. Como las vías aéreas de conducción no contienen alvéolos y, por lo tanto, no toman parte en el intercambio gaseoso, constituyen el espacio muerto anatómico<sup>16</sup>.

Los bronquiolos terminales se dividen en bronquiolos respiratorios, que en ocasiones presentan alvéolos que nacen en sus paredes. Se llega por último a los conductos alveolares, que están completamente revestidos de alvéolos. Esta región alveolar del pulmón donde se efectúa el intercambio gaseoso se conoce como zona respiratoria<sup>16</sup>.

Durante la inspiración, el volumen de la cavidad torácica aumenta y el aire es llevado hacia el interior del pulmón. El aumento de volumen se consigue en parte por la contracción del diafragma, que causa su descenso, y en parte por la acción de los músculos intercostales, que elevan las costillas, y aumentan de tal forma el área de sección transversal del tórax. El aire inspirado fluye hacia adentro hasta las

inmediaciones de los bronquiolos terminales mediante un flujo conectivo, como el agua a lo largo de una manguera<sup>16</sup>.

Para finalizar es importante recordar que el proceso de la respiración consta de tres fases<sup>15</sup>:

1. El intercambio gaseoso, el cual consiste básicamente en transportar el O<sub>2</sub> a la sangre y el CO<sub>2</sub> desde la sangre al medio ambiente;
2. El transporte de gases, el cual consiste en difundir el O<sub>2</sub> del aire a la sangre, para que esta sea la encargada de llevarlo al resto del cuerpo.
3. La respiración celular, generando principalmente energía y oxigenación celular que se traduce a grandes rasgos en la oxigenación de los tejidos.

### **2.1.1 Comportamiento del sistema respiratorio en el ciclo vital**

El sistema respiratorio, como ocurre con el resto de los sistemas orgánicos, sufre cambios estructurales y funcionales con el envejecimiento fisiológico. En primer lugar, los cambios músculo esqueléticos de la caja torácica afectan a la funcionalidad pulmonar de varias formas importantes<sup>17</sup>. El envejecimiento fisiológico de los pulmones está asociado con dilatación de los alvéolos, aumento en el tamaño de los espacios aéreos, disminución de la superficie del intercambio gaseoso y pérdida del tejido de sostén de las vías aéreas. Estos cambios producen una disminución en el retroceso elástico del pulmón, con incremento en el volumen y capacidad residual funcional. La distensibilidad de la caja torácica disminuye lo que incrementa el trabajo respiratorio cuando se compara con personas jóvenes. Con la edad, la fuerza de los músculos respiratorios también disminuye, lo cual se ha asociado con el estado nutricional y la función cardíaca. Los flujos respiratorios disminuyen alterando de forma característica las curvas de flujo-volumen, sugiriendo enfermedad de pequeñas vías. La capacidad de

difusión del monóxido de carbono se disminuye con la edad lo que es debido a alteraciones en los componentes de la membrana alveolo-capilar y de la superficie del área alveolar. A pesar de estos cambios el sistema respiratorio, conserva su capacidad de mantener un adecuado intercambio gaseoso en reposo y ejercicio durante el transcurso de la vida, sólo con una leve disminución de la  $PaO_2$  y sin un cambio significativo de la  $PaCO_2$ . El envejecimiento disminuye la reserva respiratoria durante estados de enfermedad aguda. La disminución en la sensibilidad de los centros respiratorios a la hipoxia o hipercapnia altera la respuesta ventilatoria en casos de falla cardíaca descompensada, infección o exacerbación de EPOC<sup>18</sup>.

En el sistema respiratorio los cambios generados por el proceso de envejecimiento se explican por la disminución lenta y progresiva de diversos factores, que ya fueron mencionados con anterioridad, pero ahora serán clasificados y explicados con más profundidad: a) la presión de retracción elástica del pulmón; b) la distensibilidad de la pared torácica; c) la fuerza de los músculos respiratorios; d) la respuesta a la hipoxia y a la hipercapnia y e) la percepción del aumento de la resistencia de las vías aéreas<sup>19</sup>.

#### **a) Disminución de la presión de retracción elástica del pulmón**

La presión de retracción elástica en el pulmón está determinada principalmente por las fibras elásticas del tejido pulmonar y por la tensión superficial del líquido que recubre el interior de los alvéolos. Puesto que con el envejecimiento no se han detectado alteraciones significativas del surfactante pulmonar, ni en las células que lo producen (células de Clara y alveolar es tipo II), la disminución de la presión de retracción elástica (-0,1 a -0,2 cm de  $H_2O$  /año desde los 16 años de edad), ha sido atribuida a cambios en la configuración del colágeno y a la presencia de pseudoelastina. Esta alteración genera un aumento de la

distensibilidad pulmonar (aumento del volumen de aire movilizado en el pulmón por unidad de cambio de presión intrapleurales), la relación superficie alveolar/volumen alveolar, disminuye sin que se evidencie destrucción de los alvéolos, ya que la relación peso pulmonar/peso corporal se mantiene constante. La superficie alveolar decrece en  $-0,27 \text{ m}^2$  por año de edad. Por otra parte, la disminución de la presión de retracción elástica del pulmón favorece el cierre prematuro de las vías aéreas pequeñas ( $<2 \text{ mm}$  de diámetro) y el consiguiente aumento del volumen de cierre. Como consecuencia de ello se produce una disminución de la relación ventilación/perfusión ( $V'/Q'$ ) y de los flujos espiratorios<sup>19</sup>.

**b) Disminución de la distensibilidad del tórax**

Ésta ha sido atribuida a varias causas siendo las principales las calcificaciones articulares especialmente las costovertebrales y de los discos intervertebrales. Por otra parte, el tórax cambia de forma por la osteoporosis y también por la ocurrencia de aplastamientos vertebrales (frecuencia estimada en 2,5% y 7,5% en mujeres entre 60 y 80 años) y por fracturas vertebrales parciales detectadas en más de 50% de las mujeres inglesas mayores de 75 años. Ambas alteraciones son subclínicas y sólo son detectadas con radiología. En hombres la frecuencia de fracturas vertebrales subclínicas también aumenta con el envejecimiento, pero en mucho menor porcentaje que en mujeres. Por otro lado, la cifosis en diversos grados afecta hasta 77% de las personas mayores de 75 años. En conjunto, las alteraciones torácicas descritas generan el “tórax en tonel”<sup>20</sup>. Los cambios en la distensibilidad del pulmón y del tórax hacen que en un adulto mayor en el momento de la inspiración la fuerza de los músculos inspiratorios deba vencer no sólo la resistencia elástica del pulmón, sino también la resistencia elástica del

tórax, ya que a diferencia de lo que ocurre en un adulto joven, el tórax del senescente tiende a retraerse en la inspiración. Esto hace aumentar la capacidad residual funcional en relación con el adulto joven, colocando al pulmón en una situación de hiperinflación y de desventaja mecánica para los músculos inspiratorios, hecho que ha sido explicado extensamente en la hiperinflación de pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica<sup>21</sup>. Por otra parte, la hiperinflación produce aumento de la capacidad residual funcional, del volumen residual y disminución de la capacidad vital y de la capacidad inspiratoria<sup>1</sup>. Un estudio reciente demostró que esta última decrece 28 y 24 ml/año en hombres y mujeres, respectivamente<sup>19</sup>. La capacidad vital forzada (CVF) y el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1), luego de alcanzar su valor máximo entre los 20 y 25 años disminuyen con la edad. Según las ecuaciones para predecir los valores normales de CVF y VEF1 en población nacional, la CVF disminuye entre 14 y 25 ml/año y el VEF1 entre 20 y 29 ml/año. La capacidad pulmonar total se mantiene estable en los adultos mayores, si es ajustada por la talla, la cual tiende a disminuir en los senescentes. Por su parte los flujos espiratorios máximos obtenidos en la curva flujo-volumen son significativamente menores en los mayores de 60 años que en los jóvenes<sup>19</sup>.

**c) Disminución de la fuerza de los músculos respiratorios**

Los factores involucrados en esta disminución son múltiples. Los factores propios del músculo que explican este decremento serían la hipoplasia de fibras musculares y la disminución del número de neuronas periféricas, interferencias en el transporte activo del ion calcio en el retículo Sarcoplásmico, la disminución

de la síntesis de miosina de cadena pesada y la disminución de la generación de ATP mitocondrial. A estos factores musculares se agrega la deformación del tórax “en tonel”, que rigidiza la caja torácica y el aumento de la capacidad residual funcional, que deja a los músculos inspiratorios en desventaja mecánica. Otros factores contribuyentes a la disminución de la fuerza de los músculos respiratorios son la desnutrición, la disminución del índice cardíaco y las alteraciones neurológicas, especialmente cerebrovasculares que se presentan en la senectud<sup>22</sup>.

#### **d) Cambios en el control de la respiración**

En reposo, se ha descrito la disminución de la respuesta ventilatoria a la hipoxia y a la hipercapnia en adultos mayores<sup>19</sup>. En el estudio de Kronenberg y Drage<sup>17</sup> cuando la  $PO_2$  alveolar disminuyó bruscamente a 40 mmHg, la ventilación en adultos jóvenes alcanzó a 40 L/min., en tanto que en adultos mayores sólo alcanzó a 10 L/min. En estos mismos sujetos, el aumento de la  $PCO_2$  alveolar a 55 mmHg produjo una menor hiperventilación en los adultos mayores (2 L/min.) que en los adultos jóvenes (3,4 L/min.). Por su parte, en adultos mayores comparados con jóvenes, la presión de oclusión disminuye en alrededor de 50% en hipoxia y en alrededor de 60% en hipercapnia. La es un índice sensible del comando respiratorio ya que representa la presión desarrollada en los primeros 100 milisegundos después de ocluir la vía respiratoria. En ejercicio, se ha encontrado un aumento de la razón ventilación/producción de  $CO_2$  (equivalente ventilatorio a la producción de  $CO_2$ ) lo cual es generado por un aumento de la relación  $V'/Q'$  que tiende a aumentar la relación volumen del espacio muerto/volumen corriente. En el sueño, la prevalencia de apnea aumenta con la edad. Los resultados de los estudios de prevalencia del síndrome de apnea del

sueño (SAS) dependen de la definición de los episodios de apnea/hipopnea y de las características de la población analizada. Si en hombres de mediana edad se usa un criterio amplio de SAS (más de 5 apneas/hipopneas por hora de sueño) la prevalencia es de 24%. Si el criterio es exigente (10 o más episodios de apnea/hipopnea por hora de sueño más somnolencia diurna) la prevalencia baja a 1,5%. En una muestra aleatoria de 5.105 hombres de 20 a 100 años de edad se demostró que el índice de apnea/hipopnea del sueño y la proporción de apneas centrales aumentan en forma continua con la edad. Sin embargo, la prevalencia del síndrome clínico de apnea-hipopnea obstructiva del sueño (SAHOS) llega a su cúspide (5,4%) entre los 50 y 59 años de edad, bajando a 4,2% entre los 60 y 69 años y a 2,5% en los de 70 o más años. Además, encontraron que el SAHOS del senescente tiene caídas oximétricas menos graves con las apneas que en los más jóvenes, especialmente en aquellos con índices de apnea-hipopnea más elevados. En resumen, durante el sueño la prevalencia de apnea tiende a aumentar con la edad, sin embargo, la gravedad de la apnea tiende a decrecer. La frecuencia de SAS puede ser aún más frecuente en presencia de enfermedad de Alzheimer o de trastornos cognitivos<sup>23</sup>.

**e) Disminución de la percepción del aumento de la resistencia de las vías aéreas**

Los adultos mayores disminuyen su percepción a la bronca constricción causada por metacolina. Este hecho es llamativo y ha puesto en evidencia que los seres humanos al alcanzar la tercera edad disminuirían su percepción de la disnea por obstrucción de las vías aéreas, situación que podría tener interés no sólo en síndromes bronquiales obstructivos, sino también frente a situaciones en que hay trastornos de la deglución que favorecen la aspiración de alimentos<sup>24</sup>.

## **2.1.2 Variables que afectan al sistema respiratorio**

### **2.1.2.1 Diferencia entre hombres y mujeres**

Desde el enfoque de la fisiología existen claras diferencias entre hombres y mujeres, determinando diversidad en la función pulmonar de cada uno, estas diferencias están enmarcadas en cuanto a la composición corporal y el tamaño de este, hormonas, estatura y postura del torso<sup>24</sup>. El tejido magro o Masa Libre de Grasa (80% de los compartimientos corporales) es mayor en hombres y aumenta progresivamente con la edad hasta los 20 años, disminuyendo posteriormente en el adulto. El contenido de grasa, por el contrario, aumenta con la edad y es mayor en mujeres. Una vez alcanzada la adolescencia las mujeres adquieren mayor cantidad de grasa corporal que los hombres y esta diferencia se mantiene en el adulto, de forma que la mujer tiene un 20-25% de grasa mientras que en hombre este componente sólo supone un 15% o incluso menos. Con la edad se produce una internalización de la grasa y un aumento del depósito en las zonas centrales del cuerpo. La relación circunferencia de cintura/circunferencia de cadera permite estimar el riesgo de desarrollar enfermedades crónico-degenerativas<sup>17</sup>. En el sistema endocrino en el caso de los hombres hay secreción de testosterona, mientras que en las mujeres la producción de estrógenos. Por otra parte, las mujeres presentan un menor volumen sanguíneo y porcentaje de glóbulos rojos, por lo tanto, un menor porcentaje de hemoglobina.

