

Monograph

Efectos sobre el Rendimiento de Resistencia en Condiciones Hiperóxicas vs. Normóxicas durante el Entrenamiento Intervalado en Ciclistas de Sexo Femenino

Michael J Buono¹, Jeanne F Nichols¹, David W Douglass¹, Shay Mckelvey¹ y Simon Marshall¹

¹Department of Exercise and Nutritional Sciences, San Diego State University.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar los efectos diferenciales sobre el rendimiento de la respiración normóxica versus hiperóxica durante entrenamiento intervalado de alta intensidad en ciclistas de sexo femenino. Dieciocho ciclistas ($34,9 \pm 1,7$ años; VO_2 máx.: $56,8 \pm 6,5$ ml.kg⁻¹ min⁻¹, media \pm DS) fueron asignadas al azar (simple ciego) ya sea a entrenamiento hiperóxico ($F_1O_2 = 40-45\%$) o normóxico, que consistía en 8 intervalos de 2 minutos de esfuerzo máximo, con 4 minutos de recuperación, realizados una vez por semana durante 6 semanas. Las variables medidas antes (pre) y después (post) del entrenamiento en una bicicleta ergométrica Lode con un dispositivo Vmax 29 (*metabolic cart*) fueron: VO_2 máx., umbral de lactato (LT), fatiga de las piernas (s) al 110% de la máxima producción de potencia (PPO_{110}), producción de potencia pico (PPO) y una prueba de ascenso en una cuesta de 2,4 km. El ANOVA de grupo (normóxico e hiperóxico) por tiempo (pre o post) para mediciones repetidas mostró que no hay interacción significativa entre las variables dependientes; no hay un efecto principal significativo por grupo ($p > 0.05$) y hay un efecto significativo para el tiempo en PPO_{110} ($p = 0.001$) y PPO ($p < 0.022$). Estos datos sugieren que ambos grupos de entrenamiento respondieron al régimen de entrenamiento de modo similar. En las condiciones del estudio, el entrenamiento intervalado en condiciones hiperóxicas no produce beneficios adicionales para el rendimiento en comparación con el entrenamiento en condiciones normóxicas. Los estudios futuros deberían evaluar el efecto del entrenamiento con mayores concentraciones de oxígeno inspirado, así como también un mayor tiempo de entrenamiento en condiciones hiperóxicas.

Palabras Clave: hipoxia, entrenamiento intervalado, ciclismo, entrenamiento

INTRODUCCION

Los atletas competitivos están constantemente en la búsqueda de técnicas de entrenamiento para aumentar el rendimiento. Generalmente se ha aceptado que durante el ejercicio al nivel del mar, el sistema pulmonar de individuos normales y sanos es capaz de mantener la saturación de oxígeno arterial en niveles cercanos a los de reposo. Sin embargo, estudios recientes (1-3) demostraron que esto podría no aplicarse a atletas de resistencia altamente entrenados en quienes

el incremento en la capacidad del sistema cardiovascular les permite enfrentar niveles muy altos de demanda metabólica. Estos estudios (1-3) han demostrado que los atletas de rendimiento altamente entrenados experimentan un fenómeno conocido como hipooxemia inducida por el ejercicio (EIH) durante el ejercicio de intensidad máxima o cercana al máximo. Cuando esto se produce, el porcentaje de saturación de la hemoglobina (%SaO₂) baja desde su nivel normal de 97% a niveles por debajo de 92% (2). La resultante disminución en la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre podría ser un factor limitante en el desempeño en el ejercicio de resistencia (4-5). Cuando se inducen condiciones de hipoxia a través de la manipulación de la concentración fraccional de oxígeno inhalado (F_IO₂) durante el ejercicio incremental, tanto el VO₂ max. como la tasa de trabajo se reducen significativamente en comparación con las condiciones normoxicas (5). De modo contrario, cuando los atletas inhalan concentraciones elevadas de oxígeno (F_IO₂ 0.26-0.70) durante ejercicio intenso, se puede revertir la hipoxemia y aumentar la capacidad aeróbica y/o el rendimiento (4, 6-8). Más aún, un incremento en la F_IO₂ durante el ejercicio se traduce en un incremento en la PaO₂ (9, 10). Estas observaciones en conjunto, refuerzan la noción de que las limitaciones en la difusión del oxígeno pulmonar contribuyen con la disminución en el rendimiento observado con la hipoxemia.

