

# Percepción de esfuerzo y cambios en el rendimiento producidos por una sesión de entrenamiento en circuito en hipoxia o normoxia

Arturo Camacho<sup>1,2</sup>, Jacobo A. Rubio-Arias<sup>1,2</sup>, Domingo J. Ramos-Campo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Deporte. Departamento de Ciencias de la Actividad física y el Deporte. Universidad Católica de Murcia. Murcia. <sup>2</sup>UCAM Centro de Investigación en Alto Rendimiento Deportivo. Murcia.

**Recibido:** 08.05.2017  
**Aceptado:** 19.09.2017

## Resumen

El objetivo del presente estudio fue analizar los cambios en el rendimiento de fuerza y en la percepción de esfuerzo (RPE) producidos por una sesión de entrenamiento de fuerza en circuito en hipoxia ( $FiO_2 = 0,16$ ) o normoxia ( $FiO_2 = 0,21$ ). Once deportistas entrenados en fuerza realizaron dos sesiones de entrenamiento en circuito de forma aleatoria en hipoxia o normoxia. Tres días después de una primera sesión de familiarización en la que se determinaron las cargas, se llevó a cabo la primera sesión de entrenamiento. La última sesión se llevó a cabo 72 horas después. La sesión consistió en dos bloques de tres ejercicios (bloque 1: *press* banca, peso muerto y *curl* de bíceps; bloque 2: media sentadilla, *press* francés y extensión de tobillos) realizando 3 series de 6 repeticiones al 6RM con un descanso de 35 segundos entre ejercicio, 3 minutos entre serie y 5 minutos entre bloques. Se analizó la percepción de esfuerzo (RPE) después de cada serie y los valores medios y máximos de velocidad, aceleración, fuerza y potencia, así como los tiempos obtenidos hasta la máxima velocidad y la máxima potencia en media sentadilla y *press* de banca. Los resultados no muestran diferencias significativas en el RPE entre condiciones. Se observan diferencias significativas entre ambas condiciones en la primera serie de sentadilla en la variable aceleración pico (normoxia =  $2,9 \pm 0,7$  m/s<sup>2</sup>; hipoxia =  $2,2 \pm 1,1$  m/s<sup>2</sup>;  $p = 0,037$ ) y en la variable potencia pico (normoxia =  $1577,1 \pm 587,5$  W; hipoxia =  $1227,2 \pm 636,3$  W;  $p = 0,039$ ). En conclusión, la adición de hipoxia a la sesión de entrenamiento de fuerza afecta a la potencia y a la aceleración pico desarrollada en el ejercicio de sentadilla pero no modifica la percepción de esfuerzo que tiene el deportista.

**Palabras clave:**  
Altitud. Entrenamiento de fuerza. Hipoxia. Percepción de esfuerzo.

## Rating of perceived exertion and physical performance changes after one circuit training session in hypoxia or normoxia

### Summary

The aim of this study was to analyze the rating perceived exertion and physical performance changes after one session of circuit training in hypoxia ( $FiO_2 = 0.16$ ) or normoxia ( $FiO_2 = 0.21$ ). Eleven resistance-trained young male subjects participated in the study. They performed two circuit training session (hypoxia or normoxia) in randomized order. Three days before the first training session, a familiarization and 6RM test session was performed. After 72 hours of rest, the subjects performed the last training session. The circuit training consisted of two blocks of three exercises (Block 1: bench press, deadlift and elbow flexion; Block 2: half-squat, triceps extension, and ankle extension). Each exercise was performed at 6RM. Rest periods lasted for 35 s between exercises, 3 min between sets, and 5 min between blocks. Rating of perceived exertion (RPE) and peak and mean force, velocity, power and acceleration and time to perform peak power and velocity were determined during all the sets half-squat and bench press exercises. No differences were observed in RPE values between hypoxia and normoxia. Moreover, significant differences were observed in the first trial of half squat in peak acceleration (normoxia =  $2.9 \pm 0.7$  m/s<sup>2</sup>; hypoxia =  $2.2 \pm 1.1$  m/s<sup>2</sup>;  $p = 0.037$ ) and peak power (normoxia =  $1577.1 \pm 587.5$  W; hypoxia =  $1227.2 \pm 636.3$  W;  $p = 0.039$ ) between hypoxia and normoxia. In conclusion, these results indicate that simulated hypoxia during circuit training exercise decreases peak power and peak acceleration but maintains rating perceived exertion of the exercise. These differences must be taken into account to avoid an excessive fatigue.

