

Urdampilleta, A.; Álvarez-Herms, J.; Martínez Sanz, J.M.; Corbi, F. y Roche, E. (2014). Readaptación física en futbolistas mediante vibraciones mecánicas e hipoxia / Physical rehabilitation in football by mechanical vibration and hypoxia. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 14 (53) pp. 119-134. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista53/artrecuperacion432.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista53/artrecuperacion432.htm)

## ORIGINAL

# READAPTACIÓN FÍSICA EN FUTBOLISTAS MEDIANTE VIBRACIONES MECÁNICAS E HIPOXIA

## PHYSICAL REHABILITATION IN FOOTBALL BY MECHANICAL VIBRATION AND HYPOXIA

Urdampilleta, A.<sup>1</sup>; Álvarez-Herms, J.<sup>2</sup>; Martínez-Sanz, J.M.<sup>3</sup>; Corbi, F.<sup>4</sup> y Roche, E.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad del País Vasco (UPV-EHU). Unidad de Asesoramiento e Investigación en Nutrición Deportiva y Entrenamiento en Altitud. Vitoria-Gasteiz (España). [aritz.urdampilleta@ehu.es](mailto:aritz.urdampilleta@ehu.es)

<sup>2</sup> Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Investigador Departamento de Fisiología. Ejercicio Físico e Hipoxia. Universidad de Barcelona. Barcelona (España) [jesusalvarez80@hotmail.com](mailto:jesusalvarez80@hotmail.com)

<sup>3</sup> Departamento de Salud y Gestión Deportiva. INEFC de Lleida (España). [josemiquel.ms@ua.es](mailto:josemiquel.ms@ua.es)

<sup>4</sup> Departamento de Salud y Gestión Deportiva. INEFC de Lleida (España). [f@corbi.neoma.org](mailto:f@corbi.neoma.org)

<sup>5</sup> Departamento de Biología Funcional. Centro de Investigación para el Deporte. Universidad de Elche. Elche (España). [eroche@umh.es](mailto:eroche@umh.es)

**Código UNESCO / UNESCO Code:** 2411.06. Entrenamiento Deportivo / Sports Training

**Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification:** 6. Fisiología del ejercicio / Sport Physiology

**Recibido** 28 de septiembre 2011 **Received** September 28, 2011

**Aceptado** 14 de abril de 2012 **Accepted** April 14, 2012

### RESUMEN

Las acciones explosivas en el fútbol se triplican respecto a los años 60, llegando a las 200-215 acciones explosivas/partido. Esto supone que la potencia muscular y la capacidad de recuperación sean factores limitantes, pudiendo ser frecuentes las lesiones musculares. Durante la lesión se pierden las cualidades condicionales, menos cuanto más corto sea este periodo. Existen diversos métodos para la mejora de la fuerza y capacidad de recuperación mediante las plataformas vibratorias y la hipoxia intermitente (HI). Mostramos resultados de una intervención con plataforma vibratoria y HI en futbolistas convalescientes de una rotura fibrilar. Este nuevo modelo de entrenamiento puede permitir mejoras la fuerza máxima ( $p < 0,05$ ) y capacidad

de recuperación ( $p < 0,05$ ) ayudando en gran medida a no perder las cualidades condicionales.

**PALABRAS CLAVE:** Plataformas vibratorias, Hipoxia intermitente, fuerza muscular, capacidad de recuperación.

## **ABSTRACT**

Explosive actions in football are three times over 60 years, reaching 200-215 explosive actions /match. This means that for an elite player, muscular power and resilience are performance limiting factors, which may be frequent muscular injuries. During the injury, conditional qualities are lost, the less the shorter the period. There are several methods for improving the strength and resilience, emphasizing the body vibration training and intermittent hypoxia (IH). In this study, results of an intervention HI vibrating platform and players who have been convalescing from a hamstring injury are shown. The results obtained suggest that this new training model allows for improvements in the levels of maximum force ( $p < 0.05$ ) and resilience ( $p < 0.05$ ). This helps keep the conditional qualities greatly.

**KEY WORDS:** Body vibration, intermittent hypoxia, muscle strength, resilience.

## **INTRODUCCIÓN**

El esfuerzo físico realizado por el jugador de fútbol es básicamente de carácter intermitente, alternando esfuerzo de alta intensidad con baja intensidad. Es importante por ello la mejora de la recuperación de esfuerzos de alta intensidad en los periodos de bajo esfuerzo (Mohr et al, 2010). Todo ello va a permitir mantener de forma alternada esfuerzos explosivos y repetidos (Casamichana et al, 2012). A la vez, Se ha visto que la acción estabilizadora de los músculos del tronco es muy importante en el juego del fútbol para coordinar movimientos rápidos, especialmente cuando partimos de situaciones de inestabilidad. (González-Arganda, 2010).

Las demandas y requerimientos del fútbol han cambiado en los últimos años (Randers, 2010). El número de sprints que se realizaban en los años 60 era mucho menor que los que se realizan en el fútbol moderno actual. De hecho, éstos se triplican, contabilizándose unos 190 sprints (alrededor de 200-215 acciones explosivas) (Dufour, 1990; Zubillaga, 2006),  $29,5 \pm 10,3$  cambios de dirección bruscos y  $8,5 \pm 3,82$  saltos por partido (Castellano, 1997). Así, podemos considerar al fútbol como un deporte de esfuerzos explosivos e intermitentes, en el que la capacidad de recuperación es esencial para aumentar el rendimiento (Motta, 2006).