Mientras que la reducción en el aporte de oxígeno parecería contribuir a la disminución del VO₂ máx. durante la hipoxia, evidencia muy reciente sugiere que los factores periféricos también tendrían algún papel (11). Mediante el uso de un análisis de regresión múltiple por pasos, Robergs y cols. (11), aportaron evidencia acerca de que la disminución en el VO₂ máx. ante un incremento de la hipoxia no es uniforme en todo los individuos, como había sido previamente sugerido (6, 12). Además los individuos con los mayores valores de VO₂ máx. no necesariamente experimentaron las mayores disminuciones. Robergs et al. (11) demostraron que el hecho de tener un menor umbral del lactato y una mayor masa muscular magra también contribuirían significativamente a la disminución del VO₂ máx. durante la hipoxia. Estos descubrimientos indican que factores metabólicos musculares, posiblemente asociados con la disminución en la difusión muscular del oxígeno, también contribuirían a la disminución del rendimiento durante la hipoxia.

Las aplicaciones prácticas de los descubrimientos mencionados anteriormente fueron de interés para el presente estudio. Específicamente, dados los efectos que tiene sobre el rendimiento una elevada F_IO₂ durante el ejercicio agudo (7, 8), era de interés conocer si se producían algunas adaptaciones de entrenamiento en condiciones similares. El presente estudio fue realizado para determinar cualquier beneficio posible sobre el rendimiento del entrenamiento en condiciones hiperóxicas. Hasta la fecha, ha sido publicado un solo trabajo de este tipo (13). En el mismo, se informaron incrementos significativos en la capacidad de trabajo luego de seis semanas de entrenamiento de ciclismo hiperóxico de alta intensidad. Sin embargo el diseño del estudio no incluyó un grupo control normóxico, por lo que la ganancia en la capacidad de trabajo puede no ser atribuida solamente a la respiración hiperóxica, sino que probablemente a un efecto de entrenamiento del ejercicio en si mismo. Además, el estudio fue realizado en altura, donde se esperaría que un incremento en la F_IO₂ mejore la VO₂ máx. y el rendimiento. Por lo tanto el propósito de este estudio fue determinar, a nivel del mar, los diferentes efectos del entrenamiento intervalado normóxico versus hiperóxico en atletas en el pico de su entrenamiento.

MÉTODOS

Participantes

Dieciocho ciclistas de sexo femenino altamente entrenadas, en el punto máximo de sus programas de entrenamiento personal, fueron seleccionadas de un equipo de carreras femenino, y por contactos con la comunidad de ciclistas. Los criterios para la selección incluían: tener entre 21 y 45 años de edad; entrenamiento frecuente de ciclismo como mínimo de ocho horas por semana; ausencia de enfermedades cardiovasculares determinada mediante el cuestionario PAR-Q (14) y buena voluntad para ser asignada al azar a una condición normóxica o hiperóxica. Las deportistas fueron consultadas para determinar si padecían de algún problema respiratorio durante la realización de ejercicio y de ser así, si utilizaban medicación prescrita para tal problema. Una de las participantes padecía de broncoconstricción inducida por ejercicio (EIB) y utilizaba Ventolin antes de sus salidas. Debido a que indicó que el uso del inhalador prevenía la EIB, se le permitió continuar en el ensayo y fue asignada al azar al grupo control.

Las participantes incluían una ex-triatleta profesional, una ciclista de montaña de clase mundial, tres ciclistas masters clasificadas nacionalmente y una corredora de competencia de 15 años. De las restantes doce participantes, 9 eran ciclistas de competición y fueron seleccionadas en la temporada de competencia máxima. En el transcurso del estudio, dos participantes asignadas al grupo control sufrieron lesiones y fueron separadas del estudio. El tamaño final de la muestra se conformó del siguiente modo; nueve participantes en el grupo control (normoxico) y siete en el grupo tratado (hiperóxico).

