

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**

**PROGRAMA DE DOCTORADO SALUD, DISCAPACIDAD,  
DEPENDENCIA Y BIENESTAR**



**universidad  
de león**

**TESIS DOCTORAL**

**ESTRATEGIAS ERGOGÉNICAS PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA SALUD EN  
PRACTICANTES DE ACTIVIDAD FÍSICA REGULAR:  
EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LA CRIOTERAPIA  
COMPRESIVA, DE LA EXPOSICIÓN A HIPOXIA  
INTERMITENTE EN REPOSO Y ENTRENAMIENTO  
SECTORIZADO DE LA MUSCULARURA INSPIRATORIA**

**AUTOR: DIEGO FERNÁNDEZ LÁZARO**

**DIRIGIDA POR: CÉSAR I. FERNÁNDEZ LÁZARO &  
JUAN F. MIELGO AYUSO**

**TUTOR: JESÚS SECO CALVO**

**LEÓN, 2020**



**D. César I. Fernández Lázaro**, Doctor en Salud Pública, Master en Salud Pública, Farmacéutico, Bioquímico y Personal Investigador del Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública de la Facultad de Medicina de la Universidad de Navarra.

**D. Juan F. Mielgo Ayuso**, Doctor en Nutrición y Profesor Ayudante Doctor del Departamento de Bioquímica, Biología Molecular y Fisiología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Valladolid en el Campus de Soria.

### **CERTIFICAN**

Que el trabajo realizado bajo nuestra dirección por **Diego Fernández Lázaro** titulado “ESTRATEGIAS ERGOGÉNICAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA SALUD EN PRACTICANTES DE ACTIVIDAD FÍSICA REGULAR: EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LA CRIOTERAPIA COMPRESIVA, DE LA EXPOSICIÓN A HIPOXIA INTERMITENTE EN REPOSO Y ENTRENAMIENTO SECTORIZADO DE LA MUSCULARURA INSPIRATORIA”, reúne las condiciones de originalidad requeridas para optar al grado de Doctor por la Universidad de León.

Y para que así conste a los efectos oportunos, firmamos la presente en León, a fecha de firma electrónica.

Fdo. César I. Fernández

Fdo. Juan F. Mielgo



## AGRADECIMIENTOS

A mi hermano y director, Dr. César Ignacio Fernández Lázaro, por compartir su visión y experiencia para ayudarme a recorrer el camino que ahora sé que es el correcto. Por entregarme una filosofía de trabajo que he adoptado como mi metodología y que siempre llevaré conmigo. Por su constata e inestimable apoyo, entusiasmo y paciencia en esta tesis.

A mi compañero, amigo y director Dr. Juan Mielgo Ayuso, por prestarme su valioso tiempo y su generosa e impagable ayuda. Por sus momentos de reflexión compartida, sin los cuales no podría haber llevado a cabo este trabajo. Por su serenidad y cariño a lo largo de estos años.

A mi tutor Dr. Jesús Seco Calvo, por su ayuda, al facilitarme todos los requisitos necesarios para poder realizar esta tesis y su colaboración en algunos manuscritos.

A la Dra. Marcela González Gross, por su inestimable ayuda en las investigaciones, su confianza en mi trabajo, enseñarme a trabajar en grupo y ser la persona que me ha lanzado a la investigación de alto nivel.

Al Dr. Alfredo Córdova Martínez, por relanzarme en mi carrera investigadora e iniciarme en el conocimiento de las ciencias de deporte.

Al Dr. Alberto Caballero García, por su ayuda en la gestión de mis investigaciones a lo largo de todos estos años.

A mi madre y a mi padre, por enseñarme el verdadero valor del sacrificio, por permitirme desarrollar mi vida como yo he querido y estar a mi lado incondicionalmente, porque sin ellos, nada sería lo mismo.

A mi entrenador Honorato Hernández Blanco, por entenderme mejor que yo mismo, y estar siempre dispuesto a ayudarme y darme su apoyo.

A mi amigo Jesús Manuel López Rodríguez “*Chuchi*” por sus interminables charlas de moral, por ser más que un amigo y por disfrutar de la vida a su lado.

A los miembros del Tribunal, por acceder amablemente a formar parte del mismo.

Espero no haber olvidado a nadie y de ser así espero que me perdonen.



## **PUBLICACIONES, COMUNICACIONES Y PREMIOS**

### **CIENTÍFICOS EN RELACIÓN CON LA TESIS DOCTORAL**

Durante el periodo de realización de la presente tesis, en RELACIÓN A LA TESIS DOCTORAL se han publicado los siguientes artículos científicos-técnicos, se han realizado las siguientes comunicaciones científicas a congresos y se han obtenido los siguientes premios:

#### **PUBLICACIONES CIENTÍFICAS (con Factor de Impacto)**

- Fernández-Landa J, Fernández-Lázaro D, Calleja-González J, Caballero-García A, Córdova Martínez A, León-Guereño P, Mielgo-Ayuso, J. **Effect of Ten Weeks of Creatine Monohydrate Plus HMB Supplementation on Athletic Performance Tests in Elite Male Endurance Athletes.** Nutrients. 2020;12(1):193
- Fernández-Landa J, Fernández-Lázaro D, Calleja-González J, Caballero-García A, Córdova Martínez A, León-Guereño P, Mielgo-Ayuso, J. **Long-Term Effect of Combination of Creatine Monohydrate Plus  $\beta$ -Hydroxy  $\beta$ -Methylbutyrate (HMB) on Exercise-Induced Muscle Damage and Anabolic/Catabolic Hormones in Elite Male Endurance Athletes.** Biomolecules. 2020;10(1):140.
- Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Seco Calvo J, Córdova Martínez A, Caballero García A, Fernández-Lázaro CI. **Modulation of exercise-induced muscle damage, inflammation, and oxidative markers by curcumin supplementation in a physically active population: a systematic review.** Nutrients. 2020;12(2):501.
- Fernández-Lázaro D, Fernández-Lázaro CI, Mielgo-Ayuso J, Navascués LJ, Córdova Martínez A, Seco-Calvo J. **The Role of Selenium Mineral Trace**

**Element in Exercise: Antioxidant Defense System, Muscle Performance, Hormone Response, and Athletic Performance. A Systematic Review.** Nutrients. 2020;12(6):1790.

- Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Córdova Martínez A, Seco-Calvo J. **Iron and Physical Activity: Bioavailability Enhancers, Properties of Black Pepper (Bioperine®) and Potential Applications.** Nutrients. 2020;12(6):1886.

#### **PUBLICACIONES CIENTÍFICAS (Nacionales)**

- Córdova Martínez A, Fernández-Lázaro D, Black L, Caballero García A. **Manipulación genética en el rendimiento deportivo. Genes con efecto sobre el comportamiento muscular.** Revista Andaluza de Medicina del Deporte. 2020;13(1):35-39
- Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Caballero García A, Pascual Fernández J, Córdova Martínez A. **Estrategias artificiales de entrenamiento en altitud: ¿Existe correlación entre parámetros hematológicos y de rendimiento físico?** Archivos de Medicina del Deporte. 2020;37(1): 35-42. *Utilizada para la tesis doctoral.*
- Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Caballero García A, Córdova Martínez A, Seco-Calvo J, Fernández-Lázaro CI. **Crioterapia compresiva como estrategia de recuperación muscular no farmacológica y sin efectos adversos en baloncesto.** Archivos de Medicina del Deporte. 2020;37(3): 183-190. *Utilizada para la tesis doctoral.*
- Muñoz Moreno JM, Pértega Bouso LP, Fernández-Lázaro D. **Enfermería deportiva: intervenciones del enfermero experto en la actividad física y el deporte.** Revista Madrileña de Salud Pública. 2020;4(6):1-11.



- Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Caballero García A, Córdova Martínez A, Lázaro-Asensio MP, Fernández-Lázaro CI. **Actividad física en pacientes oncológicos de cáncer de mama: ¿Terapia Médica deportiva no farmacológica? Revisión sistemática.** Archivos de Medicina del Deporte. 2020;37(4): 266-274.

### **CAPÍTULO DE LIBROS**

- Fernández-Lázaro D, Celorrio Herrera D, Aznar Oviedo JM, Sánchez Muñiz FJ. **Nutrigenómica y epigenética.** En Nutrición deportiva: desde la fisiología a la práctica. Editorial Panamericana (2020, ISBN 978-84-9110-603-6)

### **COMUNICACIONES A CONGRESOS (Ponencias)**

- Fernández-Lázaro D. **Impacto del Zumo de fruta en la actividad física.** Iniciativa Zumo de fruta en serio. Agrifood S.L. y Universidad de Salamanca, Salamanca diciembre 2019.
- Fernández-Lázaro D. **Malas praxis y mitos en nutrición deportiva.** I Congreso de sobre actividad física, deporte y nutrición. Academia Española de Nutrición y dietética, Valencia febrero 2020.

### **COMUNICACIONES ORALES**

- Fernández-Lázaro D, Fernández-Lázaro CI, García Mulas C, Caballero-García A, Fernández Araque Á, Lázaro Asensio MP, Mielgo-Ayuso J. **Actividad física en pacientes oncológicos: impacto en el cáncer de mama. Revisión sistemática.** VIII Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte. Reus, Tarragona, noviembre 2019.

- Fernández-Lázaro D, Fernández-Lázaro CI, Gallego Gallego D, Caballero-García A, Córdova Martínez A, Mielgo-Ayuso J. **Crioterapia compresiva como estrategia de recuperación muscular no farmacológica y sin efectos adversos en baloncesto.** VIII Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte. Reus, Tarragona, noviembre 2019.
- Fernández-Lázaro CI, Fernández-Lázaro D. **Impacto de la Biodisponibilidad en la Deficiencia de Hierro: Efecto nutricional del Bioperine® y su Potencial de Aplicación en la Suplementación Deportistas.** 15º Congreso Internacional de Ciencias del Deporte y la Salud SPORTIS 2019. Universidad de Pontevedra. Pontevedra, noviembre 2019
- Fernández-Lázaro D. **Zumo de frutas natural, elemento potenciador en la práctica deportiva.** Congreso Salud y Deporte. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Guadalajara febrero 2020.
- Fernández-Lázaro D, Córdova Martínez A, Lázaro Asensio MP, Mielgo-Ayuso J, Caballero-García A, Fernández-Lázaro CI. **Ejercicio físico intradialítico en la enfermedad renal crónica: revisión sistemática sobre los resultados de salud.** II Congreso internacional sobre prescripción y programación de deporte y ejercicio en la enfermedad crónica. Universidad Católica de Murcia (UCAM). Murcia, marzo 2020.

## **PREMIOS**

- Premio a la Investigación del año 2019 de la Sociedad Española de Medicina del Deporte.
- Premio a la mejor comunicación científica. II Congreso Internacional sobre Prescripción y Programación de Deporte y Ejercicio en la Enfermedad Crónica. Universidad Católica de Murcia (UCAM). Murcia, marzo 2020.
- Segundo Premio en la categoría Artículo Iberoamericano de los Premios Amorós 2020, entregado por la Fundación de Investigación en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- Accésit a la mejor comunicación científica. VIII Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte. Reus, Tarragona, noviembre 2019.

## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

## **ABREVIATURAS**

<b>AE</b>	<i>Atletas de Élite</i>
<b>AF</b>	<i>Actividad Física</i>
<b>ALT</b>	<i>Alanina Transaminasa</i>
<b>AMA</b>	<i>Agencia Mundial Anti-dopaje</i>
<b>AST</b>	<i>Aspartato Transaminasa</i>
<b>C</b>	<i>Cortisol</i>
<b>CAEP</b>	<i>Centro de Alto Entrenamiento y Promoción Deportiva de Soria</i>
<b>CC</b>	<i>Crioterapia Compresiva</i>
<b>CESNID</b>	<i>Centro Español de Estudios Superiores de Nutrición y Dietética</i>
<b>CK</b>	<i>Creatina Kinasa</i>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<i>Dióxido de Carbono</i>
<b>CO<sub>2</sub>max</b>	<i>Consumo Máximo de Oxígeno</i>
<b>COI</b>	<i>Comité Olímpico Internacional</i>
<b>CV</b>	<i>Calidad de Vida</i>
<b>DOMS</b>	<i>Dolor Muscular de Inicio Retardado</i>
<b>DS</b>	<i>Desviación Estándar</i>
<b>EDTA</b>	<i>Ácido Etilendiaminotetraacético</i>
<b>ELISA</b>	<i>Ensayo de Inmunoabsorción Ligado a Enzima</i>
<b>EMI</b>	<i>Entrenamiento de la Musculatura Inspiratoria</i>
<b>EPO</b>	<i>Eritropoyetina</i>
<b>ER</b>	<i>Eficiencia Respiratoria</i>
<b>FC</b>	<i>Fuerza del Cuádriceps</i>
<b>FER</b>	<i>Ferritina</i>
<b>FEV1</b>	<i>Volumen Espiratorio Forzado en un Segundo</i>

<b>FIO<sub>2</sub></b>	<i>% Fracción Inspirada de Oxígeno</i>
<b>GC</b>	<i>Grupo Control</i>
<b>Hb</b>	<i>Hemoglobina</i>
<b>Hct</b>	<i>Hematocrito</i>
<b>HEM</b>	<i>Hematíes</i>
<b>IAF</b>	<i>Inmersión en Agua Fría</i>
<b>IHE</b>	<i>Exposición a Hipoxia Intermitente</i>
<b>IHT</b>	<i>Entrenamiento Hipóxico Intermitente</i>
<b>LA</b>	<i>Cantidad acumulada de lactato en sangre</i>
<b>LDH</b>	<i>Lactato Deshidrogenasa</i>
<b>LEU</b>	<i>Leucocitos</i>
<b>LIN</b>	<i>Linfocitos</i>
<b>Mb</b>	<i>Mioglobina</i>
<b>MON</b>	<i>Monocitos</i>
<b>MR</b>	<i>Músculos Respiratorios</i>
<b>PIM</b>	<i>Presión Inspiratoria Máxima</i>
<b>PRISMA</b>	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses</i>
<b>PT</b>	<i>Proteínas Totales</i>
<b>PwB</b>	<i>PowerBreathe®</i>
<b>RET</b>	<i>Reticulocitos</i>
<b>RET-Hb</b>	<i>Hemoglobina Reticulocitaria</i>
<b>RMMR</b>	<i>Mecanismo del Reflejo Metabólico de la Musculatura Respiratoria</i>
<b>ROMc</b>	<i>log transformed Ratio of Means</i>
<b>RP</b>	<i>Grupo con Técnicas de Recuperación</i>
<b>RPE</b>	<i>Rango de Esfuerzo Percibido</i>

<b>RRE</b>	<i>Ratio Esfuerzo Respiratorio</i>
<b>sFe</b>	<i>Hierro Sérico</i>
<b>VO<sub>2</sub>max</b>	<i>Volumen Máximo de Oxígeno</i>
<b>% ΔPV</b>	<i>Cambios Porcentuales en el Volumen Plasmático</i>
<b>% SaO<sub>2</sub></b>	<i>Saturación de Oxígeno</i>

## ÍNDICE



---

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. AYUDAS ERGOGÉNICAS EN LA PRÁCTICA DEPORTIVA</b> .....	<b>2</b>
<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
<b>1. HIPÓTESIS</b> .....	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>10</b>
<b>1. CAPÍTULO I: CRIOTERAPIA COMPRESIVA COMO ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN MUSCULAR NO FARMACOLÓGICA Y SIN EFECTOS ADVERSOS EN BALONCESTO</b> .....	<b>11</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	11
1.2. MATERIAL Y MÉTODOS .....	14
1.2.1. Examen físico .....	15
1.2.2. Sujetos del estudio.....	15
1.2.3. Entrenamiento realizado durante el estudio .....	16
1.2.4. Evaluación dietética.....	17
1.2.5. Protocolo temporal del estudio .....	17
1.2.6. Determinación del esfuerzo percibido.....	17
1.2.7. Determinación de la fuerza del cuádriceps.....	18
1.2.8. Extracción y análisis de sangre.....	18
1.2.9. Utilización del Pressurice Compressport®.....	20
1.2.10. Análisis estadístico .....	21
1.3. RESULTADOS .....	22
1.3.1. Ingesta dietética .....	22
1.3.2. Hematología.....	23
1.3.3. Bioquímica .....	25
1.3.3.1. Marcadores de daño Muscular.....	25
1.3.3.2. Proteínas totales.....	26

1.3.3.3. <i>Hormonas</i> .....	28
1.3.4. <i>Determinación del rango de esfuerzo percibido</i> .....	28
1.3.5. <i>Determinación de la fuerza de cuádriceps por dinamometría</i> .....	29
1.3.6. <i>Correlación entre el marcador hormonal y marcadores musculares</i> .....	30
1.4. DISCUSIÓN.....	31
<b>2. CAPÍTULO II: ESTRATEGIAS ARTIFICIALES DE ENTRENAMIENTO EN ALTITUD: ¿EXISTE CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS Y DE RENDIMIENTO FÍSICO?</b> .....	<b>39</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	39
2.2. MATERIAL Y MÉTODOS .....	41
2.2.1. <i>Sujetos del estudio</i> .....	41
2.2.2. <i>Control analítico</i> .....	43
2.2.3. <i>Protocolo de exposición de hipoxia intermitente</i> .....	45
2.2.4. <i>Evaluación del rendimiento físico</i> .....	46
2.2.5. <i>Análisis estadístico</i> .....	47
2.2.6. <i>Limitaciones</i> .....	47
2.3. RESULTADOS .....	48
2.3.1. <i>Hematología</i> .....	48
2.3.2. <i>Pruebas de rendimiento físico</i> .....	50
2.4. DISCUSIÓN.....	51
<b>3. CAPÍTULO III: PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO SECTORIZADO DE LA MUSCULATURA RESPIRATORIA MEDIANTE EL USO DEL DISPOSITIVO POWERBREATH®: ¿TIENE POTENCIAL ERGOGÉNICO SOBRE EL RENDIMIENTO RESPIRATORIO Y/O DEPORTIVO? UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON METAANÁLISIS</b> .....	<b>58</b>
3.1. ANTECEDENTES .....	58
3.2. MATERIAL Y MÉTODOS .....	62
3.2.1. <i>Estrategia de búsqueda</i> .....	62
3.2.2. <i>Criterios de inclusión y exclusión</i> .....	63
3.2.3. <i>Extracción y síntesis de datos</i> .....	64

---

3.2.4. Análisis de datos.....	65
3.3. RESULTADOS .....	66
3.3.1. Selección de estudios.....	66
3.3.2. Características de los estudios.....	67
3.3.3. Evaluación de la calidad metodológica .....	69
3.3.4. Resultados de los estudios.....	71
3.3.5. Metaanálisis .....	75
3.3.5.1. Efecto sobre la presión inspiratoria máxima.....	75
3.3.5.2. Efecto sobre el volumen máximo de oxígeno.....	76
3.3.5.3. Efecto sobre la concentración de lactato en sangre .....	78
3.4. DISCUSIÓN.....	80
3.4.1. Modalidades deportivas y versiones del Powerbreath®.....	81
3.4.2. Protocolo de aplicación del Powerbreath®.....	82
3.4.3. Evaluación de parámetros ergo-respiratorios .....	83
3.4.3.1. Presiones respiratorias máximas.....	84
3.4.4. Evaluación de parámetros físicos .....	85
3.4.5. Impacto del entrenamiento sectorizado de la musculatura respiratoria en rendimiento respiratorio y/o deportivo .....	88
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>94</b>

**Índice de Tablas**

<i>Tabla 1. Aplicaciones de las medias de compresión en el deporte .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Ingesta de energía y micronutrientes media diaria en cada grupo de jugadores de baloncesto durante las ocho semanas de estudio .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3. Marcadores hematológicos en los jugadores de baloncesto del grupo recuperación (RP) y el grupo control (GC).....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4. Marcadores bioquímicos: musculares, proteínas totales y hormonales en los jugadores de baloncesto del grupo recuperación y el grupo control.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5. Determinación del Esfuerzo percibido BORG CR-10 en los jugadores de baloncesto del grupo recuperación (RP) y el grupo control (GC) .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 6. Determinación de la Fuerza de Cuádriceps por Dinamometría .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 7. Correlaciones entre el marcador hormonal C y marcadores bioquímicos musculares CK, LDH y Mb .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8. Características físicas y antropométricas de los atletas de élite (AE).....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 9. Programa de entrenamiento de los atletas de élite .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 10. Protocolo de exposición de hipoxia intermitente (IHE).....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 11. Variables Hematológicas del estudio.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 12. Pruebas de rendimiento físico de los atletas de élite .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 13. Características de los estudios en el metaanálisis .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 14. Evaluación de la Calidad Metodológica de los estudios .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 15A. Resumen I de los estudios incluidos en el metaanálisis.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 15B. Resumen II de los estudios incluidos en el metaanálisis.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 15C. Resumen III de los estudios incluidos en el metaanálisis .....</i>	<i>74</i>

**Índice de Figuras**

<i>Figura 1. Colocación de la prenda Pressurice Compressport®</i> .....	21
<i>Figura 2. Representación de los valores de Mioglobina en el grupo control y grupo recuperación a lo largo del periodo de estudio</i> .....	26
<i>Figura 3. Representación de los valores de cortisol en el grupo control y grupo recuperación a lo largo del periodo de estudio</i> .....	28
<i>Figura 4. Exposición de hipoxia intermitente</i> .....	45
<i>Figura 5. Variables precursoras de la eritropoyesis</i> .....	50
<i>Figura 6. Porcentaje de mejora en las pruebas físicas de rendimiento</i> .....	52
<i>Figura 7. Piezas del PowerBreathe® Serie K</i> .....	61
<i>Figura 8. Diagrama de flujo de PRISMA que resume la estrategia de búsqueda</i> .....	67
<i>y selección de estudios incluidos en el metaanálisis</i> .....	67
<i>Figura 9. Diagrama de bosque del metaanálisis de la Presión Inspiratoria Máxima</i> .....	75
<i>Figura 9A. Gráfico de embudo (funnel plot) del metaanálisis</i> .....	76
<i>de la Presión Inspiratoria Máxima</i> .....	76
<i>Figura 10. Diagrama de bosque del metaanálisis del volumen máximo de oxígeno</i> .....	77
<i>Figura 10A. Gráfico de embudo (funnel plot) del metaanálisis</i> .....	78
<i>del volumen máximo de oxígeno</i> .....	78
<i>Figura 11. Diagrama de bosque del metaanálisis de la concentración de lactato</i> .....	79
<i>Figura 11A. Gráfico de embudo (funnel plot) del metaanálisis de la</i> .....	80
<i>de la concentración de lactato</i> .....	80

# **INTRODUCCIÓN**

## **1. Ayudas ergogénicas en la práctica deportiva**

El deportista desde que comienza a practicar una actividad física (AF) en su niñez hasta que llega a consolidarse en la élite de su modalidad deportiva necesita muchos años de dedicación, disciplina y constancia en los entrenamientos, además de unas aptitudes, cualidades y capacidades innatas dependientes del genotipo individual del atleta (1). En este sentido cada deporte tiene sus requisitos físicos y se estima que hay un factor hereditario del estado atlético general de una persona, independientemente del deporte, y este es aproximadamente del 66% (1). A pesar de la herencia genética, los procesos anatómicos, fisiológicos y bioquímicos que desarrollan los deportistas en el intento de alcanzar el máximo rendimiento de sus condiciones físicas y adaptar su organismo sufren interrupciones involuntarias. Estas pueden ser debidas a errores en la metodología seguida en su preparación, las lesiones que sufre, enfermedades imprevistas que padece (2) e incluso situaciones especiales que imposibilitan la realización de entrenamientos habituales, como el confinamiento en los hogares durante el primer tercio del año 2020 debido a la pandemia de la enfermedad del coronavirus del año 2019 (COVID-19).

La AF que desarrolla un deportista de elite, de alto rendimiento o profesional, en numerosas ocasiones va en contra de la resistencia humana natural, en cuanto a carga, cantidad y densidad de entrenamiento. Sin embargo, la sociedad estimula al deportista para alcanzar el éxito y la victoria, lo que le posibilita tener un modelo a imitar y reflejarse (3). Para conseguir el triunfo deportivo, en la actualidad existe un alto grado de profesionalización de los deportistas, con grandes premios económicos y posibilidades de mejora social como estímulos, hacen que las metas a alcanzar sean más apetecibles y se caiga en la tentación de que el fin justifique todos los medios, lícitos o no, para conseguirlo (2). Además, el nivel en las competiciones de élite durante los últimos años

ha aumentado considerablemente y las diferencias en los resultados entre las primeras posiciones son cada vez menores. Por estas razones los atletas de élite de diferentes especialidades deportivas suelen combinar estrategias de preparación adicionales (biológicas, farmacológicas, mecánicas) con la esperanza de mejorar las respuestas fisiológicas y el rendimiento competitivo (4). Esta preparación adicional puede contribuir de forma sensata y legal a que los atletas complementen adecuadamente sus entrenamientos para obtener un mejor rendimiento, o intentar “atajos” para llegar en menos tiempo a la elite deportiva, con tratamientos y/o métodos artificiales prohibidos que mejoren su capacidad de alcanzar un mayor rendimiento físico (3). Ambas situaciones se refieren a una nueva estrategia de preparación deportiva, llamada “ergogenia” (4).

El término ergogenia deriva del griego “ergon” (trabajo), y “gennan” (producción), involucra la optimización de los procesos que mejoran la producción de trabajo físico de los atletas. Incluyen sustancias, métodos, fármacos, equipamiento y el mejoramiento de aquellas condiciones innatas o adquiridas, con el fin de lograr un mayor rendimiento físico (5). La ergogenia es inherente a la historia del hombre, que es la historia del movimiento para su lograr su supervivencia y estimular al alza el rendimiento físico (6). Las ayudas ergogénicas buscan una mejora en la capacidad física reflejada en un mejor rendimiento deportivo a través de: la optimización del metabolismo en la producción de energía, el incremento de la capacidad de trabajo muscular, y la mejora de la capacidad competitiva (2). En la actualidad, atletas y entrenadores incluyen las ayudas ergogénicas asociadas a los métodos de entrenamiento convencionales con el fin de inducir adaptaciones que mejoren la funcionalidad muscular, sanguínea, cardiovascular, respiratoria, endocrino-metabólica (7) estimulando de este modo, mejoras globales de la capacidad física.



Para un deportista, independientemente del nivel competitivo, es fundamental poder realizar entrenamientos intensos y competiciones frecuentes sin caer en fatiga crónica, lesión o enfermedad lo que estimula el empleo continuado de ayudas ergogénicas. Esta situación se ve favorecida por que se ha incrementado exponencialmente la oferta y comercialización de las ayudas ergogénicas, debido al aumento de la AF recreacional y el auge del deporte profesional. Estas ayudas pueden ser biomecánicas con la mejora de los aparatos, instrumentos y equipamientos de los deportistas. Otras se basan en terapias psicológicas, tan necesarias por las tensiones de todo tipo que origina la alta competición. También existen ayudas ergogénicas de tipo fisiológico, para optimizar la buena funcionalidad metabólica y hormonal del organismo. Además, las ayudas farmacológicas, tan empleadas en el deporte moderno, incluyen una enorme variedad de productos permitidos y de productos dopantes. De forma general estas ayudas ergogénicas son no nutricionales (2, 3, 8).

