





Universidad de la República (Udelar)

Instituto Superior de Educación Física (ISEF)
Programa de Maestría en Educación Física (ProMEF)

Andrés Santiago Parodi Feye

Efecto de un protocolo de entrenamiento de la musculatura inspiratoria sobre parámetros fisiológicos de rendimiento en jugadoras de handball adultas de la ciudad de Montevideo

Andrés Santiago Parodi Feye

Efecto de un protocolo de entrenamiento de la musculatura inspiratoria sobre parámetros fisiológicos de rendimiento en jugadoras de handball adultas de la ciudad de Montevideo



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

Director: Prof. Dr. Carlos Alberto Magallanes Mira

FICHA DE CATALOGACIÓN DEL TRABAJO

El formulario del catálogo debe s Biblioteca.	ser preparado por el personal de
En la versión impresa, debe apa portada.	recer en la parte posterior de la
, solo con fines académicos y cient	íficos, la reproducción total o parci
, solo con fines académicos y cient esta tes	

Andrés Santiago Parodi Feye

Efecto de un protocolo de entrenamiento de la musculatura inspiratoria sobre parámetros fisiológicos de rendimiento en jugadoras de handball adultas de la ciudad de Montevideo

Tesis presentada al Programa de Maestría en Educación Física de la Universidad de la República, como requisito parcial para obtener el título de Magister en Educación Física. Área de concentración: Educación Física y Deporte

Aprobada en Montevideo, octubre del 2022.

Tribunal compuesto por:

Prof. Dr. Cristian Cofré Bolados Universidad de Santiago, Chile

Prof. Dr. Carolina Chamorro Vina University of Calgary, Canada

Prof. Dr. Javier Brazo Sayavera

Universidad Pablo de Olavide, España

AGRADECIMIENTOS

Manifiesto mi profundo y sincero agradecimiento a las siguientes personas, sin las cuales la realización de este trabajo no hubiera sido posible:

En primer lugar y sobre todo, a las deportistas del club Layva y del club Huracán Buceo que muy generosamente aceptaron ser parte de este proyecto. Mil gracias por ofrecernos su valioso tiempo, y por todo el esfuerzo.

A Leonardo y Felipe, entrenadores de los mencionados equipos. Muchas gracias por confiar en nosotros, por facilitarnos en gran medida el vínculo con las deportistas, y por la toda la ayuda ofrecida.

A mi tutor, Prof. Dr. Carlos Magallanes, por su gran apoyo. Valoro y agradezco enormemente todo el tiempo dedicado a la realización de este proyecto, y la posibilidad de seguir aprendiendo de todo tu conocimiento y experiencia.

Al Dr. Gastón Gioscia, por ofrecernos en forma generosa y desinteresada un espacio en su clínica, donde fueron realizadas todas las evaluaciones.

A la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC), la cual apoyó económicamente la realización de este proyecto. Les estamos inmensamente agradecidos por confiar en nuestro trabajo.

RESUMEN

Existe controversia sobre la utilidad práctica del entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) para la mejora del rendimiento en el deporte. Muy pocos estudios han investigado los beneficios del mismo en el handball. El propósito del presente trabajo fue determinar el efecto del uso de un dispositivo comercial de EMI, denominado POWERBreathe Plus+, sobre distintas variables cardiovasculares, respiratorias y de potencia mecánica en jugadoras de handball adultas federadas de la ciudad de Montevideo. En forma adicional, se buscó conocer la viabilidad práctica del uso de este dispositivo en la mencionada población.

Treinta deportistas fueron divididas en grupo experimental (EXP) y control (CONT). Durante ocho semanas del período competitivo solo el primer grupo realizó EMI utilizando POWERBreathe Plus+, en concordancia con las indicaciones de los fabricantes. Todas las deportistas fueron evaluadas pre y post intervención mediante un test de esfuerzo progresivo máximo, con análisis directo de gases respiratorios. El EMI no determinó una mejora significativa ($p \ge 0,05$) en variables espirométricas en reposo, así como tampoco en el VO $_2$ máx ni en el VO $_2$ asociado al umbral ventilatorio 1 (VT1). No hubo diferencias entre grupos post intervención en lo que respecta a la percepción subjetiva de esfuerzo a diferentes intensidades submáximas. Se verificó una mejora significativa (p < 0,05) en la potencia mecánica asociada al VO $_2$ máx y en la potencia mecánica asociada al VT1, a favor del grupo EXP. Se determinó, además, que el uso de POWERBreathe plus+ durante 8 semanas es viable en términos de adherencia y carencia de efectos secundarios relevantes.

Se concluye que el empleo de este dispositivo en jugadoras de handball puede ser beneficioso para incrementar la potencia mecánica asociada a intensidades de esfuerzo máximas y submáximas, aunque su uso no está acompañado con un incremento en el VO₂ correspondiente a estas intensidades.

Palabras clave: Entrenamiento de la musculatura inspiratoria. POWERBreathe. Handball.

ABSTRACT

There is controversy about the practical utility of inspiratory muscle training (IMT) for

improving performance in sport. Very few studies have tackled its effect on handball.

The purpose of this research was to determine the effect of the use of a commercial

IMT device, called POWERBreathe Plus+, on different cardiovascular, respiratory

and mechanical power variables in federated adult female handball players from the

city of Montevideo. Additionally, we sought to know the practical feasibility of using

this device in the aforementioned population.

Thirty athletes were divided into experimental (EXP) and control (CONT) groups.

During eight weeks of the competitive period, only the first group performed IMT

using POWERBreathe Plus+, in accordance with the manufacturers' indications. All

the athletes were evaluated before and after the intervention with a maximal

progressive effort test, using direct analysis of respiratory gases. The IMT did not

determine a significant improvement ($p \ge 0.05$) in spirometric variables at rest, nor in

VO₂max or VO₂ associated with ventilatory threshold 1 (VT1). There were no

differences between the post-intervention groups regarding subjective perception of

exertion at different submaximal intensities. There was a significant improvement (p <

0.05) in the mechanical power associated with VO₂max and in the mechanical power

associated with VT1 in favor of the EXP group. It was further determined that the use

of POWERBreathe Plus+ for 8 weeks is feasible in terms of adherence and lack of

relevant side effects.

It is concluded that the use of this device in handball players may be beneficial to

increase the mechanical power associated with maximum and submaximal effort

intensities, although its use is not associated with an increase in maximum or

submaximal VO₂.

Key words: Inspiratory muscle training. POWERBreathe. Handball.

LISTA DE TABLAS E ILUSTRACIONES

Figura 1 –	Sistema trifásico de Skinner – McLellan (1980)	. 17
Tabla 1 –	Características de las participantes de los grupos CONT y EXP pre intervención	. 37
Tabla 2 –	Variables de función respiratoria en los grupos CONT y EXP pre y post intervención	. 39
Tabla 3 –	Variables ergoespirométricas en los grupos CONT y EXP pre vs post intervención	. 40

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ATP Adenosín Trifosfato

CONT Grupo control

CVF Capacidad Vital Forzada

DE Desvío Estándar

EMI Entrenamiento de la Musculatura Inspiratoria

EPOC Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica

EXP Grupo Experimental

FC Frecuencia Cardíaca

PIF Pico Flujo Inspiratorio

PSE Percepción Subjetiva de Esfuerzo

VCO₂ Producción de Dióxido de Carbono

VEF1 Volumen Espiratorio Forzado en el 1^{er} Segundo

VO₂ Consumo de Oxígeno

VO₂máx Consumo Máximo de Oxígeno

VT1 Umbral Ventilatorio 1

SUMARIO

	INTRODUCCION	11
1	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	13
1.1	Características del handball	13
1.2	Consumo máximo de oxígeno y umbrales ventilatorios	16
1.3	Entrenamiento de la musculatura inspiratoria	20
1.4	Características del dispositivo POWERBreathe	27
2.	OBJETIVOS	29
2.1	Objetivo general	29
2.2	Objetivos específicos	29
3.	HIPÓTESIS	31
4.	DISEÑO METODOLÓGICO	31
4.1	Participantes	31
4.2	Criterios de inclusión y exclusión	31
4.3	Procedimientos	32
4.4	Evaluaciones	32
4.5	Protocolo de entrenamiento de la musculatura	
	inspiratoria	35
4.6	Análisis estadístico	36
5.	RESULTADOS	37
5.1	Utilización del dispositivo POWERBreathe	37
5.2	Variables fisiológicas en reposo	38
5.3	Variables fisiológicas durante el esfuerzo	39
5.4	Percepciones subjetivas asociadas al uso del dispositivo POWERBreathe	41
6.	DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES	43
	REFERENCIAS	51
	ANEXOS	60

INTRODUCCIÓN

Existe controversia sobre la efectividad del entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) para la mejora del rendimiento deportivo. Usualmente, el sistema respiratorio de sujetos jóvenes y sanos no es considerado un factor limitante en ejercicios de resistencia cardiorespiratoria. En este sentido, datos experimentales mostraron que la descarga del trabajo de la musculatura inspiratoria durante un test aeróbico progresivo maximal no se acompañó de una mejora en el rendimiento (Romer et al., 2007). En sujetos sanos, la capacidad de dicho sistema es normalmente suficiente para suplir las demandas asociadas con la ventilación y el intercambio de gases respiratorios, incluso en ejercicios aeróbicos de muy alta intensidad. De hecho, en la mayoría de los sujetos se verifican muy ligeros cambios en la presión parcial arterial de O₂ (PaO₂) desde el reposo hasta el esfuerzo aeróbico máximo, y solo una relativamente pequeña reducción en la saturación arterial de hemoglobina (SaO₂), causada casi exclusivamente por acidosis metabólica y aumento de la temperatura corporal central asociada al esfuerzo (Amann, 2012).

Por otra parte, se ha determinado que el trabajo de la ventilación juega un rol significativo en la respuesta cardiovascular durante ejercicios de muy alta intensidad. En esfuerzos aeróbicos máximos se verificó una demanda, derivada del trabajo respiratorio, equivalente a entre 10 y 15% del consumo máximo de oxígeno (VO₂máx), asociado a una redistribución de entre un 14 y 16% promedio del gasto cardíaco hacia los músculos ventilatorios. Adicionalmente, en estas condiciones se verificó una vasoconstricción local refleja a nivel de las extremidades, secundario al incremento en el trabajo ventilatorio. Esto demostró ser suficiente para determinar cambios de hasta un 20% en la proporción total del gasto cardíaco disponible para la musculatura de los miembros involucrados en el esfuerzo (Harms et al., 1998). En concordancia con esto, otros estudios sugieren que el trabajo de la musculatura ventilatoria es capaz de afectar la tolerancia al ejercicio, probablemente mediante una disminución en la perfusión de la musculatura esquelética de las extremidades (Harms et al., 2000; Romer et al., 2006; Sheel et al., 2001).

Se ha verificado que el EMI permite atenuar los cambios vasomotores reflejos secundarios a un trabajo intenso de la musculatura ventilatoria. Esto es consistente con observaciones de que dicho entrenamiento mejora la tolerancia al ejercicio aeróbico, tanto en sujetos sanos como en pacientes con patologías respiratorias, como asma o EPOC (McConnell & Lomax, 2006). A pesar de sus posibles ventajas, hasta donde llega nuestro conocimiento en Uruguay no está extendido el empleo de dispositivos de EMI con fines de mejora del rendimiento deportivo, así como tampoco con objetivos de salud.

El propósito del presente trabajo fue determinar el efecto del uso de un dispositivo comercial de EMI, denominado POWERBreathe Plus+, sobre distintas variables cardiovasculares y respiratorias asociadas al rendimiento deportivo en jugadoras federadas de handball. Adicionalmente, se buscó conocer la viabilidad práctica del empleo de este dispositivo en dicha población de deportistas. Luego de una revisión exhaustiva de la literatura científica, no encontramos estudios previos que analizaran el efecto de los mismos en el rendimiento de jugadoras de handball. Por este motivo, entendemos que este trabajo presenta un enfoque novedoso.

Los resultados obtenidos aportan evidencias científicas que eventualmente pueden ser de utilidad para deportistas y entrenadores o entrenadoras, al momento de decidir el uso (o no) de este tipo de dispositivos como complemento de las sesiones habituales de preparación físico-deportiva. En este sentido, pensamos que el estudio implica un aporte al campo de la Educación Física en general, y más específicamente a la preparación física en deportes colectivos, particularmente handball.

1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.1 Características del handball

El handball es un deporte colectivo de oposición, cuyo objetivo es marcar más goles que el equipo contrario durante el tiempo de juego. Sus normas son reguladas por la Federación Internacional de Handball (*International Handball Federation*, IHF). Éste deporte, en su versión de salón (*indoor*) forma parte del programa olímpico desde 1972, y es jugado en forma profesional en numerosos países, principalmente en Europa (Michalsik, Madsen & Aagaard, 2015).

Como implica su nombre, la pelota no puede ser tocada por los pies (con excepción del o la golero/a en su propia área), sino únicamente con las manos. Se juega en una cancha de 40x20m, en dos tiempos de 30min cada uno. En cada uno de los dos extremos longitudinales hay dos arcos, que miden dos metros de alto por tres metros de ancho. Cada equipo está integrado por siete jugadores/as, de los cuales uno/a es el arquero y los otros seis son jugadores/as "de campo" (IHF, 2016).

Este deporte tiene un elevado énfasis en gestos como carrera, saltos, lanzamientos, desplazamientos hacia delante y atrás y hacia los laterales, realizados en muchas oportunidades a la vez que el jugador o jugadora está siendo tackleado/a, agarrado/a o empujado/a por uno o más adversarios. De esto se desprende que los jugadores y jugadoras de nivel deban poseer un desarrollo considerable en un amplio rango de capacidades físicas, incluyendo saltar y lanzar con potencia, bloquear, esprintar, control del balón y agilidad (Michalsik, Aagaard & Madsen, 2013).

Por esta razón esta disciplina es considerada un deporte complejo, intermitente y muy demandante, dado que involucra múltiples carreras de gran velocidad, contacto corporal frecuente y otras acciones de alta intensidad para vencer al equipo oponente. A esto se suma que, concurrentemente al desarrollo del juego a lo largo de los años, demandas físicas más intensas han sido impuestas a los jugadores de

élite, particularmente debido a recientes cambios en las reglas de juego (Michalsik et al., 2015).

