



Universidad de Talca

Facultad de Ciencias de la Salud

Escuela de Kinesiología

Comparación de la recuperación de la fatiga muscular inspiratoria entre jóvenes sedentarios y deportistas, pertenecientes a la Universidad de Talca en el año 2019.

Trabajo presentado para optar al Título Profesional de Kinesiólogo.

Autores: Francisco Antonio Castro Andrade

Esteban Alejandro Astete Lucero

Matías Felipe Contreras Jara

Manuel Ignacio Toro Ascencio

Profesor Guía: Carmen Gloria Zambrano Bravo.

Talca, Chile, 2020.

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

©2020, Francisco Castro Andrade, Esteban Astete Lucero, Matías Contreras Jara, Manuel Toro Ascencio, Carmen 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 nuestros padres, familiares, amigos, compañeros y profesores; por el apoyo incondicional brindado tanto en el proceso académico como experimental, ya que han sido una parte fundamental en esta etapa que como estudiantes culmina.

Agradecimientos.

En primer lugar, agradecer a nuestra profesora guía, Kinesióloga Carmen Gloria Zambrano por brindarnos constantemente una guía tanto personal como académica con respecto al trabajo de título. También agradecer al equipo de laboratorio cardiopulmonar de la clínica kinésica de la Universidad de Talca y a los voluntarios que nos brindaron su ayuda perteneciente a diversas carreras de la Universidad de Talca por su disposición y participación en la investigación y en beneficio de la misma.

Tabla de Contenidos.

| Cap. | Título – subtítulo. | Página |
|------|----------------------------|--------|
| | Portada. | i. |
| | Derechos de autor. | ii. |
| | Dedicatoria. | iii. |
| | Agradecimientos. | iv. |
| | Índice de tablas. | ix. |
| | Índice de ilustraciones. | x. |
| | Resumen. | xi. |
| | Abstract. | xiii. |
| I | Introducción. | 1. |
| II | Pregunta de Investigación. | 5. |
| III | Objetivos. | 6. |
| | a. Objetivo general. | 6. |
| | b. Objetivos específicos. | 6. |
| IV | Hipótesis. | 7. |
| V | Revisión de la literatura. | 8. |

| | | |
|----|---|-----|
| | 1. Componentes del aparato respiratorio. | 8. |
| | 1.1. Parénquima Pulmonar. | 8. |
| | 1.2. Bomba tóraco pulmonar. | 8. |
| | i. Presiones. | 9. |
| | ii. Musculatura Respiratoria. | 10. |
| | iii. Diafragma. | 12. |
| | 2. Fatiga. | 13. |
| | 2.1. Mecanismo de fatiga muscular. | 15. |
| | 3. Consumo de Oxígeno (VO ₂). | 16. |
| | 3.1. Consumo Máximo de Oxígeno (VO ₂ Max). | 16. |
| | 4. Fases de Entrenamiento. | 17. |
| | 4.1. Fase I Leve-Moderado. | 17. |
| | 4.2. Transición Aeróbico-Anaeróbico o umbral láctico. | 18. |
| | 4.3. Fase II Moderado-Intenso. | 18. |
| | 4.4. Fase III Intenso-Límite. | 19. |
| | 5. Metaborreflejo. | 20. |
| VI | Metodología. | 22. |

| | | |
|------|---|-----|
| | i. Diseño. | 22. |
| | ii. Variables. | 25. |
| | iii. Instrumentación. | 25. |
| | iv. Procedimientos o técnicas experimentales. | 28. |
| | v. Análisis estadístico. | 29. |
| VII | Resultados. | 30. |
| | a. Caracterización de la muestra. | 30. |
| | b. Fatiga. | 32. |
| | c. Recuperación de la fatiga. | 33. |
| | d. Diferencias en la recuperación de la fatiga. | 34. |
| VIII | Discusión. | 35. |
| IX | Conclusión. | 39. |
| X | Limitaciones del estudio. | 40. |
| XI | Proyecciones del estudio. | 41. |
| XII | Glosario | 42. |
| XIII | Bibliografía | 45. |
| XIV | Anexos | 52. |

| | | |
|--|--------------|-----|
| | 1. Anexo N°1 | 52. |
| | 2. Anexo N°2 | 54. |
| | 3. Anexo N°3 | 60. |
| | 4. Anexo N°4 | 62. |
| | 5. Anexo N°5 | 64. |
| | 6. Anexo N°6 | 65. |
| | 7. Anexo N°7 | 69. |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| • Tabla N°1: Clasificación de la musculatura respiratoria. | 11. |
| • Tabla N°2: Resumen de los criterios de inclusión y exclusión del estudio. | 22. |
| • Tabla N°3: Resumen de las variables del estudio. | 25. |
| • Tabla N°4: Clasificación de los niveles de actividad física según los criterios establecidos por el IPAQ. | 27. |
| • Tabla N°5: Aspectos Biológicos de los participantes. | 31. |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|-----|
| <ul style="list-style-type: none">• Figura N°1: Dispositivo Pi y Pemómetro digital Carefusion MicroRPM™. | 26. |
| <ul style="list-style-type: none">• Figura N°2: Boquillas.<ul style="list-style-type: none">a. Boquilla tipo buceo.b. Boquilla colocada en filtro. | 26. |
| <ul style="list-style-type: none">• Figura N°3: Graficas Caída PiMax.<ul style="list-style-type: none">a. Gráfica caída PiMax grupo Sedentario.b. Gráfica caída PiMax grupo Deportista. | 32. |
| <ul style="list-style-type: none">• Figura N°4: Gráficas de Recuperación de fatiga.<ul style="list-style-type: none">a. Gráfica de recuperación de la fatiga grupo Sedentario.b. Gráfica de recuperación de la fatiga grupo Deportista. | 33. |
| <ul style="list-style-type: none">• Figura N°5: Comparación de la recuperación entre ambos grupos.<ul style="list-style-type: none">a. Gráfica de recuperación en cmH₂O de ambos grupos.b. Gráfica de porcentaje de recuperación de ambos grupos. | 34. |

Resumen.

Introducción: En el ejercicio de alta intensidad se recluta la musculatura inspiratoria para sostener las demandas ventilatorias. Los sujetos que practican fútbol alcanzan intensidades de ejercicio sobre 85% del Vo₂max durante el partido; por lo tanto, esto puede generar un entrenamiento indirecto de la musculatura inspiratoria, produciendo una mejor respuesta frente a la fatiga y a la recuperación de ella. En cambio, en los sujetos que no practican actividad física regular esto podría ser diferente. Por este motivo el objetivo de este estudio fue determinar las diferencias en la recuperación de la fatiga de los músculos inspiratorios entre un grupo de estudiantes sedentarios sanos y otro que practicaba fútbol.

Metodología: Estudio descriptivo de corte transversal aplicado a una muestra de 15 participantes 8 sedentarios y 7 deportistas, según cuestionario IPAQ. Se midió PiMax basal, post test de ejercicio, para valorar fatiga y post 5 para medir recuperación de la fatiga.

Resultados: El grupo sedentarios, presentó una caída en promedio de $20,75 \pm 11,82$ cmH₂O equivalente al 15,52% con respecto a la medición inicial con un ($p < 0,05$); el grupo deportista, presentó una caída en promedio de $23,53 \pm 6,7$ cmH₂O equivalente al 14,49% con respecto a la medición inicial con un ($p < 0,01$). Demostrando así que hubo fatiga muscular inspiratoria en ambos grupos. La recuperación de la fatiga muscular inspiratoria, en cmH₂O post 5 minutos, fue de $7,75 \pm 9,79$ cmH₂O correspondiendo a un 5,62%, en el grupo sedentario y de

14,71 ± 11,32 cmH₂O correspondiendo al 8,77%. en el grupo deportista. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Conclusión: No existen diferencias significativas en la recuperación de la fatiga muscular inspiratoria entre el grupo de sujetos jóvenes futbolistas y el sedentario, pertenecientes a la Universidad de Talca.

Palabras claves: Músculos inspiratorios, Fatiga, Recuperación, jóvenes deportistas y jóvenes sedentarios.

Abstract

Introduction: In high intensity exercise, inspiratory musculature is recruited to support ventilatory demands. Subjects who play soccer achieve exercise intensities over 85% of Vo_{2max} during the game; therefore, this can generate an indirect training of the inspiratory muscles, producing a better response to fatigue and recovery from it. On the other hand, in subjects who do not practice regular physical activity, this could be different. For this reason, the objective of this study was to determine the differences in recovery from inspiratory muscle fatigue between a group of healthy sedentary students and another who played soccer.

Methodology: Descriptive cross-sectional study applied to a sample of 15 participants, 8 sedentary and 7 athletes, according to the IPAQ questionnaire. Baseline $PiMax$ was measured, post exercise test, to assess fatigue and post 5 to measure recovery from fatigue.

Results: The sedentary group presented an average fall of 20.75 ± 11.82 cmH₂O equivalent to 15.52% with respect to the initial measurement with a ($p < 0.05$); the sports group presented an average fall of 23.53 ± 6.7 cmH₂O equivalent to 14.49% with respect to the initial measurement with a ($p < 0.01$). Thus demonstrating that there was inspiratory muscle fatigue in both groups. Inspiratory muscle fatigue recovery, in cmH₂O after 5 minutes, was 7.75 ± 9.79 cmH₂O corresponding to 5.62%, in the sedentary group and 14.71 ± 11.32 cmH₂O corresponding to 8, 77%. in the sports group. However, this difference was not statistically significant.

Conclusion: There are no significant differences in the recovery of inspiratory muscle fatigue between the group of young soccer players and the sedentary one, belonging to the University of Talca.

Keywords: Inspiratory muscles, Fatigue, Recovery, Young athletes and Sedentary young people.

I. Introducción:

La literatura, décadas atrás establecía que la principal limitante del ejercicio físico de alta intensidad (ejercicio por sobre el 85% del $VO_2Máx$) era el sistema cardiovascular, al llegar a su máxima capacidad de distribución de flujo a través de los vasos sanguíneos, pero actualmente, se sabe que el aparato respiratorio también es una limitante debido a su dificultad de realizar intercambio gaseoso a una intensidad de ejercicio elevada y a la fatiga que pueden desarrollar los músculos inspiratorios frente a la alta demanda ventilatoria. El aparato respiratorio se divide en dos componentes principales; el primero, conformado por el parénquima pulmonar que es una estructura fibrosa formada por fibras colágenas y elásticas, la cual está encargada del intercambio gaseoso entre alveolo y la sangre. El segundo componente está formado por los músculos que movilizan este fuelle tóraco-pulmonar, clasificándose en dos grupos: espiratorios e inspiratorios. Por una parte, los músculos inspiratorios (MI) tales como el diafragma, intercostales externos, serrato anterior, escalenos, pectoral mayor, pectoral menor y subclavio tienen como función principal movilizar la parrilla costal; elevándose y expandiéndose, permitiendo así que unas membranas serosas que rodean el pulmón llamadas pleuras se expandan, y generar cambios de presión al interior del aparato respiratorio volviéndose más negativa, de esta forma, facilitar el ingreso del aire por diferencia de presión; a su vez, los músculos espiratorios (ME) tales como intercostales internos, abdominales tienen la función de descender la parrilla costal haciendo un cambio de presión positiva y de esta forma el aire en el que ya se ha

realizado el intercambio gaseoso pueda salir. Cabe destacar que el principal músculo encargado de la respiración es el músculo diafragma que al contraerse produce el ingreso del aire y al relajarse por medio de las características intrínsecas del pulmón como la retracción elástica, permite la salida del aire al medio extra torácico; el uso del resto de la musculatura respiratoria se da bajo condiciones específicas, como lo es un ejercicio de alta intensidad y patologías respiratorias que afectan la ventilación normal.