**Key words:**  
Altitude. Resistance training. Hypoxia. Perceived exertion.

**Correspondencia:** Domingo J. Ramos-Campo  
E-mail: djramos@ucam.edu / domingojesusramos@gmail.com

## Introducción

Los programas de entrenamiento buscan mejorar la forma física de los deportistas utilizando para ello metodologías diversas<sup>1</sup>. Entrenadores y científicos buscan optimizar el rendimiento aplicando los métodos más efectivos de entrenamiento. En este sentido, el entrenamiento de fuerza cada vez tiene mayor importancia tanto para mejorar el rendimiento como para prevenir lesiones en cualquier tipo de modalidad deportiva<sup>1,2</sup>.

Un método de trabajo que suelen utilizar los entrenadores es el entrenamiento en circuito. Éste método se caracteriza por utilizar cargas bajas con volúmenes elevados para conseguir mejoras en el rendimiento basadas en un aumento de fuerza y la obtención de adaptaciones musculares como la resistencia muscular o la mejora del sistema cardiovascular<sup>3</sup>. Específicamente, durante los últimos años se está investigando sobre el entrenamiento en circuito con altas cargas (HRC), que es un método de entrenamiento que utiliza intensidades mayores (6 repeticiones máximas (RM) con unos tiempos de recuperación relativamente breves (35") y tiene una carga cardiovascular mayor que circuitos tradicionales. El HRC nos otorga la posibilidad de trabajar diferentes tipos de ejercicios, a una intensidad media-alta 6-RM sin descensos en la potencia muscular<sup>4</sup>. Por lo tanto, éste método de entrenamiento nos proporciona efectos similares de rendimiento que otros métodos de trabajo, optimizando el tiempo de entrenamiento y aplicando sesiones más cortas<sup>5</sup>.

Otra estrategia de preparación física muy utilizada para mejorar el rendimiento en diferentes deportes individuales y colectivos es el entrenamiento en hipoxia. La aplicación de entrenamientos en condiciones de hipoxia produce un mayor estrés sobre el metabolismo anaeróbico<sup>6-8</sup>. En este sentido, numerosos estudios con entrenamiento de fuerza en hipoxia<sup>9-14</sup> están comprobando la incidencia de estos factores metabólicos y de otros mecanismos como el mayor reclutamiento de fibras, la producción de citoquinas o el incremento de hormonas para la mejora de la fuerza y para generar una mayor respuesta hipertrófica del músculo a través del incremento del área de sección transversal del músculo. Junto con estos estudios que analizan las respuestas fisiológicas al entrenamiento IHRT, otra variable muy considerada por los estudios ha sido la percepción de esfuerzo del participante<sup>12,15</sup>. Dichos estudios no encuentran diferencias en la percepción de esfuerzo entre diferentes sesiones de entrenamiento en hipoxia o normoxia, utilizando sesiones de entrenamiento tradicionales: 3-4 series de 8-12 repeticiones al 70% del 1RM.

Centrándonos en el rendimiento de fuerza, estudios previos no observan un efecto de la disminución de la  $FiO_2$  sobre la potencia de salto<sup>16</sup> tras una sesión de salto en hipoxia ( $FiO_2 = 13,5\%$  y  $16,5\%$  vs  $20,9\%$ ) o la potencia y fuerza generada<sup>17</sup> durante una sesión de sentadilla y peso muerto (5 series x 5 repeticiones al 80% del 1RM ( $FiO_2 = 13\%$  y  $16\%$  vs  $20,9\%$ ). Además, en las sesiones que utilizan estos autores continúan aplicando unos parámetros de entrenamiento tradicionales<sup>17</sup> o a través de saltos<sup>16</sup>.

Basándonos en las evidencias actuales, el entrenamiento de fuerza en circuito, unido a un entorno en hipoxia podría ser un buen método para mejorar el rendimiento en sesiones de entrenamiento más cortas. Aun así, es necesaria más investigación para conocer los efectos agudos y las respuestas fisiológicas que produce un entrenamiento en hipoxia, ya que no hay estudios en la literatura que estudien el efecto añadido del uso de un entrenamiento en circuito junto con la aplicación de una

baja  $FiO_2$ . Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue analizar los efectos agudos en el rendimiento de fuerza y en la percepción de esfuerzo (RPE) producidos por una sesión de entrenamiento de fuerza en circuito en hipoxia ( $FiO_2=0,16$ ) o normoxia ( $FiO_2=0,21$ ).

