

Rendimiento en el Deporte

Una Alternativa Específica de Trabajo en Hipoxia Orientada a Esfuerzos Intermitentes: Entrenamiento Interválico de Máxima Intensidad En Hipoxia (EIMIH)

An Alternative of Specific Training in Hypoxia Oriented to Intermittent Efforts: Intermittent Maximal Intensity Hypoxic Training (IMIHT)

Camacho-Cardenosa, Alba.¹, Camacho-Cardenosa, Marta.¹, Martinez Guardado, Ismael.¹, Brazo-Sayavera, Javier.¹, Timon Andrada, Rafael.¹, Olcina Camacho, Guillermo.¹

¹Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura. Cáceres. España

FINANCIACIÓN

Esta investigación fue financiada por la Junta de Extremadura: Grupo de Investigación GAEDAF (CTS-036) y por la Cátedra Real Madrid: proyecto de investigación 2014/04RM. Este artículo es una memoria / resumen del protocolo realizado y algunos de los resultados más destacados del propio proyecto.

Dirección de contacto: golcina@unex.es

Guillermo Olcina

Fecha de recepción: 4 de Septiembre de 2015

Fecha de aceptación: 8 de Marzo de 2016

RESUMEN

En 2013 surge el “Entrenamiento Interválico de Máxima Intensidad en Hipoxia” que combina el estímulo de alta intensidad con el entrenamiento en hipoxia. Este podría ser idóneo para deportes de equipo donde los esfuerzos intermitentes de alta intensidad son comunes en el juego. El objetivo de este estudio fue definir una propuesta de EIMIH estableciendo una nueva “dosis” y viendo sus efectos sobre parámetros de rendimiento aeróbico, anaeróbico y condición física. Setenta y dos sujetos voluntarios fueron divididos aleatoriamente en tres grupos: control, normoxia e hipoxia. Completaron 8 sesiones de

sprints repetidos (2x(5x10" sprint/r20")/10') en hipoxia simulada (FiO₂ = 14,5%) o normoxia (FiO₂ = 20,9%). Antes, después del programa y tras 4 semanas después de finalizar el período de intervención, parámetros de resistencia (Yo-Yo test IR1), potencia (Wingate, Sprints Repetidos) y test de saltos (SJ, CMJ, CMJ libre) fueron evaluados. Se observaron aumentos estadísticamente significativos en el grupo hipoxia en el número de sprints realizados ($p < 0,01$), tanto en el post-entrenamiento como 4 semanas después del post-entrenamiento en comparación con el grupo control ($p < 0,05$). No hubo diferencias estadísticamente significativas en el resto de parámetros analizados. En conclusión esta nueva "dosis" sería suficiente para mejorar la resistencia ante sprints repetidos, sin embargo no sería suficiente para generar adaptaciones positivas ante diferentes tipos de saltos o en la potencia anaeróbica.

Palabras Clave: hipoxia normobárica, entrenamiento interválico de máxima intensidad, rendimiento aeróbico, sprints repetidos

ABSTRACT

In 2013 the "Maximum Intensity Interval Training in hypoxia" that combines high-intensity training with training in hypoxia exposure. This could be ideal for team sports where the demands of high intensity are common in the game. The aim is define a proposal EIMIH establishing a "dose" and analyze their effects on aerobic performance parameters, anaerobic and specific physical conditioning. Seventy-two participants were randomly divided into three groups: control, normoxia and hypoxia. They completed 8 sessions repeated sprints (10-s sprint, work-to-rest ratio 1:2) in hypoxia (FiO₂ = 14.5%) or normoxia (FiO₂ = 20.9%). Before, after and after 4 weeks of post-training aerobic parameters, anaerobic lactic and jump test were analyzed. Statistically significant differences were observed in intra group analysis in the group of hypoxia in the number of sprints performed ($p < 0.01$), after post-training and after the 4 weeks of post-training ($p < 0.05$) compared with the control group. No statistically differences were found in other parameters analyzed. In conclusion this new "dose" would be enough to improve repeated sprint ability, although it would not be enough to improve a lactic anaerobic performance or lactic anaerobic power.