Los músculos respiratorios al igual que la musculatura apendicular se componen por fibras tipo I, IIA y IIX en diferentes proporciones, el diafragma siendo el motor primario de la inspiración “Cuenta con un total del 80% de fibras aeróbicas; 55% fibras tipo I, 25% fibras IIA” (Orozco M., 1997), teniendo como característica una mayor tolerancia al ejercicio y resistencia a la fatiga, aunque dada la cantidad y proporción de fibras también presenta la cualidad de generar fuerza. Frente a ejercicios de alta intensidad se requiere un uso mayor de musculatura por lo que aumenta la demanda de sustratos energéticos, que son entregados mediante el riego sanguíneo, a medida que la demanda metabólica aumenta el requerimiento de sustrato, este comienza a disminuir de manera progresiva hasta llegar al punto de la incapacidad temporal de contracción, este proceso se denomina fatiga y así como ocurre en la musculatura apendicular, también ocurre en la musculatura respiratoria por lo que estos pierden la capacidad de continuar generando suficiente presión para mantener la ventilación alveolar, ya que debe existir una ventilación minuto que asegure tal demanda metabólica de oxígeno. La fatiga así como lo

declara Samper J. et al (1986), se produce bajo diversas interacciones y procesos que afectan al sistema nervioso central, transmisión eléctrica neuromuscular, mecanismo contráctil y aporte energético al músculo, en relación a los MR los niveles de H^+ y lactato en sangre no sirven para determinar fatiga, por lo que se han usado otros métodos para establecer la fatiga musculatura como la EMG directa al diafragma, cambios en la curva fuerza-potencia o una disminución de la Presión Inspiratoria Máxima (PiMax), autores como Welch J. et al (2019) establecen que la fatiga en la musculatura respiratoria se produce en intensidades superiores o iguales al 85% del VO_2Max ; de igual manera que en el músculo apendicular los MR, también generan metabolitos que apuntan a una acumulación de H^+ y lactato principalmente estimulando a receptores específicos a nivel del centro respiratorio generando una respuesta vasomotora; como lo define Lassen L. et Al (2012) estas alteraciones hemodinámicas gatillan una mayor actividad del sistema nervioso simpático desde el cerebro produciendo que el flujo sanguíneo se oriente principalmente a los MR, secuestrando el flujo sanguíneo desde la musculatura apendicular como lo define Sabine K. (2012), conociéndose este fenómeno como metaborreflejo.

En un estudio Antonelli C. et al (2020) en una población de basquetbolistas paralímpicos, demuestran que a pesar de realizar un ejercicio aeróbico presentan una fatiga temprana de la musculatura inspiratoria que mejora posterior a un entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI), Ozmer T. et al (2016) en una población de futbolistas muestra que pueden realizar corridas que pueden llegar a

demandar el 80 al 90% del VO_2 Max reclutando la MR en casi su totalidad debido a que se encuentra fase III de ejercicio, sugiriendo que dada estas condiciones ocurre un entrenamiento indirecto de la musculatura respiratoria permitiendo suponer que este tipo de población desarrollará una mayor resistencia a la fatiga de los MR y por ende una mejor recuperación de la misma, por el contrario, sujetos sedentarios sanos al no alcanzar la intensidad de ejercicio necesaria para reclutar la musculatura respiratoria al contrario de los sujetos deportistas se puede suponer que presentan una menor resistencia a la fatiga de los MR, y por consiguiente, una recuperación de la fatiga menor; dejando la incógnita de cuál es la diferencia en la recuperación de la fatiga de MR entre ambas poblaciones; dada esta incógnita el siguiente estudio se realizó en una población de estudiantes de la Universidad de Talca en el año 2019, con la finalidad de determinar diferencias en la recuperación de la fatiga de los MR en dos poblaciones; una de futbolistas universitarios y sedentarios sanos.

II. Pregunta de Investigación:

¿Cuál es la diferencia en la recuperación de la fatiga muscular inspiratoria entre estudiantes sedentarios y deportistas de la Universidad de Talca en el año 2019?

III. Objetivos.

a. Objetivo general:

Determinar las diferencias de la recuperación de la fatiga muscular inspiratoria entre el grupo de estudiantes sedentarios sanos y deportistas de la Universidad de Talca en el año 2019.

b. Objetivos Específicos:

- Describir la recuperación de la fatiga muscular inspiratoria tanto en cmH_2O como en porcentaje de una medición de PiMax posterior a un ejercicio de alta intensidad en jóvenes sedentarios sanos de la Universidad de Talca durante el año 2019.
- Describir la recuperación de la fatiga muscular inspiratoria tanto en cmH_2O como en porcentaje de una medición de PiMax posterior a un ejercicio de alta intensidad en jóvenes deportistas de la Universidad de Talca durante el año 2019.
- Comparar los porcentajes y cmH_2O recuperados de la fatiga muscular inspiratoria entre los sujetos sedentarios sanos y deportistas.

IV. Hipótesis:

- **H1:** Existirá diferencia en la recuperación de la fatiga de la musculatura inspiratoria entre sujetos sedentarios sanos y deportistas.
- **H0:** No existirán diferencias en la recuperación de la fatiga de la musculatura inspiratoria entre sujetos sedentarios sanos y deportistas.

V. Revisión de la literatura:

1- Componentes del aparato respiratorio

1.1 Parénquima Pulmonar

Como lo define Knudsen L. (2018), el pulmón es un órgano complejo ubicado dentro de la cavidad torácica, su complejidad está dada por su estructura y funcionalidad, la función principal de este órgano es el intercambio de gases que está determinado por su microestructura. El intercambio de gases tiene lugar en la región alveolar del pulmón (Parénquima) que comprende aproximadamente el 90% de su volumen total, el 10 % restante se encuentra en las vías aéreas de conducción y de los grandes vasos (Pertenece al espacio muerto anatómico).

Así como también establece Knudsen L. (2018), el tabique interalveolar proporciona la base estructural para el intercambio de gases, el cual separa el compartimiento de aire (alveolo) del compartimiento de sangre (capilar). El diseño de estas estructuras debe cumplir con requisitos estructurales para que la difusión de gases (principalmente oxígeno y dióxido de carbono) entre el alveolo y el capilar sea eficiente, en general proporciona una gran superficie de intercambio y una delgada barrera de difusión, además se deben cumplir requisitos funcionales de estabilidad y de flexibilidad, evitando así la distensión excesiva o el colapso alveolar.

1.2 Bomba tóraco pulmonar

Como se menciona en Mena E. C., 1999., p.15, la ventilación es un proceso mecánico que se encarga de renovar cíclicamente el aire alveolar, alternando la entrada y salida de aire, por lo que el aparato respiratorio se suele comparar con un fuelle o una bomba; este fuelle se compone de vías aéreas (Comunican el ambiente

exterior con la superficie del intercambio); el tórax que actúa como motor de la ventilación y como factor protector del pulmón; y el pulmón que es una extensa superficie de intercambio gaseoso entre aire y sangre, algunas características estructurales y función mecánica de este fuelle pueden describirse a través de:

i. Presiones:

- **Presión Atmosférica:** *“Convencionalmente se la considera como punto de referencia cero, expresándose las demás presiones como diferencias positivas o negativas en relación con ella”* (Mena E. C., 1999., p.25).
- **Presión en la vía aérea:** *“Según la dirección del flujo, es decreciente hacia el alvéolo o hacia la boca”* (Mena E. C., 1999., p.25).
- **Presión alveolar:** *“En condiciones estáticas y con la glotis abierta es igual a la presión atmosférica, pero debido a los movimientos del tórax, se hace mayor o menor que en la boca generando flujo en las vías aéreas”,* (Mena E. C., 1999., p.25).
- **Presión Pleural (Ppl):** *“Normalmente es una presión negativa, debido a que el tamaño del pulmón en condiciones de reposo es menor que el del tórax, el espacio pleural está sometido a fuerzas opuestas que tienden a ampliarlo, y como el espacio es cerrado, se desarrolla una presión negativa en su interior”,* (Mena E. C., 1999., p.25).
- **Presión transpulmonar (Ptp):** *“Diferencia de presión entre la boca y la presión pleural, en condiciones de reposo determina el grado de distensión del pulmón, en condiciones dinámicas, debe vencer las resistencias opuestas al movimiento del aire”* (Mena E. C., 1999., p.25).

ii. Musculatura respiratoria:

Como se menciona en Mena E. C., 1999., p.26., el tórax visto desde la perspectiva funcional, puede extenderse desde el cuello hasta la pelvis, incluyendo la propia cavidad torácica, el abdomen y el diafragma, por su parte la cavidad torácica con dos componentes rígidos de soporte: la columna vertebral y la pelvis, teniendo como característica principal el no deformarse ante la actividad de la musculatura que moviliza el fuelle tóraco pulmonar. En cambio, en los sectores laterales y anteriores se desplazan debido a la acción de los músculos respiratorios y los cambios de presión que generan, Mena E. C., 1999., p.26., sugiere que los músculos respiratorios pueden tener la siguiente clasificación.

| Músculos Inspiratorios | |
|--|---|
| Utilizados en la respiración tranquila | <ul style="list-style-type: none"> • Diafragma. • Escalenos. • Paraesternales. |
| Accesorios de la inspiración | <ul style="list-style-type: none"> • Esternocleidomastoideo. • Trapecio. • Pectorales. |
| Fijadores de la pared torácica | <ul style="list-style-type: none"> • Intercostales Externos. |
| Espiratorios | |
| Utilizados en la espiración forzada | <ul style="list-style-type: none"> • Intercostales Internos. • Abdominales. |

Tabla 1: Clasificación de la musculatura respiratoria según Mena E. C., 1999., p.27.

Aparato respiratorio: Fisiología y clínica.

Se conoce también que básicamente en la respiración tranquila el motor primario es el diafragma, pero Mena E. C., 1999., p.27., establece que para que su acción sea lo más eficiente posible, se necesita que los músculos intercostales externos estabilicen la cavidad torácica para evitar que se hunda cuando el diafragma realice su contracción. En cambio, la espiración por su parte, es un proceso pasivo, es decir, no hay actividad de la musculatura espiratoria en el

proceso, debido a las propiedades elásticas del pulmón. Sin embargo, al inicio de la espiración para evitar que el pulmón pierda el aire bruscamente debido a la retracción elástica; el diafragma se encuentra en una contracción decreciente.

iii. Diafragma

Como definió anteriormente Mena E. C., 1999., p.28., el diafragma es el motor primario en la respiración y contrayéndose alrededor de 10 veces por minuto durante toda la vida. Eso se debe principalmente a que, a pesar de ser un músculo esquelético, tiene características tanto químicas como enzimáticas que lo asemejan al miocardio: como lo son el contenido de mitocondrias y citocromo-oxidasas, la capacidad de metabolizar lactato y el flujo sanguíneo son intermedios entre los músculos esqueléticos y el miocardio. Esto permite que pueda cumplir su función como un órgano importante para la vida.

Con respecto al flujo sanguíneo *“Lo recibe de las arterias mamaria interna, intercostales y frénicas inferiores que presentan abundantes anastomosis entre ellas y forman una red alrededor del tendón central”* (Mena E. C., 1999., p.28). Esta cualidad le permite a este músculo poder aumentar su flujo sanguíneo de 5 a 6 veces ante condiciones de esfuerzo.

