



UNIVERSIDAD DE
TALCA

UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA DE KINESIOLOGÍA

**COMPARACIÓN DE LA FATIGA DE LA MUSCULATURA
INSPIRATORIA POSTERIOR A UN EJERCICIO MÁXIMO
ENTRE SUJETOS DEPORTISTAS Y SEDENTARIOS DE LA
UNIVERSIDAD DE TALCA**

CAROLINA MILLARAY ACUÑA GONZÁLEZ
JAVIERA BELEN ARCE MOLINA
ELISABET ANTHIANI RETAMAL LEIVA
JACQUELINE IVONNE RODRÍGUEZ RUIZ

Trabajo presentado para optar al Título Profesional de Kinesiólogo

Profesora guía: Carmen Gloria Zambrano Bravo

Octubre, 2020

Talca, Chile

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2021

DERECHOS DE AUTOR

© 2020, Carolina Acuña González, Javiera Arce Molina, Elisabet Retamal Leiva, Jacqueline Rodríguez Ruiz, Carmen Gloria Zambrano Bravo. Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

DEDICATORIA

A nuestras familias y amigos,
por su apoyo incondicional y
ser parte de todo el proceso,
por su motivación, cariño,
paciencia y comprensión
durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestra profesora guía, Kinesióloga Carmen Gloria Zambrano por ser fundamental durante todo el proceso, apoyarnos, ayudarnos y ser el soporte de nuestra investigación. Al laboratorio cardiopulmonar, selección de fútbol de la Universidad de Talca y estudiantes voluntarios que fueron parte de este estudio.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| DEDICATORIA | I |
| RESUMEN | VII |
| ABSTRACT..... | VIII |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 5 |
| 1.3 OBJETIVOS | 6 |
| 1.3.1 Objetivo general | 6 |
| 1.3.2 Objetivos específicos: | 6 |
| 1.4 HIPÓTESIS | 7 |
| 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA | 8 |
| 2.1 LA VENTILACIÓN PULMONAR | 8 |
| 2.2 MUSCULATURA RESPIRATORIA (MR) | 8 |
| 2.2.1 Respuesta ventilatoria al ejercicio..... | 9 |
| 2.2.2 En fases del ejercicio de carga constante | 9 |
| 2.2.3 En ejercicio de carga incremental..... | 10 |
| 2.3 FISIOLOGÍA DEL FÚTBOL | 11 |
| 2.4 FUERZA DE LA MUSCULATURA INSPIRATORIA | 13 |
| 2.4.1 Métodos de medición | 13 |
| 2.5 DEFINICIÓN DE FATIGA MUSCULAR INSPIRATORIA Y METABOLORREFLEJO | 14 |
| 2.5.1 Métodos para inducir fatiga..... | 16 |
| 3. METODOLOGÍA | 19 |
| 3.1 MÉTODO..... | 19 |
| 3.2 VARIABLES..... | 21 |

| | |
|---------------------------------------------------|----|
| 3.3 MATERIALES | 23 |
| 3.4 PROCEDIMIENTO..... | 24 |
| 3.4.1 Protocolos | 26 |
| 3.4.2 Análisis estadístico..... | 28 |
| 4. RESULTADOS | 30 |
| 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN | 30 |
| 4.1.1 Fatiga de la musculatura inspiratoria | 31 |
| 4.1.2 Caída de Pimax | 32 |
| 5. DISCUSIÓN | 34 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 37 |
| 7. LIMITACIONES..... | 38 |
| 8. PROYECCIONES | 40 |
| 9. GLOSARIO..... | 43 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 45 |
| ANEXOS | 56 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Criterios de inclusión y exclusión. | 20 |
| Tabla 2: Variables dependientes del estudio. | 21 |
| Tabla 3: Variables independientes del estudio. | 21 |
| Tabla 4: Variables de control del estudio..... | 23 |
| Tabla 5: Caracterización de la población..... | 30 |
| Tabla 6: Presión respiratoria máxima, valores normales y relación entre edad y sexo..... | 97 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1: Presión inspiratoria máxima antes y después de la realización del esfuerzo máximo en sujetos sedentarios (A) y sujetos deportistas (B) (**) $P < 0,01$ y (***) $P < 0,001$. Diferencia significativa con respecto al valor inicial. | 32 |
| Figura 2: Caída de la Pimax en cmH ₂ O en grupo de sedentarios (S) y deportistas (D). No se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0,05$). | 33 |
| Figura 3: Caída de la Pimax en valor porcentual en grupo de sedentarios (S) y deportistas (D). No se obtuvieron diferencias significativas ($P > 0,05$). ... | 33 |
| Figura 4: Clasificación de la capacidad aeróbica (VO ₂ máx.) de acuerdo con el sexo y la edad. | 95 |
| Figura 5: Dispositivo Pi y Pemómetro digital Carefusion MicroRPM®. .. | 97 |
| Figura 6: Cicloergómetro Monark Ergomedic 828 E. | 102 |
| Figura 7: Hoja de registro TCI en cicloergómetro. | 102 |
| Figura 8: Escala de Borg modificada. | 103 |

RESUMEN

Objetivo: Determinar las diferencias en la fatiga de la musculatura inspiratoria frente a un ejercicio máximo entre sujetos jóvenes sedentarios y futbolistas pertenecientes a la Universidad de Talca durante el año 2019.

Metodología: Para determinar la condición física inicial se realizaron distintas evaluaciones a un total de 15 sujetos, tales como test de Astrand, presión inspiratoria máxima, cuestionarios de actividad física y del deportista. El 80% de la carga obtenida en el test de carga incremental se aplicó en la prueba de esfuerzo máximo que buscaba fatigar la musculatura inspiratoria.

Resultados: La caída de la Pimax pre y post ejercicio fue de $20,75 \pm 11,82$ cmH₂O, correspondiendo a un $15,5 \pm 9,09\%$ en sujetos sedentarios sanos y $23,57 \pm 6,7$ cmH₂O en futbolistas, correspondiendo a un $14,49 \pm 3,76\%$.

Conclusión: La realización de un test máximo genera caída de la Pimax en ambos grupos, es decir, fatiga de la musculatura inspiratoria. El porcentaje de caída frente a un ejercicio máximo en sedentarios representa el 15,5%, medida a través de la Pimax posterior al test de fatiga y el porcentaje de caída de la Pimax frente a un ejercicio máximo en deportistas fue del 14,5%, medición realizada de la misma manera. No existen diferencias significativas en el porcentaje de caída de la Pimax frente a un ejercicio máximo entre sujetos jóvenes sedentarios y futbolistas.

Palabras claves: Músculos inspiratorios, Pimax, Fatiga, VO₂ máx., caída de la Pimax.

ABSTRACT

Objective: Establish the differences on the inspiratory musculature fatigue in relation of a maximum exercise between young sedentary and footballers subjects who owns to the University of Talca during the year 2019.

Methodology: Different evaluations were carried out on a total of fifteen subjects to identify their initial condition, including the Astrand Test, maximum inspiratory pressure, physical activity and athlete questionnaires. The 80% of the obtained charge in the incremental load test was applied in the maximum effort test, which sought to fatigue the inspiratory musculature.

Results: For healthy sedentary subjects the pre and post exercise Pimax fall were $20,75 \pm 11,82$ cmH₂O and $15,5 \pm 9,09$ cmH₂O respectively, and for footballers were $23,57 \pm 6,7$ cmH₂O and $14,49 \pm 3,76$ cmH₂O respectively.

Conclusion: The execution of a maximum test generates a fall on the Pimax in both groups, which means, inspiratory musculature fatigue. The Pimax fall percentage in front of a maximum exercise on sedentary subjects represents the 15,5%, measured through the posterior Pimax to the fatigue test achievement, while the maximum exercise in athletes was 14,5%, measuring done through the Pimax at the end of the fatigue test. There aren't significant differences in the Pimax fall between young sedentary and athlete subjects.

Keywords: Inspiratory muscles, Pimax, Fatigue, VO₂ max., Pimax fall.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema respiratorio tiene funciones esenciales para la vida del ser humano, se encarga de generar el intercambio de gases, oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂) entre el individuo y el entorno. El intercambio gaseoso ocurre en los alvéolos, específicamente en la membrana alveolocapilar y la ventilación cumple un rol importante en este punto, manteniendo una presión parcial a nivel alveolar de 105 mmHg de oxígeno y 40 mmHg de dióxido de carbono, creando de esta manera un gradiente de presión entre la sangre del capilar pulmonar y el alvéolo (Cruz-Mena, 2007).

Por lo general, la ventilación ocurre con un patrón rítmico y la frecuencia de dicho patrón se denomina frecuencia respiratoria (FR). Sus valores de normalidad en reposo en una persona adulta son entre 12 y 20 respiraciones por minuto. Este trabajo ventilatorio es posible gracias a distintos músculos del tórax, el diafragma es el motor primario en la ventilación pulmonar y junto con la musculatura accesoria que irá reclutando a medida que aumenta la demanda ventilatoria, hacen posible el intercambio gaseoso. Durante el ejercicio, existe un ajuste en la ventilación para suplir las demandas metabólicas que requiere el músculo esquelético activo, es por esto por lo que existirán modificaciones antes, durante y después de realizar alguna actividad física, apareciendo síntomas como la sensación de falta de aire (disnea) (Sansores R., 2006).

Al someter al sistema respiratorio a un ejercicio de carga estable la ventilación pulmonar responde aumentando de forma brusca en la fase 1. En la fase 2 la ventilación aumenta gradualmente y en la fase 3 existe una estabilización a los 3-4 minutos de haberse iniciado el ejercicio. Por otro lado, durante el ejercicio de carga incremental la ventilación aumenta linealmente respecto a la intensidad creciente del ejercicio o del VO_2 , hasta aproximadamente el 50-70% del VO_2 máx. considerado como umbral ventilatorio. A partir de esa intensidad, la ventilación aumenta de manera desproporcionada en relación con el incremento del consumo de oxígeno. A cargas mayores, es decir, durante el ejercicio máximo, el consumo de oxígeno de los músculos respiratorios compromete el 10% de la captación máxima de oxígeno de todo el cuerpo (VO_2 máx.) en el ser humano sano no entrenado y el 15% en el atleta entrenado en resistencia (López Chicharro, 2006).

En el momento donde ocurre un aumento de la actividad y demanda de la musculatura respiratoria aparece el concepto de fatiga de los músculos respiratorios, el cual se define como “la incapacidad del músculo para mantener la fuerza requerida después de contracciones continuas o repetidas” (Gómez-Campos, R. et al., 2010). Es así como en el aparato respiratorio se produce una incapacidad para seguir generando la suficiente presión y mantener la ventilación e intercambio gaseoso. Según lo que describe Gómez-Campos en el año 2010, la fatiga está determinada por la fuerza, intensidad y tiempo de trabajo que se genera para mantener ese esfuerzo; es un fenómeno complejo que involucra al sistema nervioso

central, transmisión eléctrica neuromuscular, mecanismo contráctil y aporte energético al músculo.

El desarrollo de la fatiga está documentado no solo en pacientes con alguna patología respiratoria y/o cardiovascular (Hardiman, 2011; Klimathianaki et al., 2011) sino también en sujetos entrenados a altas intensidades de ejercicio (Romer et al., 2006). En este contexto, diversos estudios encontraron una fatiga muscular inspiratoria significativa en sujetos sanos (Janssens et al., 2013) que realizan una variedad de deportes tales como: carrera (Loke et al., 1982; Ross et al., 2008), ciclismo (Romer et al., 2006), natación (Jakovljevic y McConnell, 2009; Lomax y Castle, 2009) y triatlón (Hill et al., 1991).

Así mismo, la fatiga muscular inspiratoria puede tener un efecto negativo en el rendimiento deportivo y puede ocurrir tanto en el ejercicio de corta duración y alta intensidad (Lomax y McConnell, 2003; Volianitis et al., 2001b) como en el ejercicio submáximo prolongado (Romer et al., 2002a; McConnell et al., 1997).

La fatiga de los músculos respiratorios aumenta la respuesta vasoconstrictora simpática del músculo esquelético activo (Katayama et al., 2015) a través de un metabolorreflejo del músculo respiratorio, lo que reduce el flujo sanguíneo de las extremidades y aumenta la gravedad de la fatiga del músculo locomotor inducida por el ejercicio (Romer y Polkey, 2008). Estudios previos (Harms et al., 1997, 1998; Legrand et al., 2007) han demostrado que el metabolorreflejo del músculo respiratorio podría inducir vasoconstricción y reducir el flujo sanguíneo en los músculos locomotores

en actividad, en individuos entrenados durante el ejercicio de ciclismo a intensidad alta o máxima.

La disciplina del fútbol es reconocida como un ejercicio de alta intensidad y una actividad intermitente prolongada, donde los futbolistas realizan sprint en constantes ocasiones durante un partido de 90 minutos. La intensidad promedio durante el juego alcanza el 80 a 90% de la FC máx. (Rahnama N., 2003).

Por los motivos anteriormente expuestos, en sujetos que practican fútbol a nivel competitivo, es esperable que la fatiga de los músculos inspiratorios sea menor en comparación a los sedentarios, ya que ellos logran una alta intensidad en el juego, lo cual exige a la bomba toracopulmonar su máxima capacidad y están constantemente reclutando la musculatura inspiratoria al realizar este deporte, lo que podría servir indirectamente como un entrenamiento de dichos músculos.

El propósito del presente estudio es determinar las diferencias en la fatiga de los músculos inspiratorios frente a un ejercicio de máxima intensidad entre sujetos que practican fútbol a nivel competitivo y sujetos sedentarios.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las diferencias en la fatiga de la musculatura inspiratoria, frente a un ejercicio máximo entre sujetos jóvenes sedentarios y deportistas?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Determinar las diferencias de la fatiga de la musculatura inspiratoria frente a un ejercicio máximo entre sujetos jóvenes sedentarios y futbolistas pertenecientes a la Universidad de Talca durante el año 2019.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar la fatiga de la musculatura inspiratoria a través del porcentaje de caída y en valor absoluto de Pimax, frente a un ejercicio máximo en sujetos sedentarios pertenecientes a la Universidad de Talca durante el año 2019.
- Determinar la fatiga de la musculatura inspiratoria a través del porcentaje de caída y en valor absoluto de Pimax, frente a un ejercicio máximo en sujetos futbolistas pertenecientes a la Universidad de Talca durante el año 2019.
- Comparar la fatiga de la musculatura inspiratoria a través del porcentaje de caída y en valor absoluto de Pimax, frente a un ejercicio máximo entre sujetos jóvenes sedentarios y futbolistas pertenecientes a la Universidad de Talca durante el año 2019.

1.4 HIPÓTESIS

- H1: Existirán diferencias en la fatiga de la musculatura inspiratoria, frente a un ejercicio máximo entre sujetos jóvenes sedentarios y deportistas.
- H0: No existirán diferencias en la fatiga de la musculatura inspiratoria frente a un ejercicio máximo entre sujetos jóvenes sedentarios y deportistas.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 LA VENTILACIÓN PULMONAR

La ventilación pulmonar es el proceso mecánico por el cual se renueva en forma parcial y periódica el aire alveolar y mantiene dentro del pulmón una composición de gases adecuada para el intercambio gaseoso. El volumen de aire que circula entre la inspiración y espiración se denomina volumen corriente (VC). En conjunto la FR y el VC conforman la ventilación minuto (VE), que es la cantidad de aire total que pasa por las vías respiratorias en un minuto y sirve para valorar la ventilación pulmonar. Normalmente, la VE de una persona en reposo es de 6 a 7 L/min., y siempre será proporcional a las necesidades metabólicas del organismo (Janssens et al., 2013).

2.2 MUSCULATURA RESPIRATORIA (MR)

La función ventilatoria se lleva a cabo mediante la MR. Durante la inspiración en reposo actúa como motor principal el diafragma, el cual se inserta en el esternón, desde la 7° a 12° costilla y en las vértebras lumbares, teniendo un origen totalmente móvil en el centro, diferente a otros músculos, lo que le permite aumentar el diámetro longitudinal de la caja torácica (Barret, K. et al., 2010), provocando que aumente la presión negativa de la pleura que finalmente permite este cambio de presión en vías aéreas y alvéolos, consiguiendo la entrada del aire. Así mismo, los músculos intercostales externos actúan como sinergistas permitiéndole a las costillas

realizar un movimiento en asa de balde, aumentando el diámetro transversal del tórax. Cuando las demandas ventilatorias exceden a las del reposo, actúan los músculos accesorios de la inspiración para provocar la apertura completa de la caja torácica. Por otra parte, debido a que la espiración en reposo es una acción pasiva, esta fase no requiere de activación muscular, ya que predomina la retracción elástica del pulmón y la caja torácica; por lo tanto, solo requiere de la relajación de la musculatura que participa en la fase inspiratoria. A medida que aumenta el trabajo ventilatorio, músculos como esternocleidomastoideo, escalenos y serrato anterior se suman a la fase inspiratoria, mientras que en la fase espiratoria comienzan a activarse y a participar la musculatura del CORE (recto abdominal, transverso abdominal, oblicuos externos e internos) y músculos intercostales internos que buscan apresurar esta fase y así aumentar el VC.