Por otro lado, durante los periodos de convalecencia por lesión, los niveles de condición física y la capacidad de recuperación se ven alteradas, en

general sufriendo un decremento que afecta a la mayoría de cualidades. Todo ello hace que sea fundamental el mantener unos niveles de condición física lo más altos posibles, como forma de acelerar el proceso de recuperación (González-Arganda, 2010). En los últimos años, el fútbol profesional ha evolucionado considerablemente en los métodos utilizados para la mejora del área condicional, la recuperación, la preparación psicológica, la prevención de lesiones y la rehabilitación, realizando un mejor análisis del juego del fútbol (Randers et al, 2010).

La periodización anual en fútbol requiere de una estructuración diferente a la utilizada en los deportes de rendimiento individual. Aunque existen diferentes metodologías de periodización en el fútbol en función de los diferentes métodos y sistemas de juego utilizados, es común a todos ellos que se busque conseguir el mantenimiento de un rendimiento alto (no máximo) durante el máximo tiempo posible, a lo largo de la temporada con picos de forma puntuales en función de los objetivos deportivos (Alvarez-Herms et al, 2012), es por ello que se necesitan nuevos métodos para que la sobrecarga sea mínima y se mantenga la condición física alta a lo largo de la temporada.

Las plataformas vibratorias son instrumentos útiles para el aumento de la flexibilidad (Fangani et al, 2006; Sands et al, 2006), y los últimos estudios realizados muestran una tendencia a la mejora y mantenimiento de la fuerza explosiva mediante el entrenamiento vibratorio, aunque todavía la evidencia científica es de pobre calidad y se necesitan más estudios en este campo con colectivos específicos (Fort-Vanmeerhaeghe et al, 2011; Rechn et al, 2007). Colson y colaboradores (2010) estudiaron la efectividad de estos instrumentos en el baloncesto. Para ello, aplicaron en un grupo de jugadores de baloncesto un protocolo de vibraciones verticales (40 Hz y 4 mm) realizado 3 veces por semana. En él se realizaron  $\frac{1}{2}$  sentadillas estáticas con 30'' de vibraciones y 30'' de descanso, durante 20'. Después de 4 semanas de entrenamiento, la fuerza máxima isométrica aumentó. Otros autores defienden que las frecuencias de vibración a utilizar para producir un aumento de la fuerza máxima dinámica en deportistas entrenados deberían situarse entre los 40-50 Hz, con vibraciones verticales de 3 mm (Ronnestad, 2012). De la misma manera, Cormie y colaboradores (2006), observaron que con este tipo de entrenamientos se observaban mejoras significativas en el salto vertical, después de unas exposiciones agudas en plataformas vibratorias (30-30'' a 30 Hz y 2,5 mm). Los autores concluyeron que las plataformas podrían ser muy válidas como método de calentamiento antes de realizar saltos de máxima intensidad, así como forma de recuperar la potencia después de la aparición de lesiones.

Por otra parte, el entrenamiento de hipoxia intermitente (IHT) es uno de los estímulos más novedosos utilizados para la preparación de deportistas (Meeusen, 2001). En los últimos años, se han publicado numerosos estudios que demuestran como los IHT producen adaptaciones interesantes, tanto a nivel periférico como sistémico, justificando su aplicación como forma de mejorar el rendimiento deportivo (Geiser, 2001; Roels, 2007; Zoll,

2006). También se ha observado como con los IHT específicos se mejoran algunas marcas en test inespecíficos (Urdampilleta, 2010; Vogt, 2010), lo cual justifica su aplicación en diferentes deportes.

Aunque no haya muchos antecedentes, tenemos indicios de que el EHI mejora la recuperación de la frecuencia cardiaca desde valores altos (Urdampilleta, 2011). De la misma manera en los estudios realizados en los que se combinan ejercicios explosivos y de hipoxia intermitente, se observa que la activación de la vía glucolítica es mayor (Vogt, 2010), y que se necesita menos tiempo de entrenamiento para aumentar la carga de entrenamiento (Hendriksen, 2003). En un estudio previo realizado por este grupo de investigación se constató una mejora significativa de la frecuencia cardíaca de recuperación desde esfuerzo máximo después de realizar un protocolo de entrenamiento de fuerza resistencia en hipoxia intermitente (Alvarez-Herms et al, 2011). Del mismo modo, hay indicios sobre los beneficios fisiológicos de la exposición y entrenamiento en hipoxia podrían aumentar el rendimiento individual de los jugadores de fútbol (Alvarez-Herms et al, 2012).

Así, tal y como señala Calbet (2006), es importante aplicar nuevos métodos de entrenamiento intensivos que se ajusten a la realidad de nuestros deportistas y que a la vez sean capaces de aumentar las posibilidades adaptativas de los deportistas para seguir aumentando la forma física en diferentes situaciones. Esto nos lleva a la hipótesis de que en deportistas recién salidos de una lesión, se pueden mantener ciertas cualidades condicionales y parámetros fisiológicos, así como la fuerza muscular y la recuperación cardiaca a través de medios innovadores, utilizando sistemas que de por sí aumentan las capacidades funcionales sistémicas así como periféricas, sin que ello resulte muy traumático para el organismo. Así el objetivo del trabajo es valorar la eficacia de la readaptación física post lesión mediante un programa de entrenamiento con plataformas vibratorias y estímulos de hipoxia intermitente.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

El diseño de la investigación escogido fue de tipo experimental de intervención mediante un programa de entrenamiento con plataformas vibratorias y estímulos de hipoxia intermitente.

### **1. Sujetos**

El grupo de estudio estuvo formado por 11 futbolistas (fútbol 7, todos sexo masculino) de nivel nacional, previa firma de consentimiento informado.