Como lo menciona Orozco M. (1997), al comparar el diafragma con el resto de la musculatura apendicular, este cuenta con una mayor densidad capilar, mayor y mejor flujo sanguíneo otorgándole una mayor capacidad oxidativa y una tolerancia mayor a la fatiga, al igual que la musculatura apendicular el diafragma se compone de los 3 tipos de fibras musculares (Tipo I, Tipo IIa y Tipo IIb), para presentar las características anteriormente mencionadas *“el diafragma de individuos adultos*

sanos contiene aproximadamente un 80% de fibras resistentes a la fatiga (el 55% de tipo I, el 25% de tipo IIa)", (Orozco M.1997). Fogerty M., (2018) plantea que entre hay una nueva clasificación en el tipo de fibras musculares que el diafragma presenta:

- *"Unidades motoras lentas, resistentes a la fatiga que comprenden fibras musculares tipo I"*. Fogerty M. (2018).
- *"Unidades motoras rápidas, son resistentes a la fatiga que comprenden fibras musculares tipo IIa"*. Fogerty M. (2018).
- *"Unidades motoras rápidas intermedias a la fatiga que comprenden fibras musculares tipo IIx"*. Fogerty M. (2018).
- *"Unidades motoras rápidas fatigables que comprenden fibras musculares tipo IIx y / o IIb"*. Fogerty M. (2018).

Por lo que se puede decir que el músculo diafragma posee tanto capacidades para resistir la fatiga, como también generar fuerza y potencia.

2- Fatiga.

Autores como Moreno J. (2013), han separado la fatiga en dos componentes: la fatiga central y la fatiga periférica, en donde se define a la fatiga central como un proceso complejo, esto es debido a que ocurren alteraciones en el correcto funcionamiento del Sistema Nervioso Central (SNC), a distintos niveles, es decir, que puede ocurrir tanto a nivel de centros de comando, como el centro respiratorio, la transmisión nerviosa o incluso en la unión de la moto neurona con la fibra muscular. También se puede observar una disminución de la contracción voluntaria

máxima (CVM) afectando directamente a la cadena de mando de la contracción muscular, además *“esta fatiga se caracteriza por una reducción de la contractibilidad independientemente de los factores mecánicos y metabólicos del músculo”*. (Sesboüé B., et al. 2006). Por otra parte, la fatiga periférica como la describe Mesa J. (2013), se determina como aquella fatiga que ocurre directamente en el músculo esquelético, por lo que también se denomina fatiga muscular, a su vez comprende todo aquello que ocurre en estructuras que están por debajo de la placa motora actuando en la contracción muscular.

La fatiga muscular como concepto se ha investigado durante gran parte del siglo XX, así como lo define Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F., 2006., p.756., el lograr definirla ha llevado muchos años, las primeras definiciones como la de Asmussen E. (1979), la definió como la disminución transitoria de la capacidad de los músculos esqueléticos durante la actividad física, posteriormente Edwards R. (1981), consideró la fatiga como la incapacidad para mantener la potencia desarrollada, es decir, la intensidad del esfuerzo durante cierto tiempo de ejercicio, más tarde en 1986 Bigland-Ritchie B. y cols., definieron la fatiga neuromuscular como la reducción de la capacidad de generar tensión máxima, independiente del tipo de trabajo que se esté realizando, por último en 1992 Enoka R. y Stuart D., definieron la fatiga muscular como una disminución evidente del rendimiento, que además de implicar un aumento del esfuerzo necesario para realizar un trabajo de forma voluntaria, produce una incapacidad eventual o momentánea para realizar dicho trabajo. Por otra parte, Welch F. (2019), define la fatiga muscular como una condición temporal, en la cual hay una disminución en la capacidad de generación

de fuerza que es reversible con descanso y menciona que la musculatura respiratoria es propensa a la fatiga siempre y cuando el suministro de sustratos se vea comprometido.

2.1 Mecanismo de fatiga muscular:

No solo el hecho de que la fibra muscular pierda su contractibilidad es de importancia, sino, que también es relevante saber cómo interactúa el medio en el proceso, este a su vez *“interfiere tanto en el acople excitación contracción, disponibilidad de sustratos, medio intracelular, flujo sanguíneo muscular y las propiedades intrínsecas del aparato contráctil”*, Rodríguez E. (2015). También se menciona que los mecanismos de cómo se produce se agrupan tanto en alteraciones producidas durante el potencial de acción a lo largo del sarcolema, disminución en la sensibilidad de receptores post sinápticos a la acetilcolina, y al calcio en sarcolema y Retículo Sarcoplasmático (RS). Este desbalance bioquímico tiene como resultado una disminución en la velocidad de conducción del impulso nervioso a lo largo del sarcolema, así como un déficit en la contracción misma de la fibra muscular.

Dentro de los cambios bioquímicos ocurridos en el medio ante la fatiga muscular Rodríguez E. (2015), establece que ocurre una acumulación de metabolitos (lactato e hidrogeniones principalmente), generando alteraciones en el cociente respiratorio. A la vez se comienza a acumular amoníaco y calor generando desbalance hídrico. Por otra parte, a nivel de miofibrilla disminuye la producción de fuerza, el principal responsable de este fenómeno es el aumento del fosfato

inorgánico (Pi) en el sarcoplasma, proveniente como desecho metabólico del hidrólisis del ATP y del hidrólisis de la fosfocreatina en creatina y Pi.

Autores como Welch J. et al (2019), han evidenciado que al llegar a intensidades entre el 85% del $VO_2\text{Max}$ o superiores, la fatiga de los músculos respiratorios, en específico la musculatura inspiratoria, se puede evidenciar como una disminución en la capacidad de generar presión, por lo que la $Pi\text{Max}$ disminuye al estar en fatiga.

3- Consumo de Oxígeno (VO_2):

Según Chicharro J. L., Campos D. V. & López J. C., 2013., p.16., el VO_2 es fisiológicamente la expresión de la cantidad de oxígeno utilizado por las células en un determinado tiempo, permitiendo de esta forma poder cuantificar el metabolismo energético, dado que el oxígeno es uno de los componentes principales para la generación de energía dentro de la célula. Los valores del VO_2 varían según edad, acondicionamiento físico, sexo y la superficie corporal de las personas, aunque también se puede ver afectado por patologías que interfieran a nivel metabólico como el hipotiroidismo o sepsis, aunque se ha establecido que en reposo el VO_2 corresponde a 3,5 mL/Kg/min.

3.1 Consumo máximo de Oxígeno ($VO_2\text{Max}$):

Así como describe Chicharro J. L., Campos D. V. & López J. C., 2013., p.14., a medida que las necesidades metabólicas van cambiando, el consumo de oxígeno también, de forma que mientras la intensidad del ejercicio sea mayor, también lo será el VO_2 , es decir, presentan una relación directamente proporcional hasta llegar

a un punto en donde independiente del aumento de la intensidad el VO_2 detiene su crecimiento llegando a una etapa de meseta. En base a esto se define como VO_2 Max a la máxima cantidad de oxígeno que el organismo es capaz de captar, movilizar y consumir en un tiempo determinado.

4- Fases de Entrenamiento

Para lograr llegar al punto de fatiga de la musculatura respiratoria se debe llegar a una intensidad alta de ejercicio pasando por diferentes fases como las que se presentan en el Modelo Trifásico de Skinner y McLellan 1980 adoptado por Chicharro J. L., Campos D. V. & López J. C., 2013., p.16.

4.1 Fase I leve-moderado:

En base a lo que describe Chicharro J. L., Campos D. V. & López J. C., 2013., p.16., esta primera etapa refiere desde el mínimo consumo de oxígeno (VO_2) hasta puntos cercanos al 60% - 65% del mismo (Escala de Borg clásica hasta 12-13). En su mayoría esta fase es aeróbica donde la principal fuente de energía son los ácidos grasos, también en esta fase las fibras musculares reclutadas corresponden a las fibras tipo I o aeróbicas, el VO_2 se continúa en aumento lineal, a medida que aumenta la intensidad, el aparato respiratorio y el aparato cardiovascular presentan adaptaciones; por parte del aparato respiratorio se evidencia un volumen corriente (VC) y frecuencia respiratoria (FR) mayor, esta adaptación tiene como consecuencia una tasa de eliminación de CO_2 más elevada que a niveles basales. Con respecto al aparato cardiovascular se observa un aumento del gasto cardíaco (GC), retorno venoso y la presión arterial (PA).

4.2 Transición Aeróbico-Anaeróbico o umbral aeróbico:

Según lo planteado por Chicharro J. L., Campos D. V. & López J. C., 2013., p.42., este fenómeno se produce en intensidades de ejercicio que fluctúan entre el 60% al 70% del VO_2Max , caracterizado por el inicio del reclutamiento de las fibras Ila a nivel muscular y a su vez, es la base de la aparición del umbral láctico y el umbral ventilatorio 1 (VT1).

4.3 Fase II Moderado- intenso:

Chicharro J. L., Campos D. V. & López J. C., 2013., p.52., indica que esta fase ocurre en intensidades desde el 60 al 65% del VO_2Max hasta llegar a valores entre el 80 al 85% del mismo (Escala de Borg clásica 15-16), se caracteriza por un metabolismo mixto, si bien los sustratos energéticos son los ácidos grasos y los carbohidratos, estos últimos son utilizados en mayor proporción, ingresando tanto a la ruta glucolítica como la ruta oxidativa. En este punto ya se encuentran activas tanto las fibras musculares tipo I como las Ila, dada las características de esta fase, se comienzan a utilizar las reservas energéticas de glucógeno y ácidos grasos. Por otra parte, uno de los principales desechos metabólicos es el CO_2 , generando como respuesta en el aparato respiratorio que siga aumentando tanto el Volumen minuto como la FR, en cuanto al VC varía muy poco, en otras palabras, aumenta el trabajo ventilatorio, lo que trae como consecuencia un aumento del volumen espirado de Oxígeno (FEO_2). Por parte del aparato cardiovascular sigue aumentando de forma progresiva el GC, PA y retorno venoso; con respecto a los vasos sanguíneos comienzan a redistribuir el flujo sanguíneo a tejidos con una mayor demanda metabólica.

4.4 Fase III intenso - límite:

En esta fase Chicharro J. L., Campos D. V. & López J. C., 2013., p.87., la describe como una etapa de inestabilidad metabólica comenzando en intensidades desde el 80% al 85% del VO_2 Max hasta el agotamiento (Escala de Borg clásica sobre 15-16), se caracteriza por ser una fase de predominancia glucolítica, debido a que la glucogenólisis hepática y muscular se encuentran en su máxima expresión, también se reclutan las fibras musculares en su totalidad, este reclutamiento marca el máximo estado estable del lactato o umbral aeróbico 2 (VT2), dada la ruta metabólica comienza una acumulación exponencial de lactato y CO_2 , alterando el equilibrio del pH sanguíneo. Al superar el VT2 el aparato respiratorio modifica sus parámetros (VE, FR y VC); la FR puede alcanzar valores de hasta un máximo de 35-45 respiraciones por minuto (rpm) en sujetos jóvenes sanos y hasta 60 - 70 rpm en atletas de élite, el VC puede alcanzar 2 o más litros lo que produce un aumento del VE superando 100 L/min. En cuanto al aparato cardiovascular hace aumentar el GC de manera exponencial acorde a la intensidad del ejercicio hasta llegar a la máxima tolerancia, ya que si bien, la FC sigue aumentando el VS se mantiene estable desde la fase anterior, pero al llegar al máximo esfuerzo la FC es incapaz de seguir aumentando estabilizándose y el VS puede decaer disminuyendo el GC, respecto a la presión sistólica aumenta proporcionalmente directa a la intensidad alcanzando valores sobre los 200 mmHg en sujetos sanos y en sujetos entrenados llega a valores de 240 a 250 mmHg, por otra parte, la presión diastólica se mantiene estable o disminuir un poco, sin sobrepasar los 115 mmHg en sujetos sanos.