Por otra parte, del tipo de alimento influye decisivamente en la AF, es necesario el consumo de las cantidades adecuadas de energía, nutrientes y agua, con la frecuencia correcta y asociada a la temporalidad de los entrenamientos y de las competiciones. Hay veces en que todas estas indicaciones nutricionales son insuficientes y se hace necesario la administración de suplementos con la finalidad de mejorar su rendimiento deportivo (6). Las ayudas ergogénicas nutricionales engloban todos los suplementos nutricionales, que pretenden completar y mejorar la alimentación del deportista, optimizando su recuperación durante o tras los esfuerzos, así como aumentar sus reservas energéticas necesarias para afrontar competiciones extenuantes (2).

Por lo tanto, la AF practicada en distintas modalidades deportivas se ha popularizado y con ello los atletas son diferenciados en recreacionales y profesionales o de élite. Ambos grupos de atletas buscan sus límites en la capacidad física con la

optimización del funcionamiento del organismo. Por esta razón se recurre al empleo continuo y a veces indiscriminado de ayudas ergogénicas. La ergogenia engloba ayudas autorizadas y prohibidas (dopantes), saludables e insalubres. Atendiendo a sus efectos las podemos dividir en ayudas no nutricionales (mecánicas, psicológicas, fisiológicas y farmacológicas) y nutricionales (suplementos dietarios, vitaminas, minerales, bebidas y nutrientes energéticos). Aunque muchas de las ayudas utilizadas no han demostrado evidencias científicas para inducir el efecto que el deportista desea y de forma general se ha especulado que las ayudas ergogénicas hacen más efecto a los deportistas recreacionales que a la élite. Se hace necesario la aplicación del método científico mediante ensayos rigurosos con el objeto de demostrar el verdadero potencial de las ayudas ergogénicas, teniendo en cuenta que la respuesta es individualizada para cada deportista.

## **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

## 1. Hipótesis

En el contexto actual, donde los atletas de élite (AE) de diferentes especialidades deportivas suelen combinar estrategias ergogénicas, siempre que estén permitidas por las organizaciones legisladoras como la Agencia Mundial Anti-dopaje (AMA) o el Comité Olímpico Internacional (COI), con la esperanza de mejorar las respuestas fisiológicas y el rendimiento competitivo, pero en ocasiones la evidencia científica es limitada (9). Es obligado evaluar, desde el punto de vista científico, los diferentes tipos de ayudas ergogénicas, porque en algunas no se han demostrado las mejoras por su utilización que pretenden atribuirles los que las comercializan o no se ha reportado una evidente relación causa-efecto en un estudio debidamente diseñado.

Para solucionar este aspecto, nos hemos propuesto en esta tesis el estudio de tres ayudas ergogénicas no nutricionales que son instrumentos con un elevado componente fisiológico ergogénico, para optimizar la buena funcionalidad muscular, sanguínea, cardiovascular, respiratoria, endocrino-metabólica del organismo, no sólo con el objeto de mejorar el rendimiento deportivo sino también la recuperación de los deportistas. Estos tres instrumentos ergogénicos son: i) *Pressurice Compressport*® (*Compressport*® Venous Muscular Compression Technology, Suiza) que es un dispositivo de aplicación de la crioterapia compresiva (CC) que permite emplear las dos técnicas de frío y compresión conjuntamente; ii) La exposición a hipoxia intermitente (intermittent hypoxic exposure, IHE) la cual se aplica mediante la estancia pasiva en habitaciones con ambiente hipóxico o a través de la respiración de aire con menos concentración de oxígeno mediante el dispositivo *GO<sub>2</sub> Altitude*® (Biomedtech, Victoria, Australia); iii) El entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) mediante el dispositivo *PowerBreathe*® (IMT Technologies LTD) (PwB).

Los tres estudios se han diseñado atendiendo un alto nivel de jerarquía en evidencia científica para las ayudas ergogénicas en el rendimiento deportivo, establecidas por el último documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte de noviembre del 2019 (6), siendo dos estudios clínicos específicos (CC, IHE) y una revisión sistemática con metaanálisis (EMI con PwB). Por esta razón, para evaluar la eficacia del uso de cada uno de estos tres instrumentos específicos como ayuda ergogénica y presentar todas sus evidencias relevantes para ayudar a sopesar sus beneficios y riesgos, con la finalidad de ayudar a tomar decisiones de su empleo por parte de los deportistas, se ha intentado buscar un alto grado de evidencia científica, utilidad o eficacia de los procedimientos y tratamientos estudiados. De modo, que se ha prestado especial atención a que la población en la que se realiza el estudio que son sujetos deportistas de élite o amateurs. Las investigaciones que demuestran un aumento del rendimiento en deportistas, o en personas que hacen ejercicio físico con regularidad, son más relevantes y prácticas que las que demuestran lo mismo en personas sedentarias o con ciertas patologías crónicas. Además, se ha establecido una metodología que permita obtener una significación estadística del estudio porque los resultados estadísticamente significativos son mucho más convincentes y válidos. Además, se ha discutido y analizado comparativamente los resultados obtenidos con los resultados reportados en diferentes estudios publicados por distintos grupos de trabajo, lo que permite aportar los conocimientos adecuados para diseñar diferentes pautas ergogénicas, de estos tres instrumentos, de forma individualizada para mejorar la salud y el rendimiento de los deportistas.

## **2. Objetivos**

1. Investigar el efecto crónico del *Pressurice Compressport*® (Compressport® Venno-Muscular Compression Technology, Suiza), tras cada partido, y después de cada sesión de entrenamiento, sobre los marcadores de daño muscular, mediante la evaluación de los niveles séricos de enzimas o proteínas y cortisol. Evaluando el efecto de la aplicación de la crioterapia compresiva como procedimiento ergogénico sobre los marcadores de recuperación y fatiga en jugadores de baloncesto profesionales.
2. Analizar la influencia de la exposición a hipoxia intermitente en los cambios hematológicos y en pruebas específicas de rendimiento físico, sobre el entrenamiento clásico en atletas de élite que continuamente estaban sometidos a una situación de hipoxia moderada.
3. Evaluar críticamente los efectos del entrenamiento de la musculatura inspiratoria sobre los parámetros respiratorios y el rendimiento deportivo mediante el uso del dispositivo *PowerBreathe*® (IMT Technologies LTD) en personas practicantes de actividad física regular, deportistas de élite o amateurs, de diferentes modalidades deportivas. Describiendo la magnitud de la resistencia inspiratoria, la frecuencia y duración del entrenamiento de la musculatura inspiratoria para establecer un programa de aplicación óptima que permita mejoras en el rendimiento respiratorio y deportivo mediante la realización de una revisión sistemática con metaanálisis.

## **RESULTADOS**

# **1. Capítulo I: Crioterapia compresiva como estrategia de recuperación muscular no farmacológica y sin efectos adversos en baloncesto**

## **1.1. Antecedentes**

Los jugadores de baloncesto están continuamente expuestos a altas exigencias físicas debido a las repetidas aceleraciones / desaceleraciones y saltos explosivos. Ello genera dolores musculares debido principalmente a cargas excéntricas y también debido a traumatismos por contacto (10). A esto hay que sumar los tiempos cortos de recuperación, entre entrenamientos y competiciones que conducen a un nivel excesivo de fatiga acumulada a lo largo del ciclo semanal, conduciendo todo ello a un bajo rendimiento en la competición (11).

La capacidad de recuperar después de entrenamientos intensos y partidos constituye en uno de los factores más determinantes en el proceso de mejora del rendimiento de los deportistas. Cuando se realiza una adecuada recuperación, no sólo física sino también terapéutica, tras los entrenamientos o la competición, los deportistas pueden volver a realizar sus rutinas deportivas en tiempos más cortos que cuando no se realiza ningún tratamiento de recuperación (12).

Para reducir la magnitud de la fatiga y acelerar el tiempo de recuperación, los equipos deportivos tienen a su disposición un amplio número de estrategias regenerativas: recuperación activa (carrera continua de baja intensidad y estiramientos), métodos ergo-nutricionales (reposición de sustratos e hidroelectrolítica), recuperación pasiva (sueño y descanso) y métodos de fisioterapia (13, 14). Se utilizan varios métodos de recuperación en fisioterapia después del ejercicio, con el propósito de aliviar las alteraciones musculoesqueléticas secundarias al entrenamiento y la competición. Entre estas intervenciones, se ha aplicado la “terapia de contraste”, que alterna entre modalidades de tratamiento en



caliente y en frío, la “crioterapia” de cuerpo entero y la “inmersión en agua fría” (IAF), el “hidromasaje” y el empleo de las prendas de compresión. Estas modalidades de fisioterapia pueden atenuar la fatiga e incrementar el rendimiento durante el entrenamiento y la competición (15).

Actualmente, las prendas de compresión son comúnmente usadas por los deportistas durante y/o después de un entrenamiento o competición. Las prendas de compresión más utilizadas son las medias de compresión, que tienen numerosas aplicaciones en el mundo del deporte (Tabla 1). El fundamento fisiológico se basa de la presión decreciente que se genera en la pierna, siendo máxima en los tobillos (15-30 mmHg) y disminuyendo gradualmente hasta el final de la pierna (10 mmHg) (16). En el deporte de alto rendimiento las compresiones son empleadas habitualmente como técnica de recuperación posterior al ejercicio físico con el objetivo de disminuir el Dolor Muscular de Inicio Retardado (DOMS), reduciendo los síntomas asociados y la percepción de dolor. Además, pueden disminuir la inflamación y el volumen de las extremidades inferiores, así como el diámetro de la vena gastrocnemia (17). También es posible que su uso genere beneficios ergogénicos, como una reducción en los niveles de lactato asociados a una aceleración del retorno venoso mediante la reducción de la distensión venosa, restauración de la insuficiencia valvular y disminución de la sangre venosa (18). Por lo tanto, como estrategia de recuperación las medias de compresión son baratas, fácilmente accesibles y no invasivas, además de ser fácilmente implementadas durante ejercicio y 15-24 h post-entrenamiento y competición (19).

**Tabla 1. Aplicaciones de las medias de compresión en el deporte**

<b>Aplicaciones</b>	<b>Fundamento</b>
Favorece el retorno venoso	Mejora la circulación, estimulando la distribución del flujo sanguíneo consiguiendo una mejor oxigenación de los tejidos. → Incremento del Rendimiento Deportivo.
Mejora la eficiencia metabólica	Demuestra la eficacia a intensidades bajas de carrera pedestre, pero no a intensidades superiores a 14-16 km/h.
Refrigeran expulsando calor	Estas prendas se componen de dos capas, una dedicada a refrigerar / expulsar el sudor y otra a absorber parte del calor producido.
Evitan pérdida de calor	Si hace frío, las medias tienen una función de guardar el calor.
Evitan vibraciones	La compresión sujeta a los músculos de la zona y previene el movimiento lateral de los gemelos.
Favorece la recuperación	Aumento del retorno venoso y drenaje de toxinas. Disminución de la inflamación y dolores musculares.

Un estudio reciente (15), ha indicado la utilidad de la IAF como técnica para mejorar la recuperación del daño muscular y prevenir los síntomas de sobreentrenamiento en jugadores de baloncesto. Los efectos de la IAF se reflejan en la reducción del dolor, la inflamación, el flujo sanguíneo, el metabolismo celular y el dolor muscular (20-22). La eficacia de la IAF pareció depender del tiempo de aplicación, el área de tratamiento, el momento de aplicación, el nivel de actividad física, y la modalidad utilizada (15, 23). Cualquiera que sea el protocolo utilizado, el principal efecto beneficioso del frío durante

la recuperación es la vasoconstricción que limita la permeabilidad de los vasos y, por lo tanto, los procesos inflamatorios, reduciendo el dolor muscular (24).

De este modo, el estudio de los efectos de técnicas de recuperación para el rendimiento se ha convertido en un tema prioritario para los jugadores, los entrenadores y los investigadores deportivos ya que mejorar la recuperación tiene el potencial de aumentar el rendimiento deportivo. Tanto la IAF como las medias de compresión han sido usadas rutinariamente para acelerar la recuperación después del ejercicio de manera individual (15, 17). Por tanto, la aplicación de la Crioterapia Compresiva (CC) permite emplear las dos técnicas de recuperación conjuntamente lo que potencialmente reportaría mejores resultados en la recuperación y el rendimiento de los deportistas.

En la actualidad existe un instrumento específico de aplicación de CC, como es *Pressurice Compressport®* (Compressport® Veno-Muscular Compression Technology, Suiza), que es un recurso simple, no farmacológico y carente de efectos secundarios.

Por todo ello, el objetivo de este estudio fue investigar el efecto crónico del *Pressurice Compressport®*, tras cada partido, y después de cada sesión de entrenamiento, sobre los marcadores de daño muscular, mediante la evaluación de los niveles séricos de enzimas o proteínas y cortisol. Este trabajo es un estudio novedoso, porque algunos estudios en baloncesto han investigado el efecto de diversos procedimientos de recuperación sobre los marcadores de recuperación y fatiga, pero estos estudios no suelen incluir el análisis de los marcadores del metabolismo muscular (10, 25).

## **1.2. Material y métodos**

Se realizó un estudio de cohorte prospectivo. Veinticuatro jugadores voluntarios de baloncesto masculino participaron en el estudio. Hemos estudiado el efecto de la CC

en jugadores de baloncesto, durante el periodo de pretemporada, que comprende 8 semanas de entrenamiento. El protocolo siguió las recomendaciones de la Declaración de Helsinki, además el protocolo fue revisado y aprobado por el comité local de ética de la universidad.

### **1.2.1. Examen físico**

Todos los sujetos, firmaron un consentimiento informado. Fueron estudiados mediante un examen cardio-pulmonar y electromiográfico, además de completar un cuestionario médico previo al ingreso para el estudio. Ninguno de los participantes fumaba, bebía alcohol o tomaba medicamentos o sustancias ilegales capaces de alterar la respuesta hematológica. No hubo ninguna lesión antes o durante la realización de la prueba, ya que fueron descartadas por la historia y el examen clínico. Todos los jugadores de baloncesto siguieron la misma dieta durante el estudio, supervisada por el nutricionista del equipo en cuestión.

### **1.2.2. Sujetos del estudio**

Los participantes fueron reclutados mediante un método de muestreo consecutivo no aleatorio de dos grupos. El grupo intervención, con técnicas de recuperación (RP) incluyó un total de 12 jugadores de baloncesto masculinos profesionales (n=12) pertenecientes a un equipo de la Liga Profesional Española de Baloncesto EBA ( $23.3 \pm 5.4$  años;  $194 \pm 9.8$  cm;  $95.8 \pm 12.7$  kg;  $56.5 \pm 7.7$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>), que participaron en el estudio. El grupo de control (GC) estaba compuesto por doce estudiantes universitarios que practicaban regularmente baloncesto recreativo y competían en ligas universitarias

menores ( $22 \pm 3.8$  años;  $178 \pm 8.6$  cm;  $78.3 \pm 8.6$  kg;  $47 \pm 6.3$  mL·kg<sup>-1</sup> ·min<sup>-1</sup>), que participaron en el estudio.

### **1.2.3. Entrenamiento realizado durante el estudio**

Todos los jugadores profesionales, siguieron el mismo plan de entrenamiento, 2 sesiones diarias, con una frecuencia de 5 días seguidos de entrenamiento y 1 día de descanso, intercalando 6 partidos amistosos contra equipos de su misma división en distintos días del entrenamiento. Cada sesión (de las dos presentes cada día) duraba entre 60 y 90 minutos, trabajando desde la parte más general a nivel físico como entrenamiento de resistencia o fuerza y acabando en una parte más específica, diferente en cada jugador, dependiendo de su posición y tipo de juego, un entrenamiento táctico. Después de cada sesión, el grupo RP recibía las correspondientes técnicas de recuperación mediante CC.

Todos los jugadores universitarios, siguieron el mismo plan de entrenamiento, 1 sesión diaria, con una frecuencia de 4 días seguidos de entrenamiento y 2 días de descanso, intercalando 3 partidos amistosos contra equipos de su mismo nivel en distintos días del entrenamiento. Cada sesión duraba 90 minutos, trabajando desde la parte más general a nivel físico como entrenamiento de resistencia o fuerza y acabando en una parte más específica, diferente en cada jugador, dependiendo de su posición y tipo de juego, un entrenamiento táctico. Después de cada sesión, el GC no recibió nuevas actividades ni intervenciones de CC. Específicamente, se dieron instrucciones al GC para asegurar que no estuvieran expuestos a CC. La garantía de que la CC no fue utilizada por la propia voluntad de participantes se proporcionó debido a que la cohorte de control informaba diariamente de esta declaración y que este grupo no disponía del material de *Pressurice Compressport*®.

#### **1.2.4. Evaluación dietética**

Un dietista profesional registró estrictamente la ingesta diaria de alimentos y líquidos de los deportistas durante el estudio. El paquete EasyDiet©, que está disponible en línea (<https://www.easydiet.es/>), se utilizó para calcular la composición de nutrientes y la ingesta de energía de los alimentos y bebidas consumidos por los jugadores. Este paquete de software ha sido desarrollado por el Centro Español de Estudios Superiores de Nutrición y Dietética (CESNID), que se basa en tablas españolas de composición de alimentos (26). Además, todos los participantes recibieron complejos multivitamínicos que incluían ácido fólico (5 mg/día), vitamina C (1 g/día), vitamina B12 (1000 µg/día), aminoácidos ramificados y glutamina.

#### **1.2.5. Protocolo temporal del estudio**

Todos los participantes debían asistir al laboratorio en tres momentos específicos durante la pre-temporada (8 semanas). Hemos realizado el control analítico en 3 momentos del estudio: a) en el día 1, justo antes de comenzar el estudio (T1); b) en la semana 4, justo en mitad de este periodo (T2) y en la semana 8, correspondiente al final de este periodo (T3).

#### **1.2.6. Determinación del esfuerzo percibido**

La escala CR-10 de Borg se construyó para calificar el rango de esfuerzo percibido (RPE) y se califica de 0 a 10 con los números basados en expresiones verbales (27). Antes de la extracción de sangre en cada momento, se pidió a los participantes que calificaran su malestar muscular percibido en cada punto de tiempo (T1, T2, T3) utilizando esta

escala. Al inicio del estudio, todos los participantes fueron instruidos en el uso de la escala CR-10 según lo descrito por Borg para evaluar su malestar muscular percibido a lo largo del estudio. Se ha reportado una validez y confiabilidad adecuada de esta herramienta siguiendo el procedimiento descrito (28). Puesto que la escala se estaba usando para calificar "Incomodidad" en lugar de "Dolor", se informó a los participantes que el "Máximo Dolor" debe ser usado como un punto de partida equiparando a su peor incomodidad muscular local previamente experimentada durante la actividad física y que todas las otras calificaciones deben estar relacionadas con esto.

#### **1.2.7. Determinación de la fuerza del cuádriceps**

Para el test de la fuerza, medimos la fuerza del cuádriceps (FC) con un dinamómetro (Leg Jamar, USA). Se utiliza una silla adaptada para poder realizar el esfuerzo en posición de sentado, asegurándonos una buena fijación de todo el cuerpo, para poder desarrollar toda la fuerza que sea posible. Se realizan dos intentos con la pierna predominante y se apuntó el mejor (29). Las mediciones de fuerza se realizaron en cada punto de tiempo (T1, T2, T3).

#### **1.2.8. Extracción y análisis de sangre**

Se siguieron las normas de la Agencia Mundial Antidopaje (AMA) para la recolección y el transporte de muestras ([www.wada-ama.org](http://www.wada-ama.org)). Se tomaron muestras de sangre venosa antecubital de los jugadores de baloncesto en T1, T2 y T3. Todas las muestras se recolectaron en condiciones basales y en ayunas, con un periodo de tiempo de al menos 12 horas desde la última ingesta. Todas las muestras de sangre se tomaron a

las 8.30 a.m. y todos los participantes descansaron cómodamente en una posición de sedestación o tumbados. Se empleó el sistema Vacutainer (10 ml para tubos de suero, tubos de 5 ml y 3 ml con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)). Inmediatamente después de la extracción, los tubos se invirtieron 10 veces y fueron almacenados en una caja sellada, para después conservarlos a 4°C. La temperatura, durante el transporte al laboratorio, estaba controlada por el uso de una etiqueta específica (Libero Ti1, ELPRO-BUCHS, Suiza), que se utilizó para medir y registrar la temperatura.

Las muestras fueron transportadas en condiciones adecuadas y el tiempo para depositar las muestras en el laboratorio fue 30 minutos después de la extracción. Los retrasos mínimos, no afectaron a la calidad analítica de los parámetros estudiados. Las muestras con EDTA (anti-coagulante) se homogeneizaron durante 15 minutos antes de ser analizadas, como recomienda la AMA. Los tubos que contienen sangre más EDTA se centrifugaron a 2000 rpm durante 15 minutos. El plasma, fue extraído utilizando una pipeta Pasteur y transferido a un tubo estéril de almacenamiento y conservado a -20°C hasta que fue analizado.

Leucocitos (LEU), monocitos (MON), linfocitos (LIN), hematíes (HEM), hemoglobina (Hb) y hematocrito (Hct) se determinaron en un contador hematológico modelo System Coulter MAX-M. Los niveles séricos de creatina quinasa (CK), lactato deshidrogenasa (LDH), aspartato transaminasa (AST), alanina transaminasa (ALT) y proteínas totales (PT) fueron medidos en cada punto del estudio (T1, T2 y T3) usando reacciones enzimáticas acopladas en un autoanalizador automático (Hitachi 917, Japón). Los niveles séricos de cortisol (C) fueron medidos empleando la técnica del ensayo de inmunoabsorción ligado a enzima (ELISA) y una lectura fluorescente final, con ayuda de un analizador multiparamétrico (Minividas, Biomerieux), usando un sustrato de 4 metilumbeliferona, capaz de realizar una emisión fluorescente a 450 nm después de su



estimulación a 370 nm. La mioglobina (Mb) fue medida, empleando una técnica de ensayo inmunoquimioluminiscente “sándwich” de dos puntos.

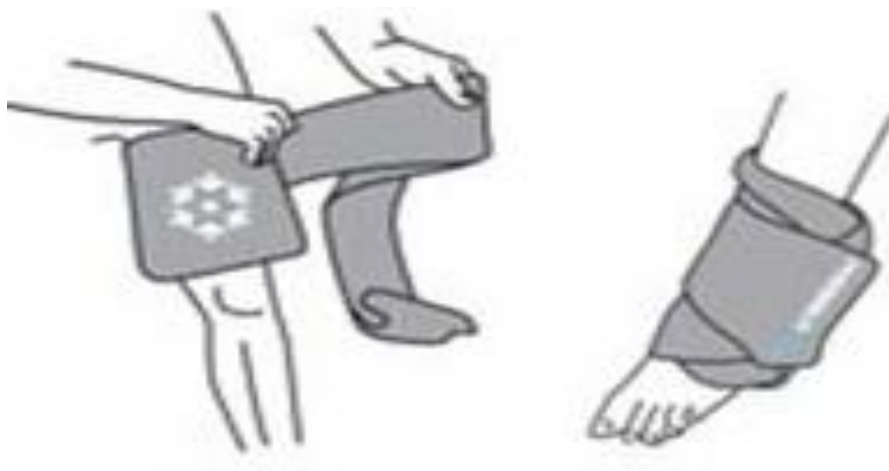
Los cambios porcentuales en el volumen plasmático (%  $\Delta$ PV), se calcularon usando la ecuación de Van Beaumont (30). Además, los valores de los marcadores hematológicos se ajustaron para los cambios en el volumen plasmático, usando la siguiente fórmula: Valor corregido = Valor no corregido x ((100 + % $\Delta$ PV) / 100) (31).

### **1.2.9. Utilización del *Pressurice Compressport*®**

Los jugadores de baloncesto pertenecientes al grupo RP (n=12), recibieron este tratamiento después de cada sesión de entrenamiento (48 sesiones) y después de cada partido jugado (3 partidos jugados en casa y 3 partidos jugados fuera de casa). Cada jugador era proveedor de un sistema de *Pressurice Compressport*® (*Compressport*® Venno-Muscular Compression Technology, Suiza).

El tratamiento para la recuperación muscular se aplicó a los 5 minutos tras el entrenamiento o partido. Se realizó la colocación de *Pressurice Compressport*® (Figura 1) en la extremidad inferior (hasta la cresta iliaca). La formulación especial del gel en el compartimento de silicona hace que este se mantenga flexible tras el enfriamiento, lo que permite moldearlo al contorno de la pierna de manera óptima, el gel fue enfriado a temperatura controlada de 8°C. Consistió en 2 puestas de 15 minutos cada una separada entre sí por 5 minutos en los que los deportistas descansaban a temperatura ambiente (sentados, temperatura ambiente de 22°). Se disponían de dos geles que se introducían en el refrigerador a intervalos regulares, con el fin de mantener la temperatura del gel. El envoltorio de compresión se colocaba conjuntamente con el gel de frío y posteriormente se retiraba el gel de frío (tras las dos puestas de 15 minutos) y se mantenía la prenda de

compresión durante un total de 90 minutos en reposo total en sedestación. La prenda era personal, no había intercambios y proporciona una presión constante de entre 20 y 25 mmHg y cubre desde la parte superior del muslo hasta el tobillo. Después de la intervención los jugadores de baloncesto se duchaban y aseaban correctamente.



**Figura 1. Colocación de la prenda *Pressurice Compressport*®**

#### **1.2.10. Análisis estadístico**

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando IBM Statistical Package (SPSS Versión 22) y Graphpad Prism (Graphpad Software Versión 6.01 San Diego, CA). Los datos se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar (DS). Las diferencias en los parámetros hematológicos y marcadores musculares y hormonales se evaluaron mediante una prueba de Scheffé, para identificar diferencias significativas entre T1, T2 y T3 de forma independiente. Después se confirmó la normalidad de los datos, con la prueba lambda de Wilks para decidir utilizar el análisis paramétrico. Se consideraron diferencias significativas para  $p < 0.05$ . Por último, se examinaron las correlaciones entre el parámetro hormonal C y los biomarcadores musculares utilizando el coeficiente de correlación de Pearson para estimar la asociación entre dos variables.