Procedimientos

Este estudio fue aprobado por el Comité de Protección de Sujetos Humanos de la Universidad. Las determinaciones de laboratorio fueron realizadas bajo presiones barométricas PB comprendidas entre 750-756 Torr. Las mediciones incluyeron, altura, peso, capacidad aeróbica (VO_2 máx.), umbral del lactato (LT), producción de potencia a una concentración de lactato en sangre de 4 mM (LT4mM), y máxima producción de potencia alcanzada en el VO_2 máx. (PPO). Las evaluaciones de rendimiento consistieron en un test de resistencia muscular hasta la fatiga al 110% de máxima producción de potencia (PPO₁₁₀) de cada participante y un test de tiempo de ascenso en una cuesta de 2,4 km en un recorrido al aire libre conocido por todas las participantes (HC). Todas las pruebas fueron repetidas dentro de los 10 días de concluido el programa de entrenamiento.

Capacidad Aeróbica (VO_2 máx.) y Umbral del Lactato (LT)

La capacidad aeróbica fue evaluada mediante un test de ciclismo incremental en una bicicleta ergométrica frenada eléctricamente (Lode Excaliber, Groningen, The Netherlands). Antes de realizar el ejercicio, se tomó una muestra inicial de sangre mediante punción en el dedo con tubos capilares heparinizados de 50 μl , y la misma fue analizada inmediatamente por duplicado para determinar el contenido de lactato total en sangre mediante el Analizador Deportivo de Lactato YSI (YSI Incorporated, YellowSpring, Ohio). El analizador fue calibrado con soluciones patrones antes de cada test. Las participantes realizaron un calentamiento de 10 a 15 minutos aproximadamente a 75-100 W a su cadencia preferida. A continuación del calentamiento, se elevó la resistencia a 100 W para la primera etapa, que fue de cuatro minutos. A partir de allí, el protocolo consistía en realizar incrementos de 25 W cada tres minutos. Se tomó una muestra de sangre durante los últimos 30 segundos de cada etapa y tres minutos después de que se alcanzara el VO_2 máx. Una vez que la participante alcanzaba la concentración de lactato de 4 mM, se modificó el protocolo a incrementos de 25 W cada un minuto hasta el agotamiento, que fue definido como el momento en el cual la participante no podía continuar pedaleando.

A lo largo de la prueba, las participantes respiraron mediante una máscara facial con una válvula de una vía (Hans Rudolph, Kansas City, Missouri) conectada mediante un tubo de 2" al dispositivo para el análisis de los gases. Los gases espirados fueron recolectados con un dispositivo Vmax 29 (Sensor Medics, Anaheim, Ca). Los analizadores de oxígeno y dióxido de carbono fueron calibrados con gases conocidos antes de cada test. La frecuencia cardíaca fue monitoreada a lo largo de todo el ensayo con un monitor de la frecuencia cardíaca Unique CIC (Polar, CIC, Incorporated, Port Washington, NY). El porcentaje de saturación de la hemoglobina (% SaO₂) se determinó cada tres minutos mediante un oxímetro de pulsado manual Oxysuttle (Sensor Medics, Anaheim, Ca). A lo largo del programa de entrenamiento se midió aleatoriamente el %SaO₂ de las participantes entre 3 y 5 veces durante 15 segundos. Los valores del %SaO₂ en el VO_2 máx. en los dos tiempos (pre y post) de cada participante fueron promediados para determinar el %SaO₂ en el VO_2 máx. La decisión de utilizar el oxímetro de pulsado manual, se basó en datos de Powers et al. (2) que demostraron que este dispositivo era un medio confiable y válido para estimar el % SaO₂ durante el ejercicio a nivel del mar. Se registró el porcentaje de saturación al final de cada etapa del test. La hipoxemia inducida por ejercicio (EIH) se definió como el porcentaje de saturación de hemoglobina (% SaO₂) igual o menor al 91% (2).

Test de Resistencia Muscular hasta Fatiga (PPO₁₁₀)

Luego de 5-10 minutos de descanso, las participantes realizaron un test de fatiga al 110% de su máxima producción de potencia alcanzada durante el pre-test de VO_2 máx. En el post-test se utilizó la misma producción de potencia absoluta. La resistencia fue inicialmente fijada en 100 W mientras que las participantes aumentaban gradualmente la cadencia hasta valores mayores a 110 rpm. En ese punto, el investigador aumentaba rápidamente la carga hasta la resistencia designada y las participantes continuaban pedaleando hasta que la cadencia cayera por debajo de 70 rpm. El cronometraje se inició en el momento en que se alcanzó la resistencia señalada y finalizó en el momento en que la cadencia caía por debajo de 70 rpm. El tiempo que el investigador tardó en aumentar la carga de 100 W al 110% PPO se determinó por separado en 10 ensayos con participantes que no estaban involucrados en el estudio. Los valores de media e intervalo fueron de (2,8 \pm 0,44) s; intervalo: (2,31-3,85). Por lo tanto, se desestimó cualquier diferencia entre el test pre y post de \pm 2 segundos.