5- Metaborreflejo:

Se sabe por medio de lo descrito por Chicharro J. L., Campos D. V. & López J. C., 2013., p.87., que la fase III es condicionante una gran variedad de procesos internos, entre ellos, el mantenimiento del equilibrio ácido-base a través de la eliminación de CO₂, producto del aumento de la VE. El incremento en la demanda metabólica que ocasiona esta fase, produce metabolitos que acidifican el medio y que además comienza a decaer la eficiencia de los sistemas amortiguadores de H⁺, provocando un mayor trabajo ventilatorio. Así como lo mencionó el autor, al aumentar el trabajo ventilatorio, genera una competencia entre la musculatura respiratoria y los músculos locomotores para obtener flujo sanguíneo y de esta forma sustratos energéticos. Este aumento del trabajo ventilatorio también trae consigo consecuencias como lo menciona Romer y Polkey (2008), es decir, comienza a evidenciarse fatiga de los músculos respiratorios, los que por medio de señales químicas producidas por la acidificación del medio y metabolitos en el torrente sanguíneo inducen una respuesta a nivel de SNC llamada metaborreflejo. Esta respuesta se da por las vías aferentes III y IV producto de la vasoconstricción de la musculatura periférica. Chicharro, J. L., Campos, D. V., & J. C. López., 2013., p.87., establece que estas terminaciones nerviosas se encuentran en el interior de músculos y tendones responden a cambios químicos como el aumento intersticial de K⁺, lactato, bradicinina, histaminas y sustancia P, y que de esta manera se ve comprometida la perfusión de la musculatura, en cuanto al SNC, comienza una mayor descarga eferente simpática, produciendo un aumento de la vasoconstricción a nivel de extremidades (principalmente miembro inferior), disminuye la

disponibilidad de oxígeno en la musculatura apendicular, aumenta la sensación de fatiga en la musculatura locomotora y hay también una percepción de esfuerzo mayor, autores como Seals (2001) han definido que este reflejo tiene como objetivo suministrar con oxígeno a la musculatura respiratoria, de esta forma se mantiene la ventilación pulmonar, la homeostasis de gases en sangre y los niveles de pH sanguíneo. Por esta razón, es que no le puede atribuir solamente al aparato cardiovascular ser el limitante del rendimiento físico, sino que también la musculatura respiratoria; que al no entrenarse de manera adecuada generará limitaciones al llegar a niveles altos de intensidad de ejercicio.

VI. Metodología

El proyecto se realizó bajo las normas éticas de la Declaración de Helsinki para la experimentación humana, y se rige bajo los principios éticos establecidos por Ezekiel Emanuel en el año 2013, cada punto en específico está detallado en el Anexo N° 6.

i. Diseño:

➤ Tipo y diseño de estudio:

El diseño estudio observacional descriptivo de corte transversal.

➤ Muestra

La población de estudio corresponde a 15 jóvenes hombres sanos pertenecientes a la Universidad de Talca en el año 2019 (*n° Sedentarios: 8; n° Deportistas: 7*).

➤ Tipo de Muestreo:

Muestra de carácter no probabilístico y reclutada por conveniencia.

➤ Criterios de Selección:

| Criterios de Inclusión | Criterios de Exclusión |
|------------------------|--|
| Edad entre 18-26 años. | Comorbilidades crónicas del aparato respiratorio, cardiovascular y musculoesquelético. |
| IMC normal (20-24,9). | Lesiones musculares de MMII, columna y tórax menores a 3 meses de evolución. |

| | |
|---|--|
| Sujetos con capacidad cardiorrespiratoria aceptable según clasificación de la ACSM mediante estimación del VO ₂ Max. | Procesos quirúrgicos en MMII y/o tórax de menos de 3 meses de evolución. |
| Sedentarios y activos físicamente según estimación del cuestionario internacional de actividad física (IPAQ). | Haber realizado cualquier tipo de entrenamiento de la musculatura respiratoria. |
| | Hábito tabáquico. |
| Sexo masculino. | Presentar patologías psíquica o emocional o cualquiera de las contraindicaciones absolutas del Anexo 1 |
| Estudiantes del campus Lircay de la Universidad de Talca. | |
| Valores de la PiMax por sobre el 80% del valor teórico, según Black y Hyatt | |

Tabla N°2: Resumen de los criterios de inclusión y exclusión del estudio.

➤ **Asignación del grupo:**

Los sujetos seleccionados para la realización de la investigación fueron asignados por medio del cuestionario IPAQ separando deportistas de sedentarios.

- Grupo 1 sedentarios (n=8): Califican aquí aquellos que en cuestionarios IPAQ alcanzan Nivel de actividad física bajo, se les realizaron diversas pruebas

para determinar capacidad aeróbica, tolerancia al ejercicio, fuerza de musculatura respiratoria, resistencia musculatura respiratoria, fatiga de musculatura respiratoria y recuperación de esta.

- Grupo 2 deportistas (n=7): Califican aquí aquellos que en cuestionarios IPAQ alcanzan Nivel de actividad física moderado o alto, se les realizaron diversas pruebas para determinar capacidad aeróbica, tolerancia al ejercicio, fuerza de musculatura respiratoria, resistencia musculatura respiratoria, Fatiga de musculatura respiratoria y recuperación de esta.

➤ **Reclutamiento:**

Los sujetos de estudio fueron reclutados mediante invitación abierta por medio de redes sociales y publicación de afiches puestos en las diversas facultades del Campus Lircay de la Universidad de Talca.

ii. Variables:

| Independientes | Dependientes | Control |
|------------------------------|---|--|
| Peso Talla Edad IMC | Recuperación de la fatiga en cmH ₂ O Recuperación de la fatiga en porcentaje del valor basal. | PiMax pre y post protocolo de fatiga. VO ₂ Max PIMS Percepción de Fatiga de MMII. Disnea % de caída de PiMax post ejercicio máximo |

Tabla N° 3: Resumen de las variables del estudio.

iii. Instrumentación

El equipo con el que se midió la PiMax fue un Pimómetro digital Carefusion MicroRPM®, este equipo cumple con las recomendaciones de la ATS/ERS 2002, lo que quiere decir, que cuenta con un transductor de presión tipo piezo-eléctrico, precisión de 0.049 kPa (0.5 cmH₂O) y en un rango de presión de ± 19.6 kPa (± 200 cmH₂O) (figura 1). El sistema requiere una pequeña fuga (aproximadamente de 2

mm de diámetro interno [DI] y de 20-30 mm de longitud) para evitar el cierre de la glotis durante la maniobra de PiMax.



Figura 1: Dispositivo Pi y Pemómetro digital Carefusion MicroRPM®

Las recomendaciones internacionales (ATS/ERS, SEPAR) indican que el tipo de boquilla que debe utilizarse es de tipo buceo, debido a que éstas son de uso común, confieren mayor comodidad al paciente y podrían mejorar la coordinación.

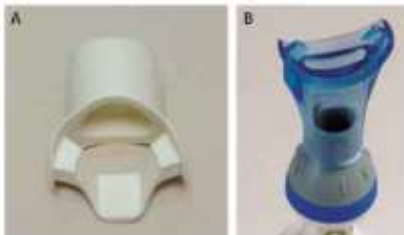


Figura 2: A) Boquilla tipo buceo. B) Boquilla colocada al filtro

Para medir la actividad física en los participantes se utilizó el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ), el cual ha sido usado en diversos estudios, además de estar validado en varios idiomas, este cuestionario brinda información del gasto energético estimado en 24 horas, el gasto energético se mide en diversas AVD, además tiene la ventaja de ser aplicable en poblaciones de distinto nivel socioeconómico y es de fácil aplicación. (Anexo N°2).

La resistencia muscular respiratoria se evaluó a través de la presión inspiratoria máxima sostenida (PIMS) con una válvula umbral Threshold IMT (Philips Respironics®) que también se utiliza para tratamiento

Tabla 4: Clasificación de los niveles de actividad física según los criterios establecidos por el IPAQ

| | |
|--|---|
| <p>Nivel de actividad física alto</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● Reporte de 7 días a la semana de cualquier combinación de caminata, o actividades de moderada o alta intensidad logrando un mínimo de 3.000 MET-min/semana. ● O cuando se reporta actividad vigorosa al menos 3 días a la semana alcanzando al menos 1.500 MET-min/semana. |
| <p>Nivel de actividad física moderado</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● Reporte de 3 o más días de actividad vigorosa por al menos 20 minutos diarios. ● O cuando se reporta 5 o más días de actividad moderada y/o caminata al menos 30 minutos diarios |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • O cuando se describe 5 o más días de cualquier combinación de caminata y actividades moderadas o vigorosas logrando al menos 600 MET-min/semana. |
| <p>Nivel de actividad física bajo</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Se define cuando el nivel de actividad física del sujeto no esté incluido en las categorías de alta o moderada. |

Para la prueba de carga incremental se utilizó el cicloergómetro marca MONARK 828E que permite cambiar el nivel de carga (Kp) manualmente.

iv. Procedimiento o técnicas experimentales

Se realizaron unas series de evaluaciones para medir fuerza y fatiga de la musculatura inspiratoria se midió la PiMax según protocolo de la ATS/ERS los sujetos deben estar en posición sedente y desde volumen residual realizar una inspiración rápida y profunda que sea mantenida durante al menos un segundo, es necesario el máximo aliento del operador, se debe obtener un mínimo de 3 esfuerzos reproducibles que no difieran en más de un 5% entre ellos como lo describe el Anexo N° 1, también se midió la Presión Inspiratoria Máxima Sostenida (PIMS) que consiste en la medición de tolerancia a cargas incrementales (resistencia) donde se aumenta la carga de 4 cmH₂O cada 2 minutos, en el caso

de la actividad física se evaluó mediante el cuestionario IPAQ que está descrito en el anexo N° 2, para calificar al sujeto de investigación como sano se realizó un test de Astrand que está descrito en el anexo N°3 comparándose el VO₂Max con las tablas de las ACSM, para evaluar el rendimiento físico se aplicó una prueba de carga incremental en cicloergómetro descrito en el anexo N° 4. Finalmente, al obtener los resultados de la prueba de carga incremental se realizó el test de fatiga descrito en el Anexo N° 7 el cual representará el porcentaje de caída de la PiMax post ejercicio.

Los resultados obtenidos se sometieron a pruebas estadísticas, luego del posterior análisis se entregó un informe a cada participante.

v. Análisis estadístico.

Los datos obtenidos se tabularon en el programa Microsoft Excel 2016®, para su posterior análisis estadístico se realizó en el software GraphPad Prisma® (versión 6.01; CA, USA, 2012).

En cuanto al análisis estadístico, primeramente, los datos se sometieron a una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, la variable talla y VO₂Max no presentaron una distribución normal, por lo tanto, para comparación entre los grupos para estas variables se utilizó el test U de Mann Whitney con una significancia estadística $p < 0,05$. Las demás variables presentaron distribución normal, por lo que la comparación entre los grupos se realizó mediante t de Student considerando la significancia estadística $p < 0,05$.

VII. Resultados.

a. Caracterización de la Muestra.

