PubliCE, (PubliCE) 2000

Research

Efectos del Entrenamiento mientras se respira Aire Enriquecido con Oxígeno sobre el Tiempo hasta el Agotamiento y la Capacidad Aeróbica

Jeffrey W Armstrong[1], Dean E Jacks[1], James Sowash[1] y Frederick F Andres[1]

[1]*Department of Health Promotion and Human Performance, Exercise Physiology Laboratory, University of Toledo, Toledo, OH 43606.*

RESUMEN

Setenta y siete sujetos moderadamente entrenados (21 ±4 años, 176.81 ±12.84 cm; y 74.04 kg ±12.31 kg, media ±DS) completaron una prueba de familiarización, una evaluación gradual en cicloergómetro (VO_2 pico), y una evaluación de tiempo hasta el agotamiento en cicloergómetro a una intensidad de ~ 80% del VO_2 pico (TTE). Los sujetos fueron posteriormente agrupados y asignados al azar (simple ciego) a entrenar por 40 min, 3 días/ semana mientras respiraban el aire de una habitación o aire con una concentración de ~80% de O_2. Se le pidió a cada sujeto que pedaleara en el cicloergómetro tan rápido como sea posible a una resistencia estimada del 60% del VO_2 pico a 75 rpm permaneciendo con una frecuencia cardiaca de entre el 70-90% del máximo predicho para la edad. La carga de trabajo fue incrementada en 0.25 kp al comienzo de las semanas 2, 4, y 5. Después del entrenamiento fueron repetidas las evaluaciones del VO_2 pico y TTE. Las mediciones repetidas del doble MANOVA revelaron una mejora significativa en el VO_2 pico y TTE (3.20 ±0.88 L/min a 3.55 ±0.80 L/min y 899.46 ±506.49 s a 2925 ±2044.76 s), respectivamente, (P =0.02) y no hubo diferencias significativas entre tratamientos a lo largo del tiempo para la combinación de VO_2 pico y TTE (P =0.662). Las diferencias entre grupos en el test-t de Student en la producción total de trabajo no fue significativa (P =0.328). Así, el entrenamiento de ciclismo con aire enriquecido con oxígeno no incrementó significativamente el rendimiento en resistencia y la función muscular con respecto a los sujetos moderadamente entrenados que respiraron aire de una habitación a nivel del mar.

Palabras Clave: cicloergómetro, ayudas ergogénicas, ejercicio, resistencia, hiperoxia, rendimiento

INTRODUCCIÓN

Los beneficios fisiológicos de respirar aire enriquecido con oxígeno durante una serie aguda de ejercicio están bien documentados (3, 12, 15). Recientemente, Knight et al. (2) y Moore et al. (3) propusieron el uso de oxígeno suplementario durante el entrenamiento diario para mejorar las condiciones físicas de pacientes con falla cardiaca crónica (CHF). Se ha hipotetizado que el oxígeno suplementario permite a los pacientes ejercitarse con una reducción de los síntomas, mejorando por ello la conformidad ya que la actividad deja de ser intolerable. Además el oxígeno permite a los pacientes entrenar vigorosamente, y por ello incrementar la función metabólica de los músculos esqueléticos. La mejora de la función del músculo esquelético requiere ejercitarse a una mayor intensidad y por una mayor duración de tiempo de lo que

sería posible sin el uso de oxígeno suplementario.

El rendimiento en resistencia puede estar limitado por la habilidad de mantener un alto porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre. En estudios acerca de la hipoxemia inducida por el ejercicio, Babcock et al. (13), Dempsey et al. (14) y Moore et al. (3) encontraron que la hiperoxia media disminuyó la severidad de la hipoxemia. Puede esperarse, por ello, que ejercitarse con una mayor concentración de oxígeno que la normal permite al individuo entrenar a una intensidad más alta que la habitual, proveyendo una condición potencial para el incremento de las adaptaciones al entrenamiento o la mejora del rendimiento.

El oxígeno suplementario puede tener efectos potenciales benéficos en atletas que entrenan en la altura. Chick et al. (16) observaron un incremento en el tiempo de ciclismo (P =0.015) y un incremento en el tiempo de resistencia al 85% de la máxima carga de trabajo (P =0.012) luego de seis semanas de entrenamiento con oxígeno suplementario (>70%) en sujetos entrenados a una altitud de 1600 m. A la inversa, Favier et al. (17) concluyeron que, en nativos de zonas de gran altura, incrementar la disponibilidad de oxígeno hasta niveles normóxicos mientras entrenan en la altitud, no posee ventajas sobre el entrenamiento a nivel del mar.

