

Monograph

La Altitud Simulada a Través de la Re-Inhalación Mejora el Rendimiento en Ciclistas Bien Entrenados

Timothy Kirby¹, Carmen Swain¹ y James Altshuld²

¹Exercise Physiology Laboratory, Health and Exercise Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, Estados Unidos.

²Quantitative Research, Evaluation and Measurement, The Ohio State University, Columbus, Ohio, Estados Unidos.

RESUMEN

Los dispositivos de re-inhalación que están disponibles comercialmente son utilizados en la actualidad por atletas, para producir series cortas de hipoxia extrema con el fin de mejorar el rendimiento deportivo. No hay suficiente evidencia científica que sustente esta práctica. **Objetivo:** Realizar una prueba controlada aleatorizada, para analizar el efecto de esta metodología sobre el trabajo, tanto de tipo aeróbico como anaeróbico. **Métodos:** Durante 15 días, 18 ciclistas de sexo masculino, bien entrenados usaron un dispositivo de re-inhalación para provocar hipoxia (6 min), de forma alternada con respiración del aire de la sala de ejercicios (4 min) y éste proceso se repitió durante aprox. 1 h/día. Los sujetos fueron asignados a un grupo control con simulación de exposición constante, equivalente a 150 m (CON) o a un grupo tratamiento con aumento progresivo en la hipoxia equivalente a 3600-6300 m (TRT). Para evaluar la producción de potencia en las pruebas contrarreloj (TT) se utilizó el protocolo de potencia crítica. También se analizó el rendimiento a través de mediciones de la concentración de lactato en sangre, consumo de oxígeno (VO₂) y frecuencia cardíaca (HR). Adicionalmente se midieron parámetros sanguíneos. **Resultados:** Se observó un aumento significativo en el grupo TRT en las TT de 15 min ($p=0,004$) y en las TT de 60 min estimadas ($p=0,024$), mientras que en el grupo CON no se observaron aumentos. Las mejoras en el grupo TRT fueron 3-4,5% en la producción de potencia promedio. No se observaron diferencias significativas en las pruebas contrarreloj (TT) de 3 min en ningún grupo. Tampoco se observaron diferencias significativas en ningún grupo en los parámetros hematológicos. En el grupo TRT se observó disminución en el VO₂ ($p=0,075$) y la HR ($p=0,026$). **Conclusión:** En los ciclistas de competición, el entrenamiento con hipoxia intermitente mediante un dispositivo de re-inhalación produjo mejoras en el rendimiento, en eventos que dependen de la potencia aeróbica y no en la potencia anaeróbica. Sugerimos que los entrenamientos con hipoxia intermitente mediante re-inhalación pueden ser utilizados como una alternativa a las metodologías de simulación de altitud terrestres o de otro tipo, para producir aumentos en el rendimiento de eventos de resistencia.

Palabras Clave: atleta, resistencia, ciclismo, hipoxia, ejercicio

INTRODUCCION

Aunque si bien no es la solución definitiva, el método de entrenamiento más prometedor y más aceptado en la actualidad,

para mejorar el rendimiento de resistencia, para quienes no nacieron en sitios de altura, es la práctica de vivir en el alto y entrenar abajo (5, 8, 12, 13, 26, 27, 31, 35, 38). Esta metodología generalmente aceptada para lograr un rendimiento de resistencia óptimo, particularmente cuando el ejercicio se realiza en altitud, no carece de desventajas prácticas. Los viajes diarios para bajar consumen tiempo y son difíciles. No necesitamos decir que vivir en sitios con elevada altitud es imposible en muchos países y prohibitivo en muchos otros.

En un intento por resolver estos problemas, se han implementado nuevos enfoques tecnológicos para proporcionar una altitud "simulada" (18, 25, 26, 29, 36) y continúan siendo desarrollados (42). Si bien es más directo y más práctico que cambiar la ubicación física todos los días, su efectividad debe ser establecida a través de investigaciones controladas, para determinar si son creíbles y capaces de provocar los cambios fisiológicos necesarios para asegurar un rendimiento óptimo. Uno de éstos dispositivos, el AltO₂Lab®, basado en el principio de re-inhalación, ha arrojado resultados promisorios en un estudio piloto y fue utilizado para provocar la exposición a la altitud simulada en esta investigación.

El entrenamiento con hipoxia intermitente (IHT) a través del método de re-inhalación permite transcurrir un período mucho más corto en un estado de hipoxia extrema (3600-6300m), alternado con series de respiración del aire de la habitación (25, 37, 24). Esta metodología dramáticamente diferente combinada con el mantenimiento del entrenamiento cerca del nivel del mar, ¿produce adaptaciones del rendimiento?. Este estudio intentó contestar ésta pregunta a través de diferentes mediciones de rendimiento deportivo y de características fisiológicas de ciclistas bien entrenados antes y después de la exposición a la altitud simulada a través de re-inhalación.

El dispositivo de re-inhalación simula la altitud creando un ambiente hipóxico (cantidad reducida de oxígeno) al que el atleta es expuesto mientras se encuentra en reposo. La técnica tiene cualidades únicas, que la hacen bastante diferente de otras formas de exposición a la simulación de altitud. La mayoría de los métodos que se emplean actualmente para simular la exposición a la altitud, poseen una estructura similar a una cámara o carpa, para crear un ambiente hipóxico que es equivalente a altitud moderada (2000 a 3000 m). Mientras que en reposo el atleta "vive" en este ambiente, durante 6-12 horas seguidas, normalmente todos los días. Esto permite la simulación del aspecto "vivir en altura" de la metodología más común, mientras se entrena al nivel del mar o en condiciones similares a las del nivel del mar. Afuera de la cámara se encuentra el ambiente "entrenamiento a baja altitud."

