

## El entrenamiento de los músculos inspiratorios durante 3 semanas aumenta la presión inspiratoria, pero no el rendimiento en jóvenes nadadores de élite chilenos

### Inspiratory muscle training for 3 weeks increases maximal inspiratory pressure but not the performance in young Chilean elite swimmers

\*Pablo Troncoso-Galleguillos, \*\*Oscar F. Araneda, \*\*\*José Naranjo-Orellana

\*Universidad Autónoma de Chile (Chile), \*\*Universidad de los Andes (Chile), \*\*\*Universidad Pablo de Olavide (España)

**Resumen.** El entrenamiento muscular inspiratorio (IMT) ha mostrado algunos beneficios sobre el rendimiento en deportistas dependiendo de la intensidad, duración y adherencia al entrenamiento. Investigamos el efecto de un protocolo reducido en extensión y de alta intensidad. 14 nadadores jóvenes de nivel regional Chilenos de ambos sexos fueron distribuidos aleatoriamente en un grupo control (G-CON) (2M/5H) y uno que realizó entrenamiento de la musculatura inspiratoria (G-IMT) (2M/5H). Ambos grupos continuaron con sus entrenamientos de nado de modo habitual, el G-IMT sumó un tratamiento de 36 sesiones, distribuidas en 2 sesiones al día de 30 respiraciones al 70% de la Presión Inspiratoria Máxima (PIMax) usando la válvula Powerbreathe® durante tres semanas. Finalizada la intervención, la PIMax mostró aumentos en el G-IMT ( $p=0.0115$ ,  $\eta^2=0.4254$ ; tamaño del efecto grande), sin cambios morfológicos diafragmáticos, ni mejoras en la espirometría, ni en el test cardiopulmonar en laboratorio, ni en las variables de desempeño físico posterior a la prueba de 200 metros crol. En conclusión, el IMT en jóvenes deportistas durante tres semanas mejoró la fuerza muscular inspiratoria, pero no modificó la morfología del diafragma ni el rendimiento físico, medido tanto en laboratorio como en una prueba de campo.

**Palabras clave:** entrenamiento músculos inspiratorios, nadadores jóvenes, rendimiento físico, metabolismo, consumo de oxígeno.

**Abstract.** Inspiratory muscle training (IMT) has shown some benefits on performance in athletes depending on intensity, duration and adherence to training. We investigated the effect of a reduced extension and high intensity protocol. 14 young Chilean regional level swimmers of both sexes were randomly distributed in a control group (G-CON) (2F/5M) and one group that performed inspiratory muscle training (G-IMT) (2F/5M). Both groups continued with their swimming training as usual, the G-IMT group added a treatment of 36 sessions, distributed in 2 sessions per day of 30 breaths at 70% of the maximum inspiratory pressure (MIP) using the Powerbreathe® valve for three weeks. At the end of the intervention, MIP showed increases in G-IMT ( $p=0.0115$ ,  $\eta^2=0.4254$ ; large effect size), without diaphragmatic morphological changes, nor improvements in spirometry, nor in the cardiopulmonary test in the laboratory, nor in the physical performance variables after the 200-meter crawl test. Conclusion, IMT in young athletes for three weeks improved inspiratory muscle strength, but did not modify diaphragm morphology or physical performance, measured both in the laboratory and in a field test.

**Keywords:** inspiratory muscle training, young swimmers, physical performance, metabolism, oxygen consumption.

Fecha recepción: 22-04-24. Fecha de aceptación: 29-08-24

Pablo Gonzalo Troncoso Galleguillos

[ptroncosog@uautonoma.cl](mailto:ptroncosog@uautonoma.cl)

## Introducción

La natación a nivel competitivo es un deporte que demanda un gran esfuerzo muscular torácico. Durante esta actividad los músculos de esta región corporal comparten tanto acciones directas en la generación de cambios de presión intrapulmonar, permitiendo el intercambio de gases, y al mismo tiempo, poseen un rol como estabilizadores corporales durante el nado (Kilding et al., 2010). Además, el esfuerzo físico sostenido sobre el 85% del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) máximo producen contracciones fatigantes de la musculatura ventilatoria (Hill, 2000), lo que induce una respuesta refleja vasoconstrictora de las extremidades inferiores que genera una competencia por el flujo sanguíneo entre la musculatura respiratoria y locomotriz (Amann M., 2012; Callegaro et al., 2011) y de esta forma, promueve la aparición de fatiga muscular de extremidades inferiores, dificultando la capacidad de sostener el pateo durante el nado (Lomax, 2003). También la natación sobrecarga la actividad ventilatoria por la inducción de un patrón de “respiración de frecuencia controlada” con reducidos ciclos inspiratorios libres (0.3 a 0.5 segundos) para mantener una brazada eficiente (Enríquez-Enríquez et al., 2023; Mickleborough, et

al., 2008; Town & Vanness, 1990). La suma de estos factores se asocia a la fatiga muscular inspiratoria inducida por la natación, descrita como una caída, entre un 12 a un 29%, de la Presión Inspiratoria Máxima (PIMax) luego de nadar 200 metros estilo crol (Burtch et al., 2017; Jakovljevic & McConnell 2009; Lomax et al., 2003; Lomax et al., 2013). Por esta razón, algunos autores han planteado que, ante un esfuerzo físico de gran intensidad, la acción de la musculatura respiratoria puede ser potencialmente limitante del desempeño físico (Burtch et al., 2017; Kilding et al., 2010), desencadenando una disminución del rendimiento (Aspenes et al., 2012; McConnell & Griffiths, 2010).

Por su naturaleza estructural esquelética, la musculatura respiratoria responde de forma similar a los músculos locomotores durante el entrenamiento de fuerza (Brown et al., 2014). De esta forma, el entrenamiento muscular específico aplicado a través del incremento de la resistencia ventilatoria, ha sido históricamente usado en pacientes con patologías respiratorias como EPOC (Gosselink et al., 2011), asma (Castilho et al., 2020) y fibrosis pulmonar (Naranjo-Orellana & Santalla, 2020) entre otras. A partir de esta aplicación inicial, esta estrategia fue transferida a sujetos sanos participantes de práctica deportiva con alta exigencia física

(Kapus, 2013). Así, el entrenamiento de los músculos inspiratorios ha sido explorado como metodología complementaria de entrenamiento en el remo (Griffiths & McConnell, 2007; Klusiewicz et al., 2008), el ciclismo (Salazar-Martínez et al., 2017), en corredores (Tong et al., 2010), el rugby (Nunes Júnior et al., 2018) y la natación competitiva (Kapus, 2013; Karsten, et al., 2018; Kilding et al., 2010; Lomax et al., 2019). Por otra parte, la determinación de la PIMax es un indicador directo de la evaluación de la fuerza muscular inspiratoria, como efecto a este tipo de entrenamiento (Romer et al., 2004). Además, es posible evaluar su impacto en la morfología a través de la medición del grosor diafragmático (Enright et al., 2006), así como diversos indicadores tanto, fisiológicos (frecuencia cardíaca y respiratoria, lactato sanguíneo), de la función pulmonar (PIMax, Capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1), cociente entre el volumen espiratorio forzado en el primer segundo y la capacidad vital forzada (FEV1/FVC)) y del desempeño físico (tiempo de nado, número de brazadas,  $VO_2$ ) en pruebas de campo (Cavalcante et al., 2019; Lorca-Santiago et al., 2020; Yañez-Sepúlveda et al., 2021).

En la natación competitiva, existen reportes que señalan al entrenamiento de los músculos inspiratorios como una estrategia eficiente para generar tanto cambios morfológicos como mejoras en el rendimiento físico (Caine & McConnell, 2000; Cavalcante et al., 2019; Klusiewicz et al., 2008; Lorca-Santiago et al., 2020; Nepomuceno et al., 2016; Nunes Júnior et al., 2018; Segizbaeva et al., 2015). Sin embargo, estos programas difieren en aspectos metodológicos de planificación, destacando diferencias en el nivel de carga inspiratoria programada, con un 30% (Astinchap et al., 2015; Ghannadi et al., 2022), 50% (Cunha et al., 2019; Kapus et al., 2013; Kilding et al., 2010; Lomax et al., 2019; Ohya et al., 2022), 60% (Clanton et al., 1985; Okrzymowska et al., 2019) y 80% (Mickleborough y col., 2008) de la PIMax. En el número de sesiones semanales, de 3 (Clanton y col., 1985; Mickleborough y col., 2008) a 5 (Cunha y col., 2019). En la duración del entrenamiento, de 4 (Shei, 2018; Lomax et al., 2019), 6 (Astinchap et al., 2015; Kapus et al., 2013; Kilding et al., 2010; Lomax et al., 2017), 8 (Ghannadi et al., 2022; Okrzymowska et al., 2019), 10 (Clanton et al., 1985) a 12 (Cunha et al., 2019; Mickleborough et al., 2008) semanas. Estas variaciones de planificación no permiten establecer aún un consenso, de que régimen es el más eficiente (Brown et al., 2011).