Consecuentemente, el sistema aeróbico es altamente demandado, como queda de manifiesto por las frecuencias cardíacas promedio y pico verificadas durante los encuentros (82% y 93% de la FCmáx, respectivamente). Además, el corto tiempo verificado entre cada cambio de actividad y el número de acciones de alta intensidad, también sugieren una importante demanda del componente anaeróbico durante ciertos períodos del partido (Póvoas et al., 2014). Esto está asociado al hecho de que en este deporte se permitan sustituciones de jugadores/as en cualquier momento durante el partido, característica que hace posible mantener una alta intensidad de juego durante todo el encuentro, dado que los mismos pueden tener períodos de descanso siempre que lo necesiten (Ronglan, Raastad, & Børgesen, 2006).

Póvoas et al. (2014), trabajando con muestras de jugadores de handball masculino de élite, determinaron que durante un partido los jugadores de campo cubrían una distancia total de $4,51\pm0,63$ km, siendo el $17,9\pm7,5\%$ de la distancia recorrida realizada a alta intensidad. Asimismo, verificaron que la FC de los jugadores estuvo por encima del 80% de la FCmáx por $54\pm15\%$ del tiempo efectivo de juego, y por debajo del 60% de la FCmáx solamente por $6\pm5\%$ de dicho tiempo. No se encontraron diferencias significativas en la distancia total recorrida, porcentaje de actividad realizada a alta intensidad y FC promedio o pico cuando se compararon partidos de competencia versus amistosos. En estos últimos, se midió el lactato en sangre durante el partido, encontrándose valores promedio de $3,6\pm2,1$ mmol/L, con valores pico de $8,0\pm1.4$ mM/L. Esto representa una elevación de 3 a 4 veces en comparación con valores basales.

En el mismo estudio se verificó que, si bien los jugadores permanecieron parados, caminando o trotando a baja velocidad aproximadamente 2/3 partes del tiempo total de juego, hubo múltiples episodios de carrera a alta intensidad (401 y 520) y numerosas acciones intensas específicas (115 y 123) en partidos amistosos y competitivos respectivamente. Los autores concluyen que la demanda del sistema aeróbico en competencias de handball son altas durante la mayor parte del tiempo,

intercaladas con períodos de alta producción de lactato y, concomitantemente, con cortos pero elevados requerimientos del sistema anaeróbico.

En otro estudio donde se analizaron nueve partidos del campeonato mundial masculino del año 2007, se determinó que la distancia promedia cubierta por los jugadores durante cada encuentro fue de 2058m para los goleros, 2786m para pivots, 2839m para backs, y 3710m para wings. De la distancia total recorrida, 34,3% correspondió a caminata, 44,7% a trote, 17,9% a carrera rápida y 3,0% a sprint (Chaouachi et al., 2009).

Se ha sugerido que altos niveles de capacidad aeróbica, además de fuerza y potencia, son condiciones primarias necesarias para lograr el éxito en la competencia de este deporte, tanto en la categoría masculina como en la femenina (Granados, Izquierdo, Ibáñez, Bonnabau & Gorostiaga, 2007). En este sentido, se ha verificado una relación positiva entre capacidad aeróbica y rendimiento en competencia en jugadores masculinos de handball de élite (Tosun, Koç & Özen, 2017), habiéndose establecido para esta población valores elevados de VO₂máx relativo de 55ml/kg.min en promedio (Wagner, Finkenzeller, Würth & Von Duvillard, 2014).

No obstante, no hay consenso entre los autores sobre este punto, dado que otros resaltan la importancia de las características del metabolismo anaeróbico del deportista, por encima del aeróbico, para alcanzar resultados satisfactorios en el alto nivel de juego. Estos últimos sostienen que la capacidad aeróbica no representaría un factor limitante, y un alto valor de VO₂máx no sería necesario para lograr el óptimo rendimiento en el handball actual (Ziv & Lidor, 2009). En la misma línea, Ilic, Ranisavljev, Stefanovic, Ivanovic y Mrdakovic (2015) encontraron en su trabajo que, contrario a la creencia extendida, resultados satisfactorios pueden ser alcanzados en el alto nivel a pesar de que los jugadores presenten valores de VO₂máx habitualmente considerados inapropiados para lograr la máxima *performance* en este deporte.

A pesar de esto, dado que durante la competencia en handball femenino de élite se verifican períodos de altas demandas aeróbicas (~ 80% del VO₂máx) alternados con muy breves períodos de producción energética anaeróbica sustancial (~1% del

tiempo total efectivo durante el juego) (Michalsik et al., 2013), una elevada capacidad aeróbica parece ser relevante para mantener un alto nivel de rendimiento a lo largo de los 60 minutos de juego (Camacho-Cardenosa et al., 2018). Además, si bien la capacidad aeróbica podría no ser un factor fundamental para alcanzar el alto rendimiento en este deporte, adquiere relevancia en la medida que facilita la recuperación y permite tolerar o asimilar mayores cargas tanto durante los entrenamientos como durante la competencia deportiva (Espinoza-Salinas et al., 2020).

1.2 Consumo máximo de oxígeno y umbrales ventilatorios

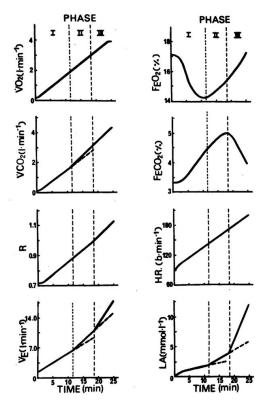
En 1980, Skinner y McLellan describieron un modelo clásico de tres fases que representa de manera muy clara las respuestas metabólicas y cardiorespiratorias que acontecen en un esfuezo aeróbico progresivo desde el reposo hasta el ejercicio de máxima intensidad (figura 1). Este modelo tiene una aplicación directa al entrenamiento físico, dado que, si bien las distintas fases no constituyen compartimientos estancos desde un punto de vista fisiológico, es esperable que las respuestas y adaptaciones al mismo serán diferentes de acuerdo a la fase en la cual se apliquen prioritariamente los estímulos de entrenamiento (López Chicharro et al., 2015).

En este modelo se identifican tres zonas fisiológicas que delimitan las mencionadas fases. Éstas han recibido diferente nomenclatura en la literatura científica, siendo denominadas en el mencionado trabajo de Skinner y McLellan como umbral aeróbico (aerobic treshold), umbral anaeróbico (anaerobic treshold) y VO₂máx. Los indicadores que determinan las mismas serán brevemente analizados a continuación.

El VO₂máx es el parámetro fisiológico más empleado para la determinación de la capacidad funcional de resistencia aeróbica de un sujeto, dado que implica los tres sistemas involucrados en la misma, es decir, el sistema cardiovascular, pulmonar y muscular esquelético (Domínguez et al., 2015). Se define como "la máxima cantidad"

de oxígeno que un organismo es capaz de captar, transportar y consumir por unidad de tiempo" (Viana et al., 2009).

Figura 1 Sistema trifásico de Skinner – McLellan (1980)



Representación esquemática de cambios típicos en lactato sanguíneo, FC y parámetros seleccionados de intercambio de gases durante un ejercicio incremental, desde el reposo hasta el VO₂máx. Tomado de Skinner y McLellan, 1980.

Se considera que un VO₂máx elevado es una condición necesaria, aunque no suficiente, para lograr altos estándares de rendimiento en deportes de resistencia o que requieran un alto componente de aptitud aeróbica (Lanferdini et al., 2020). Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que, en población general, el VO₂máx es el indicador fisiológico más importante en la determinación de la capacidad funcional de una persona, habiéndose asociado bajos niveles de esta variable con el incremento del riesgo de sufrir sindrome metabólico y otras enfermedades cardiovasculares o metabólicas (Jackson et al., 2009).

El VO₂máx, como se mencionó, es un parámetro de referencia para establecer el nivel de rendimiento de un deportista, habiéndose demostrado una importante relación entre el rendimiento en la carrera de resistencia y esta variable fisiológica (McLaughlin et al., 2010). No obstante, también es relevante conocer la intensidad de ejercicio a la cual se alcanza dicho valor, es decir la potencia aeróbica máxima (PAM). Este dato aporta información sobre la eficiencia mecánica del sujeto y es útil para la prescripción de cargas de entrenamiento, particularmente en modalidades de tipo HIIT (*High Intensity Interval Training*) (Billat, 2001).

El *umbral anaeróbico* ha recibido también el nombre de *umbral ventilatorio 2* (VT2: *Ventilatory Treshold 2*) o *punto de compensación respiratoria* (Wasserman et al., 1994). Este umbral está estrechamente relacionado con el máximo estado estable del lactato (MLSS), el cual se define como la mayor intensidad que puede ser mantenida durante un tiempo prolongado (15 minutos o más) sin una acumulación progresiva de lactato en sangre; estudios recientes han determinado una alta correlación entre ambos en ciclistas de élite (Ploszczyca et al., 2020).

Varios grupos de investigadores han determinado este umbral como la intensidad de esfuerzo asociada con una concentración sanguínea fija de 4 mmol/L, dado que este valor refleja, en promedio, el equilibrio máximo entre la producción y la aclaración de lactato durante el ejercicio continuo (Heck et al., 1985).

El *umbral anaeróbico* representa una fase de transición entre la zona 2 y la zona 3, y usualmente se produce alrededor del 80 al 85% del VO₂máx en sujetos entrenados. A esta intensidad de ejercicio, la necesidad de generar mayor tensión muscular para soportar dicha carga determina un mayor reclutamiento de las fibras musculares de tipo IIx. Estas fibras tienen un perfil marcadamente glucolítico, lo que explica el cambio en el medio interno celular y extracelular (analizado a continuación) que se verifica a este nivel. Los ejercicios realizados por encima de este umbral determinan el incremento progresivo en la concentración sanguínea de lactato, en tanto la producción supera los procesos de aclaramiento del mismo. Esto a su vez se acompaña de un descenso en los niveles de pH dado que los sistemas *buffer* no son capaces de tamponar los H+ producidos como consecuencia de la disociación del ácido láctico. La consecuente acidosis determina un estímulo para el centro respiratorio, lo que hace que la ventilación se incremente en forma

desproporcionada al VCO₂, rompiendo de esta forma la linealidad que estas variables presentaban previo a alcanzar esta zona (López Chicharro et al., 2015).

El denominado *umbral aeróbico* (también llamado VT1: *Ventilatory Treshold 1*, estrechamente vinculado al umbral de lactato) es comúnmente utilizado para la planificación del entrenamiento o para valorar el rendimiento deportivo, ya sea en deportes cíclicos de resistencia o, como en el caso del handball, deportes que impliquen una importante demanda del sistema aeróbico de obtención de energía (Domínguez et al., 2018). Este umbral representa la transición entre la zona 1 y la zona 2 del modelo de Skinner – McLellan.

Se ha considerado que el VT1 es el indicador de rendimiento más importante, permitiendo diferenciar el rendimiento en deportistas de resistencia incluso frente a valores de VO₂máx similares (Bentley et al., 2007). La aplicación de este concepto para el control y planificación de las cargas de entrenamiento aeróbicas en el deporte se constituye como un enfoque científico fundamental (Tzvetkov et al., 2008).

Cuando un sujeto realiza un test progresivo en rampa o en escalera (siendo este último el utilizado a los propósitos de este trabajo), en los primeros estadios de la prueba la ruta metabólica oxidativa es preferente, y las fibras musculares que soportan el esfuerzo físico son fundamentalmente las fibras "lentas" o de tipo I. Sin embargo, las mismas tienen una capacidad limitada para desarrollar fuerza, de tal forma que cuando los requerimientos de la misma por parte del sistema nervioso central superan un determinado nivel (denominado valor umbral) se activan adicionalmente las unidades motoras (y sus correspondientes fibras musculares) de tipo IIa, permitiendo un aumento de la tensión interna. Este hecho, asociado a una mayor estimulación del sistema nervioso simpático – adrenal, determina un cambio sustancial en la bioenergética de la célula muscular a partir de este punto. En este sentido, la necesidad de producir más ATP por unidad de tiempo, implica una activación creciente de la ruta metabólica anaeróbica láctica, concomitantemente con un incremento de los niveles de ácido láctico a nivel muscular (López Chicharro et al., 2015).

Cuando la intensidad del esfuerzo supera el mencionado umbral, los H⁺ liberados al medio a partir de la disociación del ácido láctico son amortiguados

fundamentalmente por el sistema tampón del bicarbonato, convirtiéndose éste en ácido carbónico. La disociación del mismo, a su vez, da como productos H₂O y CO₂, elevando la concentración de este último en sangre, y provocando consecuentemente el estímulo del centro respiratorio. El aumento subsiguiente de la ventilación está determinado, por tanto, por la necesidad de eliminación del CO2 incrementado, no siendo acompañado en forma proporcional por un incremento en el consumo de oxígeno (VO₂) por parte de la musculatura esquelética involucrada en el esfuerzo. Se verifica entonces una menor extracción proporcional de O2 del aire inspirado, por lo que la fracción espirada de O2 (FEO2) en cada respiración será mayor. Es por esta razón que una vez superado el VT1 el equivalente ventilatorio para el O₂ (esto es, la cantidad de litros de aire ventilados o VE por cada litro de oxígeno consumido, VE/VO2) comienza a elevarse (siendo que se mantenía aproximadamente constante hasta este punto) mientras que el equivalente ventilatorio para el CO₂ (es decir, VE por cada litro de CO₂ expulsado, VE/VCO₂) se mantiene aproximadamente constante (López Chicharro & Vicente Campos, 2017).

Otro método para la determinación de este umbral es el descrito por Beaver, Wasserman y Whipp (1986) denominado *V-slope*. En el mismo se establece la relación entre VO₂ y VCO₂ alveolares respiración a respiración durante un ejercicio incremental. En el punto en el cual el VCO₂ comienza a aumentar desproporcionadamente con respecto al VO₂ (es decir, se pierde la linealidad inicial) se verifica el VT1. Este fue el método seleccionado para la determinación de los umbrales individuales de cada deportista en el presente trabajo.

1.3 Entrenamiento de la musculatura inspiratoria

La principal función del sistema respiratorio es mantener la ventilación alveolar en forma proporcional a las necesidades metabólicas (Janssens et al., 2013). El sistema respiratorio y su unidad de regulación central controlan los niveles de O₂ y CO₂ que son respectivamente consumidos y liberados en mayores cantidades durante actividades de resistencia aeróbica (Turner et al., 2012).