Además, se observan claras diferencias en cuanto a las respuestas del sistema respiratorio, encontrándose una mayor frecuencia respiratoria en mujeres que en hombres, es por ello que existe una diferencia en la ingesta y el suministro de oxígeno en algunos aspectos del rendimiento: cuando un hombre corre, rinde alrededor de 50% de su capacidad, una mujer tendrá que trabajar en más de un 70% de su capacidad de

mantenerse al día con él a un porcentaje mayor del  $VO_2$  Máx<sup>22</sup>. Así mismo se observa una diferencia en los volúmenes y capacidades pulmonares demostrando diferencias claras de 125 l/min en mujeres y de 150 a 250 l/min en hombres.

Por otro lado, dentro de las diferencias anátomo-funcionales entre género, se menciona el diámetro promedio de la glotis, observándose 23mm en hombres y 17mm en mujeres, al igual que la distancia entre las narinas y la carina, alcanzando en promedio 32 cm en hombres y 27 cm en mujeres<sup>4</sup>. Sin embargo, destacaremos que la diferencia existente del tamaño y calibre de la tráquea y bronquios, no son producto del género, sino que por las características antropométricas del individuo<sup>26</sup>.

#### **2.1.2.2 Tabaquismo**

Según la OMS se denominan productos del tabaco todos aquellos que están hechos total o parcialmente con tabaco, sean para fumar, chupar, masticar o esnifar. Todos contienen nicotina, un ingrediente psicoactivo muy adictivo<sup>27</sup>.

Según un informe, del MINSAL, sobre el control de tabaco para la región de las Américas, la prevalencia de consumo es mayor en Chile, con un total de 40.6% de fumadores en la población en edades de 15 o más años<sup>28</sup>. Es por esto que entre las metas que el sector de Salud se ha propuesto alcanzar hacia el año 2020 está la disminución de los índices de prevalencia de consumo de tabaco en la población del país<sup>28</sup>.

Se estima que el consumo de tabaco mata a más de cinco millones de personas al año, por lo que es la principal causa mundial prevenible de muerte. Además, la exposición al humo de segunda mano mata a un adicional de 600.000 personas en todo el mundo cada año, incluyendo 165.000 niños menores de 15 años<sup>29</sup>.

El consumo de tabaco es uno de los principales factores de riesgo de varias enfermedades crónicas, como el cáncer y las enfermedades pulmonares y cardiovasculares. A pesar de ello, su consumo está muy extendido en todo el mundo. Varios países disponen de leyes que restringen la publicidad del tabaco, regulan quién puede comprar y consumir productos del tabaco, y dónde se puede fumar<sup>27</sup>.

Dentro de las enfermedades pulmonares podemos encontrar, entre otras, a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), de la cual se tiene conocimiento que está fuertemente ligada al tabaquismo, causando inflamación de la vía aérea (bronquitis y bronquiolitis crónica), destrucción alveolar (enfisema) y se asocia con repercusión sistémica<sup>30</sup>.

El tabaquismo es la causa más importante de EPOC y 20 cigarrillos diarios por un período de 10 años es la dosis patogénica mínima probable para diagnosticar dicha enfermedad. Se ha señalado que sólo un 15 a 20% de los fumadores desarrollan EPOC clínico. Sin embargo, existe una estrecha asociación entre la magnitud del tabaquismo y la velocidad de declinación anual del FEV1 (entre 25 y 100 ml/año) agregándose además la susceptibilidad individual como un factor significativo. Es probable que la proporción de fumadores con obstrucción de la vía aérea aumente con la edad hasta comprometer a casi la mitad de los sujetos fumadores. Si bien el abandono del tabaquismo no se acompaña de una reversión de la enfermedad, dejar de fumar siempre es conveniente porque retarda el comienzo de la discapacidad y preserva la función pulmonar remanente. El abandono definitivo del tabaquismo equipara la velocidad de declinación del FEV1 a la de los no fumadores<sup>30</sup>.

La mortalidad en EPOC está en relación con la magnitud de la exposición (edad de comienzo del tabaquismo, el consumo de cigarrillos en paquetes-año y su persistencia en el tiempo)<sup>30</sup>.

En relación con lo último se ha informado de que aproximadamente el 50% de las muertes por EPOC en los países en desarrollo se puede atribuir a la biomasa y al consumo de tabaco y aproximadamente el 75% de estas muertes se presenta en mujeres<sup>31</sup>. Aunque la población presente en este estudio, realizado por PLATINO<sup>17</sup>, era predominantemente mujer, correspondiendo al 87% del total de la población; y el 69% eran principalmente fumadores en contraparte a un 31% de expuestos a biomasa.

Los efectos del tabaco a nivel biológico son variados, y en ellos podemos encontrar un desarrollo en diferentes grados de inflamación en su sistema respiratorio, pero esta respuesta inflamatoria se halla notablemente amplificadas en aquellas personas que desarrollarán EPOC, lo que corresponde a un total del 20-50% de los que fuman<sup>32</sup>. El humo del cigarrillo altera la inmunidad innata compuesta por el aparato mucociliar, el epitelio de la vía aérea (barrera mecánica), células inflamatorias, moléculas pro inflamatorias y otros componentes. Este sistema inmunitario es más inespecífico que el adquirido, pero es de rápida respuesta a agentes dañinos que llegan a la vía aérea. Cada uno de sus componentes resulta alterado por el humo del tabaco que lesiona el epitelio, y aumenta la activación y migración de neutrófilos, macrófagos y linfocitos CD4 y CD8<sup>33</sup>. Estas células inflamatorias, especialmente los macrófagos y neutrófilos, son capaces de liberar proteasas y desbordar la capacidad neutralizadora de las antiproteasas<sup>30</sup>.

También generan estrés oxidativo la cual es otra forma de daño inflamatorio consistente en la liberación de especies activas de oxígeno (como radicales libres) que superan la capacidad antioxidante tisular. Ambos procesos producen daño tisular que amplifica el proceso inflamatorio inespecífico<sup>30</sup>.

Cuando el tabaquismo continúa durante un tiempo considerable, también se ve involucrado el sistema inmune adaptativo que es más específico y exquisito, pero más lento en responder. El resultado de esta activación se traduce en la presencia de linfocitos T (CD4, CD8), y B y de gran cantidad de sustancias inflamatorias como citoquinas y factores de crecimiento que provocan el consiguiente daño bronquial y parenquimatoso<sup>30</sup>. Las alteraciones de la vía aérea periférica (bronquiolar) provocan engrosamiento de la pared y reducción de la luz que generan obstrucción al flujo aéreo. Se explica entonces la correlación entre el daño inflamatorio bronquial (en mayor medida de bronquios pequeños y bronquiolos) y el deterioro de la función pulmonar. Este proceso inflamatorio crónico, se conoce como remodelación de la vía aérea<sup>26</sup>. En las vías aéreas periféricas, además de la metaplasia de células caliciformes, se observa bronquiolitis y metaplasia escamosa, lo que se traduce en pérdida de la función ciliar<sup>33</sup>. En el parénquima pulmonar se produce destrucción de los tabiques alveolares, lesión característica del enfisema pulmonar. Estas lesiones se distribuyen en forma variable, y la destrucción del esqueleto conectivo provoca la pérdida de presión de retroceso elástico que contribuye a la disminución del flujo aéreo<sup>34</sup>.

Finalmente, desde el comienzo de la enfermedad ocurre compromiso del lecho vascular pulmonar. Que generalmente termina en remodelación del lecho vascular por depósito de colágeno y, con ello, grados variables de hipertensión pulmonar<sup>35</sup>.

La respuesta inflamatoria que ocurre en los pulmones de los fumadores es más acentuada en aquellos que padecen EPOC y puede ser también hallada en la circulación sistémica<sup>28</sup>. No es claramente conocido si el origen de las manifestaciones extra pulmonares es debido al “derrame” del proceso inflamatorio pulmonar o a otras causas

como el humo del cigarrillo, la hiperinflación pulmonar, la inactividad, la hipoxia tisular o inflamación en otros órganos como hígado médula ósea o músculos<sup>35</sup>.

Una forma de prevenir estos efectos del tabaco, y como medida principal se encuentra la suspensión del consumo de éste como la medida más eficaz para evitar la progresión de la EPOC y se ha visto que en EPOC leve y moderada hay leve mejoría de la función pulmonar al cesar de fumar, en comparación con los que continúan fumando<sup>32</sup>.

Por último, se recomienda<sup>30</sup>:

- Interrogar a todo paciente sobre su condición de fumador.
- Motivar en cada visita médica a todo paciente con EPOC para dejar de fumar.
- Implementar la estrategia de las 5A para cesación tabáquica, la cual consiste en Averiguar el consumo de tabaco en cada consulta /Aconsejar la cesación en cada fumador /Apreciar la etapa del fumador y la posibilidad de dejarlo /Ayudar concretamente para que éste deje de fumar /Acordar un plan de seguimiento.
- Intervención cognitivo conductual a cargo de profesionales entrenados.
- Tratamiento farmacológico el cual debe ser acompañado de una intervención cognitivo conductual que incluye técnicas motivacionales, técnicas específicas de abandono del tabaco y técnicas específicas de prevención y manejo de las recaídas.

### **2.1.2.3 Sedentarismo**

El sujeto sedentario es aquel individuo que no realiza al menos 30 minutos de actividad física moderada 5 veces a la semana. Desde el punto de vista del gasto cardíaco, se define como aquel sujeto que no genera un gasto energético de al menos 600 Mets\*min por semana (720 kcal aproximadamente por semana para una

persona de 70 kg de peso) en una combinación de actividades vigorosas, moderadas y/o de caminata. Otra definición de sedentarismo tiene que ver con el tiempo que pasa un individuo sentado o recostado, o también se puede llamar sedentario a aquel individuo que gasta menos de 1,5 Mets\*hr y por día en actividades físicas de tiempo libre, trabaja sentado y emplea menos de una hora por semana en actividades de transporte (caminando)<sup>36</sup>.

Chile es el tercer país con el estilo de vida menos saludable en América, después de Estados Unidos y México, el país se anota en este ranking con un 80% de sedentarismo y un 50% de sobrepeso de la población mayor a 15 años<sup>37</sup>.

La detección del sedentarismo en adultos mediante instrumentos sencillos y útiles es un objetivo primordial tanto en salud pública como en el ámbito clínico, ya que este factor de riesgo es una de las causas más importantes de enfermedad no transmisible en el mundo y es muy prevalente en las sociedades que hoy vivimos. Se describen 2 instrumentos validados, sencillos y útiles para detectar y/o manejar el sedentarismo en adultos: a) el cuestionario internacional de actividad física en su versión corta, y b) el podómetro, para cuantificar el número de pasos realizados en un día. Aumentar los niveles de actividad física es importante para la prevención primaria de algunas enfermedades crónicas (cardiopatía coronaria, diabetes tipo II, osteoporosis, cáncer de colon) y para mejorar la calidad de vida. El personal sanitario debe conocer el grado de motivación y la disponibilidad del paciente y su familia para el cambio de conducta hacia la actividad física. Las actividades físicas de intensidad moderada no presentan prácticamente ninguna contraindicación y los riesgos son muy escasos<sup>36</sup>.

La inactividad física o sedentarismo ha sido estudiada en los últimos años como causa predeterminante de un gran número de enfermedades. Parece que el número

de horas sentado presenta una asociación con mayor riesgo de mortalidad, y que el mayor riesgo lo presentan los sujetos que constantemente realizan menos actividad física y adoptan una conducta sedentaria<sup>36</sup>.

Por el momento no existe ningún biomarcador que pueda identificar a las personas sedentarias frente a las activas. Para detectar el sedentarismo se pueden utilizar diferentes herramientas. Las más aplicables, por su rapidez y coste, dentro de las consultas de atención primaria son los Cuestionarios de actividad física validados, uno de los más utilizados para el objetivo de detectar sedentarismo es el cuestionario internacional de actividad física (IPAQ). El IPAQ en su versión corta consta de 7 preguntas, incluye actividades laborales, físico-deportivas, de transporte (caminar) y el tiempo que la persona permanece sentada o recostada, y aunque es auto cumplimentado, puede ser dirigido por el personal del centro de salud para aquellas personas con dificultades de comprensión. Su cumplimentación lleva aproximadamente 5 min. Según el resultado del cuestionario IPAQ, se puede clasificar a los individuos en: nivel bajo de actividad, nivel moderado y nivel alto de actividad<sup>36</sup>.

Por otra parte, en la EPOC la inactividad física forma parte del círculo vicioso que origina las limitaciones que padecen los pacientes en la vida diaria. De tal manera que cualquiera que sea el punto de vista, la inactividad física debe considerarse como un objetivo terapéutico que debe ser abordado, probablemente desde las fases iniciales de la enfermedad<sup>37</sup>.

## 2.2 Rehabilitación pulmonar

Es un tratamiento estándar recomendado para personas que padecen de enfermedades pulmonares crónicas con el objetivo de restaurar al paciente al nivel más alto de independencia funcional posible. Dicho tratamiento tiene respaldos científicos en la actualidad, comenzando por la primera revisión sistemática de las bases científicas de la rehabilitación pulmonar, en el año 1990, publicado por AACVPR (The American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation), desde entonces se ha ido actualizando la definición y sumando más investigaciones, estudios, etc. La más reciente definición la adopto The American Thoracic society y la European respiratory: *“La rehabilitación pulmonar es una rehabilitación basada en la evidencia, multidisciplinaria, y la intervención integral de los pacientes con enfermedades respiratorias crónicas que son sintomáticos y, a menudo han disminuido las actividades de la vida diaria. Integrado en el tratamiento individualizado del paciente, la rehabilitación pulmonar está diseñada para reducir síntomas, optimizar el estado funcional, aumentar la participación, y reducir los costos de atención de la salud mediante la estabilización o revertir las manifestaciones sistémicas de la enfermedad”*. Destacar que esta definición abarca 3 aspectos de una buena rehabilitación: el enfoque multidisciplinario, el enfoque individualizado del tratamiento para orientarse en las necesidades del usuario y el enfoque físico, social y psicológico<sup>38</sup>.