**Tabla 1.** Características fisiológicas y antropométricas de los sujetos estudiados

	<b>Grupo (n=11)</b>
<b>Edad</b>	21,2 ± 2,0
<b>Talla (m)</b>	1,76 ± 0,09
<b>Peso (kg)</b>	76,3 ± 4,4
<b>IMC</b>	24,48 ± 1,31
<b>FC basal</b>	64 ± 11
<b>Tensión Arterial Sistólica/Diastólica</b>	120 ± 9 64 ± 8
<b>SaO<sub>2</sub>%</b>	97,7 ± 0,6

Se siguieron unos criterios de inclusión para entrar en el estudio, que fueron los siguientes: 1) No haber tenido ninguna exposición previa a la hipoxia en los 3 meses anteriores y 2) estar lesionados en los últimos 3-4 semanas de rotura miofibrilar en el tren inferior debido al ejercicio del fútbol y 3) estar clínicamente recuperados (analizando la lesión mediante técnicas de imagen) por el médico deportivo y 4) no tener antecedentes clínicos de importancia.

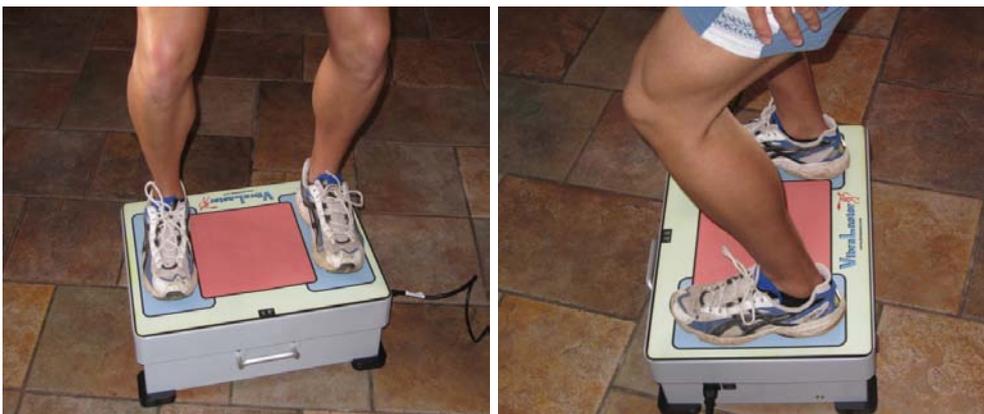
Todos ellos se encontraban en la última fase de la recuperación de una rotura fibrilar de 1 cm (cuádriceps, sóleo o bíceps femoral). La frecuencia de los entrenamientos que hasta entonces realizaban, era de 2 sesiones semanales, a las que debe añadirse el partido y sin hacer otro tipo de ejercicio físico añadido. Estos jugadores competían en la modalidad de fútbol siete en el 1º grupo de la Liga Vasca de la Federación Vasca durante la temporada 2010-11.

Todos ellos estuvieron 3 semanas sin entrenar con el equipo debido a la lesión y el periodo de recuperación necesario. Ninguno de los participantes en el estudio recibió recompensa económica o en especie por su participación en el estudio.

## 2. Material

Para la intervención, se utilizó una plataforma vibratoria VibraLaster, que permite realizar vibraciones mecánicas entre los 10 y los 60 Hz y a una aceleración vertical máxima de 4 mm.

Los entrenamientos se realizaron en una situación de hipoxia intermitente dentro de una tienda de hipoxia GO2Altitude (Biometech, Australia). Esta tienda utiliza la separación molecular por membrana para extraer oxígeno y así convertir aire hipóxico, disminuyendo la concentración de oxígeno en el interior de la tienda (hipoxia normobaria). El sistema no provoca aumentos de temperatura, ni de humedad (si no se realiza ejercicio físico dentro), ni de CO<sub>2</sub> del aire hipóxico. Para generar aire hipoxico se utilizaron los compresores ERA II y como apoyo, el compresor Hypoxicator Portatil Plus.



**Imagen 1.** Material utilizado para el estudio. Plataforma vibratoria BibraLaster (Biolaster).



**Imagen 2.** Material utilizado para el estudio. Tienda de hipoxia GO2Altitude (izquierda). Compresor Hypoxicator portatil Plus (medio). Tienda de hipoxia preparada para los entrenamientos en hipoxia con plataforma vibratoria BibraLaster (derecha).

Los registros de la frecuencia cardiaca se realizaron con el pulsómetro Polar, serie RS300. Para la valoración de los niveles de fuerza se utilizó una plataforma Ergo Jump Bosco System compuesta por una alfombrilla de contactos de 1,75 m de longitud, separados entre si cada 5 cm.

### 3. Protocolo de entrenamiento

El programa de entrenamiento consistió en la realización de 3 sesiones semanales (Lunes-Miércoles-Viernes) de vibraciones mecánicas **dentro de la tienda de hipoxia normobárica**, siguiendo el protocolo de entrenamiento planteado por Colson y colaboradores (2010). Dicho protocolo, fue ligeramente adaptado siguiendo las indicaciones de Ronestad (2009), a la vez que se añadieron 2 sesiones de hipoxia intermitente pasiva (sin realizar ninguna actividad física) de 60', los Martes y Jueves. Así, en total, los participantes en el estudio entrenaron 5 días a la semana.