2.2.1 Respuesta ventilatoria al ejercicio

Durante el ejercicio, el sistema respiratorio aumenta la ventilación alveolar para mantener el O_2 y CO_2 en valores similares a los del reposo. El ajuste de la respuesta ventilatoria frente al ejercicio es necesario para suplir las demandas metabólicas que requiere el músculo esquelético activo en ese momento. La ventilación se modifica antes, durante y después de realizar alguna actividad física.

2.2.2 En fases del ejercicio de carga constante

Durante un ejercicio de carga estable, en la fase 1 la ventilación aumenta bruscamente, reflejando su relación con el componente neural de la regulación de la ventilación pulmonar, dura entre 30-50 segundos e incluso

este incremento de la ventilación puede ocurrir antes de realizar el ejercicio. En la fase 2 la ventilación aumenta gradualmente y en la fase 3 existe una estabilización a los 3-4 minutos de haberse iniciado el ejercicio, esta respuesta depende de la intensidad y también del estado de entrenamiento del sujeto (López Chicharro, 2006).

2.2.3 En ejercicio de carga incremental

Durante el ejercicio de carga incremental la ventilación aumenta linealmente respecto a la intensidad creciente del ejercicio o del VO_2 , hasta aproximadamente el 50-70% del VO_2 máx., pero a partir de esa intensidad la ventilación aumenta de manera desproporcionada en relación con el incremento del consumo de oxígeno. En el momento en que la ventilación deja de ser lineal en su incremento con respecto al consumo de O_2 o carga de trabajo, se establece el umbral ventilatorio.

El patrón respiratorio en ejercicio incremental a bajas intensidades produce un incremento de la VE que se genera por un aumento de la FR y del VC. En altas intensidades cuando el VC alcanza el 50-60% de la capacidad vital, se produce un patrón respiratorio taquipneico que consiste en un aumento de la FR por encima de los valores normales (>20 respiraciones por minuto). El valor alcanzado por el VC en un esfuerzo máximo está determinado por la capacidad vital de cada sujeto y la FR aumenta desde el reposo hasta el esfuerzo máximo de manera progresiva, llegando a valores de 35 respiraciones por minuto en sedentarios y hasta 70 respiraciones por minuto en sujetos entrenados.

La hiperpnea que produce el ejercicio de alta intensidad causa un considerable incremento en el trabajo de los músculos respiratorios, lo que genera un costo metabólico y circulatorio sustancial. Por ejemplo, la ventilación minuto (VE) asociada con el ejercicio intenso resulta en un alto trabajo mecánico de la respiración. El resultado de esto es que, durante el ejercicio máximo, el consumo de oxígeno de los músculos respiratorios compromete el 10% de la captación máxima de oxígeno de todo el cuerpo (VO_2 máx.) en el ser humano sano no entrenado y el 15% en el atleta entrenado en resistencia (Aaron et al., 1992; Dominelli et al., 2015b).

2.3 FISIOLÓGÍA DEL FÚTBOL

Las demandas fisiológicas en el fútbol están representadas por las intensidades a las cuales se llevan a cabo las distintas actividades durante un partido, esta intensidad del esfuerzo durante el fútbol competitivo puede indicarse por la distancia total cubierta en el campo de juego. Las acciones o actividades que realiza el jugador se pueden clasificar de acuerdo con el tipo, intensidad, duración y frecuencia, que es variable en cada jugador dependiendo de la posición en que se desempeña. La disciplina del fútbol es reconocida como un ejercicio de alta intensidad y una actividad intermitente prolongada, donde los deportistas realizan reiterados sprint durante un partido de 90 minutos (Stolen T. et al., 2005). Si bien la mayor parte de la actividad durante un juego de alto nivel se realiza a una intensidad baja o submáxima, no se puede subestimar la importancia de los esfuerzos de alta intensidad, ya que los jugadores generalmente tienen que correr o realizar un sprint cada 30 segundos, deben correr al máximo una vez cada 90 segundos

aproximadamente y la intensidad promedio durante el ejercicio alcanza el umbral anaeróbico del 80-90% de FC máx. (Rahnama N., 2003).

La capacidad de mantener un ejercicio prolongado depende de una elevada potencia aeróbica máxima (VO_2 máx.). La intensidad promedio del ejercicio es del 85% de la FC máx., la cual corresponde a aproximadamente el 75% del VO_2 máx., pero el límite superior al cual se puede sostener un ejercicio continuo está influenciado por el umbral anaeróbico que cubre las acciones más decisivas del juego, como realizar sprint cortos o saltos, y por la alta utilización fraccional del VO_2 máx.

La ejecución de acciones de alta intensidad, de resistencia intermitente y de sprint repetidos conlleva una gran demanda tanto para el metabolismo aeróbico como anaeróbico. (Spencer et al., 2005). El incremento de las demandas ventilatorias durante el ejercicio estimula un mayor impulso neural a los músculos respiratorios, promoviendo en consecuencia un aumento de la potencia mecánica desarrollada por los músculos inspiratorios (Butler et al., 2014).

Para que las pruebas de fuerza de los músculos respiratorios realizadas por la Pimax aporten información precisa y exacta, deben realizarse de manera estandarizada, es decir, siguiendo procedimientos y protocolos uniformes que minimicen la variación. Quien realiza la prueba, en este caso el evaluador, debe tener conocimiento pleno y familiarización con el instrumento utilizado y las instrucciones que debe realizar al paciente o sujeto, ya que en la práctica clínica es imprescindible el uso de mediciones

confiables, porque las mediciones pueden comprometer los resultados de las intervenciones.

2.4 FUERZA DE LA MUSCULATURA INSPIRATORIA

2.4.1 Métodos de medición

Se puede medir de dos maneras, ya sea de forma invasiva, estimulando el nervio frénico para medir la presión transdiafragmática, esofágica o gástrica (Guleria et al., 2002; Kabitz et al., 2008; Laghi et al., 1998; Tomczak et al., 2011) o de forma no invasiva mediante la evaluación de la presión bucal (Brown y Kilding, 2011; Hill et al., 1991; Loke et al., 1982; McConnell y Lomax, 2006; Perret et al., 1999; Ross et al., 2008). Sin embargo, la que se realiza comúnmente, por su carácter no invasivo, es la medida de la presión en boca, que se realiza con una boquilla especial y un adaptador al cual se conecta el transductor de presión.

Dentro de las presiones respiratorias que se utilizan para la evaluación de la función de los músculos respiratorios, encontramos las pruebas voluntarias como: presiones inspiratorias y espiratorias máximas, presión esofágica máxima, presión transdiafragmática máxima y presiones en boca mediante maniobra de sniff. También aplicando pruebas involuntarias como estimulación del nervio o centros frénicos (eléctrica y magnética) y estimulación de la musculatura abdominal (Ruiz, M. et al., 2011).

La presión inspiratoria máxima es un índice representativo de la fuerza global de los músculos inspiratorios (diafragma e intercostales externos, considerados los principales inspiradores), además de un conjunto

de variables como las relaciones de longitud-tensión, frecuencia de estimulación y velocidad de contracción que presentan dichos músculos (Wilche E., et al., 2016). Esta prueba mide la presión en cmH₂O o en mmHg, generada por los músculos inspiratorios al realizar una maniobra en contra de una vía aérea ocluida. Esta medida puede ser realizada por diferentes áreas como nariz, boca, esófago y estómago. La medición de la Pimax es un procedimiento ampliamente utilizado en la práctica clínica para evaluar la fuerza muscular inspiratoria. Es una herramienta muy importante en la evaluación del desempeño muscular respiratorio y es necesaria en el diagnóstico y seguimiento de la mayoría de los pacientes con enfermedades respiratorias crónicas.

2.5 DEFINICIÓN DE FATIGA MUSCULAR INSPIRATORIA Y METABOLORREFLEJO

La fatiga muscular inspiratoria se define como la pérdida transitoria de la fuerza de los principales músculos inspiratorios y es recuperable en el tiempo. Es así como en el aparato respiratorio se produce una incapacidad para seguir generando la suficiente presión y mantener la ventilación e intercambio gaseoso. La fatiga está determinada por la fuerza, intensidad y tiempo de trabajo que se genera para mantener ese esfuerzo. Es un fenómeno complejo que involucra al sistema nervioso central, transmisión eléctrica neuromuscular, mecanismo contráctil y aporte energético al músculo (Samper J., et al., 1986).

Hardiman y Klimathianaki el año 2011 en estudios separados demuestran la fatiga muscular respiratoria en sujetos con enfermedad

neuromuscular y respiratoria respectivamente, pero también se ha observado este tipo de fatiga en sujetos entrenados a altas intensidades de ejercicio (Romer et al., 2006). En este contexto en una revisión sistemática realizada por Janssens et al. en el 2013, estudios en ciclistas (Romer et al., 2006), nadadores (Jakovljevic y McConnell, 2009; Lomax y Castle 2009), y en triatletas (Hill et al., 1991) demostraron una mejoría al recibir un entrenamiento de la musculatura inspiratoria. Por lo tanto, la función respiratoria puede considerarse como un determinante del rendimiento al ejercicio físico en distintas poblaciones, tanto en sujetos con enfermedades que comprometan el sistema respiratorio, como también en deportistas o sujetos sedentarios sanos.

Está bien documentado que la fatiga muscular respiratoria ocurre durante el ejercicio intenso (80% VO_2 máx.) sostenido durante 8-10 minutos (Oueslati et al., 2017; Smith et al., 2014), pero también durante la alta intensidad del ejercicio de menor duración (Ohya et al., 2015). Varios estudios han demostrado la existencia de fatiga muscular respiratoria en sujetos sanos (Janssens et al., 2013), que realizan algún tipo de deporte, tales como ciclismo, carrera, natación y triatlón.

Así mismo, la fatiga muscular inspiratoria puede tener un efecto negativo en el rendimiento deportivo y puede ocurrir tanto en el ejercicio de corta duración y alta intensidad (Lomax y McConnell, 2003; Volianitis et al., 2001), como en el ejercicio submáximo prolongado (Romer et al., 2002a; McConnell, et al., 1997).

La fatiga de los músculos respiratorios aumenta la respuesta vasoconstrictora simpática del músculo periférico activo (Katayama, et al., 2015) a través de un metabolorreflejo, que reduce el flujo sanguíneo de las extremidades y aumenta la gravedad de la fatiga del músculo locomotor inducida por el ejercicio (Romer y Polkey, 2008). Estudios previos (Harms et al., 1998; Legrand et al., 2007) han demostrado que el metabolorreflejo del músculo respiratorio podría inducir vasoconstricción y reducir el flujo sanguíneo en los músculos locomotores en actividad, en individuos entrenados durante el ejercicio de ciclismo a intensidad alta o máxima.

Existen varios posibles mecanismos que señalan el impacto limitante de la musculatura inspiratoria sobre una prueba de esfuerzo máximo y su rendimiento. La evidencia de la fatiga muscular respiratoria puede inducir el llamado “secuestro respiratorio”, donde una vasoconstricción mediada por el sistema nervioso simpático limita el flujo sanguíneo y el O₂ a los músculos locomotores a favor de los músculos respiratorios, es decir, el metabolorreflejo respiratorio (Dominelli et al., 2017; Smith et al., 2016; Vogiatzis et al., 2009), que podría estimular la fatiga del músculo locomotor y limitar la realización del ejercicio.

2.5.1 Métodos para inducir fatiga

Según lo descrito en la literatura, no existen métodos de fatiga estandarizados, por ende, los estudios realizados presentan diferentes formas de generar fatiga en la musculatura inspiratoria.

En un estudio realizado el 2002 por Delpech, N., et al. aplicaron y compararon dos métodos para fatigar la musculatura inspiratoria en sujetos sanos: a un grupo se le aplicó el método de respiración con carga resistiva inspiratoria, donde se les solicitaba mantener una frecuencia respiratoria de 15-20 ciclos por minuto a través de una válvula con resistencia del 60% de la Pimax hasta el fallo de la tarea. El otro método aplicado en este estudio consistía en lograr el agotamiento o alcanzar la frecuencia cardiaca máxima teórica en un ciclo al 85% del VO_2 máx. en cicloergómetro. Ambos métodos generaron una disminución significativa de la Pimax, es decir, lograron fatigar la musculatura inspiratoria.

Oueslati et al., en el año 2018 estudiaron las presiones inspiratorias y espiratorias máximas antes y después de una prueba de ejercicio incremental máximo hasta el agotamiento en cicloergómetro o en treadmill, en un grupo de ciclistas y corredores altamente entrenados. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran una disminución significativa de la Pimax en corredores (alrededor de un 13%) y en ciclistas (alrededor de un 17%).

Un mecanismo posible por el cual la función del músculo respiratorio puede afectar la tolerancia al ejercicio incremental máximo, es mediante una hipoxemia arterial inducida por el ejercicio. En algunos sujetos altamente entrenados se ha demostrado que el tiempo de tránsito de la sangre a través de los capilares que rodean los alvéolos es demasiado corto para saturar completamente la sangre (Constantini et al., 2017; Dominelli et al., 2014; Kyparos et al., 2012). Por ende, esto afectará el suministro de O_2 a los músculos respiratorios y/o locomotores del sujeto y de esta manera podría

establecer una limitación al esfuerzo máximo de una prueba de ejercicio incremental al mejorar la fatiga de los músculos locomotores.

3. METODOLOGÍA

La investigación se realizó siguiendo los principios éticos establecidos para la experimentación con seres humanos propuestos por Ezequiel Emmanuel, el año 2003. Cada punto en específico está detallado en el (Anexo 1).

3.1 MÉTODO

Tipo y diseño de estudio: Estudio observacional, descriptivo de corte transversal.

Muestra: La muestra estuvo conformada por un total de 15 sujetos entre 18 y 26 años, de los cuales 8 eran sedentarios sanos y 7 de ellos eran seleccionados de fútbol de la Universidad de Talca.

- Tipo de muestreo: No probabilístico, reclutado por conveniencia.

Criterios de selección:

Tabla 1: Criterios de inclusión y exclusión. Fuente: Elaboración propia.

| Criterios de Inclusión | Criterios de exclusión |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hombres. | Hábito tabáquico. |
| Edad entre 18 y 26 años. | Lesiones musculoesqueléticas en los últimos 6 meses o durante el estudio. |
| Sanos según clasificación de ACSM para VO ₂ estimado. | Sujetos que hayan sido intervenidos quirúrgicamente o que estuvieran en etapa post quirúrgica reciente, inferior a 6 meses. |
| IMC normal según la OMS. | Sujetos con patologías respiratorias, cardiovasculares crónicas, psíquicas o emocionales. |
| Pimax basal sobre el 80% del valor teórico de referencia según Black y Hyatt. | Sujetos que hayan recibido entrenamiento de la musculatura inspiratoria anteriormente. |
| Nivel de actividad física para ser considerado sedentario o deportista según la clasificación del IPAQ. | |
| <u>Exclusivo para grupo de futbolistas:</u> Participar en la selección de fútbol de la Universidad de Talca y asistir regularmente a los entrenamientos del equipo. | |

3.2 VARIABLES

Las variables analizadas en el estudio son las siguientes:

Tabla 2: Variables dependientes del estudio. Fuente: Elaboración propia.

| Variables dependientes | Definición conceptual | Definición operacional |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fatiga de la MR | “La fatiga se define como la incapacidad del músculo para mantener la fuerza requerida o esperada después de contracciones continuas o repetidas”. (Gómez-Campos, R. et al.). | Se utilizó el test de fatiga de la MR , en el cual se evaluó la pimax (medida que se obtuvo en cmH ₂ O) al inicio y al finalizar el test, para determinar la caída de la presión inspiratoria máxima en porcentaje. |

Tabla 3: Variables independientes del estudio. Fuente: Elaboración propia.

| Variables independientes | Definición conceptual | Definición operacional |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carga máxima del ejercicio | Se define como la carga máxima alcanzada por el sujeto y que es capaz de mantener durante el tiempo establecido | Se obtuvo a través de cicloergómetro mediante el Test de Carga Incremental (TCI). Medida en Kilopodios (kp) |
| Disnea | La <i>American Thoracic Society</i> (ATS) define como disnea la vivencia subjetiva de dificultad para respirar, que incluye sensaciones cualitativamente diferentes de intensidad | Su medición se realizó con la escala de Borg (anexo 8), antes, durante y post test de fatiga MR |

| | | |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| | variable. Esta puede ser producto de factores fisiológicos, psicológicos, sociales y ambientales que pueden interaccionar entre sí. La disnea (síntoma), no debe confundirse con el incremento de trabajo respiratorio (signo) (Harrison, 2015) | |
| Fatiga de MMII | Se define como la disminución reversible de la fuerza que el músculo puede desarrollar durante la contracción sostenida o repetida, pudiendo llegar a no mantener el nivel de acuerdo con las necesidades requeridas | Su medición se realizó con la escala de Borg, antes, durante y post test de fatiga MR. |
| Edad | Tiempo que ha vivido una persona u otro ser vivo contando desde su nacimiento | La edad se suele expresar en años |
| Masa corporal (peso corporal) | Se define como la cantidad de materia que posee un cuerpo, es una de las propiedades físicas y fundamentales de la materia | Suele medirse en Kilogramos |
| Talla | Estatura de una persona, medida desde la planta del pie hasta el vértice de la cabeza | Suele ser medida en metros (m) y centímetros (cm) |

Tabla 4: Variables de control del estudio. Fuente: Elaboración propia.

| Variables de control | Definición conceptual | Definición operacional |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nivel de actividad física | Movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que exija gasto de energía | Cuestionario de actividad física (IPAQ). |
| Pimax basal | Presión que se desarrolla en el primer segundo de la inspiración, representa la fuerza de los músculos inspiratorios | A través de un pimómetro electrónico cuyos valores son expresados en cmH ₂ O |
| VO ₂ Máx. | Cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo | El VO ₂ máx. indirecto, se evaluó a través del Test de Astrand modificado. Su unidad de medida es en ml x kg ⁻¹ x min ⁻¹ . |

3.3 MATERIALES

- Metrónomo.
- 2 step de distintas alturas (20 y 25 cm).
- Alfombra de goma EVA interconectada.
- Valvula umbral: Inspiratory Pressure Threshold Device®, Cedar Grove, NJ, EE.UU.
- Glucómetro.
- Pimómetro digital Carefusion MicroRPM™
- Computador.
- Pinzas nasales.