El libro “Bases de la fisioterapia respiratoria, terapia intensiva y rehabilitación” describe aspectos de la rehabilitación pulmonar que son importantes de mencionar como algunas de las indicaciones para esta rehabilitación es disnea durante el reposo y el ejercicio, hipoxemia e hipercapnia, tolerancia reducida al ejercicio o descenso de la capacidad de realizar las actividades de la vida diaria, necesidad de intervención quirúrgica, insuficiencia respiratoria crónica y necesidad de iniciar la ventilación mecánica,

dependencia de la ventilación mecánica, aumento de la necesidad de intervención de cuidados agudos. Las contraindicaciones para este tratamiento es angina inestable infarto agudo de miocardio reciente, cor pulmonale agudo, hipertensión pulmonar grave, entre otros. Es indispensable indicar los principales componentes de este programa de rehabilitación, los cuales son entrenamiento de ejercicios, intervención psicosocial y comportamental y educación. También la importancia de los tratamientos como la oxigenoterapia, ventilación mecánica, entre otros, así como la evaluación de los resultados (se asegura la validez y efectividad del programa individualizado)<sup>39</sup>.

En pacientes con EPOC la efectividad del ejercicio va a depender de la gravedad de la enfermedad y de la dosis aplicada para el entrenamiento. La planificación del tratamiento para estas personas según la literatura incluye entrenamiento de fuerza, entrenamiento de resistencia aeróbica y entrenamientos combinados<sup>39</sup>.

### **2.3 Sistemas de evaluación del sistema respiratorio**

La RAE señala que evaluar consiste en estimar, apreciar o calcular el valor de algo. En este contexto, dentro de los sistemas de evaluación del sistema respiratorio nos enfocaremos principalmente en tres, los cuales son la espirometría, la electromiografía y la válvula umbral, detallados a continuación.

#### **2.3.1 Espirometría**

La ventilación estudia como los gases inspirados llegan a los alvéolos pulmonares y luego son eliminados de éstos al exterior. La ventilación pulmonar se puede evaluar mediante espirometría.

La espirometría es un método simple para estudiar la ventilación pulmonar, mediante el registro del volumen de aire que entra y sale de los pulmones. El espirómetro es un aparato que mide la cantidad de aire que es respirado; existen espirómetros mecánicos y electrónicos. Las variaciones del volumen pulmonar respirado en diferentes condiciones se registran en un espirograma<sup>39</sup>.

La espirometría puede medir los volúmenes pulmonares en forma lenta o forzada. En la lenta, se obtienen los siguientes volúmenes y capacidades<sup>39</sup>:

- Volumen Corriente (VC): volumen de gas movilizado en cada respiración tranquila.
- Volumen de Reserva Inspiratorio (VRI): máximo volumen de gas que puede ser inspirado, partiendo del final de una inspiración tranquila.
- Volumen de Reserva Espiratorio (VRE): Máximo volumen de gas que puede ser espirado, partiendo del final de una espiración tranquila.
- Capacidad Vital (CV): volumen de gas que puede ser espirado a partir de una inspiración máxima. Es la suma del VC, el VRI y el VRE.

En la espirometría forzada se pueden determinar los diferentes flujos espiratorios que permiten diagnosticar las limitaciones a la salida del aire (alteraciones obstructivas). La disminución absoluta de la CV está a favor de una alteración restrictiva, aunque para confirmarla debe realizarse medición del VR y CPT<sup>39</sup>.

En los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva hay aumento de la resistencia al flujo de aire por parte de las vías respiratorias. Por consiguiente, el VEF1 está mucho más disminuido que la CVF, lo cual da una relación VEF1/CVF bajo<sup>39</sup>.

En los pacientes con enfermedad pulmonar restrictiva hay disminución proporcional de la CVF y del VEF1, pero la relación VEF1/CVF es normal. Los trastornos ventilatorios restrictivos pueden producirse por alteraciones en la distensibilidad del tórax o por disminución de la ventilación debido a una falla en la bomba muscular respiratoria<sup>38</sup>.

Los parámetros de mayor relevancia que se pueden obtener mediante una espirometría forzada son<sup>39</sup>:

- Capacidad Vital Forzada (CVF): Cantidad de aire exhalada con un esfuerzo máximo, después de una inhalación máxima.
- Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1): Corresponde a la porción de la CVF, que es expulsada durante el primer segundo de la maniobra, usualmente es 75% de la CVF.
- VEF1/CVF: Relación porcentual entre los dos parámetros anteriores. Su valor normal oscila entre 70 y 85%. Su disminución es sinónimo de patología obstructiva.
- Flujo Espiratorio Forzado entre 25 y 75% de la CVF (FEF25-75): Flujo de aire espirado con máximo esfuerzo entre 25 y 75% de la CVF. Su alteración parece indicar alteración a nivel de las pequeñas vías aéreas.

### **2.3.2.1 Tipos de Alteración Espirométrica**

Existen tres tipos básicos de alteración espirométrica:

- Limitación Ventilatoria Restrictiva:

Se caracteriza por disminución de la CVF con caída proporcional del VEF1, lo que se evidencia en una relación VEF1/CVF normal. Este tipo de trastorno espirométrico se observa en múltiples enfermedades pulmonares, que se caracterizan por disminuir el volumen pulmonar funcional o por alterar su distensibilidad<sup>40</sup>.

- Limitación Ventilatoria Obstructiva con CVF dentro de los límites normales:

Se caracteriza por disminución de la relación VEF1/CVF, con normalidad de CVF. Aun cuando en la mayoría de los casos existe disminución absoluta de VEF1, en algunos con CVF muy grande el VEF1 puede no salir del rango normal. Este tipo de alteración se observa en enfermedades con obstrucción de vía aérea en sus etapas menos avanzadas<sup>40</sup>.

- Limitación Ventilatoria Obstructiva con CVF Disminuida:

Se caracteriza por una disminución de todos los índices espirométricos. Este tipo de alteración, antiguamente llamada mixta, se puede producir por dos mecanismos.

a) En enfermos con obstrucción bronquial difusa avanzada pura, en los cuales el aumento del volumen residual es tan acentuado que disminuye la CVF. En estos casos la CPT es normal o alta.

b) En enfermos en que existen simultáneamente obstrucción bronquial difusa y alguna enfermedad causante de restricción. En estos enfermos la CPT está usualmente disminuida<sup>40</sup>.

### **2.3.2.2 Usos de la Espirometría<sup>40</sup>**

- Diagnóstico funcional.
- Evaluación de mecanismos de obstrucción bronquial.
- Graduación de la capacidad funcional.
- Evaluación de respuesta a tratamientos.
- Estimación de riesgo quirúrgico.
- Medición de la incapacidad física (médico legal).
- Evaluación de la reactividad bronquial inespecífica y específica.
- Investigación clínica y epidemiológica.

Si tenemos presente que la espirometría entrega información sobre trastornos funcionales y que existen variadas causas para cada patrón de alteración espirométrica, se comprende que su utilidad para el diagnóstico de una enfermedad determinada es limitada<sup>40</sup>.

Sin embargo, en numerosos pacientes la información que proporciona la espirometría es fundamental para decidir conductas terapéuticas<sup>40</sup>.

### **2.3.2 Electromiografía**

La electromiografía corresponde a una prueba diagnóstica o de estudio para conocer y obtener un registro gráfico de la actividad eléctrica del músculo, esto nos permitirá conocer que músculos participan en tareas específicas, con que intensidad lo hacen, y a la vez como los diferentes músculos se coordinan, logrando determinar los periodos de activación y reposo. Los tiempos de activación de los músculos durante actividades específicas, permiten ser un marcador del control del sistema nervioso central<sup>43</sup>.

La actividad eléctrica de la musculatura está provocada por el paso del impulso nervioso, generado por la despolarización de la membrana de las células excitables. La señal del electromiográfica es compleja y puede ser afectada por la anatomía y las propiedades fisiológicas del musculo, y además por las características de la instrumentación usadas para detectar y observarla<sup>44</sup>. Para poder comprender las señales electromiográficas es necesario poder comprender algunos aspectos fundamentales de la fisiología de la contracción muscular.

### **2.3.2.1 Contracción muscular**

El músculo esquelético está formado por numerosas fibras musculares. Cada una de estas fibras está formada por miofibrillas, donde encontraremos los elementos contráctiles del músculo.

Cada una de las células excitables tiene una diferencia de potencial eléctrico a través de su membrana plasmática, llamada potencial de membrana en reposo, ya que para que exista una comunicación entre fibras nerviosas y muscular, es necesario que se modifique la carga eléctrica, esto es conocido como el potencial de acción, que se propaga por la membrana plasmática de las células estimuladas. Las células musculares esqueléticas tienen potencial de reposo de  $-90\text{mV}$ <sup>45</sup>. En el caso de la contracción muscular el potencial de acción se transmite de forma muy rápida, permitiendo un movimiento coordinado.

La contracción del músculo esquelético ocurre de forma voluntaria y consciente. Este proceso se inicia cuando las neuronas de la corteza cerebral motora envían impulsos nerviosos a las motoneuronas alfa, localizadas en las astas anteriores de la médula espinal. El axón de la motoneurona abandona la médula espinal a través de la raíz anterior, para realizar sinapsis con las fibras musculares esqueléticas<sup>46</sup>.

Cada fibra muscular esta inervada por una motoneurona alfa, pero cada motoneurona puede inervar a varias fibras musculares. La unidad motora (UM), por tanto, corresponde a la inervación del conjunto de fibras musculares de una motoneurona alfa<sup>46</sup>.

La motoneurona alfa al ser estimulada por la corteza cerebral va a liberar acetilcolina en la unión neuromuscular, iniciando un potencial de acción en la fibra muscular inervada. Este potencial de acción viajará a lo largo de toda la fibra muscular, ingresando a los túbulos T (invaginaciones del sarcolema), generando un aumento intracelular de  $Ca^{2+}$ , gracias a un aumento de la permeabilidad de los canales de  $Ca^{2+}$ , lo que finalizará en una estimulación de la interacción entre la miosina y actina<sup>46</sup>.

Los puntos de unión de la miosina con actina se encuentran bloqueados por la tropomiosina en reposo, o a concentraciones bajas de  $Ca^{2+}$ . Cuando las concentraciones aumentan, el  $Ca^{2+}$  se va a unir al complejo de la troponina, lo que genera el desplazamiento de la tropomiosina hacia el surco de actina, exponiendo los puntos de unión de la miosina, estimulando la contracción<sup>46</sup>.

Los puentes cruzados de miosina obtienen energía a partir de la hidrólisis parcial del ATP a concentraciones bajas de  $Ca^{2+}$ . A medida que la concentración de  $Ca^{2+}$  va aumentando, la miosina se une con la actina, seguido de una acción de tracción de la cabeza de la miosina, que tira el filamento de actina hacia el centro del sarcómero. Esta acción libera ADP y fosfato inorgánico. La unión del ATP a la cabeza de la miosina disminuye la afinidad con la actina, generando la separación de ambas, seguida por una hidrólisis parcial del ATP, para así poder proporcionar energía a la cabeza de la miosina. Si las concentraciones de  $Ca^{2+}$  aún se mantienen altas, la unión de la cabeza de la miosina con la actina se volverá a producir, generando nuevamente el ciclo<sup>46</sup>.

### **2.3.2.2 Registro electromiográfico**

El registro gráfico de la actividad eléctrica muscular será dado por diferentes señales que provienen de las fibras muscular, y otras que no son de interés llamadas “ruido”. En este contexto encontraremos muchas fuentes de ruido, como por ejemplo la piel, los campos electromagnéticos generados por otros artefactos eléctricos, etc<sup>41</sup>.

Además, debemos considerar que al usar electrodos de superficie puede ocurrir un fenómeno llamado CrossTalk, donde pueden registrarse señales de músculos proximales a la zona de estudio. Es por esto que lo más recomendado es utilizar una configuración bipolar, con dos electrodos activos, uno que registre la señal muscular y otro a tierra, que será utilizado como referencia<sup>41</sup>. En este marco, dentro de la medición electromiográfica podemos acceder a distintos tipos de electrodos.

#### **2.3.2.2.1 Electrodo de alambre fino**

Electrodos de alambre fino que se introducen en el músculo a estudiar. Son útiles para estudios de músculos profundos. Son ideales para estudios de movimiento, ya que entregan una información global de la actividad muscular. Dentro de los inconvenientes que podemos encontrar en la aplicación de este tipo de electrodos son la molestia al colocarlos, puede provocar un aumento de la tensión o espasticidad del vientre muscular y además es difícil volver a ubicar la aguja en el mismo lugar<sup>43</sup>.

#### **2.3.2.2.2 Electrodo de superficie**

Se recomienda este tipo de electrodos para el estudio de músculos superficiales<sup>45</sup>. Estos electrodos se ubican en la piel, sobre el músculo a estudiar. Se debe asegurar un buen

contacto, una baja resistencia de parte de la piel y poco ruido. Se hace de vital importancia realizar una limpieza de la piel para eliminar las capas externas, el vello y los aceites protectores, para esto es necesario afeitarse la zona, lijar y limpiar con alcohol o éter<sup>45</sup>.

Los electrodos de superficie pueden ser de distintos tamaños y formas. Por lo general los circulares son más utilizados, siendo importante tener en consideración el tamaño del electrodo, ya que entre mayor tamaño se genera un descenso de las señales de alta frecuencia, por lo tanto, se recomienda que no se superen los 10mm en dirección del músculo. Además de esto para tener un registro confiable es importante medir la distancia entre ambos electrodos (activo y tierra). La distancia recomendada es de 20 mm, distancia que no debe variar al realizar la actividad o los movimientos<sup>45</sup>.