En vista de los antecedentes previamente publicados en esta área, es posible identificar factores a considerar durante la elaboración de programas de entrenamiento de la musculatura inspiratoria específicos para esta especialidad deportiva.

Así, una mayor ganancia de la fuerza muscular inspiratoria ocurre en quienes poseen bajos valores pre entrenamiento de la PIMax (Brown et al., 2014). También se ha descrito la influencia del tipo de entrenamiento (fuerza o resistencia), el volumen de carga semanal prescrita y el sis-

tema valvulado utilizado (carga resistida, de flujo o de presión) (Aspenes et al., 2012; Klusiewicz et al., 2008). Finalmente, es probable, que los factores más importantes a la hora de determinar el resultado de la intervención sean la intensidad y duración del programa (Enright et al., 2011; Mc Connell & Griffiths, 2010). Así, se ha visto que una carga programada a intensidades elevadas (sobre el 60% de la PIMax) genera mayores cambios en la fuerza muscular inspiratoria (Enright et al., 2011; Hill et al., 2011; Mc Connell & Griffiths, 2010). Respecto a la duración, la mayoría de los programas fueron extensos en semanas lo que puede disminuir la adherencia de los participantes (Cunha et al., 2019). Respecto a la carga de la musculatura inspiratoria, los reportes publicados, en su mayoría no superan el 60% de la PIMax lo que puede ser considerado como un valor bajo para obtener beneficios (Karsten et al., 2018). En vista de lo expuesto, el protocolo evaluado tiene como características centrales un tiempo reducido (tres semanas) y una intensidad alta (70% de la PIMax). Además, fue nuestro interés el probar este protocolo en nadadores jóvenes (<18 años) de alto rendimiento en vista que existen pocos reportes en esta población (Astinchap et al., 2015; Cunha et al., 2019; Ghannadi et al., 2022; Kapus, 2013; Lemaitre et al., 2013).

## Material y métodos

### Participantes

14 jóvenes nadadores de ambos sexos pertenecientes al equipo seleccionado de la séptima región de Chile (dirigidos por el mismo grupo de entrenadores) con sede de entrenamiento en la ciudad de Talca (ver sus características generales en la tabla 1). Su régimen de entrenamiento consistía en nueve sesiones semanales de dos horas cada una, distribuidas en dos veces al día y una sesión una vez al día, logrando cubrir 45 kilómetros de nado semanal. Los criterios de inclusión fueron poseer marcas de nivel nacional en sus pruebas y tener un año de antigüedad en la selección regional de natación. Como criterio de exclusión se consideró el presentar alguna lesión músculo esquelética en un período menor a 30 días o el presentar un cuadro infeccioso respiratorio durante el estudio. La investigación garantizó el bienestar de todos los participantes, su dignidad, intimidad y la confidencialidad de la información. Para esto, se dispuso de un consentimiento informado para padres y un asentimiento para nadadores, además de realizar las pruebas en óptimas condiciones ambientales y de seguridad para el resguardo de los participantes. El protocolo experimental tuvo en cuenta los principios éticos de la declaración de Helsinki (World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013) relativos a la investigación en seres humanos y fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Autónoma de Chile (Proyecto N° CEC 02-20).

Tabla 1.  
Características generales de los nadadores

Medida	G-IMT (n=7)	G-CON (n=7)	p
Edad (años)	17.1 ± 2.2	16.0 ± 1.4	0.361
Peso (kg)	69.6 ± 8.3	67.7 ± 10.3	0.705
Estatura (cm)	173.7 ± 7.0	172.6 ± 9.0	0.805
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22.7 ± 2.4	22.0 ± 1.6	0.522
VO <sub>2</sub> max (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	49.6 ± 7.0	48.0 ± 4.5	0.668
PIMax (cmH <sub>2</sub> O)	134.4 ± 26.4	116.6 ± 25.0	0.167

Los datos se presentan como promedio ± desviación estándar. Abreviaciones: G-IMT= grupo experimental; G-CON= grupo control; IMC= índice de masa corporal; VO<sub>2</sub>max= consumo de oxígeno máximo; PIMax= presión inspiratoria máxima. p<0.05

### Diseño del estudio

Se realizó un ensayo clínico controlado aleatorio que evaluó el entrenamiento muscular inspiratorio (IMT) en una muestra censal regional. Inicialmente se comenzó con el enrolamiento donde se les informó a los nadadores sobre los objetivos del estudio y se les explicó la intervención. Una vez establecidos voluntariamente los participantes, fueron randomizados en dos grupos de dos mujeres y cinco hombres cada uno, un grupo IMT (G-IMT) y un grupo control (G-CON). Los procedimientos realizados son representados en la figura 1.

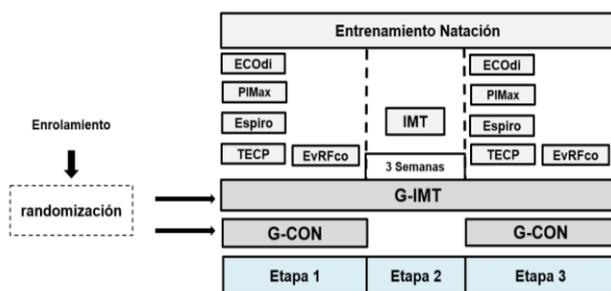


Figura 1. Esquema del diseño del estudio. Abreviaciones: G-IMT= grupo experimental; G-CON= grupo control; IMT= entrenamiento muscular inspiratorio; ECOdi= evaluación de ecografía diafragmática; PIMax= evaluación presión inspiratoria máxima; Espiro= evaluación espirométrica; TECP= test de esfuerzo cardiopulmonar; EvRFco= evaluación del rendimiento físico en piscina.

### Protocolos de Evaluación

Durante el estudio ambos grupos mantuvieron el mismo régimen de entrenamiento habitual. Además, los participantes completaron en el mismo orden antes y después de la intervención las siguientes pruebas: evaluación del grosor diafragmático, test de función pulmonar (PIMax basal y espirometría), test de esfuerzo cardiopulmonar (TECP). Finalmente, luego de un día de finalizadas estas pruebas se realizaron las mediciones durante la prueba de natación de 200 metros crol en piscina climatizada de 25 metros.

#### Grosor del diafragma

Las mediciones fueron realizadas por un operador de experiencia, usando un ecógrafo portátil Philips Lumify®, Bothell, USA, utilizando un transductor lineal L12-4 en modo B. Los evaluados se ubicaron en supino, el transductor se posicionó perpendicular a la zona de aposición del hemidiafragma derecho ubicado entre el octavo y noveno espacio intercostal, paralelo entre la línea axilar anterior y

medio axilar. El diafragma se identificó como una estructura de tres capas, consistentes en una capa muscular interna hipoecoica, rodeada por dos membranas externas hiperecoicas correspondientes al peritoneo y a la pleura (Santana et al., 2020). El grosor del hemidiafragma derecho (GHDD), se midió al final de una espiración tranquila a capacidad residual funcional (FRC) y al final de una inspiración tranquila con el diafragma contraído, en cada posición se consideró el promedio de tres mediciones (ATS/ERS, 2002; Santana et al., 2020; Calvo-Lobo, 2019). Para identificar los eventuales cambios relacionados con el IMT, se calculó la proporción de engrosamiento del diafragma (PE), este valor se obtuvo al medir el grosor del diafragma obtenido durante una maniobra de PIMax iniciada desde FRC, y el espesor medio del diafragma durante la relajación en FRC, descrito con la siguiente ecuación  $PE = \text{grosor diafragmático en PIMax desde FRC} / \text{grosor diafragmático relajado en FRC}$  (Enright et al., 2006; Ueki et al., 1995).

