

Evaluación deportiva, muscular y hormonal en deportistas de CrossFit® que emplean la “Elevation Training Mask”

Diego Fernández-Lázaro^{1,2}, Juan Mielgo-Ayuso³, Darío Fernández-Zoppino³, Silvia Novo¹, María Paz Lázaro-Asensio^{4,5}, Nerea Sánchez-Serano^{1,6}, César I. Fernández-Lázaro^{1,7}

¹Departamento de Biología Celular, Histología y Farmacología. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Valladolid. Soria. ²Grupo de Investigación de Neurobiología. Facultad de Medicina. Universidad de Valladolid. Valladolid. ³Departamento de Ciencias de la Salud. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Burgos. Burgos. ⁴Departamento de Fisioterapia. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Valladolid. Soria. ⁵Centro de Salud “La Milagrosa”. Salud Castilla y León (SACyL). Soria. ⁶Unidad de Microbiología Clínica. Hospital Sta. Bárbara de Soria. Soria. ⁷Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra. Pamplona.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00052

Recibido: 05/11/2020
Aceptado: 10/05/2021

Resumen

Introducción: La posibilidad de realizar entrenamientos intensos sin caer en estados de fatiga crónica, estimula el uso de dispositivos que mejoren la funcionalidad muscular y hormonal en deportistas. La *Elevation Training Mask* (Training Mask LLC) (ETM) permite la aplicación de hipoxia durante el ejercicio. La ETM se integra en las rutinas de entrenamiento incrementando el estímulo físico para mejorar el rendimiento.

Objetivo: Evaluamos el impacto de la ETM sobre los entrenamientos del día o Workouts of the Day (WODs), el comportamiento muscular y hormonal en deportistas de CrossFit®.

Material y método: Estudio de cohorte prospectivo. Durante 12 semanas 20 practicantes de CrossFit® entrenaban 60 minutos 3 días a la semana fueron divididos aleatoriamente en 2 grupos, grupo control (GC) (n=10) y grupo ETM (GE) (n=10) aplicando una altitud simulada adicional progresiva entre 914 y 2743 metros. Los WODs (press, squat, deadlift, CF total y grace), marcadores maculares: lactato deshidrogenasa (LDH); creatina quinasa (CK); mioglobina (Mb) y hormonas: testosterona (T); cortisol (C), se evaluaron en 2 momentos del estudio: día 1 (T1) y día 84 (T2).

Resultados: Todos los WODs y los parámetros LDH, CK, Mb, TT y C no mostraron ninguna diferencia significativa ($p>0,05$) en la interacción grupo tiempo. En el GE se observó un porcentaje de cambio (Δ) entre T1 y T2 sustancialmente menor en Mb (-16,01±25,82%), CK (6,16±26,05%) y C (-0,18±4,01%) que en GC (Mb:-0,94±4,395; CK: 17,98±27,19%; C: 4,56±3,44%). Los Δ T1-T2 en los WODs fueron similares.

Conclusión: Tras 12 semanas de entrenamiento en condiciones simuladas de hipoxia con ETM no existen mejoras del rendimiento deportivo evaluadas mediante los WODs. Sin embargo, la mayor tendencia a disminuir de Mb, CK y C, tras usar la ETM, podrían estimular la recuperación e indicar un menor catabolismo muscular del atleta de CrossFit® a largo plazo.

Palabras clave:

Elevation Training Mask. Hipoxia.
Rendimiento deportivo. Músculo.
Hormonas. CrossFit®.

Athletic, muscular and hormonal evaluation in CrossFit® athletes using the “Elevation Training Mask”

Summary

Introduction: The possibility of performing intense workouts without falling into states of chronic fatigue stimulates the use of devices that improve muscular and hormonal functionality in athletes. The *Elevation Training Mask* (Training Mask LLC) (ETM) allows the application of hypoxia during exercise. The ETM is integrated into training routines increasing the physical stimulus to improve performance.

Objective: We evaluated the impact of ETM on Workouts of the Day (WODs), muscular and hormonal behavior in CrossFit® athletes.

Material and method: Prospective cohort study. During 12 weeks 20 CrossFit® athletes trained 60 minutes 3 days a week were randomly divided into 2 groups, control group (CG) (n=10) and ETM group (EG) (n=10) applying an additional progressive simulated altitude between 914 and 2743 meters. WODs (press, squat, deadlift, total CF and grace), macular markers: lactate dehydrogenase (LDH); creatine kinase (CK); myoglobin (Mb) and hormones: testosterone (T); cortisol (C), were evaluated at 2 time points of the study: day 1 (T1) and day 84 (T2).

Results: All WODs and parameters LDH, CK, Mb, T and C showed no significant difference ($p>0.05$) in the time group interaction. In EG, a substantially lower percentage change (Δ) between T1 and T2 was observed in Mb (-16.01±25.82%), CK (6.16±26.05%) and C (-0.18±4.01%) than in CG (Mb: -0.94±4.39%; CK: 17.98±27.19%; C: 4.56±3.44%). The Δ T1-T2 in the WODs were similar.

Conclusion: After 12 weeks of training under simulated hypoxia conditions with ETM there are no improvements in athletic performance assessed by WODs. However, the greater tendency to decrease Mb, CK and C, after using ETM, could stimulate recovery and indicate a lower muscle catabolism of the CrossFit® athlete in the long term.

Key words:

Elevation Training Mask. Hypoxia.
Sport Performance. Muscle.
Hormones. CrossFit®.