Prueba de Tiempo de Ascenso de la Cuesta

La prueba final, realizada en un día diferente, 3 a 7 días luego de las pruebas de laboratorio, fue un ensayo de tiempo de ascenso en una cuesta de 2,4 km en un circuito al aire libre seleccionado por los investigadores y el entrenador del equipo. El sendero que tenía una pendiente de inclinación de 7-8%, era conocido por todas las participantes. Las condiciones ambientales fueron similares en las pruebas pre y post, con una temperatura comprendida en 25-27 °C, humedad relativa de 70-76% con un suave viento a favor (<16 km/h), las participantes comenzaron la subida individualmente en intervalos de un minuto para evitar las corrientes.

Entrenamiento

Luego de las determinaciones iniciales, las participantes fueron asignadas al azar a una de las dos condiciones de

entrenamiento (normoxico e hiperóxico). Las participantes entrenaban en laboratorio bajo condiciones ambientales controladas, a una temperatura comprendida entre 20-23 °C, una vez por semana durante seis semanas. En este estudio, se decidió realizar una sesión de entrenamiento semanal en laboratorio, en vez de dos (o más), dado que la misma sustituía a una de las sesiones de entrenamiento semanal de las ciclistas. Debido a que 15 de las 18 participantes convocadas estaban compitiendo en el momento del estudio, en promedio, una vez por semana, además de participar otro día en el entrenamiento intenso, el entrenador del equipo y los investigadores consideraron que más una sesión de entrenamiento en el laboratorio podría causar fatiga excesiva y decaimiento luego de seis semanas.

Las participantes fueron refrescadas mediante ventiladores durante el entrenamiento. Entre cuatro y 5 participantes (2 hiperoxicas, 2-3 normóxicas) entrenaron simultáneamente en cada sesión de entrenamiento con sus propias bicicletas colocadas en un dispositivo tipo wind trainer. Las sesiones de entrenamiento fueron dirigidas por el entrenador del equipo. El protocolo consistía en ocho intervalos de dos minutos de máxima intensidad seguidos por un intervalo de recuperación de cuatro minutos (relación trabajo/recuperación de 1/2). Durante la sesión de intervalos, las participantes respiraban por medio de una máscara de Hans Rudolph conectada a tanques de oxígeno (40-45% de O₂) o a aire de la habitación, dependiendo de la condición de entrenamiento. El gas inspirado de los tanques de oxígeno no estaba humedecido. El tubo oxígeno se abría cinco segundos antes de cada intervalo y se cerraba al final del intervalo. El porcentaje de SaO₂ fue determinado mediante el oxímetro manual de pulso una o dos veces en cada participante durante cada una de las sesiones de entrenamiento.

Análisis Estadísticos

Fue utilizado un ANOVA 2 (grupo) x 2 (tiempo) para mediciones repetidas para determinar las 6 variables dependientes. Se empleó un test t independiente para determinar las diferencias en el %SaO₂ entre los grupos para las pruebas de entrenamiento y en los tests máximos. El nivel de significancia se fijó en p<0,05.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran las características físicas de las participantes. No se observaron en un principio diferencias entre los grupos.

	Normoxico (N=9)	Hiperoxico (N=7)
Altura(cm)	166,52±5,15	166,19± 3,89
Peso(kg)	55,25± 3,69	56,67± 5,26
Edad (años)	34,89± 5,06	34,71± 8,30

Tabla 1. Características físicas de los sujetos. * Los datos son expresados como valores medios±DS.

La Tabla 2 muestra las pruebas fisiológicas y de rendimiento de los grupos normóxico e hiperóxico en los dos tiempos de entrenamiento (pre y post).