La muestra para el estudio constó de 15 participantes, los que estuvieron distribuidos en dos grupos: el grupo sedentario y el grupo deportista, el grupo sedentario correspondió a 8 participantes (53%) y el grupo deportistas a 7 participantes (47%). Con respecto a los aspectos biológicos se encuentran detallados en la tabla N°2 al igual que las variables funcionales, se destaca que ambas poblaciones estudiadas son similares y no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ellas ($p>0,05$), en las variables de composición corporal (peso, talla e IMC). Por el contrario, en las variables funcionales VO2Max, PiMax, PIMS si hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos ($p<0,05$). Demostrando que los sujetos deportistas presentaban una mejor capacidad aeróbica y una mejor función de los músculos inspiratorios.

| Variables | Sedentarios | Deportistas | Valor P |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Peso (Kg) | 67,00 ± 7,80 | 73,30 ± 8,00 | 0,140 |
| Edad (años) | 19,88 ± 1,20 | 20,71 ± 1,70 | 0,290 |
| Talla (m) | 1,723 ± 0,04 | 1,741 ± 0,04 | 0,420 |
| IMC (Kg/m ²) | 22,55 ± 2,10 | 24,13 ± 1,90 | 0,160 |
| VO ₂ Max (ml/Kg/min) | 50,74 ± 6,05 | 63,37 ± 7,89 | 0,002 (**) |
| PiMax (cmH ₂ O) | 134,4 ± 14,81 | 167,7 ± 25,48 | 0,007 (**) |
| PIMS (cmH ₂ O) | 63,75 ± 13,66 | 80,71 ± 15,28 | 0,040 (*) |

Tabla N°5: Aspectos Biológicos de los participantes

b. Fatiga.

La fatiga muscular inspiratoria, se midió posterior a la aplicación de un test de ejercicio máximo y se evaluó mediante la medición de la PiMax y se expresó en porcentaje de caída con respecto al valor de PiMax pre test. Con respecto a esto, existió una disminución de la PiMax en ambos grupos, el grupo sedentario presentó una caída de la PiMax de un $15,52 \pm 9,09\%$ ($20,75 \pm 11,82$ cmH₂O), en comparación a la medición inicial, siendo una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) como se muestra en la Figura N°3. Por otro lado, el grupo deportista presentó una caída de la PiMax del $14,49 \pm 3,76\%$ ($23,53 \pm 6,7$ cmH₂O), con respecto a la medición inicial, siendo una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0,01$) como se muestra en la Figura N°3.

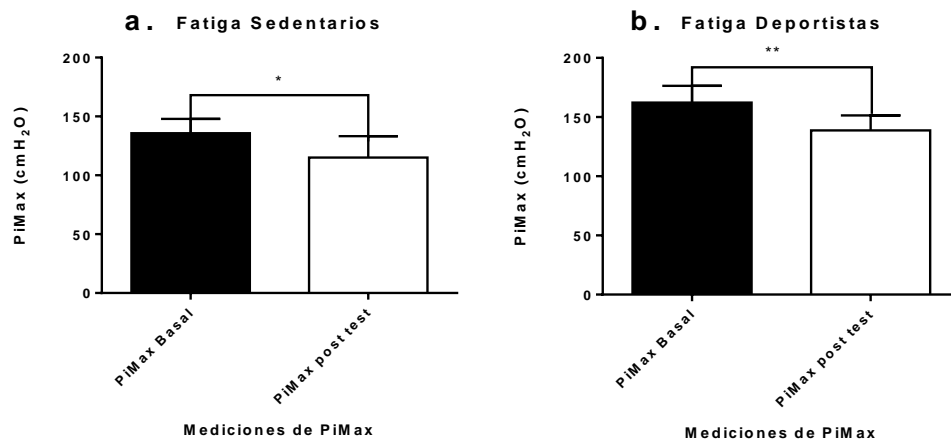


Figura N°3: Gráficas de caída PiMax. **a.** La gráfica caída de PiMax grupo sedentario, presentó una caída en promedio de $20,75 \pm 11,82$ cmH₂O. **b.** La Gráfica de caída de PiMax grupo deportista, presentó una caída en promedio de $23,57 \pm 6,7$ cmH₂O. (*) $p < 0,05$; (**) $p \leq 0,01$.

c. Recuperación de la fatiga.

La recuperación se calculó en base a la medición de la PiMax post 5 minutos comparándola con la medición previa al test y se expresó como porcentaje de esta, por lo que se observó que ambos grupos se recuperaron, obteniendo valores por sobre el 80% de su PiMax basal, como se puede apreciar en la Figura N°4, por su parte el grupo sedentario recuperó un $90,11 \pm 7,38\%$ de su PiMax inicial con respecto a la medición post 5 minutos, por otro lado, el grupo deportista recuperó un $94,29 \pm 3,94\%$ de su PiMax inicial con respecto a la medición post 5 minutos; en ambos grupos la recuperación de la fatiga fue similar.

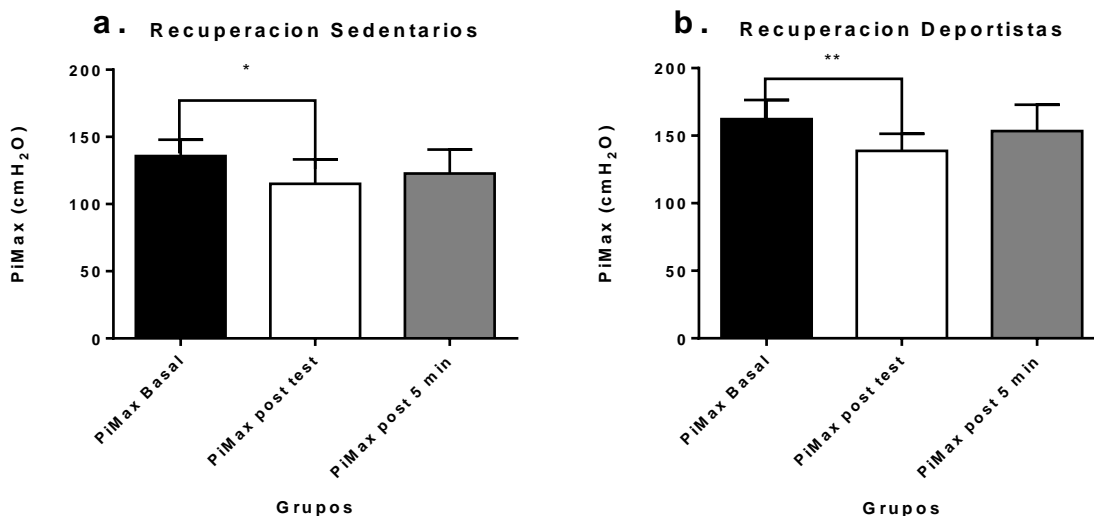


Figura N°4: Gráficas de recuperación de fatiga: **a.** Gráfica de recuperación de la fatiga grupo sedentario es en promedio de $7,75 \pm 9,79$ cmH₂O. **b.** Gráfica de recuperación de la fatiga grupo deportista es en promedio de $14,71 \pm 11,32$ cmH₂O. (*) $p < 0,05$; (**) $p \leq 0,01$.

d. Diferencias en la recuperación de la fatiga.

Para realizar la comparación entre las recuperaciones de la fatiga, se analizaron los cmH₂O y porcentajes recuperados por ambos grupos, entre la medición de la PiMax post test y la medición post 5 minutos, obteniendo que; al comparar los cmH₂O recuperados por el grupo sedentario ($7,75 \pm 9,79$ cmH₂O) y el grupo deportista ($14,31 \pm 11,32$ cmH₂O) no existió diferencia estadísticamente significativa entre ambos ($p= 0,22$), como se puede apreciar en la Figura N°5; con respecto al porcentaje de recuperación entre las mismas mediciones mencionadas anteriormente, el grupo deportista recuperó un porcentaje del $8,77 \pm 6,24\%$ y el grupo sedentario un porcentaje del $5,62 \pm 7,37\%$, no habiendo diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos ($p= 0,39$), como se puede apreciar en la figura N°5.

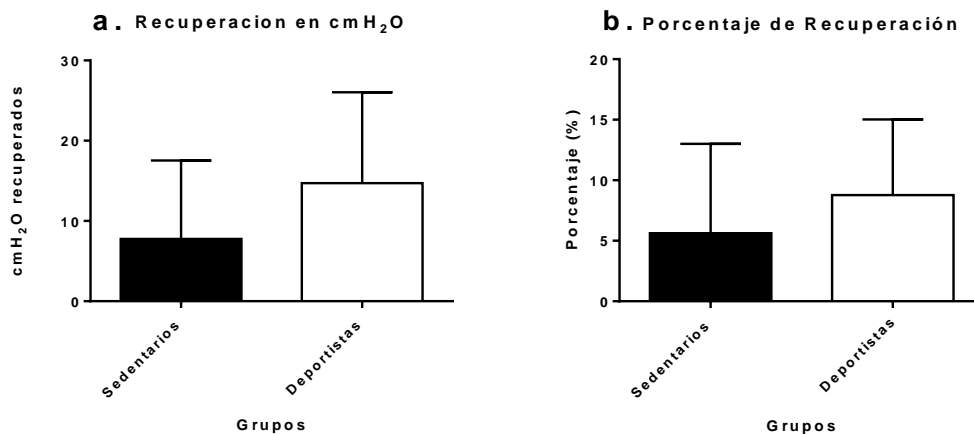


Figura N°5: Comparación de la recuperación entre ambos grupos: **a.** Gráfica de recuperación de cmH₂O de ambos grupos (sedentarios $7,75 \pm 9,79$ cmH₂O, deportistas $14,71 \pm 11,32$ cmH₂O). **b.** Gráfica de porcentaje de recuperación de ambos grupos (Sedentarios $5,62 \pm 7,37\%$, deportistas $8,77 \pm 6,24\%$).

VIII. Discusión:

El propósito de esta investigación fue observar las diferencias en la recuperación de la fatiga muscular inspiratoria entre un grupo de jóvenes deportistas y sedentarios. Este objetivo se planteó en base a lo expuesto en la literatura científica por Siquier J., et al (2017), quién postuló que los jóvenes que practican algún deporte aeróbico (específicamente fútbol, maratón o ciclismo), presentan valores sobresalientes de función respiratoria, por el contrario, los jóvenes sedentarios presentan valores que pueden estar dentro de la normalidad o algo disminuidos en comparación a los valores teóricos. En este sentido, los participantes de esta investigación mostraron valores distintos de PiMax, PIMS y VO2Max; donde los deportistas presentaron valores significativamente mayores en comparación al grupo sedentarios (PiMax: $167,7 \pm 25,48$; PIMS: $80,71 \pm 15,28$; VO2Max: $63,37 \pm 7,89$ v/s PiMax: $134,4 \pm 14,81$; PIMS: $63,75 \pm 13,66$ y VO2Max: $50,74 \pm 6,05$ respectivamente. $p < 0,05$). Esto también se corrobora con lo publicado por Ozmen T., et al (2016), quién postuló que los futbolistas pueden presentar parámetros respiratorios que están en el rango de normalidad o superiores a los teóricos de PiMax, PIMS y VO₂ (PiMax: 143.22 ± 32.58 , VO2Max: 50 a 75 ml/kg/min) .Con respecto a los mecanismos para explicar estas diferencias se podría deber a que la práctica del fútbol hace que el sujeto se exponga a carreras exigentes (80-90% VO2Max), en este sentido, autores como Chicharro. J. L., 2006., p.357-395, muestra que llegando a ese nivel de intensidad de ejercicio físico, se comienza a reclutar musculatura inspiratoria accesoria, tornándose una respiración forzada, este punto en específico da pie al supuesto que la musculatura inspiratoria tanto accesoria

como de respiración tranquila, reciben indirectamente un entrenamiento, por lo que explicaría que sin realizar un entrenamiento de este grupo muscular (EMI), los deportistas podrían presentar variables funcionales respiratorias sobresalientes junto a una recuperación y resistencia a la fatiga mayor.