A medida que aumenta la intensidad del ejercicio aeróbico realizado, se incrementa asimismo la ventilación/minuto y el trabajo respiratorio, con un incremento proporcional del VO₂ por parte de la musculatura ventilatoria (Aaron et al., 1992). Dicho trabajo deriva de una combinación de la energía necesaria para vencer la tendencia al retroceso elástico de los pulmones durante la inspiración, y la tendencia al retroceso elástico de las paredes del tórax durante la espiración, así como de la energía necesaria para vencer la resistencia de la vía aérea (Goldman et al., 1976).

Se ha determinado que, durante la realización de ejercicio de moderada intensidad, la musculatura ventilatoria requiere aproximadamente 3 a 6% del VO₂ total, verificándose un incremento de esta demanda hasta aproximadamente 10 a 15% durante un esfuerzo máximo (Aaron et al., 1992). Dicha musculatura es además única entre los demás músculos esqueléticos, ya que deben trabajar en forma continua y sin un descanso prolongado a lo largo de toda la vida (McKenzie, Butler & Gandevia, 2009).

En concordancia con Wells y Norris (2009), el rendimiento de la musculatura respiratoria decrece durante esfuerzos de alta intensidad (>85% VO₂máx) como respuesta a un incremento en el trabajo respiratorio, dando como resultado hipoxemia arterial inducida por el ejercicio, fatiga de la musculatura ventilatoria y disnea. Dichos fenómenos estarían asociados a un incremento progresivo en el reclutamiento de músculos inspiratorios accesorios a medida que la intensidad aumenta, a la vez que la eficiencia del diafragma, principal músculo inspiratorio, comienza a decrecer.

El mencionado reclutamiento redundaría en asincronía respiratoria y en un mecanismo ventilatorio ineficiente, promoviendo una reducción en la perfusión del diafragma, a la vez que incrementando los requerimientos metabólicos y de flujo sanguíneo a estos grupos musculares (McConnell & Romer, 2004). La activación sensorial del sistema nervioso central (SNC) secundaria a estos acontecimientos provoca la activación del mecanismo de metaboreflejo, por el cual se verifica un incremento del porcentaje del gasto cardiaco derivado hacia la musculatura inspiratoria. Esto produce una reducción del flujo sanguíneo hacia las extremidades en actividad, y consecuentemente perjudicando el rendimiento deportivo (Smith et al., 2017).

Desde hace muchos años, la evidencia científica indica que los músculos inspiratorios pueden ser entrenados siguiendo los mismos principios que los demás músculos esqueléticos (Leith & Bradley, 1976). Este proceso requiere el empleo de ejercicios ventilatorios repetitivos, usualmente realizados en contra de una carga externa, controlando asimismo distintos factores como el tiempo de aplicación del estímulo, la intensidad y la frecuencia semanal de entrenamiento. Se busca con esto que las fibras musculares involucradas se vean forzadas a trabajar por más tiempo, a mayores intensidades o más frecuentemente de lo habitual, provocando de esta forma un efecto de supercompensación y adaptación a la carga (Elkins & Dentice, 2015).

En el estudio de Edwards y Cooke (2004) se observó que el EMI durante cuatro semanas utilizando el dispositivo POWERBreathe redundó en un incremento en el rendimiento de varones adultos saludables, verificado por un mayor tiempo hasta el agotamiento para una determinada carga aeróbica post intervención, en comparación con el grupo control. En el mismo sentido, en el estudio de Akkbas, Bazzy, Dimauro & Haddad (1989) se estudió el efecto del EMI sobre variables bioquímicas a nivel del músculo diafragma, en una muestra de ovejas. Las mismas entrenaron durante 20min utilizando resistencia de flujo inspiratorio (50-100cm H₂O), de cinco a seis veces por semana, durante tres semanas. Los resultados demostraron que, en comparación con el grupo control, el diafragma de los animales mostraba un incremento significativo en las enzimas citrato sintetasa (26%), ß-hidroxyacl-COA deshidrogenasa (29%) y citocromo oxidasa (36%). Los autores concluyen que los perfiles enzimáticos aeróbicos del diafragma se incrementan significativamente cuando el individuo es sometido a un estrés inspiratorio.

Esto puede determinar una mayor eficiencia en la utilización de energía aunado a una menor fatigabilidad de los músculos inspiratorios. Consecuentemente, esto explicaría la mejora del rendimiento y de la capacidad aeróbica post EMI, verificada en deportistas entrenados en resistencia (Inbar, Weiner, Azgad, Rotstein & Weinstein, 2000). Es por esta razón que se sugiere que un protocolo específico de EMI debería formar parte de los programas de entrenamiento de atletas de alto nivel, en forma complementaria a su entrenamiento habitual (Jurić et al., 2019; Rozek-Piechura et al., 2020).

Como se mencionó *ut supra*, cuando un sujeto realiza ejercicios de alta intensidad mantenidos por un lapso de tiempo prolongado, el rendimiento de la musculatura ventilatoria tiende a decrecer en respuesta al incrementado trabajo ventilatorio. Esto puede contribuir al advenimiento de la fatiga de dichos músculos y, consecuentemente, a una disminución del rendimiento global (Wells & Norris, 2009). Es por esto que los efectos de un programa de EMI sobre el rendimiento han sido estudiados en diferentes deportes, particularmente en deportes cíclicos de resistencia.

Se ha establecido, además, que modalidades deportivas de alta intensidad que utilizan los miembros superiores como natación, remo, o handball, determinan una sobrecarga de la musculatura inspiratoria aún mayor que aquellas que utilizan prioritariamente los miembros inferiores. En dichas disciplinas, la demanda extra sobre la musculatura inspiratoria se debe a que grupos musculares necesarios para el trabajo de ventilación a altas intensidades también son reclutados para realizar gestos específicos del deporte, ya sea en entrenamiento o durante la competencia. De esta forma, la doble demanda incrementa la susceptibilidad a la fatiga, y consecuentemente lleva a una disminución de la performance muscular y del rendimiento físico (Lomax, Tasker & Bostanci, 2014).

En un estudio realizado en ciclistas de ruta de competencia, los sujetos del grupo experimental realizaron 30 esfuerzos inspiratorios dinámicos, dos veces por día, al 50% de su máxima capacidad inspiratoria, durante seis semanas. Los autores encontraron que este protocolo resultó en una reducción de la fatiga de la musculatura inspiratoria durante esfuerzos intensos en comparación con el grupo placebo, lo que a su vez tuvo efectos ergogénicos (Romer et al., 2002).

En corredores de calle recreacionales masculinos, se verificó que el empleo de un dispositivo de resistencia al flujo inspiratorio, tres veces por semana durante seis semanas, mejoró la fuerza, resistencia, potencia y capacidad de trabajo de los músculos inspiratorios en reposo. Adicionalmente, los autores encontraron una mejora en la capacidad de resistencia frente a una prueba en cicloergómetro al 80% del VO₂máx, en comparación con el grupo placebo (Mickleborough, Nichols, Lindley, Chatham & Ionescu, 2010).

En otro estudio reciente (Rozek-Piechura et al., 2020) los autores también verificaron efectos positivos derivados del uso de EMI en corredores de resistencia. En este trabajo, 11 corredores de larga distancia de nivel elite complementaron su entrenamiento habitual con el empleo de POWERBreathe durante ocho semanas, dos sesiones diarias con una frecuencia de cinco días por semana. La carga de entrenamiento del dispositivo fue incrementada desde un 50% de la máxima presión inspiratoria (durante las primeras tres semanas) hasta el 70% de la misma (durante las últimas dos semanas de intervención). Se verificó que el uso de POWERBreathe mejoró la función respiratoria de los atletas en comparación con el grupo placebo, evidenciado por un incremento significativo de los volúmenes pulmonares en reposo. Se verificó asimismo en este grupo una mejora en el VO2máx relativo (VO2máx/kg) y en los parámetros de fuerza de la musculatura ventilatoria. Adicionalmente, el uso del dispositivo se asoció con una disminución significativa (p = 0,043) de los niveles de lactato en plasma post entrenamiento, en comparación con el grupo control.

Esto se contrapone con lo hallado por Williams, Wongsathikun, Boon y Acevedo (2002) quienes luego de cuatro semanas de EMI en corredores de calle de competición, no encontraron una mejora en el VO₂máx ni en la capacidad de resistencia aeróbica al 85% del VO₂máx, a pesar de verificarse un incremento en la fuerza y resistencia de la musculatura inspiratoria.

Otros autores (Kilding et al., 2010) realizaron el mismo protocolo de entrenamiento en nadadores de competencia, verificando mejoras en el rendimiento, así como en la percepción subjetiva de esfuerzo (PSE), en pruebas de 100m y 200m. Sin embargo, en el mismo estudio no se verificaron mejoras estadísticamente significativas en pruebas de 400m.

En otro estudio llevado a cabo en remeros masculinos (Griffiths & McConnell, 2007) se estudió el efecto de cuatro semanas de EMI o espiratoria sobre el rendimiento en un test de seis minutos *all-out* en remoergómetro. El entrenamiento consistió en 30 inspiraciones o espiraciones, dos veces al día en forma diaria, contra una resistencia que representaba el 50% de la máxima presión inspiratoria o espiratoria en boca, respectivamente. Los resultados demostraron un incremento en la potencia media y un ligero descenso en la frecuencia cardíaca (FC) del grupo que realizó EMI. Sin embargo, no se verificaron diferencias significativas de rendimiento luego de las

cuatro semanas en el grupo que entrenó la musculatura espiratoria.

En otro estudio realizado en el deporte remo, esta vez en categoría femenina (Volianitis et al., 2001), los autores siguieron un protocolo similar de EMI, pero de 11 semanas de duración. Se verificó un incremento significativo de la fuerza de dicha musculatura, una mejora en la distancia recorrida en la prueba de seis minutos *allout* y una reducción del tiempo demandado para la prueba de 5000m en cicloergómetro, en comparación con el grupo placebo.

Las eventuales ventajas del EMI para mejorar el rendimiento deportivo fueron también estudiadas en deportes de tipo acíclicos. En un estudio reciente, Hartz, Sindorf, Lopes, Batista, y Moreno (2018) estudiaron el efecto del EMI sobre el rendimiento en jugadores de handball masculinos. Para este propósito utilizaron el dispositivo POWERBreathe Plus+ Heavy Resistance, siendo éste el mismo que utilizaron los autores del presente trabajo. La muestra estuvo compuesta por jugadores con al menos un año de experiencia competitiva. Los sujetos aleatoriamente seleccionados para formar parte del grupo experimental (EXP) mantuvieron su actividad de entrenamiento regular, pero adicionalmente realizaron EMI con cargas progresivas (50%, 60% y 70% de la presión inspiratoria máxima de cada deportista, cuatro semanas cada carga). El grupo control (CONT) continuó su entrenamiento habitual, realizando además EMI con una carga considerada placebo (15% de la presión inspiratoria máxima de cada deportista). La intervención experimental tuvo una duración de 12 semanas. Los resultados mostraron un incremento significativo en las presiones respiratorias máximas, VO₂máx y VO₂ en el punto de compensación respiratoria en el grupo EXP, mientras que para los participantes del grupo CONT únicamente se verificó un incremento en la presión inspiratoria máxima.

Los autores sugieren que el incremento en la fuerza respiratoria podría contribuir a una reducción de las demandas de la musculatura inspiratoria para la misma carga de ejercicio. Concomitantemente, esto favorecería el mantenimiento del rendimiento de los atletas, particularmente en gestos de alta intensidad. Si bien en ninguno de los grupos se verificaron cambios en el umbral ventilatorio luego del EMI, esto podría ser debido, en opinión de los autores, a que previo a la intervención los atletas estaban en óptimas condiciones físicas, siendo que las adaptaciones de dicho

umbral son determinadas por el nivel de esfuerzo y la fatiga generada por entrenamiento físico específico.

En otro estudio reciente realizado en jugadoras profesionales de fútbol (Archiza et al., 2017) se evaluó el efecto de seis semanas de EMI en músculos periféricos y ventilatorios utilizando espectrometría cercana al infra rojo. Se encontró que el grupo experimental, a diferencia del grupo control, presentó menor desoxihemoblogina y concentración de hemoglobina total en sangre en los músculos intercostales, concomitantemente con un incremento en la oxihemoglobina y concentraciones totales de hemoglobina en sangre en el músculo vasto lateral del cuádriceps durante una prueba hasta el agotamiento.

Los autores concluyeron que el EMI tiene un rol potencial en atenuar el metaboloreflejo muscular respiratorio y la consecuente mejora en la cesión de sangre y O₂ a los músculos locomotores durante ejercicios de elevada intensidad, lo que consecuentemente mejoraría la tolerancia al ejercicio y el rendimiento en *sprints* en esta población.

En otro estudio reciente (Pawar et al., 2018) se encontró que el EMI en tenistas adultos jóvenes (18 a 29 años) de ambos sexos, cinco días a la semana durante cuatro semanas, redundó en una mejora significativa de la resistencia cardiovascular, estimada a partir del VO₂máx.

Importa destacar que la mayoría de los trabajos publicados hasta el momento destinados a investigar los efectos del EMI sobre el rendimiento deportivo, fueron realizados con sujetos masculinos, o bien con muestras de sujetos de ambos sexos. Esto dificulta el entendimiento de los efectos reales del EMI en deportistas del sexo femenino (Archiza et al., 2017) pues, en términos promedio, el sistema respiratorio de las mujeres presenta algunas diferencias con respecto al de los varones de similar edad y estatura. Entre ellos, se encuentran volúmenes y capacidades pulmonares menores, menor diámetro de sus vías aéreas, menor capacidad de difusión pulmonar en reposo y una mayor susceptibilidad a presentar limitaciones ventilatorias durante ejercicios de alta intensidad (McKenzie, 2012).

1.4 Características del dispositivo POWERBreathe

El empleo de dispositivos portátiles para entrenar la musculatura inspiratoria de deportistas ha estado creciendo en los últimos años (González et al., 2012). Actualmente, hay en el mercado muchas marcas y modelos que pueden ser empleados para dicho propósito.

Estos dispositivos pueden agruparse en dos categorías: aquellos que imponen un estímulo de entrenamiento de fuerza, y aquellos que imponen un estímulo de entrenamiento de resistencia. Los primeros someten a los músculos ventilatorios a una carga externa similar a lo que representaría el levantamiento de pesas. Pueden a su vez ser agrupados en tres categorías principales, basado en la forma en que la carga es generada: resistencia de flujo pasiva, resistencia de flujo ajustada dinámicamente y válvula de umbral de presión (*pressure threshold valve*). Los dispositivos de resistencia requieren que los músculos ventilatorios trabajen con elevadas frecuencias durante un tiempo prolongado (~30min) sin otra carga impuesta más que la inherente a la resistencia del flujo de aire y a la elasticidad de los elementos anatómicos del sistema respiratorio (McConnell, 2013).