### **1.3. Resultados**

#### **1.3.1. Ingesta dietética**

La Tabla 2 muestra la ingesta de energía y micronutrientes de los jugadores de baloncesto. No hubo diferencias significativas entre los grupos de estudio (GC y RP) para la ingesta calórica total, de vitaminas y minerales ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 2. Ingesta de energía y micronutrientes media diaria en cada grupo de jugadores de baloncesto durante las ocho semanas de estudio**

Grupo	Grupo Control (GC)	Grupo Recuperación (RP)	<i>p</i>	RDA*
Energía (kcal/kg)	42.3±5.8	42.7±5.2	0.293	
Calcio (Ca) (mg)	1196±222	1251±123	0.361	1000
Magnesio (Mg) (mg)	572±109	581±85	0.863	320
Fósforo (P) (mg)	2184±84	2276±94	0.583	700
Hierro (Fe) (mg)	24.0±5.6	24.5±4.7	0.880	10
Zinc (Zn) (mg)	14.7±0.8	14.7±0.8	0.763	8
Vitamina A (µg)	1951±1270	2002±875	0.679	700
Vitamina E (mg)	18.0±3.5	17.5±2.6	0.466	15
Tiamina (mg)	2.70±0.20	2.6±0.32	0.537	1.1
Riboflavina (mg)	2.87±0.22	2.95±0.28	0.693	1.1
Niacina (mg)	39.0±6.8	38.2±4.8	0.850	14
Vitamina B6 (mg)	3.9±0.62	4.1±0.86	0.831	1.3
Ácido Fólico (mg)	654±176	656±169	0.985	400
Vitamina B12 (µg)	9.7±3.89	9.55±3.55	0.768	2.4
Vitamina C (µg)	361±148	401±179	0.683	700
Datos expresados como desviación estándar media. <i>p</i> : Diferencias entre grupos determinadas por pruebas t de Student para muestras independientes (CG vs. RP)				

### 1.3.2. Hematología

Analizando los diferentes marcadores hematológicos (Tabla 3), únicamente se observan diferencias significativas en el comportamiento de la Hb en el GC a lo largo del estudio ( $p < 0.05$ ). Además, en la Hb en el GC, se establecen diferencias significativas

( $p < 0.05$ ) entre T1 ( $15.33 \pm 0.72$ ) vs T2 ( $16.15 \pm 0.85$ ) y diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre T2 ( $16.15 \pm 0.85$ ) vs T3 ( $14.97 \pm 0.92$ ).

**Tabla 3. Marcadores hematológicos en los jugadores de baloncesto del grupo recuperación (RP) y el grupo control (GC)**

Test	Grupo	Tiempo			Sign.
		T1	T2	T3	<i>p</i>
<b>Leucocitos (LEU)</b> ( $\times 10^3/\mu\text{L}$ )	RP	$4.79 \pm 0.94$	$4.53 \pm 0.87$	$4.07 \pm 1.14$	NS
	GC	$5.97 \pm 1.54$	$6.16 \pm 1.41$	$5.89 \pm 1.39$	NS
<b>Monocitos (%)</b>	RP	$7.81 \pm 1.12$	$7.41 \pm 1.26$	$7.58 \pm 1.14$	NS
	GC	$6.97 \pm 1.47$	$6.69 \pm 1.43$	$7.67 \pm 2.09$	NS
<b>Linfocitos (%)</b>	RP	$39.16 \pm 9.54$	$37.31 \pm 9.31$	$36.01 \pm 8.36$	NS
	GC	$37.51 \pm 8.50$	$37.35 \pm 7.45$	$37.98 \pm 7.73$	NS
<b>Hematíes (HEM)</b> ( $10^6 \mu\text{L}^{-1}$ )	RP	$5.23 \pm 0.33$	$5.30 \pm 0.34$	$5.13 \pm 0.20$	NS
	GC	$5.25 \pm 0.40$	$5.52 \pm 0.49$	$5.27 \pm 0.33$	NS
<b>Hemoglobina (Hb)</b> ( $\text{g.dL}^{-1}$ )	RP	$15.39 \pm 1.11$	$15.53 \pm 0.97$	$14.99 \pm 0.65$	NS
	GC	$15.33 \pm 0.72$	$16.15 \pm 0.85^a$	$14.97 \pm 0.92^b$	S
<b>Hematocrito (Htc)</b> (%)	RP	$45.77 \pm 2.79$	$46.00 \pm 2.53$	$45.74 \pm 2.22$	NS
	GC	$46.10 \pm 2.46$	$47.67 \pm 2.25$	$47.07 \pm 2.51$	NS

Los datos son expresados Media  $\pm$  Desviación Estándar. Se realizó, el test lambda de Wilks para comprobar si había variaciones a lo largo de las diferentes fases del estudio. Se indicó significancia estadística, cuando  $p < 0,05$ . Diferencias significativas durante el periodo de estudio, calculadas mediante la prueba de Scheffé.

a: Diferencia significativa vs. T1,  $p < 0.05$ . b: Diferencia significativa vs. T2,  $p < 0.05$ .

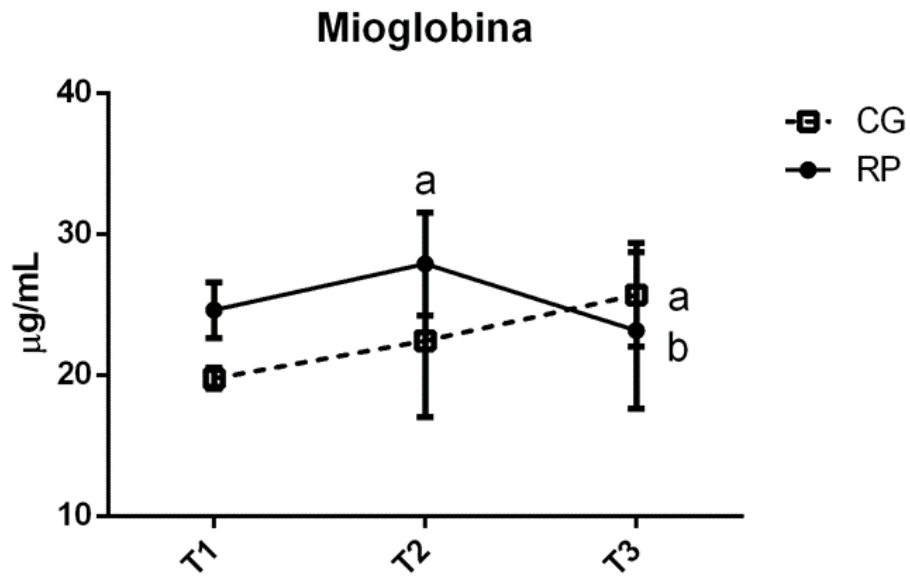
RP: Grupo Recuperación; GC: Grupo control; Sing: Significación.

### 1.3.3. Bioquímica

#### 1.3.3.1. Marcadores de daño Muscular

En la tabla 4, se muestra el comportamiento de los niveles de marcadores séricos bioquímicos hormonales y proteínas totales durante la pre-temporada (T1, T2; T3) en los grupos GC y RP. En comparación con el GC, el grupo RP tuvo un mejor patrón de cambios a lo largo del período de pretemporada, mostrando una tendencia descendente entre T1 y T3 en todos los marcadores musculares: CK, AST, ALT, LDH y Mb.

De forma individual, los resultados más relevantes, mostraron: la actividad de la CK mostró un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en GC en T3 ( $304.56 \pm 123.16$ ) con respecto a T1 ( $201.43 \pm 88.73$ ); con respecto a las transaminasas para la AST se ve una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) en RP en T3 ( $18.09 \pm 2.18$ ) con respecto a T1 ( $22.09 \pm 4.18$ ) y para la ALT se puede ver un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en GC en T2 ( $33.08 \pm 2.99$ ) con respecto a T1 ( $30.25 \pm 1.32$ ). Además, se observan (Figura 2; Tabla 4), cambios significativos ( $p < 0.05$ ) en el comportamiento a lo largo del estudio de Mb en ambos grupos GC y RP. También, para la Mb observamos en el GC un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) entre el inicio (T1) ( $19.77 \pm 0.74$ ) y el final del estudio (T3) ( $25.68 \pm 3.68$ ), sin embargo en el grupo RP se observó una disminución significativa ( $p < 0.05$ ), entre los puntos del estudio T2 ( $27.88 \pm 3.67$ ) y T1 ( $24.60 \pm 1.98$ ).



**Figura 2. Representación de los valores de Mioglobina en el grupo control y grupo recuperación a lo largo del periodo de estudio**

### ***1.3.3.2. Proteínas totales***

Las proteínas totales (Tabla 4), no se observaron cambios significativos en el comportamiento a lo largo del estudio, ni tampoco entre los puntos (T1, T2; T3) analizados.

**Tabla 4. Marcadores bioquímicos: musculares, proteínas totales y hormonales en los jugadores de baloncesto del grupo recuperación y el grupo control**

Test	Grupo	Tiempo			Sign.
		T1	T2	T3	<i>p</i>
<b>Creatina Kinasa (CK) (U/I) (0-190 U/L)</b>	RP	236.72±98.13	239.14±95.18	232.29±96.76	NS
	GC	201.43±88.73	254.16±118.26	304.56±123.16 <sup>a</sup>	NS
<b>Aspartato transaminasa (AST) (U/I) (80-40 U/L)</b>	RP	22.09±4.18	19.52±7.83	18.09±2.18 <sup>a</sup>	NS
	GC	23.64±2.11	22.55±2.55	24.97±1.93	NS
<b>Alanina transaminasa (ALT) (U/I) (10-50 U/L)</b>	RP	31.53±8.79	31.25±5.29	26.96±7.88	NS
	GC	30.25±1.32	33.08±2.99 <sup>a</sup>	31.66±2.26	NS
<b>Lactato deshidrogenasa (LDH) (105-333 UI/L)</b>	RP	409.77±73.90	391.19±72.49	360.34±64.07	NS
	GC	322.43±110.15	334.27±108.90	357.68±113.59	NS
<b>Mioglobina (Mb) (ng/mL) (25-72 ng/mL)</b>	RP	24.60±1.98	27.88±3.67 <sup>a</sup>	23.17±5.53 <sup>b</sup>	NS
	GC	19.77±0.74	22.43±5.40	25.68±3.68 <sup>a</sup>	S
<b>Proteínas totales (PT) (g/dL) (6,6-8,7 g/dL)</b>	RP	7.70±0.44	7.73±0.51	7.80±0.55	NS
	GC	7.73±0.32	7.77±0.38	7.78±1.11	NS
<b>Cortisol (C) (mg/dL) (5-25 mg/dL)</b>	RP	9.75±5.04	16.31±5.95 <sup>a</sup>	16.16±6.27 <sup>a</sup>	S
	GC	9.93±4.87	16.44±6.03 <sup>a</sup>	17.29±4.97 <sup>a</sup>	S

Los datos son expresados Media ± Desviación Estándar. Se realizó, el test lambda de Wilks para comprobar si había variaciones a lo largo de las diferentes fases del estudio. Se indicó significancia estadística cuando  $p < 0.05$ . Diferencias significativas durante el periodo de estudio, calculadas mediante la prueba de Scheffé.

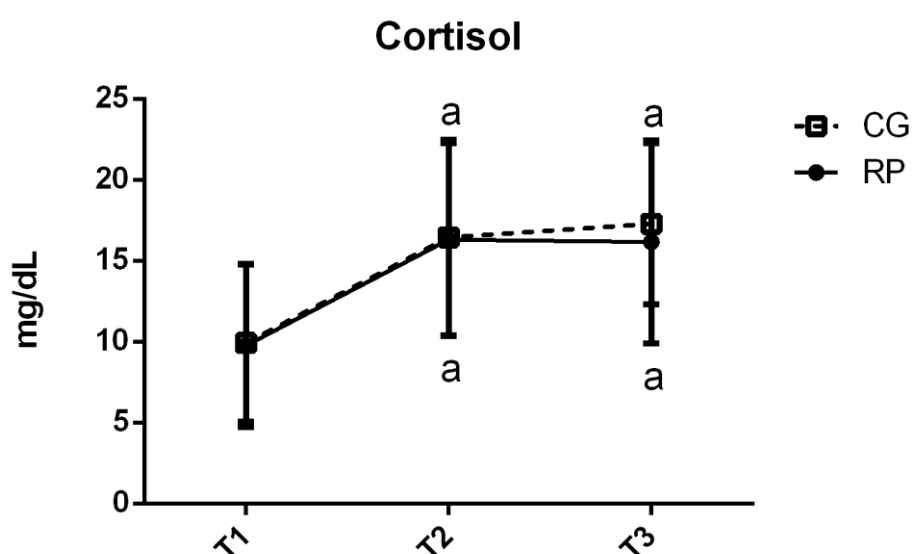
a: Diferencia significativa vs. T1,  $p < 0.05$ . b: Diferencia significativa vs. T2,  $p < 0.05$ .

RP: Grupo Recuperación; GC: Grupo control; Sig: Significación.



### 1.3.3.3. Hormonas

El comportamiento hormonal (Figura 3; Tabla 4) reflejado en el C se observó un cambio significativo ( $p < 0.05$ ) en el comportamiento durante todo el estudio. De manera específica se establecieron aumentos significativos en ambos grupos GC y RP en T2 (GC  $16.44 \pm 6.03$ ; RP  $16.31 \pm 5.95$ ) y T3 (GC  $17.29 \pm 4.97$ ; RP  $16.16 \pm 6.27$ ) con respecto al inicio del estudio (T1) (GC  $9.93 \pm 4.87$ ; RP  $9.75 \pm 5.04$ ).



**Figura 3. Representación de los valores de cortisol en el grupo control y grupo recuperación a lo largo del periodo de estudio**

### 1.3.4. Determinación del rango de esfuerzo percibido

La tabla 5 muestra el RPE en el GC, la escala de Borg CR10 indica un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) de la fatiga percibida en T2 ( $8.64 \pm 1.26$ ) y T3 ( $8.96 \pm 1.16$ ) con respecto a T1 ( $7.03 \pm 1.79$ ); contrariamente para el grupo RP se reportó una disminución significativa de la fatiga percibida ( $p < 0.05$ ) en T2 ( $5.14 \pm 1.98$ ) y T3 ( $4.12 \pm 2.06$ ) con

respecto a T1 ( $7.62 \pm 2.13$ ). Además, el grupo RP mostró cambios significativos ( $p < 0.05$ ) en el comportamiento del RPE a lo largo del estudio.

**Tabla 5. Determinación del Esfuerzo percibido BORG CR-10 en los jugadores de baloncesto del grupo recuperación (RP) y el grupo control (GC)**

Test	Grupo	Tiempo			Sign.
		T1	T2	T3	<i>p</i>
<b>BORG</b>	RP	$7.62 \pm 2.13$	$5.14 \pm 1.98^a$	$4.12 \pm 2.06^a$	S
<b>CR-10</b>	GC	$7.03 \pm 1.79$	$8.64 \pm 1.26^a$	$8.96 \pm 1.16^a$	NS

Los datos son expresados Media  $\pm$  Desviación Estándar. Se realizó, el test lambda de Wilks para comprobar si había variaciones a lo largo de las diferentes fases del estudio. Se indicó significancia estadística cuando  $p < 0,05$ . Diferencias significativas durante el periodo de estudio, calculadas mediante la prueba de Scheffé.

a: Diferencia significativa vs. T1,  $p < 0.05$ .

RP: Grupo Recuperación; GC: Grupo control; Sig: Significación.

### 1.3.5. Determinación de la fuerza de cuádriceps por dinamometría

La tabla 6 muestra la determinación de la FC, en comparación con el GC, el grupo RP tuvo un mejor patrón de cambios a lo largo del período de pretemporada, mostrado una tendencia ascendente, no significativa, en la ganancia de fuerza entre el inicio del estudio (T1  $77.42 \pm 8.34$ ) y los dos puntos evaluados (T2  $78.41 \pm 6.82$ ; T3  $80.10 \pm 7.31$ ). Sin embargo, en el GC se observó lo contrario, es decir, una disminución no significativa. Ninguno de los grupos, GC y RP, tuvo cambios significativos en el comportamiento de la FC a lo largo del estudio.

**Tabla 6. Determinación de la Fuerza de Cuádriceps por Dinamometría**

Test	Grupo	Tiempo			Sign.
		T1	T2	T3	<i>p</i>
Dinamómetro	RP	77.42±8.34	78.41±6.82	80.10±7.31	NS
Cuádriceps	GC	71.06±7.91	68.97±7.26 <sup>a</sup>	68.66±8.27	NS

Los datos son expresados Media ± Desviación Estándar. Se realizó, el test lambda de Wilks para comprobar si había variaciones a lo largo de las diferentes fases del estudio. Se indicó significancia estadística cuando  $p < 0,05$ . Diferencias significativas durante el periodo de estudio, calculadas mediante la prueba de Scheffé.

a: Diferencia significativa vs. T1,  $p < 0.05$ .

RP: Grupo Recuperación; GC: Grupo control; Sig: Significación.

### 1.3.6. Correlación entre el marcador hormonal y marcadores musculares

Las correlaciones entre el C y los marcadores musculares CK, LDH y Mb se muestran en la tabla 7. En el GC hubo altas correlaciones positivas para el C con todos los marcadores musculares CK (+0.92  $p < 0.05$ ); LDH (+0.82); Mb (+0.91  $p < 0.05$ ). Para el grupo RP se observaron bajas correlaciones negativas para el C con CK (+0.14  $p < 0.05$ ); Mb (0.24) y moderadamente negativa para LDH (-0.77).

**Tabla 7. Correlaciones entre el marcador hormonal C y marcadores bioquímicos musculares CK, LDH y Mb**

Marcador hormonal → Marcadores musculares ↓	C – Cortisol	
	r (RP)	r (GC)
<b>CK – Creatina Kinasa</b>	+0,14*	+0.92*
<b>LDH – Lactato deshidrogenasa</b>	-0,77	+0.82
<b>Mb – Mioglobina</b>	+0,24	+0,91*

Datos expresados según el análisis del coeficiente de correlación de Pearson

r = Coeficiente de determinación \*p <0.05

RP: Grupo Recuperación; GC: Grupo control.

#### 1.4. Discusión

Hasta lo que se conoce el presente estudio puede ser el primero en examinar la aplicación de la CC con la herramienta *Pressurice Compressport®*, como una estrategia de recuperación muscular en los jugadores de baloncesto utilizando como indicadores las respuestas bioquímicas y hormonales. El principal hallazgo de la presente investigación fue que el empleo de la CC, con el protocolo de uso descrito en nuestro estudio, podría estar asociada con reducciones en los marcadores del daño muscular y la inflamación que implican mejoras en la recuperación muscular en línea con lo descrito en otros estudios que emplean la crioterapia (15, 20, 22) o el empleo de prendas de compresión (18, 32, 33). Además, la mejora significativa en el esfuerzo percibido (RPE) y una tendencia incremental en la fuerza del cuádriceps (FC) observadas al final de la pre-temporada en el grupo RP podrían apuntar a una intervención eficaz del programa de CC como modelo de recuperación aplicable.

Como ya es conocido la repetición de entrenamientos o partidos con una elevada intensidad induce a fatiga, daño muscular y deteriora el rendimiento, con una disminución de la capacidad competitiva (10, 14). Ante esta situación se han planteado diferentes mecanismos de recuperación con terapias de frío (17, 18, 22, 24) y mecanismos compresivos (17, 18, 34).

Hasta el presente estudio los efectos de la CC como terapia sobre la recuperación muscular no han sido investigados en situaciones reales a largo plazo (8 semanas), durante una pre-temporada de entrenamientos de elevada exigencia física. Por otra parte, hay estudios que indican que un solo episodio de terapia con frío (35) o con medias de compresión (18, 34) después del ejercicio no modifican significativamente la recuperación muscular. Por lo tanto, la duración óptima y la combinación de las intervenciones de recuperación, de frío y compresión, conjuntamente no están bien definidas en los deportistas.

El ejercicio intenso sostenido aumenta los niveles de marcadores de daño muscular circulante, de LDH, CK y Mb (11, 15) y ALT/AST (36). También debemos tener en cuenta las hormonas, como el cortisol, que informa sobre la activación de los procesos catabólicos y las acciones anti-anabólicas relacionadas con la renovación de las proteínas. Todos estos parámetros son indicativos de un aumento del daño muscular y del estrés oxidativo, que afectan negativamente a los atletas y aumentan la duración necesaria para una recuperación óptima. Como resultado de ello los atletas no sólo pueden reducir su rendimiento y también pueden poner en riesgo su salud (37, 38).

En función de la intensidad del ejercicio ejecutado los tiempos de recuperación fisiológicos son variables, desde horas hasta incluso una semana, lo que hace que los diferentes sistemas de la recuperación del músculo esquelético evolucionen de manera diferente (36, 39). Como consecuencia del daño muscular y la fatiga muscular en los

atletas descende la fuerza muscular, la capacidad de trabajo y el rendimiento deportivo. En el músculo se produce deterioro en la capacidad de almacenamiento de glucógeno, la alteración ultra-estructural del sarcómero asociada al aumento de la descomposición de las proteínas musculares contráctiles y una exacerbación de las respuestas inflamatorias (10, 40, 41).

En nuestro estudio, la intervención de recuperación con CC se realizó diariamente después de todos los entrenamientos y de los partidos. En ambos grupos de estudio, RP y GC, las actividades de CK y LDH, mostraron niveles por encima de rango fisiológico al inicio del estudio (T1), observándose una disminución progresiva de los marcadores de daño muscular al final de la pre-temporada en el grupo RP (T3). Por el contrario, en el GC, aumentaron de los marcadores de los niveles de metabolismo muscular LDH y CK (T1 vs. T3  $p < 0.05$ ). Con respecto a la Mb en el grupo RP, esta siguió un patrón diferente durante la temporada al observado en el GC, no observando cambios significativos en el transcurso de la temporada ( $p > 0.05$ ) pero si aumentos en el GC ( $p < 0.05$ ). Más específicamente la Mb, tras aumento significativo entre T1 y T2 ( $p < 0.05$ ), posteriormente descende significativamente entre los puntos de muestreo siguientes (T2 vs T3  $p > 0.05$ ), a pesar de que el grupo RP realizó mayor carga de entrenamientos y partidos, lo que sugiere una alta eficacia del programa de CC en periodos de largos de aplicación (8 semanas). En contra, en el GC, en el que los jugadores no fueron expuestos al programa de recuperación de CC, hubo aumentos de Mb, especialmente en T3 donde se elevó significativamente ( $p > 0.05$ ) en relación a inicio T1, lo que sugiere una peor recuperación muscular a la observada en el grupo experimental.

En este sentido, las diversas formas de crioterapia, incluida la IAF, son tratamientos eficaces para disminuir el metabolismo, la inflamación, el flujo sanguíneo, el dolor y las temperaturas cutáneas, musculares e intra-articulares (42). Algunos estudios

han utilizado inmersiones de  $<10$  °C con diferentes duraciones de tratamiento (3-10 minutos), lo que contrae los capilares, reduce la permeabilidad capilar y el flujo sanguíneo atenuando así la hinchazón y la respuesta inflamatoria, lo que puede reducir los efectos negativos asociados con el ejercicio (21, 24, 42, 43). Además, se ha especulado que con la aplicación de la IAF en zonas locales que presentan inflamación permiten reducir la permeabilidad de las membranas, reduciendo así el flujo intracelular-intravascular de CK y Mb (42, 44), lo que podría explicar los resultados observados en el grupo RP. En este sentido, Seco et al. (15), reportan que el grupo de jugadores de baloncesto que fueron tratados mediante IAF, la Mb fue significativamente más baja que en el grupo control, entre el inicio y el final del estudio, además la Mb mostró un patrón de comportamiento significativamente diferente entre ambos grupos, resultados muy similares a los que se ha descrito en este estudio. Por otro lado, el GC a lo largo de la pre-temporada, manifestada con el aumento significativamente ALT (T1 vs. T2  $p<0.05$ ) y AST, indicativo de fatiga muscular (36), en contra de lo que ocurrió en el grupo RP (disminución de ALT y AST; T1 vs. T3  $p<0.05$ ).

Por todo esto creemos altamente relevante que la fuerza estudiada en la prueba FC fue mayor en el RP que en el grupo control después de la recuperación al final de la pre-temporada. Se observaron ganancias a lo largo de la pre-temporada en RP y una disminución en GC. Creemos que tanto la respuesta bioquímica como la de la fuerza sugieren una alta eficacia de la estrategia de recuperación muscular de CC empleada con el grupo experimental. Estos resultados fueron apoyados por las disminuciones en RPE ( $p<0.05$ ), a mitad (T2) y al final de la temporada (T3), según lo medido con la escala de Borg CR-10.

Por otra parte, el uso de prendas de compresión aplicadas a zonas loco-regionales, han resultado efectivas al disminuir algunos marcadores del metabolismo muscular,

observando un efecto positivo significativo de la compresión en CK (33) como la Mb (45) y efecto moderado sobre la atenuación de AST (19). Sin embargo, anteriormente se describió la influencia positiva, pero no significativa, de las prendas de compresión en la atenuación de los marcadores de daño muscular, con el aumento significativo de CK, LDH, AST y ALT en el CG asociado al aumento no significativo en el grupo de empleo de prendas de compresión (sin diferencias entre grupos) (46). Estos resultados son similares a los que hemos reportado, donde se observó una disminución progresiva de los marcadores de daño muscular al final de la pre-temporada en el grupo RP, lo que sugiere que la terapia compresiva que aplicamos estimula una recuperación más rápida. Se han propuesto mecanismos de acción de las prendas de compresión, para explicar esta respuesta: es probable que una reducción del daño estructural asociado a la infiltración de neutrófilos y al edema explique la menor respuesta de la CK, Mb, LDH, AST y ALT (la liberación de marcadores de daño se atenúa como resultado de la compresión), el mayor retorno venoso podría mejorar la eliminación de proteínas miofibrilares y otros productos debido al mayor retorno venoso (34) y los cambios en la permeabilidad del fluido intracelular-intravascular que expliquen la reducción de la Mb (45).

Nuestros datos sugieren un impacto positivo de CC a largo plazo y creemos que la aplicación de la CC mediante *potencialmente* también podría usarse para la recuperación muscular a corto plazo por el efecto sinérgico basado en las acciones conjuntas de ambas herramientas de recuperación. Se produce reducción del flujo sanguíneo cutáneo, cambios en el fluido intracelular-intravascular, reducción del edema muscular y aumento del gasto cardíaco, lo que puede aumentar el flujo sanguíneo y el posible transporte de nutrientes y desechos a través del cuerpo (15, 34). Aunque es necesario estudios específicos previos para la comparación y para guiar la selección del intervalo de muestreo.



Los aumentos de los niveles de C que observamos en ambos grupos se deben al esfuerzo continuado durante largos periodos de tiempo, similares a otro estudio (11). No existen diferencias entre ambos grupos, obteniéndose un aumento al inicio del estudio (T1) y los dos puntos consecutivos de muestreo (T2 y T3) para ambos grupos RP y GC. Estos niveles elevados de C, muestran el estrés físico acumulado debido al nivel de las cargas de trabajo. Y muestran la ineficacia de la CC aplicada de forma loco-regional, de la misma forma la aplicación en monoterapia de IAF (47) y de prendas de compresión (48), localmente, no mostraron ningún efecto en la atenuación de los niveles de C. Únicamente, Grasso et al. (49) utilizando la crioterapia de acción de sistémica aplicada mediante criocámaras de cuerpo completo a una temperatura de  $-140^{\circ}\text{C}$  durante 3 minutos, ha mostrado en un equipo de jugadores de rugby, que disminuye significativamente los niveles de C.