Keywords: normobaric hypoxia, maximal-intensity interval training, aerobic performance, repeated sprint ability

INTRODUCCIÓN

El trabajo en hipoxia es uno de los muchos métodos utilizados para el apoyo al entrenamiento. Esta técnica comenzó a desarrollarse a mediados de la década de los 60, mediante un sistema conocido como "Live high - Train high" (LHTH), es decir, estancias de un periodo de 2-4 semanas en una altitud superior a 2000-2200m donde se vivía y se entrenaba. Debido a las condiciones de hipobaria en altitud, la captación de oxígeno por parte del organismo es menor, y así pues, se podrían producir adaptaciones hematológicas (como el aumento de los glóbulos rojos o la hemoglobina) que permitirían incrementar el rendimiento aeróbico (Wilber, 2001). Sin embargo, estos métodos de hipoxia hipobárica presentan una serie de limitaciones logísticas, por ello surgen una serie de tecnologías que permitían simular la altitud en cualquier parte del planeta sin necesidad de desplazarse. Estas técnicas están basadas en la hipoxia normobárica, es decir, generar hipoxia en base a una reducción en la concentración del oxígeno inspirado con generadores y tiendas de hipoxia, sin necesidad de desplazarse a altura. Así, en 2013 surge una novedosa forma de entrenamiento en hipoxia, denominada "Intermittent Maximal Intensity Hypoxic Training" (IMIHT). Combina el estímulo de alta intensidad necesario para producir adaptaciones "extra" (esfuerzos supramáximos: $> 120\% \text{VO}_{2\text{max}}$, $< 10''$) junto con el entrenamiento en hipoxia, y reduce el tiempo necesario de "entrenamiento y exposición" para conseguir beneficios (sesiones de 5'-10' de duración). Además, al basarse en un entrenamiento de sprints repetidos de máxima intensidad, sería idóneo para deportes de equipo o para deportes con los esfuerzos intermitentes de alta intensidad son comunes en el juego.

Actualmente, se han publicado pocos estudios sobre este novedoso método de entrenamiento (Bowtell, Cooke, Turner, Mileva, & Sumners, 2014; Faiss et al., 2013; Galvin, Cooke, Sumners, Mileva, & Bowtell, 2013) : en sujetos activos (Bowtell et al., 2014), jugadores de rugby (Galvin et al., 2013) y en ciclistas (Faiss et al., 2013) . Los resultados preliminares son alentadores: mejoras en la capacidad de resistir sprints, aumento del número de sprints repetidos o menor decremento de la velocidad / potencia con la fatiga que produce la acumulación de sprints. No obstante, tal y como indican estos autores, más investigaciones son necesarias para desarrollar este nuevo método.

Las dudas sobre el protocolo óptimo para conseguir un efecto positivo sobre el rendimiento mediante el entrenamiento en hipoxia en diferentes modalidades deportivas son muchas: dosis mínima para conseguir beneficios, efecto sobre diferentes tipos de sujetos, mecanismos de adaptación o persistencia de las adaptaciones con el desentrenamiento.

Así, los objetivos que pretende abordar este estudio son: (i) definir una nueva propuesta de Entrenamiento Interválico de Máxima Intensidad en Hipoxia (EIMIH), (ii) analizar los efectos del EIMIH sobre el rendimiento aeróbico y anaeróbico, (iii) estudiar la persistencia de las adaptaciones al EIMIH y (iv) plantear futuras líneas de trabajo e investigación a tenor de los resultados obtenidos.

MÉTODO

Sujetos

Se contactó con 72 voluntarios, activos, mayores de edad, sin ninguna patología, sin estar sometidos a ningún plan de suplementación dietética y que no habían estado en altitud superior a los 1800m en los últimos 3 meses. Los sujetos fueron informados del protocolo experimental y tras la firma del consentimiento informado pasaron a formar parte del estudio. El protocolo de intervención fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Extremadura.

Los sujetos fueron divididos aleatoriamente en tres grupos de 24 sujetos: (i) grupo control (CON), (ii) grupo entrenamiento en normoxia (NOR) y (iii) grupo entrenamiento en hipoxia (HIP). Las características de los participantes están reflejadas en la tabla 1.

Tabla 1. Características de los sujetos del grupo control (CON), grupo normoxia (NOR) y grupo hipoxia (HIP)

	CON (n= 24)	NOR (n=24)	HIP (n=24)
Edad (años)	21,07± 3,18	21,77± 2,18	22,01± 3,78
Peso (kg)	71,27 ± 6,18	72,83 ± 6,42	71,85 ± 7,15
Altura (cm)	1,77 ± 2,86	1,75 ± 1,63	1,77 ± 2,41
BMI (kg/m ²)	22,89 ± 0,76	23,49 ± 2,42	23,02 ± 1,03

Resultados expresados como media ± DT. *p >0,05

Los participantes en el estudio fueron tratados siguiendo los acuerdos de la Declaración de Helsinki 2008.

Programa de intervención / entrenamiento

Todos los grupos, salvo el grupo control, realizaron un entrenamiento basado en 8 sesiones de trabajo (2 por semana). El entrenamiento fue llevado a cabo sobre un ciclosimulador con potenciómetro integrado y ajustable a diferentes dimensiones antropométricas (Cycleops 410 pro, Cycleops, Madison, USA). La sesión comenzaba con un calentamiento de 10 minutos a 120w. A continuación, la parte principal constaba de 2 series de 5 sprints de 10 segundos a máxima intensidad con descansos de 20 segundos entre sprints. Entre series el descanso era de 10 minutos pedaleando a 120w. La sesión finalizaba con una vuelta a la calma de 5min. a 120w. La potencia máxima de cada sprint era registrada y monitorizada por el potenciómetro en tiempo real a través de la pantalla de datos del propio potenciómetro.