El dispositivo POWERBreathe (POWERBreathe International Ltd., Southam, England, UK) se clasifica como un dispositivo de entrenamiento de fuerza, y dentro de éstos, de resistencia pasiva de flujo. En éstos, la carga es dada por un orificio de diámetro variable, previamente regulado, de tal forma que para un determinado flujo, cuanto menor es el diámetro mayor es la resistencia obtenida (Croitoru & Bogdan, 2013). Es relevante mencionar que este tipo de dispositivos tienen una limitación y es que, dado que la carga es generada pasivamente por el flujo de aire ventilado, son muy sensibles a la influencia del mismo, ocasionando que dicha carga no sea altamente confiable (McConnell, 2013).

No obstante, el dispositivo POWERBreathe se plantea como una alternativa práctica, cómoda y relativamente económica en comparación con otros dispositivos, contando con la ventaja de que, mediante un sistema de válvulas, permite separar el flujo inspiratorio y espiratorio ofreciendo resistencia únicamente al primero Éste tiene además un dispositivo de resorte que permite regular la carga, con lo que permite

variaciones continuas en la resistencia a la inspiración. Dependiendo del modelo del dispositivo, la carga mínima ajustable es de 17cm de H₂O y la máxima de 274cm de H₂O. Tiene además una pieza bucal flexible que se adapta fácilmente a la boca del sujeto, haciéndolo más confortable y hermético al flujo de aire (Menzes et al., 2018).

POWERBreathe presenta en total 12 modelos diferenciados, agrupados en cuatro series y tres niveles de resistencia cada uno. De éstos, el modelo POWERBreathe Plus + *heavy resistance* está destinado a deportistas altamente entrenados. El mismo presenta una resistencia regulable que permite resistencias lineales desde 29cm de H₂O como mínimo hasta 274cm de H₂O como máximo. Este último fue el modelo que se utilizó en la presente intervención experimental.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el efecto de un protocolo de entrenamiento de la musculatura inspiratoria sobre parámetros fisiológicos y de rendimiento en jugadoras de handball federadas de la ciudad de Montevideo.

2.2. Objetivos específicos

- 1- Comparar antes vs. después de la intervención:
 - a) la capacidad vital forzada (CVF), el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) y el pico de flujo inspiratorio (PIF), en situación de reposo;
 - b) el consumo de oxígeno y la percepción subjetiva de esfuerzo a una intensidad de trabajo submáximo determinada (120W);
 - c) el consumo de oxígeno, la potencia mecánica y la percepción subjetiva de esfuerzo al momento que se alcanza el primer umbral ventilatorio;
 - d) la potencia mecánica máxima y el consumo máximo de oxígeno alcanzados en el test.
- 2- Valorar la viabilidad práctica del uso de POWERBreathe Plus+ en términos de adherencia y eventuales efectos secundarios.

3. HIPÓTESIS

La hipótesis del presente trabajo, es que un protocolo de entrenamiento de la musculatura inspiratoria, utilizando el dispositivo POWERBreathe Plus+ durante ocho semanas, determina mejoras significativas en variables cardiorrespiratorias y de rendimiento en jugadoras de handball adultas federadas.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

Esta investigación se basa en un modelo cuasi-experimental, con intervenciones de carácter longitudinal, usando un diseño aleatorizado, con un grupo experimental (EXP) y un grupo control (CONT). Contó con el aval del Comité de Ética del Instituto Superior de Educación Física (ISEF) de la Universidad de la República (Udelar).

4.1 Participantes

Mediante un muestreo por conveniencia, fueron seleccionadas 30 participantes del sexo femenino adultas, que practican handball en forma competitiva en clubes de la ciudad de Montevideo. Todas contaban con ficha médica, la cual permaneció vigente durante todo el tiempo que duró la intervención. Ninguna de ellas tenía experiencia previa con el uso de dispositivos para EMI, ni con otro tipo de protocolos de entrenamiento específicos para dicho grupo muscular. Todas las deportistas fueron informadas oralmente delas características y objetivos del presente proyecto, luego de lo cual leyeron y firmaron un consentimiento informado (anexo 1). A posteriori, fueron aleatoriamente seleccionadas para participar del grupo EXP (n = 15) o CONT (n = 15).

4.2 Criterios de inclusión y exclusión

- a) Ser mayor de 18 años al momento de comenzar el estudio
- b) Ser jugadora de handball federada y estar en entrenamiento activo durante todo el tiempo de la intervención
- c) Haber respondido en forma negativa todas las preguntas del cuestionario preparticipativo PAR-Q (anexo 2)
- d) No superar el 20% de inasistencias a los entrenamientos de handball durante el

período de intervención experimental

- e) No ser fumadora, o haber abandonado el hábito tabáquico al menos seis meses previo al comienzo de la intervención experimental
- f) No presentar, durante el tiempo de la intervención, patologías o consumo de fármacos que eventualmente pudieran afectar el resultado de la misma
- g) Haber leído y firmado el correspondiente consentimiento informado

4.3. Procedimientos

El estudio fue realizado y completado durante el período competitivo, mientras las participantes continuaron efectuando su entrenamiento habitual. La frecuencia de entrenamientos fue de cuatro veces por semana, dos horas por sesión durante las cuales las deportistas realizaron acondicionamiento físico básico (60min aproximadamente) y a posteriori trabajos técnicos y tácticos específicos del deporte. Adicionalmente tuvieron una instancia de competencia semanal, los días sábados o domingos.

Antes y después de la realización del protocolo experimental, todas las deportistas fueron evaluadas según se detalla en el apartado **4.4**. Adicionalmente, las deportistas del grupo EXP realizaron entrenamiento específico de la musculatura inspiratoria según se describe en el apartado **4.5**.

4.4 Evaluaciones

La semana previa y posterior a la intervención experimental, todas las jugadoras fueron evaluadas mediante una espirometría de reposo, y mediante una prueba de esfuerzo progresivo máximo en cicloergóemtro con análisis de gases respiratorios. Se les solicitó que no realizaran una ingesta excesiva de alimentos en las tres horas anteriores a la prueba. Adicionalmente, se les pidió que 12 horas previo a la misma, no ingirieran bebidas o comidas que pudieran contener sustancias estimulantes

como cafeína u otras metilxantinas (café, mate, chocolate, bebidas energéticas, entre otros), y que se abstuvieran de tomar alcohol en las últimas 24hrs. Todas las sesiones de evaluación fueron realizadas en una clínica médica, a una temperatura ambiente de entre 22 y 24°C. La institución contaba con Desfibrilador Externo Automático (DEA), y durante las pruebas se contó con la presencia de un médico.

Las espirometrías en reposo fueron efectuadas en concordancia con los lineamientos de la *American Thoracic Society* (ATS) y de la *European Respiratory Society* (ERS) (Gibson et al., 2002). Se midió la Capacidad Vital Forzada (CVF), el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1) y el Pico de Flujo Inspiratorio (PIF).

Para la prueba de esfuerzo con análisis de gases respiratorios las deportistas realizaron un test progresivo escalonado máximo en cicloergómetro. Se les solicitó que pedalearan con una cadencia constante de entre 60 y 80cpm; la potencia inicial de pedaleo fue ajustada en 30W, y cada 2 minutos se realizaron incrementos sucesivos de 30W hasta que la deportista llegara al agotamiento o fuera incapaz de alcanzar la cadencia necesaria para mantener la potencia solicitada. El cicloergómetro utilizado fue el Cyclus 2 (RBM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Alemania) y la carga se controló de manera automática a través del software del equipo.

Tanto para la espirometría como para la prueba de ejercicio con análisis de gases respiratorios, se utilizó el dispositivo Cortex Metalyzer 3B (CORTEX Biophysik GmbH, Leipzig, Alemania). Este es un sistema de testeo de estrés metabólico para medición de intercambio de gases pulmonares. Permite medir en forma directa, respiración a respiración, la concentración de O₂ y CO₂ en el aire inspirado y espirado, así como la frecuencia ventilatoria, entre otras variables. Presenta elevados valores de reproducibilidad, con coeficientes intraclase de fiabilidad de 0,969 para VO₂, 0,964 para VCO₂ y 0,953 para volumen minuto espiratorio (VE) (Meyer et al., 2001).

Durante la prueba también se monitoreó la FC de las participantes. Para este propósito se utilizó una banda con sensor de FC Polar® H7 (Polar Electro Inc., Finland), colocada alrededor del tórax a la altura de la apófisis xifoides. Mediante tecnología bluetooth 4.0, los datos fueron recibidos por el mencionado dispositivo

Cortex e interpretados por el software correspondiente (MetaSoft Studio).

En las pruebas de ejercicio escalonado, además de controlar la potencia mecánica (en watts) del cicloergómetro, se midieron los gases respiratorios y la FC de manera continua a lo largo de todo test. También se registró la PSE en los 30 segundos finales de cada estadio. Asimismo, se estimó el umbral ventilatorio 1 (VT1) mediante la metodología *v-slope*, y se determinó el VO₂ absoluto y relativo, la potencia mecánica y la PSE asociadas al mismo. Además, se determinó el VO₂ absoluto y relativo promedio de los últimos 30 segundos del estadio 4 (correspondiente a 120W), así como la PSE correspondiente a dicho estadio.

La PSE fue determinada mediante el uso de la Escala de Gunnar Borg Modificada (Kilpatrick et al., 2020) (anexo 3). Al finalizar cada estadio del test progresivo escalonado, e inmediatamente antes de pasar al siguiente, se les presentó a las deportistas una tabla con dicha escala, pidiéndoles que señalaran la PSE que percibían en ese momento, en concordancia con los lineamientos de la misma.

Antes de cada evaluación se midió la masa corporal de cada deportista utilizando para tal propósito una balanza GA.MA. (GA.MA. *Italy Professional*) con precisión de 100g. Además, antes de la primera evaluación se determinó la altura, utilizando un estadiómetro SECA 213 (SECA, Alemania) con precisión de 1mm. Ambas mediciones fueron realizadas siguiendo los protocolos establecidos por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (*International Society for the Advancement of Kinanthropometry*, ISAK) (Sirvent & Alvero, 2017).

Durante la segunda evaluación, asimismo, se les consultó a las deportistas del grupo EXP sobre eventuales cambios en su capacidad cardiovascular y respiratoria que hubieran percibido durante el período que duró la intervención, y que pudieran asociar a la realización del EMI. Se les solicitó también que mencionaran qué tanto esfuerzo les había implicado el uso del dispositivo POWERBreathe plus + durante el período en cuestión, según el protocolo que se describe más adelante. Para este fin se utilizó una escala del 0 al 10, siendo que "0" corresponde a "no me costó absolutamente nada utilizar el dispositivo, no me representó ningún esfuerzo o molestia en lo absoluto" y "10" corresponde a "me costó mucho tiempo o esfuerzo tener que utilizar este dispositivo, me parece tan engorroso que no lo volvería a utilizar".

4.5 Protocolo de entrenamiento de la musculatura inspiratoria

El grupo EXP realizó EMI durante 8 semana, utilizando para tal propósito el dispositivo POWERBreath modelo Plus+ *Heavy Resistance*. Este modelo es sugerido para deportistas de alto nivel, o eventualmente para sujetos activos que hayan alcanzado los niveles más altos con el modelo POWERBreathe Plus *Medium Resistance*.

El protocolo seguido fue basado en las recomendaciones de los fabricantes del producto, en concordancia con lo establecido en su manual de usuario. En una primera instancia presencial se les instruyó a las deportistas la forma correcta de utilizar el dispositivo. Luego todas realizaron la primera sesión de EMI en presencia de los autores de este trabajo, quienes corroboraron que la técnica empleada fuera adecuada, además de responder eventuales dudas.

A partir de dicha instancia, durante la primera semana y a modo de adaptación al producto, se pidió a las participantes que realizaran, de lunes a viernes y siempre aproximadamente a la misma hora, 30 inspiraciones seguidas a un nivel de resistencia 0 (mínimo), que para el modelo utilizado corresponde a una resistencia de 29cmH₂O. En caso de no poder realizar las 30 inspiraciones sin solución de continuidad, se les pidió que hicieran una pausa breve de dos o tres ciclos respiratorios "normales", para luego continuar con el entrenamiento hasta completar el número previsto. Se les solicitó que no aumentaran la carga del dispositivo durante estos primeros cinco días.

A partir de la segunda semana y hasta completar la intervención, se les pidió que realizaran, de lunes a viernes, 30 inspiraciones dos veces al día (en la mañana y en la noche, luego del entrenamiento habitual, y siempre a la misma hora aproximada). Siguiendo las recomendaciones de los fabricantes, se les pidió que, en caso de lograr completar la cantidad mencionada de inspiraciones en forma seguida y "cómoda", incrementaran la carga en ¼ de vuelta (correspondiente a 28cmH₂O), como máximo una vez por día, hasta finalizar la intervención. Se les solicitó asimismo que anotaran cualquier efecto secundario percibido que asociaran al uso del dispositivo (mareo, cefalea, entre otros).

4.6. Análisis estadístico

Los datos son presentados como media \pm DE. La normalidad se verificó por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y la homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene. En los casos en que se verificaron estas asunciones, las eventuales diferencias entre el grupo EXP y CONT, previo y posterior a la intervención experimental, fueron determinadas mediante la prueba t de Student para datos independientes. Las eventuales diferencias intra-grupos fueron cuantificadas mediante la prueba t de Student para datos pareados.

En los casos en que no se verificó normalidad u homogeneidad de varianzas se utilizó estadística no paramétrica, específicamente la prueba U de Mann - Whitney para determinar diferencias entre grupos, y prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para determinar eventuales diferencias intra-grupos pre y post intervención.