Para comprobar la recuperación de la fatiga en ambos grupos, en primer lugar se debió demostrar que el test empleado en ésta investigación producía una disminución significativa de la capacidad de generar tensión por parte de los músculos inspiratorios, esta medición se realizó mediante la valoración de la PiMax posterior a un ejercicio intenso como lo describieron González-Montesinos J., et al (2012), quienes basándose en el estudio realizado por Mador M. J. (1991) demuestran que la musculatura respiratoria pese a ser resistente a la fatiga, luego de realizar un ejercicio aeróbico intenso (>80% VO₂Max), disminuye su fuerza contráctil. Además, como lo menciona Chicharro J. L., 2013., p.93-94. En altas intensidades de ejercicio (85% VO₂max), el aparato respiratorio se ve altamente demandado llegando hasta el punto de presentar fatiga muscular respiratoria lo cual limita la movilización de flujo de O₂. Por otra parte, la revisión bibliográfica de Janssens L. et al (2013), concluye que los ejercicios realizados ya sea con una resistencia respiratoria incrementada, hiperpnea o ejercicios de cuerpo completo generan una considerable fatiga de la musculatura respiratoria presentando caídas de la PiMax desde un 5% hasta un 67%, pero por sobre todo, los ejercicios con resistencia respiratoria en intensidades de 60-80% PiMax y los ejercicios de ciclismo al 85%-90% VO₂Max presentan caídas superiores al 10%, explicando de esta forma la caída de la PiMax producida por la musculatura inspiratoria, además relatan que

para considerarse fatiga, debe haber un cambio de una 10%-15% de la PiMax; correlacionando de esta forma con los resultados obtenidos.

El protocolo de ejercicio utilizado en este estudio, logró producir una disminución significativa de la PiMax post ejercicio en comparación a la medición previa, con una disminución del 15,5% para el grupo sedentario y un 14,49% para el grupo deportista, sin embargo, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos ($p= 0,78$). Los datos obtenidos en este estudio, demuestra que ambos grupos tuvieron una caída de la PiMax mayor al 10%. Varios autores han expresado sus resultados con respecto a los protocolos de fatiga utilizados, Johnson et al (1993), utilizó un protocolo de fatiga basado en una carga al 85% VO2Max en bicicleta durante 14 min, lo cual tuvo como resultado una disminución 17,8% PdiMax (inspiratory transdiaphragmatic pressure), post prueba. Delpech., et al (2003) por su parte, al someter a sujetos a una carga del 85% de su VO2Max en bicicleta logra una disminución de 13,1% PdiMax. De esta forma, se corrobora que el protocolo de fatiga utilizado en este estudio obtiene resultados similares a lo expuesto en la literatura.

Finalmente, se hipotetiza que el grupo deportista tendría una recuperación mayor de la fatiga de los MR, por tener una mayor fuerza en la musculatura inspiratoria; sin embargo, no fue así. Ya que ambos grupos posterior a los 5 minutos de finalizado el ejercicio habían recuperado casi la totalidad del valor de la PiMax previo a la prueba de fatiga. Sin embargo, hay una tendencia de recuperación mayor en el grupo deportista ($14,71 \pm 11,32$ cmH₂O vs $7,75 \pm 9,79$ cmH₂O), esta tendencia

se repite al comparar los porcentajes de recuperación, ($8,77 \pm 6,24\%$ vs $5,62 \pm 7,37\%$), aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa en ninguna de las comparaciones. El estudio realizado Tong T. (2010) señala que la implementación del entrenamiento de la musculatura respiratoria en una población de futbolistas y rugbistas provoca una mejora en el rendimiento deportivo y un retardo en la aparición de fatiga, refiriendo una mejora frente al test Yo-yo del grupo control: $16,9 \pm 5,5\%$ v/s grupo IMT: $30,7 \pm 4,7\%$ en cuanto a los metros recorridos de su valor referencial, además de aumentar en un 9% el valor de la PiMax en el grupo que recibió el entrenamiento.

Por otro lado, Ozmen T., et al (2016), plantea que en poblaciones de futbolistas no integrar un IMT al entrenamiento regular, limita la resistencia a la fatiga de los músculos respiratorios y provoca una aparición temprana del metaborreflejo; por otra parte, Machala K., et al (2019), establece que al realizar un IMT en conjunto al entrenamiento regular en futbolistas retarda la aparición del metaborreflejo, mejora la PiMax, PIMS y el rendimiento de los futbolistas. Esta evidencia apunta a que, si bien la recuperación logra ser mayor en el grupo de deportistas, no difiere significativamente de un grupo de sujetos sedentarios sanos; por lo que el tener un entrenamiento físico regular de fútbol, no asegura un mejor rendimiento respiratorio más óptimo; por lo que autores como Karsten M., et al (2018), mencionan que es beneficioso agregar un IMT a todas las prácticas aeróbicas, para mejorar las variables anteriormente mencionadas.

IX. Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que:

- La recuperación de la fatiga en el grupo de deportistas fue de $14,71 \pm 11,32$ cmH₂O y en el grupo sedentario $7,75 \pm 9,79$ cmH₂O.
- Ambos grupos lograron recuperar por sobre el 80% de su PiMax basal (pre ejercicio); grupo sedentario: 90,11% y grupo deportista: 94,29%
- No existen diferencias estadísticamente significativas en la recuperación de la fatiga muscular inspiratoria entre el grupo de jóvenes futbolistas y sedentarios pertenecientes a la Universidad de Talca.

Secundariamente, el protocolo de fatiga utilizado en este estudio sí produjo fatiga de la musculatura inspiratoria, tanto en la población sedentaria como deportista (grupo sedentario fue de $15,52 \pm 9,09\%$ y en el grupo deportista fue de $14,49 \pm 3,76\%$).

X. Limitaciones del estudio.

Dentro de las limitaciones que se observaron durante el desarrollo del estudio se encuentran:

- Bajo Número de participantes
- Interrupción año académico post estallido social
- Cambios de Evaluadores
- Entrenamiento amateur en el equipo de fútbol
- Competitividad en el grupo de deportistas
- Distinta posición de juego en el equipo de fútbol.

XI. Proyecciones del estudio.

Actualmente en cuanto a los futbolistas, se busca que su rendimiento sea el mejor, aunque no solamente en esta disciplina, Karsten M., et al (2018) menciona que una gran variedad de deportes aeróbicos se ve beneficiados por la integración de un EMI, por lo que la integración de un EMI en el entrenamiento regular el rendimiento en la disciplina puede ser mejor, dado el retardo de la aparición del metaborreflejo, una menor fatiga de los MR y mejor desempeño en la disciplina deportiva practicada.

XII. Glosario.

Aeróbico: Proceso donde se emplea el oxígeno como sustrato para la obtención de energía.

Anaeróbico: Proceso que ocurre en ausencia de oxígeno para la obtención de energía, utilizando otras vías metabólicas como la del lactato.

Cociente Respiratorio: Indica que macronutriente es el metabolizado por el organismo.

Consumo de oxígeno (VO₂): cantidad de oxígeno utilizado por las células en un determinado tiempo.

Consumo máximo de oxígeno (VO₂Max): Cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede transportar, absorber y consumir en cierto tiempo.

Cuestionario internación de actividad física (IPAQ): Cuestionario que permite conocer el nivel de actividad física realizado en los últimos 7 días.

Disnea: Sensación de falta de aire que puede ser medido por algunas escalas.

Escala de Borg: Escala que mide el esfuerzo percibido

Fatiga muscular: Incapacidad temporal de contracción muscular.

Frecuencia respiratoria (FC): respiraciones por minuto.

Gasto Cardíaco (GC): Volumen de sangre eyectado desde el corazón en un minuto.

Lactato: compuesto químico esencial para la fermentación láctica obteniendo energía metabólica por vía anaeróbica.

Metabolismo energético: Es un proceso bioquímico donde las células oxidan nutrientes para la obtención de energía.

Miocardio: tejido muscular que compone al corazón.

Mitocondria: Lugar donde ocurre el consumo de oxígeno en células eucariotas generando energía metabólica como el ATP.

Musculatura apendicular: musculatura que conforman los miembros superiores y miembros inferiores.

Musculatura Respiratoria (MR): Musculatura encargada del proceso de la ventilación que incorpora tanto a los músculos inspiratorios y espiratorios.

Músculos espiratorios (ME): Musculatura encargada de la salida del aire, desde los pulmones hacia el exterior del cuerpo humano

Músculos inspiratorios (MI): Musculatura encargada de la entrada de aire desde el exterior del cuerpo humano hacia los pulmones.

Potencial de acción: impulso eléctrico que viaja a través de la neurona con información motora, sensorial, vestibular, etc.

Presión Arterial (PA): fuerza que ejerce la sangre con las paredes de los vasos sanguíneos.

Presión Inspiratoria Máxima (PiMax): Fuerza máxima de la musculatura inspiratoria para generar una presión negativa.

Presión Inspiratoria Máxima Sostenida (PIMS): Prueba que mide tolerancia a cargas incrementales hacia la musculatura respiratoria.

Retorno Venoso (RV): Es el flujo sanguíneo que vuelve al corazón.

Sarcolema: Membrana celular que envuelve el citoplasma de la fibra muscular.

Test de Astrand: Prueba que mide la capacidad aeróbica de un sujeto.

Test de carga incremental (TCI): Prueba que mide la capacidad máxima de un sujeto para realizar ejercicio.

Umbral láctico: punto que ocurre en ejercicios incrementales en el cual la concentración de lactato aumenta en el torrente sanguíneo.

Umbral ventilatorio: Punto en donde la ventilación se identifica con respecto al oxígeno que se consume.

Volumen Corriente (VC): Volumen de aire que entra y sale de los pulmones en una respiración normal.

Volumen Minuto: cantidad de gas que entra y sale del pulmón por minuto.

Volumen Residual (VR): Volumen de gas que permanece en el pulmón después de una espiración forzada máxima.

Volumen Sistólico (VS): Volumen de sangre que es expulsado desde el ventrículo izquierdo del corazón.

XIII. Bibliografía

1. Aliverti, A. The respiratory muscles during exercise. *Breathe* 12: 165–168, 2016.
2. Antonelli C., Hartz C., da Silva S. and Moreno M., Effects of Inspiratory Muscle Training With Progressive Loading on Respiratory Muscle Function and Sports Performance in High-Performance Wheelchair Basketball Athletes: A Randomized Clinical Trial., *International Journal of Sports Physiology and Performance.*, 2020.
3. Arce E., MECANISMOS FISIOLÓGICOS DE LA FATIGA NEUROMUSCULAR., *REVISTA MEDICA DE COSTA RICA Y CENTROAMERICA* LXXII (615) 461 -464., 2015.
4. Archiza, B, Andaku, DK, Caruso, FCR, Bonjorno, JC, Oliveira, CR, Ricci, PA, et al. Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: A randomized sham-controlled trial. *J Sport Sci* 36: 771–780, 2018.
5. Aznar S., Webster A., Cañete S., San Juan A., López L., Pérez M., Lucia A., Chicharro J., Effects of Inspiratory Muscle Training on Exercise Capacity and Spontaneous Physical Activity in Elderly Subjects: a Randomized Controlled Pilot Trial., *Int J Sports Med.*, 28: 1025–1029., 2007.
6. Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 1969;99(5):696-702.
7. Chicharro J., & Vaquero A., *Fisiología Del Ejercicio*. Médica Panamericana, Madrid, España, 2006.

8. Chicharro J., et al. *Fisiología Del Entrenamiento aeróbico: Una visión Integrada*. Medica Panamericana, Madrid, España. 2013.
9. Delgado M., Feriche B., Matillas M., Chiroso I., PERSPECTIVA BIOLÓGICA DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO., Revista Española de Educación Física y Deporte - N.º 4., 2006.
10. Delpech N, Jonville S, Denjean A. Mouth pressure twitches induced by cervical magnetic stimulation to assess inspiratory muscle fatigue. *Respir Physiol Neurobiol*, 134:23123e7., 2003.
11. Douglas R. Seals., Robin Hood for the lungs? A respiratory metaboreflex that 'steals' blood flow from locomotor muscles: Department of Kinesiology and Applied Physiology, University of Colorado at Boulder, Boulder, CO 80309. USA., 2001.
12. EMMANUEL E. ¿Qué hace que la investigación clínica sea ética? Siete requisitos éticos, en Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: nuevas perspectivas, Lolás F y Quezada A ed. Programa regional de bioética OPS, OMS, 2003.
13. Faghy M. and Brown, PI. Whole-body active warm-up and inspiratory muscle warm-up do not improve running performance when carrying thoracic loads. *Appl Physiol Nutr Metab* 42: 810–815, 2017.
14. Fernández M., Castanys B., Matillas M., Ríos I., BIOLOGICAL PERSPECTIVE OF SPORT TRAINING: Revista Española de Educación Física y Deporte - N.º 4 enero-junio, 2006.