**Tabla 2.** Estructuración de los entrenamientos semanales en el grupo control (C) y grupo experimental (H).

Plan de entrenamiento en el grupo C y grupo H	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Entrenamiento con el equipo		C H		C H	C H
Sesiones de plataforma vibratoria	C		C		C
Sesión de hipoxia intermitente activa	H		H		H
Sesiones en hipoxia intermitente pasiva (Post entrenamiento con el equipo)		H		H	

El protocolo utilizado en la **plataforma vibratoria** consistió en la realización de 8-14 series de 30'', a una frecuencia de 40 Hz y una amplitud de 3-4 mm. La recuperación inter-series fue de 60'' (1º semana). La frecuencia de vibración fue aumentada a 50 Hz a partir de la 2º semana. En total, se realizó un volumen de entrenamiento entre 12-21' de trabajo por sesión (aumento de 1 serie de trabajo por cada sesión, a partir de la 2º semana). El ejercicio utilizado en las sesiones de entrenamiento fue la media sentadilla. La intensidad de los entrenamientos en la plataforma vibratoria, se controló según carácter del esfuerzo (CE) individual (Gonzalez Badillo, 2002), por esto se propusieron unos rangos de entrenamientos con la máquina vibratoria.

**Tabla 3.** Características de los entrenamientos de fuerza con vibraciones mecánicas.

Entrenamientos Plataforma vibratoria	Series-Recuperaciones	Frecuencia vibraciones	Amplitud
Semana 1	8 x 30''// 60''	40 Hz	3-4 mm
Semana 2	11 x 30''// 60''	40-50 Hz	4 mm
Semana 3	14 x 30''// 60''	40-50 Hz	4 mm

El entrenamiento en el grupo H, se realizó en el interior de la **tienda de hipoxia normobarica** (1,80x 1,80x 1,80m) que simulaba entre 4000-5000m ( $FiO_2 = 12.5-11\%$ ), aumentando la exposición hipoxica 500m de altitud/ semana (disminución de 0,5% de oxígeno en el aire ambiente). Los entrenamientos se realizaron de dos en dos y después de terminar el entrenamiento de fuerza con la plataforma vibratoria, los sujetos reposaban tumbados hasta cumplir los 60'.

Los **Martes** y **Jueves**, todos empezaron a entrenar con el equipo, realizando ejercicios específicos de fútbol, partidos, así como al final de las sesiones ejercicios con autocargas y zancadas para fortalecer el tren inferior. Después de los entrenamientos, los del grupo H reposaban 60' en hipoxia a 4000-5000m. En total realizaron 15 horas de hipoxia intermitente, durante 3 semanas (cada semana, 3 sesiones específicas con la plataforma vibratoria y 2 sesiones reposando en hipoxia intermitente). Esta carga de entrenamientos

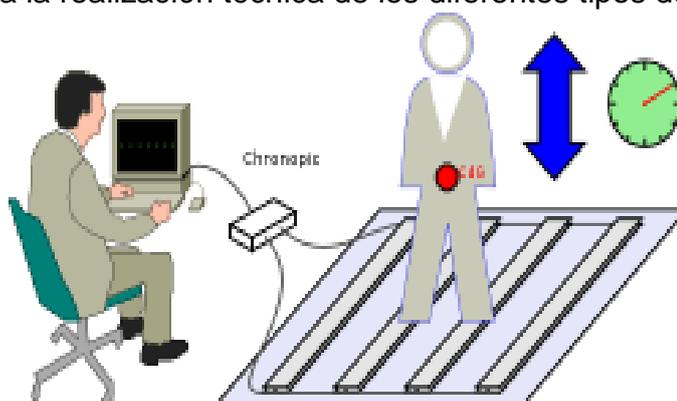
hipoxico utilizada los justificamos porque recientemente un estudio ha demostró que 15 horas de exposición a la hipoxia son suficientes para mejorar el rendimiento deportivo (Bonetti, 2009).

**Tabla 4.** Frecuencias semanales de entrenamientos en el grupo control y experimental.

Frecuencia/ semanal	Grupo Control (C) n=5	Grupo Experimental (H) n=6
Entrenamientos con el equipo	2	2
Entrenamientos con vibraciones mecánicas	3	3
Entrenamientos en hipoxia activa	0 (No)	3
Entrenamientos en hipoxia pasiva	0 (No)	2

#### 4. Valoración de la fuerza y capacidad de recuperación

Para la valoración de los resultados del entrenamiento, para la medición de la capacidad de salto se utilizaron los tests de SJ y CMJ, ambos pertenecientes a la batería de saltos propuesta por Bosco (1983). Previamente a la realización de los tests se realizó un calentamiento. Además, se prestó una especial atención a la realización técnica de los diferentes tipos de tests.



**Imagen 3.** Test de Bosco (SJ y CMJ) y material utilizado, Plataforma Ergo Jump Bosco System compuesta por una alfombra de contactos de 1,75 m de longitud, separados entre sí cada 5 cm.

Antes y después de la intervención, los futbolistas fueron evaluados con un test indirecto de 1 RM con media sentadilla. Para controlar bien la media sentadilla, se puede un banco suizo en la que en cada repetición tenían que tocarlas con el glúteo. Realizaron 20 repeticiones a un ritmo de 1 rep/2 seg. con el máximo peso que podían soportar. La fórmula utilizada para el cálculo de 1RM fue la propuesta por Epley (1985):  $1RM = (0.0333 \times rep \times kg) + kg$ .

Después del test indirecto de 1RM, y estando el sujeto sentado, se recogieron las pulsaciones de recuperación (1', 2' y 3') y se calculó el índice de recuperación (IR), mediante la fórmula descrita por Lamiel-Luengo (Aros et al,

2000; Calderón et al, 2002):  $IR = \frac{FC_{\text{máx}} - FC_{1,2,3}}{FC_{\text{máx teórica}} / FC_{\text{máx alcanzada}}$ .