Con el objetivo de encontrar una nueva “dosis” efectiva de entrenamiento, el protocolo de entrenamiento fue una adaptación del realizado por Faiss et al. (2013), realizando en el presente estudio una serie menos, es decir, un bloque menos de 5 sprints de 10 segundos por sesión.

El grupo HIP realizó el ejercicio sobre el ciclosimulador dentro del tienda de hipoxia (CAT 310, Colorado Altitude Training, Louisville, USA) con una FiO₂ de 14,5%, el equivalente a 3400 m de altitud. La FiO₂ de la tienda de hipoxia fue modificada mediante 3 generadores de hipoxia CAT-12 (recomendables para las dimensiones del habitáculo con personas ejercitándose dentro) y controlada mediante un dispositivo Handi (sistema de control de la altitud que muestra la presión parcial de oxígeno actual dentro de la cámara), proporcionado por el fabricante. El grupo NOR realizó las sesiones de entrenamiento en el mismo habitáculo pero sin la puesta en marcha de los generadores de hipoxia. De esta manera los

sujetos desconocían el grupo al que pertenecían. El grupo CON no realizó ningún tipo de entrenamiento.

Las sesiones de entrenamiento fueron realizadas por 4 sujetos al día. Para garantizar el descanso entre sesiones existía un período de 72 horas entre sesiones. Ello implicaba que semanalmente podían entrenar 8 sujetos de forma balanceada en función del grupo al que pertenecían. A los sujetos, durante el periodo de entrenamiento, se les indicó que siguieran con su actividad habitual. Para conocer su nivel de actividad física se les administró el cuestionario IPAQ (Lee, Macfarlane, Lam, & Stewart, 2011) en los diferentes momentos de evaluación.

Test y mediciones

Los test realizados se pueden dividir en: (a) controles llevados a cabo durante la sesión de entrenamiento, los cuales controlaban la evolución de una serie de variables relacionadas con la carga de entrenamiento; (b) evaluaciones llevadas a cabo antes de la intervención, 48 horas después de la última sesión de entrenamiento y 4 semanas después del post-entrenamiento, para valorar las adaptaciones fisiológicas de los diferentes metabolismos y adaptaciones de rendimiento provocadas por el programa, así como su duración en el tiempo tras un periodo de desentrenamiento.

En los controles llevados a cabo en las sesiones de entrenamiento, la curva de potencia desarrollada fue registrada mediante el ciclosimulador Cycleops 410 pro (Cycleops, Madison, USA) y la frecuencia cardiaca medida mediante una banda de pulsómetro sincronizada al ciclosimulador con tecnología de transmisión inalámbrica ANT+. Los datos fueron guardados en una consola (Joule 3.0, Cycleops, Madison, USA) y más tarde volcados a un ordenador y analizados con el software específico (Poweragent 7.0, Cycleops, Madison, USA) para el análisis de potencia registrada en potenciómetros Cycleops. Además, al término de cada sesión se registró la percepción subjetiva del esfuerzo mediante la escala de Borg (Borg, 1970) y la percepción del dolor muscular mediante la escala VASpain (Bijur, Silver, & Gallagher, 2001).

Las evaluaciones fueron llevadas a cabo, en 3 momentos del tiempo diferente: Pre-entrenamiento, Post-entrenamiento y 4 semanas post-entrenamiento, realizándose diversos test de condición física, a los que los sujetos habían sido familiarizados 48 h antes del test inicial, evitándose así el "efecto aprendizaje". Las evaluaciones fueron desarrolladas en dos días diferentes. El primer día se desarrollaron los test de saltos, tras 20 minutos de descanso, el Test de Wingate y 45 minutos después los sujetos realizaron el Yo-Yo Test. El segundo día de evaluación, los sujetos realizan el test de sprints repetidos en el ciclosimulador para valorar la resistencia ante esfuerzos repetidos de alta intensidad.