#### Fuerza muscular inspiratoria

Se determinó la PIMax con un pimómetro Care Fusion, Micro Respiratory Pressure Meter (RPM), Basingstoke UK, software PUMA Carefusion, Micro Medical versión 1.4, 2004, con resolución de 1 cmH<sub>2</sub>O y un rango máximo de 300 cmH<sub>2</sub>O. La evaluación de las presiones máximas requirió un esfuerzo brusco y enérgico, siendo el valor máximo determinado como el promedio de una meseta en 2 segundos. El criterio para la estabilidad de la PIMax fue la diferencia menor al 5% entre los esfuerzos máximos sucesivos. Para todas las mediciones se utilizó pinza nasal y se consideró un período de descanso entre maniobras de 1 minuto. Estas mediciones se realizaron en dos escenarios diferentes, el primero, en el laboratorio de Fisiología del ejercicio, se realizó una medición basal en reposo sentado en una silla antes y después de la intervención. Posteriormente en el recinto de piscina, se realizó una medición máxima sentado en una silla 10 minutos posterior a la prueba de nado en 200 metros crol, antes y después del IMT (ATS/ERS, 2002; Contreras et al., 2008; Sclausser et al., 2014).

#### Espirometría

La espirometría se realizó según protocolos descritos por la Asociación Americana de Tórax y Asociación Europea Respiratoria (ATS/ERS, 2002). Se utilizó un sistema espirométrico abierto Cortex metasoft® studio, metalyzer 3B, Leipzig, Alemania. Se registraron los siguientes parámetros: Capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV<sub>1</sub>), cociente entre el volumen espiratorio forzado en el primer segundo y la capacidad vital forzada (FEV<sub>1</sub>/FVC), flujo inspiratorio pico (PIF), flujo espiratorio pico (PEF). Para las mediciones se utilizó la posición sedente en silla, pinza nasal y se consideró un período de descanso de 1 minuto entre las maniobras.

#### Test de ejercicio cardiopulmonar (TECP)

Se realizó siguiendo los lineamientos de la Asociación

Americana de Tórax y Asociación Europea Respiratoria (ATS/ERS, 2002). El análisis de gases se desarrolló con un sistema espirométrico abierto de turbina y máscara facial naso bucal conectada al sistema Cortex metasoft® studio, metalyzer 3B, Leipzig, Alemania, con análisis de gases respiratorios respiración a respiración, determinados por un sensor de oxígeno de célula electroquímica y un sensor de anhídrido carbónico de tipo infrarrojo no dispersivo, la rutina de calibración de los gases y volúmenes se realizó antes de comenzar la primera prueba del día. Se utilizó un protocolo en tapiz rodante h/p/Cosmos® Mercury, Nussdorf-Traunstein, Alemania. En interfase con el software controlador, se inició caminando a 3 km/hrs por 3 minutos, la inclinación del tapiz rodante se mantuvo en 1% durante toda la prueba, luego aceleró a 6 km/hrs e incrementó la carga en rampa en 1.5 km/hrs por minuto hasta el agotamiento del evaluado, la fase de recuperación fue de un minuto a 3 km/hrs. Se consideraron los siguientes hitos fisiológicos durante la prueba: Umbral ventilatorio 1 ( $VT_1$ ), fue determinado en la relación  $VCO_2 \cdot VO_2$ , se seleccionó el primer punto de desviación de la linealidad por el aumento de la producción de dióxido de carbono, en relación con el incremento de la intensidad del esfuerzo (Schneider et al., 1993). Umbral ventilatorio 2 ( $VT_2$ ), fue determinado en la relación  $V_E \cdot VCO_2$ , identificando el punto en el que se produce una pérdida de la linealidad por un aumento de la ventilación pulmonar, en un ejercicio incremental (Beaver et al., 1986). La eficiencia respiratoria o Delta  $CO_2$  ( $V_E/VCO_2$  slope), viene dada por la pendiente de la relación entre la ventilación ( $V_E$ ) y la eliminación de  $CO_2$  ( $VCO_2$ ) medida por debajo del segundo umbral ( $VT_2$ ) en un test incremental (Habedank et al., 1998). Además, se registró el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) máximo, frecuencia cardíaca (FC) máxima, velocidad (v) máxima, el volumen minuto ( $V_E$ ) máximo, el volumen corriente ( $V_i$ ) máximo y la frecuencia respiratoria ( $R_f$ ) máxima.

#### *Evaluación del rendimiento en piscina*

Antes y después de intervención, se procedió a realizar una prueba en piscina de 25 metros reglamentaria, se realizó un calentamiento general y luego uno específico, seguido de 10 minutos de descanso previo a la prueba de nado de 200 metros crol en las mismas condiciones simuladas de competencia. El tiempo de nado se cuantificó con un cronómetro digital sports stop watch H8 Botw Casio, Japón. Utilizando los registros de videos, se contabilizó el número de brazadas realizadas en los 15 metros centrales de la piscina para cada tramo de 25 metros. Además, se contabilizó el número total de respiraciones realizadas a lo largo de los 25 metros, cada vez que el nadador tomaba aire. Se registró, además, la frecuencia cardíaca en condiciones de reposo y de esfuerzo máximo, inmediatamente al término de la prueba con pulsómetro Polar (Polar Electro Oy Professorintie, Modelo RS 300X sd, Kempele, Finlandia). Una vez terminada la prueba, el nadador permaneció sentado en una silla y se registró la FC a los 3, 5 y 7 minutos (Lemaitre et al., 2013; Thomaidis et al., 2009). En los mismos tiempos,

se tomaron muestras de lactato con sangre capilar fresca desde el borde lateral del pulpejo del dedo además de una muestra previa a la prueba. La concentración de lactato se determinó con un analizador Accutrend® Plus, Roche®, Mannheim, Alemania, de rango 0,8 a 22 mmol/l (Lemaitre et al., 2013; Mazuera-Quiceno et al., 2023; Thomaidis et al., 2009).

#### **Intervención**

##### *Entrenamiento muscular inspiratorio*

Las siguientes tres semanas a las mediciones basales, solo los deportistas del G-IMT realizaron el entrenamiento inspiratorio bajo supervisión de los investigadores, asegurando su correcta ejecución (etapa 2). Luego de terminado el entrenamiento, en las siguientes dos semanas, se repitieron las mediciones basales en igual orden de la etapa 1 (etapa 3).

El entrenamiento de la musculatura inspiratoria fue realizado a una carga del 70 % del PIMax inicial, dos sesiones al día (mañana/tarde) con treinta inspiraciones por sesión, seis días a la semana (domingo libre), durante tres semanas (1080 repeticiones en total). Para realizarlo se utilizó una válvula Powerbreathe® IMT Technologies Ltd., Birmingham, UK, de umbral de presión inspiratoria flujo independiente (Caine & McConnell, 2000; Edwards, 2013; Fernández-Lázaro et al., 2021; Griffiths & McConnell, 2007; Kilding et al., 2010; Mc Connell & Griffiths, 2010).

##### *Análisis estadístico*

Los valores presentados en forma de tablas, texto o gráficos corresponden a los promedios y desviación estándar. Los parámetros generales de ambos grupos (tabla 1) fueron comparados usando la prueba de t-student para muestras independientes. Las variables ecográficas (tabla 2), espirométricas (tabla 3) y ergoespirométricas (tabla 4), fueron comparadas usando la prueba de ANOVA de dos factores. Para esto fueron considerados el momento de la medición (pre versus post intervención) y el tratamiento recibido (control versus grupo entrenado) para muestras repetidas. En el caso del tiempo (figura 3), el número de brazadas y el número de respiraciones (figura 4) durante la prueba en piscina, además del lactato sanguíneo y la frecuencia cardíaca de recuperación (figura 5) fueron analizadas usando la prueba de ANOVA con tres factores agregándose a los ya descritos el tramo estudiado y el tiempo posterior a la medición. Para las pruebas de ANOVA fueron calculados y reportados el valor de p y el tamaño del efecto de la interacción. En el caso de existir un valor de p de la interacción menor a 0.05 se procedió a aplicar la prueba de Sidak's como prueba a posteriori. Para el cálculo del tamaño del efecto de las pruebas se obtuvo el  $\eta^2$ , usándose los valores de 0.01, 0.06 y 0.14 para tamaños de efecto pequeño, mediano y grande respectivamente.