Además, las correlaciones calculadas en el GC podrían ilustrar esta conexión entre degradación muscular y los niveles de C, reflejada en aumento de los valores de los biomarcadores del metabolismo muscular CK, LDH y Mb (50). Contrariamente en el grupo RP, aplicando de forma local CC en las extremidades inferiores, donde se encuentran los músculos predominantes en la actividad física, las correlaciones analizadas muestran que el C podría no tener influencia sobre los marcadores de daño muscular. Por lo tanto, la administración de CC podría ser una buena estrategia para aumentar la capacidad de recuperación muscular por la mejora de los parámetros del metabolismo muscular y por lo tanto disminuir la fatiga y el daño muscular, que viene determinado por los mecanismos de acción (34, 45) de las dos técnicas de recuperación que engloba la CC. En cualquier caso, con el fin de optimizar el rendimiento y la recuperación en disciplinas que requieren un esfuerzo físico muy intenso, la investigación futura necesita descifrar los mecanismos moleculares implicados.

Por los datos aportados en esta investigación, el presente trabajo apoya la teoría de que las técnicas de medicina de deporte, como la CC, contribuyen a una recuperación mejor y más rápida de la fatiga, mejorando así el rendimiento durante un periodo largo de elevada exigencia física. El estudio también sugirió que se necesita investigación futura para explotar aún más los beneficios de los métodos terapéuticos para promover la recuperación de la fatiga muscular, incluidos los que son más baratos y requieren menos infraestructura.

Se deben reseñar que había varias limitaciones que deben ser reconocidas con respecto al presente estudio. En primer lugar, el método de muestreo consecutivo y el diseño prospectivo de la cohorte deben considerarse para estudios futuros con el fin de diseñar ensayos clínicos controlados aleatorios. Además, al tratarse la CC de una técnica de recuperación que engloba dos técnicas (IAF y el uso de prendas de compresión) la inclusión de dos grupos donde se apliquen en monoterapia proporcionaría una base para examinar si existe una recuperación muscular, variaciones en la fuerza y en la percepción del esfuerzo mayor en la CC que en IAF o por el uso de prendas de compresión. Por otro lado, hay que tener en cuenta que una combinación de factores fisiológicos y psicológicos podrían tener un papel importante en la percepción individual, mejorando así potencialmente la recuperación del entrenamiento (51). Por lo tanto, no se puede descartar que la percepción, los factores psicológicos y los efectos del placebo pudieran haber influido en los resultados reportados en el presente trabajo asociado con una reducción de la sensación de fatiga, evaluada por RPE, durante la aplicación de CC mediante *Pressurice Compressport*®.

Por todo lo anterior, creemos que la aplicación de CC durante una pre-temporada es potencialmente capaz de promover la recuperación del daño muscular asociada con la competición y el entrenamiento. En particular, se ha demostrado que el CC mejoró la

recuperación muscular en jugadores de baloncesto durante una pre-temporada de 8 semanas de duración asociada con reducciones en todos los marcadores del daño muscular. Además, las mejoras de la fuerza muscular y la disminución significativa de la percepción de fatiga al final del estudio sugieren una reducción de la fatiga muscular en el grupo de deportistas que han utilizado la CC. Sin embargo, la CC en relación al nivel hormonal de C no fue efectiva.

## **2. Capítulo II: Estrategias artificiales de entrenamiento en altitud: ¿Existe correlación entre parámetros hematológicos y de rendimiento físico?**

### **2.1. Antecedentes**

En los atletas de fondo, la resistencia y/o capacidad aeróbica es clave en su rendimiento deportivo, por ello adquieren especial relevancia aquellos factores que mejoren el transporte y la utilización del oxígeno a nivel muscular (52). Por esta razón, los entrenadores y los atletas introducen diversas estrategias en los métodos de entrenamiento convencionales que sean capaces de inducir adaptaciones que mejoren la funcionalidad muscular, sanguínea, cardiovascular, respiratoria, endocrino-metabólica (53). De entre ellas destaca la utilización de la exposición continuada a hipoxia, típica de entrenamiento de altitud, que desencadena una serie de respuestas y adaptaciones fisiológicas beneficiosas para el rendimiento de los atletas (54). Para ello es necesario que los atletas vivan y entrenen en altitud durante periodos de tiempo de al menos 20 días (55), que es el tiempo de duración de la fase de aclimatación, fase de entrenamiento primario, fase de recuperación y fase de preparación para el retorno al nivel del mar necesarias para inducir una mejora en el rendimiento deportivo a nivel del mar (56). Estos periodos influyen negativamente en la intensidad del entrenamiento y supondrá un descenso en el rendimiento (57). Con el fin de superar estas desventajas del entrenamiento en altitud en los últimos años, se han utilizado nuevos dispositivos que pretenden simular los efectos fisiológicos de la altitud (58).

Las estrategias de entrenamiento en condiciones de altitud simulada empleadas en deportistas de élite son la exposición a hipoxia intermitente (*intermitente hypoxic exposure, IHE*) la cual se aplica mediante la estancia pasiva en habitaciones con ambiente

hipóxico o a través de la respiración de aire con menos concentración de oxígeno y la exposición a hipoxia intermitente durante la realización del entrenamiento (*intermittent hypoxic training, IHT*), que consiste en entrenamiento en condiciones de hipoxia (56).

El objetivo de ambos métodos, IHE y IHT, es estimular la eritropoyesis del deportista y generar adaptaciones que mejoren el perfil hematológico, que tiene como resultado final un incremento de la capacidad de transportar oxígeno en la sangre (59). Esta serie de respuestas y adaptaciones fisiológicas, se inician con la producción de eritropoyetina (EPO), que conlleva un aumento en la cantidad de HEM, de la masa total de Hb y consecuentemente se incrementa el nivel de Hct (60). Este cambio de los valores hematológicos del atleta, permite una mejora de los parámetros fisiológicos relacionados con el rendimiento, tales como el umbral-rendimiento anaeróbico y el metabolismo aeróbico (reducción de tiempo de prueba, el incremento del Consumo máximo de oxígeno ( $\text{CO}_2\text{max}$ ) y aumento de los umbrales (61).

Los programas de IHT parecen ser mucho más beneficiosos que los de IHE para estimular la eritropoyesis y el rendimiento deportivo, porque el ejercicio en hipoxia juega un papel importante en el conjunto de adaptaciones hematológicas y fisiológicas (62). Sin embargo, la IHT supone un mayor desgaste, fatiga, inmunosupresión y catabolismo muscular durante los periodos de entrenamiento que los realizados en normoxia (63-65). Por lo tanto, el tiempo de recuperación entre entrenamientos serían mayores, lo que alteraría un sistema clásico de entrenamiento (59).

Todo este incremento del estrés orgánico, ocasionado por IHT, supondría la modificación en nuestra metodología de entrenamientos establecida hace más de 20 años, y que consideramos adecuada por los resultados obtenidos, con atletas que fueron campeones olímpicos, mundiales y europeos en competiciones de atletismo de medio fondo y fondo. Además, nuestros AE del estudio, vivían y entrenaban en Soria a 1100-

1200 metros de altitud sobre el nivel del mar, lo que se considera “Media Altitud” con un porcentaje de saturación de oxígeno (% SaO<sub>2</sub>) en reposo del 95 % (66).

Ante esta situación, hizo que nos planteáramos analizar la influencia de IHE en los cambios hematológicos y en pruebas específicas de rendimiento físico, sobre el entrenamiento clásico en AE, de medio fondo y fondo que competían en pista al aire libre, que continuamente estaban sometidos a una situación de hipoxia moderada, lo que suponía un doble estímulo hipóxico. Este estudio representa una novedad, según nuestro conocimiento, debido a que en otras investigaciones los atletas únicamente estaban sometidos a un solo estímulo de hipoxia (IHT o IHE).

## **2.2. Material y métodos**

Hemos estudiado el efecto de IHE en atletas de élite (AE) durante el periodo precompetitivo de entrenamiento en una temporada. El protocolo del estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Valladolid (España) y siguiendo las recomendaciones de la Declaración de Helsinki. Hemos realizado el control analítico en 2 momentos del estudio: a) en el día 1, justo antes de comenzar el estudio (T1); b) en el día 28, justamente al final del estudio (T2).

### **2.2.1. Sujetos del estudio**

Un total de doce AE masculinos profesionales (n=12) pertenecientes al Centro de Alto Entrenamiento y Promoción Deportiva de Soria (CAEP) y al Equipo Nacional Español participaron en el estudio. Todos los AE fueron voluntarios e informados sobre el protocolo de investigación. Las características físicas de los AE, se muestran en la

Tabla 8. Del total de 12 AE, 8 competían en las disciplinas de 800 y 1.500 metros lisos, 3 en 5.000 metros lisos y 1 en 3.000 metros obstáculos. Todos los sujetos firmaron un consentimiento informado y completaron un cuestionario médico, además de un examen cardio-pulmonar y electrocardiográfico antes del ingreso al estudio. Ninguno de los sujetos fumaba, ni bebía alcohol o tomaba medicamentos capaces de alterar la respuesta hematológica. La patología concomitante fue descartada por la historia clínica y el examen médico.

**Tabla 8. Características físicas y antropométricas de los atletas de élite (AE)**

<b>Características físicas y antropométricas</b>	<b>Atletas de Élite (AE)</b>
<b>Edad (años)</b>	26.12±2.90
<b>Peso (kilogramos).</b>	63.37±9.72
<b>Altura (centímetros)</b>	175.872±9.12
<b>Índice de masa Corporal (IMC) (Peso/Altura<sup>2</sup>)</b>	20.49±8.83
<b>Porcentaje de Grasa (%) (Yuhasz)</b>	8.93±1.21
Los datos son expresados Media ± Desviación Estándar	

Los AE seguían una dieta similar durante toda la temporada y, especialmente, siguieron la misma dieta durante el estudio, que fue constantemente supervisada por el médico del CAEP. Todos los atletas siguieron el mismo programa de entrenamiento (Tabla 9), que consistía en 2 sesiones diarias, de lunes a sábado. La sesión de la mañana consistió en entrenamiento específico (2 horas) y después de 1 hora hicieron la sesión de hipoxia. En la tarde la sesión consistió en 1 hora de entrenamiento continuo y mixto. Los domingos, solo hacían el entrenamiento matutino y la sesión de hipoxia. La duración del estudio fue de 4 semanas, 3 semanas de carga (alta intensidad entrenamiento) y una semana de descarga. En esta semana es donde realizamos las pruebas de rendimiento, las mismas pruebas que se realizaron antes de comenzar el estudio de hipoxia.

**Tabla 9. Programa de entrenamiento de los atletas de élite**

<b>Día de la semana</b>	<b>Mañana</b>	<b>Tarde</b>
<b>Lunes</b>	Capacidad Láctica	Trabajo continuo Capacidad Aeróbica
<b>Martes</b>	Potencia Aeróbica	Trabajo continuo Capacidad Aeróbica
<b>Miércoles</b>	Fuerza Resistencia	Trabajo continuo Mixto
<b>Jueves</b>	Potencia Láctica	Trabajo continuo Capacidad Aeróbica
<b>Viernes</b>	Velocidad Resistencia	Trabajo continuo Potencia Aeróbica
<b>Sábado</b>	Mixto Aeróbico – Anaeróbico	Trabajo continuo Capacidad Aeróbica
<b>Domingo</b>	Capacidad Aeróbica	Descanso

### **2.2.2. Control analítico**

Hemos utilizado las reglas de la AMA para la recolección y el transporte de muestras ([www.ama-wada.org](http://www.ama-wada.org)). Todas las muestras se recolectaron en condiciones basales y en ayunas con un período de tiempo de al menos 12 horas desde la última ingesta. Todas las muestras de sangre se tomaron a las 8:30 a.m. y todos los participantes descansaron cómodamente en una posición de sentados o tumbados. Se empleó el sistema Vacutainer (10 ml para tubos de suero, tubos de 5 ml y 3 ml con EDTA). Inmediatamente



después de la extracción, los tubos se invirtieron 10 veces y fueron almacenados en una caja sellada para después ser conservados a 4°C. La temperatura, durante el transporte al laboratorio, estaba controlada por el uso de una etiqueta específica (Libero Ti1, Elpro, Buchs, Suiza) que se utilizó para medir y registrar la temperatura.

Las muestras fueron transportadas empleando unas adecuadas condiciones y el tiempo para depositar las muestras en el laboratorio fue 30 minutos después de la extracción. Los retrasos no afectaron a la calidad analítica de los parámetros estudiados. Las muestras con EDTA (anti-coagulante) se homogeneizaron durante 15 minutos antes de ser analizadas, como recomienda la AMA. Los tubos que contenían sangre más EDTA se centrifugaron a 2000 rpm durante 15 minutos. El plasma fue extraído utilizando una pipeta Pasteur y transferido a un tubo estéril de almacenamiento y conservado a -20°C hasta que fue analizado.

Los LEU, MON, linfocito (LIN), HEM, Hb y Hct se determinaron en un contador hematológico modelo System Coulter Counter MAX-M. Para el análisis del hierro sérico (sFe) se usó el analizador químico automático modelo Synchron CX del laboratorio Beckman, para la determinación de la ferritina (FER) fue necesario realizarla en alícuotas de suero duplicadas mediante el kit comercial estandarizado IRMA, del laboratorio Bio-Rad.

Para la determinar la EPO se empleó un ensayo inmunométrico y quimioluminiscente en fase sólida mediante el analizador Immulite 2000 Epo (Diagnostic Products Corporation). Los reticulocitos (RET) se midieron por fluorescencia usando citometría de flujo (Beckman Dickinson, Beckman Coulter). Para cuantificar el contenido de la hemoglobina reticulocitaria (RET-Hb) se usó el analizador XE-2100 (Sysmex)

Los cambios %  $\Delta$ PV se calcularon usando la ecuación de Van Beaumont (30). Además, los valores de los marcadores hematológicos se ajustaron para los cambios en el

volumen plasmático usando la siguiente fórmula: Valor corregido = Valor no corregido x  $((100 + \% \Delta PV) / 100)$  (31).

### 2.2.3. Protocolo de exposición de hipoxia intermitente

Los AE, estaban en reposo y cómodamente sentados, mientras recibían la sesión diaria de IHE (Figura 4) durante un periodo de 4 semanas de duración, respirando a través de una mascarilla manual durante un total de 90 minutos diarios



**Figura 4. Exposición de hipoxia intermitente**

La respiración intermitente se administró en una relación de 5 minutos en condiciones hipóxicas seguidas por 5 minutos de aire ambiental normóxico. Recibieron un gas hipóxico normobárico a través de un dispositivo de hipoxia *GO<sub>2</sub> Altitude* (Biomedtech, Victoria, Australia). Para permitir suficiente tiempo de adaptación y de acuerdo con las instrucciones del fabricante, la concentración de oxígeno en el gas hipóxico se redujo progresivamente (Tabla 10). Las condiciones hipóxicas de este protocolo supone someter a los AE a unas altitudes clasificadas como “Alta Altitud” (4000-5000 metros) y “Muy Alta Altitud” (+5000 metros) (66). La saturación periférica

de oxígeno para cada individuo fue medida automáticamente por el dispositivo hipoxia GO<sub>2</sub> Altitude o manualmente por un ayudante en la investigación con un plusioxímetro de dedo (INVIPOX LTD800, Diemer, Vizcaya, Spain). Ninguno de los sujetos fue aclimatado o expuesto con anterioridad reciente a la altitud o hipoxia, excepto que viven en Soria (1.100 m). Dado que el presente estudio se realizó durante el importante período precompetitivo de la temporada la IHE se administró durante las horas de recuperación entre entrenamientos.

**Tabla 10. Protocolo de exposición de hipoxia intermitente (IHE)**

Semana n°	Duración (minutos)	% Fracción Inspirada de Oxígeno (%FI O <sub>2</sub> )	% Saturación de Oxígeno (%SaO <sub>2</sub> )	Altura Simulada (metros)	Rango de Clasificación de la Altitud
1	90	13	88-84	4000	Alta Altitud
2	90	12	84-80	4500	
3	90	11	80-77	5000	
4	90	10	76-74	5500	Muy Alta Altitud

#### 2.2.4. Evaluación del rendimiento físico

El rendimiento físico de los AE se evaluó mediante el tiempo de prueba individual que se realizaron en el primer día del estudio (T1), cuando el tratamiento de hipoxia todavía no había comenzado, y el último día del estudio (T2) después de 4 semanas de IHE. La evaluación de la potencia aeróbica, la potencia anaeróbica y la velocidad se realizaron en la pista de atletismo, a distancias de 1000 metros (m), 400 m y 60 m, respectivamente. En la determinación del CO<sub>2</sub>max, se utilizó un protocolo de cinta de Bruce modificado (67). La prueba incluyó un período de calentamiento de 5 minutos en una cinta de correr monitorizada a una velocidad constante de 9 kmh<sup>-1</sup>. Realizamos

incrementos de velocidad de  $1 \text{ kmh}^{-1}$  cada 2 minutos, de forma continuada hasta el agotamiento del AE. Se utilizó un analizador de gases automatizado (Vmax 29, Sensormedics, USA) para registrar los parámetros respiratorios cada 20 segundos mientras las personas inspiraban el aire ambiente. La prueba finalizó cuando los AE no pudieron mantener el ritmo preestablecido de la cinta de correr. El  $\text{CO}_2\text{max}$  ( $\text{ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) para cualquier intervalo de 20 segundos se registró como  $\text{CO}_2\text{max}$  del individuo.

### **2.2.5. Análisis estadístico**

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando IBM Statistical Package (SPSS Versión 22) y Graphpad Prism (Graphpad Software Version 6.01 San Diego, CA). Los datos se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar (DS). Las diferencias en los parámetros hematológicos, se evaluaron mediante una prueba t de Student pareada paramétrica para identificar diferencias significativas entre T1 y T2 de forma independiente, después de que se confirmó la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk, para decidir utilizar el análisis paramétrico. Se consideraron diferencias significativas para  $p < 0.05$ .

### **2.2.6. Limitaciones**

En nuestro estudio, la principal limitación es la ausencia de un grupo control de población y además el tamaño muestra es pequeño. Ambas limitaciones son como consecuencia de la dificultad de obtener grupos de atletas con las características antropométricas, físicas, deportivas de nuestros deportistas profesionales y que además vivieran en una altitud media. La inclusión de este grupo de control proporcionaría una

base para examinar si existe una relación de causa-efecto entre la utilización de IHE y las posibles fluctuaciones hematológicas y las variaciones en las pruebas específicas de rendimiento.

## **2.3. Resultados**

### **2.3.1. Hematología**

El %  $\Delta$ PV en los AE entre T1 y T2 fue una disminución del 4.5 %, ajustándose con este resultado todos los valores analizados en T2 del estudio.

Las variables hematológicas y los parámetros de rendimiento analizados seguían una distribución normal.

Analizando las variables hematológicas (Tabla 11), y que presentan los datos pre (T1) y post (T2) del mesociclo de entrenamiento, muestran que en la serie blanca: LEU, MON, LIN, no existen diferencias significativas en ninguna de las variables. Con respecto a la serie roja: HEM, HB y HCT presentan un ligero incremento entre T1 y T2, pero no existen diferencias significativas entre ambos periodos de tiempo. De igual forma, ocurrió en los parámetros de control del metabolismo del hierro: SFe y FER.

Tabla 11. Variables Hematológicas del estudio

Parámetro	Tiempo (T)	Media±DS	p
Leucocitos (x10 <sup>3</sup> /μL)	T1	5.29±0.88	0.055
	T2	6.18±1.28	
Monocitos (%)	T1	8.81±1.48	0.270
	T2	8.31±0.88	
Linfocitos (%)	T1	37.59±9.65	0.911
	T2	37.90±7.89	
Hematíes (10 <sup>6</sup> μL <sup>-1</sup> )	T1	4.96±0.54	0.427
	T2	5.03±0.45	
Hemoglobina (g.dL <sup>-1</sup> )	T1	15.25±1.58	0.227
	T2	15.50±1.24	
Hematocrito (%)	T1	44.51±3.66	0.598
	T2	45.67±2.28	
Hemoglobina Reticulocitaria (pg)	T1	342.13±10.08	0.024
	T2	356.75±14.57	
Hierro Sérico (μg. dL <sup>-1</sup> )	T1	106.91±31.53	0.222
	T2	161.20±122.74	
Ferritina (ng/ml)	T1	82.66±38.28	0.246
	T2	89.84±40.47	

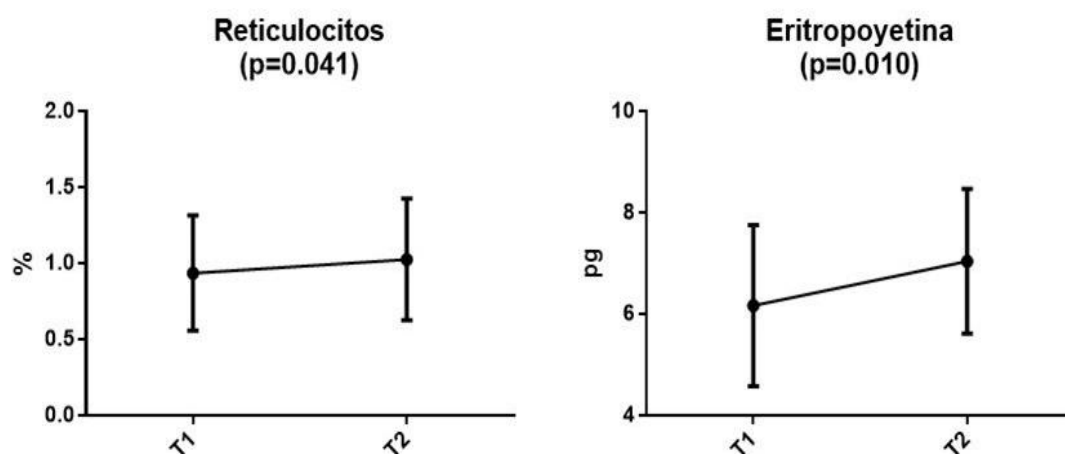
Los datos son expresados Media ± Desviación Estándar.

Las diferencias se evaluaron mediante una prueba t de Student pareada paramétrica

DS: Desviación Estándar; p: significación estadística; μL: microlitros; dL:decilitros; pg: picogramos; Ng:nanogramos;ml:mililitros

En la figura 5 se observa que los RET aumentan entre el momento anterior en T1= 0.94±0.38 % y posterior en T2= 1.03±0.40 %, con diferencias significativas (p= 0.041) entre ambos tiempos de evaluación en el estudio. Este comportamiento se reproduce para

la hormona EPO (T1=  $6.18 \pm 1.59$  mU/mL y T2=  $7.05 \pm 1.43$  mU/mL con  $p=0.010$ ) y para la RET-Hb representada en la tabla 11.



Los datos son expresados Media  $\pm$  Desviación Estándar.

Las diferencias se evaluaron mediante una prueba t de Student pareada paramétrica.

**Figura 5. Variables precursoras de la eritropoyesis**

### 2.3.2. Pruebas de rendimiento físico

En todas las pruebas realizadas se mostraron mejoras (Tabla 12), se incrementó el rendimiento ( $p= 0.059$ ) en  $1.96 \pm 2.35$  % para la prueba de velocidad. El análisis de la potencia anaeróbica mediante la prueba de 400 metros, mejoró significativamente ( $p=0.05$ ) con un  $1.93 \pm 1.13$  %. Aunque la prueba de 1000 metros, análisis de potencia aeróbica, no mostró mejoras significativas ( $p=0.112$ ) presentó el mayor porcentaje de mejora con  $3.73 \pm 5.34$  %. Por último, la mejora de Volumen máximo de Oxígeno ( $VO_{2max}$ ) ( $p=0.054$ ) fue de  $3.36 \pm 4.35$  %.

Tabla 12. Pruebas de rendimiento físico de los atletas de élite

Test	Tiempo (T)	Media±DS	P	% de Mejora
<b>VELOCIDAD</b> (segundos) 60 m.l.	<b>T1</b>	6.20±1.21	0.059	1.96±2.35
	<b>T2</b>	5.29±0.88		
<b>POTENCIA ANAERÓBICA</b> (segundos) 400 m.l.	<b>T1</b>	46.65±18.54	0.050	1.93±1.13
	<b>T2</b>	45.70±18.20		
<b>POTENCIA AERÓBICA (minutos)</b> 1000 m.l.	<b>T1</b>	2.43±0.25	0.112	3.73±5.34
	<b>T2</b>	2.32±0.09		
<b>VOLUMEN MÁXIMO DE O<sub>2</sub> (ml/min/kg)</b>	<b>T1</b>	83.16±3.14	0.054	3.63±4.35
	<b>T2</b>	86.18±4.80		

Los datos son expresados Media ± Desviación Estándar.

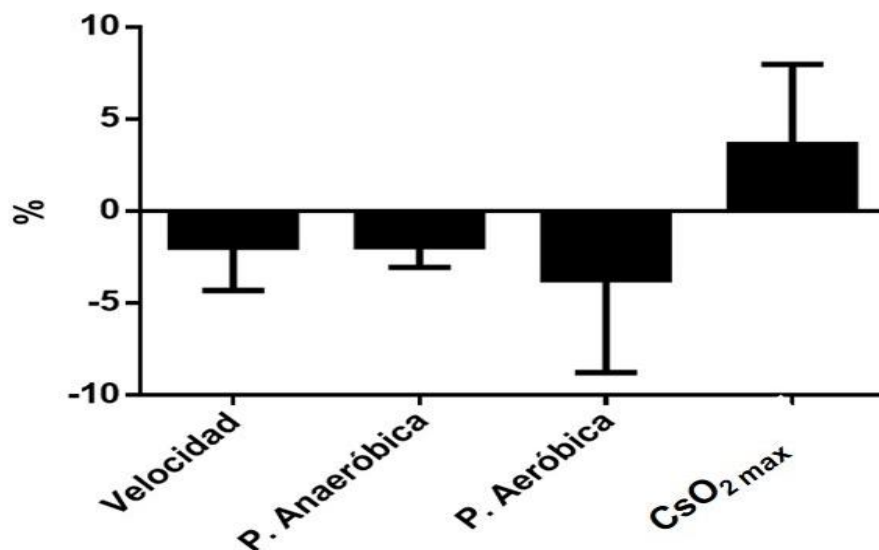
Las diferencias se evaluaron mediante una prueba t de Student pareada paramétrica.