### 5. Análisis estadístico

La herramienta utilizada para el análisis estadístico de los datos fue el programa Excel 2003, así como el paquete estadístico SPSS 17.5.0 para Windows. El primer análisis estadístico que llevamos a cabo fue el descriptivo. Dado que la muestra cumplía los criterios de normalidad realizamos la prueba estadística paramétrica (PRUEBAS T) para muestras relacionadas. Las variables estudiadas fueron: pre-test y post-test de CMJ, SJ y 1RM. El segundo análisis llevado a cabo fue un análisis de correlación. Realizamos la prueba de correlación bivariada de Pearson, ya que deseábamos conocer la asociación entre la intervención y las variables de la recuperación de la frecuencia cardíaca.

Para el cálculo del índice de recuperación, se realizó un t-test para el mismo grupo (pre-post entrenamiento) en los minutos 1, 2 y 3 de la recuperación. También se aplicó el test (Shapiro-Wilk) en todos los casos. El nivel de significación empleado fue de  $P < 0,05$ .

### RESULTADOS

**Tabla 5.** PRUEBAS T muestras relacionadas CMJ.

Diferencias relacionadas							
1 CMJ P re- test P ost- test	Media	DT	Error típico	95% intervalo de confianza		t	P (bilateral)
				Inferior	Sup.		
	-0.015	0.003	0.009	-0.035	0.004	-1.697	0.117

**Tabla 6.** PRUEBAS T muestras relacionadas SJ.

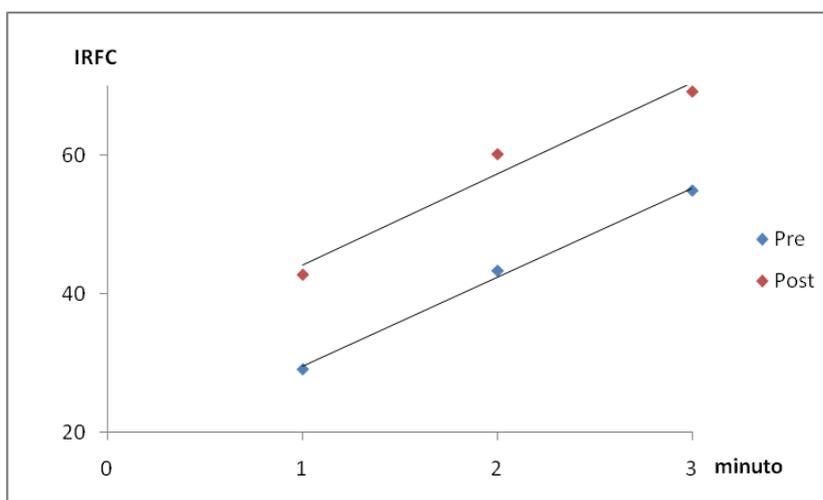
Diferencias relacionadas							
1 SJ Pre- test Post- test	Media	DT	Error típico	95% intervalo de confianza		t	P (bilateral)
				Inferior	Sup.		
	-0.023	0.027	0.007	-0.039	0.006	-3.048	0.058

**Tabla 7.** PRUEBAS T muestras relacionadas 1RM.

Diferencias relacionadas							
1 RM Pre- test Post- test	Media	DT	Error típico	95% intervalo de confianza		t	P (bilateral)
				Inferior	Sup.		
	-0.023	0.027	0.007	-0.039	0.006	-3.048	<b>0.039*</b>

**Tabla 8.** Recuperaciones de la frecuencia cardiaca después de la prueba máxima de 10 RM con ½ sentadilla.

FC	PRE-TEST	POST-TEST	P
FC final	170,2 ± 1,72	175,5 ± 2,43	NS
<b>Rec-1</b>	137,8 ± 13,1	126,8 ± 12,6	<b>&lt;0,05</b>
<b>Rec-2</b>	119,7 ± 10,6	104,5 ± 8,9	<b>&lt;0,05</b>
Rec-3	102,32± 9,8	97,3 ± 5,5	NS



**Gráfico 1.** Índice de recuperación de la Frecuencia Cardíaca (IRFC) en los minutos 1, 2 y 3 después de realizar las sentadillas, en el grupo control (C) e hipoxia (H), antes (pre) y después de la intervención (post).

## DISCUSIÓN

En relación a la capacidad de salto, en el estudio no se hallaron diferencias significativas entre el antes y el después de la aplicación del protocolo en el test de CMJ ( $P=0.117$ ) (Tabla 1). Sin embargo, aunque no se ha obtenido un resultado estadísticamente significativo, sí se ha producido una mejoría general en los resultados del CMJ, comparando con el grupo control, lo cual siempre es interesante. Algunas de las razones por las que no se han observado mejoras significativas podrían ser, 1) la falta de coordinación observada entre los jugadores durante la realización de la prueba o 2) la falta de volumen de entrenamiento relacionado con el componente elástico (Bompa, 2004). En relación al test de SJ, tampoco se observaron diferencias significativas al comparar las prestaciones de salto antes y después de la aplicación del protocolo ( $P=0.058$ ) (Tabla 6). No obstante, al igual que sucedió en el test anterior, también se observó una leve mejoría en las prestaciones de salto.

Por otro lado, sí se constataron diferencias significativas en el test indirecto de 1RM ( $P=0,039$ ) (Tabla 7). Los resultados encontrados coinciden con los obtenidos por Colson y colaboradores (2010) quienes justifican las mejoras obtenidas por una mejora de la coordinación inter e intramuscular de los músculos del tren inferior.