Finalmente, se determinó la correlación (usando el test de Pearson) entre los valores basales previas al entrenamiento versus los cambios porcentuales calculados como la diferencia de los valores pre y post intervención multiplicado por cien dividido por los valores pre (figura 2).

GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, USA).

### Resultados

Como se aprecia en la tabla 1, no existieron diferencias en los valores promedios de la edad, peso, estatura, índice de masa corporal (IMC), VO<sub>2</sub>max y PIMax al inicio de la intervención. Respecto a la determinación de los eventuales cambios morfológicos del diafragma tampoco se observan diferencias en el GHDD, FE y PE entre ambos grupos luego de la intervención (ver tabla 2). En las variables de función pulmonar presentados en la tabla 3, no se encontraron efectos de la intervención en FVC, FEV<sub>1</sub>, FEV<sub>1</sub>/FVC, PEF y PIF. En el caso de la PIMax se encontró un valor de *p* para

la interacción de *p*=0.0115, con un tamaño del efecto calculado grande ( $\eta^2=0.4254$ ). Así, en vista del potencial interés de este hallazgo, se realizó el análisis a posteriori, encontrando mayores valores post intervención en el grupo IMT (*p*=0.0010), mientras que en el grupo control no existieron diferencias entre los valores pre y post (ver tabla 3). Además, se observó que, en el grupo entrenado, existe una correlación inversa entre los valores basales de la PIMax y los cambios porcentuales de este parámetro producto de la intervención (*R*=-0.92; *p*=0.0035), mientras que para el grupo control no se encontró una asociación significativa entre ambos parámetros (*R*=0.48; *p*=0.251) como se observa en la figura 2. En el caso de las variables ergoespirométricas obtenidas durante la evaluación en laboratorio, no se encontraron efectos de la intervención (ver tabla 4).

Tabla 2. Variables ecográficas del diafragma

	G-IMT (n=7)		G-CON (n=7)		F	p	TE
	Pre	Post	Pre	Post			
GHDD (cm)	0.1±0.1	0.054±0.0	0.01±0.0	0.01±0.0	0.147	0.704	0.00610
FE (cm)	0.4±0.5	0.2±0.2	0.1±0.1	0.1±0.2	0.384	0.541	0.01577
PE (cm)	2.0±0.8	1.4±0.5	1.3±0.2	0.9±0.1	0.458	0.504	0.01873

Los datos se presentan como promedio ± desviación estándar. Abreviaciones: GHDD= diferencia de grosor del hemi-diafragma derecho; FE= fracción de engrosamiento; PE= proporción de engrosamiento. *p*<0.05

Tabla 3. Variables de función pulmonar

	G-IMT (n=7)		G-CON (n=7)		F	p	TE
	Pre	Post	Pre	Post			
FVC (l)	5.5±0.9	5.5±1.0	5.3±1.0	5.4±1.1	0.004	0.947	0.0003
FEV <sub>1</sub> (l·s <sup>-1</sup> )	4.5±1.0	4.5±1.0	4.2±0.8	4.2±0.8	0.039	0.845	0.0032
FEV <sub>1</sub> /FVC (%)	81.7±8.9	81.4±8.1	79.4±8.3	78.7±9.0	0.062	0.806	0.0052
PIF (l·s <sup>-1</sup> )	6.4±2.2	7.3±2.3	7.0±2.3	7.6±2.2	0.139	0.715	0.0114
PEF (l·s <sup>-1</sup> )	8.5±2.1	8.2±1.9	8.2±1.6	8.8±1.9	2.157	0.167	0.1523
PIMax (cmH <sub>2</sub> O)	134.4±26.4	157.7±15.1*	116.6±25.0	119.0±30.9	8.890	0.0115	0.4254

Los datos se presentan como promedio ± desviación estándar. Abreviaciones: FVC= capacidad vital forzada; FEV<sub>1</sub>= volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FEV<sub>1</sub>/FVC= cociente entre el volumen espiratorio forzado en el primer segundo y la capacidad vital forzada; PIF= flujo inspiratorio pico; PEF= flujo espiratorio pico; PIMax= presión inspiratoria máxima. \**p*=0.0115

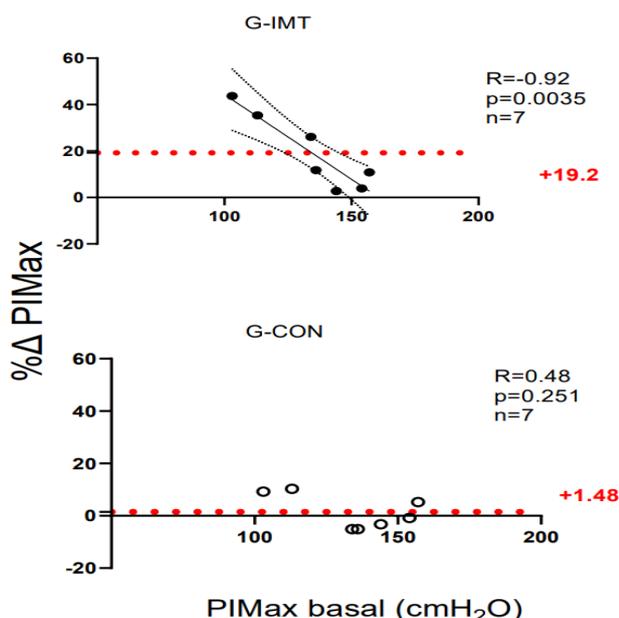


Figura 2. Correlación entre los valores pre entrenamiento y los cambios porcentuales de la PIMax. La línea punteada representa el promedio de los valores individuales para cada grupo (círculos negros: grupo experimental; círculos blancos: grupo control).

Tabla 4.  
Variables obtenidas en el test cardiopulmonar en laboratorio.

	G-IMT (n=7)		G-CON (n=7)		F	p	TE
	Pre	Post	Pre	Post			
VO <sub>2</sub> VT <sub>1</sub>	27.0±5.1	24.7±4.8	25.7±2.8	24.4±2.6	0.090	0.766	0.00373
VO <sub>2</sub> VT <sub>2</sub>	46.9±6.9	43.9±6.0	45.6±3.5	44.1±4.7	0.118	0.733	0.00491
VO <sub>2</sub> max	49.6±7.0	46.0±7.5	48.0±4.5	47.1±5.9	0.287	0.596	0.01182
V <sub>E</sub> /VCO <sub>2</sub> slope	28.0±4.7	31.0±4.0	30.9±3.8	31.8±4.7	0.404	0.531	0.01656
FC max (lat·min <sup>-1</sup> )	185.0±7.8	182.6±7.5	181.7±7.9	181.4±8.5	0.003	0.954	0.00595
v max (km·hrs <sup>-1</sup> )	15.9±1.6	15.6±1.6	14.6±1.5	14.9±1.3	0.264	0.612	0.01088
V <sub>E</sub> max (l·min <sup>-1</sup> )	122.5±18.6	118.8±18.5	119.7±19.7	123.9±27.7	0.224	0.639	0.00926
V <sub>I</sub> max (l·min <sup>-1</sup> )	2.5±0.4	2.4±0.4	2.2±0.4	2.3±0.4	0.073	0.788	0.00305
R <sub>f</sub> max (res·min <sup>-1</sup> )	50.0±6.9	49.0±7.9	54.3±3.9	54.7±5.1	0.122	0.729	0.00506

Los datos se presentan como promedio ± desviación estándar. Abreviaciones: VO<sub>2</sub> VT<sub>1</sub>= consumo de oxígeno en umbral ventilatorio 1; VO<sub>2</sub> VT<sub>2</sub>= consumo de oxígeno en umbral ventilatorio 2; VO<sub>2</sub> max= consumo de oxígeno máximo; V<sub>E</sub>/VCO<sub>2</sub> slope= eficiencia ventilatoria; FC max= frecuencia cardiaca máxima; v max= velocidad máxima; V<sub>E</sub> max= volumen minuto máximo; V<sub>I</sub> max= volumen corriente máximo; R<sub>f</sub> max= frecuencia respiratoria máxima.