En los casos en que se empleó estadística paramétrica se utilizó *d* de Cohen para determinar el tamaño del efecto, estableciéndose valores iguales o menores a 0,20 como "ausencia de efecto", valores entre 0,21 y 0,49 como "efecto pequeño", valores entre 0,50 y 0,79 como "efecto moderado" y valores iguales o superiores a 0,80 como "efecto grande" (Caycho et al., 2016; Cohen, 1992). En los casos en que se empleó estadística no paramétrica el tamaño del efecto fue determinado mediante *Rank Biserial Correlation.* En concordancia con lo planteado por Goss-Sampson (2019) la interpretación se realizó en forma similar al estadístico de correlación *r* de Pearson, y consecuentemente se establecieron valores de *r*_{rb} entre 0,10 y 0,30 como tamañodel efecto débil, entre 0,40 y 0,60 como tamaño del efecto moderado, y desde 0,70 hasta 1 como tamaño del efecto grande (Dancey & Reidy, 2006).

En todos los casos se estableció un nivel de significación de p < 0,05. Los cálculos estadísticos fueron realizados con el software estadístico libre JASP (Version 0.16.4; JASP Team, 2022).

5. RESULTADOS

De las 30 jugadoras previamente seleccionadas, seis (dos del grupo EXP, cuatro del grupo CONT) no realizaron la segunda evaluación, por lo que no fueron tenidas en cuenta para el análisis de los resultados. Los motivos para no realizar dicha prueba fueron: en cuatro casos por lesión del aparato locomotor, en un caso por no tolerar la sensación de "claustrofobia" ocasionada por la máscara del analizador de gases durante la primera prueba de esfuerzo, y en el último caso la deportista adujo "falta de tiempo para realizar los test". Por este motivo los cálculos fueron efectuados en base a una muestra de 24 jugadoras, de las cuales 13 corresponden al grupo EXP y 11 al grupo CONT. Las características de las mismas, previo a la intervención se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Características de las participantes de los grupos CONT y

EXP pre intervención

	EXP (n = 13)	CONT (n = 11)
Edad (años)	$22,7\pm3,8$	21,3 ± 2,6
Altura (cm)	$168,5\pm7,2$	$\textbf{162,3} \pm \textbf{9,5}$
Masa (kg)	$\textbf{71,3} \pm \textbf{11,8}$	$64,4\pm10,0$

Abreviaciones: EXP = grupo experimental; CONT = grupo control.

5.1 Utilización del dispositivo POWERBreathe

De las 13 jugadoras del grupo EXP, 10 completaron las 75 sesiones de EMI planificadas sin ninguna omisión. Las tres jugadoras restantes no realizaron la totalidad de las sesiones: en dos casos la razón manifestada fue "olvido", completando 74 y 66

sesiones respectivamente; en el caso restante la deportista dejó de realizar la intervención durante la semana seis por consejo de su fisioterapeuta, al determinar "dolor en zona dorsal asociada a contractura diafragmática". Luego continuó con las sesiones durante las semanas siete y ocho sin inconvenientes, totalizando un total de 65 sesiones.

La resistencia alcanzada por las jugadoras luego de ocho semanas fue el correspondiente al nivel 4,2 en promedio (DE = 0,8), siendo el nivel 0 el mínimo y el nivel 10 el máximo posible. Esto equivale a una resistencia de $131,6 \pm 22.6$ cmH₂O. El mínimo alcanzado fue el nivel 2,75 (88,5 cmH₂O) y el máximo fue el nivel 5,25 (157 cmH₂O).

Es de destacar que las últimas dos semanas de intervención, por resolución del gobierno se prohibió la práctica de ejercicio físico en gimnasios o espacios cerrados a causa de la pandemia ocasionada por el virus COVID-19. Por esta razón, tanto las deportistas del grupo EXP como las del grupo CONT dejaron de realizar su entrenamiento físico y técnico-táctico habitual. No obstante, todas las participantes del primer grupo continuaron con el EMI como había sido previsto.

5.2 Variables fisiológicas en reposo

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en la espirometría en reposo. Previo a la intervención experimental, en la comparación entre ambos grupos se verificó una diferencia significativa en la CVF (p = 0.033) y en el PIF (p = 0.004) a favor del grupo EXP. No hubo diferencia significativa en el VEF1 entre ambos grupos (p = 0.067).

Luego del protocolo experimental, en la comparación intragrupo pre vs post intervención, no se verificaron diferencias significativas entre la primera y segunda evaluación (p > 0,05) para ninguna de las variables analizadas, en ninguno de los dos grupos. En la comparación intergrupos post intervención se verificó que en la variable PIF, la diferencia entre ambos continuaba siendo significativa a favor del grupo EXP (p = 0,005) mientras que en la variable CVF ya no se verificó diferencia significativa entre grupos.

Tabla 2

Variables de función respiratoria en los grupos CONT y EXP pre y post intervención

	CONT			EXP			
Variable	Pre	Post	TE	Pre	Post	TE	
CVF (L)	4,2 ± 0,6	4,3 ± 0,6	0,209 (<i>d</i>)	4,9 ± 0,7	4,9 ± 0,9	0,086 (<i>d</i>)	
VEF1 (L)	3.5 ± 0.4	$3,\!4\pm0,\!5$	-0,050 (<i>d</i>)	3,9 ± 0,6	$3,7\pm0,6$	-0,109 (<i>d</i>)	
PIF (L/s)	4,7 ± 1,2	4,1 ± 1,4	-0,052 (<i>d</i>)	6,6 ± 1,5	6,3 ± 1,6 [#]	-0,345 (<i>r_{rb}</i>)	

Abreviaciones: CONT = grupo control; EXP = grupo experimental; TE = tamaño del efecto; CVF = Capacidad Vital Forzada; VEF1 = Volumen Espiratorio Forzado en el 1er segundo; PIF = Pico de Flujo Inspiratorio; d = estadístico d de Cohen; r_{rb} = estadístico Rank Biserial Correlation; * = p<0.05: comparación entre pre y post intervención; # = p<0,05: comparación entre grupos EXP y CONT post intervención.

5.3. Variables fisiológicas durante el esfuerzo

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos durante la prueba de ejercicio con análisis de gases respiratorios. En ninguna de las variables analizadas se verificaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos pre intervención. En relación a la comparación intra-grupo pre vs post intervención, luego del período experimental únicamente en el caso del grupo CONT se determinó una mejora estadísticamente significativa (p < 0.05) del VO₂máx absoluto y relativo, con un tamaño del efecto grande para ambas variables ($d \ge 0.80$). Adicionalmente se determinó un incremento, aunque no significativo, en el VO₂ absoluto y relativo asociado al final del estadio 4 en ambos grupos. En lo que respecta a la PSE, hubo un incremento significativo (p < 0.05) al final del estadio 4 en el grupo EXP, con un tamaño del efecto grande ($r_{rb} > 0.70$).

Tabla 3

Variables ergoespirométricas en los grupos CONT y EXP pre vs post intervención

		CONT			EXP	
Variables	Pre	Post	TE	Pre	Post	TE
VO₂máx absoluto (L/min)	$2,2\pm0,2$	$2,2\pm0,3^{\boldsymbol{*}}$	0,864 (<i>d</i>)	$2,3\pm0,3$	2,4 ± 0,2	0,293 (<i>d</i>)
VO₂máx relativo (ml/kg.min)	$33,6\pm3,6$	34,5 ± 3,2*	0,881 (<i>d</i>)	$34,0 \pm 3,9$	$35,0\pm4,4$	0,334(<i>d</i>)
i VO₂máx (W)	$196,4\pm24,6$	$188,2 \pm 27,1^{\#}$	-1,000 (<i>r_{rb}</i>)	$212,5\pm20,1$	212,3 ± 22,8#	$0,000 (r_{rb})$
VT1 absoluto (L/min)	$1,5\pm0,2$	1,4 ± 0,3	-0,288 (<i>d</i>)	$1,6\pm0,3$	1,7 ± 0,2	0,514 (<i>r_{rb}</i>)
VT1 relativo (ml/kg.min)	$23,7\pm2,9$	21.9 ± 2.3	-0,394 (<i>d</i>)	22.8 ± 3.0	24.8 ± 4.7	0,273 (<i>r</i> _{rb})
i VT1 (W)	$102,6\pm26,4$	$94,6\pm26,0^{\#}$	-0,433 (<i>d</i>)	$117,0 \pm 27,6$	117,8 ± 16,6#	0,028 (<i>d</i>)
PSE VT1	$4,1\pm1,9$	$4,2\pm1,5$	0,070 (<i>d</i>)	$4,7\pm1,5$	$5,3\pm1,2$	0,382 (<i>d</i>)
VO ₂ absoluto 120W (L/min)	1,6 ± 0,1	$1,7\pm0,1$	0,793 (<i>d</i>)	1,6 ± 0,1	1,7 ± 0,1	0,382 (<i>d</i>)
VO ₂ relativo 120W (ml/kg.min)	24.9 ± 3.4	$25,7\pm4,4$	0,707 (<i>d</i>)	24,0 ± 2,9	$24,2\pm2,4$	0,132 (<i>d</i>)
PSE 120W	$4,1\pm1,5$	$4,2\pm1,0$	0,084 (<i>d</i>)	$4,1\pm0,7$	$4.7\pm0.9^{\star}$	1,000 (r_{rb})

Abreviaciones: CONT = grupo control; EXP = grupo experimental; TE = tamaño del efecto; i = intensidad; VT1 = consumo de O_2 en el umbral ventilatorio 1; VT2 = umbral ventilatorio 2; PSE = Percepción Subjetiva de Esfuerzo; d = estadístico d de Cohen; r_{rb} = estadístico Rank Biserial Correlation; * = p<0,05: comparación pre vs post intervención; f = f<0,05: comparación entre grupos EXP y CONT post intervención; Tamaño del efecto = comparando pre vs post intervención.

En el grupo CONT los valores de todas las demás variables analizadas descendieron en la segunda evaluación con respecto a la primera. En el grupo EXP, por el contrario, los valores de todas las variables aumentaron o mantuvieron su valor pre vs post intervención. No obstante, en ningún caso se verificaron diferencias significativas intra-

grupo entre ambas evaluaciones.

En relación a la comparación inter-grupos post-intervención, se determinó una diferencia significativa en las variables de intensidad asociada al VO₂máx (iVO₂máx) con un tamaño del efecto moderado (p = 0.028; $r_{rb} = 0.497$) e intensidad asociada al VT1 (iVT1) con un tamaño del efecto grande (p = 0.016; d de Cohen = 1.099) a favor del grupo EXP. Para las otras variables no se verificaron diferencias estadísticamente significativas post – intervención entre el grupo CONT y EXP.

5.4 Percepciones subjetivas asociadas al uso del dispositivo POWERBreathe

Con relación a eventuales efectos secundarios percibidos por las deportistas del grupo EXP durante la intervención, siete participantes refirieron algún tipo de molestia asociado al uso del dispositivo, mientras que las seis jugadoras restantes manifestaron no haber percibido ninguna molestia física asociada a su empleo. De las primeras, dos deportistas manifestaron que durante el uso de POWERBreathe "se le tapaban los oídos", algo que les sucedía fundamentalmente durante las primeras semanas, para luego remitir. Otras dos participantes refirieron dolor o contractura a nivel de la musculatura cervical, particularmente durante las últimas semanas, asociado al incremento de la carga de entrenamiento. Una de estas participantes además refirió haber sentido "un poco de mareo" asociada a dicha cervicalgia. Dos deportistas manifestaron nauseas al finalizar las 30 inspiraciones, particularmente durante las últimas semanas, con cargas más elevadas; en todos los casos las mismas fueron leves y remitieron rápidamente. Finalmente, y como fuera previamente mencionado, una deportista manifestó "dolor tipo puntada en la zona dorsal" que su fisioterapeuta vinculó a una posible "contractura diafragmática" que le obligó a suspender el EMI durante una semana.

Con respecto al esfuerzo que les demandó a las participantes de este grupo realizar la intervención durante ocho semanas, el valor promedio referido (en una escala del 0 al 10) fue de 5.7 ± 1.9 , siendo el mínimo de 2 y el máximo de 8.

Con respecto a la eventual percepción de mejora en el rendimiento asociado al EMI,

ocho de las 13 jugadoras del grupo EXP (62%) experimentaron una sensación de mejora, que ellas asumen asociada al empleo del dispositivo. Las otras cinco participantes (38%), por el contrario, no percibieron ninguna mejora de significancia asociada a la intervención. En el caso de las primeras, en la totalidad de los casos refirieron dichas mejoras en las "últimas dos o tres semanas de competencia", describiendo la percepción subjetiva utilizando las expresiones "me agitaba menos", "tenía más aire" o "pude jugar todo el partido sin ahogarme".

6. DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

Hasta donde conocemos, este es el segundo estudio donde se investigó el efecto del EMI en handball (siendo el primero Hartz et al., 2018). Asimismo, es el primer estudio en investigar el efecto de un protocolo de dicho entrenamiento en una muestra de mujeres jugadoras de handball federadas. Hartz, Ferreira y Moreno (2017) estudiaron el efecto del uso de POWERBreathe en esta población, pero formando parte de un protocolo de entrada en calor, y no como EMI propiamente dicho.

En el presente trabajo, la etapa precisa del ciclo menstrual en la que se encontraban las deportistas no fue considerada durante las evaluaciones fisiológicas. Como fuera mencionado en el apartado **4.4**, inmediatamente previo a las mismas se determinó la masa de las jugadoras siguiendo el protocolo descrito por ISAK, que indica tomar la medida fuera del período menstrual. Por esta razón, solo se puede afirmar que las deportistas no se encontraban en los primeros días de la fase folicular de su ciclo al momento de ser evaluadas. Esto podría ser considerado como una posible limitación del presente estudio. No obstante, trabajos previos no han encontrado diferencias en variables referentes a la capacidad aeróbica (Burrows y Bird, 2005; Oğul et al., 2021; Smekal et al., 2007) o a la sensación subjetiva de esfuerzo (Bonetti et al., 2021) en función de la etapa del ciclo menstrual.

Los resultados obtenidos en nuestro trabajo, sustentan únicamente en forma parcial la hipótesis planteada. Tras ocho semanas de EMI, no se verificaron ventajas significativas en lo que atañe al desarrollo de variables espirométricas en reposo, específicamente VEF₁ y PIF. Post intervención se verificó una diferencia significativa en la CVF a favor del grupo EXP; sin embargo, dicha diferencia ya se verificaba pre intervención, por lo cual no es posible concluir que el EMI haya generado un efecto beneficioso a este respecto.

En lo que atañe a las variables medidas durante la prueba de esfuerzo, únicamente se verificó una diferencia significativa a favor del grupo EXP en la potencia asociada al VO_2 máx y en la potencia asociada al umbral VT1. En el primer caso, el tamaño del efecto fue moderado (0,40 > rb < 0,60) mientras que en el segundo el tamaño del efecto fue grande (d > 0,80).