- Balanza mecánica con tallímetro.
- Sillas.
- Mesas.
- Escalas de Borg modificadas impresas.
- Banda Cardíaca H10 HR Sensor Polar.
- Reloj.
- Cicloergómetro.
- Saturómetros.
- Esfingomanómetro manual.
- Fonendoscopio.
- Cronómetro
- Consentimiento informado (Anexo 2).
- Cuestionarios IPAQ (Anexo 3) y cuestionario de salud del deportista (Anexo 4).
- Agua y colaciones saludables.
- Parlante.

3.4 PROCEDIMIENTO

Fase I:

Se llevó a cabo la fase de presentación y aprobación del proyecto de investigación, donde se expuso el estudio a un grupo de docentes y profesora guía pertenecientes al módulo de 4° año “Instrumentación aplicada a la Kinesiología”, de la Escuela de Kinesiología de la Universidad de Talca.

Fase II: Informativa y de reclutamiento.

En esta fase se comenzó a exteriorizar el proyecto de investigación, entregando y difundiendo información sobre el estudio a realizar, a través de afiches dentro de la universidad, redes sociales y charlas presenciales al equipo de fútbol en el entrenamiento para tener comunicación con la mayor cantidad de participantes de esta selección universitaria.

Posteriormente, los participantes interesados e inscritos voluntariamente de ambos grupos fueron citados para más información y resolver dudas, para luego dar lectura y firmar el consentimiento informado (Anexo 2), además de acordar próximas sesiones para la realización de evaluaciones según tiempos de disponibilidad de cada sujeto.

Fase III: Evaluaciones.

Durante esta fase se comenzaron a realizar las evaluaciones aplicando su respectivo protocolo. Todos los protocolos se llevaron a cabo por los estudiantes de Kinesiología de la Universidad de Talca responsables de esta investigación. Éstos fueron capacitados y entrenados previamente antes de ser aplicados a los sujetos, siendo supervisados en todo momento por la profesora tutora a cargo del estudio, teniendo en cuenta los resguardos y seguridad de los participantes.

Cuando los sujetos fueron citados al laboratorio cardiorrespiratorio de la Universidad de Talca, se hizo entrega del consentimiento informado (Anexo 2), el cual debían leer y firmar para ser parte del proyecto de investigación y así estar al tanto de todos los procedimientos a realizar durante el estudio.

Dentro de las evaluaciones aplicadas el primer día donde fueron citados los participantes debieron completar dos cuestionarios, el IPAQ (Anexo 3), realizado en ambos grupos y el cuestionario de salud (Anexo 4), aplicados a ambos grupos, luego se realizó una evaluación antropométrica donde se obtuvo la medición de peso corporal y talla, para posteriormente calcular su IMC.

Para continuar se dio inicio a las siguientes evaluaciones programadas según día y horario a convenir:

3.4.1 Protocolos

Evaluación de capacidad aeróbica

Evaluación del VO_2 máx. indirecto a través del test de Astrand (Anexo 5), este se asocia a la capacidad cardiorrespiratoria, que es uno de los principales componentes de la condición física relacionada con la salud (Figura 4). Es considerado el reflejo de una condición física saludable y también un potente predictor de la mortalidad.

Evaluación de la fuerza muscular inspiratoria

Fuerza de la musculatura inspiratoria medida a través de la Pimax. Es una evaluación no invasiva que permite evaluar la fuerza de la musculatura inspiratoria, principalmente diafragma e intercostales externos, ya que son los músculos encargados de la inspiración tranquila. La Pimax se midió en una primera instancia para saber su condición basal, para posteriormente ser cuantificada antes y después de la prueba de ejercicio máximo, con un medidor de presión inspiratoria digital llamado MicroRPM™ (CareFusion,

Germany) (figura 5). Los valores obtenidos se expresaron en cmH₂O. La evaluación en detalle se puede encontrar en el Anexo 6.

Test de Carga Incremental

Test de Carga Incremental (TCI) en cicloergómetro, se utilizó para determinar la capacidad de ejercicio según el protocolo estandarizado publicado por la SEPAR el año 2001 (Anexo 7) mediante un cicloergómetro Monark Ergomedic 828 E (Figura 6). Permite evaluar la respuesta integrada del organismo a un amplio espectro de intensidades de ejercicio durante un período corto de tiempo. Se efectúa de forma óptima realizando un incremento progresivo de carga hasta llegar al límite de la tolerancia determinado por los síntomas.

Prueba de ejercicio máximo

Corresponde a una evaluación de ejercicio máximo realizada en cicloergómetro, focalizado en la fatiga de la musculatura respiratoria. Antes de iniciar se explicó a cada participante en qué consistía la prueba, cuáles eran los pasos a seguir para su correcta ejecución, posterior a eso se ubicó el dispositivo polar (Banda Cardíaca H10 HR Sensor Polar) y reloj de muñeca para tener la medición de la FC durante la prueba. Se tomaron signos vitales en reposo: PA, FC, FR, SaO₂ y glicemia. Antes de comenzar la prueba en cicloergómetro, se realizó la medición de Pimax (Anexo 6, Protocolo de Pimax) posterior a esto, se ajustó la altura del sillín a nivel del trocánter mayor para subir al sujeto al cicloergómetro, acomodando los pies correctamente en los pedales. En primera instancia se realizó un

calentamiento al 30% de la carga máxima alcanzada en el TCI (descrito en el protocolo 7) a 50 rpm durante 3 minutos. Pasado este tiempo se aumentó la carga al 80% de su carga máxima, de igual manera se pidió que aumentara entre 60 y 70 rpm, provocando que la FC de reserva aumentara entre un 85-90%.

El test finaliza cuando el sujeto cuantifica a la Sensación Subjetiva de Fatiga (SSF) de MMII y/o disnea como máxima, 10 según escala de Borg modificada (Anexo 8). Se consideró válida la prueba para aquellos sujetos que duraron como mínimo 5 minutos con carga. Una vez concluida la prueba el participante debía realizar el proceso de recuperación para restablecer su FC de reserva a un 50%.

Al momento en que se estabilizaron los signos vitales, el participante debía descender del cicloergómetro e inmediatamente se evaluaba la Pimax nuevamente, post prueba máxima y 5 minutos después para considerar el proceso de fatiga y recuperación de los músculos inspiratorios. Las mediciones de Pimax concluían cuando lograban alcanzar los valores con respecto a las mediciones iniciales, se realizaron mínimo 3 y máximo 8 intentos, hasta obtener 3 resultados aceptables y reproducibles.

3.4.2 Análisis estadístico

Se realizó estadística inferencial, los datos de las evaluaciones pre y post test de esfuerzo máximo de cada sujeto fueron tabulados e ingresados a una base de datos en Microsoft Excel 2013, para el análisis estadístico se utilizó el Software GraphPad Prims 6.0. donde se obtuvieron, a través de las

variables de la muestra, resultados expresando en promedio y desviación estándar.

Para constatar la normalidad del conjunto de datos se aplicó el test Shapiro Wilk. Cuando la comparación de los datos distribuyó de manera normal se utilizó una prueba paramétrica (T-student). De lo contrario, cuando los datos no distribuyeron de forma normal, se utilizó una prueba no paramétrica (U-Mann-Whitney). Se consideró estadísticamente significativo un $p < 0,05$. Los datos fueron expresados en medias \pm desviación estándar y fueron graficados o tabulados según corresponda.

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

La muestra fue compuesta por un total de 15 sujetos hombres, adultos jóvenes, 7 de ellos futbolistas seleccionados de la Universidad de Talca (46,67%), mientras que los 8 restantes correspondientes al grupo de sedentarios sanos de la misma universidad (53,33%) la edad promedio de los sedentarios fue de $19,88 \pm 0,4$ años y el promedio de los deportistas fue de $20,71 \pm 0,6$ años. La descripción biomédica de los sujetos se muestra en la Tabla N°5.

Tabla 5: Caracterización de la población. Fuente: Elaboración propia.

| VARIABLES INDEPENDIENTES | Estudiantes sedentarios sanos de la Universidad de Talca. | Futbolistas seleccionados de la Universidad de Talca. | Valor P |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------|
| Edad (años) | $19,88 \pm 1,2$ | $20,71 \pm 1,7$ | 0,29 (NS) |
| Masa corporal Peso (kg.) | $67 \pm 7,8$ | $73,29 \pm 8,05$ | 0,92 (NS) |
| Talla (mt.) | $1,72 \pm 0,04$ | $1,74 \pm 0,04$ | 0,43 (NS) |
| IMC (m²/Kg) | $22,5 \pm 2,1$ | $24,13 \pm 1,98$ | 0,16 (NS) |
| Nivel de actividad | Actividad física baja o inactivo. | Actividad física alta. | No aplica |

| | | | |
|--------------------------------------------|---------------|---------------|------|
| física (IPAQ) | | | |
| Pimax (cmH₂O) | 134,4 ± 14,81 | 167,7 ± 25,48 | 0,01 |
| VO₂ máx. (ml/kg/min) | 50,74 ± 6,05 | 63,37 ± 6,99 | 0,02 |

Los datos obtenidos en la tabla N°5 representan las características biomédicas basales de ambos grupos. En cuanto a la diferencia, destaca la mayor fuerza de la musculatura inspiratoria basal del grupo de futbolistas en comparación a el grupo de sedentarios con un valor p estadísticamente significativo ($p = 0,01$); también la condición cardiorrespiratoria, dado por el VO₂ máx. estimado, el grupo futbolista fue superior en comparación al grupo sedentario ($p = 0,02$), siendo estadísticamente significativo.

4.1.1 Fatiga de la musculatura inspiratoria

La fatiga de la musculatura inspiratoria se midió a través de la Pimax antes y después de realizar un test de ejercicio máximo y se expresó en cmH₂O.

Con respecto al grupo de sedentarios la Pimax pre-ejercicio máximo fue de $135,8 \pm 4,3$ cmH₂O y post ejercicio máximo fue de $115 \pm 18,21$ cmH₂O con una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,01$). (Figura 1.A).

Por otra parte, en el grupo de futbolistas la Pimax pre-ejercicio máximo fue de $162,3 \pm 5,3$ cmH₂O y post ejercicio máximo fue de $138,7 \pm$

12,68 cmH₂O siendo este estadísticamente significativo ($P < 0,001$). (Figura 1. B.)

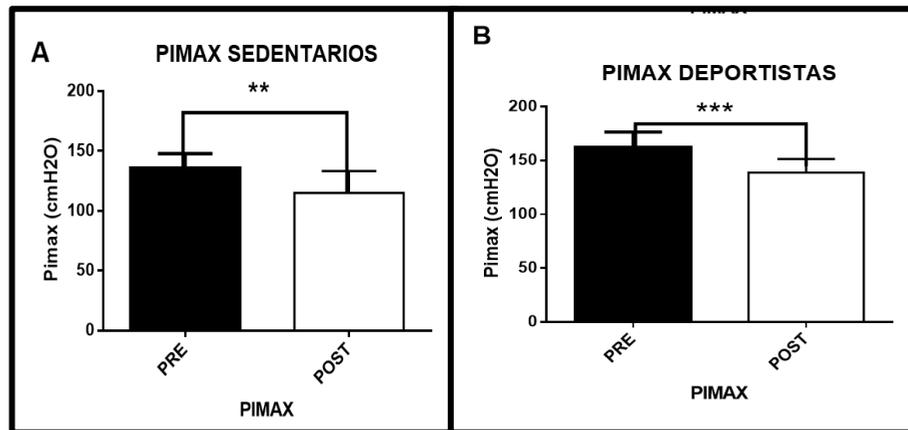


Figura 1: Presión inspiratoria máxima antes y después de la realización del esfuerzo máximo en sujetos sedentarios (A) y sujetos deportistas (B) (** $P < 0,01$ y (***) $P < 0,001$. Diferencia significativa con respecto al valor inicial. Fuente: Elaboración propia a partir de software *GraphPad Prims 6.0*.

4.1.2 Caída de Pimax

- **En valor Absoluto:** Caída de la fuerza de la musculatura inspiratoria expresada en cmH₂O, diferencia de la evaluación pre y post ejercicio máximo. El promedio alcanzado en el grupo de sedentarios fue de $20,75 \pm 11,82$ y en deportistas fue de $23,57 \pm 6,7$.

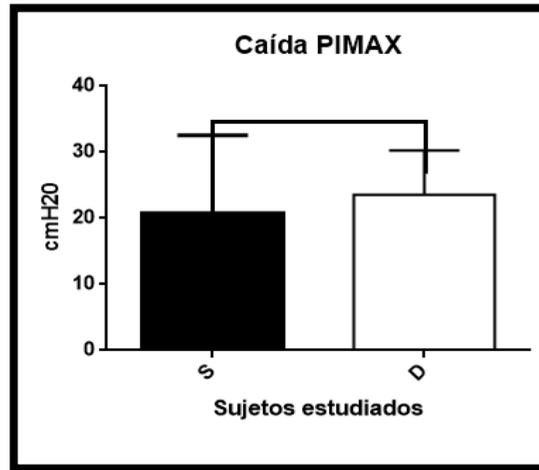


Figura 2: Caída de la Pimax en cmH₂O en grupo de sedentarios (S) y deportistas (D). No se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia a partir de software GraphPad Prims 6.0.

- **En valor porcentual:** Se establece su valor porcentual a la diferencia entre los valores pre y post test de esfuerzo máximo y se compara entre ambos grupos. El promedio del porcentaje de caída del grupo de sedentarios fue de $-15,5 \pm 9,09$ %. Por otro lado, el promedio del porcentaje de caída del grupo de futbolistas fue de $-14,49 \pm 3,76$ %

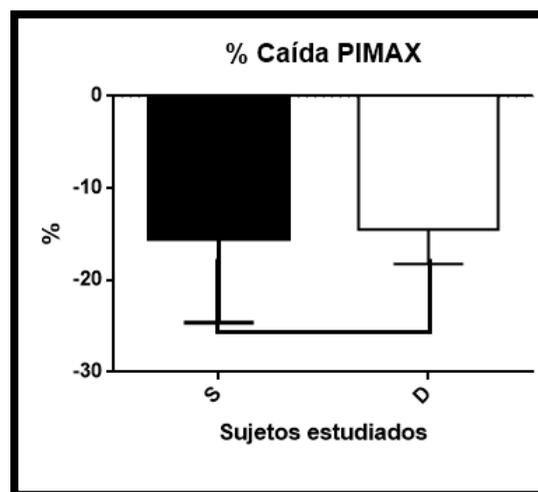


Figura 3: Caída de la Pimax en valor porcentual en grupo de sedentarios (S) y deportistas (D). No se obtuvieron diferencias significativas ($P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia a través de software GraphPad Prims 6.0.

5. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue determinar las diferencias en la fatiga de la musculatura inspiratoria, frente a un ejercicio máximo entre dos poblaciones con distinto nivel de actividad física, sujetos sedentarios sanos y futbolistas seleccionados de la Universidad de Talca.

Según las características de ambos grupos que fueron obtenidas en las evaluaciones de Pimax basal y VO_2 máx. estimado, se esperaba una menor caída de la Pimax finalizado el test de ejercicio máximo en el grupo de futbolistas, ya que presentaban una mayor fuerza de la musculatura inspiratoria y una mejor condición cardiorrespiratoria. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio no se evidenció diferencia significativa en la caída de Pimax entre ambos grupos frente un esfuerzo máximo. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis inicial y se corrobora lo descrito en la evidencia científica, que demuestra que la fatiga muscular inspiratoria es transversal para toda población, es decir, en pacientes con alguna patología de base cardiorrespiratoria (Kimathianaki, 2011), sanos normales (Babcock M., et al., 2019) y deportistas (Romer et al., 2006).

En base a las incógnitas existentes con respecto a la fatiga de la musculatura inspiratoria y caída de la Pimax en distintas poblaciones, no hay evidencia y respaldo de estudios comparativos entre sujetos sanos y deportistas con características biológicas semejantes, ya que en los estudios

realizados se prioriza la investigación de distintas áreas del deporte y poblaciones, físicamente o con comorbilidades, similares entre sí.

En un estudio publicado por Oueslati F. el año 2018 se observó que el MIP y el MEP disminuyeron significativamente después del ejercicio incremental máximo en $13 \pm 7\%$ y $13 \pm 5\%$ en corredores, frente a $17 \pm 11\%$ y $15 \pm 10\%$ en ciclistas, respectivamente ($p > 0.05$). Mientras que en la prueba de esfuerzo máximo realizada en este estudio la caída de la Pimax fue de $-14,5\%$ y $-15,5\%$ entre el grupo de futbolistas y sedentarios, respectivamente, valores cercanos a lo que describe la literatura. Esto corrobora que la fatiga de la musculatura inspiratoria se genera en toda población al inducir a los sujetos a una prueba que demande los músculos respiratorios, independientemente del enfoque del entrenamiento físico que mantengan las distintas disciplinas deportivas.

Por otra parte, al comparar la fatiga de la musculatura inspiratoria entre grupos, no mostró una diferencia estadísticamente significativa. Se esperaba que el grupo de futbolistas pudiese tener una menor caída de la Pimax debido a que están sometidos a entrenamientos que demandan un alto porcentaje de VO_2 máx. ($>85-90\%$), cercano al umbral ventilatorio, donde por la alta demanda es reclutada la musculatura respiratoria (Stolen, T., et al., 2005), por lo que se podría generar un entrenamiento indirecto de la musculatura inspiratoria, sin embargo esto no se corrobora con los resultados obtenidos en este estudio.

Dentro de los factores que pudieron influir en los resultados obtenidos, es posible que el entrenamiento físico habitual que tenían los futbolistas seleccionados de la Universidad de Talca no fue suficiente para generar un

impacto mayor en la musculatura inspiratoria, es decir, probablemente no trabajan dentro de las demandas metabólicas necesarias para poder provocar un entrenamiento indirecto de la musculatura inspiratoria y en consecuencia tener una diferencia significativa en cuanto a la caída de la Pimax en comparación a los resultados del grupo de sedentarios.

Por lo tanto, es importante considerar un entrenamiento específico de la musculatura inspiratoria para lograr una diferencia en cuanto al rendimiento de esta ante un ejercicio máximo. Esto se ha observado con una mejora significativa en la eficacia de bomba y mecánica ventilatoria y promueve un aumento en la fuerza y resistencia de los MR (González M., et al., 2012) así como una mejora en el rendimiento físico aeróbico en atletas de balonmano (Hartz, et al., 2018), por ende, el aplicar un entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) es una estrategia eficiente para minimizar los efectos de la fatiga respiratoria.

6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que:

- El porcentaje de caída de la Pimax frente a un ejercicio máximo en sujetos sedentarios fue $20,75 \pm 11,82$ cmH₂O, que representa el 15,5%, medida a través de la Pimax posterior a la realización del test de fatiga.
- El porcentaje de caída de la Pimax frente a un ejercicio máximo en sujetos deportistas fue $23,57 \pm 6,7$ cmH₂O, que representa 14,5%, medida a través de la Pimax al finalizar el test de fatiga.
- No existen diferencias significativas en el porcentaje de caída de la Pimax frente a un ejercicio máximo entre sujetos jóvenes sedentarios y futbolistas.
- La realización de un test máximo genera caída de la Pimax en ambos grupos, es decir, genera fatiga de la musculatura inspiratoria.

7. LIMITACIONES

En cuanto a las limitantes de esta investigación, el número de participantes reclutados es reducido en comparación con otras investigaciones realizadas, incluso inferior al número estimado en un principio por las investigadoras, por lo tanto, para obtener resultados más extrapolables es necesario considerar un número mayor de sujetos para desarrollar el estudio.

Por otra parte, los sujetos seleccionados de la Universidad de Talca considerados en el grupo de deportistas no son parte de un entrenamiento estricto y pauteado como los entrenamientos de fútbol profesional o de élite, es decir, se podría clasificar como fútbol aficionado o entrenamiento universitario amateur, ya que el entrenamiento en ocasiones era esporádico, dependiente de la carga horaria y disponibilidad que tenían los jugadores, por lo tanto, las condiciones físicas no son suficientemente superiores a las del grupo de sedentarios para tener una diferencia significativa entre ambos grupos en respuesta a un esfuerzo máximo.

También es importante mencionar que la motivación de cada participante y el compromiso en este estudio pudo haber influido en los resultados de las evaluaciones. En el grupo de deportistas todos se conocían por el hecho de ser parte de la selección de fútbol de la universidad y

constantemente compararon su desempeño en cada evaluación, lo que les servía de motivación para obtener mejores resultados. En cuanto a los sedentarios era un grupo más pasivo, donde la mayoría de ellos no competía con los otros sujetos y sólo se preocupaban de concluir la evaluación.

8. PROYECCIONES

La relevancia de este estudio es proporcionar evidencia sobre la fatiga de la musculatura inspiratoria posterior a la realización de un esfuerzo máximo comparando 2 grupos de hombres sanos con características biomédicas similares.

Debido a que las pruebas realizadas en los distintos estudios son variadas, actualmente no existe un consenso definido o protocolo estandarizado que genere la respuesta propiamente tal de la fatiga muscular inspiratoria frente a una prueba de máximo esfuerzo. Sin embargo, el protocolo de fatiga aplicado en este estudio evidencia una disminución transitoria de la fuerza inspiratoria que es un predictor directo de ésta, por lo cual, se considera un instrumento útil para futuras investigaciones que quieran abordar este tema.

Los entrenadores y los científicos deportivos deberían recomendar un EMI o calentamiento muscular inspiratorio específico en un esfuerzo por mejorar la fuerza muscular inspiratoria y reducir la inevitable fatiga muscular de dichos músculos que está asociada con los esfuerzos máximos, se puede argumentar entonces que el entrenamiento muscular inspiratorio podría tener efectos beneficiosos incluso durante este tipo de ejercicio. Estudios han demostrado que el EMI puede reducir el costo metabólico de la hiperpnea durante ejercicio de alta intensidad y así retrasar la fatiga muscular respiratoria y la aparición del metabolorreflejo respiratorio. En el fútbol la

inclusión de dicho entrenamiento en el proceso primario de entrenamiento del deporte puede mejorar la fuerza muscular inspiratoria (Pimax), la fuerza muscular espiratoria (Pemax) y tolerancia al ejercicio, y también reducir los niveles de lactato en sangre (BLa) después de un ciclo de ejercicios (Guy, J., et al., 2014) lo que también ocurre en sujetos sedentarios sanos sometidos a un EMI.

Actualmente la literatura demuestra la fatiga de la musculatura inspiratoria en dos poblaciones con distintos hábitos físicos, sin embargo, la comparación entre sujetos sedentarios y futbolistas no ha sido demostrada en su totalidad, por lo que es importante saber con más detalle cuál es el comportamiento de la musculatura inspiratoria durante un esfuerzo máximo. Por lo tanto, es importante conocer el efecto del entrenamiento físico y cómo éste pudiese relacionarse con la musculatura inspiratoria, es decir, si aquellos deportistas, ya sea aficionados, profesionales o de élite, son beneficiados indirectamente en cuanto a la fuerza y/o tolerancia a la fatiga de su musculatura inspiratoria solo por el hecho de realizar ejercicio físico, la cuantía de éste y su nivel.

De igual manera es verdaderamente relevante considerar todo lo que está expresado en la evidencia científica y utilizarlo, está demostrado que al entrenar la musculatura inspiratoria hay una reducción de la fatiga de dichos músculos y los especialistas en el tema son los kinesiólogos, por lo que deberían aplicar el entrenamiento no sólo como herramienta terapéutica a pacientes con patologías cardiovasculares y/o respiratorias, sino también

experimentar en otras áreas de interés donde es relevante un entrenamiento de musculatura inspiratoria, por ejemplo en deportistas, ya que se verían muy beneficiados con este tipo de intervención, tanto físicamente como en consecuencia su rendimiento deportivo.

9. GLOSARIO

- **CmH₂O:** Centímetros de agua.
- **EMI:** Entrenamiento de musculatura inspiratoria.
- **Kp:** Kilopodios, medida de carga en el cicloergómetro.
- **MR:** Músculos respiratorios, los cuales participan en los procesos de inspiración y espiración.
- **P_{imax}:** Presión inspiratoria máxima, es la presión que desempeñan los músculos al participar de la inspiración.
- **P_{emax}:** Presión inspiratoria máxima, es la presión que ejercen los músculos al actuar en la espiración.
- **TCI:** Test de carga incremental, encargado de valorar la respuesta cardiopulmonar.
- **VO₂ máx.:** Consumo máximo de oxígeno, es la capacidad máxima del organismo que tiene para absorber, transportar y consumir oxígeno en un tiempo determinado.
- **MMII:** Miembros inferiores.
- **IPAQ:** Cuestionario internacional de actividad física. Es un instrumento diseñado principalmente para la vigilancia y control de la actividad física que realiza la población.
- **O₂:** Oxígeno.
- **CO₂:** Dióxido de carbono.

- **MmHg:** Milímetros de mercurio.
- **FC máx.:** Frecuencia cardiaca máxima.
- **FR:** Frecuencia respiratoria.
- **VC:** Volumen corriente. Alude al volumen de aire que circula entre la inspiración y espiración.
- **VE:** Volumen minuto. Conjunto la FR y el VC.
- **MTS:** Metros.
- **CM:** Centímetros.
- **KG:** Kilogramos.
- **MIN:** Minutos.
- **IMC:** Índice de masa corporal. Razón matemática que asocia la masa y la talla de un individuo.
- **PA:** Presión arterial.
- **SAO₂:** Saturación de oxígeno.
- **RPM:** Revoluciones por minuto.
- **SSF MMII:** Sensación subjetiva de fatiga en miembros inferiores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Aaron E.A., Seow K.C., Johnson B.D. & Dempsey, J.A., (1992).** *Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance.* J Appl Physiol 72, 1818–1825.
2. **American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP (2003).** *Statement on cardiopulmonary exercise testing.* Am J Respir Crit Care Med;167(2):211-277.
3. **Babcock M., Johnson B., Pegelow D., Suman O., Griffin D., Dempsey J., (1995).** *Hypoxic effects on exercise-induced diaphragmatic fatigue in normal healthy humans.* Journal of Applied Physiology, Vol. 78, P. 82-92.
4. **Barrett K., Barman S., Boitano S., Brooks H., (2010).** *Ganong Fisiología Médica.* México DF.: Mc Graw Hill, Capítulo 38.
5. **Black L., Hyatt R., (1969).** *Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex.* American Review of Respiratory Disease, 99, 5.

6. **Borg G A., (1982).** *Psychophysical bases of perceived exertion.* Med Sci Sports Exerc 1982; 14 : 377-81.
7. **Brown, S., Kilding, A.E., (2011).** *Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: the effect of race distance.* J. Strength Cond. Res. 25, 1204–1209.
8. **Butler, J.E., Hudson, A.L., Gandevia, S.C., (2014).** *The neural control of human inspiratory muscles.* Prog. Brain Res. 209, 295e308.
9. **Constantini, K., Tanner, D.A., Gavin, T.P., Harms, C.A., Stager, J.M., Chapman, R.F., (2017).** *Prevalence of Exercise-Induced Arterial Hypoxemia in Distance Runners at sea level.* Med. Sci. Sports Exerc. 49, 948–954.
10. **Cooper, K., (1982).** *The Aerobics Way,* New York: Bantam Books, Inc.
11. **Cruz Mena E., Moreno Bolton R., (2008).** *Aparato Respiratorio: Fisiología y Clínica.* 5a edición. Escuela de Medicina de la Universidad Católica.

12. **Delpech N., Jonville S., Denjean A., (2003).** *Mouth pressure twitches induced by cervical magnetic stimulation to assess inspiratory muscle fatigue.* *Respir Physiol Neurobiol*, 134:23123e7.
13. **Dominelli P.B., Render J.N., Molgat-Seon Y., Foster G. E., Romer L.M. & Sheel A.W., (2015).** *Oxygen cost of exercise hyperpnoea is greater in women compared with men.* *J Physiol* 593, 1965–1979.
14. **Emmanuel E.** *¿Qué hace que la investigación clínica sea ética de investigación en sujetos humanos: nuevas perspectivas,* Lolas F y Quezada A ed. Programa regional de bioética OPS, OMS, 2003
15. **Hardiman, O., (2011).** *Management of respiratory symptoms in ALS.* *J. Neurol.* 258,359–365.
16. **Harms, C.A., Wetter, T.J., McClaran, S.R., Pegelow, D.F., Nickele, G.A., Nelson, W.B., Hanson, P., Dempsey, J.A., (1998).** *Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise.* *Journal of Applied Physiology* 85, 609–618.

17. **Hartz Ch., Sindorf M., Lopes Ch., Batista J., Moreno M., (2018).** *Effect of Inspiratory Muscle Training on Performance of Handball Athletes.* Journal of Human Kinetics, volume 63, 43-51.
18. **Hill, N. S., Jacoby, C., Farber, H.W., (1991).** *Effect of an endurance triathlon on pulmonary function.* Med. Sci. Sports Exerc. 23, 1260–1264.
19. **Gómez-Campos, R.; Cossio-Bolaños, M.A.; Brousett Minaya, M.; Hochmuller - Fogaca, R.T., (2010).** *Mecanismos implicados en la fatiga aguda.* Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport, vol. 10, núm. 40, pp. 537-555.
20. **González-Montesinos, J.L., Vaz Pardal, C., Fernández Santos, J.R., Arnedillo Muñoz, A., Costa Sepúlveda, J.L., Gómez Espinosa De Los Monteros, R., (2012).** *Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento.* Revisión bibliográfica. Revista Andaluza de Medicina del Deporte.. doi:10.1016/s1888-7546(12)70025-4
21. **Guy. J., Edwards M., Deakin G., (2014).** *Inspiratory muscle training improves exercise tolerance in recreational soccer players*

without concomitant gain in soccer-specific fitness. Journal of strength and conditioning research, 28(2), 483-491.