Para citar, se han conducido pocos estudios a altitudes bajas para determinar si el oxígeno suplementario puede ser usado durante el entrenamiento para incrementar el rendimiento en resistencia mediante la mejora de la función muscular. Kleiner y Zinder (5) observaron una afectación ergogénica de la hiperoxia que parece ayudar solo en los aspectos aeróbicos de los ejercicios de resistencia. Moore et al. (3) reportaron mejoras en el rendimiento durante el ejercicio y una respuesta ventilatoria disminuida en pacientes con falla cardiaca crónica durante el ejercicio aeróbico submáximo mientras respiran aire enriquecido con oxígeno. También fueron reportados incrementos significativos para la saturación de oxígeno de la sangre arterial y el gasto cardiaco, con una disminución significativa de la ventilación minuto. Además, los pacientes reportaron menos fatiga y sintieron que realizaban un menor trabajo respiratorio. Knight el al. (2) observaron una tendencia hacia la mejora del consumo de oxígeno (VO_2 máx.) después de 10 semanas de entrenamiento tres veces por semana al 70-90% de la frecuencia cardiaca máxima por 40 min en un cicloergómetro estacionario mientras respiraban 60% de oxígeno. Ploutz-Synder y cols. (4) entrenaron a 19 sujetos varones 5 días/semana en un cicloergómetro al 70% de la frecuencia cardiaca máxima, mientras respiraban aire enriquecido con 70% de oxígeno o aire normóxico de una habitación. A lo largo del periodo de entrenamiento, se reportó que el grupo hiperóxico entrenó a una intensidad 20 W mayor que el grupo normoxico, sin embargo, las mejoras en el VO_2 máx. para el grupo hiperóxico no difirieron significativamente a las del grupo normóxico. Además, las concentraciones máximas de lactato, la frecuencia cardiaca máxima, el volumen minuto cardiaco, y el gasto cardiaco permanecieron sin cambios en ambos grupos. Se reportaron incrementos significativos en el porcentaje de fibras musculares de tipo IIa, sin diferencias significativas entre grupos. El grupo hiperóxico, sin embargo, retuvo un mayor porcentaje de fibras tipo IIb. Ploutz et al. (4) tampoco reportaron cambios en la creatín-quinasa, fosfofructoquinasa, gliceraldehido-fosfato dehidrogenasa; de otro modo reportaron incrementos en la citocromo-oxidasa y citrato-sintetasa para ambos grupos; e incrementos en la actividad de la 3-hidroxiacil-coenzima A dehidrogenesa en el grupo normóxico, pero no el grupo hiperóxico. Estos investigadores sugirieron que hubo diferencias intramusculares entre el entrenamiento normóxico e hiperóxico, y que el músculo utiliza oxígeno adicional, si está disponible.

La efectividad de respirar aire enriquecido con oxígeno puede ser dependiente de la concentración de oxígeno. Todavía no hay consenso de la fracción óptima de oxígeno a ser utilizada (2, 4, 5, 7, 18, 19, 20). Una explicación para las discrepancias puede ser las diferentes intensidades de ejercicio utilizadas en los estudios (12, 20). Entre los estudios de entrenamiento con aire enriquecido con oxígeno, Knight et al. (2) observaron una tendencia hacia el incremento del máximo consumo de oxígeno, usando una concentración de oxígeno del 60%. Ploutz-Synder et al. (4) no encontraron diferencias significativas en las mejoras del máximo consumo de oxígeno entre el entrenamiento con 70% de O_2 y el aire normóxico de una habitación. La concentración de O_2 usada en estos estudios con entrenamiento, sin embargo, pudo no haber sido suficiente para incrementar significativamente la capacidad de ejercicio. No existen estudios publicados en los cuales los investigadores examinaran los efectos del entrenamiento, mientras se respiran concentraciones de oxígeno mayores al 70%. En el presente estudio fue propuesto que una concentración del 80% de O_2 podría incrementar la intensidad del entrenamiento y ser suficiente para observar un efecto sobre el máximo consumo de oxígeno y el tiempo hasta el agotamiento.

MÉTODOS

Sujetos

Dieciocho sujetos (12 hombres y 6 mujeres) fueron reclutados de la población estudiantil en la Universidad de Toledo y de

la comunidad aledaña mediante la comunicación boca a boca y pasa calles colocados en el campus. Una mujer, sin embargo, tuvo que dejar el estudio durante la evaluación posterior al entrenamiento debido a una enfermedad. Los sujetos eran aparentemente saludables y libres de contraindicaciones para ejercitarse como fue determinado por un reporte personal de la historia clínica realizado por los sujetos. Todos los sujetos eran regularmente activos, y se habían ejercitado en resistencia como mínimo 3 veces por semana, durante los 6 meses anteriores al estudio. Basados en la edad, sexo, talla, peso, datos de entrenamiento previo, y el nivel de actividad reportado, los sujetos fueron asignados a recibir entrenamiento hiperóxico (HT, n =9) o entrenamiento normóxico (NT, n =8). Se obtuvo informe de consentimiento de los sujetos antes de la participación en el estudio y todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Revisión de Sujetos Humanos de la Universidad de Toledo.

Evaluaciones de Ejercicio

Los sujetos se reportaron al laboratorio de fisiología del ejercicio en tres días diferentes para una prueba de familiarización y evaluaciones preliminares. El primer día incluyó una prueba de familiarización durante la cual a cada sujeto se le adaptó la altura del asiento y los sujetos completaron una serie de 13 a 15 minutos de ejercicio en un cicloergómetro (818E, Monark, Stockhol, Sweden). La prueba de familiarización fue diseñada para permitir a los sujetos acostumbrarse al ergómetro y a respirar a través de una boquilla y un sujetador nasal durante el ejercicio. Durante el segundo día los sujetos realizaron una evaluación con un ejercicio gradual en el cicloergómetro para determinar el pico del consumo de oxígeno (VO_2 pico). Durante esta evaluación, los sujetos pedalearon a 75 rpm y el trabajo fue progresivamente incrementado hasta que no se toleró más incremento en la carga de trabajo. Las etapas I-III fueron de 3 minutos de duración a 1, 2, y 3 kp. Las etapas IV-VI fueron de 2 min de duración y dependientes del peso corporal. A los sujetos que pesaban más de 70 kg se les incrementó la carga en un 1 kp, y a los sujetos que pesaban menos de o igual a 70 kg se les incrementó la carga en 0.5 kP. Los gases expirados fueron analizados para O_2 usando un analizador de oxígeno S-3A y para dióxido de carbono utilizando un analizador de dióxido de carbono CD-3A (Ametek, Thermomax Instruments Divino, Pittsburg, PA). Las mediciones del consumo de oxígeno fueron realizadas usando un circuito espirométrico abierto (Rayfield Equipment, VT), y el VO_2 pico fue determinado como el promedio de los dos puntos más altos de los datos de 15 segundos. En el tercer día los sujetos completaron una evaluación hasta el agotamiento (TTE). Se les pidió a los sujetos pedalear en el cicloergómetro a una carga de trabajo aproximada del 80% del VO_2 pico hasta que no pudieran mantener una cadencia de pedaleo de ~75 rpm. Todas las evaluaciones fueron realizadas mientras se respiraba aire normóxico de la habitación. Después del entrenamiento, el VO_2 pico y TTE fueron repetidos bajo las mismas condiciones a las evaluaciones previas al entrenamiento.