Primer Premio a la mejor comunicación científica de las IX Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte; Zaragoza, 2020

Correspondencia: Diego Fernández Lázaro
E-mail: diego.fernandez.lazaro@uva.es

Introducción

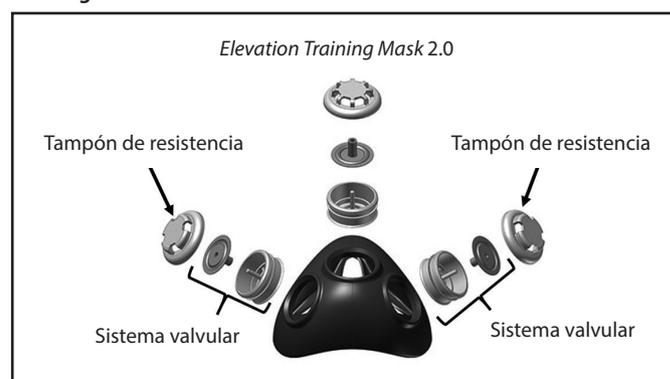
Las exigencias en el deporte de alta competición empujan a buscar sistemas que mejoren los resultados. Desde la década de los 60 el estímulo de la hipoxia en los deportistas se ha utilizado como un método para mejorar el rendimiento atlético¹. El entrenamiento hipóxico (EH) induce modificaciones sobre varios sistemas del organismo, incluyendo los sistemas nervioso central, cardiorrespiratorio, hormonal y muscular, que no se producen en condiciones de normoxia o, si lo hacen, lo hacen en menor grado².

En los últimos años, en el campo de la medicina deportiva, la simulación del entrenamiento en altura ha funcionado para generar adaptaciones beneficiosas tanto para la salud como para los resultados deportivos del individuo³. Estos métodos no tienen las desventajas de los viajes y los gastos asociados, ni reducen la intensidad del entrenamiento por la estancia prolongada en altitud¹. De este modo, se han popularizado el uso de variados métodos de simulación de altitud para inducir un estímulo hipóxico normobárico, o reducir al mínimo la cantidad de aire que se permite consumir a un sujeto^{4,5}. Estos métodos se postulan como una estrategia ergogénica entre los deportistas para aumentar las adaptaciones del entrenamiento⁶. Actualmente, se han comenzado a comercializar dispositivos, para inducir/simular condiciones hipóxicas, que son de fácil adquisición y bajo coste para el atleta profesional, el deportista recreacional y el público en general⁷, en comparación con las cámaras hipobarométricas, o los dispositivos portátiles para la exposición a hipoxia disponibles en el mercado, como el Altitrainer® o el Hipoxicador GO₂ Altitude®.

Específicamente, es la Máscara de Entrenamiento de Elevación o "Elevation Training Mask" (ETM) un nuevo dispositivo que se usa durante el entrenamiento y que el fabricante describe como un "dispositivo de ejercicio con resistencia a la inhalación y con capacidad ajustable". La ETM pretende simular el entrenamiento en altitud (914 a 5.486 metros) a través de la restricción de oxígeno (O₂), proporcionando esta condición durante la respiración a través de un sistema de válvulas de flujo diseñadas para limitar la cantidad de aire que entra en la máscara⁸. La simulación de altitud de la ETM no genera una situación hipobárica (presión parcial de O₂ reducida), pero provoca una leve hipoxemia arterial como consecuencia de una frecuencia respiratoria reducida ocasionada por la restricción respiratoria producida por los tapones de resistencia y el sistema de válvulas de flujo (Figura 1). Adicionalmente, la hipoxemia podría agudizarse por la re-inspiración de dióxido de carbono (CO₂), y el subsiguiente desplazamiento de la curva de disociación del O₂⁹.

Se conoce que el EH incrementa cambios pronunciados en las concentraciones de lactato (LA) en deportistas cuando se compara con el entrenamiento normóxico¹⁰. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en la concentración de LA entre los grupos control y el grupo que empleaba la ETM durante la realización de ejercicio de forma continuada¹¹. Fernández-Lázaro *et al.*¹ describieron que un programa de estimulación de hipoxia en combinación con el entrenamiento fue capaz de estimular mejoras sobre el perfil hematológico que las relacionaron con ganancias en las pruebas de evaluación de rendimiento deportivo. Durante el entrenamiento con la ETM, el perfil hematológico de los deportistas no se modifica^{12,13}. Estas razones justificarían y corroborarían

Figura 1. Tapones de resistencia y sistema valvular de la Elevation Training Mask 2.0.



que la ETM no imita o simula situaciones de altitud. Adicionalmente, la restricción valvular al flujo de aire de la ETM aumenta el trabajo de los músculos respiratorios, lo que podría estimular mejoras en el rendimiento de resistencia, a través del entrenamiento de los músculos respiratorios (EMR)¹⁴. Aunque se ha demostrado que el uso del ETM durante un programa de entrenamiento de alta intensidad de varias semanas de duración no incrementa la función pulmonar^{7,12,13}. Por lo tanto, aunque no se inducen cambios fisiológicos asociados a la ETM^{7,11-13} si se reportan mejoras sobre los marcadores específicos del rendimiento cuando se compara con un entrenamiento idéntico sin la ETM^{7,12,13}.

El CrossFit® (CF) es un nuevo y popular método de ejercicio que implica movimientos funcionales realizados a alta intensidad. El entrenamiento se realiza en base a movimientos funcionales llamados entrenamientos del día o "Workouts of the day" (WODs). En estas sesiones de entrenamiento todos los WODs se ejecutan a la máxima intensidad de forma rápida, repetitiva y con poco o ningún tiempo de recuperación entre ellos^{15,16}.

Actualmente se desconoce si la ETM comprometería la capacidad de entrenar en las intensidades elevadas que exige el CF. La falta de evidencia de los mecanismos de la ETM en el rendimiento deportivo requiere una considerable investigación para desarrollar protocolos que optimicen el equilibrio entre la eficacia y seguridad sobre los efectos biológicos, derivados del uso de la ETM, pero fundamentalmente en la seguridad hormonal y la respuesta muscular, que hasta el momento no han sido estudiadas. Por estas razones nos propusimos evaluar la influencia de los regímenes de entrenamiento de alta intensidad de sujetos que practicaban CF con la utilización de la ETM en relación al rendimiento en los WODs, la respuesta hormonal, testosterona (T) y cortisol (C), y las enzimas de la actividad muscular (daño e inflamación), producidas por el programa de entrenamiento de CF en estas condiciones.