El EMI utilizado en nuestra intervención experimental estuvo enfocado al desarrollo de la fuerza de dicha musculatura. En este sentido, sería esperable que, como adaptación al mismo, se verificara una menor demanda de la musculatura inspiratoria para igual carga de ejercicio. Adicionalmente, se esperaría una reducción del esfuerzo ventilatorio, lo que concomitantemente redundaría en una reducción del porcentaje del gasto cardíaco destinado a la musculatura inspiratoria, y consecuentemente se verificaría un incremento del flujo de sangre oxigenada disponible para soportar el trabajo aeróbico de la musculatura periférica, directamente involucrada en el rendimiento deportivo (Hartz et al., 2018). Este fenómeno fisiológico podría explicar, al menos en parte, el mencionado incremento en la intensidad asociada al umbral VT1 en el grupo EXP en comparación con el grupo CONT.

Estudios recientes han verificado una relación moderada a fuerte entre el VT1 y el rendimiento deportivo en esfuerzos cíclicos (Borszcz et al., 2018). También se ha verificado dicha relación en deportes acíclicos como el fútbol (Edwards et al., 2003). Estos hallazgos podrían estar relacionados con lo reportado por Hartz et al. (2018) quienes encontraron que 12 semanas de EMI redundaron en una mejora en el rendimiento aeróbico de jugadores de handball masculinos de alto nivel.

Nicks et al. (2009) también reportaron una mejora en el rendimiento post EMI en deportes de prestación intermitente. Específicamente, en este trabajo se verificó que cinco semanas de dicho entrenamiento, derivaron en un mayor rendimiento en el test Yo-Yo de recuperación intermitente nivel 1 en jugadores de fútbol de ambos sexos, en comparación con el grupo control. No obstante, los autores mencionan que la razón de esta mejora en el rendimiento permanece elusiva, por lo que más estudios son necesarios.

Es de destacar que en nuestro trabajo no se verificaron mejoras significativas asociadas al protocolo de EMI utilizado por el grupo EXP ni en el VO₂máx absoluto ni en el relativo, así como tampoco en el VO₂ asociado al VT1. Este umbral habitualmente está representado por una zona con límites difusos, y en algunos casos no es clara su determinación. A esto se suma el hecho que el protocolo escalonado utilizado en nuestro estudio no sería el más adecuado (en comparación con un protocolo en rampa) para determinar dicho umbral (Michalik et al., 2019). La elección del mismo para el presente trabajo se debió a que presenta otras ventajas como la estabilización de parámetros fisiológicos para cada estadio determinado (Zuniga et al., 2012), así como

una eventual mayor precisión en la determinación de la PSE derivado de dicha estabilización.

Entendemos que los mencionados limitantes en la determinación del VT1, asociado al hecho de que los análisis fueron realizados a partir de una muestra relativamente pequeña de jugadoras, podrían llevar a una pérdida de exactitud en los resultados y, concomitantemente, la interpretación de los mismos podría verse afectada. Por esta razón, adicionalmente cotejamos el VO₂ absoluto y relativo y la PSE obtenidos pre y post intervención en dicho umbral, con lo verificado en un tiempo claramente delimitado durante la realización del test, igual para todas las jugadoras. Para esto, y como fuera mencionado en el apartado **4.4**, se promediaron los valores de los últimos 30 segundos del estadio 4 (correspondiente a 120W). Se tomó este estadio por estar asociado a la potencia más cercana al VT1 en el promedio de todas las jugadoras; y se consideraron los últimos 30 segundos por ser el momento en el cual se le pidió a las deportistas que indicaran su PSE.

En ambos casos (VT1 y últimos 30 segundos del estadio 4) no se verificó una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos EXP y CONT post intervención para dichas variables. Esto estaría indicando la escasa o nula utilidad del protocolo de EMI utilizado para mejorar los valores de VO₂ a niveles submáximos de esfuerzo, aunque podría en parte ser explicado por el alto nivel de entrenamiento de las jugadoras que componen nuestra muestra. En este sentido, el 42% (10 de 24) de las mismas participan o participaron recientemente de competencias internacionales de alto nivel, representando a la selección uruguaya. Es esperable, por tanto, que el nivel de adaptación de las variables fisiológicas mencionadas se encontrara cercano a su máximo potencial, siendo esto un posible impedimento para lograr mejoras significativas.

Si bien es necesario considerar la discontinuidad en el entrenamiento de ambos grupos en las dos semanas finales de intervención (lo que obligaría a tener cautela en la interpretación de estos resultados), el grupo EXP continuó realizando EMI según lo programado. Se esperaría, por tanto, observar una diferencia significativa entre grupos, en caso que el EMI hubiera resultado eficaz para el desarrollo de estas variables.

En lo que refiere a las variables espirométricas en reposo, la ausencia de diferencias

significativas en el grupo EXP pre vs post intervención verificado en nuestro trabajo, podría ser explicado también por el buen nivel de entrenamiento de las jugadoras mencionado ut supra. No obstante esto, otros estudios encontraron mejoras significativas en al menos alguna de las variables analizadas a pesar de analizar muestras de deportistas de alto nivel. Olivera et al. (2017) encontraron que cuatro semanas de uso de POWERBreathe (16 sesiones) realizadas por jugadores profesionales de basquetbol masculino redundó, entre otras adaptaciones, en un incremento significativo del PIF (p < 0,05). Es necesario mencionar, no obstante, que dicho trabajo utilizó una muestra reducida de jugadores (n = 7) y no hubo comparación con grupo control.

En otro trabajo reciente realizado en jugadores de rugby masculino de primera división, el autor reporta que el EMI durante 4 semanas, a razón de 4 sesiones semanales y utilizando el mismo dispositivo que el empleado en nuestro estudio, redundó en una mejora significativa de la capacidad pulmonar de dichos jugadores. En forma específica, se verificó una mejora estadísticamente significativa (p < 0.05) de las variables VEF₁, CVF, PFE e índice de *Tiffeneau* (VEF₁/CVF) luego de la intervención, únicamente en el grupo experimental (Albert, 2020).

En los dos estudios mencionados más arriba, la muestra, si bien involucró (al igual que nuestro trabajo) deportistas de alto nivel de rendimiento, estuvo compuesta en su totalidad por sujetos del sexo masculino, en contraposición con el presente estudio, cuya muestra estuvo compuesta exclusivamente por sujetos del sexo femenino. Hasta donde conocemos, no hay investigaciones que hayan analizado las diferencias entre deportistas del sexo masculino versus femenino en lo que refiere a la capacidad potencial para mejorar parámetros ventilatorios post EMI. Entendemos por tanto que ésta sería un área de estudio relevante.

Con respecto a la PSE, se verificó un incremento de la misma en ambos grupos, tanto asociado al VT1 como la mencionada por las deportistas al final del estadio 4. No obstante, no se verificaron diferencias significativas entre ambos grupos post intervención. Contrariamente a lo que cabría esperar, el EMI no derivó en un descenso de la PSE a determinadas intensidades submáximas en el grupo EXP. Es de destacar que de todas las deportistas estudiadas, únicamente una participante tenía (escasa) experiencia previa en el uso de la escala de Borg, mientras que el resto de las

jugadoras manifestó nunca antes haberla usado. Dada la naturaleza subjetiva de esta herramienta y la necesidad de experiencia previa en su uso, consideramos que estos resultados deben ser tomados con precaución.

Con respecto a las demás variables analizadas durante la prueba de esfuerzo, con excepción de la intensidad asociada al VT1 mencionado previamente, no se verificó ningún cambio significativo post intervención entre los grupos EXP y CONT. Esto podría llevar a concluir que ocho semanas de EMI utilizando el dispositivo POWERBreathe en concordancia con las indicaciones de los fabricantes, no sería efectivo para lograr mejoras significativas en estas variables asociadas al rendimiento aeróbico.

Sin embargo, el análisis de los resultados muestra que, en el grupo CONT, hay una tendencia (aunque no estadísticamente significativa) a una reducción de los valores asociados al VT1 y al VO₂máx. Como fuera mencionado, dos semanas previo a la finalización de la intervención las deportistas de ambos grupos se vieron forzadas a una disminución brusca de su entrenamiento, debido a las medidas sanitarias impuestas por el gobierno a causa de la pandemia ocasionada por el COVID – 19. Este eventual descenso en el rendimiento podría ser un reflejo de dicha situación.

Vale destacar que el estudio fue realizado en el período competitivo, por lo que es probable que las deportistas hubieran presentado mejor forma física al momento de la primera evaluación que de la segunda. En el caso de las participantes del grupo EXP, los resultados indican una tendencia a mantener los valores previos a la reducción de la actividad de entrenamiento, los cuales se mantuvieron similares a lo encontrado pre – intervención. Si bien estos resultados deben ser interpretados con cautela, el EMI en las condiciones reportadas en este estudio podría haber tenido injerencia en evitar la pérdida de las adaptaciones fisiológicas asociadas a la forma deportiva luego del período competitivo en el grupo EXP.

Adicionalmente, en lo que respecta a los aspectos subjetivos del uso de POWERBreathe, verificamos una gran variabilidad tanto en el esfuerzo que demandó su empleo como en los eventuales beneficios percibidos por las participantes luego de su uso. Con respecto a lo primero, se determinó que en promedio, las deportistas percibieron el esfuerzo que demandó su empleo como moderado (5,7 en un máximo de 10); si bien en un caso una participante indicó que utilizarlo le implicó un esfuerzo alto (8 en 10) ninguna de ellas mencionó que no lo volvería a utilizar en un futuro.

En lo que atañe a la percepción subjetiva de mejora en el rendimiento derivado del uso del dispositivo, un porcentaje no despreciable de las participantes (8 de 13 o 62%) mencionó una percepción de mejora en la capacidad aeróbica asociada al EMI. Esto podría deberse a un efecto placebo (Bérdi, Köteles, Szabó, y Bárdos, 2011), o bien a otras variables asociadas al rendimiento no abordadas en nuestro estudio. En cualquier caso, la mayoría de las deportistas mencionó que dicha mejora fue percibida en las últimas 2 o 3 semanas de competencia, es decir luego de tres o cuatro semanas de intervención (dado que a partir de la 6ª semana el campeonato y concomitantemente el entrenamiento en los clubes involucrados se vio interrumpido). Es de mencionar que el manual del producto indica que los beneficios del EMI son percibidos por el usuario aproximadamente a las cuatro semanas de entrenamiento, algo que estaría en concordancia con lo encontrado por nosotros en este trabajo.

Estos datos sugieren que, de verificarse en futuros estudios un beneficio adicional al rendimiento derivado del EMI en handball o similares deportes de prestación intermitente, su uso por parte de los y las deportistas es viable en términos de demanda de tiempo y esfuerzo. También sugieren que son necesarias al menos tres o cuatro semanas en un programa de EMI para que el o la deportista perciba los eventuales beneficios de su uso, algo de lo que es necesario informar a los sujetos involucrados para, de esa forma, evitar la pérdida de motivación y mejorar la adherencia.

Entendemos que los datos obtenidos en el presente estudio representan un aporte novedoso al determinar los efectos fisiológicos del uso del dispositivo POWERBreathe plus en el handball femenino. Creemos asimismo deseable la realización de más estudios en esta población que implementen análisis complementarios a los realizados en este trabajo, incluyendo la medición pre y post intervención de lactato sanguíneo y subsecuente determinación del umbral de lactato y OBLA (*Onset of Blood Lactate Accumulation*).

Las posibilidades de equipamiento con la que contaban los autores de este estudio al momento de su realización, determinaron el uso de cicloergómetro para la evaluación en pruebas de esfuerzo. Sin embargo, considerando las características de este deporte (particularmente en relación al uso del trote y la carrera para los desplazamientos), sugerimos para trabajos similares futuros el testeo en cinta ergométrica. Además, consideramos pertinente la realización de estudios similares en poblaciones practicantes de otros deportes, como

el boxeo; en éste, el uso del EMI ha sido poco estudiado a pesar de sus posibles beneficios para la mejora del rendimiento, dadas las características propias de este deporte.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor del presente trabajo declara no tener conflicto de intereses.

FINANCIACIÓN

El presente proyecto recibió apoyo económico en el marco del programa Iniciación a la Investigación 2019, Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC), ID 145.

REFERENCIAS

- Aaron, E., Johnson, B., Seow, C., & Dempsey, J. (1992). Oxygen cost of exercise hyperpnea: measurement. *Journal of Applied Physiology*, 72, 1810–1817.
- Akkbas, S.R., Bazzy, A.R., Dimauro, S., & Haddad, G.G. (1989). Metabolic and Functional adaptation of the diaphragm to training and resistive loads. *Journal of Applied Physiology*; 66 (2): 529-535
- Albert, D. (2020). Efeitos do treino muscular inspiratório na função pulmonar de jogadores de rugby: estudo randomizado controlado [Universidade Fernando Pessoa]. http://hdl.handle.net/10284/9129
- 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
- Archiza, B., Andaku, D. K., Caruso, F. C. R., Bonjorno, J. C., Oliveira, C. R. de, Ricci, P. A., Amaral, A. C. do, Mattiello, S. M., Libardi, C. A., Phillips, S. A., Arena, R., & Borghi-Silva, A. (2017). Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: a randomized sham-controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 36(7), 771–780.
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, *121*(6), 2020–2027.
- Bentley, D. J., Newell, J., & Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis: Implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Medicine*, *37*(7), 575–586.
- Bérdi, M., Köteles, F., Szabó, A., & Bárdos, G. (2011). Placebo effects in sport and exercise: a meta-analysis. *European Journal of Mental Health*, *6*(2), 196.
- Billat, L. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Sports Medicine, 31(1), 13–31.
- Bonetti de Poli, R. A., Fialho Lopes, V. H., Santos Lira, F., Moura Zagatto, A., Jimenez-Maldonado, A., & Moura Antunes, B. (2021). Peripheral BDNF and

- psycho-behavioral aspects are positively modulated by high-intensity intermittent exercise and fitness in healthy women. Scientific reports, 11(1), 1-9.
- Borszcz, F. K., Tramontin, A. F., de Souza, K. M., Carminatti, L. J., & Costa, V. P. (2018). Physiological Correlations With Short, Medium, and Long Cycling Time-Trial Performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(1), 120–125.
- Burrows, M., & Bird, S. R. (2005). Velocity at VO₂ max and peak treadmill velocity are not influenced within or across the phases of the menstrual cycle. *European journal of applied physiology*, 93(5), 575-580.
- Camacho-Cardenosa, A., Camacho-Cardenosa, M., González-Custodio, A., Martínez-Guardado, I., Timón, R., Olcina, G., & Brazo-Sayavera, J. (2018). Anthropometric and Physical Performance of Youth Handball Players: The Role of the Relative Age. *Sports*, 6(2), 47.
- Caycho, T., Ventura-León, J., & Castillo-Blanco, R. (2016). Magnitud del efecto para la diferencia de dos grupos en ciencias de la salud. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 39(3), 459–461.
- Chaouachi, A., Brughelli, M., Levin, G., Boudhina, N. B. B., Cronin, J., & Chamari, K. (2009). Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *Journal of sports sciences*, *27*(2), 151-157.
- Cohen, J. (1992). A power primer. Psychol. Bull. 112, 155-159.
- Croitoru, A., & Bogdan, M. (2013). Respiratory muscle training in pulmonary rehabilitation. *Pneumología*, 62, 166–171.
- Dancey, C., & Reidy, J. (2006). Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Artmed.
- Domínguez, R., Garnacho-castaño, M. V, & Maté-muñoz, J. L. (2015). Metodología de determinación de la transición aeróbica-anaeróbica en la evaluación funcional. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 32(6), 395–401.
- Domínguez, R., Maté-Muñoz, J. L., Serra-Paya, N., & Garnacho-Castaño, M. V. (2018). Lactate Threshold as a Measure of Aerobic Metabolism in Resistance Exercise. *International Journal of Sports Medicine*, *39*(3), 163–172.
- Edwards, A., Clark, N., & Macfadyen, A. (2003). Lactate and Ventilatory Treshold reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2, 23–29.