Protocolo de Entrenamiento

Después de completar las evaluaciones preliminares, los sujetos fueron agrupados de acuerdo a los datos previos al entrenamiento y asignados al azar a 5 semanas de ciclismo mientras se respiraba aire normóxico de una habitación (NT) o a 5 semanas de ciclismo mientras se respira aire con una concentración de 80% de oxígeno (HT). El entrenamiento fue conducido 3 días/semana. Cada sujeto usó una mascara o una pieza bucal durante la administración de la mezcla de gases apropiada, como será descrito posteriormente. La frecuencia cardiaca se monitoreo constantemente durante el entrenamiento utilizando telemetría (Polar Electro, Port Washington, NY). Se les pidió a los sujetos que pedaleen en el cicloergómetro a una carga de trabajo anteriormente predeterminada por 40 min, manteniendo una cadencia de pedaleo que fuera tan rápida como sea posible para los 40 min, y permaneciendo entre el 70-90% de la frecuencia cardiaca máxima predicha para la edad. Durante la primera semana de entrenamiento, esta carga de trabajo fue la resistencia estimada para obtener una producción de trabajo del 60 % del VO_2 pico si se pedaleaba a una cadencia de 75 rpm. La carga de trabajo fue incrementada en 0.25 kp al comienzo de las semanas 2, 4 y 5. Después de 20 minutos de entrenamiento, se les permitía a los sujetos sacarse la mascara o la pieza bucal por 3 min, y la cadencia de pedaleo era reducida mientras se les permitía a los sujetos beber agua. Después de este periodo de descanso, la máscara o la pieza bucal era reposicionada y el ejercicio fue reanudado por 20 minutos adicionales. A lo largo del entrenamiento se les permitió a los sujetos mirar videos comerciales o escuchar la radio. Los ergómetros fueron calibrados periódicamente y se analizaron muestras de las mezclas de los gases de inspiración para mantener una concentración de oxígeno consistente.

El sistema utilizado para administrar gas a ambos grupos es descrito esquemáticamente en la Figura 1. El gas de inspiración hiperóxico fue mezclado en tanques de compresión al 100% de O_2 y 100% de N_2, por un mezclador Aire-Oxígeno (Bird Product Corporation #03800A) y paso a través de un nebulizador para humidificar el gas y dentro de una serie de seis bolsas de Douglas. El gas de las bolsas de reservas fue alimentado por dos mangas dentro de una tubería de PVC regulada por una válvula de tres vías. Estas válvulas permitan que el gas que fluye se cambiado entre aire de la habitación por el aire hiperóxico y viceversa, sin el conocimiento de los sujetos. Esto también permitió el entrenamiento de más de tres sujetos simultáneamente. Este sistema permitió que las muestras de gas hiperóxico sean tomadas desde el nebulizador o de cualquier salida de flujo disponible. A través de análisis periódicos del aire mezclado, se encontró que la concentración de gas mezclado tuvo un 82.49% ±3.52% de O_2.