Material y método

Se realizó un estudio de cohorte prospectivo. Veinte deportistas masculinos voluntarios de CF participaron en el estudio, aleatorizado y controlado sin placebo, que evaluó el efecto de la ETM 2.0 (Training Mask LLC, Cadillac, Michigan) durante un periodo de 12 semanas de entrenamiento sobre el rendimiento deportivo, la respuesta muscular y el comportamiento hormonal. El protocolo siguió las recomendaciones

de la Declaración de Helsinki, además el estudio fue revisado y aprobado por el comité de ética de la investigación con medicamentos del área de Valladolid Este (PI 19-1361).

Examen físico

Todos los sujetos, firmaron un consentimiento informado. Los participantes fueron estudiados mediante un examen cardio-pulmonar y electrocardiográfico, además de completar un cuestionario médico previo al ingreso para el estudio. Ninguno de los deportistas de CF fumaba, bebía alcohol o tomaba medicamentos o sustancias ilegales capaces de alterar la respuesta muscular, hormonal o el rendimiento deportivo. 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 sujetos siguieron la misma dieta durante el estudio, supervisada por un nutricionista.

Sujetos

Los participantes fueron reclutados mediante un método de muestreo aleatorio de dos grupos. El grupo estudio (GE), con empleo de ETM, incluyó un total de 10 deportistas de CF masculinos (n=10) (38,4±3,8 años; índice de masa corporal 24,6±2,7 Kg/m²; 51,5 ± 6,5 mL·kg⁻¹·min⁻¹) y el grupo control (GC) de 10 deportistas de CF masculinos (n=10) (36,7±5,3 años; índice de masa corporal 22,9±3,1 Kg/m²; 53,1 ± 7,3 mL·kg⁻¹·min⁻¹) sin uso de ETM. Todos los sujetos del estudio (n=20) poseían al menos, un año de experiencia practicando la disciplina de CF. Además, ningún participante fue expuesto recientemente de forma previa a la altitud, hipoxia o aclimatado, excepto que viven en Salamanca (802 metros) o Soria (1.063 metros).

Entrenamiento

Los entrenamientos durante las 12 semanas de estudio se basaron en 3 sesiones semanales en días alternos. Cada sesión fue de una hora y se fragmentó en un trabajo específico de calentamiento, fuerza y/o técnica de destreza, un entrenamiento programado de fuerza o acondicionamiento de entre 10 y 30 minutos, y enfriamiento y/o trabajo de movilidad. Cada entrenamiento fue supervisado por un entrenador de CF Nivel 1 certificado. Todos los sujetos realizaron las mismas rutinas de actividad física para garantizar que todos llevaban a cabo el mismo entrenamiento durante el estudio.

Evaluación dietética

Para calcular y registrar la composición de nutrientes y la ingesta de energía de los alimentos y bebidas consumidos por los deportistas se siguió la metodología empleada en otros de nuestros estudios anteriores^{17,18}.

Uso de la *Elevation Training Mask*

La ETM fue empleada en las sesiones 36 de entrenamiento durante las 12 semanas del estudio. En la primera semana, la simulación de altitud adicional fue de 914 metros y, posteriormente, en la segunda,

de 1.829 metros con el fin de acostumbrarse a la restricción del flujo aéreo y como proceso de aclimatación a la simulación de altitud. Para las semanas posteriores y, hasta finalizar el estudio, la altitud simulada fue de 2.743 metros adicionales a la altitud de donde se desarrolló el entrenamiento.

Extracción y análisis de sangre

Se tomaron muestras de sangre venosa antecubital de los deportistas de CF el primer día de estudio (T1) sin uso previo de la ETM y tras 12 semanas de entrenamiento con la ETM (T2). Para la recolección, extracción y transporte de las muestras de sangre de los deportistas se empleó la metodología de los estudios de Fernández-Lázaro et al.^{1,17}.

Las concentraciones séricas de lactato deshidrogenasa (LDH), creatina quinasa (CK) y mioglobina (Mb) se midieron mediante la reacción de quimioluminiscencia enzimática¹⁷. La T total y C se determinaron por ensayos inmunoenzimáticos¹⁹.

Los cambios porcentuales en el volumen plasmático (% ΔPV) se calcularon usando la ecuación de Van Beaumont. Además, los valores de los marcadores analíticos fueron ajustados para los cambios en el volumen plasmático; se utilizó la siguiente fórmula: Valor corregido = Valor no corregido × ((100 + % ΔPV) / 100)¹⁷.

Evaluación del rendimiento deportivo

El rendimiento de los sujetos fue evaluado a través de diferentes WODs siguiendo los protocolos internacionales de ejecución en CF¹⁵. Las pruebas realizadas fueron: sentadilla de espalda (*back squat*), presa de hombro (*press*) y peso muerto (*deadlift*), *CF Total* y *Grace*.

Determinación del esfuerzo percibido

Antes de la extracción de sangre, se pidió a los participantes que calificaran su malestar muscular percibido en cada punto de tiempo (T1 y T2) utilizando la escala CR-10 de Borg validada para calificar el esfuerzo percibido (RPE)^{20,21}.

Análisis estadístico

Los tratamientos fueron asignados de forma aleatoria mediante Random Sequence Generator. 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 ± desviación estándar (DS). Las diferencias en los parámetros se evaluaron mediante una prueba de Scheffé, para identificar diferencias significativas entre T1 y T2 de forma independiente. Se consideraron diferencias significativas para p < 0,05. Además, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas para examinar la existencia de un efecto de interacción del entrenamiento con ETM (tiempo por grupo) en todos los parámetros evaluados. Los cambios porcentuales de las variables estudiadas en cada grupo entre las pruebas basales (T1) y las post-ETM (T2) se calcularon como Δ (%): [(T2 - T1) / T1] × 100. Las diferencias entre grupos de los cambios Δ (%) se evaluaron mediante una prueba de muestras independientes paramétrica o no, después de que se hubiera confirmado la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk.

Resultados

Ingesta dietética

No hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los grupos de estudio (GC y GE) para la ingesta calórica total, de vitaminas y minerales (Tabla 1).