Durante la prueba de natación (ver figura 3) no se encontraron diferencias en el tiempo por tramos ( $p=0.3347$  y  $\eta^2=0.0734$ ), ni en el número de brazadas ( $p=0.8747$  y  $\eta^2=0.0169$ ), ni en el número de respiraciones ( $p=0.7980$  y  $\eta^2=0.0247$ ) durante la prueba (ver figura 4). No se encontraron diferencias en la PIMax obtenidas inmediatamente antes y después de la prueba de campo al inicio y al final de la intervención; G-IMT 128.7 (20.3) versus 149.2 (14.9) y G-CON 104.9 (44.7) versus 113.4 (32.6) respectivamente con un  $p$  de la interacción de 0.318 y un tamaño del efecto mediano ( $\eta^2=0.0930$ ). Finalmente, tampoco se observaron diferencias en los valores post ejercicio de lactato ( $p=0.9125$  y  $\eta^2=0.0055$ ) ni de FC ( $p=0.7931$  y  $\eta^2=0.0139$ ) medidos a los minutos tres, cinco y siete (ver figura 5).

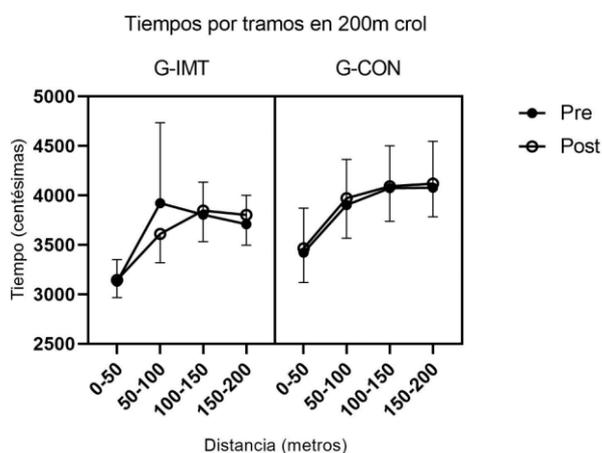


Figura 3. Tiempos de nado estilo crol medido cada 50 metros (de un total de 200 metros) determinados antes y después del entrenamiento de la musculatura inspiratoria. G-IMT (n=6) y G-CON (n=7).

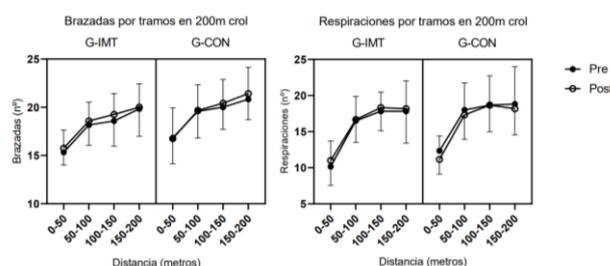


Figura 4. Número de brazadas y número de respiraciones en nado medido cada 50 metros determinados antes y después del entrenamiento de la musculatura inspiratoria. G-IMT (n=6) y G-CON (n=6). Los puntos representan el promedio, mientras las barras representan la desviación estándar.

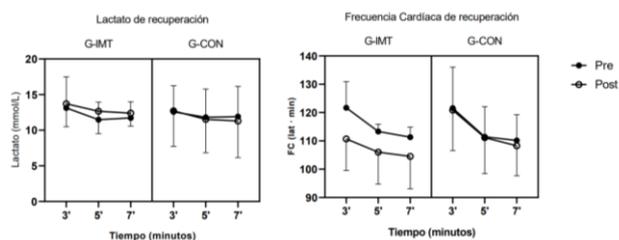


Figura 5. Concentración plasmática de lactato y FC medida al minuto 3, 5 y 7 posterior a la prueba de nado de 200 metros crol, pre y post entrenamiento muscular inspiratorio. G-IMT (n=6) y G-CON (n=7).

## Discusión

En el siguiente trabajo describimos el efecto de una intervención basada en el entrenamiento de los músculos respiratorios en un grupo de nadadores chilenos jóvenes de nivel regional de ambos sexos. El foco de nuestra intervención fue evaluar un protocolo de entrenamiento de la musculatura inspiratoria durante un tiempo reducido (tres semanas) a una intensidad alta, con objeto de generar el menor impacto sobre la rutina de entrenamiento de los deportistas, promover la adherencia a este tratamiento y disminuir el costo de este tipo de intervención. Nuestros resultados indican cambios sobre la fuerza de los músculos respiratorios (expresados como incremento de la PIMax), sin efectos sobre el rendimiento físico de los deportistas.

Respecto a los sujetos que constituían nuestra muestra,

estos mostraron valores de PIMax basal similares a otros estudios realizados en nadadores entrenados de entre 14 a 18 años, con rangos de presiones inspiratorias máximas entre 112-124 cmH<sub>2</sub>O (Kapus, 2013; Lomax et al., 2019). Luego de participar del entrenamiento, los valores de PIMax, fueron significativamente mayores en el grupo que entrenó con válvula respecto al grupo control (tabla 3). Estos hallazgos son similares a los reportados por Kilding et al. (2010) quienes utilizaron la misma válvula umbral de presión usada en nuestro estudio (Powerbreathe®), pero que realizaron un entrenamiento de 30 respiraciones en dos sesiones diarias, al 50% de la PIMax durante seis semanas en nadadores de competición alcanzando un aumento cercano al 9% de la PIMax. En otro protocolo similar en cuanto a la carga (50% de la PIMax) y las sesiones diarias (30 sesiones, dos veces por día), pero de doce semanas de duración, Cunha et al. (2019) no encontraron cambios en la PIMax. Si bien, los resultados de ambos estudios son diferentes, sin embargo, el segundo presenta como característica una baja adherencia al protocolo (30%). A diferencia de los trabajos citados, en nuestro estudio, realizamos entrenamiento supervisado, lo que aseguró una adherencia del 100% de las repeticiones planificadas. Es probable que este aspecto, sumado a la mayor carga respecto a la PIMax, sea capaz de mejorar la fuerza de los músculos respiratorios como se observa en nuestros resultados.

Otro aspecto fundamental corresponde a la carga (resistencia de la válvula) con la que se programa el entrenamiento, no existiendo aun un consenso de lo recomendado en la natación competitiva. A pesar de esto, lo más utilizado actualmente, corresponde a una carga moderada correspondiente al 50% de la PIMax (Cunha et al., 2019; Kapus et al., 2013; Kilding et al., 2010; Lomax et al., 2019; Ohya et al., 2022). Otros autores, promueven iniciar los programas con cargas inspiratorias sobre el 60% de la PIMax para asegurar una sobrecarga ventilatoria en vista de que los sujetos son deportistas y que por ello han estado expuestos a una mayor exigencia de los músculos respiratorios (Cunha et al., 2019; Ohya et al., 2022). En contraste con nuestros hallazgos Ghannadi et al. (2015), reportaron un incremento en la PIMax de un 19.3% con una carga inspiratoria inicial del 30% de la PIMax e incrementos de medio nivel (10 cmH<sub>2</sub>O) por 8 semanas a tolerancia, con valores de PIMax basales bajos (92,6 cm H<sub>2</sub>O). Lo que es concordante con lo señalado por Brown et al. (2014) donde un mayor incremento de fuerza ocurre frente a una baja PIMax basal. En base a este último criterio y en vista que nuestro protocolo tiene un tiempo menor al habitual, elegimos programar la carga a un 70%, con lo que encontramos aumentos de un 14.8% en el grupo intervenido con el entrenamiento respiratorio (ver tabla 4). Otro aspecto que fue considerado es que nuestros evaluados estaban habituados a sostener elevadas cargas físicas en su práctica deportiva, sin embargo, se procedió a realizar un entrenamiento supervisado para mejorar las condiciones de seguridad, respecto a esto, es de destacar que en nuestro estudio no se reportaron efectos adversos. Uno de

los objetivos de nuestro trabajo fue evaluar si el protocolo de entrenamiento planteado era capaz de inducir alteraciones morfológicas de los músculos respiratorios. Para esto, llevamos a cabo mediciones ecográficas del grosor diafragmático, en vista que este método se ha mostrado como una herramienta útil con estos fines (Santana et al., 2020). De esta forma, posterior al entrenamiento de la musculatura respiratoria, se ha reportado aumentos de la fuerza y el grosor diafragmático, aportando el sustrato morfológico al hallazgo funcional, tanto en población sana (Enright et al., 2006; Soilemezi et al., 2013) como en atletas (Calvo-Lobo, 2019). Respecto a esta variable, aunque se logró demostrar un incremento de la fuerza muscular inspiratoria, la valoración ecográfica del diafragma no mostró diferencias entre grupos en los tres parámetros estudiados (ver tabla 2). En parte, estos hallazgos pueden estar explicados por la extensión del entrenamiento inspiratorio, el cual, aún no genera las condiciones para los cambios estructurales, a pesar de que la carga aplicada fue alta (Oyha et al., 2022). Así, la explicación del incremento de la fuerza muscular sin cambios estructurales es posible que tenga su origen en la optimización de los patrones de reclutamiento neuromuscular, la que se expresaría una a dos semanas de iniciado el entrenamiento muscular inspiratorio (Cavalcante et al., 2019) como se ha visto en otros territorios musculares entrenados (Enright et al., 2011).