Test de salto: los sujetos desarrollaron 3 protocolos diferentes de salto sobre una plataforma de contacto Chronojump (BoscoSystem, Barcelona, España) conectada a un ordenador. Los sujetos se situaron descalzos sobre la plataforma y desarrollaron dos intentos de cada test, usando para el análisis la mayor altura (cm.) alcanzada en cada uno de ellos. Los protocolos de saltos fueron: (a) Squat Jump (SJ), donde los sujetos se situaban de pie sobre la plataforma, con flexión de rodillas mantenida a 90° y los brazos situados a la altura de la cadera; partiendo de esta posición tratan de ascender verticalmente, sin ningún tipo de rebote o contramovimiento, la máxima altura posible; (b) Countermovement Jump (CMJ), similar al anterior pero los participantes parte de posición de bipedestación y con las manos en la cadera, desarrollan un movimiento rápido y consecutivo de flexión-extensión de rodilla y cadera, para saltar verticalmente lo máximo posible. Por último, el Counter Movement Jump libre de brazos (CMJ libre) en el que los sujetos parten de una extensión de rodillas en bipedestación y realizan un movimiento rápido de flexo-extensión de rodillas y cadera para de forma consecutiva realizar un salto vertical máximo, utilizando, a diferencia de los anteriores, los brazos (Cherif, 2012).

Test de Wingate: fue llevado a cabo en el mismo ciclosimulador que las sesiones de entrenamiento. Después de un calentamiento de 5 minutos a 120 w y 2 sprints de 10 segundos con un descanso a 120w entre ellos, se realizó el test Wingate 30seg. (Dotan & Bar-Or, 1983). Se registraron curvas de potencia en la consola (Joule 3.0, Cycleops, Madison, USA) y más tarde se analizaron con el software específico (Poweragent 7.0, Cycleops, Madison, USA). Se determinó el pico de lactato al finalizar la prueba mediante punción del lóbulo de la oreja. El lactato fue analizado mediante un analizador de lactato Lactate PRO (Cycle Classic Imports, Melbourne, Australia) y sus correspondientes tiras reactivas.

Yo-yo test de recuperación intermitente nivel 1 (Yo-yo Test IR1): los sujetos realizan 40 metros de carrera (ida y vuelta) con incrementos de la velocidad, con 10 segundos de recuperación activa entre ejecuciones, hasta el agotamiento. Se usan conos para marcar tres líneas: línea de medio o de inicio y otras dos en sentido contrarios, a 20 metros y 5 metros de distancia de esta. Los sujetos parten de la línea media de salida y comienzan a correr 40 metros cuando el audio marca el pitido de comienzo del test. Durante el período de recuperación activa el sujeto debe caminar o trotar alrededor de la línea de 5 metros y volver al punto de partida. Un reproductor de CD portátil calibrado, proporciona señales de audio que van marcando el ritmo. La prueba termina cuando el participante fracasa dos veces para llegar a la meta en el tiempo requerido o por la extenuación voluntaria. Para contabilizar el rendimiento en la prueba, se utiliza la distancia recorrida (Chelly et al., 2011)

Test sprints repetidos: fue llevado a cabo en el mismo ciclosimulador que las sesiones de entrenamiento. Tras un calentamiento, de 5 minutos a 120 w y 2 sprints aislados de 10 segundos con un descanso de 20 segundos a 120w entre

ellos, se realizó el test que consistió en llevar a cabo el mayor número de sprints repetidos de 10 segundos posibles con un descanso de 20 segundos pedaleando a 120w entre ellos. La resistencia de cada sprint era establecida de forma individual por cada sujeto, de manera que el potenciómetro integrado del ciclosimulador en función de la resistencia y la cadencia monitorizaba una potencia. Se tomó como criterio de finalización del test la extenuación voluntaria o el no poder conseguir pedalear con una cadencia superior a 70 rpm. Para evitar “estrategias de ahorro” en los sujetos se controló que la potencia de los dos primeros sprints fuese al menos de un 95% referente a los sprints del calentamiento.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se hizo utilizando el programa estadístico SPSS v.20 para MAC. Se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnov y Levene para analizar la normalidad y distribución de las variables de estudio. Para comparar los cambios a lo largo del tiempo se utilizó el test ANOVA de medidas repetidas, junto al test de Bonferroni para un análisis post hoc con objeto de terminar el momento temporal concreto donde hubo cambios estadísticamente significativos. Se considerarán estadísticamente significativas aquellas diferencias con un valor $p < 0.05$. El tamaño del efecto se calculó mediante la d de Cohen, considerando la magnitud de la diferencia pequeña ($< 0,2$), moderada ($> 0,2 \& < 0,8$) o grande ($> 0,8$).

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestran las diferencias entre grupos en cuanto a la altura alcanzada en los diferentes test de saltos realizados. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los saltos ni en el análisis entre grupos ni en el análisis intra grupos.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el análisis intra grupos en los parámetros medidos en la prueba de Wingate: potencia máxima, potencia media, frecuencia cardíaca máxima, frecuencia cardíaca media y concentración de lactato en sangre (Tabla 3). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos en ninguno de los parámetros analizados en la prueba de Wingate.