	Normoxico	Normoxico	Hiperoxico	Hiperoxico
	Pre	Post	Pre	Post
VO₂ máx. (l.min⁻¹)	3,14± 0,14	3,22 ± 0,42	3,22 ± -0,39	3,18 ± -,19
PO LT (Watts)	150 ± 43,30	164 ± 57,71	161 ± 28,35	164 ± 24,40
PO a 4mM LT (W)	173 ± 51,86	192 ± 53,01	186 ± 27,22	186 ± 23,46
PPO (W)	283 ± 27,95	306 ± 37,03	296 ± 22,49	296 ± 10,21
PPO₁₁₀% (s)	80,22 ± 19,83	100,64 ± 26,21	59,95 ± 11,67	75,18 ± 18,49
Tiempo de ascenso en la cuesta (min)	6,88 ± 0,65	6,66 ± 0,51	6,50 ± 0,52	6,68 ± 0,62

Tabla 2. Datos fisiológicos y de rendimiento. Los datos son expresados como valores medios±DS.

Los resultados del ANOVA 2 x 2 para la prueba de VO₂ máx. revelaron un efecto de grupo no significativo (F1,13=0.03; p>0.05), un efecto de tiempo no significativo (F1,13=1.64; p>0.05), y no se observó una interacción significativa (F1,13=0.03; p>0.05).

No se observó un efecto significativo de grupo para la producción de potencia (PO) en umbral del lactato (LT), (F1,14=0.08; p>0.05), ni de tiempo (F1,14=3.80; p=0.07), y tampoco se observó interacción significativa (F1,14=1.33; p>0.05).

En la determinación de PO en 4 mM de lactato en sangre no se observó efecto significativo de grupo (F1,14=0.03; p>0.05), ni de tiempo (F1,14=2.73; p>0.05), y tampoco una interacción significativa (F1,14=2.50; p>0.05).

La producción de potencia máxima (PPO) no presentó un efecto significativo de grupo (F1,13=0.00; p>0.05), si presentó un efecto significativo de tiempo (F1,13=6.75; p<0.05), y no fue significativa la interacción (F1,13=3.16; p> 0.05).

En las dos pruebas de rendimiento (PPO₁₁₀ y HC) no se observó efecto significativo de grupo (F1,13=4.63, p>0.05; F1,12=0.16, p>0.05), si se observó un efecto significativo de tiempo para PPO₁₁₀ (F1,13=19.39, p<0.05), mientras que no fue significativo el efecto de tiempo para HC (F1,12=0.62, p>0.05). En ninguna de las pruebas se observó una interacción significativa (F1,13=0.90, p>0.05; F1,12=2.13; p>0.05) .

En la Tabla 3 se muestran las medias y desviación estándar del %SaO₂ en el VO₂max y del %SaO₂ durante el entrenamiento.

	Normoxico	Hiperoxico
SaO₂ (%) en el VO₂ máx.	90,8±3,46	93,1±2,39
Participantes que presentaron EIH en el VO₂ máx. (%)	44,4	28,6
SaO₂ (%) durante el entrenamiento	89,7±3,9	98,9±0,8
Participantes que presentaron EIH durante el entrenamiento (%)	55,6	0,0

Tabla 3. Porcentajes de SaO₂ en el VO₂ máx. y durante el entrenamiento y proporción de participantes que presentaron EIH en el VO₂ máx. y durante el entrenamiento. Se define EIH como el %SaO₂ igual o menor a 91%. SaO₂(%) en el VO₂ máx. representa el promedio de %SaO₂ de las pruebas de VO₂ máx. pre y post para cada participante. El valor del SaO₂(%) en el entrenamiento es el promedio de 3-5 lecturas de 15 s determinadas con el oxímetro para cada participante.

No se observaron diferencias de grupo en %SaO₂ en el VO₂ máx., para ninguno de los tiempos de entrenamiento (pre o post). El %SaO₂ fue significativamente menor en el grupo normóxico que en el hiperóxico durante el entrenamiento (F1, 15=12.32; p<0.05).

DISCUSION

Este estudio brinda datos adicionales que revelan que aproximadamente un 50% de los atletas de resistencia altamente entrenados, ya sean mujeres o varones, experimentan hipoxemia inducida por el ejercicio (EIH) a nivel del mar durante el ejercicio de intensidad máxima o casi máxima (1-3). La mitad de las participantes en el grupo control desaturaron durante el entrenamiento, mientras que el 38 % (6 de 16) del total de la muestra experimentaron EIH en el VO₂max. Dado que el rendimiento de resistencia se reduce bajo condiciones de hipoxia (5) y que el rendimiento del ejercicio agudo aumenta mediante el incremento en la concentración fraccionada de oxígeno en el aire inspirado (8), planteamos la hipótesis acerca de que el entrenamiento en condiciones hiperóxicas provocaría mayores adaptaciones que las alcanzadas mediante entrenamiento bajo condiciones normóxicas.