Marcadores musculares

En la Tabla 2, se muestran los marcadores del comportamiento muscular (LDH, CK y Mb) en dos momentos del estudio, T1 y T2. En ambos grupos (GC y GE) no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en los parámetros musculares analizados, a excepción de la LDH en el GE que se observa un aumento con una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre los dos tiempos del estudio (T1: $167,55 \pm 21,30$ U/L vs T2: $189,80 \pm 27,69$ U/L) (Figura 2). Ningún de los marcadores musculares analizados mostró en sus valores una diferencia significativa ($p > 0,05$) en la interacción grupo por tiempo.

La Tabla 3 muestra los cambios porcentuales al final del estudio de los parámetros musculares. No existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre LDH, CK y MB. Sin embargo, se observó un mayor aumento en el GE de la LDH ($12,75 \pm 15,01\%$) y una importante tendencia descendente en la Mb ($-16,01 \pm 25,82\%$) y un menor aumento de la CK ($6,16 \pm 26,05\%$) en GE con respecto al GC (CK: $17,98 \pm 27,19\%$).

Comportamiento hormonal

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las hormonas T y C entre ambos grupos (GC y GE) durante las 12 semanas del estudio. Además, tampoco existieron diferencias significativas

Tabla 1. Ingesta de energía y micronutrientes. Media diaria en cada grupo de deportistas de CrossFit® del grupo estudio (GE) y el grupo control (GC) durante las 12 semanas de estudio.

Grupo	Grupo Estudio (GE)	Grupo Control (GC)	P	Cantidad diaria recomendada*
Energía (kcal/kg)	38,3±5,8	39,7±5,2	0,273	
Ca (mg)	1036±214	1082±193	0,345	1000
Mg (mg)	542±99	551±95	0,863	320
P (mg)	2123±66	2076±84	0,583	700
Fe (mg)	21,1±4,6	23,5±5,7	0,801	10
Zn (mg)	13,7±0,8	14,7±0,8	0,699	8
Vitamina A (µg)	1859±1180	2002±775	0,659	689
Vitamina E (mg)	17,0±2,5	17,3±1,6	0,466	15
Tiamina (mg)	2,62±0,20	2,80±0,62	0,526	1,1
Riboflavina (mg)	2,76±0,23	2,75±0,28	0,693	1,1
Niacina (mg)	40,0±7,1	38,2±3,9	0,815	14
Vitamina B6 (mg)	4,11±0,73	4,36±0,94	0,831	1,3
Ácido Fólico (mg)	634±171	636±169	0,885	400
Vitamina B12 (µg)	9,12±3,91	9,35±3,11	0,877	2,4
Vitamina C (µg)	347±138	356±119	0,733	700

Tabla 2. Marcadores bioquímicos del comportamiento muscular y la respuesta hormonal a lo largo de dos momentos del estudio, T1 al inicio del estudio y T2 tras 12 semanas en los deportistas de CrossFit® del grupo control (GC) y del grupo de estudio (GE) con la Elevation Training Mask.

	T1	T2	P (T x G)
LDH (U/L) [135 – 250 U/L]			
GC	200,00±46,49	195,71±33,70	NS
GE	167,55±21,30	189,80±27,69 *	
Creatina-Quinasa (U/L) [38 – 190 U/L]			
GC	437,56±467,80	500,22±510,25	NS
GE	301,20±237,51	315,70±232,48	
Mioglobina (ng/ml) [28 – 72 ng/ml]			
GC	32,67±17,38	33,33±21,17	NS
GE	38,00±26,25	26,11±5,55	
Testosterona total (ng/ml) [2,49 – 8,36 ng/ml]			
GC	6,19±0,87	6,52±0,91	NS
GE	6,19±1,03	6,39±1,06	
Cortisol (ug/dl) [6,0 – 18,4 ug/dl]			
GC	17,79±3,69	18,32±3,88	NS
GE	17,80±2,55	17,53±3,70	

Los datos son expresados en media ± desviación estándar.

Diferencias significativas durante el periodo de estudio, calculadas mediante la prueba de Scheffé.

P (T x G): ANOVA de 2 factores (tiempo por grupo).

*: Diferencia significativa entre T1 y T2 ($p < 0,05$).

NS: No significativa.

Valores de referencia entre corchetes.

Tabla 3. Porcentaje de cambio de los marcadores bioquímicos del comportamiento muscular y la respuesta hormonal en el grupo control (GC) y en el grupo estudio (GE) con la Elevation Training Mask durante las 12 semanas de entrenamiento.

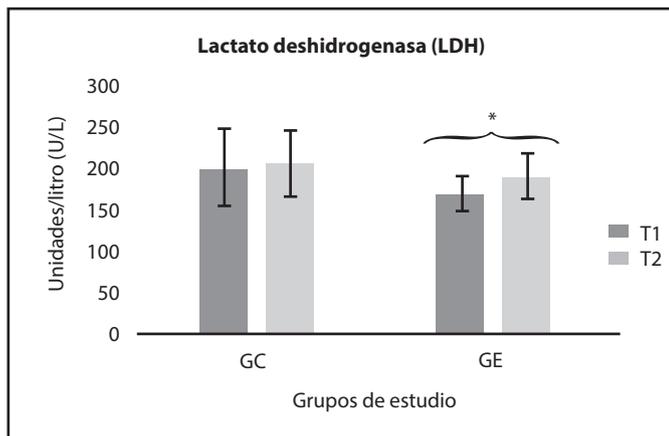
	Δ (T1-T2)	P
LDH (%)		
GC	-0,18±28,19	0,620
GE	12,75±15,01	
Creatina-Quinasa (%)		
GC	17,98±81,59	0,296
GE	6,16±26,05	
Mioglobina (%)		
GC	-0,94±4,39	0,289
GE	-16,01±25,82	
Testosterona total (%)		
GC	5,79±0,57	0,762
GE	3,60±0,52	
Cortisol (%)		
GC	4,56±3,44	0,649
GE	-0,18±4,01	

Los datos son expresados en media ± desviación estándar.