## Material y método

### Diseño

Se realizó un estudio comparativo cruzado y doble ciego para determinar la relación causa-efecto de las variables dependientes y el entrenamiento de fuerza en hipoxia. Los participantes completaron el entrenamiento en circuito bajo dos condiciones: normoxia (N) donde la fracción de oxígeno inspirada ( $FiO_2$ ) fue 0,21 (0 m de altitud); e hipoxia (H) donde la  $FiO_2$  fue 0,16 (2.100 m de altitud). Durante ambas sesiones los participantes respiraban a través de una máscara conectada a un generador de hipoxia ( $GO_2$  Altitude hypoxicator, Biomedtech, Australia).

### Participantes

Once hombres con adaptaciones previas al entrenamiento de fuerza (edad:  $24,1 \pm 3,6$  años; altura:  $176,6 \pm 4,2$  cm; peso:  $71,1 \pm 6,4$  kg; masa grasa:  $12,1 \pm 1,6\%$ ; 6-RM *press* banca:  $57,6 \pm 12,5$ ; 6-RM sentadilla:  $96,2 \pm 21,2$  kg). Los participantes no tuvieron lesiones musculares ni exposición a la altitud en los tres meses anteriores al estudio. Los procedimientos experimentales fueron explicados a los sujetos y firmaron su consentimiento informado. El presente estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia.

### Procedimiento

Todas las sesiones tuvieron lugar en el laboratorio a una temperatura controlada de  $21 \pm 2^\circ C$  durante un periodo de 3 semanas y fueron llevadas a cabo en la misma hora del día. Los participantes asistieron en total 3 veces. El primer día se llevó a cabo el test 6-RM para la determinación de los pesos de los diferentes ejercicios a realizar durante las sesiones de entrenamiento siguiendo indicaciones de estudios previos<sup>4</sup>. Durante esa sesión también se realizó una familiarización con los ejercicios y pruebas a realizar. Además, se llevó a cabo un análisis de la composición corporal con un analizador de biomedancia (Tanita BC-601, TanitaCorp, Tokyo, Japan). Después de 3 días de descanso, los sujetos comenzaron a realizar la primera sesión del circuito de forma aleatoria en una de las condiciones (normoxia o hipoxia). Después de 72 horas de recuperación los participantes realizaron la siguiente sesión en la condición que les faltaba (tercera sesión). Los participantes en el estudio fueron informados para mantener una dieta equilibrada durante la duración del estudio y se les prohibió la ingesta de cafeína y alcohol al menos 24 horas antes de cada sesión.

### Protocolo experimental

#### Calentamiento

Previamente al entrenamiento se realizó una familiarización con la máscara de 10 minutos. A continuación, se daba comienzo al calenta-

miento que consistía en 5' sobre una bicicleta estática a 75w, seguido de 5 minutos de estiramientos activos. Después de esto se comenzaba con el calentamiento específico utilizando la siguiente secuencia: 10 repeticiones al 50% de 6-RM para cada ejercicio con 1 minuto de recuperación; 8 repeticiones al 75% de 6-RM con dos minutos de recuperación, y repeticiones hasta el fallo con una carga de 6-RM. La carga de 6-RM se ajustó aproximadamente un  $\pm 2,5\%$  si el sujeto realizaba  $\pm 1$  repetición, y se ajustó aproximadamente un  $\pm 5\%$  si el sujeto realizaba  $\pm 2$  repeticiones<sup>18</sup>. Se controlaba la fase excéntrica de cada movimiento mediante metrónomo digital, mientras que la fase concéntrica se llevaba a cabo a la máxima velocidad posible. Los sujetos descansaron 5 minutos antes de comenzar el circuito.