Los resultados del presente estudio, no apoyaron nuestra hipótesis. Los marcadores fisiológicos del rendimiento de resistencia no mejoraron en los participantes que respiraron concentraciones elevadas de oxígeno (40-45 %) durante el

programa de entrenamiento intervalado de seis semanas. Estos resultados se contradicen con los encontrados por Chick et al. (13), quienes encontraron incrementos significativos en la capacidad de trabajo luego de seis semanas de entrenamiento hiperóxico empleando 70 % de oxígeno. Muchos factores pueden ser los responsables de la contradicción en los resultados. En primer término, el estudio de Chick et al. (13) no incluyó a un grupo control normóxico. Esta falla en el diseño, hace difícil la interpretación de sus resultados. Las adaptaciones encontradas, podrían no deberse a la condición hiperóxica por si misma, si no que a un efecto global del entrenamiento. Segundo, el estudio de Chick et al. (13) fue realizado en altitud moderada, la cual podría haber inducido EIH a una menor intensidad de ejercicio, incrementando así la probabilidad de que los participantes se beneficien al entrenar con oxígeno suplementario.

Otra consideración fue que la concentración de oxígeno utilizada en el presente estudio fue considerablemente menor que la utilizada previamente en el estudio de Chick et al. (13), de este modo no queda claro si es que una mayor concentración de oxígeno provocaría diferentes resultados en nuestro estudio. Aún cuando se conoce que solo un pequeño incremento en la $F_{I}O_2$ revertiría el EIH en atletas en ejercicio, el tiempo de rendimiento al 110% de la capacidad de trabajo máxima alcanzado durante un test de VO_2 máx. se incrementó a medida que se incrementaba la concentración de oxígeno, indicando así una respuesta asociada a la dosis (8). El mecanismo propuesto para esta mejora asociada a la dosis se basó en el descubrimiento de que la ventilación pulmonar disminuye a medida que aumenta $F_{I}O_2$, disminuyendo así el costo energético de la respiración. Esto resultaría en una mejor eficiencia de ventilación a un dado VO_2 . Esta mayor eficiencia permitiría al individuo realizar mas trabajo a medida que se incrementa la $F_{I}O_2$, independientemente del efecto sobre el $\%SaO_2$. Esto sugiere que factores no relacionados a la reducción de EIH tendrían un rol en el incremento del rendimiento mediante la respiración de una mezcla de gas hiperóxica (8).

Si bien hasta la fecha la mayoría de las investigaciones relacionadas al rendimiento bajo condiciones hipoxicas e hiperóxicas indican que los mecanismos pulmonares poseen un rol importante en la determinación de la liberación del oxígeno a los músculos en contracción, nuevas investigaciones proporcionan evidencia acerca de la difusión de oxígeno en el músculo esquelético también puede ser importante (11). El interesante descubrimiento de que el umbral de lactato y la cantidad absoluta de masa muscular magra contribuyen a la disminución en la VO_2 máx. durante la hipoxia justifica investigaciones adicionales, tanto en condiciones de hipoxia como hiperoxia.

Un factor a considerar para explicar la falta de efectos en el entrenamiento hiperoxico en el presente estudio, fue el volumen de entrenamiento en estas condiciones. Si bien el protocolo de entrenamiento fue altamente efectivo en inducir cambios positivos en varias variables, el tiempo real que las participantes estuvieron respirando mayores concentraciones de oxígeno fue solamente de 16 minutos (8 intervalos de 2 minutos cada uno) por semana. Tal vez un estímulo más frecuente en condiciones hiperoxicas pueda conducir a resultados diferentes. Esto debería ser mejor estudiado. Una consideración importante fue que solo el 29% (2 de 7) del grupo tratado realmente desaturó durante las pruebas de VO_2 máx., en comparación con un 44% (4 de 9) del grupo control. En el grupo control, aquellas participantes que desaturaron durante la prueba de VO_2 máx. también desaturaron durante el entrenamiento ($SaO_2 < 90\%$). Solo una de las restantes 5 participantes del grupo control, que estuvo justo arriba del límite de corte en el VO_2 máx. ($SaO_2 92\%$), desaturó durante el entrenamiento. Estos resultados indican que los sujetos que presentan hipoxemia inducida por el ejercicio (EIH) en el VO_2 máx., probablemente experimenten lo mismo durante el entrenamiento intervalado de alta intensidad, mientras que aquellos que no experimenten EIH en el VO_2 máx. tampoco lo harán durante el entrenamiento. Conociendo esto, el hecho de que solo dos participantes del grupo hiperóxico, experimentaran EIH durante el ejercicio máximo podría haberlas excluido del beneficio del entrenamiento hiperóxico si presentaba hipoxia al comenzar.