DS: Desviación Estándar; P: significación estadística; m.l.: metros lisos;  
ml: mililitros; min: minutos; kg: kilogramos

## 2.4. Discusión

Los hallazgos más relevantes son el aumento significativo de la secreción de la hormona EPO y de los precursores específicos del proceso de hematopoyesis como son los RET. Estos incrementos del 14.7% y del 9.5% para EPO y RET respectivamente, causan un incremento favorable de los parámetros hematológicos: HEM, Hb, Htc. Bonetti et al. (68), han reportado beneficios en el rendimiento ciclistas consecuencia de la estimulación de la eritropoyesis. Estas ventajas, se traducen en mejoras en todas las pruebas de rendimiento (Figura 6) realizadas a los AE de este estudio, tras la exposición a IHE normobárica.





Los datos son expresados en porcentaje (%) de la Media  $\pm$  Desviación Estándar.

P: Potencia; CO<sub>2</sub>max: Consumo máximo de oxígeno

#### Figura 6. Porcentaje de mejora en las pruebas físicas de rendimiento

Los AE usan IHE en combinación con la sesión de entrenamiento, por eso IHE permite a los atletas “*Vivir arriba y entrenar abajo*”. Existe un estudio de IHE normobárica (69) que presenta discrepancias sobre la efectividad de estos programas que se deben, probablemente, al tiempo de duración de la sesión en la que el deportista se encuentra expuesto a IHE y su relación con la estimulación de EPO, donde los individuos pueden responder o no y sufrir respuestas diversas de aclimatación (69).

Nuestro estudio presenta resultados similares a los obtenidos por Knaupp et al. (70) que observa cambios en la secreción de la EPO después de tan sólo 5 minutos con una FIO<sub>2</sub> del 10.5% y estos cambios son significativos cuando la exposición tiene una duración de 120 minutos. Además de este estudio, Klaursen et al. (71) encontraron un aumento del 28% en la hormona eritropoyetina con un programa de hipoxia al 10% de FIO<sub>2</sub> y una duración de 2 horas por sesión de IHE normobárica. De igual forma Villa et al. (54) reportan un incremento en la secreción de la hormona EPO tras la aplicación de un programa IHE normobárica en ciclistas a lo largo de la vuelta ciclista a España 2001,

pero no observan modificaciones en el Hct, la Hb o los HEM. Existe en la literatura, una investigación anterior de IHE normobárica (72) que es la que mayor número de similitudes comparte con la nuestra, en lo que respecta a los protocolos de exposición a hipoxia, a resultados obtenidos, y también posee la misma limitación al carecer de grupo control de población. Este estudio de Hellemans et al. (72), en atletas de resistencia, reporta que conjuntamente con el incremento de EPO iba asociado un aumento de la respuesta eritropoyética que se manifiesta con un aumento de los RET (29%), Hb (4%) y Hct (5%). Los beneficios de IHE normobárica sobre los parámetros hematológicos de los deportistas de la disciplina de remo (73) y ciclistas (68) que obtienen incrementos de los RET y la Hb tras un periodo similar de exposición a IHE normobárica que el protocolo empleado en esta investigación.

Analizando los estudios de IHE normobárica que no están en consonancia con los resultados obtenidos en nuestro estudio ni con los descritos anteriormente encontramos que dos de ellos no presentan modificación alguna en los parámetros hematológicos en atletas de resistencia (74) y nadadores (75). Otros estudios, como el de Julian et al. (76), realizados en corredores no muestran alteraciones en los niveles de EPO ni tampoco en ningún parámetro hematológico. Más recientemente Ramos et al. (61) tras la aplicación de este programa de IHE normobárica tampoco observan incrementos de ninguna de las variables hematológicas determinantes para estimular la eritropoyesis en ciclistas entrenados.

Existen un número mayor de las respuestas hematológicas favorables obtenidas en estudios de IHE hipobárica, que IHE normobárica, como se describe en la revisión de Ramos-Campos et al. (77). Estos resultados obtenidos con exposición a IHE hipobárica, tienen mayor capacidad de estimular la secreción de EPO y aumentar las variables hematológicas principales que inducen mejoras en el rendimiento de los deportistas, son

similares a los que observamos en nuestro estudio de IHE normobárica. Tal vez la ventaja que da el estímulo de caída en la presión parcial de O<sub>2</sub>, en la exposición hipobárica, en este estudio se encuentre en el estímulo que supone que los AE residían y entrenaban en Soria, a media altitud e hipoxia moderada. Quizá este doble estímulo hipóxico, al que estaban sometidos nuestros AE, podría tener un efecto aditivo que influya en los resultados beneficiosos para los AE, que presentamos en el estudio.

Es de reseñar que algunos estudios que muestran mejoras significativas en la producción de la hormona EPO, o en los precursores hematopoyéticos, como los RET, también presentan simultáneamente incrementos significativos en los parámetros hematológicos HEM, Hb y Hct, tras la exposición a IHE normobárica (68, 72, 73) o hipobárica (69, 78-80). Sin embargo, nuestros AE, muestran incrementos no significativos de HEM (1.41%), Hb (1.64%) y Hcto (2.60%). Las razones podrían derivarse del impacto de la práctica deportiva sobre los parámetros hematológicos que se han utilizado como indicadores de la salud y rendimiento (HEM, Hb y Hct), que varían en función del ejercicio físico a realizar, la intensidad, duración y también con el grado de entrenamiento de los deportistas de los ciclistas de élite (81) y atletas con un alto grado de entrenamiento (82).

Por tanto, son las altas cargas de trabajo derivadas del entrenamiento o competición y las fuertes tensiones psicofísicas de los atletas, las que dan lugar a descensos en las variables hematológicas que además pueden quedar por debajo del límite inferior de los rangos fisiológicos establecidos (83, 84). Además, solamente se revierten con el cese de la actividad física (81). En esta línea están Villa et al. (54), donde a pesar de reportar incrementos significativos de EPO, no observan modificaciones en HEM, Hb o Hct en el grupo expuesto a IHE, pero si comprueban un descenso de estas variables en el grupo control sin exposición a IHE, lo que interpretan como consecuencia de los

esfuerzos físicos realizados durante su estudio; desarrollado en la prueba ciclista profesional de la “*Vuelta a España*”. Con estas premisas se podría afirmar que la IHE, tendría un papel protector antes las cargas del entrenamiento o competición (están aumentadas en este periodo precompetitivo en nuestros AE), y que evitan el descenso de los marcadores sanguíneos (incluso las aumentan en nuestro estudio) ocasionadas por las altas exigencias físicas del deporte de élite, que acabarían derivando en sobreentrenamiento de los deportistas y por tanto en un descenso acusado del rendimiento deportivo.

La FER es la principal proteína almacenadora de hierro y que por lo tanto influye en la efectividad del proceso de la eritropoyesis. Al igual que sucede con los anteriores parámetros sanguíneos que hemos estudiado, existe una diversidad de resultados en función del protocolo utilizado de IHE (77). Nosotros observamos un incremento no significativo de 8.4% en la FER, en la línea de lo reportado por Hinckson et al. (85), en jugadores de rugby, que observan un incremento del 10.5% en la concentración de esta proteína.

El logro de adaptaciones hematológicas en el organismo asociadas a un incremento del rendimiento deportivo es el objetivo principal de la aplicación de IHE. La respuesta mediada por un incremento de la secreción de EPO que estimula la eritropoyesis y mejora la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, creemos que la hemos cumplido en este estudio. Porque en todas las pruebas realizadas, aunque puedan parecer modestos porcentajes entre un 2-3%, los atletas mejoran sus marcas previas, tras el entrenamiento combinado con exposición a IHE durante 4 semanas. En los AE que utilizan la estrategia “*Vivir arriba y entrenar abajo*”, podría facilitar una mejora de las marcas de entre un 0,8-1 % en competiciones cuya duración se encuentre entre los 45 segundos y 4 minutos. Aunque esta mejora parezca exigua no es irrelevante. Por ejemplo,

una mejora de la marca de entre un 0.4-0.7 % significa aumentar las posibilidades de ganar una prueba internacional de 1500 metros en atletismo entre un 10 y un 20 % (86).

Los resultados de las investigaciones acerca de la efectividad de los programas de IHE sobre el tiempo de prueba son diversos. Nuestros resultados presentan similitud con estudios que utilizan programas de IHE normobárica con un  $FIO_2$  entre 10-13% y que encuentran mejoras de entre el 1.5 % y el 3% en el tiempo de prueba (58, 72, 87, 88). Estas mejoras son reafirmadas e incluso incrementadas por otros trabajos que observan un aumento que varía del 1.7 al 8% (61). Sin embargo, también hay estudios que no muestran mejoras en el tiempo de prueba al utilizar IHE normobárica (74, 76, 77).

El fundamento de la mejora en las pruebas de velocidad (60 metros) y de evaluación de potencia anaeróbica (400 metros), podría estar relacionada con la mayor capacidad de producir y soportar lactato, es decir, se estimula la capacidad muscular de taponamiento tras la exposición a IHE (89). Cuando analizamos el rendimiento aeróbico, mediante  $VO_2max$  y la prueba de 1000 metros, observamos porcentajes más altos en la mejora que en el rendimiento anaeróbico, algo esperable ya que es la base fundamental de la teoría a la exposición a hipoxia como es la mayor capacidad de captar y transportar oxígeno. Nuestros resultados de  $VO_2max$  están más cercanos a los programas de exposición a IHT donde el  $VO_2max$  se puede incrementar alrededor de un 4%, que a los programas de IHE que no influyen de forma positiva sobre  $VO_2max$  (61). Estos resultados se podrían justificar porque nuestros AE entrenan en hipoxia moderada. Contrariamente a lo que sucede con  $VO_2max$ , los programas de IHE sí producen mejoras en el tiempo de prueba, como hemos reseñado anteriormente, lo que podría sugerir que puedan existir diferentes mecanismos que participen en el rendimiento deportivo. En nuestro estudio, que obtenemos mejoras en ambas pruebas del rendimiento aeróbico ( $VO_2max$  y prueba de 1000 metros) mediante IHE, podría deberse a que los AE estén sometidos a un segundo

estímulo hipóxico (vivían y entrenaban en Soria) que permita activar los diversos mecanismos involucrados en una mejora del rendimiento de los AE.

Por lo tanto, los AE sometidos a dos estímulos hipóxicos, como son las exposiciones continuadas en altitud media y IHE normobárica en reposo, permiten estimular parámetros hematológicos como la EPO, RET, Hct, HEM y Hb, que demuestran una activación de la eritropoyesis del deportista y que derivan en un incremento del rendimiento aeróbico y anaeróbico del deportista, como consecuencia de una mejor capacidad de transporte de oxígeno en la sangre. Además, este doble estímulo hipóxico permite mejorar los resultados obtenidos en investigaciones anteriores de IHE normobárica, recogiendo todos los beneficios que se obtienen en otros programas IHE hipobárica o IHT.

### **3. Capítulo III: Programa de entrenamiento sectorizado de la musculatura respiratoria mediante el uso del dispositivo *Powerbreath*®: ¿Tiene potencial ergogénico sobre el rendimiento respiratorio y/o deportivo? Una revisión sistemática con metaanálisis**

#### **3.1. Antecedentes**

La función principal del sistema respiratorio es mantener la ventilación alveolar (aporte de oxígeno (O<sub>2</sub>)) siendo proporcional a las necesidades metabólicas del organismo, que se incrementan durante la práctica de actividad física (AF) (90). En la práctica de AF intensa y prolongada el rendimiento muscular de las vías respiratorias disminuye en respuesta a un aumento del trabajo muscular respiratorio y la disnea. Esta situación induce fatiga de los músculos respiratorios (MR) y la disminución de la función respiratoria, ocasionando un descenso del rendimiento respiratorio (91). Esta menor actividad respiratoria podría estar relacionada con la activación del mecanismo del reflejo metabólico de la musculatura respiratoria “*metaborreflejo*” (RMMR). El RMMR lo inicia la fatiga de la musculatura respiratoria, que a través de las vías aferentes III y IV alcanza el nivel supraespinal, provocando una respuesta simpática por vasoconstricción en la musculatura periférica locomotora, que intensifica la fatiga de la musculatura activa e incrementa también la percepción de esfuerzo, contribuyendo a la limitación del rendimiento ligado al ejercicio intenso de tipo aeróbico (92). Además, la fatiga respiratoria imposibilita a los MR alcanzar una presión pleural adecuada, que es un factor limitante del rendimiento, especialmente en disciplinas que requieren de una resistencia aeróbica (93). Otros factores limitantes del rendimiento físico de alta intensidad son la propia mecánica pulmonar y la difusión pulmonar (94).

Los AE de diferentes especialidades deportivas suelen combinar estrategias ergogénicas con la esperanza de mejorar las respuestas fisiológicas y el rendimiento competitivo, pero en ocasiones la evidencia científica es limitada (95). Una de estas estrategias es el entrenamiento muscular inspiratorio (EMI) con el que se pretende extender la tolerancia al ejercicio (96). El EMI ha sido empleado para minimizar y/o retrasar la fatiga respiratoria, el RMMR y la cantidad acumulada de lactato en sangre (LA) (97). De este modo el EMI, podría ser considerado como un método de entrenamiento con potencial efecto ergogénico para mejorar el rendimiento deportivo (98). Además, se han propuesto otros mecanismos fisiológicos que podrían explicar el efecto ergogénico del EMI: hipertrofia del diafragma, un aumento del flujo sanguíneo a los músculos locomotores, una reducción del flujo subjetivo de la sangre, reducción de fatiga, disminución de disnea, incremento de la eficacia y resistencia ventilatoria, modificación de composición de fibras musculares hacia tipo I e incremento de las fibras tipo II de musculatura intercostal, optimización del control neuro-motor de la musculatura respiratoria, manteniendo la generación de presión con un menor impulso motor y mayor economía de la musculatura respiratoria (99). Adicionalmente, el EMI es usado para el tratamiento en pacientes con enfermedades respiratorias, como asma, disnea y enfermedad pulmonar obstructiva crónica con el resultado de mejoras de la calidad de vida de los pacientes (93).

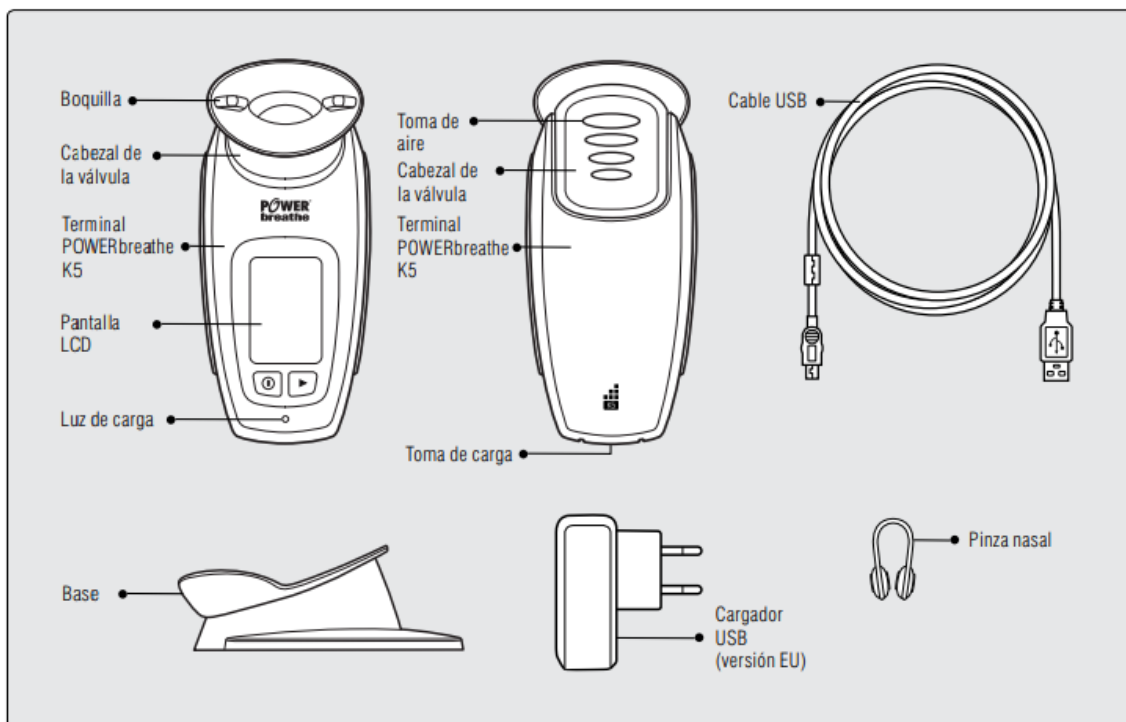
Existen dispositivos de entrenamiento sectorizado de musculatura espiratoria (ECHO™ Expiratory Muscle Trainer, Threshold PEP y EMST 150), dispositivos de EMI que además se dividen en 3 categorías de carga resistiva (PFlex, TrainAir), de hiperpnea isocápnica voluntaria (SpiroTiger) y dispositivos umbral (PwB, Powerlung, Threshold IMT, Respifit-S). Finalmente, hay dispositivos que permiten el entrenamiento de ambas musculaturas espiratoria e inspiratoria (Oxygen-Dual Valve, Expand Lung Sports



Breather, The Breather, Eolos, Dolfín Trainer, Bravo Breathing Strength Builder, Pulma-Gym/Luft). Entre los dispositivos de EMI, los dispositivos de carga resistiva basan su aplicación en la variación de la resistencia del calibre del orificio por el que se respira, por lo que el usuario encontrará menor resistencia si respira lentamente o mayor si lo hace con mayor rapidez, por lo tanto, varía la resistencia que imprimen en base a la velocidad del flujo de aire inspirado (100). Por otra parte, en los dispositivos de hiperpnea isocápnica voluntaria el sujeto mantiene una frecuencia de respiración elevada y una concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en sangre constante, para lo cual incorpora una bolsa calibrada donde se recoge el aire exhalado por el paciente y se mezcla con el aire del ambiente en la siguiente inspiración. Este tipo de entrenamiento mejora principalmente la resistencia respiratoria, ya que el tipo de carga al que se someten los músculos respiratorios es de baja intensidad y larga duración (101). Por último, los dispositivos umbral permiten el flujo de aire durante la inspiración únicamente después de alcanzar una cierta presión inspiratoria, la cual se puede ajustar mediante la tensión de un muelle en función de la presión inspiratoria máxima (PIM) del paciente. Una vez superada la presión y abierta la válvula, la resistencia lineal al incremento de flujo debe ser inapreciable (102).

Entre los dispositivos umbral, el *PowerBreathe*® (IMT Technologies LTD) (PwB), es un dispositivo destinado al entrenamiento de la musculatura inspiratoria, generando una resistencia a la inspiración variable y fácilmente regulable (103). El PwB permite trabajar a mayores cargas alcanzando los 186 centímetros de agua ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ) (presión generada en los pulmones debido a la fuerza de los músculos inspiratorios) en el modelo Plus Media Resistencia para deportistas recreacionales o 274  $\text{cmH}_2\text{O}$  en el Plus Alta Resistencia para deportistas de élite. La carga de trabajo es fácilmente ajustable por la rueda de la base y presenta un diseño ergonómico. Además, hay que tener en cuenta la

posibilidad de entrenamiento auto-optimizado que posibilitan los PwB de la serie K (Figura 7), que posibilitan un mayor trabajo realizado en cada respiración al disminuir la carga aplicada al final de la respiración y mantener la válvula abierta hasta el final, además de la monitorización a tiempo real (104).



**Figura 7. Piezas del *PowerBreathe*® Serie K**

Las realizaciones de planes de entrenamientos de los MR están dirigidos a la mejora de la capacidad aeróbica que estimula mejoras en la calidad de vida (CV) en enfermos o incrementos del rendimiento físico en personas físicamente activas y saludables (93, 98). De este modo, actualmente la incorporación de nuevos elementos a las rutinas habituales de actividad física y/o entrenamiento se ha realizado tanto en deportistas profesionales como recreacionales, con el objeto de establecer adaptaciones que sean elementos diferenciales en su rendimiento. Sin embargo, los resultados son contradictorios, pues el EMI potencialmente sería capaz de mejorar el rendimiento tanto en deportes de equipo (91, 97, 105), como en ciclistas (99, 106) y atletas (107, 108) pero

en otros estudios no se ha podido demostrar (95, 109). Estas discrepancias vendrían motivadas fundamentalmente por la metodología (intensidad y/o duración de los ejercicios), el diseño del estudio y el nivel deportivo de los sujetos sometidos al EMI. Además, debemos plantearnos qué tipo de mejoras pueden obtenerse asociadas al rendimiento físico. Ante esta situación nos propusimos realizar una revisión sistemática, con el objetivo de evaluar críticamente los efectos del EMI sobre los parámetros respiratorios y el rendimiento deportivo mediante el uso del dispositivo PwB en personas practicantes de actividad física de diferentes modalidades. Además, el estudio describirá la magnitud de la resistencia inspiratoria, la frecuencia y duración del EMI para establecer un programa de aplicación óptima que permita mejoras en el rendimiento respiratorio y deportivo.

## **3.2. Material y métodos**

### **3.2.1. Estrategia de búsqueda**

El presente artículo es una revisión sistemática con metaanálisis que se centra en determinar el impacto del entrenamiento de la musculatura inspiratoria en el rendimiento deportivo mediante dispositivo PwB en sujetos físicamente activos. Se llevó a cabo siguiendo las pautas metodológicas específicas *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses* (PRISMA) y el modelo de preguntas PICOS para la definición de los criterios de inclusión: P (población): “individuos practicantes de actividad física”, I (intervención): “entrenamiento de la musculatura respiratoria mediante el dispositivo PwB”, C (comparadores): “comparación entre el grupo experimental y un grupo control”, O (resultado): “protocolos de utilización del PwB, metodología empleada y parámetros

respiratorios y de rendimiento analizados” y S (diseño de estudios): “diseño aleatorizado con y sin placebo” (110).

Se realizó una búsqueda bibliográfica estructurada mediante búsqueda electrónica de originales artículos de tres bases de datos de la literatura (Web of Science, Scopus, Medline/PubMed, SciELO y Cochrane Library Plus). La búsqueda incluyó artículos originales escritos en cualquier idioma y publicados antes del 30 de diciembre de 2019. Excepto por pequeñas variaciones en cuanto a los mecanismos de la base de datos, se utilizó la misma cadena de búsqueda en todas las bases de datos. Los términos de búsqueda incluían una mezcla de títulos de materias médicas (MeSH) y palabras en texto libre para conceptos clave relacionados con el entrenamiento de la musculatura inspiratoria con PwB y el rendimiento deportivo: *strength* (fuerza), *aerobic capacity* (capacidad aeróbica), *resistance* (resistencia), *performance* (rendimiento), *physiotherapy* (fisioterapia), *inspiratory muscle training* (entrenamiento de la musculatura inspiratoria), *athletes* (atletas) y *powerbreathe*. A través de esta búsqueda, se obtuvieron artículos relevantes aplicando la estrategia de bola de nieve. Todos los títulos y resúmenes de la búsqueda se cruzaron para identificar duplicados y estudios potenciales que faltaban. Los títulos y los resúmenes se examinaron luego para una revisión posterior del texto completo. Los autores realizaron de forma independiente la búsqueda de los estudios publicados y los desacuerdos sobre los parámetros físicos se resolvieron mediante discusión.

### **3.2.2. Criterios de inclusión y exclusión**

Para seleccionar los estudios, se aplicaron los siguientes criterios de inclusión para: 1) Representar un experimento bien diseñado que incluía musculatura respiratoria en el rendimiento deportivo mediante dispositivo PwB en sujetos físicamente activos 2)

Una situación idéntica de los sujetos sin uso de PwB; 3) Documentos sin restricción de fecha de publicación; 4) Publicaciones cuyos sujetos de estudio fueran humanos físicamente activos; 5) Se restringieron las lenguas al inglés, alemán, francés, italiano, español y portugués.

Con respecto a los criterios de exclusión aplicados fueron: 1) Publicaciones no relacionadas con el entrenamiento de la musculatura inspiratoria con PwB; 2) Individuos físicamente inactivos o con comorbilidades que impidieran el entrenamiento inspiratorio o la práctica de actividad física; 3) Documentos duplicados; 4) No realizados en humanos. 5) Estudios que fueran revisiones narrativas o sistemáticas, editoriales, cartas al editor y comentarios.

### **3.2.3. Extracción y síntesis de datos**

Una vez aplicados los criterios de inclusión/exclusión a cada estudio, los datos sobre la fuente del estudio (incluyendo autores y año de publicación), situación del de los características de los participantes, diseño del estudio, modelo PwB utilizado, protocolo de entrenamiento de la musculatura inspiratoria, parámetros analizados, además los resultados y conclusiones finales de las intervenciones fueron extraídos de forma independiente por los autores mediante una hoja de cálculo (Microsoft Inc, Seattle, WA, EE.UU.). Posteriormente, los desacuerdos se resolvieron mediante discusión entre el doctorando y los directores hasta que se llegó a un consenso.