22. **Janssens, L., Brumagne, S., McConnell, A.K., Raymaekers, J., Goossens, N., Gayan-Ramirez, G., Hermans, G., Troosters, T., (2013).** *The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: A systematic review. Respiratory Medicine.. doi:10.1016/j.rmed.2012.11.019.*

23. **Jakovljevic D., McConnell A., (2009).** *Influence of Different Breathing Frequencies on the Severity of Inspiratory Muscle Fatigue Induced by High-Intensity Front Crawl Swimming. The Journal of Strength and Conditioning Research , 23, 74.*

24. **Kabitz, H.J., Walker, D., Sonntag, F., Waltersbacher, S., Kirchberger, A., Burgardt, V., Roecker, K., Windisch, W., (2008).** *Post-exercise diaphragm shielding: a novel approach to exercise-induced diaphragmatic fatigue. Respir. Physiol. Neurobiol. 162,230–237.*

25. **Katayama, K., Itoh, Y., Saito, M., Koike, T., & Ishida, K., (2015).** *Sympathetic vasomotor outflow and blood pressure increase during exercise with expiratory resistance. Physiological Reports, 3, e12421.*

26. **Klimathianaki, M., Vaporidi, K., Georgopoulos, D., (2011).** *Respiratory muscle dysfunction in COPD: from muscles to cell.* Curr. Drug Targets 12, 478–488.
27. **Kyparos, A., Riganas, C., Nikolaidis, M.G., Sampanis, M., Koskolou, M.D., Grivas, G.V., Kouretas, D., Vrabas, I.S., (2012).** *The effect of exercise-induced hypoxemia on blood redox status in well-trained rowers.* Eur. J. Appl. Physiol. 112, 2073–2083.
28. **Laghi, F., Topeli, A., Tobin, M.J., (1998).** *Does resistive loading decrease diaphragmatic contractility before task failure?* J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985 85, 1103–1112.
29. **Legrand, R., Marles, A., Prieur, F., Lazzari, S., Blondel, N., Mucci, P., (2007).** *Related trends in locomotor and respiratory muscle oxygenation during exercise.* Medicine & Science in Sports & Exercise 39, 91–100.
30. **Loke, J., Mahler, D.A., Virgulto, J.A., (1982).** *Respiratory muscle fatigue after marathon running.* J. Appl. Physiol. 52, 821–824.
31. **Lomax, M., Castle, S., (2011).** *Inspiratory muscle fatigue significantly affects breathing frequency, stroke rate, and stroke length*

during 200-m front-crawl swimming. *J. Strength Cond. Res.* 25, 2691–269.

32. **Lomax, M.E., & McConnell, A.K., (2003).** *Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim.* *Journal of Sports Sciences*, 21, 659–664.
33. **López Chicharro J., Fernández A., (2006).** *Fisiología del Ejercicio.* Madrid, España: Ed. Médica Panamericana, 3° edición.
34. **Mayor, A.S., Leporace, G., Tannure, M., et al., (2017).** *Profile of infrared thermography in elite soccer players.* *Motriz* 23 e101654.
35. **McConnell, A.K., Caine, M.P., & Sharpe, G.R., (1997).** *Inspiratory muscle fatigue following running to volitional fatigue: The influence of baseline strength.* *International Journal of Sports Medicine*, 18, 169–173.
36. **Oueslati F., Girard O., Tabka Z., Ahmaidi S., (2016).** *Excess VO₂ during ramp exercise is positively correlated to intercostal muscles deoxyhemoglobin levels above the gas exchange threshold in young trained cyclists.* *Respiratory Physiology & Neurobiology*, Volume 228, Pages 83-90.

37. **Oueslati, F., Berriri, A., Boone, J., & Ahmaidi, S., (2018).** *Respiratory muscle strength is decreased after maximal incremental exercise in trained runners and cyclists.* *Respiratory physiology & neurobiology*, 248, 25–30.
38. **Rahnama N., Reilly T., Lees A. & col., (2003).** *Fatiga muscular inducida por ejercicio que simula la tasa de trabajo del fútbol competitivo.* *J Sports Sci*; 21 (11): 933–42.
39. **Ross, E., Middleton, N., Shave, R., George, K., McConnell, A., (2008).** *Changes in respiratory muscles and lung function following marathon running in man.* *J. Sports Sci.* 26,1295–1301.
40. **Romer, L. M., Polkey, M. I., (2008).** *Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance.* *Journal of Applied Physiology* 104, 879–888.
41. **Romer, L.M., McConnell, A.K., & Jones, D.A., (2002a).** *Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists.* *Journal of Sports Sciences*, 20, 547–562.

42. **Ruiz, M., (2011).** *Evaluación de los músculos respiratorios.* Garcia F., Gómez, M. *Exploración funcional respiratoria* (172) (1era edición) (vol XVIII). Ergon. C/ Arboleda, 1. 28221 Majadahonda (Madrid).
43. **Samper J., Navarro Ibañez R., y Loret Solves J., (1986).** *La fatiga de músculos respiratorios.* Servicio de Neumología. Hospital General de Valencia.
44. **Sansores R.H., Ramírez V.A., (2006).** *Mecanismos de la disnea.* Neumol Cir Torax;65 (Suppl: 1):4-10.
45. **SEPAR, (2001).** *Pruebas de ejercicio cardiovascular.* Archivos de bronconeumonología. Volumen 37, número 7.
46. **Smith, J.R., Broxterman, R. M., Hammer, S.M., Alexander, A.M., Didier, K.D., Kurti, S.P., Barstow, T.J., Harms, C.A., (2016).** *Sex differences in the cardiovascular consequences of the inspiratory muscle metaboreflex.* Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.311, R574–581.
47. **Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., et al., (2005).** *Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities specific to field based team sports.* Sports Med. 35, 1025e1044.

48. **Stolen, T., Chamari K., Castagna C. & Wisloff U., (2005).** *Physiology of soccer - An update.* Sports Medicine, 35, 501-536.
49. **Tomczak, S.E., Guenette, J.A., Reid, W.D., McKenzie, D.C., Sheel, A.W., (2011).** *Diaphragm fatigue after submaximal exercise with chest wall restriction.* Med. Sci. Sports Exerc.43, 416–424.
50. **Vogiatzis, I., Athanasopoulos, D., Habazettl, H., Kuebler, W.M., Wagner, H., Roussos, C., Wagner, P. D., Zakynthinos, S., (2009).** *Intercostal muscle blood flow limitation in athletes during maximal exercise.* J. Physiol. 587, 3665–3677.
51. **Volianitis, S., McConnell, A.K., Koutedakis, Y., McNaughton, L., Backx, L., & Jones, D.A., (2001b).** *Inspiratory muscle training improves rowing performance.* Medicine and Science in Sports and Exercise, 33, 803–809.
52. **Wetter T.J., McClaran S.R., Pegelow D.F., Nickele G.A., Nelson W.B., et al., (1998).** *Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise.* J Appl Physiol 85:609–618.

53. **Wilches-Luna, E.C., Sandoval, L.M., & López, D.J., (2016).** *Confiabilidad intra e inter evaluador de la medición de la presión inspiratoria máxima (Pimax) en treinta sujetos sanos de la ciudad de Cali. Revista Ciencias De La Salud, 14(03), 331-340.*
54. **Withers R.T., Maricic Z., Wasilewski S., et al., (1982).** *Match analysis of Australian professional soccer players. J Hum Mov Stud; 8: 159–76.*
55. **Wüthrich, T.U., Marty, J., Benaglia, P., Eichenberger, P.A., Spengler, C.M., (2015).** *Acute effects of a respiratory sprint-Interval session on muscle contractility. Med. Sci. Sports Exerc. 47 (9), 1979–1987.*

ANEXOS

Anexo 1. Pautas éticas internacionales

Hay siete requisitos éticos que sí proporcionan un marco sistemático y racional para determinar si la investigación clínica es ética. Estos requisitos están hechos para guiar el desarrollo y la ejecución de los protocolos y su revisión, no para evaluar la ética de las acciones individuales de un investigador, ni mucho menos la empresa de investigación clínica en su totalidad. Mientras que ninguna de las normas tradicionales -Código de Nuremberg, Declaración de Helsinki, Informe Belmont o CIOMS- incluyen explícitamente los siete, estos requisitos éticos no contravienen ninguna de sus disposiciones. Por el contrario, estos requisitos esclarecen en forma sistemática las protecciones fundamentales implícitas en la filosofía básica de todos estos documentos, aunque no incluyan todos los requisitos enumerados en cada uno. Como tal, estos requisitos están hechos para ser universales, no limitados como respuesta a una tragedia, escándalo o problema específico, ni limitado a las prácticas en un país o por un grupo de investigadores.

1. Valor

Para ser ética, la investigación clínica debe tener valor, lo que representa un juicio sobre la importancia social, científica o clínica de la investigación (1996 #3) (Freedman, 1987 #11). La investigación debe evaluar una intervención que conduzca a mejoras en la salud o al bienestar de la población, realizar un estudio preliminar para desarrollar una intervención o probar una hipótesis que pueda generar información importante acerca de la estructura o la función de los sistemas biológicos humanos, aunque tal información no tenga ramificaciones prácticas inmediatas. Esta aseveración pone el énfasis en los resultados de la investigación, en cuanto a que tienen probabilidad de promover mejoras en la salud, en el bienestar o en el conocimiento de la población. Algunos ejemplos de investigación clínica sin valor científico ni social incluyen la investigación clínica que duplica o repite sustancial o totalmente resultados comprobados -que no confirma un estudio en un área polémica, pero confirma resultados bien aceptados- resultados no generalizables, una hipótesis banal o una en la que la intervención no puede jamás llevarse a cabo en forma práctica, aunque sea eficaz (Freedman, 1987 #11).

¿Por qué el valor social o científico debe ser un requisito ético? Las razones fundamentales son dos: el uso responsable de recursos limitados y el evitar la explotación. Hay recursos limitados para la investigación: dinero, espacio y tiempo. Aunque los presupuestos de los Institutos Nacionales de Salud (NIH) y otras organizaciones pudieran financiar todas las solicitudes de investigación clínica, hacerlo significaría desviar recursos

de otras valiosas actividades sociales e individuales, como la educación, mejoras ambientales, mejor sistema judicial, etc. La investigación clínica no debe consumir recursos limitados innecesariamente, sin producir resultados valiosos. Más allá de no desperdiciar dinero, espacio y tiempo - que también se aplica a la investigación que no incluye a seres humanos, como la física de partículas- hay un imperativo de no exponer a los seres humanos a riesgos y daños potenciales a menos que se espere un resultado valioso. El requisito de que la investigación debe ser valiosa para ser ética asegura que los sujetos de investigación no sean expuestos a riesgos sin la posibilidad de algún beneficio personal o social.

Requerir que los protocolos de investigación clínica demuestren algún valor social o científico, en términos absolutos, constituye un requisito mínimo. Sin embargo, una evaluación comparativa de los beneficios sociales relativos de diferentes protocolos de investigación clínica -dándole mayor valor a la investigación clínica que tiene probabilidad de generar mayores mejoras en salud o bienestar dada la condición que se investiga, el estado de comprensión científica, la posibilidad de llevar a cabo la intervención, etc.- constituyen un gran comienzo. Las consideraciones de equidad -necesidad de asignar los escasos recursos con sensatez- justifican tales evaluaciones comparativas de valor. En consecuencia, las comparaciones de valor social son parte integral de la determinación de las prioridades de financiamiento. Pero, al considerar si un determinado protocolo de investigación clínica es ético, no si debe ser financiado, la evaluación se centra apropiadamente en que si éste tiene algún valor social.

2. Validez científica

Incluso una investigación valiosa puede ser mal diseñada o realizada, produciendo resultados científicamente poco confiables o inválidos. En este sentido, la mala ciencia no es ética:

Se puede aceptar como axioma que un estudio con sujetos humanos que ha sido mal o indebidamente diseñado, es decir, que no tiene posibilidad de producir hechos científicos (o sea, observaciones reproducibles) en cuanto al mismo estudio, no es ético... En esencia la validez científica de un estudio en seres humanos es en sí un principio ético (Rutstein, 1969 #12).

Para que un protocolo de investigación clínica sea ético la metodología debe ser válida y prácticamente realizable. O sea, la investigación debe tener un objetivo científico claro, estar diseñada usando principios, métodos y prácticas de efecto seguro aceptados, tener poder suficiente para probar definitivamente el objetivo, un plan de análisis de datos verosímil y debe poder llevarse a cabo (Asociación, 1997 #4) (Freedman, 1987 #11). La investigación que usa muestras, preguntas o evaluaciones estadísticas prejuiciosas, que es de bajo poder, que descuida los extremos o datos críticos, que posiblemente no podría reclutar a suficientes sujetos, etc., no es ética porque no puede generar conocimiento científico válido (Feinstein, 1978 #13).

En las palabras de Freedman, validez es “una condición previa... una exigencia no negociable” (Freedman, 1987 #11). También argumenta que

la validez debe ser un requisito previo al valor porque el valor “presupone validez”. Sin embargo, la determinación de la importancia de una hipótesis puede y debe hacerse antes e independientemente de los métodos de investigación. Una “buena interrogante” puede ser abordada con técnicas de investigación buenas o malas -los malos métodos de investigación no le quitan valor a la interrogante, sólo invalidan los resultados-. Independientemente, la investigación puede ser ética sólo si es tanto valiosa como válida. Ambas cosas son necesarias; ninguna de las dos puede ser ignorada.

La justificación de validez como requisito ético recae sobre los mismos dos principios que se aplican al valor: los recursos limitados y el evitar la explotación. “La investigación inválida es poco ética porque a su vez es un derroche de recursos: investigador, organismo financiador y cualquiera que participe en la investigación” (Freedman, 1987 #11). Más aún, sin validez el estudio no puede generar ningún conocimiento, producir beneficio alguno o justificar el imponer cualquier tipo de riesgo o daño a las personas.

3. Selección equitativa del sujeto

La identificación y selección de los sujetos potenciales, que participarán en una investigación deben ser equitativas. Son cuatro las facetas de este requisito. Una se refiere a asegurar que se seleccionen grupos específicos de sujetos por razones relacionadas con las interrogantes científicas incluidas en la investigación (Investigación, 18 de abril, 1974

#2) (Levine, 1988 #14). Con demasiada frecuencia los sujetos han sido seleccionados, especialmente para una investigación que implicaba riesgos o no ofrecía ningún beneficio potencial a los sujetos, debido a que éstos eran “convenientes” o su capacidad de protegerse a sí mismos estaba comprometida, aun cuando personas de grupos menos vulnerables igualmente fáciles de obtener, podrían haber satisfecho los requisitos científicos de la investigación. Por ejemplo, se ha sugerido que en algunos de los experimentos de radiación en seres humanos se seleccionaron como sujetos a niños retrasados mentales en lugar de niños de inteligencia normal, porque era fácil disponer de ellos y eran menos capaces de hacer valer sus derechos (Experimentos, 1996 #15). Una selección equitativa de sujetos requiere que sea la ciencia y no la vulnerabilidad -o sea, el estigma social, la impotencia o factores no relacionados con la finalidad de la investigación- la que dicte a quién seleccionar como probable sujeto.

Segundo, una selección equitativa de sujetos requiere que a todos los grupos se les ofrezca la oportunidad de participar en la investigación a menos que existan buenas razones científicas o de riesgo que restringiesen su elegibilidad (Investigación, 18 de abril, 1974 #2). La investigación con potencial de beneficios sustanciales para los sujetos no debería estar reservada sólo para grupos favorecidos, los adinerados, los varones, ciertos grupos raciales, etc. Sin embargo, sería justo restringir la participación de algunos grupos en un protocolo de investigación clínica, si eso los expusiera a riesgos significativamente mayores.

Tercero, la selección de sujetos puede considerarse equitativa sólo

cuando aquellos que se reclutan como sujetos estén en condiciones de beneficiarse si la investigación proporciona un resultado positivo, como ser un nuevo tratamiento. En este sentido, la selección equitativa de sujetos debe tomar en cuenta si los resultados de la investigación pudieran ser de valor real para los grupos que están reclutándose para participar en la investigación. De igual manera, si los resultados de la investigación tienen la probabilidad de ser aplicados a la salud y el bienestar de grupos específicos, entonces la selección equitativa de los sujetos requiere que estos grupos sean elegibles para participar en el estudio a menos que hubieran buenas razones científicas o algún potencial de daño para excluirlos; la eficiencia no puede anular la equidad en el reclutamiento de sujetos. Por ejemplo, si una droga o procedimiento tiene probabilidad de ser consumido por mujeres o niños si se demuestra que es seguro y eficaz, entonces la equidad requiere que no se les excluya de la investigación clínica o intervención del medicamento. En realidad, parte de la razón fundamental de las recientes iniciativas de incluir más a mujeres, minorías y niños en la investigación clínica es asegurar que se les incluya como sujetos en la investigación clínica de las intervenciones que puedan eventualmente recibir.

Finalmente, hay una interacción dinámica entre la selección equitativa de los sujetos y la garantía de una razón de riesgo-beneficio apropiada. La selección de sujetos debe estar diseñada para reducir al mínimo los riesgos para los sujetos a la vez que se maximizan los beneficios sociales y científicos de los resultados de la investigación. La elegibilidad de algunos sujetos puede basarse en los objetivos científicos del estudio, pero, puede

que la participación los ponga en situación considerable de riesgo de ser afectados o de empeorar su afección. De igual manera, algunos sujetos pueden tener una oportunidad significativamente inferior de beneficiarse de la investigación clínica en comparación con otros sujetos potenciales. La exclusión de tales sujetos podría considerarse equitativa.