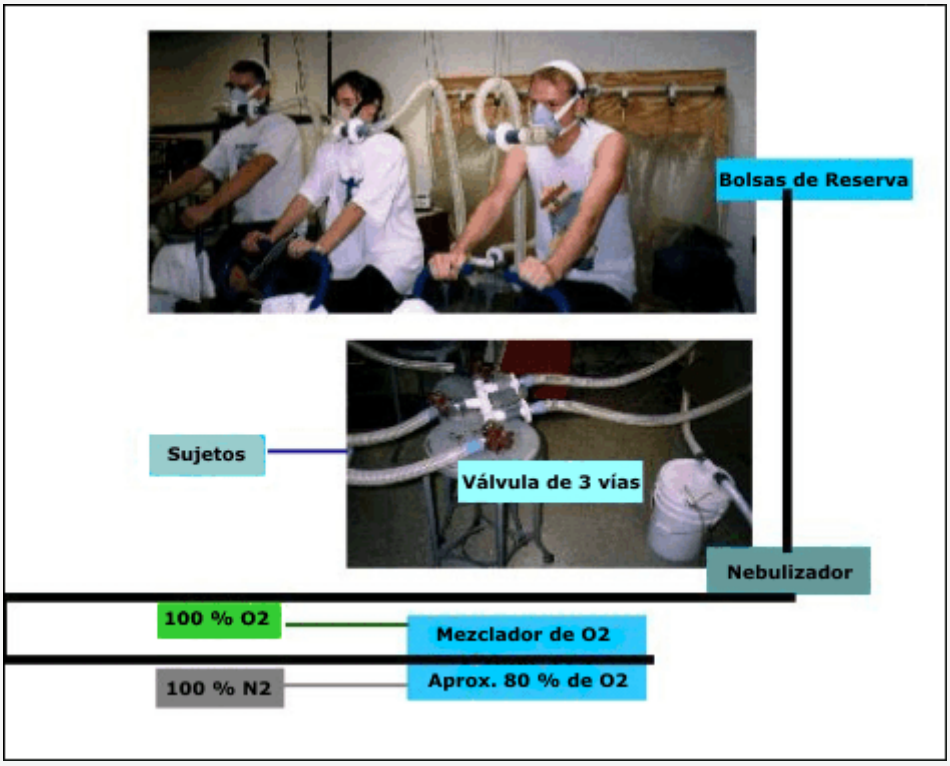


***Figura 1**. Sistema usado para administrar el gas a ambos grupos.*

Análisis de los Datos

En todos los análisis estadísticos se usó el paquete estadístico SPSS 7.5 para Windows. Se utilizaron mediciones repetidas de doble MANOVA para determinar si hubo efectos significativos para el tiempo y para el tratamiento por tiempo para la combinación lineal de las variables dependientes (VO_2 pico y TTE). Los datos son reportados como medias ±DS y se usó el test-t de Student para comparar las diferencias iniciales de edad, talla, peso, VO_2 pico y TTE, y diferencias de grupo para la producción de trabajo (WO) y el promedio de la producción de trabajo diario para cada semana de entrenamiento. Además, fueron calculados el tamaño de efecto y la potencia. Para todos los análisis la significancia fue aceptada a un nivel de alfa de 0.05.

RESULTADOS

Datos Pre-Entrenamiento

La edad, talla, y peso de los participantes fueron 21 ±4 años, 176.81±12.84 cm, y 74.04±12.31 kg, respectivamente. Los dos grupos de tratamiento fueron agrupados con éxito. Aunque NT fue levemente superior que HT para la media del VO_2 pico (3.44 L/min vs. 2.98 L/min) y TTE (1075.65 s vs 742.84 s), los grupos no difirieron para edad, talla, peso, VO_2 pico, y TTE al inicio del entrenamiento (P=0.683, 0.892, 0.837, 0.288, y 0.184, respectivamente). No hubo diferencias significativas entre grupos en edad, talla, peso, y las evaluaciones anteriores al entrenamiento usando el test-t de Student (Tabla 1).

Grupo	Talla (cm)	Peso (kg)	Edad (años)
NT (n =8)	177.28 ±11.20	74.73 ±13.08	21.75 ±4.95
HT (n =9)	176.39 ±14.82	73.44 ±12.35	21.00 ±2.12

Tabla 1. *Características físicas de los sujetos (medias ±DS).*

Producción de Trabajo Durante el Entrenamiento

En la Figura 2 es provisto un gráfico de las medias de los grupos para el promedio de la producción potencia de entrenamiento diaria en cada semana de entrenamiento. Aunque el promedio diario de producción de potencia para (NT) fue ligeramente mayor que el de HT, excepto para la Semana 2, no hubo diferencias significativas entre grupos para cada semana.

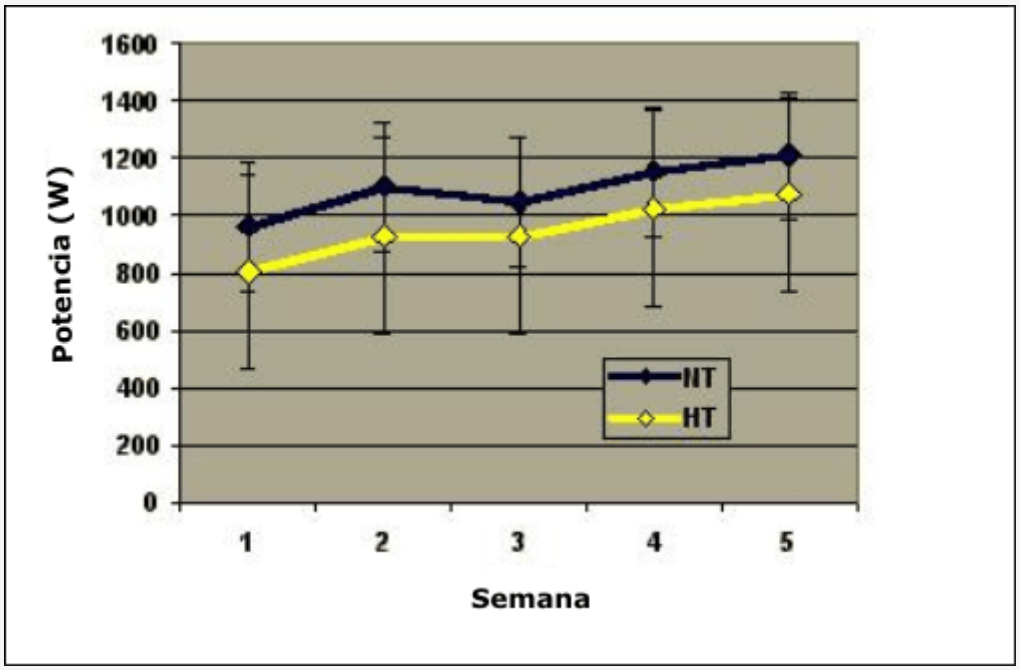


Figura 2. *Gráfico de las medias de los grupos para el promedio diario de producción de trabajo durante 5 semanas de entrenamiento mientras se respiraba aire de habitación (NT) o una mezcla de gas hiperóxico (HT) [* P <0.05].*

VO_2 pico y TTE

Los datos del VO_2 pico y TTE anteriores y posteriores al entrenamiento para ambos grupos son presentados en la Figura 3 y 4. Mas allá de la corta duración, el periodo de entrenamiento fue suficiente para obtener una mejoría significativa en el VO_2 pico y TTE (P = 0.002). El VO_2 pico se incrementó 7.3% y 14.6% para NT y HT, respectivamente, y el TTE se incrementó 156.4% y 313.8% para NT y HT, respectivamente. Sin embargo, estos incrementos para VO_2 pico y TTE no fueron significativamente diferentes.