Aunque algunos autores (Cormie et al, 2006; González-Badillo, 2002; Rehn et al, 2006) constatan la existencia de una relación entre la mejora de la fuerza máxima y la mejora de la fuerza explosiva, en nuestro estudio, pese a constatar mejoras en los niveles de fuerza máxima, no hemos encontrado mejoras significativas en la fuerza explosiva, aunque sí una cierta tendencia hacia ella. Algunos autores constatan que estas mejorías en la fuerza explosivas pueden ser debidos a las mejoras en la flexibilidad de los deportistas (Fort-Vanmeerhaeghe et al, 2011; Sands et al, 2006).

En relación a la frecuencia cardíaca de recuperación se constata una mejora significativa ( $P<0.05$ ) de la frecuencia cardíaca en los dos primeros minutos de recuperación, después de un ejercicio máximo de fuerza (Tabla 8). Estos datos llaman la atención, ya que sin apenas trabajar el componente aeróbico, se ha mejorado la recuperación de la frecuencia cardíaca después de una intervención de 15 horas en hipoxia intermitente, y realizando ejercicios de fuerza con una plataforma vibratoria. Estos datos confirman los resultados obtenidos en otros estudios sobre la mejora de la recuperación en la frecuencia cardíaca después de ejercicio máximo en los primeros 3 minutos (Alvarez-Herms et al, 2011; Urdampilleta et al, 2011). Todo ello, parece indicar que entrenar en hipoxia intermitente genera adaptaciones moleculares y fisiológicas que permiten acelerar los procesos de recuperación tras la realización de esfuerzos máximos que en sí mismos tienen un soporte energético de origen anaeróbico (Roels, 2007; Wilber, 2007).

El hecho de que la exposición intermitente a la hipoxia aumente en mayor medida la frecuencia cardíaca máxima (FCmax), puede resultar muy interesante en deportes de larga duración, así como en deportes de esfuerzos intermitentes como el fútbol, ya que como consecuencia de los grandes volúmenes de entrenamiento desarrollados a intensidades bajas, suele darse una tendencia a que la FC máxima baje (Jouven et al, 2005). Así la utilización de los estímulos de HI podría ser interesante en la fase de puesta a punto o antes de las competiciones principales, ya que podría ser un estímulo de entrenamiento anaeróbico interesante a la vez que ayudaría a mejorar la capacidad de recuperación. El estudio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca resulta ser más que interesante para la valoración funcional en los deportes de equipo (Rodas et al, 2008).

Los efectos fisiológicos a la hora de competir en hipoxia son notables. Se ha analizado la respuesta orgánica fisiológica con la intención de obtener información que permita llegar a un posicionamiento (Federation Internationale de Football Association. Bartch et al, 2008). Se ha descrito que competir en fútbol en altitud moderada y sin aclimatación previa, reduce el desempeño

físico y aumenta la percepción subjetiva de esfuerzo, pudiendo influir negativamente en la vertiente psicológica del deportista (Demo et al, 2007). Levine y colaboradores (2008) describieron que en el jugador de fútbol, como en cualquier atleta, existe un descenso en su Vo<sub>2</sub>max (potencia aeróbica) compitiendo en altitud moderada, aumentando la intensidad relativa de esfuerzo y manifestando una menor capacidad de recuperación de la vía de los fosfágenos. Este aspecto mejoraría la capacidad para realizar acciones repetidas de alta intensidad, siendo clave dada la naturaleza de la ejecución específica en el fútbol, donde gran parte de estas acciones tendrán un importante componente técnico.

Aunque los parámetros fisiológicos alcanzados en un partido de fútbol no son tan elevados en comparación con los alcanzados en algunos deportes individuales. La mejora que se obtendría con los beneficios del entrenamiento en hipoxia podría hacer aumentar la competencia técnica-táctica del jugador por un aumento en la capacidad. En este caso, Helgerud y colaboradores (2001) estudiando jugadores juveniles de la selección Noruega de fútbol observaron que una mejora en el 10% del Vo<sub>2</sub>max se correlacionaba con un incremento del 20% en la distancia recorrida en el partido y de un 100% en el número de sprints realizados.

Independiente a las aplicaciones de la hipoxia intermitente en la capacidad de recuperación, hay evidencia que cuando se compite a altitudes superiores a los 2000m, entrenar anteriormente en situaciones de hipoxia mejora el rendimiento deportivo en los deportes mixtos y prioritariamente aeróbicos (Calbet et al, 2007; Meeusen et al, 2001; Roels et al, 2007; Tabidi et al, 2007; Rodriguez et al, 2002; Vogt y Hoppeler, 2010). Es por ello que sería interesante a integrar entrenamientos en hipoxia, tanto para la readaptación física de los futbolistas así como para la optimización de rendimiento deportivo (mejora de la capacidad de recuperación).

Existen jugadores profesionales que han utilizado tiendas normobáricas (exposición intermitente) en la búsqueda de la mejora del rendimiento individual. Es obvio señalar que su utilización debe ser bajo una supervisión profesional. Los posibles beneficios buscados a partir de una exposición a hipoxia intermitente (activa o pasiva) se obtendrían en la mejora del rendimiento en resistencia (parámetros centrales (cardiovasculares – respiratorios) y periféricos (musculares – enzimáticos), aumentando tanto la capacidad aeróbica como anaeróbica. A tal efecto, también cabe destacar la posibilidad de que existan sujetos con mala tolerancia o baja sensibilidad (malos respondedores) a la hipoxia. En este caso el efecto no sería positivo, aunque no se han descrito efectos negativos sobre la salud, aunque se han descrito diferentes modelos de exposición intermitente a hipoxia (intensos y breves o largos y ligeros) que han resultado igualmente eficaces al menos en la inducción de respuestas hematopoyéticas (Casas et al, 2000).