La selección equitativa de sujetos se justifica por el principio de la equidad distributiva, el concepto de que los beneficios y las cargas de la vida social deben ser distribuidos equitativamente. Las personas que asumen los riesgos de ser afectadas deben también recibir los beneficios producidos por la cooperación social y las actividades como la investigación clínica. Las oportunidades de recibir los beneficios potenciales que son producidos por actividades sociales deben estar abiertas a todos, especialmente a aquellos a los que se les pidió correr el riesgo, en tanto que los riesgos y afecciones no deben ser relegados a los marginados, estigmatizados, indefensos o pobres (Beauchamp, 1994 #16). La esencia de la equidad en la investigación en sujetos humanos es que la necesidad científica guíe la selección de los sujetos y que los criterios de elegibilidad usados sean los más amplios posibles compatibles con la interrogante de la investigación científica que se investiga y el intento de reducir al mínimo los riesgos de la investigación.

4. Proporción favorable de riesgo-beneficio

La investigación en sujetos humanos puede implicar considerables riesgos y beneficios. Aunque inherente a la investigación, el grado de riesgo

y beneficio es incierto, con mayor incertidumbre aún en las primeras etapas. La investigación clínica puede justificarse sólo cuando: 1) los riesgos potenciales a los sujetos individuales se minimizan, 2) los beneficios potenciales a los sujetos individuales o a la sociedad se maximizan, y 3) los beneficios potenciales son proporcionales o exceden a los riesgos asumidos. Todos los riesgos son sobrellevados por los individuos, si bien pueden resultar en algún beneficio potencial, el beneficio principal es para la sociedad. Por lo tanto, al sopesar los riesgos y los beneficios hay dos comparaciones: 1) riesgos y beneficios potenciales para los sujetos, y 2) riesgos para los sujetos comparados con beneficios para la sociedad. En general, cuanto más probable y/o severo el potencial de riesgo, mayor debe ser la probabilidad y/o magnitud de los beneficios anticipados; por el contrario, la investigación que implique menor probabilidad y/o severidad en riesgos potenciales puede tener beneficios potenciales más inciertos y/o circunscritos.

Obviamente, el concepto de “proporcionalidad” y “extralimitación” de los riesgos y beneficios son metafóricos. Las personas habitualmente comparan los riesgos y los beneficios por sí mismas para decidir si uno excede el otro. La ausencia de una fórmula matemática para determinar cuándo el balance de riesgos y beneficios es proporcional no connota que tales juicios sean intrínsecamente fortuitos o subjetivos. Las evaluaciones sobre la calidad de los libros o de las películas no son cuantificables, pero tampoco se trata sólo de gustos; éstas acarrearán juicios basados en estándares compartidos. Asimismo, el requerimiento de que el castigo debe concordar con el crimen o las recompensas reflejar la contribución ha generado

normas compartidas sin algoritmos cuantificables. De igual manera, las evaluaciones de los riesgos y beneficios de la investigación son juicios que pueden implicar normas explícitas basadas en un delineado sistemático, sobre la base de datos existentes, de los tipos potenciales de daños y beneficios, su probabilidad de ocurrir y sus consecuencias a largo plazo.

La determinación de cuándo los riesgos potenciales a sujetos individuales exceden el potencial de los beneficios a la sociedad acarrea comparaciones interpersonales que, tanto conceptual como prácticamente, son muy difíciles y se acercan mucho a la explotación. Aunque tal comparación es inherente a toda investigación clínica, es particularmente exagerada en la Fase I de la investigación durante la cual no se espera ningún beneficio para el individuo. Mientras que los individuos por lo general no sopesan cuándo los riesgos que corren se traducen en beneficios para la sociedad, los responsables de las políticas habitualmente sí hacen tales comparaciones. La exhortación a acercamientos utilitarios hacia la maximización es muy polémica; no existe un marco determinado sobre cómo se deben “balancear” los beneficios sociales contra los riesgos individuales. No obstante, estas decisiones se toman, y son los investigadores y los Comités de Evaluación Institucional los obligados a tomarlas.

Este requisito incorpora los principios de no-maleficencia y beneficencia, por largo tiempo reconocidos como los principios fundamentales de la medicina, en la investigación clínica (Beauchamp, 1994 #16) (Levine, 1988 #14). El principio de no maleficencia sostiene que

no se debe causar daño a una persona. Esto justifica la necesidad de reducir al mínimo los riesgos de la investigación. El principio de la beneficencia “se refiere a la obligación moral de actuar en beneficio de otros” (Beauchamp, 1994 #16). En la investigación clínica, esto se traduce en la necesidad de maximizar los beneficios de la investigación tanto para el sujeto individual como para la sociedad. Se requiere tener la seguridad de que los beneficios exceden los riesgos por la necesidad de evitar la explotación de las personas.

5. Evaluación independiente

Los investigadores tienen potencial de conflicto de intereses. Aun los investigadores bien intencionados tienen múltiples intereses legítimos - interés en realizar una buena investigación, en completar la investigación rápidamente, en proteger a los sujetos de la investigación, en obtener financiamiento y en avanzar sus carreras, etc. Estos intereses diversos pueden involuntariamente distorsionar y minar sus juicios en lo referente al diseño y la realización de la investigación, al análisis de los datos, así como a su adherencia a los requisitos éticos (Thompson, 1993 #17). Su deseo de finalizar un estudio rápidamente puede llevarlos a utilizar métodos científicos dudosos y de ese modo comprometer la validez de la investigación, o al uso de sujetos fácilmente disponibles en lugar de aplicar criterios más justos en la selección de éstos; su compromiso con el proyecto de investigación puede conducirlos a enfatizar demasiado los beneficios potenciales y desestimar el potencial de daño a los sujetos. Una manera común de reducir al mínimo el impacto potencial de ese tipo de prejuicios

es la evaluación independiente, haciendo que la investigación clínica sea revisada por peritos apropiados que no estén afiliados al estudio y que tengan autoridad para aprobar, enmendar o, en casos extremos, cancelar la investigación.

Una segunda razón para la evaluación independiente de la investigación clínica es la responsabilidad social. La investigación clínica impone riesgos a los sujetos en beneficio de la sociedad. Aún más, los presuntos sujetos de futuros proyectos de investigación son miembros de la sociedad. La evaluación independiente del cumplimiento con los requisitos éticos, de un estudio o investigación, garantiza a la sociedad que las personas inscritas para los ensayos serán tratadas éticamente y no sólo como meros medios. Con esta evaluación, los miembros de la sociedad pueden estar confiados de que no se van a beneficiar del mal uso de otros seres humanos y que, si se inscriben para la investigación clínica, serán tratados éticamente.

En los Estados Unidos, la evaluación independiente de los proyectos de investigación se hace a través de grupos múltiples: los organismos donantes, las Juntas Institucionales de Revisión locales (IRB), las Juntas de Monitoreo de Datos y Seguridad (DSMB). La responsabilidad de la evaluación de cada requisito no siempre es clara y en algunos casos se superpone. Para las instituciones que reciben apoyo del Departamento de Salud y Servicios Sociales existe un organismo gubernamental, la Oficina para la Protección de Riesgos en la Investigación (OPRR), que supervisa y reglamenta los Comités de Evaluación Institucional. Hay otras maneras

válidas de garantizar la evaluación y revisión independiente de los protocolos de investigación clínica, algunos de los cuales se han probado en otros países.

6. Consentimiento informado

La finalidad del consentimiento informado es asegurar que los individuos participan en la investigación clínica propuesta sólo cuando ésta es compatible con sus valores, intereses y preferencias. Los requisitos específicos del consentimiento informado incluyen la provisión de información sobre la finalidad, los riesgos, los beneficios y las alternativas a la investigación, una debida comprensión por parte del sujeto de esta información y de su propia situación clínica, y la toma de una decisión libre no forzada sobre si participar o no (Applebaum, 1987 #18) (Faden, 1986 #19). Cada uno de estos elementos es necesario para asegurar que los individuos tomen determinaciones racionales y libres sobre si el ensayo de investigación se conforma a sus intereses.

El consentimiento informado se justifica por la necesidad del respeto a las personas y a sus decisiones autónomas (Investigación, 18 de abril de 1979 #2) (Levine, 1988 #14; Faden, 1986 #19; Beauchamp, 1994 #16; Applebaum, 1987 #18). Cada persona tiene un valor intrínseco debido a su capacidad de elegir, modificar y proseguir su propio plan de vida. Inscribir a individuos en investigaciones clínicas sin su autorización es tratarlos como medios hacia un fin con el cual pudieran no estar de acuerdo, infringiendo de esa forma su valor intrínseco y su autonomía. Permitiéndole

al individuo decidir si -y cómo quiere contribuir a la investigación, el consentimiento informado respeta a la persona y su autonomía.

7. Respeto a los sujetos inscritos

Los requisitos éticos para la investigación clínica no concluyen cuando los individuos firman el formulario de consentimiento informado y se inscriben en la investigación. Los sujetos deben continuar siendo tratados con respeto mientras participan en la investigación clínica. El respeto a los sujetos inscritos implica al menos cinco actividades diferentes. Primero, el respeto incluye permitir al sujeto cambiar de opinión, decidir que la investigación no concuerda con sus intereses o preferencias, y a retirarse sin sanción. Segundo, ya que se recopilará información sustancial sobre los sujetos inscritos, su privacidad debe ser respetada administrando la información de acuerdo con reglas de confidencialidad. Tercero, durante el curso de la investigación clínica, se pueden obtener datos nuevos, información acerca de los riesgos y beneficios de las intervenciones utilizadas. El respeto requiere que a los sujetos inscritos se les proporcione esta nueva información. Por ejemplo, cuando los documentos de consentimiento informado se modifican para incluir riesgos o beneficios adicionales descubiertos en el curso de la investigación, los sujetos inscritos también deben ser informados de estos nuevos datos. Cuarto, en reconocimiento a la contribución de los sujetos a la investigación clínica, debe haber algún mecanismo para informarlos sobre los resultados y lo que

se aprendió de la investigación clínica. Quinto, el bienestar del sujeto debe vigilarse cuidadosamente a lo largo de su participación por si experimenta reacciones adversas o suceden eventos adversos severos, a fin de proporcionarle un tratamiento apropiado y, si es necesario, retirarlo de la investigación.

Estas diferentes actividades pueden aparecer como una aglomeración de protecciones no relacionadas. Permitirle retirarse o proporcionar al sujeto información sobre nuevos beneficios y riesgos, puede parecer adecuadamente integral al proceso de consentimiento informado. Sin embargo, muchas personas, especialmente los investigadores y los sujetos, creen que el proceso de consentimiento informado concluye al inscribirse. Esta creencia se ve reforzada por la forma en que la evaluación independiente generalmente recalca el documento y rara vez analiza el proceso de consentimiento y el tratamiento de los sujetos una vez que son participantes. Por consiguiente, este conjunto de protecciones se entiende mejor como el tratamiento sensible que se debe proporcionar a los sujetos después de haber firmado los documentos de consentimiento informado. Estas cinco protecciones hacen recordar a los investigadores, a los sujetos, a los revisores y a otros que la investigación clínica ética requiere que se cumplan los requisitos no sólo antes de comenzar la investigación; este requisito recalca la importancia del monitoreo continuo para velar por los intereses de los sujetos inscritos.

El respeto por los sujetos inscritos se justifica por múltiples principios incluida la beneficencia, el respeto por las personas y el respeto a la

autonomía. Por ejemplo, permitirles a los sujetos retirarse de la investigación y proporcionarles la información adicional que resulta de la investigación, son aspectos claves de respeto a su autonomía. La protección de su confidencialidad y el monitoreo de su bienestar están motivados por la beneficencia.

Anexo 2:

Consentimiento informado

“Comparación de la fatiga de la musculatura inspiratoria ante un ejercicio de esfuerzo máximo entre sujetos deportistas y sedentarios de la universidad de Talca 2019”

Patrocinante: Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Talca.

Estimado Sr. (Sra., Srta.): El propósito de este documento es entregarle toda la información necesaria para que Ud. pueda decidir libremente si desea participar en la **INVESTIGACIÓN** que se le ha explicado verbalmente, y que a continuación se describe en forma resumida:

Resumen del proyecto:

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>OBJETIVO: Determinar las diferencias en la fatiga de la musculatura inspiratoria frente a un ejercicio máximo entre sujetos</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

jóvenes sedentarios y futbolistas pertenecientes a la universidad de Talca durante el año 2019.

PROCEDIMIENTOS:

La escuela de kinesiología de la Universidad de Talca te está invitando a participar en una investigación sobre la fatiga de la musculatura inspiratoria.

Esta investigación consiste en comparar la fatiga de la musculatura inspiratoria ante un ejercicio de esfuerzo máximo entre 2 grupos, sujetos deportistas y sedentarios de la Universidad de Talca 2019. Esto consiste en unas series de evaluaciones que serán realizadas sólo una vez durante el estudio y culminará con una prueba de esfuerzo máximo que producirá fatiga y se cuantificará.

En el estudio, se te realizarán evaluaciones de control que consisten en la estimación de manera indirecta de tu *Consumo Máximo de Oxígeno* para lo cual deberás realizar una prueba clínica llamada Test de Cajón de Astrand, que consiste en subir y bajar un escalón de 20 cms. A una frecuencia 20 veces en 1 minuto hasta que la frecuencia cardiaca se estabilice (que no cambie más de 3 latidos entre un minuto y otro). Luego se aplica una segunda carga cambiando la altura del cajón (25 cms) y la frecuencia de subida (25 veces) hasta que la frecuencia cardiaca se estabilice. Obtenidas ambas frecuencias cardíacas se lleva a una fórmula para estimar VO_2 máx. Se considerará capacidad cardiorrespiratoria aceptable al valor $\geq 36,5$ ml/kg/min de Oxígeno para Hombres y de $\geq 29,0$ ml/kg/min de Oxígeno en mujeres. Te hacemos esta prueba para comprobar que estás con una condición cardiorrespiratoria

que no implique un riesgo al hacer ejercicio. En caso de que tus valores sean menores, implica que tu sedentarismo está limitando tu capacidad aeróbica y debes ser revisado por un médico antes de comenzar con un programa de ejercicio físico. En ese caso serás derivado al servicio médico estudiantil y una vez evaluado por médico se te ofrecerá la posibilidad de ingresar al programa de rehabilitación cardiorrespiratoria que se lleva a cabo en la clínica kinésica de la universidad.

Además, deberás contestar un cuestionario para medir tu nivel de actividad física, este lo puedes llevar a tu casa y lo puedes devolver contestado antes de comenzar la investigación. Este cuestionario nos sirve para identificar si clasificas como sedentario o no, según las actividades que realizas en el día y el gasto energético que ello implica.

Una vez realizadas estas evaluaciones de control, te realizaremos las siguientes evaluaciones:

Presión inspiratoria máxima (PIM): se utilizará un pimómetro digital como el que muestra la figura, la prueba consiste en respirar tranquilo durante 2 a 3 veces, luego eliminar lentamente todo el aire y desde ahí inspirar (tomar aire) lo más fuerte que puedas. Vas a tener una pinza en la nariz y cuando tomes aire el pimómetro registrará cuánta presión haces al inspirar. Esto dura 2 segundos. Se realizan 5 repeticiones y se registra el mayor valor obtenido. Esta prueba sirve para medir la fuerza que tienen tus músculos inspiratorios.

Test de carga incremental en bicicleta. Esto nos permite medir tu máxima capacidad de ejercicio, pero en una respuesta integrada que incluye

tus músculos respiratorios, pero también tus músculos periféricos; es decir de las piernas. La prueba consiste en pedalear sobre una bicicleta a 50 revoluciones por minuto (rpm). Durante los 3 primeros minutos se pedalea sin carga, luego de ese tiempo iremos subiendo la carga de la bicicleta 0,5 kilopodio que equivalen a 20 watts cada 2 minutos hasta que tú nos indiques que ya no puedes más porque estás muy cansado o no puedas mantener las 50 rpm porque la bicicleta está muy pesada. Te estaremos controlando tu frecuencia cardíaca con un monitor durante toda la prueba, la presión arterial cada 5 minutos y la sensación de cansancio cada 2 minutos.

Finalmente, realizaremos un test para medir la disminución transitoria de la fuerza de la musculatura respiratoria, éste consistirá en utilizar el 85% de la máxima carga que alcanzaste en el test incremental y deberás sostenerla hasta que tú nos indiques que no puedes más; ya sea porque sientes que las piernas están muy cansadas y no te permite continuar pedaleando o que aparezca la sensación de cansancio que te moleste al entrar aire (disnea). Se controlarán cada 2 minutos tu frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y percepción de esfuerzo mediante la escala de Borg y además la presión arterial cada 5 minutos. Antes e inmediatamente finalizado el test mediremos la Pimax para registrar la caída de ésta después de realizar este tipo de ejercicio. Además, seguiremos midiendo la pimax a las 5, 10 y 15 minutos posteriores al ejercicio. La literatura científica avala que la recuperación total de la fuerza se hace a entre los primeros 5 minutos de terminada la prueba.