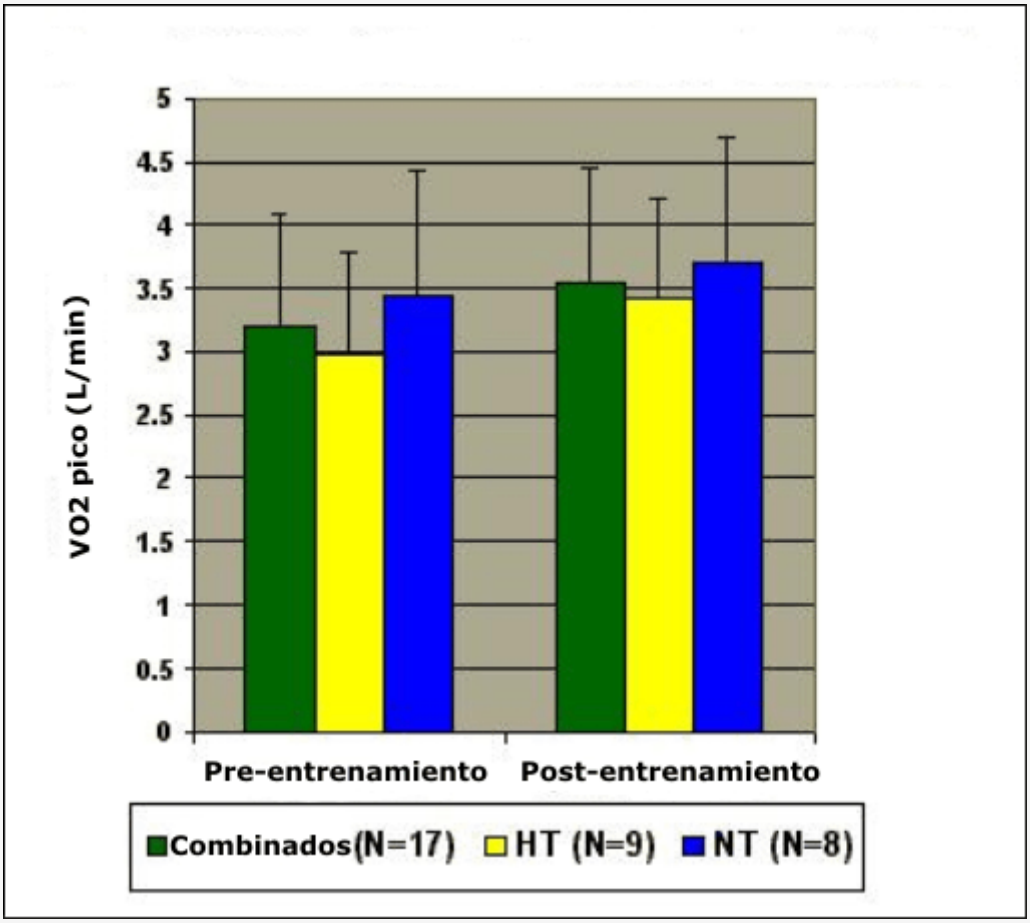


Figura 3. *VO_2 pico (media ±DS), desde la condición pre a post-entrenamiento.*

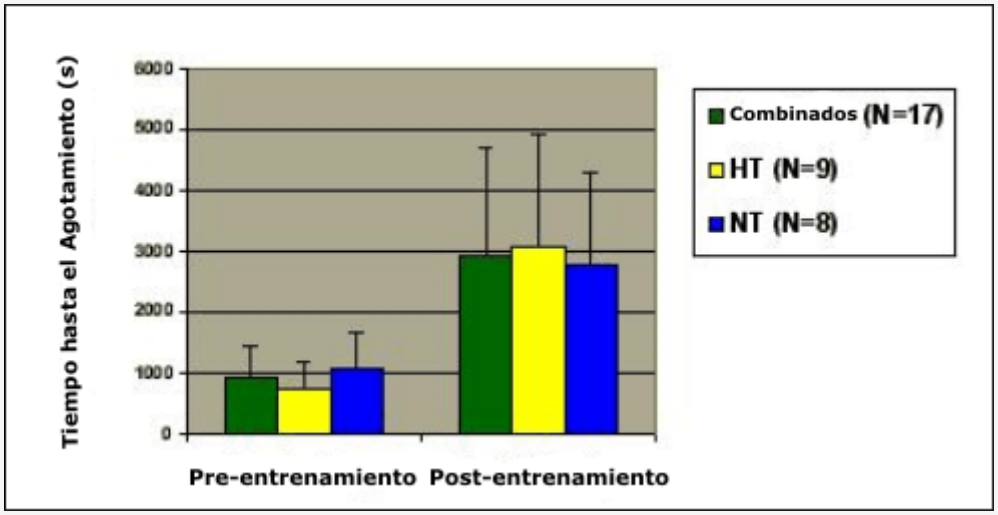


Figura 4. *Tiempo hasta el agotamiento (media ±DS), desde la condición pre a post-entrenamiento.*