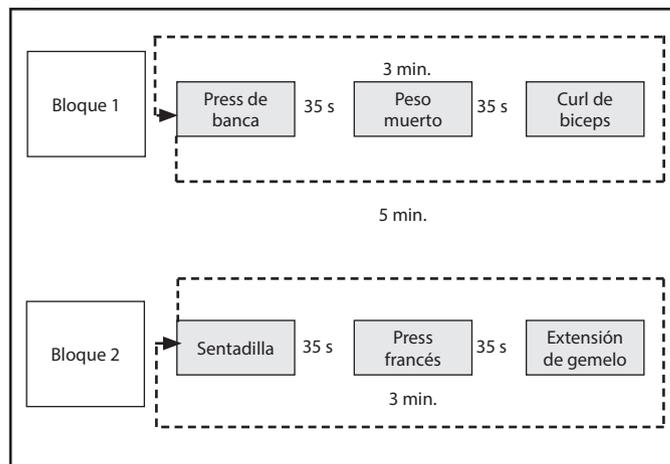
### Circuito de alta intensidad

El circuito consistía en dos bloques de tres ejercicios. Se realizaron 3 series del primer bloque donde se incluían los ejercicios de *press* banca, peso muerto y *curl* de bíceps con un descanso de 35 segundos entre ejercicio y de 3 minutos entre serie. Tras 5 minutos de recuperación se comenzaba el segundo bloque que consistía en media sentadilla, *press* francés y extensión de tobillos (con idénticos tiempos de recuperación). Los sujetos fueron supervisados por un levantador experimentado para asegurar que la fatiga voluntaria se lograra de forma segura y con un control técnico estricto<sup>19</sup> (Figura 1).

### Protocolo de medición

Tras la realización de cada serie se medía la percepción de esfuerzo subjetivo (RPE) del sujeto mediante la escala de Borg 6-20. Previamente

Figura 1. Protocolo de la sesión de entrenamiento en circuito.



había sido explicada su funcionamiento y utilidad y todos los sujetos tenían experiencia con ella. Además, se realizaron mediciones de los valores de rendimiento para los ejercicios de *press* de banca (bloque 1) y media sentadilla (bloque 2), en cada una de las series, a través de un encoder lineal (Chronojump, Barcelona, España) colocado en la barra. Las variables de rendimiento analizadas fueron: valores medios y máximos de velocidad, aceleración, fuerza y potencia, así como los tiempos obtenidos hasta la máxima velocidad y la máxima potencia.

### Análisis estadístico

El conjunto de datos fue analizado utilizando el programa SPSS, paquete estadístico para Windows (versión 20.0; SPSS, Inc. Chicago, IL, USA). Se realizó un análisis descriptivo obteniendo medias y desviación típica. A continuación se llevaron a cabo las pruebas de normalidad donde se utilizó Shapiro-wilk. Fue llevado a cabo un análisis de modelo lineal general, medidas repetidas y comparaciones por pares (Test de Bonferroni). En el caso de las variables no paramétricas utilizamos las pruebas de los rangos con signo de Wilcoxon y la U de Mann-Whitney. El nivel de significación estadística se fijó en  $p \leq 0,05$ .

### Resultados

Los resultados mostrados en la Tabla 1 no presentan diferencias significativas en el RPE entre condiciones.

A continuación, en la Tabla 2 se muestran los valores medios y pico de velocidad (m/s), aceleración (m/s<sup>2</sup>), fuerza (N) y potencia (W) de los ejercicios de *press* de banca y media sentadilla registrados durante cada una de las series. También se pueden observar los valores de tiempo (s) para alcanzar la potencia y la velocidad pico.

Los datos muestran una tendencia al descenso en las variables de rendimiento en la condición de hipoxia respecto a la condición de normoxia, sin observar diferencias estadísticamente significativas. Tan sólo se observan diferencias entre ambas condiciones de entrenamiento en la primera serie de sentadilla en la variable aceleración pico ( $p = 0,037$ ) y en la variable potencia pico ( $p = 0,039$ ).

### Discusión

El objetivo principal de este estudio fue analizar los efectos agudos que provoca una sesión de entrenamiento de fuerza en circuito en hipoxia ( $FiO_2 = 0,16$ ) sobre variables de rendimiento físico y percepción subjetiva de esfuerzo. El hallazgo principal de esta investigación es que la adición de hipoxia a la sesión de entrenamiento de fuerza afecta a la potencia y a la aceleración pico desarrollada en

Tabla 1. Valores de percepción de esfuerzo percibido (RPE). Media (Desviación Estándar).