BENEFICIOS: La evidencia científica actual indica que la fatiga muscular inspiratoria es transversal para cualquier población estudiada,

está investigación aporta al realizarse en poblaciones distintas y al aplicar un test de esfuerzo máximo creado por las investigadoras, que puede servir para futuras investigaciones.

RIESGOS: No existe evidencia que demuestre que la realización de un ejercicio de esfuerzo máximo presente riesgos para la salud de los individuos sanos que la practican, al ser músculos que están activos constantemente resisten muy bien cuando son solicitados; solo se puede reportar algunos síntomas al realizar las evaluaciones como: mareos, la “sensación de cansancio en el pecho”, que se soluciona con dejar de hacer el esfuerzo o que “se tapan los oídos” al hacer el esfuerzo inspiratorio. En todo caso siempre estará contigo algún responsable de la investigación para solucionar cualquier molestia que se pudiese estar presentando.

COSTOS: En esta investigación no hay un costo asociado para ti, y todos los materiales serán facilitados por la Escuela de Kinesiología de la Universidad de Talca.

En caso de que usted sufra alguna complicación durante el transcurso de la presente investigación y que sea causada **directamente** por su participación en ésta, significándole **gastos extras**, no considerados habitualmente dentro de sus gastos, **los investigadores asumirán la totalidad de dichos costos.**

COMPENSACIONES: No se dará compensación y/o devuelta de dinero por concepto de alimentación, pasajes u otros, por parte de los investigadores ni profesor tutor ni Universidad de Talca.

CONFIDENCIALIDAD: Los datos obtenidos serán exclusivamente utilizados con fines científicos y en ningún momento se darán a conocer los nombres de los participantes y sus resultados a terceros, resguardando por completo tu identidad. Estos resultados serán almacenados en un disco duro perteneciente al investigador principal por un plazo máximo de 1 año. Al momento de la presentación de los resultados obtenidos en el estudio no se publicarán los nombres de los participantes. Una vez terminado el estudio se te informarán sobre tus resultados a través de un informe y entrevista personal con el investigador principal.

COMUNICACIÓN CON EL INVESTIGADOR: En caso de cualquier duda, consulta, reclamo u otro, debes dirigirte al Laboratorio de Función Cardiorrespiratoria ubicado en la Clínica de Kinesiología en el campus Lircay de la Universidad de Talca, entre los horarios 10:00 a 13:00 horas de lunes a viernes para conversar con la Kinesióloga Carmen Gloria Zambrano, o en su correo electrónico czambrano@utalca.cl.

También puedes contactarte con el Comité Ético Científico de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Talca, a través de la académica Claudia Donoso, correo electrónico comitefacultad@utalca.cl

Estimado participante recuerda que la decisión de participar es **absolutamente suya**. Puede **aceptar o rechazar** la investigación, e incluso **arrepentirse** de su primera decisión, sin **ninguna repercusión** para usted ni para la continuidad de su tratamiento.

Puede tomar el tiempo que estime conveniente antes de tomar la decisión, puede consultar este documento si lo estima necesario con su familia, amigos u otra persona y puede también ser acompañado por alguien de confianza si lo desea.

DECLARACIÓN

He recibido una explicación satisfactoria sobre el propósito de la investigación, así como de los beneficios sociales o comunitarios que se espera éstos produzcan.

He sido informado/a sobre las eventuales molestias, incomodidades y riesgos de mi participación en la investigación.

He sido también informado/a que los procedimientos que se realicen no implican un costo que yo deba asumir. Mi participación en el procedimiento no involucra un costo económico alguno que yo deba solventar (hacerme cargo).

Estoy en pleno conocimiento que la información obtenida con la actividad en la cual participaré será absolutamente confidencial, esto significa que sólo el equipo investigador tendrá acceso a mis datos y nadie más. En caso de que la información obtenida del estudio sea publicada ésta

se mantendrá anónima, lo que significa que no aparecerá ningún dato con el que puedan identificarme en libros, revistas y otros medios de publicidad derivadas de la investigación ya descrita.

Sé que la decisión de participar en esta investigación es absolutamente voluntaria. Si no deseo participar en ella, o una vez iniciada la investigación no deseo seguir colaborando, puedo hacerlo sin problemas y sin tener que dar ninguna explicación. Para esto último sólo debo presentarme en laboratorio cardiorrespiratorio ubicado en las dependencias de la Clínica de Kinesiología de la Universidad de Talca campus Lircay, entre los horarios lunes desde 15.30 a 17.40 hrs), con la Kinesióloga Jessica Espinoza para firmar la hoja de revocación.

Adicionalmente, las investigadoras responsables Carolina Acuña González, Javiera Arce Molina, Elisabet Retamal Leiva y Jacqueline Rodríguez Ruiz han manifestado su voluntad de aclarar cualquier duda que me surja, antes, durante y después de mi participación en la actividad..

También en caso de dudas sobre aspectos bioéticos de la presente investigación puedo contactarme con el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias de la Salud, a través de Sr. Javier Barra, email: jbarra@utalca.cl. comitedebioetica@utalca.cl. Teléfono 71-2-200484. Lunes a jueves: de 10:00-12:00 y de 15:00 a 17:00 horas.

ACEPTACIÓN:

He leído el documento, entiendo las declaraciones contenidas en él y la necesidad de hacer constar mi consentimiento, para lo cual lo firmo libre y voluntariamente, recibiendo en el acto copia de este documento ya firmado.

Yo,, Cédula de identidad o pasaporte N°....., de nacionalidad, mayor de edad, con domicilio en
..... **Consiento** en participar en la investigación denominada: **“Comparación de la fatiga de la musculatura inspiratoria ante un ejercicio de esfuerzo máximo entre sujetos deportistas y sedentarios de la Universidad de Talca 2019”** y **autorizo** a la Sra. Carmen Gloria Zambrano investigador responsable del proyecto y/o a quienes éste designe como sus colaboradores directos y cuya identidad consta al pie del presente documento, para realizar el (los) procedimiento (s) requerido (s) por el proyecto de investigación descrito.

Fecha:/...../.....

Hora:

Firma de la persona que consiente

Investigador responsable:

Carmen Zambrano: _____

| Nombre | Firma |
|------------------------------------------------|-------|
| Co-investigador 1: <u>Carolina Acuña</u> | _____ |
| Nombre | Firma |
| Co-investigador 2: <u>Javiera Arce</u> | _____ |
| Nombre | Firma |
| Co-investigador 3: <u>Elisabet Retamal</u> | _____ |
| Nombre | Firma |
| Co-investigador 4: <u>Jacqueline Rodríguez</u> | _____ |
| Nombre | Firma |

RECHAZO

He leído el documento, entiendo las declaraciones contenidas en él. Sin embargo, rechazo otorgar mi consentimiento, para lo cual firmo libre y voluntariamente el siguiente documento, recibiendo en el acto copia de este ya firmado.

Yo,.....
, Cédula de identidad o pasaporte N°....., de

nacionalidad....., mayor de edad, con domicilio en

 **No Consiento** en participar en la investigación denominada:
**“Comparación de la fatiga de la musculatura inspiratoria ante un
 ejercicio de esfuerzo máximo entre sujetos deportistas y sedentarios de
 la universidad de Talca 2019”**, y **no autorizo** a la Sra. Carmen Gloria
 Zambrano, investigador responsable del proyecto y/o a quienes éste designe
 como sus colaboradores directos y cuya identidad consta al pie del presente
 documento, para realizar el (los) procedimiento (s) requerido (s) por el
 proyecto de investigación descrito.

Fecha:/...../.....

Hora:

Firma de la persona que consiente: _____

Investigador responsable: Carmen Zambrano _____

Nombre

Firma

Co-investigador 1: Carolina Acuña _____

Nombre

Firma

Co-investigador 2: Javiera Arce _____

Nombre

Firma

Coinvestigador 3: Elisabet Retamal _____

Nombre

Firma

Coinvestigador 4: Jacqueline Rodríguez _____

Nombre

Firma

REVOCACIÓN

Mediante la presente revoco lo anteriormente firmado, para lo cual firmo este nuevo documento libre y voluntariamente, recibiendo en el acto copia de este documento ya firmado.

Yo,

....., Cédula de identidad o pasaporte N°..... de nacionalidad

....., mayor de edad, con domicilio en

.....

....., **Revoco** lo anteriormente firmado.

Fecha:/...../.....

Hora:

Firma de la persona que consiente: _____

| | |
|--------------------------------------------------------|-------|
| Investigador responsable: <u>Carmen Zambrano</u> _____ | |
| Nombre | Firma |
| Co-investigador 1: <u>Carolina Acuña</u> _____ | |
| Nombre | Firma |
| Co-investigador 2: <u>Javiera Arce</u> _____ | |
| Nombre | Firma |
| Co-investigador 3: <u>Elisabet Retamal</u> _____ | |
| Nombre | Firma |
| Co-investigador 4: <u>Jacqueline Rodríguez</u> _____ | |
| Nombre | Firma |

Anexo 3. Cuestionario de actividad física (IPAQ)

Cuestionario IPAQ

Las preguntas se referirán acerca del tiempo que usted utilizó siendo físicamente activo(a), en los **últimos 7 días**. Por favor responda cada pregunta aún si usted no se considera una persona activa. Por favor piense en aquellas actividades que usted hace como parte del trabajo, en el jardín y en la casa, para ir de un sitio a otro, y en su tiempo libre de descanso, ejercicio o deporte.

Piense acerca de todas aquellas actividades **vigorosas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Actividades **vigorosas** son las que requieren un esfuerzo físico fuerte y le hacen respirar mucho más fuerte que lo normal. Piense *solamente* en esas actividades que usted hizo por lo menos 10 minutos continuos.

1. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuántos días realizó usted actividades físicas **vigorosas** como levantar objetos pesados, excavar, aeróbicos, o pedalear rápido en bicicleta?

_____ **días por semana.**

Ninguna actividad física vigorosa **Pase a la pregunta 3**

2. ¿Cuánto tiempo total usualmente le tomó realizar actividades físicas **vigorosas** en uno de esos días que las realizó?

_____ **horas por día.**

_____ **minutos por día.**

No sabe / No está seguro.

Piense acerca de todas aquellas actividades **moderadas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Actividades **moderadas** son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado y le hace respirar algo más fuerte que lo normal.

Piense *solamente* en esas actividades que usted hizo por lo menos 10 minutos continuos.

3. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuántos días hizo usted actividades físicas **moderadas** tal como cargar objetos livianos, pedalear en bicicleta a paso regular, o jugar dobles de tenis? No incluya caminatas.

____ **días por semana.**

Ninguna actividad física moderada **Pase a la pregunta 5**

4. Usualmente, ¿Cuánto tiempo dedica usted en uno de esos días haciendo actividades físicas **moderadas**?

____ **horas por día.**

____ **minutos por día.**

No sabe / No está seguro.

Piense acerca del tiempo que usted dedicó a caminar en los **últimos 7 días**. Esto incluye trabajo en la casa, caminatas para ir de un sitio a otro, o cualquier otra caminata que usted hizo únicamente por recreación, deporte, ejercicio, o placer.

5. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuántos días caminó usted por lo menos 10 minutos continuos?

____ **días por semana.**

No caminó **Pase a la pregunta 7**

6. Usualmente, ¿Cuánto tiempo gastó usted en uno de esos días caminando?

____ **horas por día.**

____ **minutos por día.**

No sabe / No está seguro.

La última pregunta se refiere al tiempo que usted permaneció **sentado(a)** en la semana en los **últimos 7 días**. Incluya el tiempo sentado(a) en el trabajo, la casa, estudiando, y en su tiempo libre. Esto puede incluir tiempo sentado(a), leyendo o permanecer sentado(a) o acostado(a) mirando televisión.

7. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuánto tiempo permaneció **sentado(a)** en un **día en la semana**?

_____ **horas por día.**

_____ **minutos por día.**

No sabe / No está seguro.

Este es el final del cuestionario, gracias por su participación.

Anexo 4. Cuestionario de salud del deportista

CUESTIONARIO DE SALUD DEL DEPORTISTA

IMPORTANTE: La información que se solicita en el presente cuestionario es para uso confidencial del proyecto del módulo de instrumentación aplicada a la kinesiología, nombrado como “**Comparación de la fatiga de la musculatura inspiratoria ante un ejercicio de esfuerzo máximo entre sujetos deportistas y sedentarios de la Universidad de Talca 2019**” A cargo de alumnas de 4° año de kinesiología de la universidad de Talca.

DATOS PERSONALES

Nombre y apellido: _____.

Edad:___ Sexo:___ Fecha de nacimiento:___/___/__. Peso:___ Talla: ___.

N° de teléfono: _____.

En caso de urgencia comunicarse con: _____.

N° teléfono: _____.

ANTECEDENTES PERSONALES

Lea las preguntas cuidadosamente y responda SÍ o NO.

(*) Aclare: Hace tiempo, en el último tiempo y/o durante la práctica de actividad física.

1) ¿Tiene problemas cardíacos?, ¿Le han dicho que tiene un soplo cardíaco?

SÍ _____ NO _____

2) ¿Ha tenido una afección cardíaca o lo derivaron a un cardiólogo por alguna razón?

SÍ _____ NO _____

3) ¿Tiene o ha tenido dolor en el pecho o presión? (*)

SÍ _____ NO _____

_____.

4) ¿Tiene asma?

SÍ _____ NO _____

5) ¿Suele sentirse cansado con facilidad, fatigado o debe detener el ejercicio? (*)

SÍ _____ NO _____

_____.

6) ¿Ha tenido presión alta alguna vez? (*)

SÍ _____ NO _____

_____.

7) ¿Ha tenido o tiene con el ejercicio palpitaciones, nauseas o desmayos?

SÍ _____ NO _____

8) ¿Toma medicamentos, esteroides, anabólicos u otros, ¿cuáles?

SÍ _____ NO _____

_____.

9) ¿Tiene alguna enfermedad neurológica?

SÍ _____ NO _____

10) ¿Tiene otro factor de riesgo¹ cardiovascular (colesterol alto, diabetes, obesidad, estrés, tabaquismo, sedentarismo)? Mencione cuál/les.

SÍ _____ NO _____

_____.

11) ¿Tiene problemas articulares, óseos, dolencias, lesiones previas en huesos o articulaciones? Mencione cuál/les.

SÍ _____ NO _____.

_____.

12) ¿Existe algún otro problema o enfermedad no mencionada aquí que debiera confiarnos?

SÍ _____ NO _____

_____.

¹ **factor de riesgo:** circunstancia o situación que aumenta las probabilidades de daño. Valor preventivo.

HÁBITOS

1) ¿Realiza habitualmente Actividad Física o Deportes, ¿cuáles?

SÍ _____ NO _____

_____.

2) ¿Días y horas por semana?

_____.

3) ¿Recreativo, federado² o alto rendimiento³?

_____.

4) ¿Fuma cigarrillos u otros, ¿cuántos por día?

SÍ _____ NO _____

_____.

5) ¿Toma alguna medicación en forma habitual, ¿cuál?

SÍ _____ NO _____

_____.

6) ¿Ha tenido lesiones musculoesqueléticas en los últimos 6 meses?, ¿Cuándo?,
¿Dónde?

SÍ _____ NO _____

_____.

7) ¿Ha recibido tratamiento por alguna patología emocional?

SÍ _____ NO _____

_____.

8) ¿Ha sido intervenido con procesos quirúrgicos y/o se encuentra en etapa post
quirúrgica?

SÍ _____ NO _____

_____.

² deporte Federado: Participación programas de entrenamiento deportivo con cronogramas de competencia local o provincial que no superen las cuatro

sesiones de entrenamiento semanal, con objetivos de rendimiento físico y deportivo.

³ deporte recreativo: Participación en todo tipo de ejercicio físico sin tener objetivos de desarrollo de capacidades condicionadas (fuerza, resistencia, velocidad) ni objetivos de competencias en campeonatos organizados por federaciones.

ANTECEDENTES FAMILIARES (HERMANOS, PADRES, ABUELOS)

1) ¿Algún familiar ha muerto en forma prematura (menor a 50 años)?
Especifique.

SÍ _____ NO _____

_____.

2) ¿Algún miembro de su familia padece de arritmias, síndrome de QT largo, hipertrofia cardíaca, síndrome de Marfan u otro? Especifique.

SÍ _____ NO _____

_____.

3) ¿Algún miembro de su familia sufrió un accidente cerebrovascular (ACV)?
Especifique.