15. Fiz J. y Morera J., Exploración funcional de los músculos respiratorios., Arch Bronconeumol., 2000.
16. Fogarty M., Mantilla C., and Sieck G., Breathing: Motor Control of Diaphragm Muscle., PHYSIOLOGY 33: 113–126., 2018.
17. Frédéric Lemaitre., Jérémy B. Coquart., Florence Chavallard., Ingrid Castres., Patrick Mucci., Guillaume Costalat., Didier Chollet., Effect of Additional Respiratory Muscle Endurance Training in Young Well-Trained Swimmers. Journal of Sports Science and Medicine 12, 630-638., 2013
18. Gonzales J. U., Williams J. S., Effects of acute exercise on inspiratory muscle strength and endurance in untrained women and men. J Sports Med Phys Fitness., 50:268e73, 2010.
19. González-Montesinos J., Vaz Pardal C., Fernández Santos J., Arnedillo Muñoz A., Costa Sepúlveda J. y Gómez Espinosa de los Monteros R., Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica, 2014.
20. Harrison N., Kuchibhatlac M., Crispa K., Hobson L., Casee L., Battenb M., Marcusb J., Kravitzf R., Kishnanig P., Respiratory muscle training (RMT) in late-onset Pompe disease (LOPD): A protocol for a sham-controlled clinical trial., Molecular Genetics and Metabolism 127., 2019.
21. Herrera A. y García F., Exploración funcional de los músculos respiratorios., Arch Bronconeumol., 2000.

- 22.** Illi S., Held U., Frank I., Spengler C. Effect of Respiratory Muscle Training on Exercise Performance in Healthy Individuals A Systematic Review and Meta-Analysis., *Sports Med.*, 2012.
- 23.** James P. Fisher., Ahmed M. Adlan., Alena Shantsila., J. Frederik Secher., Henrik Sørensen., Niels H. Secher., Muscle metaboreflex and autonomic regulation of heart rate in humans: *the journal of physiology* 2013.
- 24.** Janssens L., Brumagne S., McConnell A., Raymaekers J., Goossens N., Gayan G., Hermans G., Troosters T., The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: A systematic review., *Respiratory Medicine*, 107., 2013.
- 25.** Johnson BD, Babcock MA, Suman OE, Dempsey JA. Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *J Physiol*, 460:385e405., 1993.
- 26.** Kocjan J., Adamek M., Gzik-Zroska B., Czyżewski D., Rydel M., Network of breathing. Multifunctional role of the diaphragm: a review., *Adv. Respir. Med.*, 2017.
- 27.** Lee M. Romer., Michael I. Polkey., Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance., *J Appl Physiol* 104: 879–888, 2008.
- 28.** Lorca J., Jiménez S., Pareja H. and Lorenzo A., Inspiratory Muscle Training in Intermittent Sports Modalities: A Systematic Review., *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 2020.
- 29.** Lotte Janssens, Simon Brumagne, Alison K. McConnell, Jonas Raymaekers, Nina Goossens, Ghislaine Gayan-Ramirez, Greet Hermans, Thierry

- Troosters. The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: A systematic review, 2013.
- 30.** Mackała K., Kurzaj M., Okrzymowska P., Stodółka J., Coh M. and Rożek C., The Effect of Respiratory Muscle Training on the Pulmonary Function, Lung Ventilation, and Endurance Performance of Young Soccer Players., *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 17, 234., 2019.
- 31.** Mador M. J., Acevedo F. A., Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *J. Appl Physiol.*, 70:2059-65., 1991.
- 32.** Marin J., Dot I., Boguña M., Cecchini L., Zapatero A., Gracia M., Pascual S., Vilà C., Castellví A., Perez P., Gea J. and Masclans J., Structural differences in the diaphragm of patients following controlled vs assisted and spontaneous mechanical ventilation., *Intensive Care Med.*, 2017.
- 33.** Mena, E. Cruz. *Aparato Respiratorio: fisiología y clínica*. Mediterráneo, 1999.
- 34.** Moreno J., THE FATIGUE, TYPES, CAUSES AND EFFECTS., *Revista digital: Actividad Física y Deporte.*, 2016.
- 35.** Muñoz R., & Vásquez B., Diafragma: Trayectoria Histórica del Término y de sus Descripciones Anatómica y Funcional., *Int. J. Morphol.*, 35(4):1614-1622, 2017.
- 36.** Orozco M. y Gea J., El Diafragma., *Arch Bronconeumol.*, 1997.
- 37.** OZMEN T., Gokce Y GUNES, UCAR I., DOGAN H., GAFUROGLU T., Effects of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players., *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.*, 2017.

- 38.**REN-JAY S. RECENT ADVANCEMENTS IN OUR UNDERSTANDING OF THE ERGOGENIC EFFECT OF RESPIRATORY MUSCLE TRAINING IN HEALTHY HUMANS: A SYSTEMATIC REVIEW, 2018.
- 39.**SAMPER J., NAVARRO R. y LLORET J., LA FATIGA DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS., Arch Bronconeumol., 1986.
- 40.**SERÓN P., MUÑOZ S., LANAS F., Nivel de actividad física medida a través del cuestionario internacional de actividad física en población chilena., Revista de Medicina Chilena., 2010.
- 41.**Siquier J., Collado Y., Sánchez M., Grijota F., Pérez M., Bartolomé I. y Muñoz D., Estudio comparativo de las variables determinantes de la condición física y salud entre jóvenes deportistas y sedentarios del género masculino., Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura., 2017.
- 42.**Spranger M., Krishnan A., Levy P., O’Leary D., and Smith S., Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: a call for concern., Am J Physiol Heart Circ Physiol 309: H1440–H1452., 2015.
- 43.** *Stølen T., Chamari K., Castagna C. and Wisløff U.* Physiology of Soccer An Update, Sports Med, 2005.
- 44.**Tiller N., Pulmonary and Respiratory Muscle Function in Response to Marathon and Ultra-Marathon Running: A Review., Sports Medicine., 2019.
- 45.**Tong, T.K.; Fu, F.H.; Eston, R.; Chung, P.K.; Quach, B.; Lu, K. Chronic and Acute Inspiratory Muscle Loading Augment the Effect of a 6-Week Interval Program on Tolerance of High-Intensity Intermittent Bouts of Running. J. Strength Cond. Res., 24, 3041–3048., 2010.

- 46.** Welch J., Kipp S. and William A., Respiratory muscles during exercise: mechanics, energetics, and fatigue., *Current Opinion in Physiology.*, 10:102–109., 2019.

XIV. Anexos

1. Anexo N° 1

Medición PiMax según la ATS-ERS 2002

- Posición del paciente sedente.
- Uso de pinza nasal.
- Labios del paciente firmemente adosados a pieza bucal.
- 2-3 ciclos respiratorios fuera del equipo.
- Insertar boquilla del equipo por detrás de la dentadura y cerrar con los labios para evitar fugas de aire.
- Desde CRF o VR solicitar una inspiración rápida y profunda que sea mantenida a lo menos un 1 seg.
- Imprescindible máximo aliento del operador.
- Obtener un mínimo de tres esfuerzos reproducibles. (No más de 5% entre ellos).
- Si el último intento es el mayor de todos realice una nueva maniobra
- Permitir un 1 minuto de descanso entre 1 intento y el otro.

Contraindicaciones absolutas

- Angina inestable.
- Infarto de miocardio reciente (4 semanas siguientes al evento) o miocarditis.

- Hipertensión sistémica no controlada.
- Neumotórax reciente.
- Postoperatorio de biopsia pulmonar (siguiente semana).

2. Anexo N° 2

VERSIÓN CORTA FORMATO AUTO ADMINISTRADO - ÚLTIMOS 7 Días PARA USO CON JÓVENES Y ADULTOS DE MEDIANA EDAD (15-69 años).

Los Cuestionarios Internacionales de Actividad Física (IPAQ, por sus siglas en inglés) contienen un grupo de 4 cuestionarios. La versión larga (5 objetivos de actividad evaluados independientemente) y una versión corta (4 preguntas generales) están disponibles para usar por los métodos por teléfono o auto administrada. El propósito de los cuestionarios es proveer instrumentos comunes que pueden ser usados para obtener datos internacionalmente comparables relacionados con actividad física relacionada con salud.

Antecedentes del IPAQ El desarrollo de una medida internacional para actividad física comenzó en Ginebra en 1998 y fue seguida de un extensivo examen de confiabilidad y validez hecho en 12 países (14 sitios) en el año 2000. Los resultados finales sugieren que estas medidas tienen aceptables propiedades de medición para usarse en diferentes lugares y en diferentes idiomas, y que son apropiadas para estudios nacionales poblacionales de prevalencia de participación en actividad física.

Uso del IPAQ Se recomienda el uso de los instrumentos IPAQ con propósitos de monitoreo e investigación. Se recomienda que no se hagan cambios en el orden o redacción de las preguntas ya que esto afectará las propiedades sicométricas de los instrumentos.

Traducción del Inglés y Adaptación Cultural Traducción del inglés es sugerida para facilitar el uso mundial del IPAQ. Información acerca de la disponibilidad del IPAQ en diferentes idiomas puede ser obtenida en la página de internet www.ipaq.ki.se. Si se realiza una nueva traducción recomendamos encarecidamente usar los métodos de traducción nuevamente al inglés disponibles en la página web de IPAQ. En lo posible por favor considere poner a disposición de otros su versión traducida en la página web de IPAQ. Otros detalles acerca de traducciones y adaptación cultural pueden ser obtenidos en la página web.

Otros Desarrollos de IPAQ Colaboración Internacional relacionada con IPAQ es continua y un **Estudio Internacional de Prevalencia de Actividad Física** se encuentra en progreso. Para más información consulte la página web de IPAQ.