#### **2.3.2.2.3 Posición de electrodos**

En el estudio realizado el año 2013 por Alana Fontes et al. relacionado con los efectos de cargas inspiratorias incrementales, se utilizó una técnica bipolar de superficie, posicionando los electrodos en el músculo esternocleidomastoideo y diafragma de la siguiente forma<sup>41</sup>:

- ECOM: a 5 cm del proceso mastoideo, en la línea de acción de la fuerza del músculo ECOM.
- Diafragma: 8° espacio intercostal entre la línea axilar y medio clavicular (Por anterior). Se recomienda ubicar los electrodos durante una inspiración profunda.

### **2.3.3 Válvula umbral**

La válvula umbral es un instrumento que se utiliza para el entrenamiento de la musculatura respiratoria. Existen distintos tipos, uno para trabajar la musculatura inspiratoria (Threshold IMT) y otro para la musculatura espiratoria (Threshold PEP).

El Threshold IMT es un pequeño dispositivo que permite el flujo de aire durante la inspiración, solamente después de lograr una determinada presión inspiratoria. El nivel del esfuerzo requerido por los músculos inspiratorios puede ajustarse mediante la tensión de un muelle o resorte y puede ajustarse de acuerdo con un porcentaje de la presión máxima inspiratoria del paciente (Pimax). La tensión del muelle determina la apertura de la válvula a una presión prefijada, con un rango entre 0 y 45 cm de agua. El dispositivo está hecho para que no haya flujo significativo por debajo del valor umbral; una vez superado éste y abierta la válvula, la resistencia lineal al incremento de flujo debe ser inapreciable<sup>49</sup>.

Algunas de sus funciones son aumentar la fuerza, tolerancia y resistencia de la musculatura respiratoria, además de ejercitarla.

Por otro lado, Threshold PEP proporciona una presión constante y específica para limpiar las vías respiratorias, independiente de la rapidez o lentitud de los pacientes al respirar. Este dispositivo incorpora una válvula de una vía independiente de flujo para asegurar una resistencia consistente y cuenta con una configuración ajustable de presión específica (en cm H<sub>2</sub>O) la cual será establecida. Cuando los pacientes exhalan a través de Threshold PEP, la carga resistiva crea una presión positiva que ayuda a la apertura de las vías respiratorias y permite que la secreción sea expulsada durante la tos (técnica de espiración forzada)<sup>50</sup>.

Alguna de sus funciones es movilizar secreciones o prevenir su acumulación, mejora la función de las vías respiratorias central y periférica, favorece la broncodilatación junto a la combinación de drogas mediante nebulización o IDM y mejora el intercambio de gases actuando sobre el patrón respiratorio. Según el artículo Kinesiología y Enfermedad pulmonar obstructiva de la Clínica Las Condes, hay protocolos de entrenamiento con la válvula umbral que comienzan trabajando a un 30% de la presión inspiratoria máxima (PIM), en series progresivas de 3, 5, 10 y 15 min, 3 veces por semana con reevaluación cada dos semanas<sup>51</sup>. Sin embargo, existen otros estudios con diferentes protocolos.

### **3. Diseño Metodológico**

#### **3.1 Tipo de investigación o estudio**

En el presente estudio, se utilizó un enfoque de investigación cuantitativo, cuyo diseño es de tipo descriptivo, de corte transversal.

#### **3.2 Población y muestra**

La población objetivo fueron hombres y mujeres entre los 35 y 55 años, sedentarios y fumadores activos, de nacionalidad chilena, región Metropolitana, inscritos en el CESFAM San Luis de la comuna de Peñalolén, Santiago. Finalmente, la unidad de análisis consistió en 9 participantes, los cuales fueron seleccionados de manera no probabilística, por conveniencia, debiendo cumplir con los criterios de inclusión y exclusión expuestos en la Tabla N°1.

Tabla N°1: Criterios de inclusión y exclusión para dicho estudio.

<b>Criterios de Inclusión</b>	<b>Criterios de Exclusión</b>
Edad entre 35 y 55 años.	Cirugía a nivel abdominal y/o torácico en el último año.
Fumadores activos (aquellos que utilizan directamente el cigarrillo).	No fumadores o fumadores pasivos (exposición ambiental al tabaco).
Nacionalidad chilena.	Enfermedad respiratoria diagnosticada (aguda, crónica).
Sedentarios (sujeto que no practique actividad física, con una frecuencia menor a 3 veces por semana, por un mínimo de 30 minutos).	Sujeto activo que practique actividad física, con frecuencia mayor a 3 veces por semana, por un mínimo de 30 minutos).

Fuente: Tabla criterios de inclusión y exclusión por los autores, 2016.

### **3.3 Aspectos éticos de la investigación**

Con el fin de encontrar beneficios para la población, se hace necesario trabajar con sujetos humanos, considerando entonces los diversos aspectos éticos que conllevan el cumplimiento de normas que deben ser consideradas en investigaciones experimentales. Este estudio va enfocado al beneficio y cuidado sobre alguna patología del sistema respiratorio, específicamente para la prevención de EPOC, pero antes de realizar cualquier tipo de estudio es necesario considerar los principios esenciales propuestos por la Comisión Nacional para la Protección de Investigación Biomédica y de Comportamiento en el Informe Belmont de 1979, los cuales son:

- Respeto a las personas.
- Beneficencia.
- No maleficencia.
- Justicia.

Esta investigación no transgrede ni vulnera ninguno de estos principios, tomando medidas necesarias que apoyan la integridad, condición de salud y respeto de los sujetos de estudio. Es por esto que se entrega un consentimiento informado, el cual debe ser firmado por los participantes luego de ser leído y explicado (Ver Anexo N°4). Adicionalmente, es importante señalar que el presente estudio fue aprobado por el comité de ética del servicio de salud Metropolitano Oriente, con fecha 27 de Diciembre de 2016 (Ver Anexo N°5).

### 3.4 Variables

La variable considerada en esta investigación es la carga máxima determinada al momento de alcance de mayor amplitud de la señal (Ver Tabla N°2). Es importante mencionar que la variable en cuestión fue normalizada, por lo tanto si bien la unidad de medida es mV (milivolt), al ser normalizada comenzamos a trabajar con porcentajes en relación a una condición basal (para más detalles ver sección 3.5.4).

Tabla N°2: Caracterización de la variable

Medición	Tipo de variable	Escala de Medición	Unidad de Medida	Definición operacional
Amplitud de la señal	Cuantitativa	Continua	mV	Datos recogidos con software MatLab

Fuente: Los autores, 2016.

### 3.5 Materiales y métodos

#### 3.5.1 Materiales

Los materiales a utilizar con sus respectivas unidades están especificados en las tablas N°3, 4, 5 y 6.

Tabla N°3: Tabla de materiales específicos de la espirometría

<b>Materiales específicos de la espirometría</b>	<b>Unidades</b>
Espirómetro	1
Boquillas	2
Umbilical	1
Clip Nasal	2
Monitor	1
Neumotacómetro	1
Instrucciones de la Prueba	9

Fuente: Los autores, 2016.

Tabla N°4: Tabla de materiales genéricos de la medición

<b>Materiales generales de medición</b>	<b>Unidades</b>
Consentimientos Informados	9
Alargador	1
Silla	1
Algodón	1
Balanza	1
Jabón líquido desinfectante	1
Alcohol desnaturalizado 1 litro	1
Termómetro ambiental	1
Barómetro de mercurio	1
Rasuradora	9
Lápiz dermatológico	1

Fuente: Los autores, 2016

Tabla N°5: Tabla de materiales propios de la electromiografía

<b>Materiales propios de electromiografía</b>	<b>Unidades</b>
Electrodos bipolares de superficie	16
Gel (solución electrolítica)	2
Electromiógrafo DELSYS Bagnoli-16 EMG system	1
Monitor	1

Fuente: Los autores, 2016.

Tabla N°6: Tabla de materiales propios de la válvula umbral

<b>Materiales propios de la válvula umbral</b>	<b>Unidades</b>
Cuerpo principal	1
Escala	1
Boquilla	1
Clip nasal	2

Fuente: Los autores, 2016.

### 3.5.2 Recolección de datos y mediciones

Para la aplicación de nuestro estudio se realizó una encuesta con los criterios de inclusión y exclusión a los sujetos disponibles en el CESFAM San Luis. Luego de la revisión de 17 encuestas, se seleccionaron a 9 personas, de manera no probabilística, por conveniencia.

Para comenzar, se hizo entrega del consentimiento informado, el cual explica el procedimiento al que fueron sometidos cada uno de los sujetos. Una vez leído y firmado, se les solicitó que completen una hoja con sus datos personales, los cuales son necesarios para la espirometría, además de esto, se midió talla y peso.

Posteriormente, se les indicó que descubran su tronco para la colocación de los electrodos en los músculos diafragma y ECOM, como se muestra en la tabla N°7.

Tabla N°7: Canales y sitios anatómicos de ubicación de los electrodos

Canales	Sitios anatómicos de ubicación
Canal 1	8° espacio intercostal entre la línea axilar y medio clavicular (Hemicuerpo derecho).
Canal 2	8° espacio intercostal entre la línea axilar y medio clavicular (Hemicuerpo izquierdo).
Canal 3	ECOM derecho.
Canal 4	ECOM izquierdo.

Fuente: Los autores, 2016.

En primer lugar se solicitó realizar la maniobra para obtener la PiMax (valor de referencia para establecer los niveles de carga), en donde las indicaciones fueron las siguientes:

- Exhale suave, pero completamente y luego inhale tan fuerte y rápido como le sea posible.

Posteriormente, para llevar a cabo la espirometría nos basamos en el protocolo establecido por la Sociedad Americana de tórax. El individuo debió estar sentado y relajado, en posición erguida mirando al frente sin cruzar las piernas para permitir una óptima evaluación de la CI.

Se le indico a la persona que se colocara la boquilla en el interior de la boca y además de una pinza nasal, posteriormente se le solicito que respirara tranquilo y con normalidad por la boca, luego que realizara una inhalación rápida tomando todo el aire posible. Posteriormente debía exhalar todo el aire hasta el fin del examen. Este procedimiento se realizó desde la condición basal, para luego continuar progresivamente al 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de la PiMax. según corresponda, lo cual estaba en función del nivel de carga que permitía la válvula. Finalmente se retiró la boquilla y la pinza nasal.

Por otro lado, es importante señalar que las mediciones de espirometría se realizaron de forma paralela con las de electromiografía, con el objetivo de ponderar la variable amplitud de la señal, en función del tiempo en que se realizó la CI. Este último valor fue extraído de la interface visual que entrega la medición de función pulmonar mediante espirometría.

### **3.5.3 Prueba piloto**

La medición piloto se realizó entre mayo y junio de 2017, en box de atención facilitado por CESFAM San Luis, comuna Peñalolén. En esta instancia se citaron a 2 participantes, con el propósito de detectar algún error o falencia en el procedimiento de la toma de muestras. Procediendo a consolidar la experticia en la electromiografía y espirometría.

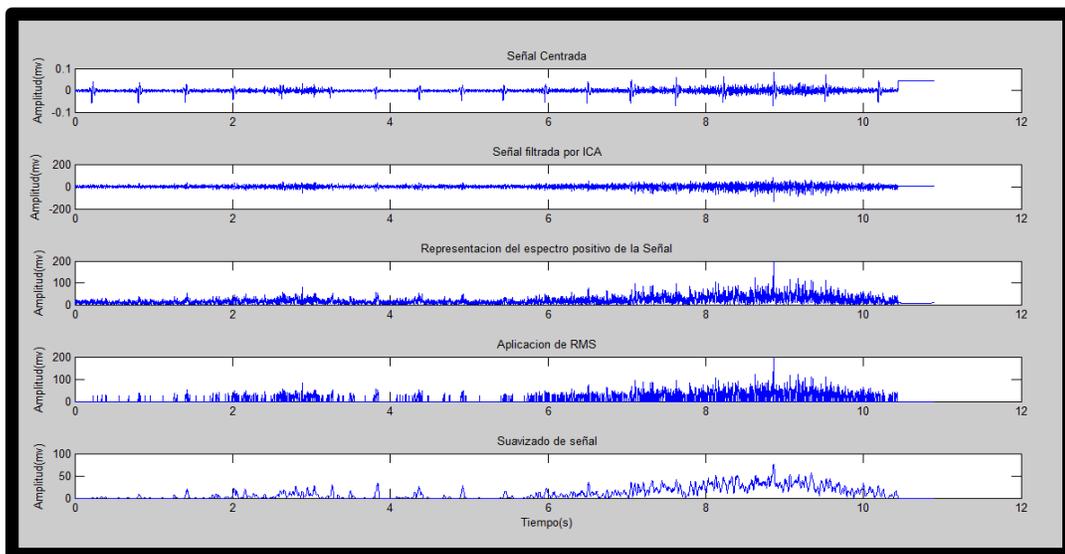
### 3.5.4 Técnica para el análisis de información.

#### 3.5.4.1 Variables electrofisiológicas

Cabe destacar en una primera instancia, cómo fue el procesamiento que se aplicó a la señal EMG de los músculos previamente mencionados. Este procesamiento se realizó mediante el software MatLab © versión 7.10.0.

Se comenzó con un filtrado de todas las señales mediante ICA (Análisis de componentes independientes), con el uso del algoritmo FastICA, a continuación, se aplicó la transformada de Hilbert, obteniendo solo el espectro positivo de la señal, consiguiendo así la envolvente a partir del valor real de la señal y dicha transformada. Posteriormente se obtuvo la RMS (Raíz cuadrada media) de cada señal, estableciendo el umbral de activación muscular con este valor. Finalmente, se aplicó el suavizado con media móvil, con el objetivo de nivelar los peak en amplitud.

Figura N°1: Primer procesamiento de la señal electromiográfica.



Fuente: MatLab © Creada por Kinesiólogo Leónidas Arias Poblete, 2017.