Variable	Condición	Bloque 1			Bloque 2		
		Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 1	Serie 2	Serie 3
RPE	N	10,0 (2,3)	11,0 (1,6)	12,3 (1,7)	10,7 (0,7)	11,5 (1,4)	12,0 (1,7)
	H	11,8 (3,0)	12,4 (2,6)	14,1 (3,8)	12,4 (2,3)	13,7 (3,1)	13,1 (2,6)

RPE: Percepción de esfuerzo percibido; N: normoxia; H: hipoxia.

Tabla 2. Valores de las variables de rendimiento en press de banca y sentadilla en normoxia e hipoxia. Media (Desviación Estándar).

Variable	Condición	Bloque 1			Bloque 2		
		Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 1	Serie 2	Serie 3
Velocidad media (m/s)	N	0,4 (0,1)	0,4 (0,1)	0,3 (0,1)	0,5 (0,1)	0,5 (0,1)	0,4 (0,2)
	H	0,4 (0,2)	0,4 (0,2)	0,3 (0,2)	0,4 (0,1)	0,4 (0,2)	0,3 (0,2)
Aceleración media (m/s <sup>2</sup> )	N	1,4 (0,5)	1,3 (0,3)	1 (0,5)	2,4 (0,8)	2,5 (0,9)	2,4 (1,1)
	H	1,2 (0,7)	1,3 (0,7)	1 (0,9)	1,9 (1)	2,1(1,3)	1,9 (1,1)
Fuerza media (N)	N	671,5 (292,8)	638,1 (224,6)	525,9 (226,2)	1587,9 (340,8)	1618,4 (354,1)	1525,8 (560,4)
	H	493,4 (216,4)	501,3 (217,1)	379,7 (287,9)	1354,1 (583,7)	1297,2 (701,7)	1303,6 (700,6)
Potencia Media (W)	N	279,3 (118,3)	247,9 (104,4)	180,5 (76,1)	744,3 (230,8)	760,2 (221,4)	728,1 (300,6)
	H	201,1 (89,4)	208,1 (90,3)	159,9 (119,6)	596,4 (280,8)	619,9 (342,2)	599,6 (327,3)
Potencia Media (W)	N	0,6 (0,2)	0,6 (0,1)	0,5 (0,2)	0,8 (0,2)	0,9 (0,2)	0,8 (0,3)
	H	0,6 (0,3)	0,6 (0,3)	0,4 (0,4)	0,7 (0,3)	0,7 (0,4)	0,6 (0,4)
Aceleración pico (m/s <sup>2</sup> )	N	3,3 (1,5)	3,2 (1,2)	2,5 (1,1)	2,9* (0,7)	3 (0,7)	2,6 (1,1)
	H	2,7 (1,2)	3,2 (1,8)	2,2 (1,8)	2,2* (1,1)	2,3(1,3)	2,1 (1,2)
Fuerza pico (N)	N	883,2 (360,3)	827,9 (248,1)	673,2 (282,5)	2016,9 (401,3)	2082,8 (449,2)	1926,1 (713,2)
	H	637,2 (270,6)	670,9 (276,1)	497,5 (370,2)	1695,5 (705,1)	1666,1 (887,8)	1656,3 (882,4)
Potencia pico (W)	N	472,8 (207,1)	404,6 (133,8)	296,6 (119,7)	1577,1* (587,5)	1664,3 (587,8)	1597,6 (670,3)
	H	321,3 (168,5)	335,3 (167,2)	261,1 (209,3)	1227,2*(636,3)	1301,1 (750,1)	1254,8 (726,5)
Tiempo hasta máxima velocidad (s)	N	0,7 (0,2)	0,8 (0,2)	0,8 (0,4)	0,5 (0,1)	0,5 (0,1)	0,5 (0,2)
	H	0,7 (0,3)	0,7 (0,3)	0,5 (0,4)	0,5 (0,2)	0,4 (0,2)	0,4 (0,2)
Tiempo hasta máxima aceleración (s)	N	0,7 (0,2)	0,7 (0,2)	0,8 (0,4)	0,5 (0,2)	0,5 (0,2)	0,4 (0,2)
	H	0,6 (0,3)	0,6 (0,2)	0,5 (0,3)	0,4 (0,2)	0,3 (0,2)	0,3 (0,2)

Bloque 1: Valores de press de banca; Bloque 2: Valores de media sentadilla; \*diferencias estadísticamente significativas entre H y N  $p \leq 0,05$ ; N: normoxia; H: hipoxia.

el ejercicio de sentadilla pero no modifica la percepción de esfuerzo que tiene el deportista.