No obstante, parece ser que la clave está en la dosis hipoxica mínima que se necesita para tales efectos en cada deportista (Wilber et al, 2007).

## CONCLUSIONES

En un grupo de 11 futbolistas (futbol 7) de nivel nacional después de realizar un programa de entrenamiento de 15 horas de hipoxia intermitente, durante 3 semanas (cada semana, 3 sesiones específicas con la plataforma vibratoria y 2 sesiones reposando en hipoxia intermitente, cada una de una duración de 60') se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Se ha producido una mejora significativa en los niveles de fuerza máxima (1RM), en el test de ½ sentadilla ( $P < 0,05$ ).
2. Se observa una mejora significativa en la recuperación de la frecuencia cardiaca en los 2 primeros minutos tras un esfuerzo máximo de fuerza-resistencia ( $P < 0,05$ ).
3. Se observa una ligera tendencia en la mejora de la fuerza explosiva y de la frecuencia cardiaca máxima.

Sería interesante añadir otro grupo control, sin realizar ningún tipo de entrenamiento añadido, aparte de los entrenamientos con el equipo (de carácter técnico-táctico). Queda claro que las mejoras se deben a los estímulos de hipoxia pasiva y activa realizados (característica diferencial en cuanto al entrenamiento entre el grupo control e hipoxia), pero no se ha investigado en el estudio qué efectos se obtienen solamente realizando entrenamiento con plataformas vibratorias en la readaptación física.

Se necesitaría una muestra más elevada y más estudios aplicados de campo en deportes colectivos que se integren dentro de la periodización de entrenamiento y en su aplicación en deportistas lesionados como estímulo superior para mantener estados de forma lo antes posible y seguir entrenando con el resto de los compañeros del equipo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez-Herms J., Julià-Sánchez S., Corbi F., Pagès T., Viscor G. (2011). Changes in heart rate recovery index after a programme of strength/endurance training in hypoxia. *Apunts Med Esport*. 2011.07.03.
2. Álvarez-Herms J., Julià-Sánchez S., Urdampilleta A., Corbi F., Viscor G. (2012). Potenciales aplicaciones del entrenamiento de hypoxia en el fútbol. *Apunts Med Esport*. 2012.04.07.
3. Arós F., Boraita A., Alegría E., Alonso A.M., Bardají A., Lamiel R. et al (2000). Guidelines of the Spanish Society of Cardiology for clinical practice in exercise testing. *Rev Esp Cardiol*.53(8):1063-94.
4. Bartsch P., Saltin B., Dvorak J.. (2008). Federation Internationale de Football Association. Consensus statement on playing football at different altitude. *Scand J Med Sci Sports*, 18 Suppl 1:96-9.

5. Bonetti, D.L., Hopkins, W.G., Lowe, T.E., Boussana, A. & Kilding, A.E. (2009). Cycling performance following adaptation to two protocols of acutely intermittent hypoxia. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(1),68-83.
6. Bonetti DL, Hopkins WG (2009). Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: A meta-analysis. *Sports Med*,39(2):107-27.
7. Bompa, T.O. (2004). Entrenamiento de la potencia aplicado a los deportes. La polimetría para el desarrollo de la máxima potencia. Barcelona: INDE publicaciones.
8. Bosco, C., Komi, P.V., Thyhany, G., Feleke, G.& Apor, P. (1983). Mechanical power test and fibre composition of human legextensor muscles. *Eur J Appl Physiol*, 51(1),129-35.
9. Calbet, J.A. (2006). Efectos del Entrenamiento en la Altitud. IX Jornadas sobre medicina y deporte de alto nivel, Madrid.
10. Calderon, F.J., Brita, J.L., Gonzalez, C. & Machota, V. (1991). Estudio de la recuperación de la frecuencia cardíaca en deportistas de élite. *Selección*, 6(3),101-105.
11. Calderon F.J., Benito P.J., y García A, (2002). Aplicación práctica de las pruebas de esfuerzo. *Selección*, 11 (4), 202-209.
12. Casamichana D., Castellano J., Calleja J., Román JS., Castagna C. (2012). Relationship between indicators of training load in soccer players. *J Strength Cond Res*. 2012 Mar 28. [Epub ahead of print]
13. Casas M., Casas H., Pages T., Rama R., Ricart A., Ventura J.L., Ibanez J., Rodriguez F.A., Viscor G (2000). Intermittent hypobaric hypoxia induces altitude acclimation and improves the lactate threshold. *Aviat Space Environ Med*, 71(2):125-30.
14. Castellano, J., Masach, L. & Zubillaga, A. (1991). Cuantificación del esfuerzo físico del jugador de fútbol en competición. *Rev El Entrenador Español*,71,32-57.
15. Colson, S.S., Pensini, M., Espinosa, J., Garrandés, F. & Legros, P. (2010). Whole-body vibration training effects on the physical performance of basketball players. *J Strength Cond Res*, 24(4),99-106.
16. Cometti, G. (Ed). (2002). Preparación física en el futbol. Paidotribo.
17. Cormie P., Deane RS., Tiplett NT., McBride JM. (2006). Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power. *J Strength Cond Res*, 20(2):257-61.
18. Demo R., Senestrari D., Ferreyra J.E. (2007). Young football players aerobic performance in sub-maximum exercise with exhaustion at a moderate altitude without acclimation: Experience in el condor. *Rev Fac Cien Med Univ Nac Cordoba*, 64(1):8-17.
19. Dufour, J. (1990). Las técnicas de observación del comportamiento motor, fútbol: la observación tratada por ordenador. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 4(4),16-24.
20. Epley, B. (1985). Poundage chart. Body Epley workout. Lincoln, NE.
21. Fagnani F., Giombini A., Di Cesare A., Pigozzi F., Di S, V. (2006). The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *Am J Phys Med Rehabil*, 85(12):956-962.