En la tabla 4 se muestra el número de sprints realizados en la prueba de sprints repetidos. Tras las 8 sesiones de intervención se observaron diferencias estadísticamente significativas en el análisis intra grupo en el grupo de hipoxia. Tras el período de entrenamiento también se observaron diferencias significativas en el grupo hipoxia en comparación con el número de sprints realizados en la línea base. Se observaron diferencias estadísticamente significativas tras la intervención y el período de desentrenamiento a favor del grupo hipoxia en comparación con el grupo control ($p < 0,05$).

Respecto al rendimiento aeróbico, al analizar las diferencias intra grupos no se observan diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los grupos en los tres momentos de evaluación en la distancia recorrida en la prueba de YoYo Test (Tabla 5). En cuanto a las diferencias entre los grupos de hipoxia, normoxia y control no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en la distancia recorrida.

DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio era definir una propuesta de EIMIH y ver sus efectos sobre parámetros fisiológicos, de rendimiento aeróbico, anaeróbico y condición física. Además, se estudió la persistencia de las adaptaciones al EIMIH con el desentrenamiento. El principal descubrimiento, fue que tras 8 sesiones de entrenamiento con una nueva dosis de trabajo, el grupo de entrenamiento en hipoxia consiguió mayores mejoras en esfuerzos repetidos de alta intensidad, en comparación con el grupo control, en el post-entrenamiento y tras 4 semanas de post-entrenamiento.

Para evaluar el rendimiento aeróbico se utilizó el Test Yoyo IR1. No se encontraron cambios estadísticamente significativos en ninguno de los grupos ni en el análisis intra grupo ni al comparar entre grupos. Estos resultados difieren de los encontrados en estudios previos (Galvin et al., 2013) donde tras aplicar 12 sesiones de entrenamiento en cinta rodante consigue mejoras tanto en el grupo hipoxia como normoxia. La realización del protocolo de entrenamiento en cinta rodante en dicho estudio y no en cicloergómetro podrían explicar tales diferencias, pues la cinta podría repercutir positivamente en el rendimiento de la prueba. Aunque estudios previos han mostrado la eficacia del entrenamiento interválico de alta intensidad por sí mismo sobre el rendimiento aeróbico (Bravo et al., 2008; Kueffner, Rowan, & Stavrianeas, 2012), probablemente la dosis aplicada en este estudio no sea suficiente para conseguir tales mejoras aun añadiendo un estímulo hipóxico. Un estudio llevado a cabo en futbolistas durante 8 sesiones tampoco encontró mejoras en este parámetros tras

aplicar un entrenamiento de sprints repetidos (Gatterer et al., 2014).

Pocos estudios evalúan el efecto del EIMIH sobre parámetros de condición física específica de deportes intermitentes. En este estudio se evaluó el efecto de una nueva “dosis” sobre parámetros específicos de los deportes de equipo a través de SJ, CMJ y CMJ libre de brazos. Al igual que en estudios previos donde aplican entrenamiento de sprints repetidos (Brocherie, Girard, Faiss, & Millet, 2015; Urdampilleta, 2014) no se produjeron cambios estadísticamente significativos en ninguno de los grupos tras el período de intervención en ninguno de los saltos evaluados. La escasa especificidad de la prueba en relación al tipo de intervención llevada a cabo podría ser la causa de los resultados encontrados. La mejora en este tipo de test vendría dada con un entrenamiento específico de fuerza (Chirosa, Chirosa, Requena, Feriche, & Padial, 2010)

Los valores en la concentración de lactato en sangre (2-14 mM) y muscular (15 mmol/kg) indican que este parámetro juega un importante papel en el rendimiento de los deportes de equipo (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006; Krstrup et al., 2006). La mayoría de las investigaciones previas (Bonetti, Hopkins, Lowe, Boussana, & Kilding, 2009; Hendriksen & Meeuwsen, 2003; Millet, Roels, Schmitt, Woorons, & Richalet, 2010; Morton & Cable, 2005; Truijens, Toussaint, Dow, & Levine, 2003) utilizan el test de Wingate para valorar el pico de potencia máximo, potencia media o concentración de lactato. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos. Estudios previos encuentran mejoras en el grupo hipoxia tras aplicar una intervención de alta intensidad de mayor número de sesiones (Faiss et al., 2013; Hamlin, Marshall, Hellemans, Ainslie, & Anglem, 2010; Hendriksen & Meeuwsen, 2003; Meeuwsen, Hendriksen, & Holewijn, 2001). Nuevamente parece que la carga de entrenamiento utilizada en este estudio no ha sido suficiente para generar adaptaciones.

El test más específico en relación a la intervención llevada a cabo es el test de sprints repetidos. Se encontraron mejoras entre grupos a favor del grupo hipoxia tanto en post-entrenamiento como 4 semanas post-entrenamiento, en cuanto a número de sprints realizados. El entrenamiento en condiciones de hipoxia simulada permitiría retrasar la fatiga y por tanto ampliar el número de sprints realizados (Faiss et al., 2013), pero en nuestro caso con una dosis de estímulo menor.