Δ (T1-T2) = ((T2-T1) / T1) * 100

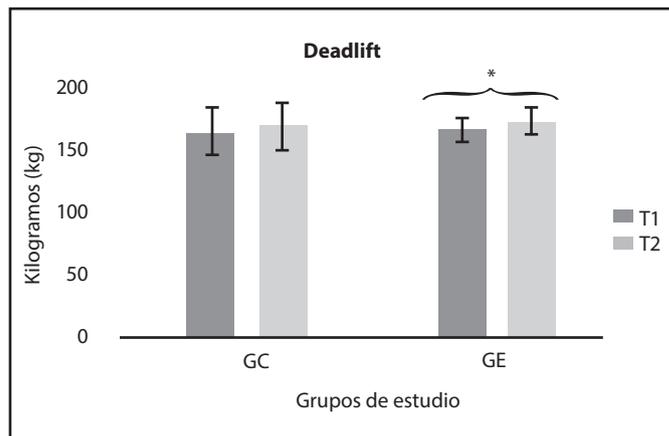
P: Diferencias estadísticas entre grupos

Figura 2. Lactato deshidrogenasa (LDH) de dos momentos del estudio, T1 al inicio del estudio y T2 tras 12 semanas en los deportistas de CrossFit® del grupo control (GC) y del grupo de estudio (GE) con la *Elevation Training Mask*.



*: Diferencia significativa entre T1 y T2 (p <0,05)
Grupo control (GC); Grupo estudio (GE)

Figura 3. *Deadlift* de dos momentos del estudio, T1 al inicio del estudio y T2 tras 12 semanas en los deportistas de CrossFit® del grupo control (GC) y del grupo de estudio (GE) con la *Elevation Training Mask*.



*: Diferencia significativa entre T1 y T2 (p <0,05)
Grupo control (GC); Grupo estudio (GE)

Tabla 4. Pruebas de rendimiento, “*Workouts of the day*” (WODs), a lo largo de dos momentos del estudio, T1 al inicio del estudio y T2 tras 12 semanas en los deportistas de CrossFit® del grupo control (GC) y del grupo de estudio (GE) con la *Elevation Training Mask*.

	T1	T2	P (T x G)
Press (kg)			
GC	70,83±10,69	76,67±10,80*	NS
GE	69,17±11,58	80,00±11,40*	
Squat (kg)			
GC	142,50±28,94	149,17±23,11	NS
GE	128,33±15,71	131,67±11,25	
Deadlift (kg)			
GC	160,83±19,34	165,83±18,28	NS
GE	162,50±9,87	170,00±10,49*	
CF total (kg)			
GC	374,17±47,48	391,67±37,24*	NS
GE	360,00±35,36	381,67±30,93*	
Grace (segundos)			
GC	30,17±5,08	24,33±4,46*	NS
GE	28,00±6,23	22,67±5,92*	

Los datos son expresados en media ± desviación estándar.
Diferencias significativas durante el periodo de estudio, calculadas mediante la prueba de Scheffé
P (T x G): ANOVA de 2 factores (tiempo por grupo)
*: Diferencia significativa entre T1 y T2 (p<0.05)
NS: No significativa

Tabla 5. Porcentaje de cambio en las pruebas de rendimiento, “*Workouts of the day*” (WODs), en el grupo control (GC) y en el grupo estudio (GE) con la *Elevation Training Mask* durante las 12 semanas de entrenamiento.

	Δ (T1-T2)	P
Press (%)		
GC	8,52±3,76	0,614
GE	10,70±3,76	
Squat (%)		
GC	5,70±9,83	0,126
GE	4,89±6,06	
Deadlift (%)		
GC	3,32±6,33	0,639
GE	3,78±4,18	
CF total (%)		
GC	5,07±16,05	0,624
GE	5,43±9,83	
Grace (%)		
GC	-24,73±2,48	0,524
GE	-23,46±1,63	

Los datos son expresados en media ± desviación estándar.
Δ (T1-T2) = ((T2-T1) / T1) * 100
P: Diferencias entre grupos.

(p >0,05) en la interacción grupo por tiempo (Tabla 2). El GC tuvo un mayor porcentaje de cambio para la T (5,79±0,57%) y el GE mostró un cambio porcentual negativo (-0,18±4,01%) para el C (Tabla 3).

Rendimiento deportivo

La Tabla 4 muestra los resultados de las pruebas de rendimiento en T1 y T2. Se observó tanto en el GC (T1: 374,17±47,48 kg vs T2: 391,67±37,24 kg) y GE (T1: 360,00±35,36 kg vs T2: 381,67±30,93 kg) un aumento en los kilogramos totales estadísticamente significativo

Tabla 6. Determinación del Esfuerzo percibido BORG CR-10 a lo largo de dos momentos del estudio, T1 al inicio del estudio y T2 tras 12 semanas en los deportistas de CrossFit® del grupo control (GC) y del grupo de estudio (GE) con la Elevation Training Mask.

Test	Grupo	Tiempo		P (T x G)
		T1	T2	
BORG CR-10	GC	5,23±3,13	5,32±3,24	NS
	GE	5,70±1,29	5,86±1,16	

Los datos son expresados Media ± Desviación Estándar. Diferencias significativas durante el periodo de estudio, calculadas mediante la prueba de Scheffé.

P (T x G): ANOVA de 2 factores (tiempo por grupo)

*: Diferencia significativa entre T1 y T2 ($p < 0,05$)

NS: No significativa; Grupo Control: GC; Grupo Estudio: GE

($p < 0,05$) para la prueba de CF total. Además, se midió una disminución estadísticamente significativa ($p < 0,05$) de los segundos para completar Grace en el GC (T1: 30,17±5,08 s vs T2: 24,33±4,46 s) y GE (T1: 28,00 6,23 s vs T2: 22,67±5,92 s). Únicamente en el GE se observa una mejora significativa ($p < 0,05$) en el *deadlift* (T1: 162,50±9,87 vs T2: 170,00±10,49) (Figura 3). En ninguno de los WODs evaluados mostró una diferencia significativa ($p > 0,05$) en la interacción grupo por tiempo.