Luego de realizar lo mencionado anteriormente, se procedió a cortar la señal en función del tiempo que duró la Capacidad Inspiratoria, lo cual se manifestó en la interfaz visual de detección de los datos espirométricos con flujo 0 lt/min.

Si ponderamos que cada sujeto tuvo diferencias en la duración de la CI, se procedió a resamplear los datos para cada condición, obteniendo ciclos denotados en el eje x, de 0 a 100%, los cuales, al tener la misma cantidad de puntos, fueron susceptibles de ser promediados. Lo anterior permitió generar un ciclo de CI para los músculos Diafragma, y ECOM, de cada nivel de carga máxima al que llegaron los sujetos de estudio.

Finalmente, se normalizo el eje y (ver Figura N°1), lo cual se realizó asumiendo las siguientes premisas:

- El eje y se representa en mV (milivolt).
- Cada sujeto presenta diferentes valores de mV basales durante la prueba inicial sin carga.

Considerando estos antecedentes es imposible comparar valores que presentan tales diferencias, por lo cual se realizó la representación del eje y en función de porcentajes (normalización), estableciendo como valor de referencia la actividad basal de cada músculo y en cada condición. Este valor fue representado como el 100%, por lo tanto, las cargas incrementales al que fueron sometidos los sujetos estaban en función de este parámetro. Ejemplo:

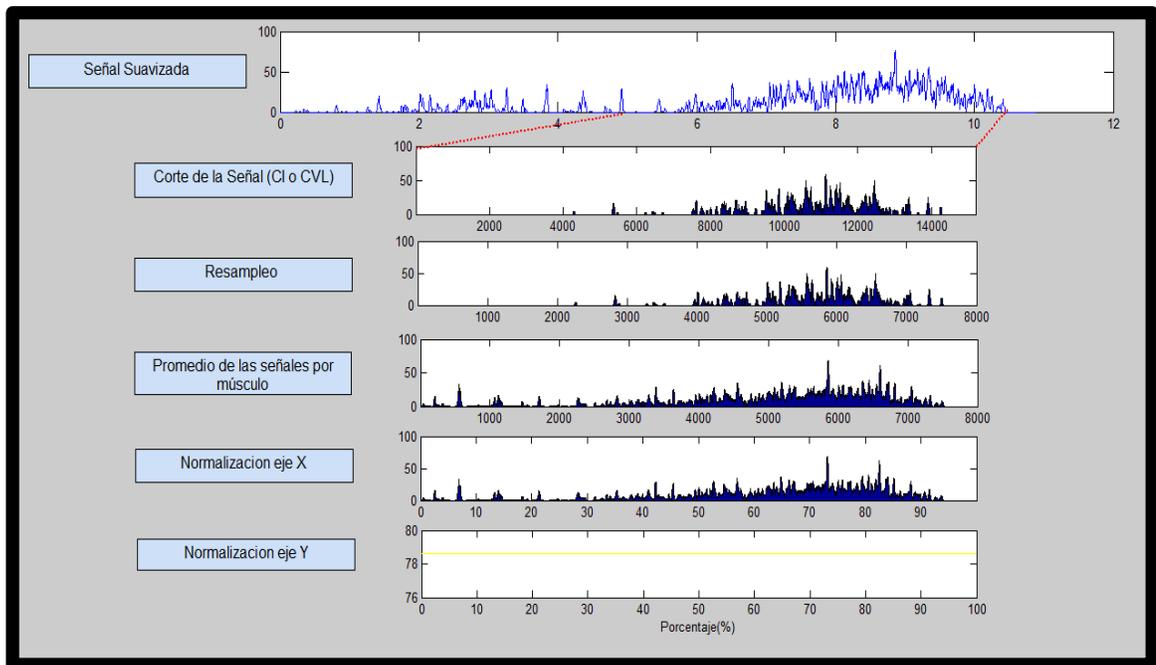
Si la actividad basal para el músculo diafragma (durante la CI) fue de 215 mv en promedio, este valor fue considerado como el 100% de amplitud. Por lo tanto, al obtener la amplitud al 10% de carga, que fue de 230 mv, se estableció una regla de tres:

$$\frac{100\%}{X} = \frac{215 \text{ mv}}{230 \text{ mv}}$$

El resultado de esta simple operación es de 107%, por lo tanto, se aprecia un incremento de la actividad del músculo Diafragma durante la CI de un 7%, pasando de un 100% de amplitud a un 107%.

Es importante destacar que esta modalidad de análisis de datos de la variable amplitud de la señal, se fundamenta en la variabilidad tanto intra como inter sujetos, lo cual genera la búsqueda de estrategias que permitan sopesar esta condición y favorezcan la obtención de patrones, ya que una vez que estos valores son normalizados es posible clasificar los datos y promediarlos. En función de esto, se obtuvo un valor en amplitud promedio para cada músculo y carga, aspectos que fueron agrupados según el nivel de carga máximo al que llegaron los sujetos (de acuerdo con las posibilidades de la válvula).

Figura N°2: Segundo procesamiento de la señal electromiográfica



Fuente: MatLab © Creada por Kinesiólogo Leónidas Arias Poblete, 2017.

### **3.5.4.2 Análisis de datos**

Una vez que los datos fueron codificados, transferidos a una matriz, guardados en un archivo y limpiado de errores, se procedió a lo siguiente:

Fase 1: Seleccionar un programa para analizar los datos: MatLab © versión 7.10.0.

Fase 2: Explorar los datos:

- Analizar descriptivamente los datos por variable, mediante medidas de tendencia central (media) y medidas de variabilidad, para evaluar la dispersión de los datos (desviación estándar).
- Visualizar los datos por variable.

Fase 3: Preparación de los resultados para presentarlos (tablas, graficas, cuadros).

## 4. Resultados

De acuerdo a los resultados de PiMax obtenidos para los sujetos en estudio, en 1 se estableció una carga del 40% de su PiMax, mientras que en 8 la carga establecida fue del 50%, lo cual estaba en función de las posibilidades que entregó la válvula. Considerando estos antecedentes, los resultados a continuación serán clasificados y expuestos.

En primer lugar se ponderaron las características generales de la muestra como lo son la edad, masa, altura, IMC y nivel de carga alcanzado, tal como se muestra en la tabla N°8.

Tabla N°8: Características generales de la muestra

Edad (años)	Masa (Kg)	Altura (cms)	IMC	Nivel de carga alcanzado
45	90,5	1,74	29,9	40%
48,64 (SD:8,3 )	78,25 (SD: 21,46)	1,63 (SD: 0,1)	28,84 (SD: 4,54)	50%

Fuente: Los autores, 2017.

### 4.1 Amplitud de activación muscular

Se debe considerar que, al analizar la amplitud de activación muscular, los datos estarán diferenciados por el nivel máximo de carga que permite la válvula (41cm H<sub>2</sub>O) en relación a la PiMax. Bajo esta condición se mostrarán en primer lugar los resultados de amplitud con carga al 40% y luego al 50% de la PiMax.

#### 4.1.1 Amplitud de activación muscular con un 40% de carga máxima

Al analizar los datos de la Tabla N°9 se observa el nivel porcentual de activación muscular, tomando como referencia la actividad basal, y considerando esta como el 100% de la amplitud. En relación a este valor de referencia podemos observar el nivel

de activación de cada músculo, según aumenta el nivel de carga al cual fueron sometidos los sujetos.

Es importante señalar dos puntos:

1. Los datos presentados son promedios de actividad porcentual.
2. La actividad plasmada en la tabla N°9 representa solo la obtenida durante el tiempo en que el sujeto logró la CI según el setup expresado anteriormente.

Tabla N°9: Amplitud de activación porcentual según nivel de carga, durante la Capacidad Inspiratoria.

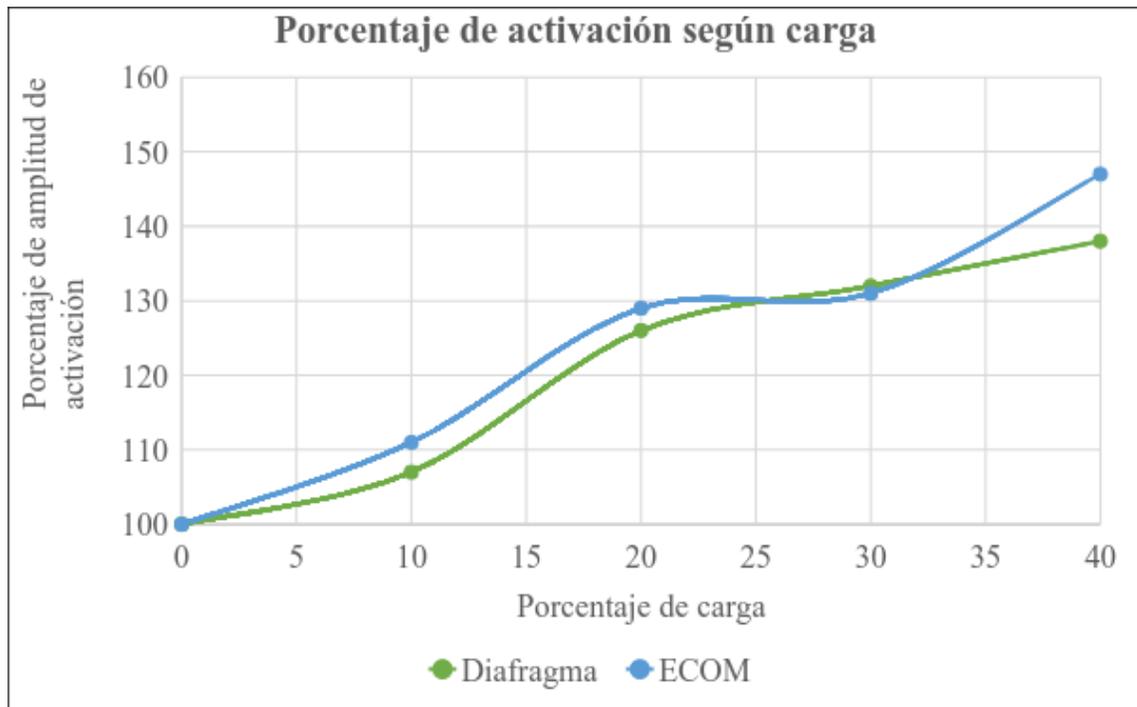
Nivel de carga	CI	
	Diafragma	ECOM
0%	100	100
10%	107	111
20%	126	129
30%	132	131
40%	138	147

Los niveles máximos de amplitud se expresan con color amarillo.

Fuente: Los autores, 2017.

Al analizar los valores representados en la tabla N°9 se puede apreciar que la actividad muscular porcentual difiere para cada músculo, y presenta variaciones de acuerdo al nivel de carga al cual fueron sometidos. En consecuencia a esto, se observa que para ECOM y diafragma la mayor amplitud de activación se obtuvo al 40% con un 147% y 138% respectivamente. Esto se ejemplifica en la fig. N°3, en donde se muestra de manera didáctica la amplitud máxima alcanzada según nivel de carga.

Figura N°3: Porcentaje de activación máximo para diafragma y ECOM, según nivel de carga durante la CI.



Fuente: Los autores, 2017

#### 4.1.2 Amplitud de activación muscular con un 50% de carga máxima

La tabla N°10, al igual que lo expresado en el punto 5.1.1 representa el nivel porcentual de activación muscular, siendo la actividad basal el 100% de amplitud. Sin embargo en esta oportunidad, los valores expresados a continuación representan el promedio de los 8 sujetos que llegaron como máximo al 50% de la PiMax.

Tabla N°10: Amplitud de activación porcentual según nivel de carga, durante la Capacidad Inspiratoria.

Nivel de carga	CI	
	Diafragma	ECOM
0%	100%	100%
10%	114% (SD: 5,7)	108% (SD: 7,4)
20%	121% (SD: 6,2)	118% (SD: 4,1)
30%	129% (SD: 8,8)	156% (SD: 7,5)
40%	142% (SD: 6,9)	134% (SD: 9,4)
50%	114% (SD: 10,7)	120% (SD: 5,3)

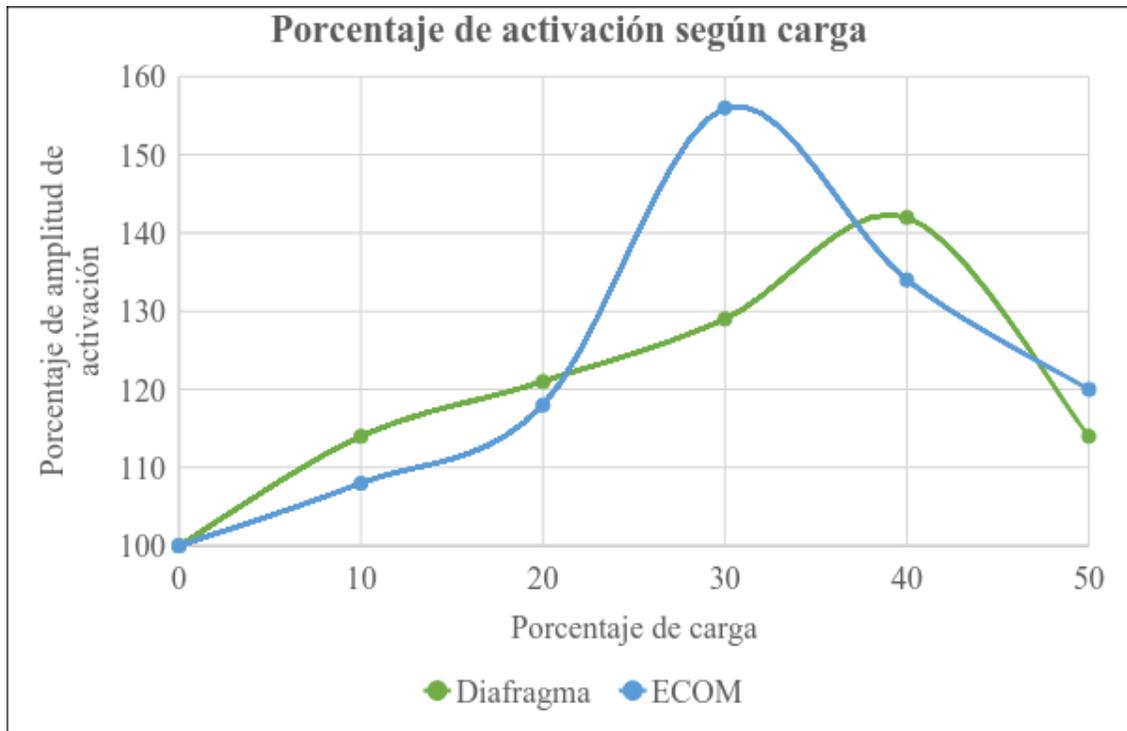
Los niveles máximos de amplitud se expresan con color amarillo.