### 3.2.4. Análisis de datos

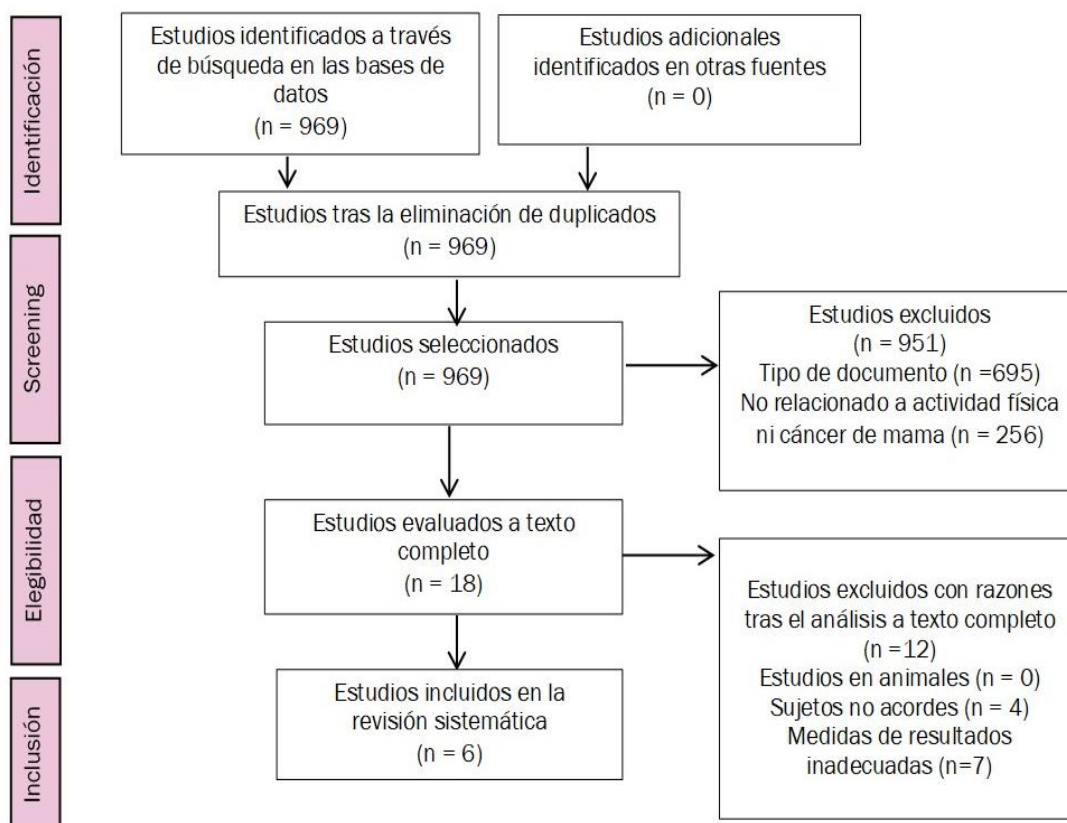
En un primer paso se procedió a la identificación y cuantificación de la heterogeneidad en cada uno de los metaanálisis realizados a través de los estadísticos Q de Cochran e  $I^2$ . En el caso de la Q de Cochran, su cálculo se llevó a cabo mediante el sumatorio ponderado de la diferencia individual de cada uno de los estudios frente al efecto combinado del total de los estudios. La obtención de un  $p$ -valor  $< 0.05$  en esta prueba implica el rechazo de la hipótesis nula de homogeneidad de los estudios. Sin embargo, este estadístico Q ha demostrado una baja potencia cuando se dispone de pocos estudios a la hora de realizar el metaanálisis (111), por esto se utilizó adicionalmente el estadístico  $I^2$  como medida de heterogeneidad. El  $I^2$  cuantifica porcentualmente la variación entre los estudios que es debida a la heterogeneidad. Los valores de  $I^2$  más del 25%, 50% y 75% fueron seleccionados para reflejar una baja, moderada y alta heterogeneidad, respectivamente. En función de los resultados obtenidos en las pruebas de heterogeneidad, se decidió proceder, en ausencia de heterogeneidad, con un modelo de metaanálisis de efecto fijo. Por el contrario, en caso de presencia de heterogeneidad, se procedió con un modelo de metaanálisis de efectos aleatorios. La diferencia entre ambos modelos radica en que el modelo de efectos aleatorios no solamente considera la variabilidad dentro de los estudios a través del cálculo de la varianza intraestudio ( $S^2$ ), como hace el modelo de efecto fijo, sino que adicionalmente considera la posible variabilidad entre los distintos estudios sometidos a análisis. Así, los modelos aleatorios minimizan la variabilidad entre los estudios considerando la varianza entre los estudios o tau cuadrado ( $\tau^2$ ), que en este trabajo se calculó a través del método de DerSimonian-Laird (112). A continuación, se procedió al cálculo del tamaño del efecto (ES) que se calculó como la ratio logarítmica transformada del valor promedio, (del inglés *log transformed Ratio of Means* (ROMc), de los grupos de uso del PwB y de placebo. Se

decidió utilizar esta medida del ES al haber sido previamente reportada su mayor idoneidad en estudios en variables continuas frente a otras medidas como la diferencia de medias (113). En un último paso se aplicó una prueba estadística “z” para determinar la significación del ES. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de sesgo de publicación que fue realizado mediante gráficos de embudo o *funnel plots*, cuya asimetría fue cuantificada a través de la regresión de Egger (114). Este análisis se realizó mediante el método de “*Trim and fill*”, que es una técnica no paramétrica de estimación del número de estudios perdidos de un metaanálisis debido a la supresión en la literatura de resultados extremos, por lo que este método nos ayudaría a la detección adicional de posibles sesgos de publicación. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete metafor (versión 2.1-0) en R versión 3.5.1 (The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

### **3.3. Resultados**

#### **3.3.1. Selección de estudios**

En un inicio la búsqueda bibliográfica mostró 969 artículos publicados después del 2007, de los cuales se excluyeron 695 por ser estudios sin intervención y 256 por no estar relacionados al tema de búsqueda. Los textos completos de las 18 publicaciones restantes fueron evaluados según los criterios de inclusión, a partir de los cuales se eliminaron 4 por utilizar sujetos no sanos y 7 por no medir ninguna de las variables incluidas en este estudio. De este modo, se obtuvieron 7 artículos incluidos en esta revisión sistemática (Figura 8).



**Figura 8. Diagrama de flujo de PRISMA que resume la estrategia de búsqueda y selección de estudios incluidos en el metaanálisis**

### 3.3.2. Características de los estudios

Los siete estudios incluidos en esta revisión proporcionaron una muestra total de 124 participantes de ambos sexos (99 hombres y 25 mujeres). De éstos, 61 eran deportistas de élite, 63 eran sujetos entrenados de nivel amateur. Por último, la duración del entrenamiento osciló entre 3 días y 12 semanas, donde tres estudios utilizaron un protocolo de 6 semanas, 1 de 3 días, 1 de 4 semanas, 1 de 10 semanas y 1 de 12 semanas (Tabla 13).



Tabla 13. Características de los estudios en el metaanálisis

<b>Nivel de los participantes</b>	Elite	4 estudios (91, 95, 97, 115)
	Amateur	3 estudios (99, 105, 108)
<b>Edad de los participantes (años)</b>	Senior (20-30)	7 estudios (91, 95, 97, 99, 105, 115)
	No Especificado	1 estudio (108)
<b>Tipo de entrenamiento</b>	2 sesiones diarias, 5 días a la semana (30 inspiraciones al 50% PIM)	3 estudios (91, 97, 99)
	4 semanas EMI + 6 semanas combinadas (EMI+EME)	1 estudio (115)
	2 sesiones de carrera/semana + EMI (30 inspiraciones)	1 estudio (108)
	Pre-acondicionamiento isquémico remoto crónico + Calentamiento MI + Calentamiento + Patinaje de Velocidad	1 estudio (95)
	2 días/semana de entrenamiento regular de fútbol + EMI (dos veces al día 30 respiraciones inspiratorias a su propio ritmo)	1 estudio (105)
<b>Duración</b>	3 días	1 estudio (95)
	4 semanas	1 estudio (108)
	6 semanas	3 estudios (97, 99, 105)
	10 semanas	1 estudio (115)
	12 semanas	1 estudio (91)
<p><b>PIM:</b> presión inspiratoria máxima <b>EMI:</b> entrenamiento musculatura inspiratoria</p> <p><b>EME:</b> entrenamiento musculatura espiratoria <b>MI:</b> musculatura inspiratoria</p>		

### **3.3.3. Evaluación de la calidad metodológica**

La calidad metodológica de los artículos evaluados mediante el Formulario de Revisión Crítica de McMaster (116) obtuvo puntuaciones que variaron entre 12 y 15 puntos, representando una calidad metodológica mínima del 75% y máxima del 93,8% (Tabla 2). De los 7 estudios, 1 estudio alcanzó una calidad “Excelente”, 4 una calidad “Muy Buena” y 2 una calidad “Buena”. Ningún estudio fue excluido por no alcanzar el umbral de calidad mínimo. En la Tabla 14 se detallan los resultados de los criterios evaluados, donde las principales deficiencias encontradas en la calidad metodológica se asocian a los ítems 5, 11, 12 y 16 del cuestionario.

Tabla 14. Evaluación de la Calidad Metodológica de los estudios

Referencia	ITEMS																T <sub>E</sub>	%	CM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
Hartz et al. 2018 (91)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	14	87.5	MB
Griffiths et al. 2007 (115)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	12	75	B
Salazar-Martínez et al. 2015 (99)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	13	81.3	MB
Edwards et al. 2015 (108)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	15	93.8	E
Archiza et al. 2017 (97)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	13	81.3	MB
Richard et al. 2018 (95)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	12	75	B
Guy et al. 2014 (105)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	14	87.5	MB
<b>T</b>	7	7	7	7	2	7	7	7	7	7	5	1	3	7	7	3			

(T) total de ítems cumplidos. (T<sub>E</sub>) total de ítems de cada estudio

(1) Criterio cumplido; (0) Criterio no cumplido

CM: Calidad metodológica (pobre  $\leq 8$  puntos; aceptable (A) 9-10 puntos; buena (B) 11-12 puntos; muy buena (MB) 13 -14 puntos; excelente (E)  $\geq 15$ .

### **3.3.4. Resultados de los estudios**

Las tablas 15 (A; B; C) incluyen información sobre los datos sobre la fuente del estudio (incluyendo autores y año de publicación), características de la muestra, diseño del estudio, tipo de dispositivo PwB, protocolo de entrenamiento, parámetros analizados además los resultados y conclusiones finales.

Tabla 15A. Resumen I de los estudios incluidos en el metaanálisis

Autor y año	Características de la Muestra	Tipo de Estudio	Instrumento PwB utilizado	Protocolo de entrenamiento	Parámetros Analizados	Resultados	Conclusión
Hartz et al. 2018 (91)	19 ♂ (20 ± 3 años) balonmanistas élite. Grupo PwB: n= 10, 19 ± 4 años Grupo Placebo: n= 9, 22 ± 1 años	Aleatorio con placebo	PwB Plus Heavy Resistance Spots Model	2 horas/sesión 5 sesiones/semana Durante 12 semanas RES incremental 50-70% PIM	PIM PEM MVV PP VO <sub>2</sub> max	↑PIM* ↑PEM ↑MVV ↑PP ↑VO <sub>2</sub> max*	El EMI produce un incremento importante de la fuerza y de la resistencia y, por tanto, del rendimiento
Griffiths et al. 2007 (115)	17 ♂ remeros élite Grupo A: (n = 10; 24.9 ± 5.6 años). Grupo B: n = 7; 28.7 ± 9.1 años)	Aleatorio con placebo	Grupo A: EMI → PwB Grupo B: EME → Powerlung (desactivado EMI)	4 semanas; 30 respiraciones * 2/día Grupo A: EMI Grupo B: EME RES 50% PIM	PIM PEM HR VO <sub>2</sub> max LAB RRE	↑PIM* ↑PEM HR X ↑VO <sub>2</sub> max* ↓LAB* ↓RRE	El EMI (usando PwB) mejora el rendimiento en remeros, pero el EME (usando Powerlung) no.
Salazar-Martínez et al. 2015 (99)	16 ciclistas amateurs (23.05± 4.7 años). 9♂ (23.44 ± 2.7) y 7♀ (25.37± 3.24 años)	Aleatorio con control sin placebo	PwB K3	6 semanas; 30 respiraciones * 5 días/semana; 2 sesiones/día. RES 50% PIM	PIM ER Rto VO <sub>2</sub> max FEV1 OUES	↑PIM* ↑ER ↑Rto* ↓VO <sub>2</sub> max* ↓FEV1* ↑OUES*	El EMI tiene un efecto positivo en el rendimiento de ciclistas entrenados

Tabla 15B. Resumen II de los estudios incluidos en el metaanálisis

Autor y año	Características de la Muestra	Tipo de Estudio	Instrumento PwB utilizado	Protocolo de entrenamiento	Parámetros Analizados	Resultados	Conclusión
Edwards et al. 2015 (108)	16 ♂ atletas de fondo amateurs	Aleatorio con placebo	PwB	4 semanas; en cada semana: EMI: 30 respiraciones * 1 sesión/día RES 15% PIM + (CV1: 5x1000 m; CV2: 3x1600 m, SP1: 20' carrera continua)	PIM VO <sub>2</sub> max HR LAB RPE Tiempo de prueba 5000m FEV1	↑PIM* VO <sub>2</sub> max X HR X ↓ LAB ↓ RPE* ↑ Tiempo de prueba 5000m* ↑ FEV1	El EMI combinado con el entrenamiento cardiovascular aumenta la PIM, mejorando significativamente las prestaciones / rendimiento en la prueba de 5000m, pero no ejerce ninguna influencia sobre VO <sub>2</sub> max
Archiza et al. 2017 (97)	18 ♀ futbolistas elite. Grupo PwB: (n=10; 22.0± 3.9 años). Grupo Simulación: (n=8; 20.1± 2.0 años)	Aleatorio doble ciego controlado por simulación (placebo).	PwB K5	6 semanas; 5 días/semana; 30 respiraciones * 2 sesiones/día RES50% PIM	Antropométricos, de función pulmonar, fuerza de la musculatura respiratoria, test de máximo ejercicio incremental + "Tlim" test + sprints repetidos	↑PIM* ↓VE ↓ LAB* ↑RSA ↑VO <sub>2</sub> max* ↓FEV1	El EMI incrementa la fuerza de la musculatura inspiratoria, la tolerancia al ejercicio y la recuperación de sprints repetidos en futbolistas

Tabla 15C. Resumen III de los estudios incluidos en el metaanálisis

Autor y año	Características de la Muestra	Tipo de Estudio	Instrumento PwB utilizado	Protocolo de entrenamiento	Parámetros Analizados	Resultados	Conclusión
Guy et al. 2014 (105)	31 ♂ futbolistas amateurs. Grupo PwB: n=12; 28.4±8.2 años). Grupo Placebo: n=9; 23.9±6.7 años). Grupo control: n=10; 21.3±4.9 años)	Aleatorio con placebo y grupo control	PwB K1	6 semanas 2 sesiones/semana de entrenamiento normal + 2 * 30 respiraciones EMI en cada sesión RES 55%	PIM FVC FEV1 MSFT LAB SSFT	↑PIM* FVC X ↓FEV1 ↑MSFT* ↓LAB* SSFT X	El EMI aumenta el rendimiento en futbolistas en pretemporada

♂: Hombres; ♀: Mujeres; \*: Estadísticamente significativo; ↑: Aumento; ↓: Descenso; X: Sin cambios estadísticamente significativos; **PwB**: Powerbreathe; **PIM**: Presión Inspiratoria Máxima; **PEM**: Presión Espiratoria Máxima; **MVV**: Ventilación Voluntaria Máxima; **PP**: Physical Performance (Rendimiento físico de componente aeróbico); **HR**: Heart Rate (Ritmo Cardíaco); **VO<sub>2</sub>max**: Volumen máximo de Oxígeno; **LAB**: Concentración de lactato en sangre; **RRE**: Ratio de Esfuerzo Respiratorio; **EMI**: Entrenamiento de la Musculatura Inspiratoria; **EME**: Entrenamiento de la Musculatura Espiratoria; **ER**: Eficiencia Respiratoria; **Rto**: Rendimiento; **CV1**: Prueba Cardiovascular 1 (5x1000 metros); **CV2**: Prueba Cardiovascular 2 (3x1600 metros); **SP1**: Self-Paced (Carrera continua a ritmo propio durante 20 minutos); **Tlim**: Time-to.exhaustion test (Test de medida del agotamiento); **VE**: Ventilación/Minuto.

### 3.3.5. Metaanálisis

#### 3.3.5.1. Efecto sobre la presión inspiratoria máxima

La figura 9 muestra el efecto del entrenamiento de la musculatura respiratoria con el PwB sobre la presión máxima inspiratoria (PIM) e indica que el PwB produce un efecto de mejora estadísticamente significativo ( $p = 1.4 \times 10^{-06}$ ) sobre la PIM: ROM 1.28; 95% IC, 1.16 a 1.42;  $Q = 20$ ,  $df = 5$ ,  $p = 0.0012$ ,  $I^2 = 75.1\%$ ,  $T^2 = 0.011$ ;  $Z = 4.83$ ,  $p = 1.4 \times 10^{-06}$ . Los 6 estudios (91, 97, 99, 105, 108, 115) analizados en el metaanálisis presentaron incrementos sustanciales de la PIM.

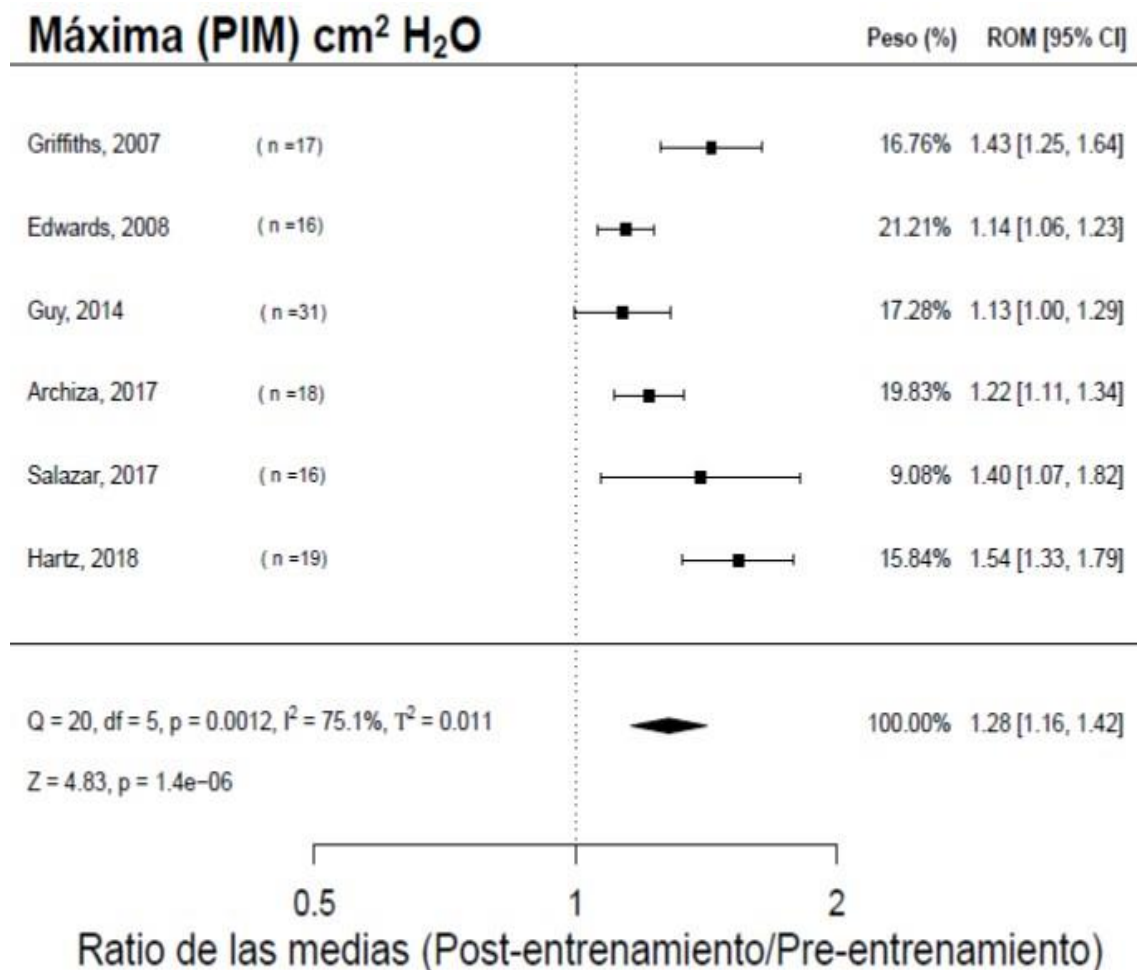
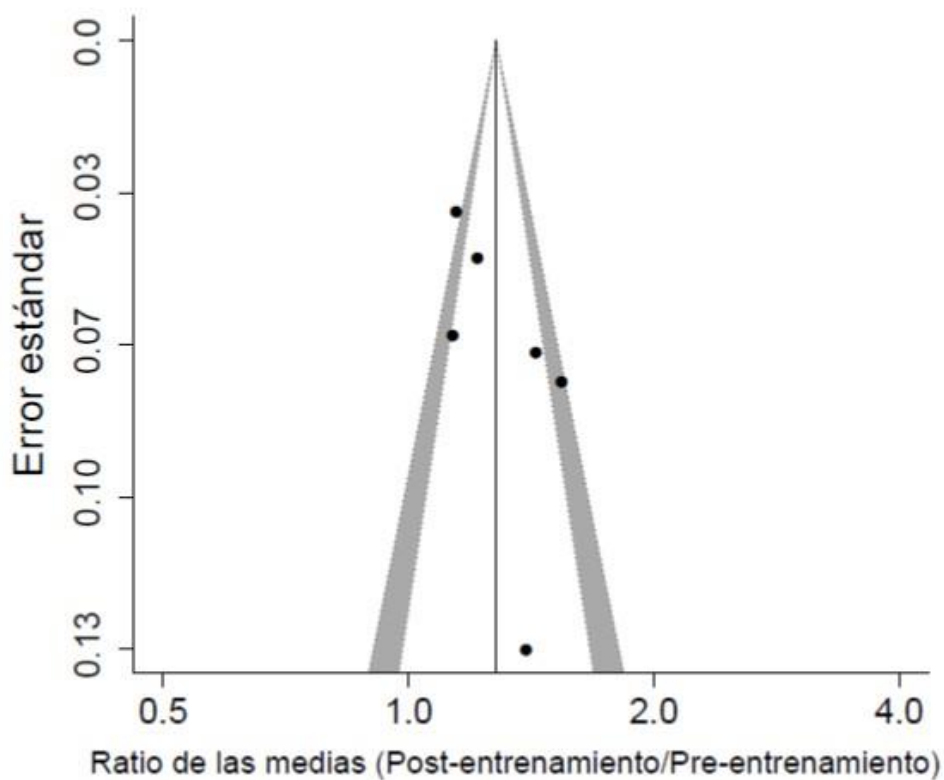


Figura 9. Diagrama de bosque del metaanálisis de la Presión Inspiratoria Máxima



El siguiente análisis de sesgo de publicación (figura 9A) para la PIM mostró un gráfico de embudo relativamente simétrico, no siendo detectada una presencia de sesgo de publicación estadísticamente significativa (Egger  $p$ -valor = 0.111).

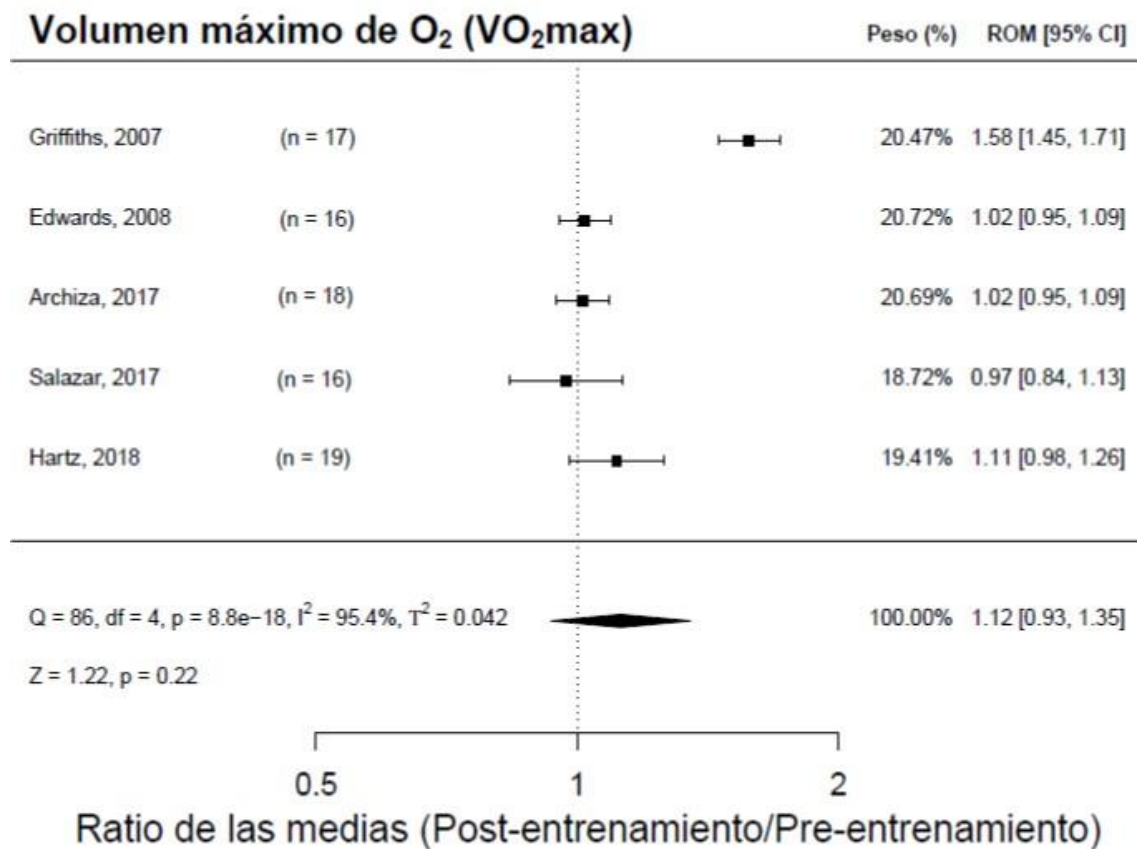


**Figura 9A. Gráfico de embudo (*funnel plot*) del metaanálisis de la Presión Inspiratoria Máxima**

### 3.3.5.2. Efecto sobre el volumen máximo de oxígeno

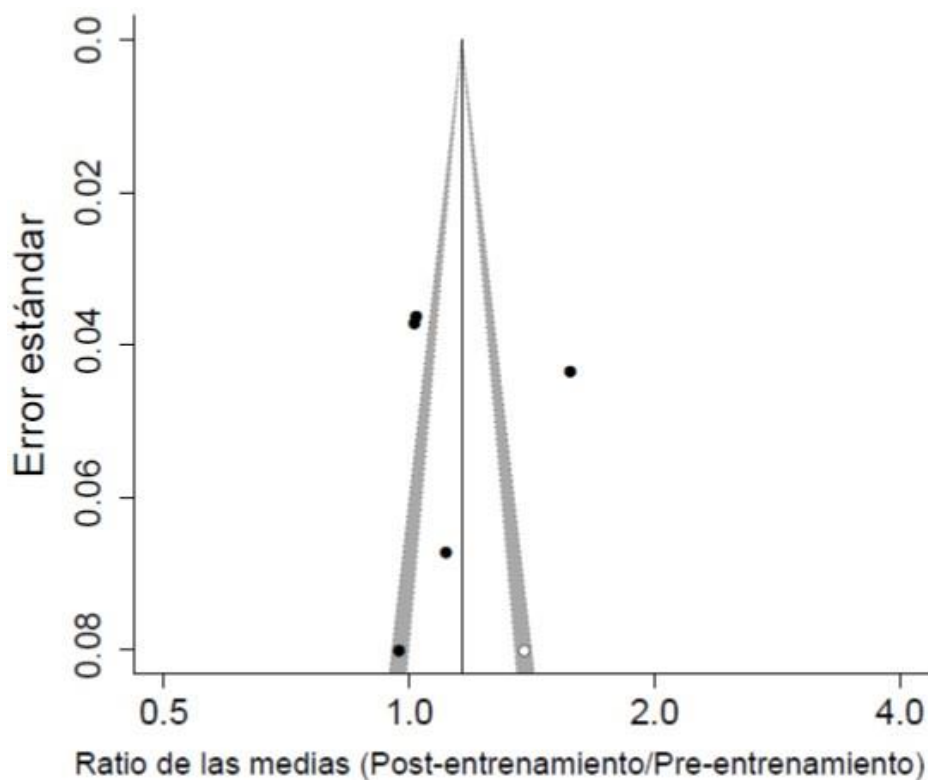
La figura 10 muestra el efecto del entrenamiento de la musculatura respiratoria con el PwB sobre el  $VO_2\text{max}$  e indica que el PwB produce mejoras considerables en  $VO_2\text{max}$ , aunque no alcanzan el umbral preestablecido de significancia estadística de  $p$ -valor  $< 0.05 \rightarrow$  ROM 1.12; 95% IC, 0.93 a 1.35;  $Q = 86$ ,  $df = 4$ ,  $p = 8.8e-18$ ,  $I^2 = 95.4\%$ ,  $T^2 = 0.042$   $Z = 1.22$ ,  $p = 0.22$ . El estudio de Salazar et al. (99), es el único de los incluidos en la revisión que observan una reducción del  $VO_2\text{max}$ , en el resto de estudios (91, 97,

108, 115) se observan incrementos de VO<sub>2</sub>max, presentando el caso del estudio de Griffiths et al. (115) un incremento especialmente considerable con un ROM de 1.58 (95% IC: 1.45-1.71).