Los cambios porcentuales (Tabla 5), fueron similares para (GC y GE) en el WOD CF (GC: 5,07±16,05% vs GE: 5,43±9,83%) y Grace (GC: -24,73±2,48% vs GE: -23,46±1,63%).

Determinación del esfuerzo percibido

La Tabla 6 muestra el RPE en el GC, la escala de Borg CR10 indica que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre T1 y T2 en ambos grupos (GC y GE). Además, tampoco existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la interacción grupo por tiempo.

Discusión

El propósito del presente estudio fue investigar el efecto (36 sesiones de entrenamiento) de la ETM en el rendimiento del CF mediante los WODs, examinando el comportamiento muscular y la variación hormonal en deportistas de CF recreativos. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio de estas características. El ensayo utilizó una metodología de entrenamiento diseñada para provocar un alto grado de fatiga que permita la evaluación bioquímica y hormonal, además de ser usada como un programa enfocado a la mejora del rendimiento en los WODs. Por los resultados de nuestro estudio, el uso de la ETM no condicionó la programación total de entrenamiento de los participantes. Además, no se reportó ningún efecto secundario derivado del uso de la ETM que hiciera abandonar el ensayo. Por lo tanto, uso de la ETM durante el entrenamiento de CF fue bien tolerado, lo que confirmaría la ausencia de diferencias significativas en el RPE entre GC y GE, de la misma forma que el estudio de Granados *et al.*⁹ y de forma contraria al estudio de Jagim *et al.*⁶ en levantadores de pesas. Tal vez nuestros resultados serían derivados del proceso de aclimatación a la ETM realizado en las dos primeras semanas de estudio.

En relación a la evaluación deportiva, los principales hallazgos tras 12 semanas de entrenamiento con ETM son que no existen mejoras del rendimiento deportivo evaluadas mediante los WODs entre las dos situaciones (GC y GE). Aunque observamos que el uso de la ETM presenta un incremento significativo en *deadlift* y un mayor porcentaje de mejora en el CF, que es el sumatorio de tres WODs. Estos resultados son acordes con los reportados por otros autores^{7,12,13}, aunque los resultados entre grupos (GC y GE) no fueron significativos, hubo un mayor aumento en el GE que llevaba el ETM en comparación con el grupo de control que no lleva la máscara para el volumen máximo de O_2 (VO_{2max})^{7,12,13} o la potencia anaeróbica evaluada mediante el test *power output* en una prueba estandarizada de cicloergómetro¹². Una hipótesis de mejora del rendimiento, por el uso de la ETM, podría atribuirse a que el EH optimiza la respuesta muscular debido al aumento de ciertas hormonas, como la T^{22} , y la acumulación de metabolitos que sirven como componentes en la señalización de las vías anabólicas clave que estimulan el reclutamiento de fibras musculares contribuyendo a la hipertrofia y al aumento de la fuerza muscular^{23,24}. Este ambiente hipóxico, que permitiría el EH, podría conseguirse al realizar un ejercicio de alta intensidad con ETM y potencialmente proporcionaría beneficios similares a los del entrenamiento de altitud²⁵, como son incrementos en las variables del rendimiento²⁶⁻²⁸. Además, la restricción del flujo respiratorio que ocasiona la ETM permite el EMR que aumentaría el rendimiento en el WOD CF relacionado con el posible retraso en el desencadenamiento del reflejo metabólico de la musculatura respiratoria (RMMR) y el rendimiento respiratorio aumentado³.

Jagim *et al.*⁶ reportaron que la velocidad máxima durante la ejecución de movimientos estandarizados como *back squat* y *bench press* en levantadores de pesas era menor en la condición ETM, aunque sin diferencias significativas entre grupos. Del mismo modo hemos observado en el WOD Grace (30 movimientos / tiempo) una menor velocidad e intensidad de ejecución en el GE, también sin diferencias significativas entre las dos condiciones del estudio. Aunque no hemos analizado los valores de concentración sanguínea de LA, un estudio⁶ comprobó que el LA recogido al finalizar cada ejercicio resultaron ser inferiores en la condición ETM después de las pruebas de levantamiento de peso en comparación con los valores de LA en la condición sin ETM. Esto podría justificarse por las diferencias en los patrones de reclutamiento de fibras musculares rápidas durante el ejercicio en los GC y GE⁶. La reducción en el reclutamiento de fibras musculares rápidas sugiere un comienzo más temprano de la fatiga muscular²⁹ afectando al potencial para alcanzar la velocidad de ejecución máxima durante el WOD Grace con la ETM. Además, los dispositivos de ETM indujeron acidosis respiratoria por el aumento de la respiración de CO_2 , del mismo modo que ocurre con instrumentos de EMR³⁰. Esta restricción de O_2 puede dar lugar a adaptaciones relacionadas con una mayor capacidad tampón amortiguadora que haría disminuir el LA en sangre¹¹. Por lo tanto, el potencial para alcanzar la intensidad máxima durante el WOD Grace también podría verse comprometido, con la ETM, por la disminución del LA en la sangre como consecuencia del efecto amortiguador⁶.

Los ejercicios intensos de pesas, isométricos y excéntricos, presentes en los entrenamientos de CF, establecieron influencias positivas en la composición del cuerpo y la aptitud física, pero también existe un riesgo elevado de daño del musculo esquelético¹⁶. Esta situación

desencadena una fatiga temprana, estrés oxidativo adicional, menor capacidad de desarrollo de ejercicio, mayor percepción de esfuerzo, y ejecución de movimientos inseguros³¹. La monitorización individual mediante la determinación de biomarcadores musculares podría determinar la carga de entrenamiento y minimizar estos riesgos³². Los altos niveles circulantes de enzimas de como la LDH, la CK, y la Mb son indicativos de un aumento del daño muscular inducido por el ejercicio (*Exercise Induced Muscle Damage*) (EIMD) que afectan negativamente a los deportistas porque reducen el rendimiento en el ejercicio y también pueden poner en riesgo su salud³².