Fuente: Los autores, 2017.

Bajo estos antecedentes apreciamos que los músculos ECOM y diafragma logran su máxima actividad a distintos niveles de carga. En el caso del ECOM se observa la máxima actividad al 30 % de carga con un valor de 156% y el diafragma lo logra al 40% de la carga con un valor del 142% en relación al basal.

Continuando con la manera de visualizar el porcentaje de activación en base al basal, la Figura N°4 representa el nivel de actividad del diafragma y ECOM bajo diferentes cargas, en el contexto de la Capacidad Inspiratoria. En donde se logra visualizar el comportamiento desigual que tienen ambos músculos, considerando las cargas en que logran los máximos niveles de activación, lo cual es una extrapolación de lo observado en la tabla N°10.

Figura N°4: Porcentaje de activación máxima para diafragma y ECOM, según nivel de carga durante la CI.



Fuente: Figura creada por los autores, 2017.

## 5. Discusión

Los antecedentes más cercanos a la presente investigación, se encuentran en una tesis de pregrado asociada al Análisis electromiográfico y espirométrico durante el uso de válvula umbral con carga incremental en hombres no sedentarios de 19 a 25 años, lo cual fue realizado por estudiantes de Kinesiología de la Universidad Andrés Bello el año 2015<sup>10</sup>. De esta investigación se desprenden los siguientes antecedentes:

1. Máxima amplitud alcanzada para el músculo ECOM a un 30% de la PiMax, lo cual fue evaluado durante el tiempo en que se desarrolla la CI.
2. Máxima amplitud alcanzada para el músculo diafragma a un 40% de la PiMax y en el mismo contexto que la situación anterior.

En este marco, según lo encontrado en la literatura se sabe que la válvula umbral (Threshold IMT) permite un máximo de 41 cm de H<sub>2</sub>O. Relacionando este parámetro con la PiMax y la carga impuesta en cada uno de los sujetos, se establece en nuestro estudio el 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de la PiMax, sin poder establecer niveles superiores de carga debido a las características de la válvula. En relación a esto, solo en 1 de 9 sujetos se estableció una carga del 40% de su PiMax, mientras que en 8 de 9 sujetos la carga fue del 50%, datos dispuestos en función de las posibilidades que entrega la válvula umbral utilizada. Por lo tanto, se dividieron en dos grupos de análisis, uno al 40% y otro al 50% de la PiMax.

En cuanto a los resultados de nuestro estudio, referente al sujeto que se ve limitado por el máximo de 41 cm H<sub>2</sub>O de la válvula umbral, traduciéndose en un 40% de la PiMax, se logra una amplitud máxima de activación de los músculos ECOM y diafragma en este porcentaje de carga. Por otro lado, en los 8 sujetos restantes que consiguieron el 50% de la PiMax, se encontraron diferentes niveles de carga en donde se logró la máxima amplitud. Por un lado, se obtuvo que el ECOM consiguió una amplitud máxima al 30%

de carga, mientras que el diafragma lo hizo al 40%. Quedando en evidencia una similitud entre los resultados obtenidos por los estudiantes de Kinesiología de la Universidad Andrés Bello el año 2015<sup>10</sup> y los resultados de la presente investigación. Estos elementos podrían poner en evidencia que sin importar el estilo de vida de las personas analizadas, la máxima amplitud de activación en el caso del diafragma se logra al 40% de la PiMax, situación que podría ser considerada en los protocolos tradicionales de entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI), ya que si bien en los estudios de Lisboa y col., (realizados en Chile), demostraron que el EMI realizado con una válvula umbral al 30% de la PiMax aumentaba la fuerza muscular inspiratoria, disminuía la disnea y mejoraba el patrón ventilatorio de los pacientes con EPOC<sup>57-58</sup>, no quiere decir que ese porcentaje de carga sea el óptimo para planificar un entrenamiento. Por lo tanto, más que certezas respecto al nivel de carga que se debe utilizar para generar un plan de EMI, existen controversias respecto a este punto. Lo anterior es de vital importancia, en el contexto de implementar algún paradigma de dosificación de la carga, ya que como premisa, se requiere establecer la carga máxima que pueden ejercer los músculos respiratorios, particularmente el diafragma, para que a partir de este valor de referencia, generar los mecanismos necesarios de modulación y dosificación, favoreciendo el desarrollo de cualidades físicas como la resistencia o la fuerza.

Por otro lado, según los resultados obtenidos es necesario analizar el comportamiento de la musculatura. En esta línea argumentativa, tanto ECOM como diafragma logran la máxima activación previo al 50% de la PiMax, carga máxima impuesta por la válvula umbral, tal como se muestra en la Figura N ° 4. Si bien dentro de este estudio no fue posible aplicar cargas mayores, se observa un descenso en la amplitud de activación luego del 30% y un 40% de la PiMax para el ECOM y diafragma respectivamente (en 8 de 9 sujetos), lo que a su vez lleva a cuestionarse el proceso más lógico de que a mayor carga, mayor actividad. Estos sucesos pueden explicarse por diferentes circunstancias,

tales como la posición estereotipada del sujeto para la espirometría, relación longitud/tensión óptima de la musculatura evaluada, resistencia ocasionada por los tejidos adyacentes, entre otras.

Para la realización de este estudio, la espirometría se realizó en posición sedente, con espalda recta, descalzo, sin cruzar las piernas y con apoyo antebraquial sobre apoyabrazos de la silla, posición comúnmente utilizada para efectuar dicha prueba. En este sentido es importante mencionar como la acción del diafragma puede ser modificada por la postura adquirida. Sabemos que en decúbito supino se genera una gran desventaja mecánica para el diafragma, entre otras complicaciones, y frente a esto, claramente la posición sedente resulta más eficiente para el diafragma. Pero ¿qué diferencias hay entre la posición sedente y bípedo? Según un estudio realizado por Ayrton Bentes et al<sup>54</sup>., respecto a la influencia de la posición en la espirometría de pacientes obesas grado III el año 2011, encontraron alteraciones dependiendo de la posición en la que ésta prueba se aplicaba, donde la CVF es mayor cuando se mide de pie en comparación a la posición sedente<sup>54</sup>. Se puede inferir entonces que el contenido visceral puede generar una mayor resistencia para el descenso del diafragma en la posición sedente. Además, no existe claridad respecto a la posición en que se logra la relación longitud/tensión óptima del diafragma para generar la mayor cantidad de puentes cruzados dentro de las sarcómeros, por lo tanto, se podría inferir que las exigencias de la prueba espirométrica, influyen el rendimiento de la musculatura.

Dentro del ciclo de la respiración, sabemos que la inspiración es lograda principalmente por la contracción del músculo diafragma, siendo un proceso evidentemente activo. Por otra parte la espiración tranquila se lleva a cabo por la relajación de este músculo, siendo un proceso pasivo. Bajo esta premisa ¿Qué tanta resistencia ofrece el componente pasivo al momento de la inspiración?. Según un estudio realizado por Matías Addiego<sup>55</sup>, en el caso que se requiera determinar el valor de la resistencia respiratoria, además de contar

con equipos muy costosos, se necesita mucha cooperación del paciente o métodos muy invasivos. Por lo tanto, se prefiere realizar de manera indirecta; dato no obtenido en nuestra investigación, por lo que desconocemos si dicho análisis influye en la máxima Pimax y CI alcanzadas por nuestros participantes, dejando la posibilidad a que esta variable condicione los resultados. Adicionalmente, en nuestra investigación los participantes eran sedentarios y el promedio IMC arrojaba sobrepeso, pero bastante cercano a los límites de obesidad. La obesidad determina un aumento de las fuerzas de retracción elástica del pulmón, probablemente secundario a una plétora circulatoria. Existe, por tanto, un incremento de las resistencias elásticas tanto del pulmón como de la caja torácica que determina un aumento del trabajo respiratorio”<sup>56</sup> que también influirá en la obtención de los resultados.

Es importante ponderar que nuestra investigación tuvo limitantes, entre estas encontramos el bajo número de sujetos evaluados, lo cual va de la mano con la disponibilidad del CESFAM San Luis para otorgar el espacio físico requerido para las mediciones, el tiempo de los docentes a cargo y la posibilidad de transporte para los materiales utilizados. Por otro lado, considerando el contexto en que nos encontrábamos, siendo un lugar en donde las personas se dirigían principalmente a consultas médicas y con escaso tiempo, se vio mermada la disposición de los usuarios para participar en la investigación; el equipo de EMG estaba conectado a una red eléctrica común, por lo que la calidad de la señal disminuyó, recurriendo a algoritmos más sofisticados para obtener la variable analizada, circunstancia que si bien puede ser considerada una oportunidad para el desarrollo de mejores códigos de procesamiento de señales biológicas, implicó más tiempo de análisis, lo cual sin duda genera un retraso en la entrega de resultados. Por último, el uso de la válvula Treshold, también se considera una deficiencia, ya que solo permite llegar a una presión máxima de 41 cmH<sub>2</sub>O, lo cual en términos

porcentuales, varía entre un 30% y un 50% de la  $P_{iMax.}$ , rango que limita la posibilidad de evaluar el comportamiento de la musculatura inspiratoria a cargas superiores.

Con el objetivo de profundizar en los datos obtenidos, son necesarias futuras investigaciones en las cuales el tamaño muestral sea mayor y consideren en su análisis no sólo datos electrofisiológicos provenientes del dominio del tiempo sino que también contemplen el dominio de la frecuencia, ya que en este contexto, se podría evaluar cuál es la frecuencia de descarga de motoneuronas que predomina en un determinado porcentaje del ciclo respiratorio y en función de estos antecedentes ponderar como la frecuencia media o mediana declina en relación al tiempo, en la medida que los requerimientos del sistema respiratorio aumentan. Al ponderar este tipo de análisis se sugiere el cálculo del índice de fatiga el cual nos señala si ha disminuido la capacidad del músculo para sostener un trabajo. Para este tipo de análisis se podrían utilizar algoritmos como la Transformada de Wavelet, con el objetivo de obtener una representación tiempo-frecuencia, de lo acontecido con esta última variable. Lo anterior tiene un rol de importancia a la hora de establecer cuáles son los argumentos que sustentan un cambio de paradigma en el entrenamiento del sistema respiratorio, ya que por un lado, el aumento de frecuencia de descarga de las unidades motoras es uno de los mecanismos que utiliza el sistema nervioso central para aumentar los requerimientos de fuerza de un determinado grupo muscular, lo que va en conjunto con el reclutamiento de unidades motoras, que se podría manifestar con una mayor amplitud de activación, condición que fue abordada en esta investigación. Por lo tanto, en la medida que el número de variables investigadas aumenten y a su vez, estas sean de relevancia, se podrían establecer clasificadores de detección de patrones que sean consistentes en términos clínicos y electrofisiológicos, con el objetivo de sustentar un

cambio de paradigma en los protocolos de entrenamientos en personas fumadoras y sedentarias.

## **6. Conclusiones**

La presente investigación tuvo como interrogante ¿Cuál es la carga máxima en que los músculos diafragma y ECOM logran sus mayores niveles de activación muscular, en hombres y mujeres, sedentarios y fumadores entre 35 a 55 años, analizados en el CESFAM San Luis, de la comuna de Peñalolén, durante los meses de junio-julio de 2017?, en donde considerando la metodología planteada y los objetivos propuestos, se obtuvo que la máxima amplitud de activación del ECOM y diafragma, para la mayoría de los sujetos, se alcanzó al 30% y 40% de la PiMax respectivamente. En relación a este último valor, gran parte de la literatura disponible fundamenta sus protocolos de EMI al 30% de la Pimax, condición que por lo menos podría ser cuestionada, considerando los resultados obtenidos.

Si analizamos las fortalezas, nos encontramos principalmente con los métodos de análisis de las señales, en términos de los algoritmos utilizados, los cuales permiten extraer las características requeridas de la señal pero con la mínima pérdida de información posible, a pesar de las desfavorables condiciones en que se hicieron los registros. Por otro lado, la aprobación ética del SSMO, permite establecer que se cumplen con los requisitos para llevar una investigación en personas, sin transgredir la integridad de estas, lo cual consideramos que valida nuestro plan de intervención.

Respecto a futuras investigaciones, es necesario evaluar a un mayor número de sujetos, en donde si bien en el presente documento solo se presentaron los antecedentes de 9 participantes, con el objetivo de cumplir con los requerimientos para obtener el grado de

licenciado en kinesiología, actualmente continuamos midiendo, en virtud de que los resultados presentados tengan un mayor valor, a modo de extrapolación de nuestros hallazgos. Adicionalmente, considerando un mayor número de muestras, será posible aplicar estadística inferencial, para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre la amplitud alcanzada en cada una de las cargas impuestas al sistema respiratorio.