En relación a la variable RPE, nuestros resultados están en la línea de la literatura que analiza dicha variable. Estudios previos<sup>12,15,17</sup> observan que no existen diferencias en la percepción de esfuerzo subjetivo, aun viéndose aumentadas las demandas cardiovasculares. En el presente estudio, se vieron tendencias a mayores aumentos en la variable de percepción de esfuerzo tras el primer bloque del HRC aunque sin diferencias significativas. Una de las posibles razones de los menores valores obtenidos en el segundo bloque puede deberse a los ejercicios utilizados y a la mayor demanda de los ejercicios del primer bloque con respecto al segundo. Los ejercicios que implican a un mayor número de grupos musculares incrementan el consumo de oxígeno y la capacidad de extracción por parte de los músculos del oxígeno sanguíneo disminuyendo la saturación y aumentando la frecuencia cardíaca<sup>20</sup>. En este sentido, en el primer bloque, los ejercicios utilizados (*press* banca, peso muerto y *curl* de bíceps) suponen la movilización de grandes grupos musculares, mientras que los ejercicios seleccionados en el segundo bloque (media sentadilla, *press* francés y extensión de tobillos) tienen una menor demanda al solo utilizar un único ejercicio multiarticular. A diferencia de dichos resultados otros estudios sí encuentran diferencias en la RPE entre condiciones<sup>21,22</sup>. Estos resultados contradictorios podrían

explicarse por la diferente metodología de entrenamiento; tradicional frente al circuito de alta intensidad. Por lo tanto, la variable de RPE es un buen indicador para un entrenamiento en hipoxia, ya que nos proporciona información valiosa sobre la intensidad del ejercicio y nos permite controlar la carga de entrenamiento en esta condición ambiental<sup>23,24</sup>.

En relación a los valores máximos de rendimiento, los resultados de este estudio muestran diferencias significativas en la primera serie de media sentadilla. Estudios previos han observado que en condiciones de hipoxia se produce un aumento de la concentración de lactato en sangre, disminuye el pH sanguíneo y disminuye la disponibilidad de oxígeno<sup>25</sup>. Dichos hallazgos parecen sugerir una mayor implicación metabólica de la glucólisis anaeróbica, necesaria para mantener la resíntesis de ATP. Así, cuando el metabolismo aeróbico no puede satisfacer la demanda de ATP la degradación de fosfocreatina y la mayor implicación de la glucólisis anaeróbica colaboran para proporcionar la energía necesaria<sup>26</sup>. Por otro lado, el mayor estrés metabólico y acidosis asociada al entrenamiento en hipoxia<sup>9</sup> unido a los tiempos de recuperación breves que utilizamos en el HRC, afectan a la capacidad de los músculos para mantener el equilibrio entre utilización y resíntesis de ATP, limitando la recuperación muscular<sup>27</sup>. Esta respuesta fisiológica, tal como sugieren los estudios, podría explicar este descenso del rendimiento observado en nuestro estudio. Sin embargo, es necesario llevar a cabo un análisis

de dichas variables, no estudiadas en nuestro trabajo. Por lo tanto, los resultados parecen indicar, que el entrenamiento propuesto en hipoxia, repercute negativamente en la capacidad de generar picos de fuerza en media sentadilla. Así pues, estos resultados deberían ser tenidos en cuenta a la hora de planificar un entrenamiento de fuerza en hipoxia, ya que la velocidad y potencia muscular son factores que se modifican con la hipoxia y que pueden modificar la respuesta al entrenamiento<sup>28</sup>.