Potencia Estadística

El tamaño de efecto para el tratamiento y el efecto tiempo por tratamiento (0.054 y 0.057, respectivamente) fueron muy pequeños y consecuentemente la potencia observado en este estudio fue bastante baja (0.10 y 0.11, para VO_2 pico y TTE,

respectivamente). Para alcanzar una potencia aceptable de 0.8, deberíamos haber detectado una diferencia media de 1.29 L/min y 1305 s para el VO_2 pico y TTE, respectivamente. Además para alcanzar diferencias fisiológicamente significativas de 250 mL/min y 250 s para el VO_2 pico y TTE, respectivamente, el número de sujetos requeridos podría haber sido mayor a 200 por grupo. Claramente, las pequeñas mejoras vistas con el entrenamiento hiperóxico comparadas con el entrenamiento normóxico, usando nuestra metodología, requiere un mayor número de sujetos para alcanzar un potencial efecto de significancia estadística. Este es un requerimiento irreal de investigación en sujetos humanos. No obstante, en base a la pobre potencia estadística, nuestros hallazgos no significativos necesitan ser interpretados con precaución.

DISCUSIÓN

El presente estudio fue iniciado para comprobar si los efectos agudos del ejercicio, mientras se respira aire enriquecido con oxígeno (~80%), pueden permitir entrenar a una mayor intensidad y, así, incrementar el rendimiento después del entrenamiento. Si la intensidad del entrenamiento es el factor más importante en la mejora del rendimiento, como Mujika et al. (1) han indicado, entonces uno puede hipotetizar que entrenar mientras se respira aire enriquecido con oxígeno puede incrementar el rendimiento. Estos datos fallaron en avalar cualquier efecto beneficioso del entrenamiento hiperóxico al nivel del mar. No obstante, los sujetos que entrenaron mientras respiraban una mezcla de gas hiperóxico mostraron una tendencia a mayores incrementos medios en el VO_2 pico y TTE (14.6% vs. 7.3% y 313.81% vs. 156.4%, respectivamente).

Aunque los sujetos que participaron fueron regularmente activos, no fueron altamente entrenados. Esto pudo haber disminuido la posibilidad de ver los resultados adicionales del entrenamiento hiperóxico. Por ejemplo, con sujetos altamente entrenados, podría haber sido esperado una mayor diferencia en los efectos del entrenamiento, ya que la disponibilidad de oxígeno pudo haber sido entonces un potencial factor limitante para favorecer las mejoras del entrenamiento.

En un estudio reciente realizado por Ploutz-Synder et al. (4), los sujetos que respiraban una mezcla de gases con 70% de O_2 fueron capaces de entrenar a una intensidad 20 W mayor que sujetos que entrenaron respirando aire normóxico de habitación. Este no fue el caso del presente estudio. Los sujetos respirando ~82.5% de O_2 produjeron una potencia media acumulada de 101061.1±24253.1 W en comparación con los 116568.3±38224.0 W del grupo normóxico. Aunque el grupo NT entrenó a una intensidad levemente superior al HT, esto puede ser atribuido a un promedio moderadamente mayor en el nivel de aptitud física, mas que a un efecto de la respiración de aire enriquecido con oxígeno. Los grupos fueron realizados de la mejor manera posible, sin embargo, la pérdida de un sujeto de este grupo resultó en un cambio positivo en el promedio. La diferencia en el VO_2 pico antes del entrenamiento fue insignificante (Figura 3), y estadísticamente, no hubo ninguna diferencia en el promedio de la potencia producida entre grupos. Así, no fue observado el incremento hipotético en la producción de potencia para los sujetos que respiraban gas hiperóxico.

Durante el entrenamiento, la resistencia en el cicloergómetro fue seleccionada a un nivel que produzca un consumo de oxígeno estimado del 60% del VO_2 pico si se pedaleara a 75 rpm. Se les pidió a los sujetos que pedalearan tan rápido como pudieran a esta resistencia, considerando la duración del ejercicio, mientras se mantenía del 70-90% de la frecuencia cardiaca máxima predicha para la edad. Mientras otros protocolos de entrenamiento pudieron haber sido seleccionados, los autores anticiparon que una mezcla de gas hiperóxico (~80%) puede permitir un incremento de la máxima tasa de trabajo durante el ejercicio (4, 5, 9). Así, si dos sujetos fueran agrupados y se les ordenara que entrenen con la misma resistencia en un cicloergómetro, un sujeto que respire una mezcla de gas hiperóxico pude pedalear a una cadencia superior y producir una potencia mayor que el otro sujeto. Este, sin embargo, no fue el caso. Una consideración que fue omitida, no obstante, fue la motivación. Es ciertamente posible que algunos sujetos pueden ser conducidos a exigirse más que otros. Esto, sin embargo, solo puede ser posible dentro del rango de frecuencia cardiaca permitido, y la asignación al azar fue hecha con el propósito de minimizar las diferencias grupales para las cuales no hubo controles. No se observó una marcada disparidad en la motivación, pero cualquier diferencia, aunque ligera, pudo haber afectado la producción de potencia.