A pesar de la controversia entre la clásica mirada de que la acción pulmonar no es limitante para el rendimiento versus la actual en la que este factor puede serlo, nos planteamos como objetivo conocer los efectos del entrenamiento de los músculos inspiratorios sobre la función pulmonar (medida como el impacto sobre los volúmenes pulmonares y sobre el rendimiento físico), valorado tanto en laboratorio como en una prueba de campo específica de la disciplina deportiva estudiada. Así, respecto a los resultados de la espirometría realizada en nuestro estudio, podemos decir que los valores mostraron normalidad en la población estudiada respecto a la población de referencia, acorde con el desarrollo normal del joven deportista (Contreras et al., 2008). Además, no se evidenciaron diferencias entre ambos grupos, lo que es concordante con los hallazgos de HajGhanbari et al. (2013), quien estudió diversos deportes, sin encontrar cambios inducidos por el entrenamiento muscular inspiratorio. Respecto al rendimiento físico, hemos realizado un acercamiento a este fenómeno al medir en condiciones de laboratorio en una prueba de ejercicio maximal en tapiz rodante con análisis de gases espirados, en vista de la incapacidad técnica de realizar esta evaluación en piscina (ver tabla 4) y una evaluación en campo durante la ejecución de una prueba de 200 metros crol en piscina (ver figuras 3, 4 y 5). En condiciones ideales habríamos esperado que la mejoría de la fuerza permitiera a los entrenados con el sistema valuado tener mejorías sobre el rendimiento ventilatorio, que pudieran expresarse como menores valores de frecuencia respiratoria máxima y/o volumen corriente, una menor ventilación máxima y una mayor eficiencia ventilatoria. Sin embargo, nuestros resultados no mostraron efectos sobre

estos parámetros, ni tampoco cambios sobre el rendimiento expresado como el  $\text{VO}_2$  máximo. Al respecto, es importante considerar que ambos grupos al inicio de la intervención poseían una elevada capacidad aeróbica máxima, lo que pudo haber limitado las mejoras en un corto plazo inducidas por el entrenamiento ventilatorio. Al igual que los reportes de HajGhanbari et al. (2013) así como, el de Karsten et al. (2018), realizados en diversos deportes y en natación, el entrenamiento muscular inspiratorio no estuvo asociado a mejoras en el consumo de oxígeno máximo. En contraste con nuestros resultados, Bailey et al. (2010) demostraron en una población joven adulta sana, aunque en deportistas recreacionales, que un entrenamiento muscular inspiratorio al 50% de la PIMax por un período de 4 semanas, logró incrementar la PIMax basal, redujo la fatiga de los músculos inspiratorios e incrementó la dinámica del  $\text{VO}_2$ , asociada a una mejor tolerancia al ejercicio severo (39%) y al ejercicio de máxima intensidad (18%). Una probable explicación a tan favorables resultados puede ser su capacidad física inicial al estudio, el cual, era de nivel recreacional sin estar altamente entrenados.

Nuestros hallazgos son concordantes con Lomax y McConnell (2003), quienes establecieron que aquellos nadadores con una elevada PIMax asociado al IMT, lograron sostener su fuerza posterior a pruebas de nado exigentes en 200 metros crol, nuestro estudio no pudo demostrar una mayor PIMax después de la prueba de campo respecto al grupo control, observando una mantención de ellas.

No evidenciamos diferencias entre los grupos, ni en el número de brazadas ni en el número de respiraciones para el test de campo. Una posible explicación se podría atribuir a que nuestros nadadores tienen preestablecido una estrategia de esfuerzo progresivo y de modulación de brazadas para enfrentar el nado de 200 metros crol, aplicado antes y posterior al IMT, concordante con Simbaña-Escobar et al. (2020), quienes señalaron que los nadadores modulan estratégicamente el número de brazadas para regular la velocidad del nado, siendo una tarea que se entrena y se puede manipular estratégicamente, probablemente esta condición moduladora pudo haber influido en nuestros resultados. Otra posible explicación, se relaciona con los miembros de nuestra muestra, estos poseían un elevado volumen de entrenamiento de nado semanal (45 km/sem), superando el umbral no respondedor de 41 km/sem descrito por Lomax et al. (2019), probablemente esta condición no permitió transferir inmediatamente las mejoras fisiológicas de la musculatura inspiratoria al desempeño físico del nado. Por último, no se demostró mejoras en los tiempos de nado por tramos de 50 metros ni en los tiempos totales para los 200 metros, al igual que Cunha et al. (2019) y Yañez-Sepúlveda et al. (2021).

Otro objetivo por estudiar en nuestro trabajo correspondió a los eventuales cambios durante la fase de recuperación pasiva del esfuerzo, lo que fue medido a través de las concentraciones plasmáticas de lactato y la frecuencia cardíaca al término de la prueba de campo de 200 metros crol

(ver figura 5). Al respecto, esperábamos una eventual mayor caída del lactato posterior al esfuerzo en el grupo con entrenamiento de la musculatura inspiratoria, como lo planteó Lomax (2012), sin embargo, no encontramos diferencias entre ambos grupos en este parámetro, ni tampoco en la frecuencia cardíaca. Este resultado es concordante con Johnson et al. (2012), quienes no encontraron cambios en la concentración de lactato sanguíneo post esfuerzo. Sin embargo, estos autores utilizaron 20 cm  $\text{H}_2\text{O}$  como carga inspiratoria máxima, sugiriendo que una mayor magnitud de carga de presión inspiratoria, puede ser un determinante en la aceleración de la eliminación del lactato. A pesar de que, en nuestro estudio la carga inspiratoria y el esfuerzo máximo del nado en la prueba de campo fueron elevadas, no se evidenció este efecto. Una probable explicación es que nuestra muestra poseía una elevado consumo de oxígeno, atenuando el reflejo metabólico muscular inspiratorio, concordante con lo descrito por Callegaro et al. (2011).

Como limitaciones de este estudio reportamos que la evaluación fisiológica fue realizada en el laboratorio en tapiz rodante y no en natación. Además, no se evaluó específicamente el rendimiento de los músculos respiratorios de manera aislada que eventualmente habrían aportado a ver de manera más específica un efecto funcional sobre la musculatura entrenada (Vincent et al., 2016). Finalmente, no hemos realizado un análisis de las eventuales diferencias por sexo en vista del reducido número de participantes.

## Conclusión

Tres semanas de entrenamiento muscular ventilatorio aumentó la fuerza de la musculatura inspiratoria en jóvenes nadadores de alto rendimiento, sin evidencias de modificaciones en el grosor del diafragma, la función pulmonar, la capacidad aeróbica medida en laboratorio ni sobre el rendimiento del nado en 200 metros.

## Aplicaciones prácticas

Tres semanas de IMT con válvula de umbral de presión aumentaron significativamente la PIMax en jóvenes nadadores bien entrenados, aunque no mejoraron de modo inmediato los tiempos de nado en 200 metros crol contra reloj, se debe considerar la distancia de nado semanal y el nivel competitivo para determinar su potencial uso.

## Contribuciones de los autores:

P.T.G., A.O.F. y J.N.-O. han contribuido de la misma manera en la investigación y en el proceso de preparación de este manuscrito.

## Financiación

Esta investigación no recibió financiación externa.

## Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

## Referencias

- Amann M. (2012). Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans. *Experimental physiology*, 97(3), 311–318. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058800>
- American Thoracic Society/European Respiratory Society (2002). ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 166(4), 518–624. <https://doi.org/10.1164/rccm.166.4.518>
- Astinchap, A., Behpour, N., & Tadibi, V. (2015). The Effect of 6 Weeks of Inspiratory Muscle Training (IMT) on Swimming Speed. *Sport Physiology & Management Investigations*, 7(1), 51–62.
- Bailey, S. J., Romer, L. M., Kelly, J., Wilkerson, D. P., DiMenna, F. J., & Jones, A. M. (2010). Inspiratory muscle training enhances pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 109(2), 457–468. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00077.2010>
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 60(6), 2020–2027.
- Brown, P. I., Johnson, M. A., & Sharpe, G. R. (2014). Determinants of inspiratory muscle strength in healthy humans. *Respiratory physiology & neurobiology*, 196, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2014.02.014>
- Brown, S., & Kilding, A. E. (2011). Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: the effect of race distance. *Journal of strength and conditioning research*, 25(5), 1204–1209. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d67ab8>
- Burtch, A. R., Ogle, B. T., Sims, P. A., Harms, C. A., Symons, T. B., Folz, R. J., & Zavorsky, G. S. (2017). Controlled Frequency Breathing Reduces Inspiratory Muscle Fatigue. *Journal of strength and conditioning research*, 31(5), 1273–1281. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001589>
- Caine, and McConnell, (2000), Development and evaluation of a pressure threshold inspiratory muscle trainer for use in the context of sports performance. *Sports Engineering*, 3, 149–159. <https://doi.org/10.1046/j.1460-2687.2000.00047.x>
- Callegaro, C. C., Ribeiro, J. P., Tan, C. O., & Taylor, J. A. (2011). Attenuated inspiratory muscle metaboreflex in endurance-trained individuals. *Respiratory physiology & neurobiology*, 177(1), 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2011.03.001>
- Calvo-Lobo, C., Almazán-Polo, J., Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R., Losa-Iglesias, M. E., Palomo-López, P., Rodríguez-Sanz, D., & López-López, D. (2019). Ultrasonography comparison of diaphragm thickness and excursion between athletes with and without lumbopelvic pain. *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 37, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.03.015>
- Castilho, T., Itaborahy, B. D. H., Hoepers, A., Brito, J. N. de, Almeida, A. C. D. S., & Schivinski, C. I. S. (2020). Effects of inspiratory muscle training and breathing exercises in children with asthma: a systematic review. *Revista Brasileira de Crescimento e Desenvolvimento Humano*, 30(2), 291–300. <https://doi.org/10.7322/jhgd.v30.10381>
- Cavalcante Silva, R.L., Hall, E., & Maior, A.S. (2019). Inspiratory muscle training improves performance of a repeated sprints ability test in professional soccer players. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2019.01.016>
- Clanton, T. L., Dixon, G. F., Drake, J., & Gadek, J. E. (1987). Effects of swim training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 62(1), 39–46. <https://doi.org/10.1152/jappl.1987.62.1.39>
- Contreras I., Vidal F., Caussade S., Montalvo D., Pineda N., Bertrand P., & Holmgren N. (2008). Valores normales de presión inspiratoria y presión espiratoria máxima en niños y adolescentes chilenos sanos. *Neumología Pediátrica*, 3(1):80. <http://www.neumologia-pediatria.cl>
- Cunha M., Mendes F., Paciência I., Rodolfo A., Carneiro-Leão L., Rama T., Rufo J., Delgado L., & Moreira A. (2019). The effect of inspiratory muscle training on swimming performance, inspiratory muscle strength, lung function, and perceived breathlessness in elite swimmers: a randomized controlled trial. *Porto Biomed. J.* 4:6(e49). <http://dx.doi.org/10.1097/j.pbj.0000000000000049>
- Edwards A. M. (2013). Respiratory muscle training extends exercise tolerance without concomitant change to peak oxygen uptake: physiological, performance and perceptual responses derived from the same incremental exercise test. *Respirology (Carlton, Vic.)*, 18(6), 1022–1027. <https://doi.org/10.1111/resp.12100>
- Enright, S. J., Unnithan, V. B., Heward, C., Withnall, L., & Davies, D. H. (2006). Effect of high-intensity inspiratory muscle training on lung volumes, diaphragm thickness, and exercise capacity in subjects who are healthy. *Physical therapy*, 86(3), 345–354.
- Enright, S. J., & Unnithan, V. B. (2011). Effect of inspiratory muscle training intensities on pulmonary function and work capacity in people who are healthy: a randomized controlled trial. *Physical therapy*, 91(6), 894–905. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090413>

- Enríquez-Enríquez, D., Mecina-Zapata, C., Riveros-Cárcamo, H., Jerez-Mayorga, D., Ramírez-Campillo, R., Chiroso-Ríos, L. J., & Guede-Rojas, F. (2023). Estrategias de calentamiento y rendimiento contrarreloj en nadadores. Revisión rápida de la literatura (Warm-up strategies and time trial performance in swimmers. Rapid review of the literature). *Retos*, 47, 238–248. <https://doi.org/10.47197/retos.v47.92860>
- Fernández-Lázaro, D., Gallego-Gallego, D., Corchete, L.A., Fernández Zoppino, D., González-Bernal, J.J.; García Gómez, B.; & Mielgo-Ayuso, J. (2021). Inspiratory Muscle Training Program Using the Power-Breath®: Does It Have Ergogenic Potential for Respiratory and/or Athletic Performance? A Systematic Review with Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 6703. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136703>
- Ghannadi, S., Noormohammadpour, P., Mazaheri, R., Sahraian, M. A., Mansournia, M. A., Pourgharib Shahi, M. H., Salmasi Fard, A. H., & Abolhasani, M. (2022). Effect of eight weeks respiratory muscle training on respiratory capacity, functional capacity and quality of life on subjects with mild to moderate relapsing-remitting multiple sclerosis: A single-blinded randomized controlled trial. *Multiple sclerosis and related disorders*, 68, 104208. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2022.104208>
- Gosselink, R., De Vos, J., van den Heuvel, S. P., Segers, J., Decramer, M., & Kwakkel, G. (2011). Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence?. *The European respiratory journal*, 37(2), 416–425. <https://doi.org/10.1183/09031936.00031810>
- Griffiths, L. A., & McConnell, A. K. (2007). The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *European journal of applied physiology*, 99(5), 457–466. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0367-6>
- Habedank, D., Reindl, I., Vietzke, G., Bauer, U., Sperfeld, A., Gläser, S., Wernecke, K. D., & Kleber, F. X. (1998). Ventilatory efficiency and exercise tolerance in 101 healthy volunteers. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 77(5), 421–426. <https://doi.org/10.1007/s004210050354>
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., Palmer, S. A., Toy, M. A., Walsh, C., Sheel, A. W., & Reid, W. D. (2013). Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *Journal of strength and conditioning research*, 27(6), 1643–1663. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318269f73f>
- Hill J. M. (2000). Discharge of group IV phrenic afferent fibers increases during diaphragmatic fatigue. *Brain research*, 856(1-2), 240–244. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(99\)02366-5](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(99)02366-5)
- Hill, K., & Eastwood, P. (2011). Effects of loading on upper airway and respiratory pump muscle motoneurons. *Respiratory physiology & neurobiology*, 179(1), 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2011.04.001>
- Jakovljevic, D. G., & McConnell, A. K. (2009). Influence of different breathing frequencies on the severity of inspiratory muscle fatigue induced by high-intensity front crawl swimming. *Journal of strength and conditioning research*, 23(4), 1169–1174. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318199d707>
- Johnson, M. A., Mills, D. E., Brown, D. M., Bayfield, K. J., Gonzalez, J. T., & Sharpe, G. R. (2012). Inspiratory loading intensity does not influence lactate clearance during recovery. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(5), 863–871. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31824079d0>
- Kapus, J. (2013). Effects of inspiratory muscle training on inspiratory muscle strength and sprint swimming performance in young female and male swimmers. *Kinesiologia Slovenica*, 19(1), 53–61.
- Karsten, M., Ribeiro, G.S., Esquivel, M.S., & Matte, D.L. (2018). The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis, *Physical Therapy in Sports*. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.09.004>.
- Kilding, A. E., Brown, S., & McConnell, A. K. (2010). Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *European journal of applied physiology*, 108(3), 505–511. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1228-x>
- Klusiewicz, A., Borkowski, L., Zdanowicz, R., Boros, P., & Wesolowski, S. (2008). The inspiratory muscle training in elite rowers. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 48(3), 279–284.
- Lemaitre, F., Coquart, J. B., Chavallard, F., Castres, I., Mucci, P., Costalat, G., & Chollet, D. (2013). Effect of additional respiratory muscle endurance training in young well-trained swimmers. *Journal of sports science & medicine*, 12(4), 630–638.
- Lomax, M. E., & McConnell, A. K. (2003). Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim. *Journal of sports sciences*, 21(8), 659–664. <https://doi.org/10.1080/0264041031000101999>
- Lomax, Mitch. (2012). The Effect of Three Recovery Protocols on Blood Lactate Clearance After Race-Paced Swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26(10): p 2771-2776 DOI: 10.1519/JSC.0b013e318241ded7
- Lomax, M, Thomaidis, S, Iggleden, C, Toubekis, A, Tiligadas, G, Oliveira, R, & Costa, A. (2013). The impact of swimming speed on respiratory muscle fatigue during front crawl swimming: A role for critical velocity? *Int J Swimming Kinetics* 2: 3–12.
- Lomax, M., Kapus, J., Brown, P. I., & Faghy, M. (2019). Impact of Weekly Swimming Training Distance on the Ergogenicity of Inspiratory Muscle Training in Well-