Los resultados obtenidos en las variables de fuerza, potencia y aceleración medias y los tiempos necesarios para llegar a la máxima velocidad y máxima potencia muestran que no existen diferencias significativas entre las condiciones analizadas. Aun así, los datos obtenidos en la condición de hipoxia mostraron una tendencia a ser más bajos que en normoxia. En este sentido, nuestros resultados, a pesar de las claras diferencias en las tareas propuestas entre ambos trabajos, parecen estar en concordancia con el estudio de Scott *et al.*<sup>17</sup> que no encontraron diferencias significativas, pero si unos valores inferiores en las variables de fuerza y potencia entre hipoxia y normoxia en una sesión con ejercicios de sentadilla y peso muerto de 5 series de 5 repeticiones al 80% del 1RM al 0,16 o 0,13% de  $\text{FiO}_2$ . Éste descenso en los valores medios de rendimiento se asocian a una acumulación de productos que genera fatiga metabólica y fatiga neuromuscular así como con un descenso en los depósitos de fosfocreatina<sup>29</sup>. Además, también se asocia a una mayor implicación de la glucólisis anaeróbica cuando se realiza un entrenamiento en hipoxia<sup>30</sup> que incrementa la acidosis intracelular y que contribuye a la fatiga<sup>31</sup>. Por lo tanto, los valores de rendimiento medios en una sesión de entrenamiento en circuito en hipoxia son similares a los de una sesión en normoxia, lo que sugiere que pueda utilizarse sin efectos adversos y aprovecharse de los beneficios de trabajar en un entorno con baja disponibilidad de oxígeno, que estudios previos relacionan como una mayor hipertrofia muscular<sup>12,15</sup>.

El presente estudio contribuye a la comprensión de las respuestas agudas de una sesión de entrenamiento en circuito en condiciones de hipoxia. Proporciona evidencias sobre la aplicabilidad potencial en deportes de resistencia que utilizan el entrenamiento de fuerza en sus programas de entrenamiento. Las sesiones de circuito en hipoxia no producen las mismas respuestas agudas en variables de rendimiento que el mismo entrenamiento bajo condición de normoxia. Estas diferencias deben de tenerse en cuenta a la hora de diseñar y optimizar las cargas de entrenamiento. Además, hay que tener en cuenta que los sujetos de este estudio eran atletas bien entrenados y con experiencia en el entrenamiento de fuerza por lo que los resultados son aplicables a atletas que aspiran a mejorar el rendimiento en dicha cualidad. Debido a la alta demanda de la glucólisis anaeróbica que esta modalidad parece producir, los resultados del estudio también pueden aplicarse a jugadores de deportistas de equipo, velocistas o atletas de resistencia que pueden querer optimizar sus sesiones de entrenamiento en fuerza en sesiones más cortas.

En conclusión, los resultados de este estudio demuestran que una sesión de entrenamiento en circuito en hipoxia ( $\text{FiO}_2 = 0,16$ ) no disminuye el rendimiento físico medio de la sesión ni la percepción de esfuerzo que tiene el deportista, pero afecta a la potencia y a la aceleración pico desarrollada en el ejercicio de sentadilla en comparación con el mismo entrenamiento en normoxia. Es necesario seguir investigando en el entrenamiento de fuerza en hipoxia y específicamente en

circuito para conocer las adaptaciones crónicas en fuerza, metabólicas y morfológicas. Si los resultados de futuras investigaciones siguen en la línea de nuestro estudio, podríamos estar ante una nueva metodología de entrenamiento en fuerza ya que no disminuye el rendimiento físico medio de la sesión y por otro lado no provoca que el ejercicio sea percibido como más intenso. Así el deportista se beneficiaría de las mejoras de rendimiento que nos proporciona el medio con baja disponibilidad de oxígeno y en menor tiempo de entrenamiento.