Contrariamente a las metodologías de simulación de altitud más comunes, la re-inhalación utiliza un pequeño dispositivo a través del cual, el sujeto respira durante menos de una hora por día. Es ligero, sumamente portátil y consiste en una boquilla y un tubo conectados a un sistema sencillo que permite la re-inhalación de una cierta porción regulable del aire expirado. Este aparato es capaz de producir hipoxia y simular un ambiente altitud más elevada (4000 a 6500 m) que el ambiente de altitud más moderada que producen los métodos de simulación de altitud basados en una cámara/carpa. Las ventajas del equipamiento utilizado en este estudio son; que su costo es relativamente bajo y requiere un tiempo inferior a 1 hora por día. La asunción del presente estudio es que la exposición a corto plazo a muy elevada altitud simulada producirá cambios fisiológicos y mejoras en el rendimiento. Numerosas investigaciones realizadas con altitud ligera a moderadamente alta, terrestres y simuladas, han demostrado aumentos en el rendimiento a baja altitud (7, 9, 10, 28, 33, 36). Pero, la duración de la exposición a la altitud ha sido substancialmente mayor que la del tratamiento que evaluamos aquí.

METODOS

Sujetos

Dieciocho ciclistas de sexo masculino bien entrenados, 24,1±4,0 años (DS) (peso=77,9±6,2 kg; talla=180,6±2,8 centímetros; 8,7±3,5% grasa) firmaron un consentimiento informado para participar en este estudio. Previamente se obtuvo la aprobación del protocolo por parte del Comité de Revisión Institucional de la Universidad Estatal de Ohio. Durante este estudio todos los sujetos fueron expuestos a la altitud simulada a través de un dispositivo de re-inhalación. Los sujetos fueron asignados al azar al grupo de altitud constante o al grupo de altitud simulada progresiva. El tratamiento constante (CON) era equivalente a la baja altitud (400 m). El protocolo de TRT con re-inhalación siguió las instrucciones del fabricante (*Pharma Pacific*), y contempló un tratamiento progresivo comparable a la exposición a una altitud moderada que se incrementaba gradualmente; (3600 m - 6300 m), y se administró durante un período de 15 días consecutivos.

Procedimientos

Se proporcionaron a los sujetos instrucciones específicas y, diariamente se les realizó el monitoreo de factores que podrían influir en el rendimiento; registros detallados de entrenamiento, dieta, salud general y bienestar. Los sujetos realizaron las

pruebas de rendimiento de ejercicios en tres ocasiones: una prueba de familiarización (FAM), una prueba inicial previa a las sesiones en altitud simulada (PRE) y 5 días después de haber cumplido las exposiciones a la altitud (POST). Los parámetros hematológicos determinados fueron: hematocrito (HTC), volumen de los glóbulos rojos (RBC) y volumen de glóbulos blancos (WBC).

Parámetros Fisiológicos Medidos

Los parámetros fisiológicos medidos fueron: producción de potencia, frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno y lactato. Estas medidas fueron usadas para establecer la eficiencia fisiológica. Los datos fueron recolectados durante cada una de las 3 pruebas de ejercicio tal como se describe abajo.

Producción de Potencia

La principal variable dependiente de interés en esta investigación fue el rendimiento en ciclismo. Los datos fueron recolectados en cada una de las 3 pruebas de ejercicios descritas más abajo. Los sujetos realizaron la prueba de ejercicios en sus propias bicicletas de carrera, colocadas en un entrenador fijo (*Computrainer*) regulado por computadora y calibrado (32). La producción de potencia se midió en watts de manera continua y se obtuvo el promedio de toda la prueba contrarreloj (TT) de 15 minutos (15 min) o 3 minutos (3 min) de duración. Coyle et al. (10) establecieron previamente que la producción de potencia en esfuerzos de esta naturaleza es altamente reproducible. La potencia se mostraba en un monitor de computadora que fue colocado detrás del sujeto y fuera de su vista. Se prohibió a los sujetos que utilizaran las mediciones de potencia para supervisar el rendimiento durante la prueba.

Consumo de Oxígeno

El sujeto portaba una pinza sobre la nariz y una boquilla, que estaba conectada a un dispositivo de análisis metabólico (*Med Graphics*) para analizar los gases expirados; determinándose el consumo de oxígeno (VO_2) respiración por respiración (3). Como indicador de eficiencia de VO_2 , se calculó la cantidad media de oxígeno consumido ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) por $watt_{avg}$ PRE y POST. Se denominó t al índice de VO_2 .

Lactato

Los aumentos en los valores de lactato en sangre indican un aumento en la participación del metabolismo anaeróbico. Las muestras de sangre para medir el lactato PRE y POST tratamiento de simulación, se obtuvieron del dedo índice de los sujetos. La piel se punzó con una lanceta estéril, la primera gota de sangre fue descartada y la próxima gota de sangre fue recolectada en un analizador automático de lactato portátil (*Accusport*) (11). Los datos fueron recolectados de manera serial en 3, 6, 9, 12, y 15 minutos de la TT de 15 min. Se realizó un gráfico de los valores de lactato en función del tiempo y se cuantificaron como un valor total que representa el área total debajo de la curva. Para calcular la eficiencia del lactato, el área debajo la curva se dividió por el promedio de watts alcanzados. Esta manipulación permite la comparación de acumulación de lactato para cargas de trabajo específicas.

Frecuencia Cardíaca

La frecuencia cardíaca fue continuamente monitoreada y registrada por medio de un electrocardiograma de 12 derivaciones. Se ha demostrado que la frecuencia cardíaca aumenta de manera lineal con la carga de trabajo y es altamente reproducible en condiciones adecuadamente controladas (40). La frecuencia cardíaca se dividió por la producción de potencia ($watt_{avg}$) para examinar la eficiencia; y a este cociente se lo denominó índice de frecuencia cardíaca.