No cabe duda que el presente estudio posee limitaciones en la investigación. Serían necesarios datos de potencia y concentración de lactato en la prueba de sprints repetidos para conocer más información acerca del efecto del entrenamiento sobre la prueba más específica llevada a cabo. Tal y como establecían otros autores (Faiss et al., 2013) son necesarias más investigaciones para establecer protocolos óptimos de este tipo de entrenamientos. La dosis establecida parece no ser suficiente estímulo para producir cambios en el test de Wingate, test de saltos y test de Yoyo IR1, a pesar de incluir un estímulo hipóxico. Otros estudios con mayor número de sesiones si obtienen mejoras en estas variables.

A modo de conclusión, se podría establecer la nueva “dosis” de 8 sesiones de entrenamiento de EIMIH con 2 bloques de 5 sprints máximos de 10” sería suficiente para mejorar la tolerancia ante los sprints repetidos, muy determinante en los deportes de esfuerzos intermitentes. Sin embargo, no sería suficiente para crear adaptaciones positivas en test de saltos, potencia máxima o aspectos aeróbicos.

APORTACIONES DIDÁCTICAS

A tenor de los resultados de este trabajo se plantean las siguientes aportaciones:

1. Ocho sesiones de entrenamiento interválico de máxima intensidad en hipoxia simulada, con una duración de apenas 20 minutos, podría ser suficiente para mejorar el rendimiento físico en modalidades deportivas basadas en esfuerzos intermitentes de alta intensidad.
2. La inclusión de esta metodología de entrenamiento debe ser considerada por preparadores físicos, a la hora de incluir este trabajo en la planificación anual, teniendo en cuenta que en 4 semanas se pueden obtener resultados positivos.
3. Dada la rapidez del método de entrenamiento propuesto y su carácter del esfuerzo basado en la alta intensidad, podría ser útil tanto para mantener el estado de forma de deportistas que no tengan minutos de competición, bien por lesión o bien por decisiones técnicas en deportes de equipo.

Tabla 2. Altura de los diferentes test de salto antes y después de la intervención y tras el periodo de desentrenamiento.

Características	Línea base (A)	Post-intervención (B)	Desentrenamiento (C)	Valor de p intra-grupo (A-B)	Valor de p intra-grupo (A-C)	Valor de p intra-grupo (B-C)	Tamaño del efecto d' (A-B)	Tamaño del efecto d' (A-C)	Tamaño del efecto d' (B-C)
SJ (cm)									
CON	33.08 ± 10.51	31.64 ± 5.15	34.33 ± 11.81	NS	NS	NS	0.18	0.11	0.32
NOR	33.18 ± 7.72	32.64 ± 7.88	31.07 ± 5.62	NS	NS	NS	0.07	0.32	0.23
HIP	36.19 ± 14.39	36.58 ± 12.77	38.73 ± 12.57	NS	NS	NS	0.03	0.19	0.17
CMJ (cm)									
CON	35.62 ± 11.90	36.33 ± 3.42	41.28 ± 15.02	NS	NS	NS	0.09	0.42	0.54
NOR	37.20 ± 8.29	37.02 ± 6.70	33.20 ± 5.49	NS	NS	NS	0.02	0.58	0.63
HIP	38.16 ± 15.76	40.36 ± 13.91	40.62 ± 12.63	NS	NS	NS	0.15	0.17	0.02
CMJFa (cm)									
CON	39.85 ± 6.16	41.50 ± 5.94	40.60 ± 4.18	NS	NS	NS	0.27	0.15	0.18
NOR	39.19 ± 7.38	40.20 ± 8.40	39.65 ± 8.46	NS	NS	NS	0.13	0.06	0.07
HIP	39.15 ± 3.70	39.23 ± 5.20	41.15 ± 3.87	NS	NS	NS	0.02	0.53	0.42

HIP: grupo hipoxia; NOR: grupo normoxia; CON: grupo control.

Los valores son expresados como media ± desviación típica.

Tabla 3. Parámetros del Test de Wingate antes y después de la intervención y tras el periodo de desentrenamiento.