## Bibliografía

- McGuigan MR, Wright G, Fleck S. Strength training for athletes: does it really help sports performance? *Int J Sports Physiol Perform.* 2012;7:2-5.
- Mujika I, Ronnestad B, Martin D. Effects of Increased Muscle Strength and Muscle Mass on Endurance-Cycling Performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11:283-9.
- Gettman LR, Pollock ML. Circuit weight training: a critical review of its physiological benefits. *Phys Sportsmed.* 1981;9(1):44-60
- Alcaraz PE, Sanchez-Lorente J, Blazevich A. Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *J Strength Cond Res.* 2008;22:667-71.
- Alcaraz PE, Perez-Gomez J, Chavarrias M, Blazevich A. Similarity in adaptations to high-resistance circuit vs. traditional strength training in resistance-trained men. *J Strength Cond Res.* 2011;25:2519-27.
- Katayama K, Matsuo H, Ishida K, Mori, S, Miyamura M. Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency. *High Alt Med Biol.* 2003;4:291-304
- Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Corbi F, Pagès T, Viscor G. Anaerobic performance after endurance strength training in hypobaric environment. *Sci Sport.* 2014;29:311-318.
- Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Corbi F, Pages T, Viscor G. A program of circuit resistance training under hypobaric hypoxia conditions improves the anaerobic performance of athletes. *Sci Sport.* 2016; 31:78-87.
- Scott BR, Goods P, Slattery K. High-Intensity Exercise in Hypoxia: Is Increased Reliance on Anaerobic Metabolism Important? *Front Physiol.* 2016;7:637.
- Scott BR, Slattery K, Sculley D, Dascombe B. Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. *Sports Med.* 2014;44:1037-54.
- Kon M, Ikeda T, Homma T, Akimoto T, Suzuki Y, Kawahara T. Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:1279-85.
- Kon M, Ikeda T, Homma T, Suzuki Y. Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. *J Strength Cond Res.* 2012;26:611-7.
- Ramos-Campo DJ, Rubio-Arias J, Freitas T, Camacho A, Jiménez-Díaz J, Alcaraz P. Acute Physiological and Performance Responses to High-Intensity Resistance Circuit Training in Hypoxic and Normoxic Conditions. *J Strength Cond Res.* 2017;31:1040-7.
- Yan B, Lai X, Yi L, Wang Y, Hu Y. Effects of Five-Week Resistance Training in Hypoxia on Hormones and Muscle Strength. *J Strength Cond Res.* 2016;30:184-93.
- Nishimura A, Sugita M, Kato K, Fukuda A, Sudo A, Uchida A. Hypoxia increases muscle hypertrophy induced by resistance training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2010;5:497-508.
- Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Gatterer H, Viscor G, Burtscher M. Differing levels of acute hypoxia do not influence maximal anaerobic power capacity. *Wilderness Environm Med.* 2015;26:78-82.
- Scott BR, Slattery K, Sculley D, Hodson J, Dascombe B. Physical performance during high-intensity resistance exercise in normoxic and hypoxic conditions. *J Strength Cond Res.* 2015;29:807-15.
- Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley G, Dooly C, Feigenbaum M, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:364-80.
- Garber CE, Blissmer B, Deschenes M, Franklin B, Lamonte M, Lee I, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1334-59.
- Lewis SF, Taylor WF, Graham RM, Pettinger WA, Schutte JE, Blomqvist CG. Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative work load. *J Appl Physiol* 1983; 54(5):1314-1323.
- Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Hamlin M, Viscor G. Strength training under hypoxic conditions. *Physiol Rep.* 2015;3:e12227.

22. Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Gatterer H, Blank C, Corbi F, Pagès T, et al. Anaerobic training in hypoxia: A new approach to stimulate the rating of effort perception. *Physiology & behavior*. 2016;163:37-42.
23. Day ML, McGuigan M, Brice G, Foster C. Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. *J Strength Cond Res*. 2004;18:353-8.
24. Gearhart RF, Goss F, Lagally K, Jakicic J, Gallagher J, Gallagher K, et al. Ratings of perceived exertion in active muscle during high-intensity and low-intensity resistance exercise. *J Strength Cond Res*. 2002;16:87-91.
25. Scott BR, Slattery K, Dascombe B. Intermittent hypoxic resistance training: is metabolic stress the key moderator? *Med Hypotheses*. 2015;84:145-9.
26. Calbet JA, Boushel R, Radegran G, Sondergaard H, Wagner P, Saltin B. Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2003;284:291-303.
27. Hogan MC, Richardson R, Haseler L. Human muscle performance and PCr hydrolysis with varied inspired oxygen fractions: a 31P-MRS study. *J Appl Physiol*. 1999;86:1367-73.
28. Gonzalez-Badillo JJ, Sanchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*. 2010;31:347-52.
29. Haseler LJ, Hogan M, Richardson R. Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O<sub>2</sub> availability. *J Appl Physiol*. 1999;86:2013-8.
30. Kasai N, Mizuno S, Ishimoto S, Sakamoto E, Maruta M, Kurihara T, et al. Impact of 6 consecutive days of sprint training in hypoxia on performance in competitive sprint runners. *J Strength Cond Res*. 2017;10.
31. Bowtell JL, Cooke K, Turner R, Mileva K, Sumners D. Acute physiological and performance responses to repeated sprints in varying degrees of hypoxia. *J Sci Med Sport*. 2014;17:399-403.