Evaluación del Rendimiento en el Ejercicio

Las mediciones de rendimiento se efectuaron, en una dependencia de laboratorio regulada, tres veces para cada sujeto: una prueba de familiarización, una prueba pre-tratamiento y otra post-tratamiento. Cada sujeto realizó las pruebas aproximadamente en el mismo momento de día y se les solicitó que consumieran alimentos ricos en carbohidratos la tarde anterior y el día de cada prueba. La prueba de familiarización fue incluida para evitar aumentos en el rendimiento debidos a un efecto de aprendizaje. Se esperaba que las dos pruebas iniciales arrojaran resultados similares. Si se produjera adaptación post-test en el grupo del tratamiento, la presencia de la prueba de familiarización proporcionaría evidencia de su autenticidad. La evaluación Pre-tratamiento se considera una medición base y se realizó el día previo al tratamiento. La prueba post-tratamiento fue realizada cinco días después del tratamiento para permitir la posible adaptación fisiológica al estímulo de la altitud. Se solicitó a los sujetos que realizaran las pruebas con la mayor capacidad que tuvieran.

El ciclismo de competición es un deporte único y desafiante. En las carreras de ruta; el recorrido, las condiciones y la competencia varían dramáticamente de un evento a otro. Las carreras son un evento altamente aeróbico; pero

normalmente también los ciclistas deben realizar esfuerzos múltiples, de corta duración e intensidad extrema, utilizando las contribuciones anaeróbicas. Ya sea en un ataque, o en una persecución hacia abajo frente a una escapada, una ascensión, o en el entrenamiento; las duraciones de estos esfuerzos varían enormemente, dependiendo de variables que pertenecen a una competencia y ambiente específicos. Es altamente deseable utilizar un protocolo de evaluación que simule experiencias de carreras familiares; y que también aporte una estimación de rendimiento en el ciclismo real.

Las evaluaciones previas de los ciclistas demostraron que el rendimiento real en ciclismo, de una prueba contrarreloj (TT) de 40 km en ruta, tiene una elevada correlación con la potencia media producida a lo largo de 60 minutos (10). El Protocolo de Potencia Crítica en Ciclismo puede estimar con éxito la potencia intermitente aeróbica media en un período de 60 minutos, realizando series de trabajo que tengan contribuciones altamente anaeróbicas (21, 22, 30). Jenkins y Quigley (22) indicaron que la función de la Potencia Crítica refleja la capacidad de realizar ejercicio supra-máximo. Dada la naturaleza cambiante de la producción de potencia en la competencia, elegimos el Protocolo de Potencia Crítica para explorar los diferentes componentes metabólicos del ciclismo. Específicamente, se espera que el Test de Potencia Crítica: 1) se asemeje al tipo de esfuerzos normalmente asociados con el entrenamiento y las competencias de los ciclistas de ruta, 2) valore la potencia media a lo largo de diferentes períodos de tiempo; los cuales corresponden a los diferentes grados de contribución de los sistemas de energía anaeróbico y aeróbico, y 3) determine los potenciales efectos del tratamiento en el rendimiento del ciclismo real, estimando la producción de potencia media a lo largo de 60 minutos.

Como parte del Protocolo de Potencia Crítica, los sujetos realizaron una entrada en calor de 15 minutos, seguida por 2 TT separadas, en las cuales se solicitó a los sujetos que realizaran los ejercicios con toda su capacidad. La primera prueba contrarreloj (TT) tenía una duración de 15 minutos, y luego una sesión de recuperación activa de 10 minutos. La segunda TT tenía una duración de 3 minutos. Estas 2 series de ejercicio fueron utilizadas para predecir el rendimiento de la prueba contrarreloj (TT) de 60 minutos.

Tratamiento en Altitud Simulada

La altitud fue simulada exponiendo a los sujetos a una concentración de oxígeno menor a la que se encuentra en condiciones normóxicas (20,99%). Esto se llevó a cabo mediante el uso de un dispositivo que consistía en un tubo respiratorio conectado a una bolsa abierta que contenía una solución de agua con cal para absorber el dióxido de carbono (CO₂). Se agregaron bolsas adicionales llenas de esponja para aumentar el espacio respiratorio muerto y así aumentar el estímulo de altitud. Se colocó una pinza en la nariz de los sujetos para evitar la respiración nasal y los sujetos siguieron el protocolo de uso sugerido por los fabricantes, en el cual alternaban 6 min de respiración a través del dispositivo de simulación de altitud, con 4 min de respiración del aire del cuarto, seis veces, durante un total de 56 minutos. La saturación de oxígeno periférico fue monitoreada continuamente mediante un oxímetro depulso. Los sujetos realizaron el tratamiento en un momento del día similar al momento del día en el cual se realizó la sesión de entrenamiento previa.

En el Grupo CON (Control) la saturación se mantuvo a 98% durante los 15 días del tratamiento; esta saturación se produce con la adaptación a altitudes de aproximadamente 150 m (14). Se supone que ésta exposición de corta duración al estímulo de baja altitud, no produciría diferencias significativas en los parámetros fisiológicos o hematológicos medidos. El estímulo de bajo nivel fue seleccionado para que los sujetos no supieran la real altitud del tratamiento, de modo tal que el sujeto era consciente de que iba a recibir un tratamiento de altitud pero desconocía la gradación. En el Grupo TRT la saturación disminuía progresivamente, comenzando en 90% en el primer día y terminando en 76% en el último día; estas saturaciones se producen con la adaptación a altitudes de aproximadamente 3600 y 6300 m (14) y fueron seleccionadas para imitar los niveles de altitud, tal como se demostrara en otros estudios que observaron adaptación fisiológica (33, 42).