Los hallazgos de nuestro estudio reportan que la CK aumenta 10 puntos porcentuales menos en el GE ($6,16 \pm 26,05\%$) que en el GC ($17,98 \pm 81,59\%$) y la disminución de la concentración de Mb ($-16,01 \pm 25,82\%$) tras 12 semanas de ETM, mientras que los niveles de Mb se mantuvieron prácticamente constantes ($-0,94 \pm 4,39\%$) en la condición sin máscara. Estos resultados parecen indicar que el entrenamiento con ETM podría modular y prevenir daño muscular producido por el entrenamiento de CF asociado con reducciones de CK y Mb con respecto al GC. El ambiente hipóxico generado con el ejercicio de CF simultáneamente con la ETM²⁵, podría ser el responsable del descenso de Mb, de la misma forma que Villa *et al.*³³ y Fernández-Lázaro *et al.*² describieron en situaciones de hipoxia y actividad física. Dado que se sabe que el ejercicio y la hipoxia controlan la función mitocondrial, y que actúan positivamente sobre el EIMD a través del factor inducible por hipoxia (HIF), que juega un papel esencial en la activación de una cascada molecular de señalización después de la exposición a la hipoxia^{34,35}. La ETM podría modular la expresión de HIF y de esta forma atenuar los daños histopatológicos musculares derivados del CF.

El C se libera en de la corteza suprarrenal en respuesta a las tensiones psicofísicas y se han descrito aumentos significativos de C después del ejercicio de resistencia que altera las adaptaciones de entrenamiento por el efecto catabólico directo³². Se ha descrito que la hipoxia afecta a la función en el eje hipotálamico-pituitario-adrenal y aumenta los niveles de hormona adrenocorticotropa (ACTH) en el plasma. Además, la hipoxia estimula la expresión de la proteína reguladora aguda esteroideogénica, aumenta la secreción de glucocorticoides como el C²² y disminuye la T³⁶. A lo largo de nuestro estudio se han mantenido constantes los niveles de C en GE ($-0,18 \pm 4,01\%$) sin embargo ha aumentado en GC ($4,56 \pm 3,44\%$), lo que podría sugerir que en entrenamiento de CF con ETM es adecuado. Es decir, la estabilización de los niveles de C, además del ligero aumento de T ($3,60 \pm 0,52\%$) permitiría la activación de la síntesis de proteínas, el efecto antiglucocorticoide, la secreción del factor de crecimiento insulínico 1 (IGF-1) y la hormona del crecimiento (GH). De tal manera que esta situación fisiológica tendría influencia sobre células satélites musculares que podría contribuir en parte a generar mayor fuerza muscular, menor daño muscular y potenciar una mejor recuperación del entrenamiento^{2,23,37}. Por tanto, la mejor relación catabólica/anabólica establecida en la condición de ETM contribuiría a las mejoras significativas en los WODs a largo plazo.

En este estudio deben considerarse algunas limitaciones. Una limitación importante del presente estudio radica en el hecho de que no se incluyó una máscara falsa o placebo en el GC. En segundo lugar, este estudio sólo se ha probado en una condición con una altitud de resistencia de 2.743 metros (tras dos primeras semanas de aclimatación

a 914 y 1.890 metros respectivamente) a pesar de que la compañía introduce varias resistencias de altitud (914 m a 5.486 m). Por lo tanto, aplicando diferentes altitudes, es decir resistencias durante el ejercicio, pueden dar lugar a resultados diferentes. Otra limitación en nuestro estudio fue el pequeño tamaño de la muestra. La inclusión de un mayor número de sujetos proporcionaría una mayor base para eliminar el error debido a las diferencias individuales.

En conclusión, tras 12 semanas de entrenamiento con el dispositivo ETM no existen mejoras del rendimiento deportivo, evaluadas mediante los WODs, en comparación con el grupo control. Sin embargo, si existen mejoras significativas en CF y Grace entre T1 y T2 en el GE. Además, la mayor tendencia porcentual en la disminución de Mb y C, conjuntamente con el menor incremento de la CK tras el uso ETM, podrían estimular la recuperación e indicar un menor catabolismo muscular del atleta de Crossfit® a largo plazo. Es importante reseñar que los resultados del estudio actual sugieren que el uso de la ETM durante el entrenamiento no obstaculiza la capacidad de alcanzar las cargas de trabajo deseadas o el volumen de entrenamiento en practicantes de CF. La ETM no parece afectar negativamente a las percepciones subjetivas como el RPE, y tampoco supone un riesgo de eventos adversos, por no reportarse ninguno después de las 12 semanas del estudio. Estos eventos deberían considerarse antes de implementar el dispositivo ETM en un programa de entrenamiento en futuros estudios que son necesarios para determinar si la modesta condición hipóxica o el aumento del trabajo de los músculos respiratorios son los estímulos responsables de las potenciales mejoras del rendimiento atlético.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Departamento de Biología Celular, Histología y Farmacología y al Grupo de Investigación en Neurobiología de la Universidad de Valladolid.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Caballero García A, Pascual Fernández J, Córdova Martínez A. Artificial altitude training strategies: Is there a correlation between the haematological and physical performance parameters? *Arch Med Deporte*. 2020;37:35-42.
2. Fernández-Lázaro D, Díaz J, Caballero A, Córdova A. The training of strength-resistance in hypoxia: effect on muscle hypertrophy. *Biomédica*. 2019;39:212-20.
3. Fernández-Lázaro D. Ergogenic strategies for optimizing performance and health in regular physical activity participants: evaluation of the efficacy of compressive cryotherapy, exposure to intermittent hypoxia at rest and sectoralized lung training. [Internet]. León; 2020 [cited 2021 Apr 30]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=286163>
4. Córdova Martínez A, Pascual Fernández J, Fernández-Lázaro D, Álvarez Mon M. Muscular and heart adaptations of exercise in hypoxia. Is training in slow hypoxia healthy? *Med Clin*. 2017;148:469-74.
5. Orhan O, Bilgin U, Cetin E, Oz E, Dolek BE. The effect of moderate altitude on some respiratory parameters of physical education and sports' students. *J Asthma*. 2010;47:609-13.
6. Jagim AR, Dominy TA, Camic CL, Wright G, Doberstein S, Jones MT, et al. Acute effects of the elevation training mask on strength performance in recreational weight lifters. *J Strength Cond Res*. 2018;32:482-9.