**Figura 10. Diagrama de bosque del metaanálisis del volumen máximo de oxígeno**

A pesar de que en este análisis no fue detectado un sesgo de publicación mediante la regresión de Egger ( $p$ -valor = 0.672), a través del método de *Trim and fill* se produjo la imputación de un estudio a niveles superiores al ES y bajo error estándar, lo que podría indicar una posible falta de estudios a este nivel (Figura 10A).

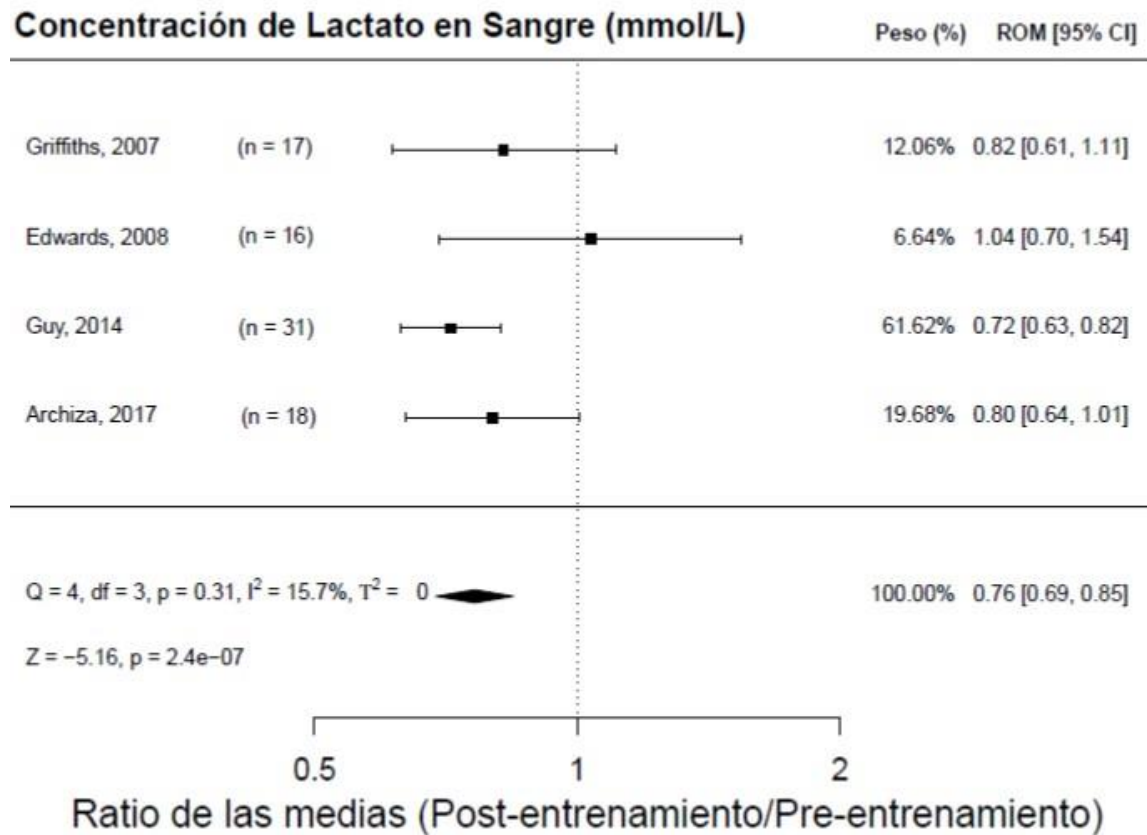


**Figura 10A. Gráfico de embudo (funnel plot) del metaanálisis del volumen máximo de oxígeno**

### ***3.3.5.3. Efecto sobre la concentración de lactato en sangre***

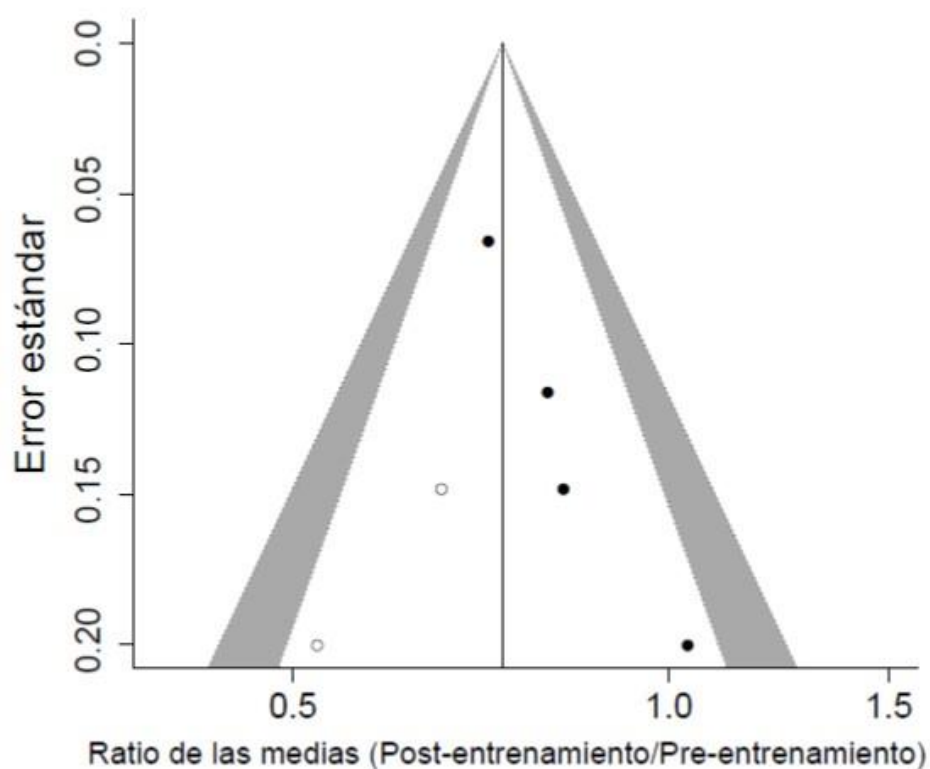
La figura 11, muestra el efecto del entrenamiento de la musculatura respiratoria con el PwB sobre la concentración de lactato (LA). El resultado de metaanálisis indica que el PwB produce una reducción estadísticamente significativa ( $p$ -valor =  $2.4 \times 10^{-07}$ ) en la concentración de lactato en el post-entrenamiento en comparación con el pre-entrenamiento:  $\rightarrow$  ROM 0.76IC 0.69 a 0.85;  $Q = 4$ ,  $df = 3$ ,  $p = 0.31$ ,  $I^2 = 15.7\%$ ,  $T^2 = 0$   $Z = -5.16$ ,  $p = 2.4 \times 10^{-07}$ . En 3 (97, 105, 115) de los 4 estudios (97, 105, 108, 115) se detectó una disminución de los niveles de LA en el post-entrenamiento, mientras que únicamente en el estudio de Edwards et al. (108) se rompió esta tendencia. No obstante, este estudio presentó una gran heterogeneidad interna, evidenciada por su amplio intervalo de

confianza al 95% (0.70-1.54), con lo que su ponderación en el metaanálisis fue mucho menor.



**Figura 11. Diagrama de bosque del metaanálisis de la concentración de lactato**

Finalmente se realizó el estudio de sesgo de publicación mediante el gráfico de embudo (Figura 11 A), detectándose a través del método *Trim and fill* un posible sesgo de publicación al ser imputados dos estudios a niveles de ROM menores del ES, lo que indicaría que podrían haberse omitido estudios en los que la reducción de la concentración de LA fuese más acusada. A pesar de este resultado, el estudio mediante la regresión de Egger de la asimetría del gráfico de embudo indicó que esta no fue estadísticamente significativa ( $p$ -valor = 0.067).



**Figura 11A. Gráfico de embudo (*funnel plot*) del metaanálisis de la de la concentración de lactato**

### 3.4. Discusión

El objetivo principal de esta investigación fue analizar la evidencia científica para evaluar los efectos del EMI mediante el uso del dispositivo PwB en personas practicantes de AF de diferentes modalidades. De esta forma se ha determinado que el uso de PwB aplicando una carga resistiva  $\geq 15\%$  de la PIM es capaz de conseguir mejoras de los rendimientos físicos globales en las diferentes modalidades deportivas en las que fue implementado. El incremento porcentual mayor de la PIM (54%) se producen tras 12 semanas, aunque se han observado mejoras significativas de la PIM tras 4 semanas. Con respecto a los parámetros de rendimiento evaluados, las mejoras considerables del

VO<sub>2</sub>max, se consiguieron a partir de 6 semanas asociadas al incremento de la PIM  $\geq 21.5$  % post EMI. Por otra parte, el descenso significativo LA, se consiguió a partir de las 4 semanas de EMI tras producirse incrementos de la PIM  $\geq 6.8$  %. Para proporcionar un análisis más claro, las variables incluidas en esta revisión sistemática se agruparon de la siguiente manera.

### **3.4.1. Modalidades deportivas y versiones del *Powerbreath*®**

El PwB Plus Heavy (91), el PwB K1 (105), el PwBK3 (99) y el PwBK5 (97) son los diferentes modelos de PwB utilizados. El PwBK5 que es el único que dispone de monitorización a tiempo real y software, donde serán descargados los registros que son sencillos de analizar (104). El EMI mediante el dispositivo PwB fue estudiado en deportistas de diferentes modalidades como son el balonmano (91), el remo (115), el ciclismo (99), el atletismo (97), y el fútbol (97, 105). En cada una de estas modalidades deportivas contribuyen componentes físicos y metabólicos diferentes (40). Esto podría posicionar al PwB como una forma de entrenamiento multimodal relativamente nueva que abarca muchos tipos de patrones fisiológicos dentro de una sesión de ejercicio respiratorio, que podría establecer modificaciones beneficiosas en parámetros respiratorios y en el rendimiento aeróbico y/o anaeróbico. El uso del dispositivo PwB fue empleado en todos los trabajos analizados. Sin embargo, la serie, versión y modelo no es el mismo e incluso en alguna ocasión no se llega a especificar (91, 97, 99, 105, 108, 115).

### **3.4.2. Protocolo de aplicación del Powerbreath®**

Es importante considerar y determinar adecuadamente los principios fundamentales de la selección de la carga, incluida la magnitud de la resistencia inspiratoria, la frecuencia y duración de las unidades de entrenamiento conjuntamente con su disposición en el ciclo de entrenamiento de la modalidad deportiva, porque los efectos de la EMI sobre los MR son dependientes de estos principios (117). Recientes estudios de investigación realizados en el ámbito del EMI y su repercusión en la salud (118, 119) así como en el rendimiento deportivo (117, 118) y todos los artículos de esta revisión incluidos (91, 97, 99, 105, 108, 115), siguen las especificaciones propuestas por PwB (104) que recomiendan la realización de 30 inspiraciones máximas con una frecuencia de dos veces al día, con el objetivo de fortalecer específicamente la musculatura inspiratoria y obtener los beneficios derivados de dicho fortalecimiento en forma de mejora de la salud y/o del rendimiento físico.

La realización de 30 inspiraciones podría justificarse porque el EMI no deja de ser un entrenamiento de fuerza y como tal, no debe ser diferente en cuanto a metodología y efectos al entrenamiento genérico de la fuerza aplicada a la musculatura esquelética (120). Además, existe una relación inversa entre el porcentaje de la fuerza máxima y el número de repeticiones que pueden realizarse. Por lo tanto, el EMI basado en la realización de 30 inspiraciones máximas, podría ser una forma fácil y general de establecer la intensidad del trabajo de fuerza correspondiente a aproximadamente el 50% de la fuerza máxima, que en este caso sería similar a la presión inspiratoria máxima (PIM). Esta recomendación de 30 repeticiones en la que se ha establecido el nivel de intensidad, cuando el paciente sea capaz de completarlas de manera asequible aumentaremos la resistencia a la inspiración (resistencia mecánica en PwB), con lo que se permite adaptar la resistencia y el EMI a las posibles mejoras que se adquieran de forma progresiva. Por otra parte, el

momento de uso del dispositivo PwB es como complemento del entrenamiento principal de su respectiva modalidad deportiva con duración del EMI entre 4-12 semanas, con una resistencia de carga entre 15-70% de la PIM (91, 97, 99, 105, 108, 115). Las recomendaciones del fabricante establecen que la carga resistiva del EMI deberá ser >30% de la PIM y según lo descrito HajGhanbari et al. (93) una carga <15% de la PIM es inefectiva. De las investigaciones analizadas únicamente Edwards et al. (108) utilizan una carga fija del 15% de la PIM y el resto de los estudios emplean valores de 50% (97, 99, 115) ó 55% (105) de forma constante o aplican una metodología incremental entre el 50-70% de la PIM a lo largo del estudio (91).

### **3.4.3. Evaluación de parámetros ergo-respiratorios**

La resistencia de los MR puede ser entrenada y tras la implementación de un correcto programa puede influir en el metabolismo energético de los MR, ganando eficiencia y provocando una menor demanda de O<sub>2</sub> con respecto a los músculos esquelético, además de aumentar la fuerza de los MR. Sin embargo, es difícil conocer cuál de estos factores y en qué proporción disminuye la fatiga y/o mejora el rendimiento final (121). Esto se debe porque existen dificultades para valorar y cuantificar la fatiga de los MR por su localización y función, pero existen parámetros funcionales respiratorios que se modifican en tras el EMI (93, 102). De este modo, en los artículos incluidos en esta revisión para realizar un óptimo control del EMI, se evaluaron diferentes parámetros respiratorios: PIM (91, 97, 99, 105, 108, 115), la presión espiratoria máxima (PEM) (91, 115), la ratio esfuerzo respiratorio (RRE) (115), la eficiencia respiratoria (ER) (99), la ventilación / minuto (97), la capacidad vital forzada (105), el volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV1) (97, 99, 105, 108).



### 3.4.3.1. Presiones respiratorias máximas

En relación a la ventilación pulmonar, se ha demostrado que después de ejercicios físicos aeróbicos intensos y/o de larga duración, se producen descensos significativos de las PIM y PEM (122), que son consecuencia de la disminución de la fuerza y del rendimiento físico de los MR. Estos factores respiratorios limitan el rendimiento deportivo de los atletas (93), por lo que el EMI sería de gran ayuda.

En este sentido, la PIM que evalúa principalmente la fuerza diafragmática (123). En los resultados del metaanálisis se mostró que el EMI con PwB produce un efecto significativo en la mejora sobre PIM. Lo que podría suponer mejoras en la capacidad oxidativa del diafragma (124) y una ganancia de fuerza que implica mayor resistencia a la fatiga (93). Algunos autores (96, 106) sugieren la necesidad que la mejora en el rendimiento viene determinada por cambios  $>25\%$  de la PIM después del EMI. Sin embargo, esta premisa sólo se cumple en la mitad de los estudios analizados (91, 99, 115), en donde los autores obtienen unas mejoras entre 26-54 % de la PIM. Para los 3 estudios restantes (97, 105, 108) con un rango de mejoras de la PIM entre 6,8-21.5% también se obtienen mejoras en rendimiento deportivo. Esto podría suponer que la magnitud de la modificación de la PIM no es la única clave para conseguir mejoras en el rendimiento, pero si pudiera serlo la intensidad de la magnitud de la resistencia inspiratoria del EMI. Todos los estudios utilizan unos niveles de carga resistiva  $> 15\%$  PIM, acorde a lo descrito por HajGhanbari et al. (93), que siguieren ese nivel de intensidad como carga efectiva. Se ha de resaltar que la mayor ganancia de la PIM (54%) se produjeron tras programas de mayor duración temporal (12 semanas) (91). En el resto de estudios (97, 99, 105, 108, 115) cuyo programa de entrenamiento oscila entre 4-6 semanas, la temporalidad no fue diferencial en las modificaciones de la PIM post EMI.

La PEM evalúa la fuerza de los músculos respiratorios intercostales y abdominales (123). Hartz et al. (91) observaron aumentos (23%) no significativos de la PEM asociados a mejoras en el rendimiento físico de componente aeróbico e incrementos significativos en el volumen máximo de oxígeno ( $VO_2$  max) de jugadores de balonmano tras 12 semanas de EMI. Del mismo modo, Griffiths et al. (115) observan mejoras en el  $VO_2$  max y además de la capacidad anaeróbica tras mejoras (31%) de la PEM, después de 4 semanas de entrenamiento con remeros de élite. De este modo, el EMI podría desarrollar una mayor fuerza de los músculos respiratorios intercostales y/o abdominales para generar una contracción sostenida durante el ejercicio que permitiría la ventilación suficiente y aumentaría la eficiencia de los MR (125). Ello permite una mayor resistencia a la fatiga durante la práctica de AF, rebajando el aporte de  $O_2$  de MR intercostales y/o abdominales durante el ejercicio extenuante en relación con los músculos esqueléticos (107). Por lo tanto, incrementos, incluso no significativos (23-31 %) de la PEM, parecen mostrarse efectivos para obtener incrementos del rendimiento aeróbico y que cuando son superiores al 31% serían adecuados para mejorar el rendimiento aeróbico y anaeróbico.

Por lo tanto, los MR tienen la posibilidad de ser entrenados mediante cargas de resistencia y monitorizados utilizando parámetros funcionales respiratorios. La observación de modificaciones incrementales en estos parámetros, PIM y PEM, permitirán superar los factores limitantes del ejercicio como son el compromiso energético de los MR con respecto a la musculatura esquelética implicada en la AF y la propia fatiga de los MR donde el EMI puede provocar mejoras (124).

#### **3.4.4. Evaluación de parámetros físicos**

El  $VO_2$ max mide la cantidad de  $O_2$  que el organismo capta y utiliza en una AF. A intensidades del 70%-80% del  $VO_2$ max el incremento de la LA empieza a ser

considerable, debido a que la producción de potencia y de energía van asociadas a procesos de resíntesis de ATP de las vías anaeróbicas, permitiendo alcanzar estos valores elevados de  $VO_2\text{max}$  (126). Ambos marcadores,  $VO_2\text{max}$  y la LA permiten el control del entrenamiento de las capacidades aeróbicas y anaeróbicas respectivamente (40).

El resultado del metaanálisis del  $VO_2\text{max}$  mostró que el EMI con PwB produce mejoras notables sobre este parámetro, aunque no estadísticamente significativas. Esto podría deberse a la posible presencia de sesgo de publicación en dicho metaanálisis, que tal y como se indica en el apartado de resultados, podría significar que no han sido publicados estudios con un resultado favorable al aumento del  $VO_2\text{max}$  en el post-entrenamiento, ya sea por falta de investigación al respecto o por omisión de los mismos. Sin embargo, resultó llamativo en la presente revisión que 4 de los estudios analizados (91, 97, 108, 115) presentaron incremento de  $VO_2\text{max}$ , destacando el estudio de Griffiths et al. (115) en el que se recogió un aumento especialmente considerable de este parámetro (ROM de 1.58). Por tanto, a la espera de un mayor número de estudios que consideren el análisis del  $VO_2\text{max}$ , podríamos sopesar que la modulación del descenso de la funcionalidad de los MR durante la AF, porque se aumenta el  $VO_2\text{max}$ , se relacionaría por el posible retraso en el desencadenamiento del RMMR y el rendimiento respiratorio aumentado.

Es conocido que, durante ejercicios intensos, se ha estimado que los MR pueden llegar a utilizar un 16% del gasto cardíaco, disminuyendo la disponibilidad de  $O_2$  para la musculatura esquelética responsable del movimiento (127), y esto sería debido a la respuesta simpática vasoconstrictora que reduce el flujo sanguíneo de los músculos esqueléticos, y, por lo tanto, su producción y consumo de energía. Como consecuencia aumenta la fatiga de los músculos esqueléticos y se redistribuye el flujo para preservar la

función respiratoria sin comprometer la demanda energética de los MR, por el bien de la respiración (92).

Esta situación posiciona al sistema respiratorio como limitante del  $\text{VO}_2\text{max}$  y del rendimiento en la actividad física. Con el adecuado EMI los MR serían potencialmente capaces de mejorar la tolerancia a la fatiga, mayor eficiencia respiratoria y retraso del RMMR (128). En este sentido, el EMI tendría influencia positiva en el rendimiento, para conseguir mejoras significativas del  $\text{VO}_2\text{max}$ , con intensidades de entrenamiento de resistencia entre 50-70% de la PIM, con una duración de entre 6-12 semanas y podrían estar asociadas a mejoras significativas de la PIM superiores al 20% post EMI (91, 97).

Así mismo se observó que el entrenamiento de los MR empleando el dispositivo PwB tenía un efecto estadísticamente significativo en la reducción de LA en el post-entrenamiento. Esta reducción del LA podría ser incluso más acusada, ya que se observó en el gráfico en embudo, a través del método *Trim and fill*, un posible sesgo de publicación al ser imputados dos estudios a niveles de ROM menores del ES. Por lo tanto, en estas condiciones, podría indicarse que el EMI mediante PwB podría proporcionar una ventaja sobre el rendimiento de los deportistas incluso mayor que la observada en el presente trabajo. Las correlaciones inversas entre el aumento del trabajo respiratorio y el flujo sanguíneo de los músculos, hace que el trabajo respiratorio durante un ejercicio máximo comprometa la perfusión y  $\text{VO}_2\text{max}$  de los músculos esqueléticos (127, 129). A intensidades elevadas de AF la tasa de producción LA se incrementa repentinamente, porque el ritmo de uso de glucógeno muscular es alto y excede el ritmo mitocondrial para aceptar el piruvato para su oxidación en el ciclo de Krebs (40). Sin embargo, la mayor cantidad de  $\text{O}_2$  que se transporta a los músculos por unidad de tiempo, tras la mejora de la capacidad aeróbica mostrada tras el EMI, retrasa la aparición del umbral de lactato. En este sentido la reducción significativa de LA se ha asociado a las mejoras de  $\text{VO}_2\text{max}$

(97, 108, 115). Se ha mostrado la efectividad del EMI consiguiendo reducciones significativas LA, con intensidades de entrenamiento de resistencia entre 15-50% de la PIM, y una duración de entre 4-6 semanas, y relacionadas con unas adaptaciones de la PIM del 6.8 % post EMI.

De forma general, se podría indicar que tras el entrenamiento de los MR se observan mejoras en el metabolismo aeróbico, con las mejoras del VO<sub>2</sub>max y anaeróbico con descenso de la LA. Estos resultados podrían reflejar que el EMI produce una mejora en la tolerancia a la fatiga y mayor eficiencia respiratoria, acorde con lo descrito con Mc Connell et al. (103). En conjunto, estos resultados permiten posicionar a PwB como un dispositivo que permite completar sistema de entrenamiento habitual del deportista.

### **3.4.5. Impacto del entrenamiento sectorizado de la musculatura respiratoria en rendimiento respiratorio y/o deportivo**

La AF se ve limitada por la ventilación o por la función muscular respiratoria tras un ejercicio sub-máximo prolongado y de ejercicio máximo en periodos cortos de tiempo que producen fatiga de los MR (130). Los resultados demuestran que los MR son ejercitables mediante entrenamientos específicos como el EMI mediante el PwB y son capaces de superar estas limitaciones respiratorias. En este estudio, aunque se han descrito diferentes protocolos de EMI con el dispositivo umbral PwB y se han reportado diferentes respuestas en los parámetros respiratorios (PIM, PEM) y de control de ejercicio (VO<sub>2</sub>max, LA), se producen óptimos resultados en el rendimiento deportivo final, específico de cada deporte (91, 95, 97, 99, 105, 108, 115). Estas actividades como son el balonmano (91), el remo (115), el ciclismo (99), el atletismo (97), y el fútbol (97, 105), deben mantener altos niveles de intensidad durante tiempos prolongados por lo que la ganancia de fuerza de los

MR, post EMI, se puede traducir en una mayor resistencia a la fatiga propia de los MR que podría resultar efectiva para conseguir un rendimiento físico neto (109). Además, el incremento de fuerza de los MR permitiría satisfacer la demanda ventilatoria que es la única forma de eliminar la excesiva producción metabólica de CO<sub>2</sub>, durante la AF, y de no ser atendida causaría la acumulación del CO<sub>2</sub> en los tejidos y la sangre desencadenando acidosis metabólica y, por lo tanto, el fracaso de la musculatura esquelética y respiratoria (131). Se ha estimado que la ganancia de fuerza comienza a partir del 15% de incremento de la PIM (105), pero el estudio de Edwards et al. (108) con ganancias significativas de 6.8% de la PIM en atletas tras EMI, mejoran significativamente las prestaciones en la prueba de 5000m. Esta situación complica la interpretación de las mejoras rendimiento estableciendo un umbral de mejora de la PIM. Sin embargo, utilizar una carga fija resistiva del EMI  $\geq 15\%$  de la PIM con el PwB induce adaptaciones positivas en PIM que se podrían relacionar directamente con la mejora de los rendimientos físicos globales en las diferentes modalidades de AF. Con respecto a la duración del EMI el incremento de mayor porcentaje de la PIM (54%) se producen tras 12 semanas (91), aunque se han observado mejoras significativas de la PIM tras 4 semanas (115). Las mejoras considerables del VO<sub>2</sub>max, se consiguieron a partir de 6 semanas con incrementos de la PIM  $\geq 21.5\%$  post EMI (97). La disminución significativa LA, se ha descrito desde las 4 semanas de EMI e incrementos de la PIM  $\geq 6.8\%$  (108).

En definitiva, todos estos resultados presentados habilitarían al PwB como un dispositivo eficaz de fácil uso e integración en las rutinas de entrenamiento clásicas de diferentes modalidades deportivas, que avalaría la utilidad del EMI para mejorar el rendimiento durante la práctica de la actividad física. Sin embargo, para consolidar las conclusiones del presente trabajo se recomienda la realización de un número más amplio de estudios que analicen la influencia del EMI sobre parámetros de control del

rendimiento, especialmente para la estimación de  $VO_{2max}$  y LA, al haber sido comprobada la posible presencia de sesgos de publicación. Por último, creemos que sería conveniente establecer el método de EMI más adecuado en función del componente de cada AF que afecte de forma positiva a la función respiratoria y redunde directamente en el rendimiento físico. Por esta razón la medicina deportiva, por su comprensión de los mecanismos que apuntan los efectos del EMI, será la encargada de diseñar un programa único considerando la modalidad de AF y sus demandas ventilatorias para la incorporación del régimen individual EMI a la AF.