Características	Línea base (A)	Post-intervención (B)	Desentrenamiento (C)	Valor de p intra-grupo (A-B)	Valor de p intra-grupo (A-C)	Valor de p intra-grupo (B-C)	Tamaño del efecto d' (A-B)	Tamaño del efecto d' (A-C)	Tamaño del efecto d' (B-C)
Potencia máxima (W)									
CON	726.50 ± 96.80	746.33 ± 144.32	796.17 ± 40.95	NS	NS	NS	0.16	1.01	0.54
NOR	684.17 ± 213.69	673.75 ± 180.20	681.33 ± 190.39	NS	NS	NS	0.05	0.01	0.04
HIP	789.00 ± 138.55	812.85 ± 154.96	818.08 ± 136.08	NS	NS	NS	0.16	0.21	0.04
Potencia media (W)									
CON	477.83 ± 28.75	440.83 ± 63.00	473.17 ± 35.43	NS	NS	NS	0.81	0.15	0.66
NOR	495.56 ± 37.10	486.78 ± 29.12	501.44 ± 28.14	NS	NS	NS	0.27	0.18	0.51
HIP	489.78 ± 60.01	492.22 ± 62.27	509.11 ± 88.93	NS	NS	NS	0.04	0.26	0.22
Frecuencia cardíaca máxima (ppm)									
CON	184.50 ± 12.37	183.75 ± 18.46	185.25 ± 11.62	NS	NS	NS	0.05	0.06	0.10
NOR	178.00 ± 11.00	176.08 ± 8.19	174.50 ± 10.59	NS	NS	NS	0.20	0.32	0.17
HIP	173.58 ± 16.26	171.75 ± 11.21	171.08 ± 15.37	NS	NS	NS	0.13	0.16	0.05
Frecuencia cardíaca media (ppm)									
CON	167.33 ± 16.07	165.67 ± 11.02	166.00 ± 12.17	NS	NS	NS	0.12	0.09	0.03
NOR	163.09 ± 18.44	160.09 ± 15.57	156.09 ± 24.22	NS	NS	NS	0.18	0.33	0.20
HIP	158.80 ± 15.52	152.00 ± 16.01	153.30 ± 17.97	NS	NS	NS	0.43	0.33	0.08
Lactato (Mmol/L)									
CON	12.55 ± 4.03	12.45 ± 0.49	10.50 ± 3.96	NS	NS	NS	0.04	0.51	0.88
NOR	11.79 ± 1.91	11.15 ± 1.65	12.23 ± 2.77	NS	NS	NS	0.36	0.19	0.49
HIP	11.78 ± 2.27	10.98 ± 3.45	10.93 ± 2.10	NS	NS	NS	0.28	0.39	0.02

HIP: grupo hipoxia; NOR: grupo normoxia; CON: grupo control.
Los valores son expresados como media ± desviación típica.

Tabla 4. Número de sprints realizados por los participantes antes y después de la intervención y tras el periodo de desentrenamiento.

Características	Línea base (A)	Post-intervención (B)	Desentrenamiento (C)	Valor de p intra-grupo (A-B)	Valor de p intra-grupo (A-C)	Valor de p intra-grupo (B-C)	Tamaño del efecto <i>d</i> (A-B)	Tamaño del efecto <i>d</i> (A-C)	Tamaño del efecto <i>d</i> (B-C)
Sprints									
CON	5.57 ± 0.79	5.57 ± 1.62	6.71 ± 1.80	NS	NS	NS	0.00	0.88	0.67
NOR	6.67 ± 4.36	6.89 ± 2.52	7.22 ± 3.56	NS	NS	NS	0.06	0.14	0.11
HIP	8.00 ± 4.18	10.42 ± 4.74*	10.42 ± 4.56*	0.01	0.01	NS	0.54	0.55	0.00

HIP: grupo hipoxia; NOR: grupo normoxia; CON: grupo control.

Los valores son expresados como media ± desviación típica.

* Diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con el grupo control.

Tabla 5. Distancia recorrida en el Yo-Yo Test IR1 antes y después de la intervención y tras el periodo de desentrenamiento

Características	Línea base (A)	Post-intervención (B)	Desentrenamiento (C)	Valor de p intra-grupo (A-B)	Valor de p intra-grupo (A-C)	Valor de p intra-grupo (B-C)	Tamaño del efecto <i>d</i> (A-B)	Tamaño del efecto <i>d</i> (A-C)	Tamaño del efecto <i>d</i> (B-C)
Distancia (m)									
CON	1256.00 ± 313.18	1400.00 ± 367.70	1368.00 ± 432.11	NS	NS	NS	0.42	0.30	0.08
NOR	1449.23 ± 609.95	1569.23 ± 546.05	1485.38 ± 713.50	NS	NS	NS	0.21	0.05	0.13
HIP	1240.00 ± 738.56	1437.14 ± 735.47	1388.57 ± 835.58	NS	NS	NS	0.27	0.19	0.06

HIP: grupo hipoxia; NOR: grupo normoxia; CON: grupo control.

Los valores son expresados como media ± desviación típica.