22. Fort-Vanmeerhaeghe, A.; Guerra Balic, M.; Romero Rodríguez, D.; Sitjà Rabert, M.; Bagur Calafat, C.; Girabent Farrés, M. y Lloret Riera, M. (2011). Efectos del entrenamiento vibratorio en personas físicamente activas: revisión sistemática. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 11 (43) pp. 619-649. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista43/artefectos223.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista43/artefectos223.htm)
23. Geiser, J., Vogt, M., Billeter, R., Zuleger, C., Belforti, F. & Hoppeler, H. (2001). Training high-living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *Int J Sports Med*, 22(8),579-85.
24. González-Arganda, G. (2010). Aplicación del método pilates en la prevención y readaptación en el futbolista. En Martínez de Haro, V. (Ed), IV Congreso Internacional Universitario de las Ciencias de la Salud y el Deporte (pp. 48-52). Madrid: Sanitas.
25. González-Badillo, J. (Ed). (2002). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: aplicaciones de Alto Rendimiento deportivo. Barcelona: INDE.
26. Hendriksen, I.J. & Meeuwssen, T. (2003). The effect of intermittent training in hypobaric on sea level a cross over study in humans. *Eur J Appl Physiol*, 88(4-5), 396-403.
27. Helgerud J., Engen L.C., Wisloff U., Hoff J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*,33(11):1925-31.
28. Jouven X., Empana J.P., Schwartz P.J., Desnos M., Courbon D., Ducimetière P. (2005). Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *N Engl J Med*, 12;352(19):1951-8.
29. Levine B.D., Stray-Gundersen J., Mehta R.D. (2008). Effect of altitude on football performance. *Scand J Med Sci Sports*, Aug;18 Suppl 1:76-84.
30. Meeusen, T., Hendriksen, I.J. & Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol*,84(4),283-90.
31. Mohr M., Mujika I., Santisteban J., Randers MB., Bischoff R., Solano R., Hewitt A., Zubillaga A., Peltola E., Krstrup P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scand J Med Sci Sports*,20 Suppl 3:125-32.
32. Motta, D.A., Angelino, A. & Saglietti, J. (2006). Indicadores de fuerza y resistencia de entrenamiento en pruebas de campo de jugadores profesionales de fútbol. *Rev Argent Cardiol*, 74(Supl 2),38.
33. Randers, M.B., Mujica, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., Zubillaga, A., Peltola, E., Krstrup, P. & Mohr, M. (2010). Application of four different football match analysis systems: A comparative study. *Journal of Sports Sciences*,28(2),171-82.
34. Rehn B., Lidstrom J., Skoglund J., Lindstrom B. (2007). Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports*, 17(1):2-11.
35. Rodas G., Pedret C., Ramos J., Capdevila L (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos. *Archivos de Medicina del Deporte*,123:41-8.

36. Rodríguez, F.A., Murio, J., Casas, H., Viscor, G. & Ventura, J.L. (2002). Intermittent hypobaric hypoxia enhances swimming performance and maximal aerobic power in trained swimmers. IX World Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming, Saint Etienne.
37. Roels, B., David, J., Bentley, B., Coste, O., Mercier, J. & Grégoire, P. (2007). Effects of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 259-368.
38. Rønnestad B.R. (2009). Acute effects of various whole-body vibration frequencies on lower-body power in trained and untrained subjects. *J Strength Cond Res*, 23(4):1309-15.
39. Rønnestad B.R., Hansen E.A., Raastad T. (2012). Strength training affects tendon cross-sectional area and freely chosen cadence differently in noncyclists and well-trained cyclists. *J Strength Cond Res*, 26(1):158-66.
40. Sands W.A., McNeal J.R., Stone M.H., Russell E.M., Jemni M. (2006). Flexibility enhancement with vibration: Acute and long-term. *Med Sci Sports Exerc*, 38(4):720-725.
41. Tadibi, V., Dehnert, C., Menold, E., Bärtsch, P. (2007). Unchanged anaerobic and aerobic performance after short-term intermittent hypoxia. *Med Sci Sports Exercise*, 39(5): 858-864.
42. Urdampilleta, A., Gomez-Zorita, S., Martínez-Sanz, J.M. & Roche, E. (2011). Eficacia de un programa de entrenamiento físico en hipoxia intermitente en la mejora de la fuerza-resistencia aeróbica específica e inespecífica. *Revista Española de Educación Física y Deportes*. ISBN: 1133-6366.
43. Vogt, M. & Hoppeler, H. (2010) Is hypoxia training good for muscles and exercise performance? *Prog Cardiovasc Dis*, 52(6), 525-33.
44. Wilber, R.L., Stray-Gundersen, J. & Levine, B.D. (2007). Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1590-1599.
45. Zoll, J., Ponsot, E., Dufour, S., Doutreleau, S., Ventura-Clapier, R., Vogt, M., Hppeler, H., Richard, R. & Flück, M. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. Muscular adjustments of selected gene transcripts. *J Appl Physiol*, 100(4), 1258-1266.
46. Zubillaga, A. (2006). La actividad del jugador de fútbol en alta competición: Análisis de Variabilidad. (Tesis doctoral). Universidad de Málaga. Disponible en la base de datos TESEO.

**Referencias totales / Total references:** 46 (100%)

**Referencias propias de la revista / Journal's own references:** 1 (2,11%)