Como mencionamos antes, durante el procedimiento de re-inhalación, los sujetos fueron separados por una pantalla del dispositivo de saturación de oxígeno. Los sujetos fueron supervisados continuamente durante el tratamiento. Si la saturación de oxígeno disminuía por debajo del valor deseado, el sujeto debía desconectarse de la boquilla y respirar el aire del cuarto. Esta metodología de exposición fue beneficiosa ya que el estímulo de altitud podía retirarse inmediatamente, y a través de la exposición al aire de la habitación, los síntomas (por ejemplo, vértigo, ligero dolor de cabeza, desorientación) vinculados a la hipoxia, eran rápidamente disipados.

Análisis Estadísticos

Tamaño de la Muestra

Sobre la base de investigaciones previas de Hodges et al. (19) estimamos que para detectar cocientes F significativos con una potencia adecuada (potencia = 0,8), para establecer los cambios con el ejercicio, en un test de rendimiento en estado estable, necesitábamos un tamaño muestral de 8 sujetos por grupo. Este análisis se realizó calculando el cambio en VO₂ durante ejercicios de ciclismo en estado estable. Meeuwse et al. (29) en un estudio donde investigaron rendimiento en TT de ciclismo después de hipoxia hipobárica intermitente, observaron que un tamaño muestral formado por 8 ciclistas arrojaba la potencia adecuada. El análisis midió el cambio tanto en watts como a través del consumo de máximo de

oxígeno.

Variables de Estudio

Los estadísticos descriptivos describen: las características de los sujetos, características del entrenamiento, características dietéticas, variables de rendimiento y parámetros hematológicos y se informan en forma de media \pm DS. Las características de los sujetos fueron: edad, talla, peso y composición corporal.

Las características del entrenamiento reflejan el tiempo destinado por semana a pedalear y la intensidad expresada como índice de esfuerzo percibido, que fueron combinados para crear un índice de entrenamiento. Se intentó que los sujetos mantuvieran el entrenamiento (tiempo e intensidad) durante el tiempo que duraba el estudio. Por lo tanto, el entrenamiento se evaluó dentro de los grupos mediante MANOVA de Mediciones Repetidas por semana durante las cuatro semanas del estudio. A través de las características dietéticas se describieron las ingestas de kilocalorías, carbohidratos, proteínas y grasas de los sujetos y luego se obtuvieron los valores medios para elaborar una síntesis de la ingesta dietética diaria. Las características dietarias fueron comparadas entre los grupos a través de análisis de MANOVA.

El MANOVA de mediciones repetidas fue utilizado para evaluar los efectos de la re-inhalación como método para crear altitud simulada, sobre el rendimiento de ciclismo y sobre las variables hematológicas y fisiológicas de sujetos que habían sido asignados al azar; o a un grupo tratamiento o a un grupo control. Los sujetos en ambos grupos realizaron 3 sesiones de evaluación (FAM, PRE y POST). En cada una de estas sesiones se evaluó a los sujetos a través de TT de 15 min, TT de 3 min y rendimiento estimado en TT de 60 min. Las mediciones PRE y POST de los sujetos contemplaron la medición de los parámetros mencionados anteriormente así como también la determinación de: VO_2 , HR, Lactato, HTC, RTC y Fe.

También se realizó un subconjunto de tests multivariados con el fin de determinar el efecto de una variable dependiente específica sobre el modelo. Se verificaron los supuestos de los datos (ej, distribución). Se informó la potencia estadística para la hipótesis apoyada. El nivel de alfa fue fijado a *priori* en $p < 0,05$.

RESULTADOS

Características de los Sujetos

Las características generales de los grupos TRT y CON pueden describirse como típicas de las características que se esperaría para ciclistas de competición. No se observó ninguna diferencia significativa en las características de los sujetos entre los grupos. Las kilocalorías (TRT= 3078,8 \pm 703,3; CON=2765,0 \pm 666,8), % de carbohidratos (TRT=43,1 \pm 11,2; CON=37,9 \pm 8,3), % de grasas (TRT= 40,0 \pm 10,6; CON=35,6 \pm 12,5), y % de proteínas (TRT= 16,9 \pm 3,9; CON=17,7 \pm 3,8) diarios no fueron significativamente diferentes entre los grupos, tal como se determinara mediante un recordatorio de ingesta de alimentos (Método de Múltiples Pasos) con un nutricionista registrado.

El volumen y la intensidad de entrenamiento fueron combinados para crear un Índice de entrenamiento para cada sujeto. No se observó ninguna diferencia significativa en el entrenamiento entre semana y semana en el Tiempo (semana 1, semana 2, semana 3, semana 4) o interacción entre Tiempo y Grupo (TRT o CON). Estos resultados indican que el índice de entrenamiento se mantuvo constante dentro de ambos grupos (TRT= 25,7 \pm 1,9 semana 1, 26,1 \pm 2,7 semana 2, 25,7 \pm 3,8 semana 3, 25,7 \pm 2,3 semana 4; CON=22,1 \pm 4,0 semana 1, 22,0 \pm 3,0 semana 2, 22,3 \pm 4,5 semana 3, 20,9 \pm 3,6 semana 4); un objetivo importante cuando se estudian las adaptaciones en el rendimiento. Ambos grupos cumplieron el criterio mínimo de entrenamiento (6 horas de ciclismo de intensidad moderada a alta por semana) y el mismo se mantuvo de forma consistente a lo largo de todo el estudio.