- Edwards, A., & Cooke, C. (2004). Oxygen uptake kinetics and maximal aerobic power are unaffected by inspiratory muscle training in healthy subjects where time to exhaustion is extended. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 139–144.
- Elkins, M., & Dentice, R. (2015). Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in the intensive care unit: A systematic review. *Journal of Physiotherapy*, *61*(3), 125–134.
- Espinoza-Salinas, A., Zafra-Santos, E., Sabattini-Herrera, C., Sanchezmolina, J., Bobadilla-Olivares, M., & Arenas-Sánchez, G. (2020). Oxygen uptake kinetics in federated athletes. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de La Actividad Fisica y Del Deporte*, 20(80), 513–527.
- Gibson, G. J., Whitelaw, W., Siafakas, N., Supinski, G. S., Fitting, J. W., Bellemare, F., Loring, S. H., Troyer, A. De, & Grassino, A. E. (2002). ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(4), 518–624.
- Goldman, M. D., Grimby, G., & Mead, J. (1976). Mechanical work of breathing derived from rib cage and abdominal V-P partitioning. *Journal of Applied Physiology*, *41*(5 (I)), 752–763.
- González, J., Pardal, C., Santos, J., Muñoz, A., Sepúlveda, J., & Gómez, R. (2012). Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, *5*(4), 163–170.
- Goss-Sampson, M. A. (2019). *Análisis estadístico con JASP. Una guía para estudiantes*. FUOC.
- Granados, C., Izquierdo, M., Ibanez, J., Bonnabau, H., & Gorostiaga, E. M. (2007). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur female handball players. *International journal of sports medicine*, *28*(10), 860-867.
- 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.
- Harms, C. A., Wetter, T. J., McClaran, S. R., Pegelow, D. F., Nickele, G. A., Nelson,

- W. B., Hanson, P., & Dempsey, J. A. (1998). Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, *85*(2), 609–618.
- Harms, C. A., Wetter, T. J., St. Croix, C. M., Pegelow, D. F., & Dempsey, J. A. (2000). Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 89(1), 131–138.
- Hartz, C., Ferreira, C., & Moreno, M. (2017). Effects of the Application of an Inspiratory Muscular Warm-Up Protocol in the Physical Performance of Handball Athletes. *Journal of Exercise Physiology*, *20*(5), 90–97.
- Hartz, C. S., Sindorf, M. A. G., Lopes, C. R., Batista, J., & Moreno, M. A. (2018). Effect of Inspiratory Muscle Training on Performance of Handball Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 63(1), 43–51.
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R., & Hoflmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l Lactate Treshold. *International Journal of Sports Medicine*, *6*, 117–130.
- Ilic, V., Ranisavljev, I., Stefanovic, D., Ivanovic, V., & Mrdakovic, V. (2015). Impact of body composition and Vo2 max on the competitive success in top-level handball players. *Collegium antropologicum*, 39(3), 535-540.
- Inbar, O., Weiner, P., Azgad, Y., Rotstein, A., & Weinstein, Y. (2000). Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *32*(7), 1233-1237.
- International Handball Federation (2016). IX Rules of the Game. https://www.ihf.info/sites/default/files/2019-07/New-rules%20of%20the%20Game GB.pdf
- Jackson, A. S., Sui, X., Hébert, J. R., Church, T. S., & Blair, S. N. (2009). Role of lifestyle and aging on the longitudinal change in cardiorespiratory fitness. *Archives of Internal Medicine*, *169*(19), 1781–1787.
- Janssens, L., Brumagne, S., McConnell, A. K., Raymaekers, J., Goossens, N., Gayan-Ramirez, G., Hermans, G., & Troosters, T. (2013). The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: A systematic review. *Respiratory Medicine*, 107(3), 331–346.

- Jurić, I., Labor, S., Plavec, D., & Labor, M. (2019). Inspiratory muscle strength affects anaerobic endurance in professional athletes. *Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 70(1), 42–48.
- 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.
- Kilpatrick, M., Newsome, A., Foster, C., Robertson, R., & Green, M. (2020). Scientific Rationale for RPE Use in Fitness Assessment and Exercise Participation. *ACSM's Health and Fitness Journal*, *24*(4), 24–30.
- Lanferdini, F. J., Silva, E. S., Machado, E., Fischer, G., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2020). Physiological Predictors of Maximal Incremental Running Performance. *Frontiers in Physiology*, *11*(August), 1–7.
- Leith, D. E., & Bradley, M. (1976). Ventilatory muscle strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 41(4), 508–516.
- Lomax, M., Tasker, L., & Bostanci, O. (2014). An electromyographic evaluation of dual role breathing and upper body muscles in response to front crawl swimming. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *44*(6), 797–814.
- López Chicharro, J., & Vicente Campos, D. (2017). *Umbral Láctico*. Editorial Médica Panamericana.
- López Chicharro, J., Vicente, D., & Cancino, J. (2015). Fisiologia del entrenamiento aeróbico (1st ed.). Editorial Médica Panamericana.
- McConnell, A. (2013). Respiratory muscle training: Theory and practice (1st ed.). Churchill Livingstone.
- McConnell, A. K., & Lomax, M. (2006). The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *Journal of Physiology*, *577*(1), 445–457.
- McConnell, A. K., & Romer, L. M. (2004). Dyspnoea in Health and Obstructive Pulmonary Disease: The Role of Respiratory Muscle Function and Training. *Sports Medicine*, *34*(2), 117–132.
- McKenzie, D. C. (2012). Respiratory physiology: adaptations to high-level exercise.

- British Journal of Sports Medicine, 46(6), 381–384.
- McKenzie, D. K., Butler, J. E., & Gandevia, S. C. (2009). Respiratory muscle function and activation in chronic obstructive pulmonary disease. *Journal of Applied Physiology*, 107(2), 621–629.
- McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett Jr, D. R., Thompson, D. L., & Fitzhugh, E.
 C. (2010). A Test of the Classic Model for Predicting Endurance Running
 Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 991–997.
- Menzes, K., Nascimento, L., Avelino, P., Polese, J., & Salmela, L. (2018). A Review on Respiratory Muscle Training Devices. *Journal of Pulmonary & Respiratory Medicine*, 08(02).
- Meyer, T., Georg, T., Becker, C., & Kindermann, W. (2001). Reliability of gas exchange measurements from two different spiroergometry systems. *International Journal of Sports Medicine*, 22(8), 593–597.
- Michalik, K., Danek, N., & Zantón, M. (2019). Assessment of the physical fitness of road cyclists in the step and ramp protocols of the incremental test. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *59*(8), 1285–1291.
- Michalsik, L. B., Aagaard, P., & Madsen, K. (2013). Locomotion characteristics and match-induced impairments in physical performance in male elite team handball players. *International journal of sports medicine*, *34*(07), 590-599.
- Michalsik, L. B., Madsen, K., & Aagaard, P. (2015). Physiological capacity and physical testing in male elite team handball. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *55*(5), 415-29.
- Mickleborough, T. D., Nichols, T., Lindley, M. R., Chatham, K., & Ionescu, A. A. (2010). Inspiratory flow resistive loading improves respiratory muscle function and endurance capacity in recreational runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(3), 458-468.
- Nicks, C. R., Morgan, D. W., Fuller, D. K., & Caputo, J. L. (2009). The influence of respiratory muscle training upon intermittent exercise performance. *International Journal of Sports Medicine*, *30*(1), 16–21.
- Oğul, A., Ercan, S., Ergan, M., Parpucu, T. İ., & Çetin, C. (2021). The effect of menstrual cycle phase on multiple performance test parameters. *Spor Hekimligi Dergisi/Turkish Journal of Sports Medicine*, *56*(4).

- Olivera, A., Lima, M. de, Guarda, G., Proner, J., & Kroth, A. (2017). A efetividade do treinamento muscular respiratório com POWERBreathe em atletas de basquete.

 Fisioterapia Em Ação Anais Eletrônicos. https://unoesc.emnuvens.com.br/fisioterapiaemacao/article/view/13262
- Pawar, P., Kolekar, A., & Yeole, U. (2018). Effect of inspiratory muscle training on cardiovascular endurance in lawn tennis players. *International Journal of Current Research*, *10*(2), 1–3.
- Ploszczyca, K., Jazic, D., Piotrowicz, Z., Chalimoniuk, M., Langfort, J., & Czuba, M. (2020). Comparison of maximal lactate steady state with anaerobic threshold determined by various methods based on graded exercise test with 3-minute stages in elite cyclists. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *12*(1), 1–9.
- Póvoas, S. C., Ascensão, A. A., Magalhães, J., Seabra, A. F., Krustrup, P., Soares, J. M., & Rebelo, A. N. (2014). Physiological demands of elite team handball with special reference to playing position. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 430-442.
- Romer, L. M., Lovering, A. T., Haverkamp, H. C., Pegelow, D. F., & Dempsey, J. A. (2006). Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *Journal of Physiology*, *571*(2), 425–439.
- Romer, L. M., Miller, J. D., Haverkamp, H. C., Pegelow, D. F., & Dempsey, J. A. (2007). Inspiratory muscles do not limit maximal incremental exercise performance in healthy subjects. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 156(3), 353–361.
- Ronglan, L. T., Raastad, T., & Børgesen, A. (2006). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female handball players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *16*(4), 267-273.
- Rozek-Piechura, K., Kurzaj, M., Okrzymowska, P., Kucharski, W., Stodółka, J., & Maćkała, K. (2020). Influence of Inspiratory Muscle Training of Various Intensities on the Physical Performance of Long-Distance Runners. *Journal of Human Kinetics*, 75(1), 127–137.
- Sheel, A. W., Derchak, P. A., Morgan, B. J., Pegelow, D. F., Jacques, A. J., & Dempsey, J. A. (2001). Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex

- reduction in resting leg blood flow in humans. *Journal of Physiology*, 537(1), 277–289.
- Sirvent, J., & Alvero, J. (2017). *La cineantropometría y sus aplicaciones*. Univiersitat d'Alicant.
- Skinner, J. S., & McIellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research quarterly for exercise and sport*, *51*(1), 234-248.
- Smith, J. R., Alexander, A. M., Hammer, S. M., Didier, K. D., Kurti, S. P., Broxterman, R. M., Barstow, T. J., & Harms, C. A. (2017). Cardiovascular consequences of the inspiratory muscle metaboreflex: Effects of age and sex. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, 312(5), H1013–H1020.
- Tosun, G., Koç, H., & Özen, G. (2017). THE RELATIONSHIP BETWEEN AEROBIC CAPACITY AND MATCH PERFORMANCE IN TEAM HANDBALL.

 Kinesiología Slovenica, 23(3), 5-11.
- Turner, L. A., Tecklenburg-Lund, S. L., Chapman, R. F., Stager, J. M., Wilhite, D. P., & Mickleborough, T. D. (2012). Inspiratory muscle training lowers the oxygen cost of voluntary hyperpnea. *Journal of Applied Physiology*, 112(1), 127–134.
- Tzvetkov, S., Bonov, P., & Dasheva, D. (2008). Problems in determination of the ventilatory threshold based on the respiratory exchange ratio in high-level athletes. *Facta Universitatis-Series: Physical Education and Sport*, *6*(2), 115–123.
- Viana, B., Gómez, J., Centeno, R., Beas, J., Melero, C., & Da Silva, M. (2009).
 Comparación del VO2máx y del tiempo hasta el agotamiento en dos modalidades de ejercicio en triatletas. Revista Andaluza de Medicina Del Deporte, 2(1), 7–11.
- Volianitis, S., McConnell, A. K., Koutedakis, Y., McNaughton, L., Backx, K., & Jones,
 D. A. (2001). Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Medicine* and Science in Sports and Exercise, 33(5), 803–809.
- Wagner, H., Finkenzeller, T., Würth, S., & Von Duvillard, S. P. (2014). Individual and team performance in team-handball: A review. *Journal of sports science & medicine*, *13*(4), 808.
- Wasserman, K., Whipp, B. J., & Casaburi, R. (1994). Control Respiratorio durante el

- Ejercicio. PubliCE Standard, 1-33.
- Wells, G. D., & Norris, S. R. (2009). Assessment of physiological capacities of elite athletes & respiratory limitations to exercise performance. *Paediatric Respiratory Reviews*, 10(3), 91–98.
- Williams, J. S., Wongsathikun, J., Boon, S. M., & Acevedo, E. O. (2002). Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(7), 1194–1198.
- Ziv, G. A. L., & Lidor, R. (2009). Physical characteristics, physiological attributes, and on-court performances of handball players: A review. *European Journal of Sport Science*, *9*(6), 375-386.
- Zuniga, J. M., Housh, T. J., Camic, C. L., Bergstrom, H. C., Traylor, D. A., Schmidt, R. J., & Johnson, G. O. (2012). Metabolic parameters for ramp versus step incremental cycle ergometer tests. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 37(6), 1110–1117.