- Trained Youth Swimmers. *Journal of strength and conditioning research*, 33(8), 2185–2193. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002375>
- Lorca-Santiago J., Jiménez S., Pareja-Galeano H., & Lorenzo A. (2020). Inspiratory Muscle Training in Intermittent Sports Modalities: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 4448. doi:10.3390/ijerph17124448
- Mazuera-Quiceno, C. A., Dávila-Grizales, A., Isáziga-Flórez, J. C., Cardona-Zúñiga, N., & Hidalgo-Troya, A. (2023). Efectos de dos modelos de periodización en la curva de lactato y velocidad de nado en nadadores (Effects of two periodization models on the lactate curve and swimming speed in swimmers). *Retos*, 50, 262–269. <https://doi.org/10.47197/retos.v50.96257>
- McConnell, A. K., & Griffiths, L. A. (2010). Acute cardiorespiratory responses to inspiratory pressure threshold loading. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(9), 1696–1703. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d435cf>
- Mickleborough, T. D., Stager, J. M., Chatham, K., Lindley, M. R., & Ionescu, A. A. (2008). Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training. *European journal of applied physiology*, 103(6), 635–646. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0759-x>
- Naranjo-Orellana, J., & Santalla, A. (2020). Long-Term Combined Training in Idiopathic Pulmonary Fibrosis: A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5091. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17145091>.
- Nepomuceno Jr BRV, Gómez TB, & Gomes Neto M. (2016). Use of Powerbreathe® in inspiratory muscle training for athletes: systematic review. *Fisioter. Mov.*, Curitiba, v. 29, n. 4, p. 821-830. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5918.029.004.AO19>.
- Nunes Júnior, A.D.O.; Donzeli, M.A.; Shimano, S.G.N.; de Oliveira, N.M.L.; Ruas, G.; & Bertinello, D. (2018). Effects of High-Intensity Inspiratory Muscle Training in Rugby Players. *Rev. Bras. Med. Do Esporte*, 24, 216–219. <https://doi.org/10.1590/1517-869220182403166216>
- Ohya, T., Kusanagi, K., Koizumi, J., Ando, R., Katayama, K., & Suzuki, Y. (2022). Effect of Moderate- or High-Intensity Inspiratory Muscle Strength Training on Maximal Inspiratory Mouth Pressure and Swimming Performance in Highly Trained Competitive Swimmers. *International journal of sports physiology and performance*, 17(3), 343–349. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0119>
- Okrzymowska, P., Kurzaj, M., Seidel, W., & Rożek-Piechura, K. (2019). Eight Weeks of Inspiratory Muscle Training Improves Pulmonary Function in Disabled Swimmers-A Randomized Trial. *International journal of environmental research and public health*, 16(10), 1747. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101747>
- Romer, L. M., & McConnell, A. K. (2004). Inter-test reliability for non-invasive measures of respiratory muscle function in healthy humans. *European journal of applied physiology*, 91(2-3), 167–176. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0984-2>
- Salazar-Martínez E., Gatterer H., Burtscher M., Naranjo J., & Santalla A. (2017). Influence of Inspiratory Muscle Training on Ventilatory Efficiency and Cycling Performance in Normoxia and Hypoxia. *Front. Physiol*, 8:133. doi: 10.3389/fphys.2017.00133
- Santana, P. V., Cardenas, L. Z., Albuquerque, A. L. P., Carvalho, C. R. R., & Caruso, P. (2020). Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *Jornal brasileiro de pneumologia: publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia*, 46(6), e20200064. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200064>
- Schneider, D. A., Phillips, S. E., & Stoffolano, S. (1993). The simplified V-slope method of detecting the gas exchange threshold. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(10), 1180–1184.
- Sclausser Pessoa, I. M., Franco Parreira, V., Fregonezi, G. A., Sheel, A. W., Chung, F., & Reid, W. D. (2014). Reference values for maximal inspiratory pressure: a systematic review. *Canadian respiratory journal*, 21(1), 43–50. <https://doi.org/10.1155/2014/982374>
- Segizbaeva, M. O., Timofeev, N. N., Donina, Zha., Kur'yanyovich, E. N., & Aleksandrova, N. P. (2015). Effects of inspiratory muscle training on resistance to fatigue of respiratory muscles during exhaustive exercise. *Advances in experimental medicine and biology*, 840, 35–43. [https://doi.org/10.1007/5584\\_2014\\_20](https://doi.org/10.1007/5584_2014_20)
- Shei R. J. (2018). Recent Advancements in Our Understanding of the Ergogenic Effect of Respiratory Muscle Training in Healthy Humans: A Systematic Review. *Journal of strength and conditioning research*, 32(9), 2665–2676. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002730>
- Soilemezi, E., Tsagourias, M., Talias, M. A., Soteriades, E. S., Makrakis, V., Zakynthinos, E., & Matamis, D. (2013). Sonographic assessment of changes in diaphragmatic kinetics induced by inspiratory resistive loading. *Respirology (Carlton, Vic.)*, 18(3), 468–473. <https://doi.org/10.1111/resp.12011>
- Thomaidis, S. P., Toubekis, A. G., Mpousmoukilia, S. S., Douda, H. T., Antoniou, P. D., & Tokmakidis, S. P. (2009). Alterations in maximal inspiratory mouth pressure during a 400-m maximum effort front-crawl swimming trial. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 49(2), 194–200.
- Tong, T. K., Fu, F. H., Eston, R., Chung, P. K., Quach, B., & Lu, K. (2010). Chronic and acute inspiratory muscle loading augment the effect of a 6-week interval program on tolerance of high-intensity intermittent bouts of running. *Journal of strength and conditioning research*, 24(11), 3041–3048.

- <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf033b>
- Town, G. P., & Vanness, J. M. (1990). Metabolic responses to controlled frequency breathing in competitive swimmers. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(1), 112–116.
- Ueki, J., De Bruin, P. F., & Pride, N. B. (1995). In vivo assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. *Thorax*, 50(11), 1157–1161. <https://doi.org/10.1136/thx.50.11.1157>
- Vincent, M., Court-Fortune, I., Brun, C., Camdessanché, J. P., Vergès, S., & Costes, F. (2016). Determination of normal values for an isocapnic hyperpnea endurance test in healthy individuals. *Respiratory physiology & neurobiology*, 230, 5–10. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2016.04.007>
- World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
- Yañez-Sepulveda, R., Alvear-Ordenes, I., Tapia-Guajardo, A., Verdugo-Marchese, H., Cristi-Montero, C., & Tuesta, M. (2021). Inspiratory muscle training improves the swimming performance of competitive young male sprint swimmers. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 61(10), 1348–1353. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.21.11769-4>

#### Datos de los/as autores/as:

Pablo Gonzalo Troncoso Galleguillos  
Oscar Florencio Araneda  
José Naranjo-Orellana

[ptroncosog@uautonoma.cl](mailto:ptroncosog@uautonoma.cl)  
[ofaraneda@miuandes.cl](mailto:ofaraneda@miuandes.cl)  
[jnarore@upo.es](mailto:jnarore@upo.es)

Autor/a  
Autor/a  
Autor/a