Variables de Rendimiento

En la Tabla 1 se presenta la producción de potencia para las TT de 15 min, 3 min y TT estimada de 60 min. Se observaron efectos significativos ($p=0,05$) para la interacción Tiempo (FAM a PRE a POST) y Grupo (TRT o CON) y también entre los Grupos ($p=0,038$). En el grupo TRT se observó un aumento en la prueba contrarreloj (TT) a los 15 y 60 min realizadas POST, pero ésta mejora no se observó en el grupo CON.

		TRT	CON
TT de 15 min (watts)	FAM	322,6 ± 35,0	295,7 ± 30,1
	PRE	325,0 ± 34,4	295,9 ± 23,3
	POST	335,0 ± 33,6**	289,9 ± 30,5
TT de 3 min (watts)	FAM	395,5 ± 45,1	362,0 ± 31,1
	PRE	409,0 ± 43,9	360,0 ± 20,4
	POST	402,5 ± 29,6	346,3 ± 40,4
TT de 60 min (watts)	FAM	307,9 ± 35,5	283,2 ± 31,4
	PRE	300,1 ± 28,4	275,2 ± 29,1
	POST	322,4 ± 36,1**	279,4 ± 29,9

Tabla 1. Resultados de los tests de rendimiento en los ejercicios de pruebas contrarreloj (TT) de 15 min, 3 min y 60 min de duración. Abreviaturas: TRT; Grupo tratamiento, CON; Grupo control. Los valores se presentan en forma de Media±DS. ** Se observan diferencias significativas con $p < 0,01$.

Prueba Contrarreloj de 15 minutos

Los datos del grupo CON para FAM, PRE y POST presentaron poca variación entre ellos, mientras que en el grupo TRT se observó un aumento en los valores obtenidos en la prueba POST en comparación con los valores obtenidos en las pruebas FAM y PRE. Como era esperable, los valores en FAM y PRE eran similares dentro de los grupos (TRT: FAM=322,6±35,0 watts y PRE=325,0±34,4 watts; CON: FAM=295,7±30,1 watts y PRE=295,9±23,3 watts). Este hallazgo sugiere que el rendimiento de la TT de 15m probablemente sea reproducible entre los sujetos. Aunque esto no constituye una medida absoluta de reproducibilidad, apunta a esta conclusión. En la prueba POST el grupo TRT mejoró el rendimiento (PRE=325,0±34,4 watts, POST=335,0±33,4 watts) y se observó una disminución en el rendimiento del grupo CON (PRE=295,9±23,3 watts, POST=289,9±30,5 watts).

Sobre la base del análisis intra-sujeto se observó una interacción significativa ($p=0,004$, y una potencia de 0,890) entre Tiempo y Grupo. El aumento medio de 3% en la producción de potencia, en el rendimiento de la prueba contrarreloj (TT) de 15 min en el grupo TRT puede ser atribuido al tratamiento de simulación de altitud progresivo a través de la re-inhalación. El tratamiento puede mejorar el rendimiento significativamente en un evento a nivel del mar o cerca del mismo, que depende mucho de la potencia aeróbica.

Prueba Contrarreloj de 3 minutos

La similitud de los valores obtenidos en los grupos TRT y CON en la TT de 3 min pueden observarse en la Tabla 1. Tal como se observa, el grupo TRT obtuvo consistentemente puntajes mayores que el grupo CON. Los análisis de comparación entre los grupos, demostraron que había una diferencia significativa ($p=0,002$) en el rendimiento de la TT de 3 min, lo que confirma que el grupo de TRT alcanzó rendimientos significativamente más altos que el grupo CON.

Un aspecto importante para todas las pruebas de rendimiento fue el efecto intra-sujeto. No se observó efecto significativo en el Tiempo (FAM, PRE, o POST) o en la interacción Tiempo y Grupo (TRT o CON). En la muestra de ciclistas bien entrenados, los resultados indican que la simulación de altitud a través de la re-inhalación no afecta de manera significativa al rendimiento en un evento que se realiza en el nivel del mar y que depende mucho de la potencia anaeróbica.

Prueba Contrarreloj de 60 minutos

Al igual que en las pruebas contrarreloj (TT) de 15 y 3 min, los valores del grupo TRT fueron regularmente más altos que los del grupo CON en la TT estimada de 60 min. Los valores del grupo TRT parecen notablemente más altos en POST en comparación con los valores del grupo CON que permanecieron relativamente estables a lo largo del tiempo. Un análisis subsecuente confirmó que había diferencias significativas ($p=0,035$) entre los valores del grupo CON (FAM=283,2±31,4 watts; PRE=275,2±29,1 watts; POST=279,4±29,9 watts) y el grupo TRT (FAM=307,9±35,5 watts; PRE=300,1±10,0 watts; POST=322,4±12,8 watts). Se observó un ($p=0,002$) efecto significativo intra-sujeto en el Tiempo. Es decir, todos los rendimientos de los sujetos, sin tener en cuenta el grupo, fueron afectados por el momento de la medición. Tanto los valores del grupo CON y el grupo TRT disminuyeron en PRE (CON=-2,8%; TRT=-2,5%), y luego aumentaron en la medición efectuada luego del tratamiento (POST), aunque se observa que el grupo CON no alcanzó valores superiores que en FAM. También se observó un efecto significativo ($p=0,023$) de interacción entre Tiempo y Grupo (CON o TRT).

Los sujetos pertenecientes a los grupos TRT y CON tuvieron un rendimiento diferente. El grupo CON no mejoró el rendimiento en POST lo que se contrapuso con el gran incremento observado en el grupo TRT. A partir del mejor rendimiento preliminar, el grupo CON presentó valores medios POST, 1,3% mas bajos, mientras que el grupo TRT experimentó un aumento medio de 4,5%. Este tipo de mejora podría ser representada como un aumento en la velocidad media desde 35,9 km.h⁻¹ a 37,8 km.h⁻¹ en una TT de 20 km. La implicación es que la simulación de altitud a través de re-inhalación tiene un efecto significativo en los eventos aeróbicos más largos al nivel del mar. El posible aburrimiento del grupo CON en el estudio, no es una causa probable, ya que los sujetos no informaron que habían descubierto que pertenecían a la condición placebo.