SÍ _____ NO _____

_____.

4) ¿Algún miembro de tu familia sufre de tensión arterial alta (HTA)?
Especifique.

SÍ _____ NO _____

5) ¿Algún miembro de tu familia sufre de Diabetes? Especifique.

SÍ _____ NO _____

6) ¿Algún miembro de su familia presenta Dislipemia⁴? Especifique.

SÍ _____ NO _____

7) ¿Otra enfermedad? Especifique.

SÍ _____ NO _____

⁴ dislipemia: Alteración en los niveles normales de lípidos plasmáticos (fundamentalmente colesterol y triglicéridos).

Anexo 5: Protocolo de Test de Astrand modificado

Esta evaluación se utiliza para determinar el VO_2 máximo indirecto. El VO_2 máx. es la cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo. Es un test que se asocia a la capacidad cardiorrespiratoria, que es uno de los principales componentes de la condición física relacionada con la salud. Éste es el reflejo de una condición física saludable y también un potente predictor de la mortalidad.

La evaluación es considerada como prueba indirecta y se basa en la relación lineal que existe entre la frecuencia cardíaca (FC) como indicador de la intensidad de ejercicio y el consumo de oxígeno (VO_2) (Gilman 1996), lo que permite estimar este último parámetro, aunque con menor exactitud en comparación con la prueba de VO_2 máx. directo.

Dada la complejidad y el costo de los procedimientos involucrados en la medición del VO_2 máx. de forma directa, como la alta exigencia física que demanda este tipo de evaluación, en la mayoría de los casos el VO_2 máx. se estima utilizando los métodos indirectos, lo cual fue en el caso de este estudio. La estimación del VO_2 máx. utilizando los métodos indirectos, se basa en la relación entre la velocidad de la carrera, caminata o subida en escalón y su costo energético, de igual forma en la relación entre la frecuencia cardíaca, la carga de trabajo y el VO_2 . Los valores se expresan en $\text{mL} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$. En base a los resultados se ubica al paciente en una categoría determinada según la edad, sexo y puntaje obtenido. Las

clasificaciones finales del test son: muy pobre, mala, suficiente, buena, excelente y superior (figura X). Para participar en esta investigación, fue requisito que cada participante de ambos grupos estudiados debían alcanzar como mínimo la categoría “buena”.

Para la evaluación, inicialmente al sujeto se le instaló un polar (Banda Cardíaca H10 HR Sensor Polar) con su respectivo reloj de muñeca para tener el registro exacto en todo momento de la FC, que es el valor que se mide durante la realización de esta prueba. Luego de instalar los dispositivos se sentó al paciente y se dejó descansar durante 5 minutos para que sus signos vitales se estabilizaran y los resultados fueran más certeros, luego se tomó el registro de su FC inicial en reposo para así tener de referencia este valor durante la prueba y se calculó su FC máx. con la Fórmula de Karvonen ($220 - \text{edad}$) para así conocer el límite de su rendimiento físico a través de este parámetro. Se utilizó un metrónomo a una cadencia de 90 pulsaciones por minuto, para marcar el ritmo que debía seguir cada sujeto, la prueba consiste en subir y bajar un cajón de 19 cm (subir el pie derecho, subir el pie izquierdo, bajar con pie derecho y bajar con pie izquierdo), se llevó registro de la FC durante cada minuto y la prueba se considera finalizada cuando ocurre la estabilización de la FC, es decir, no había una diferencia mayor a 3 pulsaciones por minuto entre un minuto y otro. Una vez terminado el primer intento, se dejó descansar durante 5 minutos y se realizó nuevamente la prueba, bajo los mismos parámetros y procedimientos, pero esta vez con un cajón de 22,5 cm., donde la cadencia aumenta a 110 pulsaciones por minuto y las condiciones de finalización de la evaluación seguían siendo las mismas.

Al concluir la prueba se realizó la interpretación del test según los valores obtenidos.

| Categoría | Edad, a | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 13-19 | 20-29 | 30-39 | 40-49 | 50-59 | 60+ |
| Hombres | | | | | | |
| 1. Muy pobre | <35.0 | <33.0 | <31.5 | <30.2 | <26.1 | <20.5 |
| 2. Mala | 35.0-38.3 | 33.0-36.4 | 31-35.4 | 30.2-33.5 | 26.1-30.9 | 20.5-26.0 |
| 3. Suficiente | 38.4-45.1 | 36.5-42.4 | 35.5-40.9 | 33.6-38.9 | 31.0-35.7 | 26.1-32.2 |
| 4. Buena | 45.2-50.9 | 42.5-46.4 | 41.0-44.9 | 39.0-43.7 | 35.8-40.9 | 32.3-36.4 |
| 5. Excelente | 51.0-55.9 | 46.5-52.4 | 45.0-49.4 | 43.8-48.0 | 41.0-45.3 | 36.5-44.2 |
| 6. Superior | >56.0 | >52.5 | >49.5 | >48.1 | >45.4 | >44.3 |
| | | | | | | |
| | Edad, a | | | | | |
| Mujeres | 13-19 | 20-29 | 30-39 | 40-49 | 50-59 | 60+ |
| 1. Muy pobre | <25 | <23.6 | <22.8 | <21.0 | <20.2 | <17.5 |
| 2. Mala | 25.0-30.9 | 23.6-28.9 | 22.8-26.9 | 21.0-24.4 | 20.2-22.7 | 17.5-20.1 |
| 3. Suficiente | 31.0-34.9 | 29.0-32.9 | 27.0-31.4 | 24.5-28.9 | 22.8-26.9 | 20.2-24.4 |
| 4. Buena | 35.9-38.9 | 33.0-36.9 | 31.5-35.6 | 29.0-32.8 | 27.0-31.4 | 24.5-30.2 |
| 5. Excelente | 39.0-41.9 | 37.0-40.0 | 35.7-40.0 | 32.9-36.9 | 31.5-35.7 | 30.3-31.4 |
| 6. Superior | >42.0 | >41.0 | >40.1 | >37.0 | >35.8 | >31.5 |

Datos de Cooper, K. *The Aerobics Way*, New York: Bantam Books, Inc. 1982.

Figura 4: Clasificación de la capacidad aeróbica (VO₂ máx.) de acuerdo con el sexo y la edad.
Fuente: Cooper, K. The Aerobics Way, New York: Bantam Books, Inc. 1982.

Anexo 6: Protocolo de toma de la Pimax

Es una evaluación no invasiva que permite evaluar la fuerza de la musculatura inspiratoria, principalmente diafragma e intercostales externos ya que son los músculos encargados de la inspiración tranquila. Esta prueba mide la presión en cmH₂O o mmHg, se realiza a través de un medidor de presión respiratoria digital llamado MicroRPM™ (CareFusion, Germany). Es un aparato digital que mide la presión ejercida por la MR, a través de una boquilla por donde atraviesa el flujo de aire en su función de inspiración o espiración, forzada en contra de una vía aérea ocluida (Figura 4). El método más común para la medida de esta presión es el propuesto por Black y Hyatt. La técnica de ejecución se realizó con el paciente en posición sedente, espalda apoyada correctamente en el respaldo de la silla, pies en contacto con el suelo, vía aérea nasal ocluida con una pinza nasal y la boquilla adosada a los labios, sin permitir filtración de aire por los costados, posteriormente se le solicitó 2-3 ciclos respiratorios a VC, luego se le indicó que espire lento hasta llegar a volumen residual, desde ahí se le pide una inspiración máxima y rápida manteniendo idealmente algunos segundos. Se considera importante para la validez de cada toma que los sujetos realicen la evaluación correctamente, que no utilice o compense con musculatura facial. Se obtuvo como mínimo tres intentos aceptables y reproducibles donde no se evidenciará una diferencia de más de un 5% entre cada valor y como máximo se realizaron 8 repeticiones, si en el último intento se obtenía un valor mayor

a todos los anteriores se realizaba una nueva maniobra. Entre cada intento el sujeto tuvo 1 minuto de descanso.



Figura 5: Dispositivo Pi y Pemómetro digital Carefusion MicroRPM®.
Fuente: ATS/ERS 2002.

Tabla 6: Presión respiratoria máxima, valores normales y relación entre edad y sexo. Fuente: Black L, Hyatt R.

| | Mujer | Hombre |
|-----|--------------------------------------|-------------------|
| PIM | cmH ₂ O 104-(0.51 x edad) | 143-(0.55 x edad) |
| PEM | cmH ₂ O 170-(0.53 x edad) | 268-(1.03 x edad) |

Anexo 7: Protocolo de Test de carga Incremental (TCI)

Se utilizó este test para determinar la capacidad de ejercicio según el protocolo estandarizado publicado por la SEPAR el año 2001, mediante un cicloergómetro Monark Ergomedic 828 E (figura 6). Permite evaluar la respuesta integrada del organismo a un amplio espectro de intensidades de ejercicio durante un período corto de tiempo. Se efectúa de forma óptima realizando un incremento progresivo de carga hasta llegar al límite de la tolerancia determinado por los síntomas. La prueba de ejercicio de tipo incremental constituye la recomendada para evaluar tanto el perfil de la respuesta biológica durante el ejercicio submáximo como los valores de las variables de interés en el ejercicio máximo (SEPAR, 2001), donde el sujeto debe mantener la carga que va en ascenso, hasta el agotamiento, se lleva registro de la fatiga de MMII y sensación subjetiva de disnea cuantificada a través de la escala de Borg modificada (figura 6), al comienzo, durante y al finalizar el test. Para la realización de esta prueba se debe pedalear a 60 rpm con una carga inicial de 25 watts, luego se debe incrementar la carga en 25 watts por etapa con una duración de 3 minutos cada una, hasta el umbral ventilatorio.

Para la evaluación, inicialmente se le explicó al sujeto en términos simples y generales la realización y finalidad de la prueba en cicloergómetro, se corroboró que no presente alguna de las contraindicaciones de la prueba (anexo 7) y se evaluaron signos vitales en reposo: PA, FC, FR, SaO₂ y glicemia. Se consultó por la sensación de falta de aire (disnea) y sensación

subjetiva de fatiga de miembros inferiores (SSF de MMII) con la escala de Borg modificada para tener valores iniciales referenciales, además de llenar la ficha con la información requerida para llevar a cabo el TCI (nombre, peso, talla, edad, sexo), por otra parte, se instala un dispositivo (Banda Cardíaca H10 HR Sensor Polar) más reloj de muñeca para controlar signos vitales. La evaluación comienza luego de ajustar correctamente el asiento del cicloergómetro ubicándolo a la altura del trocánter mayor, corroborando que estuviera asegurado el pie en el pedal y que la carga de trabajo estuviera en 0 Kp, a un nivel de carga donde el sujeto se puede desempeñar sin problemas. Inicialmente hay un periodo de 3 minutos sin carga el que sirve de calentamiento, donde el evaluado debía lograr una cadencia de 50 rpm. Cabe destacar que cada 3 minutos se tomaron valores de SaO₂, SSF de MMII, disnea y cada 5 minutos se llevaba registro de la PA. Luego, la carga comienza a subir de forma incremental de 0,25 Kp, cada 2 minutos manteniendo un pedaleo constante de 60 rpm.

La finalización de la prueba se genera al momento en que el paciente alcance el valor de su FC predeterminada o si este experimenta signos y síntomas de intolerancia al ejercicio como disnea y/o SSF de MMII o alguna respuesta hipertensiva. Cuando se identifica algún criterio de finalización del test (Anexo 5.1) este se da por terminado, en ese momento se baja la carga a 0 Kp y el paciente debe seguir pedaleando hasta lograr estabilizar los signos vitales (principalmente PA y FC), posteriormente debe descender del cicloergómetro y caminar. Finaliza el test con la toma y registro de signos vitales, sensación de fatiga y percepción de disnea con escala de Borg.

Contraindicaciones absolutas:

- Infarto agudo al miocardio (2 días).
- Angina inestable no estabilizada con terapia médica.
- Estenosis aórtica severa sintomática.
- Insuficiencia cardiaca descompensada.
- Arritmias ventriculares graves.
- Miocarditis, pericarditis.
- Disección aórtica aguda.

Contraindicaciones relativas

- Estenosis de la arteria coronaria principal en la región izquierda.
- Estenosis valvular.
- Anormalidades electrolíticas conocidas (hipokalemia, hipomagnesemia).
- Hipertensión arterial severa: presión sanguínea diastólica en reposo mayor de 120 mmHg o presión sanguínea sistólica mayor de 200 mm Hg.
- Taquiarritmias o bradiarritmias
- Cardiomiopatía, incluyendo cardiomiopatía hipertrófica y otras formas de obstrucción en el flujo externo del conducto.
- Disturbios neuromusculares, musculoesqueletales, o reumatoides que son empeoradas con el ejercicio.
- Alto grado de bloqueo atrioventricular (Ej.: Bloqueo A-V de tercer grado)

- Aneurisma ventricular
- Enfermedades metabólicas descontroladas, ejemplos: diabetes sacarina, tirotoxicosis y mixedema.
- Enfermedades infectocontagiosas crónicas, ejemplos: mononucleosis, hepatitis y SIDA.

1. Planifique presentarse en el laboratorio de ejercicio donde se realizará la prueba con un período de anterioridad de 20 minutos.
2. No consuma grandes cantidades de comida ni ingiera café o bebidas que contengan cafeína (ejemplo: bebidas cola) por lo menos 2½ horas antes de la prueba, y por lo menos, dentro de una hora después de esta.
3. No tome bebidas alcohólicas durante las 24 horas que preceden a la prueba.
4. Absténgase de una actividad física vigorosa dos horas antes de la prueba.
5. El día de la prueba, usted debe estar libre de cualquier enfermedad, síntoma peligroso y fiebre; por lo contrario, no debe realizar la prueba.
6. Para las pruebas matutinas, deberá desayunar dos horas y media antes de la prueba y comer liviano.
7. Si la prueba es por la tarde, deberá ingerir un almuerzo liviano tres horas antes de la misma.
8. Debe informar el uso de drogas o algún fármaco de uso habitual o temporal.

9. Use o lleve con usted una vestimenta apropiada: Zapatillas, pantalones cortos deportivos o pantalones livianos de entalle suelto. Se debe utilizar una polera o camiseta que permita la ventilación.



Figura 6: Cicloergómetro Monark Ergonomic 828 E.
Fuente: ATS/ERS 2002.

HOJA DE REGISTRO TEST DE CARGA INCREMENTAL EN CICLOERGÓMETRO

Nombre: _____

Edad: _____ Carga máxima alcanzada: _____

1.- Registre signos vitales:

FC Max teórica: _____

FC reserva: _____

FC basal: _____ FC final: _____ FC post 5 min: _____

FR basal: _____ FR final: _____ FR post 5 min: _____

Presión Arterial: _____ PA final: _____ PA post 5 min: _____

SaO2: _____ SaO2 final: _____ SaO2 post 5 min: _____

Disnea Basal (Borg): _____ Dis final: _____ DIS post 5 min: _____

SSF MMII basal (Borg): _____ SSF final: _____ SSF post 5 min: _____

| Minutos | Carga | Disnea | SSF | SaO2 | FC | PA |
|---------|---------|--------|-----|------|----|----|
| 0 - 3 | 0 | | | | | |
| 3 - 5 | 0,25 kp | | | | | |
| 5 - 7 | 0,5 kp | | | | | |
| 7 - 9 | 0,75 kp | | | | | |
| 9 - 11 | 1 kp | | | | | |
| 11 - 13 | 1,25 kp | | | | | |
| 13 - 15 | 1,5 kp | | | | | |
| 15 - 17 | 1,75 kp | | | | | |
| 17 - 19 | 2,0 kp | | | | | |
| 19 - 21 | 2,25 | | | | | |
| 21-23 | 2,5 | | | | | |
| 23- 25 | 2,75 | | | | | |
| 25 - 27 | 3,0 | | | | | |
| 27 - 29 | 3,25 | | | | | |

Figura 7: Hoja de registro TCI en cicloergómetro.
Fuente: Laboratorio y Clínica de Kinesiología cardiovascular de la Universidad de Talca

Anexo 8: Escala de Borg modificada.

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------|
|  | 0 | Sin disnea |
| | 0,5 | Muy, muy leve. Apenas se nota |
|  | 1 | Muy leve |
| | 2 | Leve |
| | 3 | Moderada |
|  | 4 | Algo severa |
| | 5 | Severa |
| | 6 | |
| | 7 | Muy severa |
| | 8 | |
| | 9 | |
|  | 10 | Muy, muy severa (casi máximo) |
| | • | Máxima |

Figura 8: Escala de Borg modificada.
Fuente: Borg, 1982. Psychophysical bases of perceived exertion.