Finalmente, es importante considerar que este estudio es la base de futuras investigaciones, en donde se pueden crear protocolos de entrenamiento conciendo que la máxima actividad muscular del diafragma se genera a una carga del 40% de la PiMax.

## 7. Apéndice

1. **CI:** Capacidad Inspiratoria
2. **CESFAM:** Centro de Salud Familiar
3. **cm de H<sub>2</sub>O:** Centímetro de agua
4. **CO<sub>2</sub>:** Dióxido de Carbono
5. **CPT:** Capacidad Pulmonar Total
6. **CVP:** Capacidad vital forzada
7. **CV:** Capacidad vital
8. **ECOM:** Músculo Esternocleidomastoideo
9. **EMG:** Electromiografía
10. **EPOC:** Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
11. **FEF 25-75:** Flujo espiratorio forzado entre 25% y 75%
12. **FEV1:** Volumen espiratorio forzado del primer segundo
13. **OMS:** Organización Mundial de la Salud
14. **O<sub>2</sub>:** Oxígeno
15. **PiMáx:** Presión inspiratoria máxima
16. **PIM:** Presión inspiratoria máxima
17. **RAE:** Real Academia Española
18. **VC:** Volumen corriente
19. **VEF1/CVF:** Relación de la capacidad vital forzada que se espira en el primer segundo
20. **VO<sub>2</sub>:** Volumen de oxígeno
21. **VO<sub>2</sub> máx:** Consumo máximo de oxígeno
22. **VR:** Volumen residual
23. **VRI:** Volumen de reserva inspiratorio

- 24. **VRE:** Volumen de reserva espiratorio
- 25. **UM:** Unidad Motora
- 26. **DM:** Diabetes Mellitus
- 27. **HTA:** Hipertensión arterial
- 28. **EMI:** Entrenamiento de la musculatura Inspiratoria

## 8. Bibliografía

- [1] Eva Jansson. General Recommendations Regarding Physical Activity. En: Professional Associations For Physical Activity. Physical Activity in the Prevention and Treatment of Disease. 2ª Edición. Stokholm: Elander; 2010. 43.
- [2] Garcia-Aymerich, L. B. Regular Physical Activity Modifies Smoking-related Lung Function Decline and Reduces Risk of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Population-based Cohort Study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007; 175 (5): 458 - 463.
- [3] Fundación Chile, GFK Adimark. Chile Saludable, Oportunidades y desafíos de innovación. Santiago: Área Alimentos y Biotecnología de Fundación Chile; 2012. 15.
- [4] Ministerio del Deporte. Encuesta Nacional de Hábitos de Actividad Física y Deportes en la población de 18 años y más. Santiago de Chile: Alcalá; 2016 p. 26-30.
- [5] Ministerio de Salud. Encuesta Nacional de Salud. Santiago de Chile: Departamento de Epidemiología; 2016.
- [6] Esther Barreiro, Joaquín Gea y Judith Marín. Músculos respiratorios, tolerancia al ejercicio y entrenamiento muscular en la EPOC. 2007; 43 Supl 3: 15-23
- [7] Mañanas Miguel Á. Análisis de la actividad muscular respiratoria mediante técnicas temporales, frecuenciales y estadísticas (tesis profesional). Catalunya: Universidad politécnica de Catalunya; 1999.
- [8] Da Gama A, Carvalho L, Feitosa L, Frutuoso do Nascimento J, da Silva M, Amorim C, Aliverti A, y cols. Acute effects of incremental inspiratory loads on compartmental chest wall volume and predominant activity frequency of inspiratory muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013; 23: 1-9.
- [9] González J, Vaz C, Fernández J, Arnedillo A, Costa J. y Gómez R. Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. *RevAndalMed Deporte*. 2012; 5(4): 163-170.

- [10] Avendaño J I, Barahona M, Cornejo M.I, Inostroza J.M. Comportamiento electromiográfico y espirométrico del sistema respiratorio, en el contexto del uso de válvula umbral con carga incremental en mujeres no sedentarias entre 19 y 25 años: un estudio descriptivo [Tesis para optar al grado de Licenciado en Kinesiología]. Santiago: Campus Casona Las Condes, Universidad Nacional Andrés Bello.
- [11] Bustamante V, Galdiz J, Gorostiza A, Camino J, Talayero N, Sobradillo V. Comparación de 2 métodos de entrenamiento muscular inspiratorio en pacientes con EPOC. Arch. Bronconeumol. 2007; 43 (8): 432.
- [12] Gutiérrez M, Valdivia G, Villarroel L, Contreras G, Cartagena C, Lisboa C. Normograma de ecuaciones de referencias espirométricas. SER 2009. Rev Chile Enf Respir. 2010; 26: 9-15.
- [13] Martínez C. Valoración funcional respiratoria. Rev. Cub.Med.Mil. 2001; 30(5): 1-9.
- [14] López M, grupo PLATINO, et al. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica en cinco ciudades de América Latina: estudio PLATINO. Arch Bronconeumol. 2008; 44(2): 58-64.
- [15] Álex Merí. Fundamentos de fisiología de la actividad física y el deporte. 1º ed. España. Editorial médica panamericana, 2005.
- [16] West. Fisiología respiratoria. 7ªed. Editorial médica panamericana.
- [17] Martínez M. Cambios estructurales y funcionales Del envejecimiento fisiológico. Actualizado 16 de Agosto 2005.
- [18] Ocampo J, Aguilar C, Gómez J. Aging of the Respiratory System. Rev Med Nemología Encolombia.com. Disponible en: [www.encolombia.com/medicina/revistas-medicas/neumologia](http://www.encolombia.com/medicina/revistas-medicas/neumologia)
- [19] Manuel Oyarzún G. Función respiratoria en la senectud. Rev Méd Chile 2009; 137: 411-418.

- [20] Gunby MC, Morley JE. Epidemiology of bone loss with aging. *Clin Geriat Med* 1994; 10(4):557-574.
- [21] Lisboa C, Borzone G, Díaz O. Hiperinflación en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica: importancia funcional y clínica. *Rev Chil Enf Respir*. 2004.
- [22] Manolio TA, Schenker MB, Hyatt RE. Respiratory muscle strenght in the elderly: correlates and reference values. *Am J Respir CritCare Med* 1994.
- [23] Ancoli-Israel S, Coy T. Are breathing disturbances in elderly equivalent to sleep apnea syndrome? *Sleep*. 1994 Feb; 17(1):77-83.
- [24] Janssens JP, Pache JC, Nicod LP. Physiological changes in respiratory function associated with ageing. *EurRespir J* 1999; 13(1):197-205.
- [25] Villarroya M.A. Electromiografía cinesiología. Técnicas instrumentals de diagnóstico y evaluación en rehabilitación. Departamento de Fisiatría, Universidad de Zaragoza, Madrid. 2005; 39(6):255-64.
- [26] López Chicharro, Fernández Vaquero. Fisiología del Ejercicio. 3° Ed. 2006.
- [27] OMS. Tabaquismo [Sede Web]. Disponible en: [www.who.int/topics/tobacco/es/](http://www.who.int/topics/tobacco/es/)
- [28] MINSAL. Prevención consumo de tabaco. Retrieved 25 October 2016. Disponible en: <http://www.minsal.cl/prevención-del-consumo-de-tabaco/>
- [29] Been JV, Nurmatov U, Van Schayck, Sheikh A. The impact of smoke-free legislation on fetal, infant and child health: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open*. 2013 Feb 13;3(2).
- [30] Figueroa JC, Schiavi E, Mazzei J, López AM, Rhodius E, Ciruzzi, Sívorí y Grupo Recomendaciones de EPOC. Recomendaciones para la prevención, diagnóstico y tratamiento de LA EPOC en La Argentina. Asociación Argentina de Medicina Respiratoria. B. Aires. supl.1. 2012.

- [31] Ramírez A, Sansores R, Quintana R, Velázquez M, Hernandez R, Sánchez C, et al. FEV1 Decline in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease Associated with Biomass Exposure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014 Nov 1; 109(9):996-1002.
- [32] Pelkonen M, Notkola I-L, Nissinen A, Tukiainen H, Koskela H. Thirty-year cumulative incidence of chronic bronchitis and COPD in relation to 30-year pulmonary function and 40-year mortality: a follow-up in middle-aged rural men. *Chest* 2006 Oct; 130(4):1129-37.
- [33] Cosio MG, Majo J, Cosio MG. Inflammation of the airways and lung parenchyma in COPD: role of T cells. *Chest* 2002 May; 121 (5 Suppl): 160S-165S.
- [34] Demedts IK, Bracke KR, Van Pottelberge G, Testelmans D, Verleden GM, Vermassen Fe, et al. Accumulation of dendritic cells and increased CCL20 levels in the airways of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2007 May 15; 175(10): 998-1105.
- [35] Peinado VI, Barberá JA, Abate P, Ramirez J, Roca J, Santos S, et al. Inflammatory reaction in pulmonary muscular arteries of patients with mild chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999 May; 159(5 Pt 1): 1605-11.
- [36] Crespo JJ, Delgado JL, Blanco O, Aldecoa S. Guía básica de detección del sedentarismo y recomendaciones de actividad física en atención primaria. *Atención Primaria*. 2015; 175-183.
- [37] Encuesta Nacional de Hábitos de Actividad Física y Deportes 2015 [1st ed.]. Santiago de Chile. Retrieved from: <http://EncuestaNacionaldeHabitosdeActividadFísicayDeportes2015>
- [38] Ries AL, Bauldoff GS, Carlin BW, Casaburi R, Emery CF, Mahler DA et al. Pulmonary Rehabilitation: Joint ACCP/AACVPR Evidence-Based clinical practice guidelines. *Chest* 2007; 131: 4-42.

- [39] Rodríguez Machado. Bases de la fisioterapia respiratoria, terapia intensiva y rehabilitación. 1ª Ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan; 2009. 464-473.
- [40] Berne & Levy. Principles of Physiology, 4ªEd. Levy, Koeppen, Stanton. 2005.
- [41] De Luca, C.J. Electromyography. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, (John G. Webster, Ed) John Wiley Publisher, 98-109, 2006.
- [42] González JL, Vaz C, Fernandez JR, Arnedillo A, Cosa JL, Gómez R. Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. RAMD. 2012; 5(4): 163-170.
- [43] Journal of Electromyography and Kinesiology. Elsevier. 2013; 23(6) 1269–1277.
- [44] De Luca, C.J. Electromyography. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, (John G. Webster, Ed) John Wiley Publisher. 2006; 98-109.
- [45] Glerant J, Mustafa N, Man W, Luo Y, Rafferty G, Polkey M, et al. Diaphragm electromyograms recorded from multiple surface electrodes following magnetic stimulation. Eur Respir Journal. 2006; 27: 334-342.
- [46] Dr. Edgar Segarra E. Fisiología de los aparatos y sistemas. 1ªEd. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Médicas. 2006
- [47] Cruz Mena E. Aparato respiratorio: Fisiología y clínica.
- [48] Bustamante V, Gáldiz JB, Gorostiza A, Camino J, Talayero N, Sobradillo V. Comparación de 2 métodos de entrenamiento muscular inspiratorio en pacientes con EPOC. Archivos de Bronconeumología SEPAR. 43(8): 2007; 431-438.
- [49] Avendaño J I, Barahona M, Cornejo M.I, Inostroza J.M. Comportamiento electromiográfico y espirométrico del sistema respiratorio, en el contexto del uso de válvula umbral con carga incremental en mujeres no sedentarias entre 19 y 25 años: un estudio descriptivo [Tesis para optar al grado de Licenciado en Kinesiología]. Santiago: Campus Casona Las Condes, Universidad Nacional Andrés Bello.

- [50] Grupo Respira. Ejercitadores pulmonares. México. Actualizado 2016. Disponible en: [www.gruporespira.com/ejercitadores-pulmonares-](http://www.gruporespira.com/ejercitadores-pulmonares-)
- [51] Ross L, Zlatar J, Nervi R. Kinesiología y Enfermedad pulmonar obstructiva. Santiago. Rev. Med. Clin. Condes. 2015; 26(3): 393-398.
- [52] Plan de Salud Comuna Peñalolén 2016, Dirección de Salud Peñalolén.
- [53] Plan de Salud Comuna Peñalolén 2016, Dirección de Salud Peñalolén.
- [54] Bentes A, TSA, Andrade L. TSA, Saad R. Influencia de la posición en la espirometría de paciente obesas grado III. Rev Bras Anesthesiol. 2011; 61:6: 393-396.
- [55] Addiego M. Modelo Viscoelástico de la Mecánica Respiratoria. XV Seminario de Ingeniería biomédica. Universidad de la República Oriental del Uruguay. 2006.
- [56] Ramos L, Rodriguez JM, Rubio Y. Obesidad y Función Pulmonar. Arch Bronconeumol 2004; 40 Supl 5: 27-31.
- [57] LISBOA C, VILLAFRANCA C, LEIVA A, CRUZ E, PERTUZÉ J, BORZONE G. Inspiratory muscle training in chronic airflow limitation: effect on exercise performance. Eur Respir J 1997; 10: 537-42.
- [58] VILLAFRANCA C, BORZONE G, LEIVA A, LISBOA C. Effect of inspiratory muscle training with an intermediate load on inspiratory power output in COPD. Eur Respir J 1998; 11: 28-33.



## Anexo N°2: Encuesta



### Encuesta para Proyecto de Investigación Kinesiología 5to año, 2017.

Junto con saludarlo, quisiéramos invitarlo a participar en nuestro Proyecto de Investigación a realizar en el mes de Julio del presente año.

#### Datos personales

Nombre completo: .....

Teléfono: .....

Correo Electrónico: .....

Talla: .....

Peso: .....