ANEXOS

Anexo 1. – Hoja de Consentimiento Informado entregada a las deportistas previo a la realización del estudio

HOJA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Por propia voluntad, estoy de acuerdo en participar del proyecto de investigación titulado "EFECTO DE UN PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO DE LA MUSCULATURA INSPIRATORIA SOBRE LA CAPACIDAD Y POTENCIA AERÓBICA DE JUGADORAS ADULTAS DE HANDBALL".

Estoy informada que el estudio implica la realización, en dos oportunidades, de un test de campo (yo-yo test de recuperación intermitente) y un test en bicicleta ergométrica hasta el agotamiento, que requiere la utilización de una máscara para el análisis de gases respiratorios.

Sé que puedo interrumpir el test en cualquier momento por mi propio deseo, y estoy consciente que todo esfuerzo máximo posee ciertos riesgos, los cuales me fueron explicados.

Asimismo, en caso que sea seleccionada aleatoriamente para formar parte del grupo experimental, deberé durante un plazo de 8 semanas realizar 30 inspiraciones contra resistencia, dos veces al día, 5 días por semana, utilizando un dispositivo fabricado para tal propósito.

Se me ha explicado que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria podría mejorar la capacidad aeróbica (y consecuentemente el rendimiento) de los y las deportistas, siendo esto lo que se pretende determinar en el presente estudio. Adicionalmente, se me entregará un informe con los resultados de los test, información que eventualmente podrá ser utilizada para ajustar la planificación de mis entrenamientos.

Los datos provenientes del estudio, resguardando mi identificación, podrán ser utilizados para finalidades estadísticas o científicas.

Leí y entendí la hoja de información, y todas mis dudas y preguntas me fueron respondidas satisfactoriamente.

En forma voluntaria y libre, doy mi consentimiento para participar en este estudio.

Firma y aclaración de la participante investigador

Firma y aclaración del

Lugar y fecha de firma del documento

Anexo 2. Cuestionario preparticipativo PAR – Q & YOU (revisado 2002), completado por las deportistas previo al comienzo del estudio experimental. Obtenido de: http://helmutrujilloedufisico.blogspot.com/2015/01/formato-par-q.html

l a activ	sidad fisi	ica n	PAR-Q 8 (Un Cuestionario para Personas egular es saludable y sana, y más personas cada día están con	de 15	a 69 años)		
			nas. Sin embargo, algunos individuos deben consultar a un r				
más ab prograi	ajo. Si u ma de ej	sted jercio	ando participar en programas de ejercicio o de actividad físic tiene entre 15 y 69 años de edad, el cuestionario PAR-Q le inc io o actividad física. Si usted tiene más de 69 años de edad, y	licará si r no está	necesita consultar a su médico antes de iniciar un acostumbrado a estar activo, consulte a su médico.		
			la principal guía para contestar estas preguntas. Favor de lec que SI o NO.	er las pre	guntas con cuidado y responder cada una		
sí	NO						
		1.	¿Alguna vez su médico le ha indicado que uste solamente puede llevar a cabo ejercicios o activ				
		2.	¿Sufre de dolores frecuentes en el pecho cuando realiza algún tipo de actividad física?				
		3.	¿En el último mes, le ha dolido el pecho cuando	¿En el último mes, le ha dolido el pecho cuando no estaba haciendo actividad física?			
		4.	¿Con frecuencia pierde el equilibrio debido a n	nareos	, o alguna vez ha perdido el conocimiento		
		5.	¿Tiene problemas en los huesos o articulaciones (por ejemplo, en la espalda, rodillas o cadera) que pudiera agravarse al aumentar la actividad física?				
		6.	¿Al presente, le receta su medico medicamentos (por ejemplo, pastillas de agua) para la presión arterial o problemas con el corazón?				
		7.	¿Existe alguna otra razón por la cual no deber	ia parti	cipar en un programa de actividad física?		
Si ust		-6-	SI a una o más pregunta Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empe, su aptitud física. Digale a su médico que realizó este cuestionari Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a las que sea mas segur desea participar y siga su conejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguro	zar a esta o y las pre desee, sie a para us	eguntas que usted respondió que SI. mpre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que		
ust	ntes	_	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empe su aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a las que sea mas segur desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguro	zar a esta o y las pre desee, sie a para us	eguntas que usted respondió que SI. mpre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue- ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que ciosos para usted.		
ust coi	nte:	da	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empe, su aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria. Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a los que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros preguntas:	zar a esta o y las pre desee, sie a para us	reguntas que usted respondió que SI. mpre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue- ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que ciosos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: 3 Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad		
COI No Si uste	to to discontest	da 6 NO	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empesu aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a las que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros preguntas: honestamente a todas las preguntas, entonces puede estar aro que puede:	zar a esta o y las pre desee, sie a para us	pguntas que usted respondió que SI. mpre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que closos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporera, tal como un resfriado o fiebre, entonces lo sugerido es esperar hosta que se recupere por completo;		
No Si uste razone	to de contestablement menzar a	ó NO e seg	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empesu aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria. Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a las que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros preguntas: honestamente a todas las preguntas, entonces puede estar	zar a esta o y las pre desee, sie a para us	reguntas que usted respondió que SI. mpre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que closos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporera, tal como un resfriado o fiebre, entonces lo		
No. Si uste razone Cor gra For par	tod d contesta ablement menzar a dualmen mategia de presión ari	ó NO e seg ser m ite. Es e de ninar e vivinteria.	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empe, su aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria. Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a las que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros. S preguntas: honestamente a todas las preguntas, entonces puede estar uro que puede: dis activo físicamente, pero con un enfoque lento y que se progrese	por a esta o y las pre desee, siera para usi s y benefici	pguntas que usted respondió que SI. mpre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue- ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que ciosos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporera, tal como un resfriado o fiebre, entonces lo sugerido es esperar hasta que se recupere por completo; Si usted está o puede estar embarazada, hable con su		
NG Si uste razona Cor gra For par estr la p mé	d contestablement menzar a idualment mar partra determinategia de oresión ari dico ante	ó NO e seg ser m te. Es e de ninar e vivi teria. es de s	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empesu aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria. Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a los que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros. Spreguntas: Innestamente a todas las preguntas, entonces puede estar arro que puede: Las activo físicamente, pero con un enfoque lento y que se progrese ta es la manera más segura y fácil. La manera más segura y fácil. La quel acción de la aptitud física; esta es una manera excelente u aptitud física de base, lo cual le ayuda a planificar la mejor activamente. También, es muy recomendable que usted se evalúe 5 is u lectura se encuentra sobre 144/94, entonces, habbe con su	POR cualinform	promote que usted respondió que SI. Impre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que ciosos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporera, tal como un resfriado o fiebre, entonces lo sugerido es esperar hosta que se recupere por completo; Si usted está o puede estar embarazada, hable con su médico antes de comenzar a estar fisicamente más actividad el las preguntas, es importante que esta situación se le tea su médico o entrenador personal. Pregunte si debe car su plan de ejercicio o actividad física.		
NG Si uste razona Cor gra For par estr la p mé	d contest ablement menzar a dualmen mar part a determ rategia de oresión ari dico ante	6 NO e seg ser m tte. Es e de e vivir tteria. s de s e desaliza	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empesu aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria. Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a las que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros. Spreguntas: honestamente a todas las preguntas, entonces puede estar uro que puede: dis activo físicamente, pero con un enfoque lento y que se progrese to es la manera más segura y fácil. una evaluación de la aptitud física; esta es una manera excelente un aptitud física de base, lo cual le ayuda a planificar la mejor activamente. También, es muy recomendable que usted se evalúe Si su lectura se encuentra sobre 144/94, entonces, hable con su er más activo físicamente.	POR cualquinform modific	presentas que usted respondió que SI. mpre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que ciosos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporera, tal como un resfriado o fiebre, entonces lo sugerido es esperar hasta que se recupere por completo; Si usted está o puede estar embarazada, hable con su médico antes de comenzar a estar fisicamente más actividad el las preguntas, es importante que esta situación se le se a su médico o entrenador personal. Pregunte si debe icar su plan de ejercicio o actividad física. Intes, no asumen ninguna responsabilidad legal para le ste cuestionario, consulte primero a su médico.		
Si uste razono Con Grado Con Grado Con Grado Con Grado Con Grado Con Grado Con Con Con Con Con Con Con Con Con Co	d contests ablement menzar a dualmen mar part a determa dico ante formad as que re No s a Si se re a a prue "Yo he l	ó NO e seg ser n tte. Es se de ninar e vivi tteria. s de s de	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empesu aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria. Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a los que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros se preguntas: Spreguntas: honestamente a todas las preguntas, entonces puede estar arro que puede: da activo físicamente, pero con un enfoque lento y que se progrese ta es la manera más segura y fácil. una evaluación de la aptitud física; esta es una manera excelente u aptitud física de base, lo cual le ayuda a planificar la mejor activamente. También, es muy recomendable que usted se evalúe si su lectura se encuentra sobre 144/94, entonces, hable con su er más activo físicamente. PAR-Q: La Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio, y ne ejercicio o actividad física; en caso de duda después, de con	POR cualquistoring y sus age appletar e únicam apositios y sus age appletar e únicam apositio y sus ages agos a construir a cons	per y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que ciosos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporera, tal como un resfriado o fiebre, entonces lo sugerido e esperar hasta que se recupere por completo; Si usted está o puede estar embarazada, hable con su médico antes de comenzar a estar fisicamente más actividad el las preguntas, es importante que esta situación se le tea su médico o entrenador personal. Pregunte si debe car su plan de ejercicio o actividad física. Intes, no asumen ninguna responsabilidad legal para le situación se le veca su medico o consulte primero a su médico. Intes, no asumen ninguna responsabilidad legal para le situación se cuestionario, consulte primero a su médico. Intente si se emplea todo el formulario. En un programa de ejercicio/actividad física, o se administrativos o legales:		
Si uste razona e con	d contests ablements menzar a determant a determant a determant a determant a determant a so que re No s Si se re a a prue "Yo he l re:	ó NO e seg ser n tte. Es se de ninar e vivi tteria. s de s de	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empesu aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria. Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a las que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros se preguntas. In preguntas: honestamente a todas las preguntas, entonces puede estar uro que puede: dis activo físicamente, pero con un enfoque lento y que se progrese to es la manera más segura y fácil. una evaluación de la aptitud física; esta es una manera excelente su aptitud física de base, lo cual le ayuda a planificar la mejor activamente. También, es muy recomendable que usted se evalúe si su lectura se encuentro sobre 144/94, entonces, hable con su er más activo físicamente. PAR-O: La Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio, y en ejercicio o actividad física; en caso de duda después, de con ermiten cambios. Se puede fotocopiar el PAR-Q, ere administrar el PAR-Q antes que el participante se in de aptitud física, esta sección se puede utilizar para prode	POR cualquisor y sus age appletar e tinicam age appropriation of the composition of the composition of the cualquisor modificam age appletar e tinicam age age appletar e tinicam age	per y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que ciosos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporera, tal como un resfriado o fiebre, entonces lo sugerido e esperar hasta que se recupere por completo; Si usted está o puede estar embarazada, hable con su médico antes de comenzar a estar fisicamente más actividad el las preguntas, es importante que esta situación se le tea su médico o entrenador personal. Pregunte si debe car su plan de ejercicio o actividad física. Intes, no asumen ninguna responsabilidad legal para le situación se le veca su medico o consulte primero a su médico. Intes, no asumen ninguna responsabilidad legal para le situación se cuestionario, consulte primero a su médico. Intente si se emplea todo el formulario. En un programa de ejercicio/actividad física, o se administrativos o legales:		
NG Si uste razono Cor gra gra estre la persona Mota a someta Nomba Firma:	tod d contests ablement menzar a didualment mar partia determinate gia di contesti di cont	6 NO e seg ser n tte. Es e de ninar e vivin teria. e pe equi epaiz	Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empesu aptitud física. Dígale a su médico que realizó este cuestionaria Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que que tenga que restringir su actividad a las que sea mas segura desea participar y siga su consejo. Busque programas en lugares especializados que sean seguros se preguntas: honestamente a todas las preguntas, entonces puede estar ura que puede: dis activo físicamente, pero con un enfoque lento y que se progrese ta es la manera más segura y fácil. una evaluación de la aptitud física; esta es una manera excelente su aptitud física de base, lo cual le ayuda a planificar la mejor activamente. También, es muy recomendable que usted se evalúe sí su lectura se encuentra sobre 144/94, entonces, hable con su er más activo físicamente. PAR-Q: La Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio, sin ejercicio o actividad física; en caso de duda después, de con ermiten cambios. Se puede fotocopiar el PAR-Q, ere administrar el PAR-Q antes que el participante se in de aptitud física, esta sección se puede utilizar para pro entendido y completado el cuestionario. Todas las pro	POR cualquisor y sus age appletar e tinicam age appropriation of the composition of the composition of the cualquisor modificam age appletar e tinicam age age appletar e tinicam age	psyntax que usted respondió que SI. mpre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, pue ted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que tidosos para usted. DEMORE EL INICIO DE SER MÁS ACTIVO: Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporera, tal como un resfriado o fiebre, entonces lo sugerido es esperar hosta que se recupere por completo; Si usted está o puede estar embarazada, hable con su médico antes de comenzar a estar fisicamente más activ FAVOR: Si un cambio en su salud lo obliga a responder S aiera de las preguntas, es importante que esta situación se le se a su médico o entrenador personal. Pregunte si debe icar su plan de ejercicio o actividad física. Intes, no asumen ninguna responsabilidad legal para le ste cuestionario, consulte primero a su médico. Intente si se emplea todo el formulario. e a un programa de ejercicio/actividad física, o se administrativos o legales: fueron respondidas a mi entera satisfacción."		

Anexo 3. – Escala de Percepción Subjetiva de Esfuerzo (PSE) de Borg, presentada a las deportistas durante la pureba de esfuerzo progresivo. Obtenido de: https://www.entrenadorwellness.com/podcast/76-flexiones-de-brazos-mujeres/

Escala d	e esfuerzo de Borg 💝
0	Reposo total
1	Muy suave
2	Suave
3	Esfuerzo moderado
4	
5	Duro
6	Duro
7	
8	Muy duro
9	
10	Esfuerzo máximo