REFERENCIAS

- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*, 24(7), 665-674. doi: 10.1080/02640410500482529
- Bijur, P. E., Silver, W., & Gallagher, E. J. (2001). Reliability of the visual analog scale for measurement of acute pain. *Acad Emerg Med*, 8(12), 1153-1157.
- 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.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*, 2(2), 92-98.
- Bowtell, J. L., Cooke, K., Turner, R., Mileva, K. N., & Sumners, D. P. (2014). Acute physiological and performance responses to repeated sprints in varying degrees of hypoxia. *J Sci Med Sport*, 17(4), 399-403. doi: 10.1016/j.jsams.2013.05.016

- Bravo, D.F., Impellizzeri, F., Rampinini, E., Castagna, C., Vishop, D., & Wisloff, U. (2008). Sprint vs. interval training in football. *International Journal of Sport Medicine*, 29(8), 668-674.
- Brocherie, F., Girard, O., Faiss, R., & Millet, G. P. (2015). High-intensity intermittent training in hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled field study in youth football players. *J Strength Cond Res*, 29(1), 226-237. doi: 10.1519/JSC.0000000000000590
- Chelly, M. S., Hermassi, S., Aouadi, R., Khalifa, R., Van den Tillaar, R., Chamari, K., & Shephard, R. J. (2011). Match analysis of elite adolescent team handball players. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2410-2417. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182030e43
- Cherif, M.; Said, M.; Chaatani, S.; Nejlaoui, O.; Gomri, D.; Abdallah, A. (2012). The effect of a combined High-Intensity plyometric and Speed Training Program on the running and jumping ability of male handball players. *Asian J Sports Med*, 3(1), 21-28.
- Chirosa, L.J., Chiroso, I.J., Requena, B., Feriche, B., & Padial, P. (2010). Efectos de diferentes métodos de entrenamiento de contraste para la mejora de la fuerza de impulsión en un salto vertical. *Motricidad*, 8, 47-71.
- Dotan, R., & Bar-Or, O. (1983). Load optimization for the Wingate Anaerobic Test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 51(3), 409-417.
- Faiss, R., Leger, B., Vesin, J. M., Fournier, P. E., Eggel, Y., Deriaz, O., & Millet, G. P. (2013). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *PLoS ONE*, 8(2), e56522. doi: 10.1371/journal.pone.0056522
- Galvin, H. M., Cooke, K., Sumners, D. P., Mileva, K. N., & Bowtell, J. L. (2013). Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *Br J Sports Med*, 47 Suppl 1, i74-79. doi: 10.1136/bjsports-2013-092826
- Gatterer, H., Philippe, M., Menz, V., Mosbach, F., Faulhaber, M., & Burtcher, M. (2014). Shuttle-run sprint training in hypoxia for youth elite soccer players: a pilot study. *J Sports Sci Med*, 13(4), 731-735.
- Hamlin, M. J., Marshall, H. C., Hellemans, J., Ainslie, P. N., & Anglem, N. (2010). Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scand J Med Sci Sports*, 20(4), 651-661. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.00946.x
- Hendriksen, I. J., & Meeuwssen, T. (2003). The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *Eur J Appl Physiol*, 88(4-5), 396-403. doi: 10.1007/s00421-002-0708-z
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*, 38(6), 1165-1174. doi: 10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd
- Kueffner, T.E, Rowan, A., & Stavrianeas, S. (2012). Short duration high-intensity interval training improve aerobic conditioning of female college soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44, 571-571.
- Lee, P. H., Macfarlane, D. J., Lam, T. H., & Stewart, S. M. (2011). Validity of the International Physical Activity Questionnaire Short Form (IPAQ-SF): a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 8, 115. doi: 10.1186/1479-5868-8-115
- Meeuwssen, 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), 283-290.
- Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Med*, 40(1), 1-25. doi: 10.2165/11317920-000000000-00000
- Morton, J. P., & Cable, N. T. (2005). Effects of intermittent hypoxic training on aerobic and anaerobic performance. *Ergonomics*, 48(11-14), 1535-1546. doi: 10.1080/00140130500100959
- Truijens, M. J., Toussaint, H. M., Dow, J., & Levine, B. D. (2003). Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *J Appl Physiol* (1985), 94(2), 733-743. doi: 10.1152/japplphysiol.00079.2002
- Urdampilleta, A., Alvarez-Herms, J., Martínez-Sanz, J.M., Corbi, F. y Roche, E. (2014). Physical rehabilitation in football by mechanical vibration and hypoxia. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 14(54), 119-134.
- Wilber, R. L. (2001). Current trends in altitude training. *Sports Med*, 31(4), 249-265.

Versión Digital

<http://g-se.com/es/journals/kronos/articulos/una-alternativa-especifica-de-trabajo-en-hipoxia-orientada-a-esfuerzos-intermitentes-entrenamiento-intervalico-de-maxima-intensidad-en-hipoxia-eimih-2104>