## **CONCLUSIONES**



1. La aplicación de la CC durante una pre-temporada de 8 semanas es capaz de favorecer la recuperación del daño muscular asociada con la competición y el entrenamiento, mostrando una tendencia descendente en los marcadores musculares: CK, AST, ALT, LDH y Mb.
2. La CC no fue eficaz para reducir los niveles del cortisol en los jugadores de baloncesto durante las 8 semanas del estudio.
3. La tendencia de mejora de la fuerza muscular y la disminución significativa de la percepción de fatiga al final del estudio sugieren una reducción de la fatiga muscular en el grupo de deportistas donde se ha aplicado la CC.
4. Los AE sometidos a dos estímulos hipóxicos, como son las exposiciones continuadas en altitud media y IHE normobárica en reposo, permiten estimular parámetros hematológicos como la EPO, RET, Hct, HEM y Hb, que demuestran una activación de la eritropoyesis del deportista.
5. Los AE tras la exposición a IHE normobárica en reposo obtiene un incremento del rendimiento aeróbico y anaeróbico del deportista, como consecuencia una mejor capacidad de transporte de oxígeno en la sangre.
6. La aplicación de un doble estímulo hipóxico permite mejorar los resultados obtenidos en investigaciones anteriores de IHE normobárica, recogiendo todos los beneficios que se obtienen en otros programas IHE hipobárica o IHT.
7. El PwB es un dispositivo eficaz para el EMI de fácil uso e integración en las rutinas de entrenamiento clásicas de diferentes modalidades deportivas.
8. El EMI tras 4 semanas mediante el dispositivo PwB estimula un incremento del 54% de la PIM tras 12 semanas, aunque se han observado mejoras significativas de la PIM asociadas mejoras en rendimiento deportivo.

9. El EMI semanas mediante el dispositivo PwB estimula incrementos no significativos de la PEM, que son efectivos para obtener incrementos para mejorar el rendimiento aeróbico y anaeróbico.
10. Las mejoras considerables del  $VO_2\text{max}$ , se consiguieron a partir de 6 semanas asociadas al incremento de la  $PIM \geq 21.5\%$  post EMI.
11. El descenso significativo LA, se consiguió a partir de las 4 semanas de EMI tras producirse incrementos de la  $PIM \geq 6.8\%$ .
12. Es necesario la realización de un número más amplio de estudios que analicen la influencia del EMI para la estimación de  $VO_2\text{max}$  y LA, al haber sido comprobada la posible presencia de sesgos de publicación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Córdova A, Fernández-Lázaro D, Blacka L, Caballero García A. Manipulación genética en el rendimiento deportivo. Genes con efecto sobre el comportamiento muscular. *Rev Andal Med Deporte*. 2020; 13(1):35-39.
2. Odriozola Lino, JM. Ayudas ergogénicas en el deporte. *Arbor*. 2000;165(650):171-185.
3. Eugenio Luna P. El deporte y la ergogenia: una mirada desde la bioética. *Revista Médica Clínica Las Condes*. 2012;23(3):349-354.
4. Hurst P, Schipof-Godart L, Szabo A, Raglin J, Hettinga F, Roelands B, et al. The Placebo and Nocebo effect on sports performance: A systematic review. *Eur J Sport Sci*. 2020;20(3):279-292.
5. Garnes Ros AF, Rodríguez Más OC. Ayudas ergogénicas en el deporte. *EFDeportes.com* [Internet]. 2012 [Consultado 20 enero 2020]; 175:1-4. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd86/ergog.htm>
6. Redondo RB, Fernández CJC, Galván CDT, del Valle Soto M, Bonafonte LF, Gabarra AG, et al. Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte-2019. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. *Arch Med Deporte*. 2019;36(1):1-114.
7. Warrell DA, Benz Jr EJ, Cox TM, Firth JD. eds. *Oxford textbook of medicine*. Vol. 1. Oxford University Press, USA, 2003.
8. Santesteban Moriones V, Ibáñez Santos J. Ayudas ergogénicas en el deporte. *Nutr Hosp*. 2017;34(1):204-215.
9. Richard P, Billaut F. Combining Chronic Ischemic Preconditioning and Inspiratory Muscle Warm-Up to Enhance On-Ice Time-Trial Performance in Elite Speed Skaters. *Front Physiol*. 2018;9:1036.

10. Montgomery PG, Pyne DB, Hopkins WG, Dorman JC, Cook K, Minahan CL. The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *J Sports Sci.* 2008;26(11):1135-1145.
11. Córdova A, Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Seco J. Effect of magnesium supplementation on muscular damage markers in basketball players during a full season. *Magnes Res.* 2017;30(2):61-70.
12. Gill ND, Beaven C, Cook C. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med.* 2006;40(3):260-263.
13. Taboada M. Marcadores bioquímicos del daño muscular en jugadores profesionales de baloncesto: seguimiento médico, protocolo fisioterapéutico como recuperación y su influencia sobre el rendimiento deportivo. [Tesis Doctoral]. [León]: Universidad de León; 2015.
14. Tavares F, Smith TB, Driller M. Fatigue and recovery in rugby: A review. *Sports Med.* 2017;47(8):1515-1530.
15. Seco-Calvo J, Mielgo-Ayuso J, Calvo-Lobo C, Córdova A. Cold Water Immersion as a Strategy for Muscle Recovery in Professional Basketball Players During the Competitive Season. *J Sport Rehabil.* 2019(00):1-9.
16. Gomez-Zorita S, Urdampilleta A. Empleo de medias de compresión en el deporte: evidencia científica. *EFDeportes.com* [Internet]. 2012 [Consultado 12 Julio 2019]; 175:1-4. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd175/empleo-de-medias-de-compresion-en-el-deporte.htm>
17. Ali A, Caine M, Snow B. Graduated compression stockings: physiological and perceptual responses during and after exercise. *J Sports Sci.* 2007;25(4):413-419.

18. Ali A, Creasy RH, Edge JA. The effect of graduated compression stockings on running performance. *J Strength Cond Res.* 2011;25(5):1385-1392.
19. Duffield R, Cannon J, King M. The effects of compression garments on recovery of muscle performance following high-intensity sprint and plyometric exercise. *J Sci Med Sport.* 2010;13(1):136-140.
20. Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Melegati G. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med.* 2010;40(6):509-517.
21. Mawhinney C, Jones H, Low DA, Green DJ, Howatson G, Gregson W. Influence of cold-water immersion on limb blood flow after resistance exercise. *Eur J Sport Sci.* 2017;17(5):519-529.
22. Pointon M, Duffield R, Cannon J, Marino FE. Cold application for neuromuscular recovery following intense lower-body exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(12):2977-2986.
23. Howatson G, Goodall S, Van Someren K. The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2009;105(4):615-621.
24. Peake JM, Roberts LA, Figueiredo VC, Egner I, Krog S, Aas SN, et al. The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise. *J Physiol.* 2017;595(3):695-711.
25. Delextrat A, Calleja-González J, Hippocrate A, Clarke ND. Effects of sports massage and intermittent cold-water immersion on recovery from matches by basketball players. *J Sports Sci.* 2013;31(1):11-19.

26. Farrán, A.; Zamora, R.; Cervera, P. Tablas de Composición de Alimentos del Centre D'Ensenyament Superior de Nutrició i Dietètica (CESNID); Universitat de Barcelona: Barcelona, Spain, 2004.
27. Dawes HN, Barker KL, Cockburn J, Roach N, Scott O, Wade D. Borg's rating of perceived exertion scales: do the verbal anchors mean the same for different clinical groups? *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(5):912-916.
28. Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sports.* 2006;16(1):57-69.
29. Pascual-Oliva E. Efectos de la hipoxia intermitente sobre la resistencia en atletas de élite: [Tesis Doctoral]. [Soria]: Universidad de Valladolid; 2012.
30. Van Beaumont W. Evaluation of hemoconcentration from hematocrit measurements. *J Appl Physiol.* 1972;32(5):712-713.
31. de Oliveira Teixeira A, Franco OS, Borges MM, Noronha Martins C, Fernando Guerreiro L, da Rosa CE, et al. The Importance of Adjustments for Changes in Plasma Volume in the Interpretation of Hematological and Inflammatory Responses after Resistance Exercise. *J Exer Physiol Online.* 2014;17(4):72-83.
32. Ehrström S, Gruet M, Giandolini M, Chapuis S, Morin J-B, Vercruyssen F. Acute and Delayed Neuromuscular Alterations Induced by Downhill Running in Trained Trail Runners: Beneficial Effects of High-Pressure Compression Garments. *Front Physiol.* 2018;28(9):1627
33. Hettchen M, Glöckler K, von Stengel S, Piechele A, Lötzerich H, Kohl M, et al. Effects of Compression Tights on Recovery Parameters after Exercise Induced Muscle Damage: A Randomized Controlled Crossover Study. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2019;8:5698460

34. Marqués-Jiménez D, Calleja-González J, Arratibel-Imaz I, Delextrat A, Uriarte F, Terrados N. Influence of different types of compression garments on exercise-induced muscle damage markers after a soccer match. *Res Sports Med.* 2018;26(1):27-42.
35. Jakeman J, Macrae R, Eston R. A single 10-min bout of cold-water immersion therapy after strenuous plyometric exercise has no beneficial effect on recovery from the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Ergonomics.* 2009;52(4):456-460.
36. Córdova A, Martín JF, Reyes E, Alvarez-Mon M. Protection against muscle damage in competitive sports players: the effect of the immunomodulator AM3. *J Sports Sci.* 2004;22(9):827-833.
37. Córdova A, Mielgo-Ayuso J, Fernandez-Lazaro CI, Caballero-García A, Roche E, Fernández-Lázaro D. Effect of Iron Supplementation on the Modulation of Iron Metabolism, Muscle Damage Biomarkers and Cortisol in Professional Cyclists. *Nutrients.* 2019;11(3):500.
38. Córdova A, Mielgo-Ayuso J, Roche E, Caballero-García A, Fernandez-Lázaro D. Impact of Magnesium Supplementation in Muscle Damage of Professional Cyclists Competing in a Stage Race. *Nutrients.* 2019;11(8):1927.
39. Proske U, Morgan D. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol.* 2001;537(2):333-345.
40. Córdova Martínez A. *Fisiología deportiva.* 1ª Ed. Madrid: Síntesis; 2013.
41. Shearer DA, Sparkes W, Northeast J, Cunningham DJ, Cook CJ, Kilduff LP. Measuring recovery: An adapted Brief Assessment of Mood (BAM+) compared



- to biochemical and power output alterations. *J Sci Med Sport*. 2017;20(5):512-517.
42. Vaile J, Halson S, Gill N, Dawson B. Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. *J Sports Sci*. 2008;26(5):431-440.
43. Yamane M, Teruya H, Nakano M, Ogai R, Ohnishi N, Kosaka M. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur J Appl Physiol*. 2006;96(5):572-580.
44. Goodall S, Howatson G. The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *J Sports Sci Med*. 2008;7(2):235-241.
45. Engel FA, Holmberg H-C, Sperlich B. Is there evidence that runners can benefit from wearing compression clothing? *Sports Med*. 2016;46(12):1939-1952.
46. Davies V, Thompson KG, Cooper S-M. The effects of compression garments on recovery. *J Strength Cond Res*. 2009;23(6):1786-1794.
47. de Freitas VH, Ramos SP, Bara-Filho MG, Freitas DG, Coimbra DR, Cecchini R, et al. Effect of cold water immersion performed on successive days on physical performance, muscle damage, and inflammatory, hormonal, and oxidative stress markers in volleyball players. *The J Strength Cond Res*. 2019;33(2):502-513.
48. Mizuno S, Morii I, Tsuchiya Y, Goto K. Wearing compression garment after endurance exercise promotes recovery of exercise performance. *Int J Sports Med*. 2016;37(11):870-877.

49. Grasso D, Lanteri P, Di CB, Mauri C, Porcelli S, Colombini A, et al. Salivary steroid hormone response to whole-body cryotherapy in elite rugby players. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2014;28(2):291-300.
50. Noakes TD. Effect of exercise on serum enzyme activities in humans. *Sports Med*. 1987;4(4):245-267.
51. Cook CJ, Beaven CM. Individual perception of recovery is related to subsequent sprint performance. *Br J Sports Med*. 2013;47(11):705-709.
52. Davies CT, Thompson MW. Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1979;41(4):233-245.
53. Harries M, Williams C, Stanish WD. *Oxford textbook of sports medicine*. Oxford. Editor Oxford Medical Publications;1996. p.143-144
54. Villa JG, Lucia A, Marroyo JA, Avila C, Jimenez F, Garcia-Lopez J, et al. Does intermittent hypoxia increase erythropoiesis in professional cyclists during a 3-week race? *Can J Appl Physiol*. 2005;30(1):61-73.
55. Billings CE, Bason R, Mathews DK, Fox EL. Cost of submaximal and maximal work during chronic exposure at 3,800 m. *J Appl Physiol*. 1971;30(3):406-408.
56. Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet J-P. Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Med*. 2010;40(1):1-25.
57. Levine BD, Stray-Gundersen J. A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sports Med*. 1992;13 Suppl 1:S209-212.
58. Hamlin MJ, Hellemans J. Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. *J Sports Sci*. 2007;25(4):431-441.

59. Sanchez AM, Borrani F. Effects of intermittent hypoxic training performed at high hypoxia level on exercise performance in highly trained runners. *J Sports Sci.* 2018;36(18):2045-2052.
60. Ge RL, Witkowski S, Zhang Y, Alfrey C, Sivieri M, Karlsen T, et al. Determinants of erythropoietin release in response to short-term hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol* (1985). 2002;92(6):2361-2367.
61. Ramos Campo DJ, Martínez Sánchez F, Esteban García P, Rubio Arias JA, Clemente Suárez VJ, Mendizábal Albizu S, Jiménez Díaz JF. Modificaciones hematológicas producidas por un programa de exposición a hipoxia intermitente de ocho semanas de duración en ciclistas. *Arch Med Deporte.* 2011;145:319-330.
62. Hoppeler H, Vogt M. Muscle tissue adaptations to hypoxia. *J Exp Biol.* 2001;204(Pt 18):3133-31339.
63. Meeuwssen T, Hendriksen IJ, Holewijn M. Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol.* 2001;84(4):283-290.
64. Mollard P, Woorons X, Letournel M, Cornolo J, Lamberto C, Beaudry M, et al. Role of maximal heart rate and arterial O<sub>2</sub> saturation on the decrement of VO<sub>2</sub>max in moderate acute hypoxia in trained and untrained men. *Int J Sports Med.* 2007;28(3):186-192.
65. Vogt M, Hoppeler H. Is hypoxia training good for muscles and exercise performance? *Prog Cardiovasc Dis.* 2010;52(6):525-533.
66. Wehrlin JP, Zuest P, Hallen J, Marti B. Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol* (1985). 2006;100(6):1938-1945.

67. Flouris AD, Koutedakis Y, Nevill A, Metsios GS, Tsiotra G, Parasiris Y. Enhancing specificity in proxy-design for the assessment of bioenergetics. *J Sci Med Sport*. 2004;7(2):197-204.
68. Bonetti DL, Hopkins WG, Lowe TE, Kilding AE. Cycling performance following adaptation to two protocols of acutely intermittent hypoxia. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2009;4(1):68-83.
69. Rodriguez FA, Ventura JL, Casas M, Casas H, Pages T, Rama R, et al. Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol*. 2000;82(3):170-177.
70. Knaupp W, Khilnani S, Sherwood J, Scharf S, Steinberg H. Erythropoietin response to acute normobaric hypoxia in humans. *J Appl Physiol* (1985). 1992;73(3):837-840.
71. Klausen K, Robinson S, Michael ED, Myhre LG. Effect of high altitude on maximal working capacity. *J Appl Physiol*. 1966;21(4):1191-1194.
72. Hellemans J. Intermittent hypoxic training: a pilot study. *Proceeding of the Second Annual International Altitude Symposium Flagstaff (AZ), 1999*. (1999).
73. Bonetti DL, Hopkins WG, Kilding AE. High-intensity kayak performance after adaptation to intermittent hypoxia. *Int J Sports Physiol Perform*. 2006;1(3):246-260.
74. Frey W. Influence of intermittent exposure to normobaric hypoxia on hematological indexes and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:S65.
75. Tan A, Urquhart G. Changes in haematological indices and swimming performance after intermittent normobaric hypoxia exposure: a case study. *Br J Sports Med*. 2010;44(14):i14-i14.

76. Julian CG, Gore CJ, Wilber RL, Daniels JT, Fredericson M, Stray-Gundersen J, et al. Intermittent normobaric hypoxia does not alter performance or erythropoietic markers in highly trained distance runners. *J Appl Physiol* (1985). 2004;96(5):1800-1807.
77. Campo DJR, Sánchez FM, García PE, Arias JAR, Albizu SM, Díaz JFJ. Efectos hematológicos inducidos por los programas de hipoxia intermitente. *Cultura, Ciencia Y Deporte*. 2013;8(24):199-206.
78. Rodriguez FA, Casas H, Casas M, Pages T, Rama R, Ricart A, et al. Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(2):264-268.
79. Rodríguez FA, Murio J, Ventura JL. Effects of intermittent hypobaric hypoxia and altitude training on physiological and performance parameters in swimmers. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(5):S115.
80. Rodas G, Parra J, Sitja J, Arteman J, Viscor G. Efecto de un programa combinado de entrenamiento físico e hipoxia hipobárica intermitente en la mejora del rendimiento físico de triatletas de alto nivel. *Apunts Medicina de L'Esport*. 2004;39(144):5-10.
81. Mørkeberg J, Belhage B, Damsgaard R. Changes in blood values in elite cyclist. *Int J Sports Med*. 2009;30(02):130-138.
82. Telford R, Cunningham R. Sex, sport, and body-size dependency of hematology in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23(7):788-794.
83. Banfi G, Lundby C, Robach P, Lippi G. Seasonal variations of haematological parameters in athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(1):9-16.

84. Corsetti R, Lombardi G, Lanteri P, Colombini A, Graziani R, Banfi G. Haematological and iron metabolism parameters in professional cyclists during the Giro d'Italia 3-weeks stage race. *Clin Chem Lab Med.* 2012;50(5):949-956.
85. Hinckson EA, Hamlin MJ, Wood MR, Hopkins WG. Game performance and intermittent hypoxic training. *Br J Sports Med.* 2007;41(8):537-539.
86. López Calbet JA. Efectos del entrenamiento en altitud. IX Jornadas sobre Medicina y Deporte de Alto Nivel. 6ª Ponencia. Comité Olímpico Español; 2006 Sept 28-29; Madrid. p.1-19.
87. Hamlin MJ, Hinckson EA, Wood MR, Hopkins WG. Simulated rugby performance at 1550-m altitude following adaptation to intermittent normobaric hypoxia. *J J Sci Med Sport.* 2008;11(6):593-599.
88. Marshall HC, Hamlin MJ, Hellemans J, Murrell C, Beattie N, Hellemans I, et al. Effects of intermittent hypoxia on SaO<sub>2</sub>, cerebral and muscle oxygenation during maximal exercise in athletes with exercise-induced hypoxemia. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104(2):383-393.
89. Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ, Martin DT, Ashenden MJ, Clark SA, et al. Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand.* 2001;173(3):275-286.
90. Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, Raymaekers J, Goossens N, Gayan-Ramirez G, et al. The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: a systematic review. *Respir Med.* 2013;107(3):331-346.
91. Hartz CS, Sindorf MA, Lopes CR, Batista J, Moreno MA. Effect of Inspiratory Muscle Training on Performance of Handball Athletes. *J Hum Kinet.* 2018;63(1):43-51.

92. Romer LM, Polkey MI. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *J Appl Physiol* (1985). 2008;104(3):879-888.
93. HajGhanbari B, Yamabayashi C, Buna TR, Coelho JD, Freedman KD, Morton TA, et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *J Strength Cond Res*. 2013;27(6):1643-1663.
94. Chicharro JL, Vaquero AF. *Fisiología del ejercicio/Physiology of Exercise*: Ed. Médica Panamericana; 2006.
95. Richard P, Billaut F. Combining Chronic Ischemic Preconditioning and Inspiratory Muscle Warm-Up to Enhance On-Ice Time-Trial Performance in Elite Speed Skaters. *Front Physiol*. 2018;9:1036.
96. Edwards A, Cooke C. Oxygen uptake kinetics and maximal aerobic power are unaffected by inspiratory muscle training in healthy subjects where time to exhaustion is extended. *Eur J Appl Physiol*. 2004;93(1-2):139-144.
97. Archiza B, Andaku DK, Caruso FCR, Bonjorno Jr JC, Oliveira CRd, Ricci PA, et al. Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: a randomized sham-controlled trial. *J Sports Sci*. 2018;36(7):771-780.
98. McConnell AK. The role of inspiratory muscle function and training in the genesis of dyspnoea in asthma and COPD. *Prim Care Respir Med*. 2005;14(4):186.
99. Salazar-Martínez E, Gatterer H, Burtscher M, Naranjo Orellana J, Santalla A. Influence of inspiratory muscle training on ventilatory efficiency and cycling performance in normoxia and hypoxia. *Front Physiol*. 2017;8:133.

100. Madariaga VB, Iturri JBG, Manterola AG, Buey JC, Sebastián NT, Peña VS. Comparación de 2 métodos de entrenamiento muscular inspiratorio en pacientes con EPOC. Arch Bronconeumol. 2007;43(8):431-438.
101. Boutellier U, Büchel R, Kundert A, Spengler C. The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1992;65(4):347-353.
102. Menzes K, Nascimento L, Avelino P, Polese J, Salmela L. A Review on Respiratory Muscle Training Devices. J Pulm Respir Med. 2018;8(2): 1000451.
103. McConnell AK, Caine MP, Lacy GK. Inspiratory muscle training device with variable loading. "Inspiratory muscle training device with variable loading." U.S. Patent No. 6,554,746. 29 Apr. 2003.
104. IMT Technologies LTD. PBK5 User Manual Spanish. <http://www.powerbreathe.es/manuales/3232%20PBK5%20User%20Manual%20Spanish.pdf> ed2018. [Consultado 12 de diciembre 2019].
105. Guy JH, Edwards AM, Deakin GB. Inspiratory muscle training improves exercise tolerance in recreational soccer players without concomitant gain in soccer-specific fitness. J Strength Cond Res. 2014;28(2):483-491.
106. Gething A, Williams M, Davies B. Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial. Br J Sports Med. 2004;38(6):730-736.
107. Abeijon B. Efectos del entrenamiento del diafragma y músculos accesorios de la inspiración en atletas de élite. Facultad de Medicina. Universidad Autónoma. Barcelona, 2007: Tesis Doctoral.
108. Edwards AM, Wells C, Butterly R. Concurrent inspiratory muscle and cardiovascular training differentially improves both perceptions of effort and



- 5000 m running performance compared with cardiovascular training alone. *Br J Sports Med.* 2008;42(10):823-827.
109. Klusiewicz A, Starczewski M, Sadowska D, Ładyga M. Effect of high-and low-resistance inspiratory muscle training on physiological response to exercise in cross-country skiers. *The J Sports Med Phys Fitness.* 2019;59(7):1156-1161.
110. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS medicine.* 2009;6(7):e1000100.
111. Gavaghan DJ, Moore RA, McQuay HJ. An evaluation of homogeneity tests in meta-analyses in pain using simulations of individual patient data. *Pain.* 2000;85(3):415-424.
112. DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Controlled clinical trials.* 1986;7(3):177-188.
113. Friedrich JO, Adhikari NK, Beyene J. The ratio of means method as an alternative to mean differences for analyzing continuous outcome variables in meta-analysis: a simulation study. *BMC Med Res Methodol.* 2008;8(1):32.
114. Egger M, Smith GD, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ.* 1997;315(7109):629-634.
115. Griffiths LA, McConnell AK. The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *Eur J Appl Physiol.* 2007;99(5):457-466.
116. Law M, Stewart C, Pollock N, Letts L, Bosch J, Westmorland M. *McMaster critical review form-Quantitative studies.* Hamilton, Ontario: McMaster University Occupational Therapy Evidence-Based Practice Research Group. 1998.

117. Shei R-J. Recent advancements in our understanding of the ergogenic effect of respiratory muscle training in healthy humans: A systematic review. *J Strength Cond Res.* 2018;32(9):2665-2676.
118. Duruturk N, Acar M, Dođrul MI. Effect of inspiratory muscle training in the management of patients with asthma. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2018;38(3):198-203.
119. González-Saiz L, Fiuza-Luces C, Sanchis-Gomar F, Santos-Lozano A, Quezada-Loaiza CA, Flox-Camacho A, et al. Benefits of skeletal-muscle exercise training in pulmonary arterial hypertension: The WHOLEi+ 12 trial. *Int J Cardiol.* 2017;231:277-283.
120. Lawton TW, Cronin JB, McGuigan MR. Strength testing and training of rowers. *Sports Med.* 2011;41(5):413-432.
121. González-Montesinos JL, Pardal CV, Santos JF, Muñoz AA, Sepúlveda JC, de los Monteros RGE. Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. *Rev Andal Med Deporte.* 2012;5(4):163-170.
122. Martin BJ, Stager JM. Ventilatory endurance in athletes and non-athletes. *Med Sci Sport Exer.* 1981;13(1):21-26.
123. de Jesús Mora-Romero U, Gochicoa-Rangel L, Guerrero-Zúñiga S, Cid-Juárez S, Silva-Cerón M, Salas-Escamilla I, et al. Maximal inspiratory and expiratory pressures: Recommendations and procedure. *Neumol Cir Torax.* 2014;73(4):247-253.
124. Powers SK, Lawler J, Criswell D, Dodd S, Grinton S, Bagby G, et al. Endurance-training-induced cellular adaptations in respiratory muscles. *J Appl Physiol.* 1990;68(5):2114-2118.

125. Aubier M, Trippenbach T, Roussos C. Respiratory muscle fatigue during cardiogenic shock. *J Appl Physiol.* 1981;51(2):499-508.
126. Viru A, Viru M. Análisis y control del rendimiento deportivo: Editorial Paidotribo; 2003.
127. Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow DF, Nickele GA, Nelson WB, et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1998;85(2):609-618.
128. McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol.* 2006;577(1):445-457.
129. Harms CA, Babcock MA, McClaran SR, Pegelow DF, Nickele GA, Nelson WB, et al. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1997;82(5):1573-1583.
130. Volianitis S, McConnell AK, Jones DA. Assessment of maximum inspiratory pressure. *Respiration.* 2001;68(1):22-27.
131. Jurić I, Labor S, Plavec D, Labor M. Inspiratory muscle strength affects anaerobic endurance in professional athletes. *Arh Hig Rada Toksikol.* 2019;70(1):42-48.