7. Biggs NC, England BS, Turcotte NJ, Cook MR, Williams AL. Effects of simulated altitude on maximal oxygen uptake and inspiratory fitness. *Int J Exerc Sci*. 2017;10:127-36.
8. Trainingmask. User manual "Elevation Training Mask". [Internet]. Web page 2021. [cited 2021 Apr 30]. Available from: www.trainingmask.com.
9. Granados J, Gillum TL, Castillo W, Christmas KM, Kuennen MR. "Functional" respiratory muscle training during endurance exercise causes modest hypoxemia but overall is well tolerated. *J Strength Cond Res*. 2016;30:755-62.
10. Saunders PU, Pyne DB, Gore CJ. Endurance training at altitude. *High Alt Med Biol*. 2009;10:135-48.
11. Barbieri JF, Gáspari AF, Teodoro CL, Motta L, Castaño LAA, Bertuzzi R, et al. The effect of an airflow restriction mask (ARM) on metabolic, ventilatory, and electromyographic responses to continuous cycling exercise. *Plos*. 2020;15:e0237010.
12. Porcari JP, Probst L, Forrester K, Doberstein S, Foster C, Cress ML, et al. Effect of wearing the elevation training mask on aerobic capacity, lung function, and hematological variables. *J Sports Sci*. 2016;15:379-86.
13. Cress ML, Forrester K, Probst L, Foster C, Doberstein S, Porcari JP. Effect of wearing the Elevation Training Mask on aerobic capacity, lung function, and hematological variables. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48:1040-1.
14. Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals. *Br J Sports Med*. 2012;42:707-24.
15. Butcher SJ, Neyedly TJ, Horvey KJ, Benko CR. Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance? *Br J Sports Med*. 2015;6:241-7.
16. Claudino JG, Gabbett TJ, Bourgeois F, de Sá Souza H, Miranda RC, Mezêncio B, et al. Crossfit overview: systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2018;4:11.
17. Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Caballero-García A, Martínez AC, Seco-Calvo J, Fernández-Lázaro CI. Compressive cryotherapy as a non-pharmacological muscle recovery strategy with no adverse effects in basketball. *Arch Med Deporte*. 2020;37:183-90.
18. Córdova A, Mielgo-Ayuso J, Fernández-Lázaro D, Roche E, Caballero-García A. Impact of magnesium supplementation in muscle damage of professional cyclists competing in a stage race. *Nutrients*. 2019;11:1927.
19. Córdova Martínez A, Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Seco-Calvo J, Caballero García A. Effect of magnesium supplementation on muscular damage markers in basketball players during a full season. *Magnes Res*. 2017;30:61-70.
20. Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sports*. 2006;16:57-69.
21. 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;86:912-6.
22. Hwang G-S, Chen S-T, Chen T-J, Wang S-W. Effects of hypoxia on testosterone release in rat Leydig cells. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2009;297:E1039-E45.
23. 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.
24. Scott BR, Slattery KM, Sculley D V, Dascombe BJ. Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. *Br J Sports Med*. 2014;44:1037-54.
25. Jung HC, Lee NH, John SD, Lee S. The elevation training mask induces modest hypoxaemia but does not affect heart rate variability during cycling in healthy adults. *Biol Sport*. 2019;36:105-12.
26. 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;25:431-41.
27. Otegui AU, Zorita SG, Sanz JMM, Collado ER. The efficacy of a high-intensity exercise program under intermittent hypoxia for the improvement of strength-endurance. *Rev Española Educ Física y Deport*. 2012;397:63-74.
28. Sanchez AMJ, Borrani F. Effects of intermittent hypoxic training performed at high hypoxia level on exercise performance in highly trained runners. *J Sports Sci*. 2018;36:2045-52.
29. Sanchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sport Exerc*. 2011;43:1725-34.
30. Smolka L, Borkowski J, Zaton M. The effect of additional dead space on respiratory exchange ratio and carbon dioxide production due to training. *Med Sci Sport Exerc*. 2014;13:36-43.
31. Bergeron MF, Nindl BC, Deuster PA, Baumgartner N, Kane SF, Kraemer WJ, et al. Consortium for Health and Military Performance and American College of Sports Medicine consensus paper on extreme conditioning programs in military personnel. *Curr Sports Med Rep*. 2011;10:383-9.
32. Fernández-Lázaro D, Fernandez-Lazaro CI, Mielgo-Ayuso J, Navascués LJ, Martínez AC, 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;12:1790.
33. Villa JG, Lucía A, Marroyo JA, Avila C, Jiménez F, García-López J, et al. Does intermittent hypoxia increase erythropoiesis in professional cyclists during a 3-week race? *Can J Appl Physiol*. 2005;30:61-73.
34. Rizo-Roca D, Ríos-Kristjánsson JG, Núñez-Espinosa C, Santos-Alves E, Goncalves IO, Magalhães J, et al. Intermittent hypobaric hypoxia combined with aerobic exercise improves muscle morphofunctional recovery after eccentric exercise to exhaustion in trained rats. *J Appl Physiol*. 2017;122:580-92.
35. Rizo-Roca D, Ríos-Kristjánsson JG, Núñez-Espinosa C, Santos-Alves E, Magalhães J, Ascensão A, et al. Modulation of mitochondrial biomarkers by intermittent hypobaric hypoxia and aerobic exercise after eccentric exercise in trained rats. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2017;42:683-93.
36. Hu Y, Asano K, Mizuno K, Usuki S, Kawakura Y. Comparisons of serum testosterone and corticosterone between exercise training during normoxia and hypobaric hypoxia in rats. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998;78:417-21.
37. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sport Med*. 2005;35:339-61.