Parámetros Hematológicos

Los parámetros sanguíneos de los sujetos (HTC, RTC, Fe) PRE y POST, se presentan en la Tabla 2. No se observaron diferencias significativas en las características sanguíneas entre los sujetos ni intra-sujeto. Los niveles séricos de Fe se mantuvieron en ambos grupos durante el período de investigación. Esto confirma que la falta de crecimiento de los glóbulos rojos no se debió a la falta de hierro necesario en la sangre. Parecería que la metodología de re-inhalación para simular altitud tiene poco o ningún efecto sobre los parámetros sanguíneos después de 15 días de exposición.

		TRT	CON
HTC	PRE	43,25 ± 2,100	42,68 ± 1,480
	POST	43,03 ± 0,844	42,17 ± 1,890
RTC	PRE	0,035 ± 0,006	0,048 ± 0,015
	POST	0,041 ± 0,015	0,053 ± 0,023
Fe	PRE	73,9 ± 27,51	152,9 ± 136,3
	POST	72,8 ± 26,28	158,7 ± 137,5

Tabla 2. Medición de los parámetros hematológicos. Los valores se expresan en forma de Media±DS.

Variables de Eficiencia Los valores de media y DS del Índice de VO₂, Índice de Lactato e Índice de HR se presentan en la Tabla 3. Se observaron diferencias significativas entre los grupos (p=0,012) en estas variables. Este resultado probablemente está vinculado con los resultados encontrados previamente entre los grupos, es decir, un nivel más alto de aptitud física en el grupo TRT que en el grupo CON. Los niveles más altos de aptitud física corresponden a menores niveles submáximos en tales mediciones fisiológicas. No se observó un efecto significativo intra-sujeto del Tiempo, pero el Tiempo (PRE vs. POST) combinado con el Grupo casi alcanzó la significancia estadística p=0,075.

		TRT	CON
Índice VO ₂	FAM	0,176 ± 0,032	0,159 ± 0,017
	PRE	0,165 ± 0,016	0,163 ± 0,022
	POST	0,152 ± 0,023	0,170 ± 0,021
Índice de Lactato	PRE	0,346 ± 0,039	0,433 ± 0,146
	POST	0,406 ± 0,030	0,433 ± 0,146
Índice de HR	FAM	0,584 ± 0,072	0,635 ± 0,094
	PRE	0,564 ± 0,044	0,631 ± 0,094
	POST	0,544 ± 0,053*	0,646 ± 0,091

Tabla 3. Variables de Eficiencia Fisiológica. Los valores se presentan en forma de Media±DS. * Se observa un efecto intra-sujeto significativa p<0,05.

No se observaron efectos significativos para la variable Lactato intra o entre los sujetos. Se observó un efecto significativo (p=0,026) de la interacción Tiempo x Grupo en el índice de HR intra-sujetos y también un efecto significativo (p=0,014) entre los sujetos. La notable diferencia exhibida en el Índice de VO₂ no alcanzó efectivamente la significancia estadística (p=0,075).

Una mayor eficacia en HR, o una HR más baja en el mismo nivel de trabajo, se evidenció en el grupo TRT luego de 15 días de tratamiento en altitud simulada a través de re-inhalación ($p=0,026$, y observó una potencia de 0,641) como resultado de la interacción entre Tiempo (FAM, PRE, POST) y Grupo (TRT y CON). También habría una disminución en el consumo de oxígeno en el grupo TRT luego de 15 días del tratamiento con re-inhalación. Estos resultados pueden arrojar algo de luz sobre los posibles mecanismos que se ponen en juego para aumentar el rendimiento.

Se sabe que las mediciones en estado estable de estas variables producen una cuantificación confiable de los procesos fisiológicos. Una reducción en HR y VO_2 con la misma carga de trabajo, permite suponer que hubo una entrega más eficiente de oxígeno. En esta investigación no realizamos la medición directa de éste fenómeno. Pero hay otras potenciales explicaciones. Una variedad de escenarios posibles que podrían haber contribuido con el aumento en la eficiencia fisiológica, y en la próxima sección discutiremos la dirección de las futuras investigaciones. Los resultados de esta investigación sostienen que el aumento en la eficiencia es un mecanismo para aumentar el rendimiento, pero no para producir adaptación hematológica.

En el grupo TRT, las mediciones del rendimiento aeróbico muestran una mejora notable (3 - 4,5%) en la producción de potencia media, luego del tratamiento con altitud simulada. No se observaron cambios en las mediciones de rendimiento anaeróbico. No se observaron efectos significativos en las características hematológicas. Se observó que la frecuencia cardíaca era significativamente más eficiente y el Índice de VO_2 presentó una fuerte tendencia hacia una mejor economía luego del tratamiento (POST) en el grupo TRT.

DISCUSION

Rendimiento

El rendimiento en los ciclistas bien entrenados mejoró, en promedio de 3-4,5%, en eventos de naturaleza aeróbica. Ésta es una mejora muy importante en el perfeccionamiento deportivo para un individuo altamente entrenado. Se han establecido aumentos de 1-3% en diferentes rendimientos deportivos de resistencia, como resultado de la aclimatación al pasar 8-20 horas corridas por día durante semanas a altitud moderada (2, 8, 23, 26). Los datos de este estudio revelan que la exposición a una elevada altitud simulada durante un período mucho más corto de tiempo (menos de una hora por día) produce aumentos similares y posiblemente bastante más grandes, en las adaptaciones de rendimiento. El aumento observado en el rendimiento de la prueba contrarreloj (TT) de 15 min en el grupo TRT es similar a la informada en la literatura previa. En corredores altamente entrenados, Levine y Stray-Gundersen (38) demostraron mejoras en el tiempo de carrera de 5 km que iban de 1-3%. Otros autores también informaron adaptaciones similares en el rendimiento (2, 8, 23). El hallazgo actual de un aumento medio de 3% en la producción de potencia en la TT de 15 min coincide con las adaptaciones deportivas informadas previamente, producidas como resultado de la aclimatación.