En conclusión, los resultados de este estudio indican que el entrenamiento intervalado de alta intensidad realizado una vez a la semana durante seis semanas puede inducir ganancias significativas en las mediciones fisiológicas del rendimiento de resistencia. Si bien no se observaron beneficios de rendimiento a partir del entrenamiento hiperóxico es necesario continuar los estudios en éste aspecto. Una recomendación es estudiar mediante entrenamiento en condiciones normóxicas e hiperóxicas solo a aquellos individuos que experimentan EIH durante el ejercicio de intensidad máxima o casi máxima. Estudios posteriores deberían manejar el volumen total de entrenamiento en condiciones hiperóxicas con el objetivo de estudiar los potenciales beneficios sobre el rendimiento del entrenamiento hiperóxico.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Jeanne F. Nichols, Ph.D., Department of Exercise & Nutritional Sciences, Mail Code 7251, San Diego, CA 92182-0171, teléfono: 619-594-1926, fax: 594-6553.

REFERENCIAS

1. Phares, S., J.F. Nichols and M.J. Buono (1996). Oxygen desaturation at VO₂max in highly trained female master athletes. *Proceedings of the Southwest Regional American College of Sports Medicine Annual Meeting*
2. Powers SK, Dodd S, Lawler J, Landry G, Kirtley M, McKnight T, et al (1988). Incidence of exercise induced hypoxemia in elite endurance athletes at sea level. *Eur J Appl Physiol* 58:298-302
3. Williams JH, Powers SK, Stuart MK (1986). Hemoglobin desaturation in highly trained athletes during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc* 19:168-172
4. Ekblom B, Huot R, Stein EM, Thorstensson AT (1975). Effect of changes in arterial oxygen content on circulation and physical performance. *J Appl Physiol* 39(1): 71-75
5. Hughson RL, Kowalchuk JM (1995). Kinetics of oxygen uptake for submaximal exercise in hyperoxia, normoxia, and hypoxemia. *Can J Appl Physiol* 20(2):198-210
6. Powers SK, Lawler J, Dempsey JA, Dodd S, Landry G (1990). Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO₂max. *J Appl Physiol* 66(6):2491-2495
7. Adams RP, Welch HG (1980). Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fractions. *J Appl Physiol* 49(5): 863-868
8. Wilson GD, Welch HG (1975). Effects of hyperoxic gas mixtures on exercise tolerance in man. *Med Sci Sports Exerc* 7:48-52
9. Dempsey JA, Hanson PG, Henderson KS (1984). Exercise-induced arterial hypoxemia in healthy human subjects at sea level. *J Physiol* 355:161-175
10. Powers SK, Martin D, Cicale M, Collop N, Huang D, Criswell D (1992). Exercise-induced hypoxemia in athletes; role of inadequate hyperventilation. *Eur J Appl Physiol* 65:37-42
11. Robergs RA, Quintana R, Parker DL, Frankel CC (1998). Multiple variables explain the variability in the decrement in VO₂max during acute hypobaric hypoxia. *Med Sci Sports Exerc* 30(6):869-879
12. Buskirk ER, Kollias J, Akers RF, Prolop EK, Reategui EP (1967). Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners. *J Appl Physiol* 23:259-266
13. Chick TW, Stark DM, Murata GH (1993). Hyperoxic training increases work capacity after maximal training at moderated altitude. *Chest* 104(6):1759-1762
14. Thomas S, Reading J, RJ Shephard (1992). Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci* 17:338-345

Cita Original

Nichols Jeanne F., David W. Douglass, Michael J. Buono, Shay Mckelvey, and Simon Marshall. Endurance performance effects of hyperoxic vs. normoxic breathing during interval training in female cyclists. *JEPonline*; 2 (1), 1999