La Figura 2 contiene una comparación del promedio diario de la producción de potencia. Desde la semana 2 a la 3, el grupo NT declinó moderadamente la potencia mientras que el grupo HT mantuvo una producción de potencia constante. La resistencia fue incrementada para todos los sujetos en las semanas 2, 4, y 5. Durante la semana 3, se esperaba que la producción de potencia pueda incrementarse, si la cadencia de pedaleo se incrementaba, o permaneciera igual, si la cadencia era mantenida. La cadencia de pedaleo fue mantenida en el grupo HT lo que indica que los sujetos encontraron una cadencia más o menos confortable, que mantuvieron a lo largo del entrenamiento, mas allá del incremento en la resistencia, Interesantemente, la caída en la producción de trabajo para el grupo NT entre las semanas 2 y 3 pueden ser

atribuidas al hecho de que el entretenimiento de televisión y video fue introducido para la mayoría de los sujetos en este tiempo. Esto es, sin embargo, una especulación ya que no se tomaron medidas para cuantificar el efecto de cada entretenimiento sobre la atención de los sujetos al ejercicio. Puede ser que la introducción de los videos distrajo inicialmente a los sujetos, pero después de un breve periodo de progresión se revirtió. Sin embargo, esta interpretación no esta avalada en la literatura (21, 22). Brownley et al. (23), sugirió que escuchar música a un volumen bajo puede ser beneficioso para corredores desentrenados, pero contraproducente para corredores entrenados. También puede ser que el grupo NT tuviera un entusiasmo elevado durante las primeras dos semanas del entrenamiento que motivó a los sujetos a entrenar más fuerte durante las semanas tempranas y a menor intensidad después de un tiempo.

Importancia Práctica del Ejercicio Hiperóxico

Fue de una imposibilidad práctica estudiar un número suficiente de sujetos para alcanzar una significancia estadística, con el pequeño efecto de tamaño que nosotros reportamos para las variables de VO_2 pico y TTE. Uno debería considerar el tiempo, costo y conveniencia de entrenar individuos bajo condiciones hiperóxicas. Dado que solo pequeñas mejoras en el entrenamiento son importantes para el rendimiento de atletas de elite, la variabilidad en las respuestas fisiológicas dentro y entre sujetos al entrenamiento hiperóxico puede causar que la investigación experimental nunca sea capaz de documentar un beneficio estadísticamente significativo de este tipo de entrenamiento. En este caso, la significancia fisiológica se vuelve una secundaria, pero importante medición de este procedimiento.

Se ha encontrado previamente que el entrenamiento hiperóxico es beneficioso en pacientes con CHF (2) e individuos entrenados a altitud moderada (16). Los efectos ergogénicos de tales entrenamientos pueden estar limitados a condiciones de deterioro, y los pequeños efectos de tales entrenamientos pueden ser de un pequeño beneficio práctico para individuos saludables que entrenan a nivel del mar. Los pacientes con CHF poseen generalmente un deterioro de la capacidad de ejercicio, debido a la fatiga muscular y a otros síntomas, incluyendo la disnea (3). Moore et al (3) indicaron que una mejor condición del músculo esquelético puede jugar un rol en el incremento de la capacidad aeróbica en CHF. Knight et al. (2) solo encontraron una tendencia no significativa hacia la mejora del VO_2 pico para pacientes con CHF después de 10 semanas de entrenamiento hiperóxico, y este beneficio no fue duradero. Esto puede indicar una adaptación del músculo esquelético que produce un incremento del rendimiento a corto plazo en individuos pobremente acondicionados.

Las investigaciones realizadas en la altura son interesantes. Es aparente que el entrenamiento hiperóxico en la altura permite a los atletas entrenar a intensidades superiores mas allá de los efectos de las bajas presiones de oxígeno (16). Por ello, puede ser posible que atletas que viven en la altura pueden simular entrenar a menores altitudes sin abandonar la misma. Es aparente, sin embargo, que esta idea no lleva consigo la perspectiva de vivir a menor altitud/entrenar con menos intensidad, como fue evaluado en el presente estudio.

Ploutz-Snyder et al. (4) también concluyeron que no hubo efectos significativos del entrenamiento hiperóxico en adultos jóvenes saludables a nivel del mar. Por ello, el entrenamiento hiperóxico puede ser más beneficioso cuándo el rendimiento está deteriorado que en situaciones dónde se desea llevar un rendimiento normal a un mayor nivel. Sin embargo, se pude concluir que el entrenamiento de ciclismo mientras se respira aire enriquecido con oxígeno (82.5% O_2) no incrementó el rendimiento y la función muscular de sujetos moderadamente entrenados que viven a nivel del mar.