El hallazgo de un aumento medio de 4,5% en las TT de 60 min fue sustancialmente mejor que las mejoras atléticas que se ha informado como resultado de la permanencia a altitud moderada durante varias semanas. Los eventos más largos, como las TT de 60 min, tienden a imitar las condiciones de carreras de resistencia y no se informan a menudo en la literatura. Creímos que era necesario incluir una medición de estas características porque las evaluaciones de laboratorio, a menudo, son criticadas porque no tienen relación con el rendimiento en el mundo real. El Protocolo de Potencia Crítica permite tales inferencias. Este protocolo predice la producción de potencia media de 60 minutos utilizando la potencia media de dos intensidades diferentes y tiempos de realización como valores de predicción.

Coyle (10) observó previamente una elevada correlación entre la producción de potencia en 60 minutos y el rendimiento en una prueba contrarreloj (TT) de 40 km ($r=-0,88$; $p<0,001$). Nuestros resultados indican que el grupo TRT aumentó significativamente su producción de potencia media en 60 minutos después del tratamiento (POST) en un promedio de 20 watts. Esto es casi un 5% de aumento en la producción de potencia, con respecto a los valores de rendimiento iniciales. Incluso en el lado conservador de adaptación de rendimiento, el *AltO₂Lab*[®] (dispositivo utilizado en este estudio) produce un aumento considerable en el rendimiento aeróbico de atletas que están altamente entrenados en su deporte.

No se observaron mejoras en el rendimiento que dependía fuertemente de la potencia anaeróbica. En ésta investigación utilizamos el esfuerzo de la prueba contrarreloj de 3 min porque requiere una gran contribución de energía de los medios anaeróbicos. Nosotros no observamos ninguna diferencia intra-sujeto (FAM, PRE, POST) en los grupos TRT o CON, luego de simular la altitud por medio de la re-inhalación. Una publicación reciente (42) sugirió que eventos que son altamente dependientes del metabolismo anaeróbico pueden mejorar a través de la exposición a la altitud simulada. Esto no se observó en esta investigación.

Confiamos en que estos resultados en el rendimiento, pueden ser generalizados a otros ciclistas de competición de sexo masculino altamente entrenados de edades entre 18 y 35 años. Esta declaración se basa en nuestros resultados obtenidos a partir de un tamaño muestral adecuado, pequeñas diferencias individuales dentro de los grupos y de haber observado un tamaño de efecto grande. También es probable, que otros atletas altamente entrenados de edades similares que participen en eventos deportivos altamente aeróbicos, también puedan mejorar su rendimiento mediante un dispositivo de re-inhalación para simulación de altitud durante 15 días.

Mecanismo de Cambio

El objetivo de las hipótesis secundarias y terciarias era identificar los posibles mecanismos que influyen en los aumentos de rendimiento. Este estudio aporta algunas indicaciones, pero no conclusiones, con respecto a clarificar los mecanismos responsables del cambio. Los indicadores de eritropoyesis (HTC, RTC) y las medidas de eficiencia fisiológica (Índice de VO_2 , Índice de Lactato, Índice de HR) fueron estudiados como los posibles candidatos de este mecanismo de cambio.

Características Hematológicas

Parecería que la simulación de altitud a través de la re-inhalación no desencadena una mayor eritropoyesis después de 15 días de exposición. No se observaron cambios en ninguno de los grupos en las mediciones obtenidas antes del tratamiento (PRE) vs. después del tratamiento (POST), en los parámetros de eritropoyesis (HTC, RTC), ni en la síntesis de nuevos glóbulos rojos sanguíneos. Usando una cámara hipobárica, otros investigadores también observaron aumentos significativos en la producción de potencia en ciclismo, luego de la exposición a 1-2 horas de hipoxia intermitente durante 10-15 días, que no fueron acompañados por cambios significativos en los parámetros de los glóbulos rojos sanguíneos (18, 29, 41).

Hay aspectos que podrían explicar la incapacidad para alcanzar tales cambios. Es posible que sea necesario un período de exposición mayor a 15 días, para provocar cambios hematológicos, ya que en muchos de los estudios terrestres realizados en altitud, que reportaron cambios en los parámetros hematológicos, la exposición es de períodos de 3-4 semanas.

Otra posibilidad para explicar la falta de mejora en la respuesta eritropoyética puede estar vinculada con el momento (*timing*) en que se realizaron las mediciones. Hamlin y Hellmans (17) revelaron un aumento mínimo en HTC a los 2 días post-aclimatación frente a un aumento más sustancial, a los 12 días post aclimatación ($1,5 \pm 3,1$ en el día 2 y $3,6 \pm 4,1$ en el día 12). Esta investigación determinó los valores de HTC a los 5 días post-aclimatación. Este período de tiempo podría haber sido insuficiente para producir luego cambios significativos en los valores de HTC o de RTC.

O, muy posiblemente, la simulación de altitud a través de la re-inhalación no estimuló un aumento en el volumen de glóbulos rojos. Independientemente de la razón por la cual no se produjeron cambios hematológicos, el hecho que debemos destacar, es que el rendimiento aumentó, pero esto no puede ser asociado con una mayor eritropoyesis.