Marque con una [X] en el casillero correspondiente:

1. ¿Tiene entre 30 y 55 años de edad? Si\_\_\_\_ / No\_\_\_\_
2. ¿Eres sedentario? Si\_\_\_\_ / No\_\_\_\_
  - a. Considerándose a aquellos que realizan menos de 150 minutos de actividad física semanal de tipo moderada, o  $\leq$  20 minutos de actividad física de carácter intenso al menos 3 veces por semana.
3. ¿Usted fuma o dejó de fumar hace menos de un año? Si\_\_\_\_ / No\_\_\_\_
4. ¿Posee marcapasos? Si\_\_\_\_ / No\_\_\_\_
5. ¿Presenta alergia a la plata? Si\_\_\_\_ / No\_\_\_\_

6. ¿Tiene alguna alteración anatómica en el tórax? Si \_\_\_\_\_ / No \_\_\_\_\_
7. ¿Presenta alguna de estas cirugías hace menos de 6 meses? Si \_\_\_\_\_ / No \_\_\_\_\_
8. Posee alguna alteración facial o bucal? Si \_\_\_\_\_ / No \_\_\_\_\_
- a. Tórax, Abdominal, oídos, cerebral y otorrinolaringológicos.
- \_\_\_\_\_
9. ¿Posee alguna patología respiratoria aguda o crónica? Si \_\_\_\_\_ / No \_\_\_\_\_
- a. En el caso de que sea sí, especifique.
- \_\_\_\_\_
10. Haz sufrido una o más de las siguientes condiciones: Si \_\_\_\_\_ / No \_\_\_\_\_
- a. Infarto Agudo al Miocardio (IAM), Neumotórax o desprendimiento agudo de retina hace menos de un mes.
11. ¿Estarías dispuesto a participar en nuestra investigación? Si \_\_\_\_\_ / No \_\_\_\_\_

### Anexo N°3: Recolección de Datos



### Ficha de Recolección de Datos

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Ficha: N° \_\_\_\_\_

Nombre		Fecha de Nacimiento	
RUT		Estado Civil	
Género		Edad	
Ocupación			
Antecedentes Mórbidos	HTA ( ) DM ( ) Dislipidemia ( ) Osteoartritis ( ) Otro ( ) ¿Cuál? _____		
Medicamento			

Inicio medición:       :       Hrs.	Término medición:       :       Hrs.
Nombre evaluador	
Temperatura ambiental	
Consentimiento informado con firma Si _____ / No _____	
Ha tenido algún evento de salud agudo en las últimas 24 horas cómo:	

Náuseas: _____	Vómitos: _____	Diarrea: _____
Otro: _____		
Ha tenido algún evento de salud de tipo respiratorio agudo (diagnosticada) en las últimas 24 horas.		
Si _____ / No _____		

## **Anexo N°4: Consentimiento Informado**



Universidad  
Andrés Bello

Universidad Nacional Andrés Bello  
Facultad de Ciencias de la Rehabilitación  
Escuela de Kinesiología

### **CONSENTIMIENTO INFORMADO**

#### Información para los participantes

#### **Nombre del estudio y del Investigador Principal**

Usted está siendo invitado a participar en el estudio “Comportamiento electromiográfico del sistema respiratorio, en el contexto del uso de válvula umbral con carga incremental, en sujetos sedentarios y fumadores entre 35 a 55 años: un estudio descriptivo”.

Equipo Investigador: Estudiantes de Quinto año de Kinesiología, Universidad Nacional Andrés Bello: Macarena Canales G, Jessica Calderón S, Catalina Muñoz S, Yannine Valenzuela V.

Tutor: Leónidas Arias Poblete, Profesor Guía y Docente de Escuela de Kinesiología Universidad Nacional Andrés Bello.

#### **Introducción**

A pesar del reconocimiento que posee a nivel mundial la rehabilitación pulmonar, una de sus intervenciones, el entrenamiento de músculos respiratorios, posee protocolos de trabajos diversos, que aún no son estandarizados, lo cual es requerido para mejorar sus resultados. En continuación a la línea de investigación ya realizada, estamos investigando sobre el comportamiento electromiográfico del sistema respiratorio, en el contexto del uso de válvula umbral con carga incremental, en sujetos sedentarios y fumadores entre los 35 y 55 años, un estudio descriptivo. Le voy a dar información e invitarle a participar de esta investigación.

Puede que haya algunos términos que no entienda, por lo que si tiene preguntas más tarde, puede realizarla a los miembros que conformamos esta investigación.

**Objetivo de la investigación**

Realizar un estudio descriptivo del comportamiento electromiográfico del sistema respiratorio en el contexto del uso de la válvula umbral con la aplicación de carga incremental en sujetos sedentarios y fumadores entre los 35 y 55 años.

**Procedimiento del estudio**

El voluntario será citado a las dependencias del CESFAM San Luis, de la comuna de Peñalolén al laboratorio de análisis del centro de salud, la cual involucra el proceso de recolección de datos, mediante el cual se escogerán a posibles participantes, si usted está leyendo el presente documento, cuenta con al menos un requisito para poder participar, el cual es usuario de las dependencias del CESFAM San Luis. Posterior a esto, si desea participar, se le realizarán una serie de preguntas, para poder saber si cumple con el resto de los requisitos.

En caso de cumplir con nuestros criterios de inclusión y exclusión, seguirá la siguiente etapa; que sería la medición. En esta etapa se le evaluarán distintos elementos como: peso, talla, nivel de actividad física, etc. Posterior a esto, se procederá a evaluar la actividad electromiográfica mediante electrodos de superficie en los músculos diafragma y ECOM, a través de electrodos adhesivos, siendo una técnica no invasiva e indolora, respaldando su uso con evidencia científica. Este procedimiento consiste en la limpieza de la piel para la colocación de los electrodos en puntos ya establecidos por la literatura, para de esta forma detectar de mejor manera la señal. Posteriormente, se le solicita la realización de la maniobra espirométrica (maniobra de espiración por boca), con el fin de obtener los valores de capacidad vital lenta y capacidad inspiratoria al interponer diferentes cargas con válvula umbral.

**Riesgos y beneficios**

Para los participantes no existen riesgos, ya que se trabajará según las recomendaciones dada por la literatura, en donde se asegura la seguridad de los participantes, además del resguardo y confidencialidad de la identidad de los participantes del presente estudio.

Como potenciales beneficios, nos permitirá obtener datos sobre el comportamiento electromiográfico y espirométrico de la musculatura respiratoria frente a cargas incrementales, en una población de mayor edad, abriendo una ventana para futuras investigaciones, que permitan mejorar protocolos de entrenamiento con mayor evidencia científica.

### **Compensación de daños y complicaciones**

En la presente investigación no existen complicaciones ni compensaciones hacia los participantes en caso de daños en esta investigación.

### **¿Quién diseñó el estudio?**

El estudio fue realizado por el equipo investigador, tanto en el diseño como con respecto al producto intelectual resultante. Los responsables de ambos ámbitos son estudiantes de 5° año de la carrera de Kinesiología de la UNAB, los cuales son: Macarena Canales G, Jessica Calderón S, Catalina Muñoz S y Yannine Valenzuela V. Esto junto a la colaboración del profesor y docente de la Escuela de Kinesiología UNAB, Leónidas Arias P.

### **Costos**

No existe ningún tipo de costo para usted como participante al ser parte de esta investigación, ni recibirá ningún tipo de compensación económica por su participación.

### **Participación voluntaria**

Su participación en el presente estudio es de carácter voluntario, por lo cual, usted podrá retirarse en cualquier etapa del estudio y, por lo tanto, puede retirar su consentimiento en cualquier momento.

### **Confidencialidad**

Se espera con los resultados obtenidos realizar una publicación de tipo científica, sin embargo, su identidad se mantendrá en total resguardo siendo publicado solamente los datos codificados y los resultados. Para efectos de la realización de la investigación la información obtenida será solo de acceso para los investigadores careciendo de todo tipo de acceso a personas ajenas a este proyecto, manteniendo un respaldo adecuado de los datos. Al momento de la codificación para la obtención de datos solo se mantendrán las iniciales de su nombre y la fecha de realización del

procedimiento. Se espera que los resultados de esta investigación sean utilizados en futuros estudios los cuales se beneficiarán con los antecedentes obtenidos, de ser así, ellos solo podrán acceder a los datos ya codificados sin acceso a su identidad.

***Más información:***

**Consultas:** Macarena Canales Gálvez. **Correo:** [macacgalvez@gmail.com](mailto:macacgalvez@gmail.com)

**Aprobación:** Comité de Ética de la Investigación SSMO.

**Proyecto de Investigación:** “Comportamiento electromiográfico del sistema respiratorio, en el contexto del uso de válvula umbral con carga incremental, en sujetos sedentarios y fumadores entre 35 a 55 años: un estudio descriptivo”

**CONSENTIMIENTO INFORMADO**

- ✓ He leído y entiendo la información descrita anteriormente, en este formulario de consentimiento informado del proyecto de investigación titulado: **“Comportamiento electromiográfico del sistema respiratorio, en el contexto del uso de válvula umbral con carga incremental, en sujetos sedentarios y fumadores entre 35 a 55 años: un estudio descriptivo”**
- ✓ He podido formular preguntas con respecto a esta investigación, las cuales han sido respondido de manera satisfactoria.
- ✓ Otorgo mi consentimiento al uso de la información que se describió inicialmente en este formulario. En el caso de la información sensible, será usada en términos confidenciales y sin ningún otro propósito más que los de éste estudio.
- ✓ Comprendo que puedo retirarme y/o rechazar la invitación a participar en este estudio en cualquier momento, sin ningún tipo de consecuencia.
- ✓ Acepto de manera voluntaria participar en este proyecto de investigación.
- ✓ Firmo libremente este formulario de consentimiento.

Nombre Participante y/o Representante del Participante

---

Firma del Participante y/o Representante: Fecha: / / .

---

**Declaración del Equipo de Investigación:**

El equipo declara que ha explicado de manera total y detallada el propósito, riesgos y beneficios de ésta investigación a los participantes y/o representante que está firmando el presente formulario de consentimiento, y que ha dado respuesta satisfactoria a las dudas y consultas del participante y/o representante.

Nombre del investigador que realiza el *Consentimiento Informado*:

\_\_\_\_\_

Firma del Investigador: \_\_\_\_\_

Nombre del Testigo: \_\_\_\_\_

Firma del Testigo: \_\_\_\_\_

## Anexo N°5: Protocolo aprobación proyecto comité de ética



Servicio de Salud Metropolitano Oriente  
Comité de Ética Científico

### PROTOCOLO DE APROBACIÓN DE PROYECTOS CLÍNICOS

Con fecha 27 de Diciembre de 2016, el CEC del S.S.M. Oriente analizó y aprobó el Proyecto de Tesis, titulado:

“Descripción del comportamiento de la amplitud electromiográfica de los músculos inspiratorios frente a cargas incrementales, en una población sana, sedentaria, no fumadora, entre 30 y 55 años, asistentes a los CESFAM de la Comuna de Peñalolén.”,

y que conducirá la Klga. **Paola Carolina Figueroa González** como Investigador Principal en los CESFAM Carol Urzúa y San Luis de la Comuna de Peñalolén; con la colaboración como Co-investigadores de **Leonidas Arias Poblete, Sebastián Felipe Berríos Martínez, Juan Pablo Lucero Tapia, Silvana Andrea Lorca González y María Constanza Tejeda Seitz**.

Se analizó y aprobó los siguientes documentos del Proyecto:

- Proyecto de Investigación in extenso “Descripción del comportamiento de la amplitud electromiográfica de los músculos inspiratorios frente a cargas incrementales, en una población sana, sedentaria, no fumadora, entre 30 y 55 años, asistentes a los CESFAM de la Comuna de Peñalolén.”
- Resumen de la Investigación.
- Información al Participante, fechada por el CEC del S.S.M. Oriente el 27 de Diciembre de 2016.
- Cuestionario fechado por el CEC del S.S.M. Oriente el 27 de Diciembre de 2016.
- Ficha de recolección de datos fechada por el CEC del S.S.M. Oriente el 27 de Diciembre de 2016.

Tomó conocimiento de:

- Carta a Directores de CESFAM de fecha 07 Noviembre 2016.

- Autorización de la Dra. María José Marín Director CESFAM Carol Urzúa de fecha 13 Diciembre de 2016.
- Autorización del Dr. Felipe Guajardo Director CESFAM San Luis, de fecha 07 Noviembre 2016.
- CV de los Co-Investigadores  
 Klgo. Leonidas Arias Poblete  
 Sebastián Felipe Berríos Martínez  
 Juan Pablo Lucero Tapia  
 Silvana Andrea Lorca González  
 María Constanza Tejeda Seitz.

Envío a usted la nómina de los miembros permanentes del CEC del S.S.M. Oriente al 27 de Diciembre de 2016:

Dra. Sara Chernilo S.	Broncopulmonar (Presidente)	Inst. Nacional del Tórax
Dra. M. Esther Meroni L.	Geriatra (Secretaria)	Inst. Nac. de Geriatria
Dr. Ricardo Vacarezza	Asesor en Bioética	No institucional
EU Elena Núñez M.	Coordinadora	No institucional
Dr. Carlos Rey C.	Cardiólogo	Hospital del Salvador
Dr. Rómulo Melo Monsalve	Neurocirujano	Inst. Nac. de Neurocirugía
Dr. Manuel Sedano Lorca	Gineco-Obstetra	Hospital Dr. Luis Tisné
Dr. Lientur Taha M.	Neurocirujano	Inst. Nac. de Neurocirugía
Dr. Jorge Plasser Troncoso	Cirujano- Oncólogo	Hospital del Salvador
Sra. Angélica Sotomayor	Abogado	No institucional
Sr. Hugo Gutiérrez Guerra	Miembro de la Comunidad	No institucional



**Dra. María Esther Meroni Layes**



Santiago, 27 de Diciembre de 2016