Información Adicional Información más detallada del proceso IPAQ y los métodos de investigación usados en el desarrollo de los instrumentos IPAQ se encuentra disponible en la página www.ipaq.ki.se y en Booth, M.L. (2000). *Assessment of Physical Activity: An International Perspective*. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71 (2): s114-20. Otras publicaciones científicas y presentaciones acerca del uso del IPAQ se encuentran resumidas en la página. Estamos interesados en saber acerca de la clase de actividad física que la gente hace como parte de su vida diaria. 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 en 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(a)

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(a)

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 al 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(a)

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) en un escritorio, visitando amigos(as), 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(a)

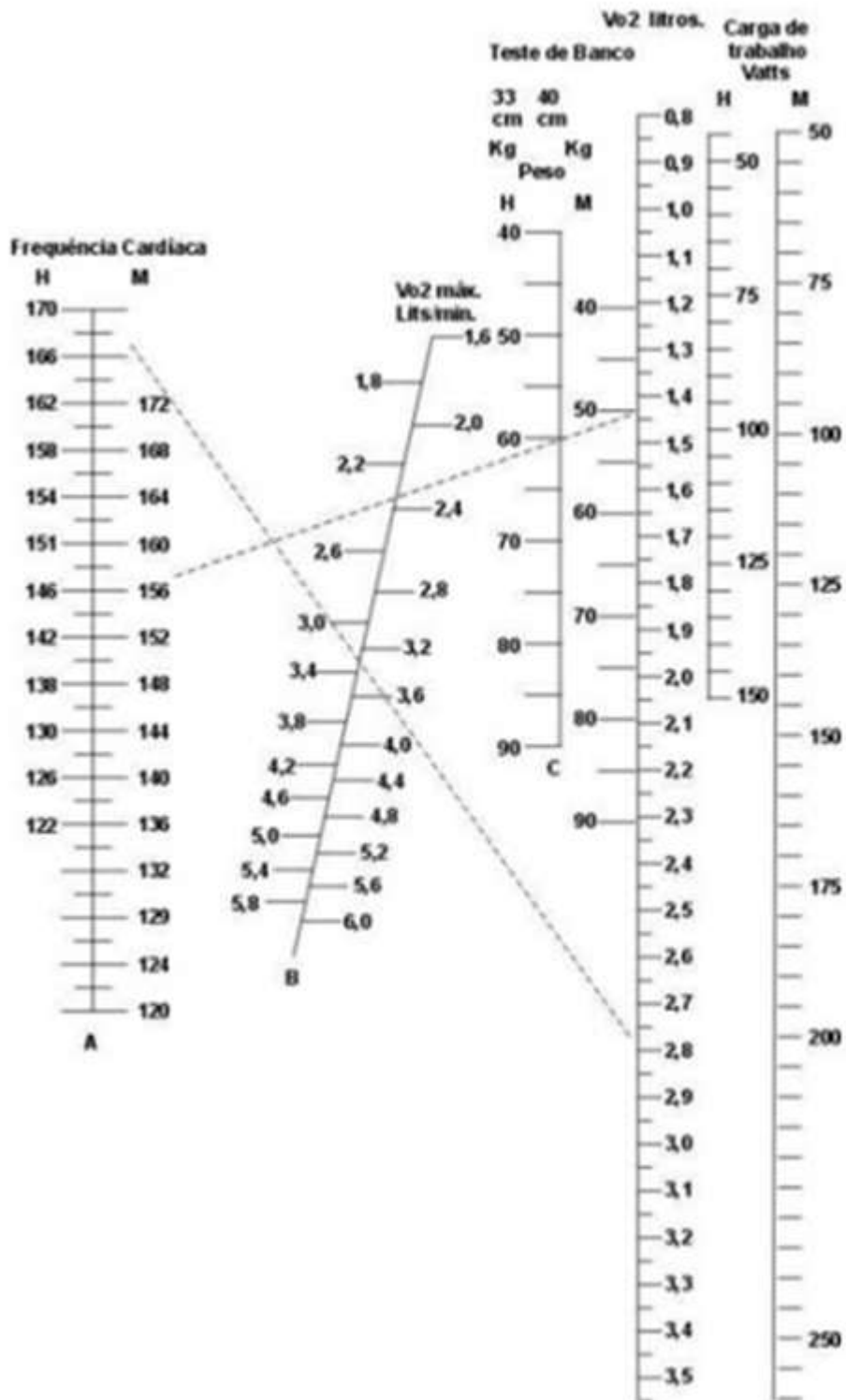
Este es el final del cuestionario, gracias por su participación.

3. Anexo N° 3

Test de Astrand

- Disponer de un metrónomo a una cadencia de 90 pulsaciones por minuto (22.5 ciclos de subir y bajar del banco cada minuto).
- Cada pulsación del metrónomo representa un solo paso como sigue:
 - Subir con pie derecho.
 - Subir con pie izquierdo.
 - Bajar con pie derecho.
 - Bajar con pie izquierdo.
- Efectuar la prueba durante 5 minutos.
- Al final de los 5 minutos, sentarse inmediatamente.
- Medir los latidos durante 15 segundos.
- Buscar el valor obtenido (en 15 segundos) en la columna del lado izquierdo según sexo, y cruzarlo con el valor del peso corporal en Kg.
- Obtenga el factor de corrección por la edad y multiplíquelo con el valor de VO₂Max obtenido en el punto anterior, el resultado equivale a su puntuación de VO₂Max corregido.
- Determine la clasificación de su aptitud a partir del cuadro normativo aeróbico.

- Calcule su capacidad aeróbica en L-min-1 (valor absoluto) y en ml.kg-1.min-1 (valor relativo).



4. Anexo N°4

Test de Carga Incremental. (cicloergómetro)

- Pedalear a 60 rpm con una carga inicial de 25 watts, incrementar la carga en 25 watts por etapa con una duración de 3 minutos por etapa, hasta el umbral ventilatorio.

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

| Etapa | Duración min | RPM | Watts | FC |
|--------------|---------------------|------------|--------------|-----------|
| Reposo | | | | |
| 1 | 3 | 60 | 25 | |
| 2 | 3 | 60 | 50 | |
| 3 | 3 | 60 | 75 | |
| 4 | 3 | 60 | 100 | |
| 5 | 3 | 60 | 125 | |
| 6 | 3 | 60 | 150 | |
| 7 | 3 | 60 | 175 | |
| Recup. | 3 | 40 | 0 | |

5. Anexo N° 5

Medición de PIMS

Consiste en la medición de tolerancia a cargas incrementales (resistencia) donde se aumenta la carga de 4 cmH₂O cada 2 minutos (a través de incrementos de la carga del resorte de la válvula) hasta la carga máxima que el paciente puede sostener por 2 min.

| Tiempo | Carga | SaO ₂ | FC | FR |
|--------|-------|------------------|----|----|
| 0-2 | 9 | | | |
| 2-4 | 13 | | | |
| 4-6 | 17 | | | |
| 6-8 | 21 | | | |
| 8-10 | 25 | | | |
| 10-12 | 29 | | | |
| 12-14 | 33 | | | |
| 14-16 | 37 | | | |
| 16-18 | 41 | | | |

6. Anexo N° 6:

Análisis de los aspectos bioéticos

1. **Valor:** Este proyecto pretende aportar al conocimiento científico de alternativas de entrenamiento de la musculatura inspiratoria y cómo ésta influye en el rendimiento aeróbico.
2. **Validez científica:** El diseño de investigación es coherente con los objetivos planteados, además es factible de ser llevado a cabo, los protocolos de evaluación de las variables están debidamente protocolizados por sociedades científicas (ATS; ERS; ACSM) y validados para población chilena. Los evaluadores serán capacitados por el investigador responsable para la aplicación de las evaluaciones y con ello reducir el error. El análisis de datos es consistente. Por otra parte, todas las evaluaciones y el entrenamiento que se llevará a cabo son intervenciones del quehacer rutinario de la kinesiología respiratoria; por lo tanto, están dentro de los aprendizajes comprometidos por los módulos de cuarto año en el área cardiorrespiratoria.
3. **Selección equitativa del sujeto:** Los sujetos elegibles en esta investigación, son individuos jóvenes, sanos y que no realizan ejercicio físico de manera rutinaria. Esta condición se observa en la mayoría de los jóvenes universitarios. Por lo tanto, el grupo de sujetos es seleccionado porque sus características tienen estrecha relación con la interrogante de la investigación. Por otra parte, el diseño de investigación reduce al mínimo los

riesgos y se trata de maximizar los beneficios. Se cuenta con un laboratorio de función cardiorrespiratoria equipado para la aplicación de los procedimientos evaluativos y de intervención. Además, el investigador responsable está certificado por la American Heart Association (AHA) en soporte vital básico y el laboratorio cuenta con un desfibrilador automático (DEA). Finalmente, las características de esta investigación responden a los saberes de un módulo y debe ser factible de ser realizado, por este motivo la muestra, será seleccionada por conveniencia y no responde a un cálculo de tamaño muestral.

- 4. Proporción Riesgo/Beneficio:** Los entrenamientos planteados en esta investigación están avalados por estudios científicos previos y cuentan con la debida validez científica. Se reportan muy bajos riesgos en la literatura de eventos cardiovasculares en ejercicio en sujetos sedentarios sanos (0,05%); además no se reportan efectos adversos por entrenar la musculatura inspiratoria. Se establecerán criterios de suspensión de las evaluaciones e intervenciones que garanticen el bienestar de los sujetos. Si bien se realizará la evaluación de la condición general del sujeto previo a cada evaluación o intervención y ninguna medición involucra algún peligro de la integridad del individuo, en caso de que durante el transcurso del procedimiento se manifieste cierto malestar, mareo, vómito, sudoración excesiva, ahogo o no desee continuar, se suspenderá la evaluación o intervención y se prestará asistencia necesaria. Las actividades de medición e intervención se realizarán dentro de las dependencias de la Universidad de Talca para

resguardar la vigencia del seguro estudiantil en caso de que ocurrir alguna eventualidad. Además, en caso de pesquisar anomalías y/o patologías durante la evaluación de cada sujeto, se derivará al Departamento de Salud para el Estudiante, ubicado dentro del Campus Lircay de la Universidad de Talca, con el fin de que reciba atención médica oportuna para su condición.

5. Evaluación independiente: El proyecto será enviado a revisión por Comité de Ética Científica de la Facultad de Salud de la Universidad de Talca.

6. Consentimiento informado: Cada sujeto que acepte libre y voluntariamente a participar de esta investigación deberá firmar el consentimiento informado. Este tendrá información sobre la finalidad del estudio, sus riesgos y beneficios y quedará explícitamente informado que el individuo puede revocar su decisión de participar en cualquier momento de la investigación. Además, llevará información sobre la metodología y los números de contacto de los investigadores. Se citará a cada participante de manera individual para explicar los propósitos de la investigación y conocer a quienes serán los responsables de las evaluaciones e intervención y se dará lectura al consentimiento, éste podrá ser llevado a la casa para su análisis y se devolverá firmado al día siguiente si el sujeto está de acuerdo con participar.

7. Respeto a los sujetos inscritos: Los participantes tienen todo el derecho a cambiar de opinión, pudiendo retirarse del estudio sin sanción alguna, se respetará totalmente la privacidad de los participantes, siendo confidencial toda la información que se tenga de ellos, por lo que se codificarán sus datos y la investigadora principal resguardará la información y resultados que de la

investigación se desprenda, por el periodo de un año, posterior al cual se borrarán. Si durante el transcurso de la investigación se encuentra nueva información sobre los riesgos o beneficios de esta, será entregada oportunamente a cada participante, del mismo modo los resultados obtenidos de esta serán entregados mediante un informe escrito. Finalmente, el bienestar del participante será observado constantemente a lo largo de su participación, con el fin de proporcionar el tratamiento adecuado o retirarlo del estudio en el caso de que ocurra un evento adverso.

7. Anexo N° 7

Test de fatiga.

- Ubicación del Polar en el sujeto para la medición de frecuencia cardiaca.
- El sujeto inicia con la medición de PiMax descrito en el Anexo N°1
- Luego de evaluar PiMax el sujeto debe subir al cicloergómetro y realizar un calentamiento al 30% del TCI descrito en el Anexo N°4 y mantener 50 rpm durante 3 minutos.
- Pasado los 3 minutos, se aumenta la carga al 80% de su TCI, sumado a un aumento entre 60 y 70 Rpm, provocando que la Frecuencia cardiaca de reserva aumente entre un 85 - 90%. El test se termina cuando el sujeto determina una máxima sensación de fatiga o disnea. Se considerará una prueba válida a aquellos que duren mínimo 5 minutos con carga.
- Una vez finalizada la prueba el sujeto deberá realizar una recuperación de 3 min restableciendo su Frecuencia cardiaca a un 50%.
- Finalmente se volverá a medir PiMax inmediatamente finalizada la prueba y cada 5 minutos. Se detendrán las mediciones PiMax una vez que el sujeto vuelva a los valores obtenidos pre-ejercicio.