Sugerencias para Futuras Investigaciones

Este estudio y el de Ploutz-Snyder et al. (4) fueron de corta duración (cinco semanas). Knight et al. (2) entrenaron a pacientes con CHF durante 10 semanas. Puede necesitarse un estudio con mayor tiempo de entrenamiento con sujetos sanos. También merece consideración una comparación de la respuesta de sujetos con alta y baja aptitud física, al entrenamiento, mientras se respira aire enriquecido con oxígeno. También podría ser útil considerar los beneficios ergogénicos del entrenamiento hiperóxico en la altura. La intensidad para TTE pudo haber sido demasiado baja para obtener una diferencia significativa entre HT y NT. Idealmente, la intensidad debería ser tal que el agotamiento de los sujetos se produzca entre los 5 y 10 minutos de la prueba previa al entrenamiento. Además, puede ser interesante examinar, como respirar aire enriquecido con oxígeno, afecta la producción de trabajo, controlando los factores motivacionales. Esto puede ser realizado utilizando un diseño factorial 2x2 (concentración de gas x producción de trabajo) en el cual los sujetos sean agrupados y asignados a uno de cuatro tratamientos: entrenamiento hiperóxico-aptitud física elevada, entrenamiento normóxico-aptitud física elevada, entrenamiento hiperóxico-aptitud física baja, entrenamiento normóxico-aptitud física baja. Los grupos entrenamiento hiperóxico- aptitud física elevada y entrenamiento normóxico-aptitud física baja podrían entrenar como se describió en el presente estudio. El entrenamiento normóxico-aptitud física elevada estaría emparejado entonces con la producción de trabajo del entrenamiento hiperóxico-aptitud física elevada y el entrenamiento hiperóxico-aptitud física baja al entrenamiento normóxico-aptitud física baja. Tal diseño puede controlar los efectos de la motivación y examinar si es la mezcla de gases o la producción de trabajo lo que facilita cualquier mejoría en las adaptaciones al entrenamiento.

Dirección para Correspondencia: Dr. W. Jeffrey Armstrong, Department of HPERD, Eastern Michigan University, Ypsilanti, MI 48197. Correo electrónico: Jeff.Armstrong@emich.edu

REFERENCIAS

1. Mujika I, Chatard J-C, Busso T, Geyssant A, Barale F, Lacoste L (1995). Effects of training on performance in competition swimming. *Can J Appl Physiol; 20(4):395-406*
2. Moore DP, Weston AR, Hughes JMB, Oakley CM, Cleland JFG (1992). Effects of increased inspired oxygen concentrations on exercise performance in chronic heart failure. *Lancet; 339:850-3*
3. Moore DP, Weston AR, Hughes JMB, Oakley CM, Cleland JFG (1992). Effects of increased inspired oxygen concentrations on exercise performance in chronic heart failure. *Lancet; 339:850-3*
4. Hughson RL, Kowalchuk JM (1940). Kinetics of oxygen uptake for submaximal exercise in hyperoxia, normoxia, and hypoxia. *Can J Appl Physiol; 20(2):198-210*
5. Plet J, Pedersen PK, Bensen FJ, Hansen JK (1992). Increased working capacity with hyperoxia in humans. *Eur J Appl Physiol; 65:171-7*
6. Wilson GD, Welch HG (1975). Effects of hyperoxic gas mixtures on exercise tolerance in humans. *Med Sci Sports Exerc; 7(1):48-52*
7. Hagerman FC, Bowers RW, Fox EL, Ersing WW (1967). The effects of breathing 100 percent oxygen during rest, heavy work, and recovery. *Res Quart; 39(4):965-74*
8. Hughes RL, Clode M, Edwards RHT, Goodwin TJ, Jones N (1968). Effect of inspired O2 on cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in man. *J Appl Physiol; 24(3):336-47*
9. Aaron EA, Seow KC, Johnson BD, Dempsey JA (1992). Oxygen cost of exercise hypernea: Implications for performance. *J Appl Physiol; 72(5):1818-25*
10. Allen PD, Pandolf KB (1977). Perceived exercise association with breathing hyperoxic mixtures during submaximal work. *Med Sci Sports Exerc; 9(2):122-7*
11. Welch HG (1982). Hyperoxia and human performance: a brief review. *Med Sci Sports Exerc; 14(4):253-63*
12. Babcock MA, Johnson BD, Pegelow DF, Suman O E, Griffin D, Dempsey JA (1995). Hyperoxic effects on exercise-induced diaphragmatic fatigue in normal healthy humans. *J Appl Physiol; 87(1):82-92*
13. Dempsey JA, Hanson PG, Henderson KS (1984). Exercise-induced arterial hypoaemia in healthy human subjects at sea level. *J Physiol; 355:161-75*
14. Wilson GD and Welch HG (1980). Effects of varying concentrations of N2/O2 and He2/O2 on exercise tolerance in man. *Med Sci Sports Exerc; 12(5):380-4*
15. Chick, TW, Stark DM, Murata GH (1993). Hyperoxic training increases work capacity after maximal training at moderate altitude. *Chest; 104(6):1759-62*
16. Bannister RG, Cunningham DJC (1954). The effects on respiration and performance during exercise of adding oxygen to the inspired air. *J Physiol; 125:118-37*
17. Briggs H (1920). Physical exertion, fitness, and breathing. *J Physiol; 54:292-318*
18. Kleiner DM, Snyder RC (1995). The effectiveness of acute hyperoxia as an ergogenic aid in resistance training. *J Strength and Cond Res; 9(4):228-31*
19. Thornby MA, Haas F, Axen K (1995). Effect of distractive auditory stimuli on exercise tolerance in patients with COPD. *Chest; 107(5):1213-17*
20. Browning KA, McMurray RG, Hackney AC (1995). Effects of music on physiological and effective responses to graded treadmill exercise in trained and untrained runners. *Int J Psychophysiol; 19(3):193-201*
21. Hinkle DE, Wiersma W, Jurs SG (1994). Applied Statistics for the Behavioral Sciences (3rd Ed.). *Boston, MA: Houghton Mifflin Co., p. 638*
22. Stevens J (1996). Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences (3rd Ed.). *Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 172-176*

Cita Original

W. Jeffrey Armostrong, Dean E. Jacks, James Sowash, y Frederick F. Andres. The effect of training while breathing oxygen-enriched air on time-to-exhaustion and aerobic capacity. JEPonline, Vol 3, No 2, 2000.