Características de Eficiencia

Las medidas sobre la eficiencia fisiológica ofrecen una mirada prometedora sobre las propiedades mecánicas de cambio asociadas con la metodología de re-inhalación para simular altitud. De las 3 variables estudiadas, 2 presentaron una adaptación notable en el grupo tratamiento, en comparación con el grupo control.

Índice de VO_2

Las reducciones en el VO_2 submáximo podrían indicar una mayor eficiencia en ciclismo luego de la aclimatación a través de la re-inhalación. En el ejercicio de alta intensidad en estado estable, el VO_2 relativo por watt disminuyó en el grupo TRT en comparación con el grupo CON, $p=0,075$. También se han reportado disminuciones significativas en el VO_2 submáximo en corredores de élite luego de aclimatación a altitud moderada (35), lo que indica una mayor eficiencia en la carrera luego de la aclimatación.

Esta disminución fisiológica probablemente se atribuye a una adaptación en los componentes del VO_2 . Según la ecuación de Fick, el VO_2 máximo es el producto entre el gasto cardíaco y la diferencia entre el volumen de oxígeno arterial y venoso (diferencia $a-vO_2$). Por lo tanto, si el VO_2 disminuye, debe estar en relación directa con la disminución, ya sea en el gasto cardíaco y/o en la extracción de oxígeno de los músculos activos.

Cada uno de los componentes del VO_2 , el gasto cardíaco y la diferencia $a-vO_2$, es un candidato potencial para mejorar la eficiencia. El gasto cardíaco es la cantidad de sangre bombeada por minuto y se espera que aumente de manera lineal con niveles crecientes de trabajo. La diferencia $a-vO_2$ es la medida de oxígeno extraído por la musculatura; este valor también aumenta típicamente con la carga de trabajo. Ninguna de estas mediciones fue registrada directamente en este estudio. Sin embargo, los resultados de la investigación relacionados y las indicaciones dadas en la presente investigación pueden

proporcionar alguna pista sobre la probabilidad de que alguna de estas variables pueda formar parte de una propiedad mecánica de cambio.

Índice HR

Una mejor economía de HR sugiere que hay una entrega más eficiente de oxígeno, como una explicación mecánica para el aumento en el rendimiento. La HR y el volumen sistólico son los componentes que constituyen el gasto cardíaco. Si suponemos que el SV permanece inalterado mientras que la HR disminuye, entonces se deduce que el grupo TRT tenía un menor gasto cardíaco luego del tratamiento con simulación de altitud. La disminución en el VO_2 podría estar relacionada con el hallazgo asociado con la variable Índice de HR. Al estudiar la variable fisiológica HR, se observó un efecto significativo del tratamiento con altitud en el grupo TRT. La HR por watt media disminuyó después de la aclimatación a la altitud simulada vía re-inhalación o en el grupo TRT aumentó la eficiencia de la frecuencia cardíaca (HR). Luego del tratamiento (POST) se necesitaba una menor HR para realizar la misma carga de trabajo. Otros investigadores también observaron que la HR submáxima disminuye después de la aclimatación a la altitud (5, 6, 13).

Nosotros observamos que el grupo TRT mejoró el rendimiento y se volvió más eficiente en la respuesta de la frecuencia cardíaca (HR), asumiendo un menor gasto cardíaco. Este resultado sugiere que se produce una entrega más eficiente de oxígeno como explicación mecánica para una mejora en el rendimiento.

Conclusiones

Los resultados de este estudio apoyan el uso de un dispositivo de re-inhalación como el empleado en esta investigación (AltO₂Lab[®]) como una alternativa a la altitud terrestre, o a otras formas para simular altitud, para mediar aumentos en el rendimiento en eventos que son altamente dependientes de la potencia aeróbica. De hecho, la simulación de altitud a través de la re-inhalación podría posiblemente transformarse en el método preferido para simular altitud. Los aumentos significativos en el rendimiento asociados con un tiempo mínimo de exposición y un costo considerablemente menor, en comparación con otras metodologías para simular altitud, hacen que este dispositivo sea una metodología muy destacable y posiblemente preferida.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Centro de Investigaciones Clínicas Generales de la Universidad Estatal de Ohio, Subsidio M01-RR00034 del centro Nacional de Recursos para Investigación de NIH.

Dirección para Envío de Correspondencia

Carmen B. Swain, Ph.D., Health and Exercise Science, The Ohio State University, A046 PAES Building, 305 W. 17th Avenue, Columbus, OH 43210. Teléfono (614) 292-5959; Fax(614) 688-3432, correo electrónico: swain.78@osu.edu.

REFERENCIAS

1. Ashenden M, Gore C, Dobson G (2000). Simulated moderate altitude elevates serum erythropoietin but does not increase reticulocyte production in well-trained runners. *Eur J Appl Physiol* 428-335
2. Baker A, Hopkins W (1998). Live-high train-low altitude training for sea-level competition. *Sportsci Train & Tech* 12-23
3. Bassett D, Howley E, Thompson D (2001). Validity of inspiratory and expiratory methods of measuring gas exchange with a computerized system. *J Appl Physiol* 91:218-224
4. Beidelman B, Muza S, Fulco C, et al (2003). Intermittent altitude exposures improve muscular performance at 4300m. *J Appl Physiol* 95:1824-1832
5. Brugniac B, Schmitt L, Fulco C (2006). Eighteen days of living high training low simulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle distance runners. *J Appl Physiol* 100:203-211
6. Casas M, Casas H, Pages T, et al (2000). Intermittent hypobaric hypoxia induces altitude acclimatization and improves lactate threshold. *Aviat Space Environ Med* 71:125-130
7. Champman R, Stray-Gundersen J, and Levine B (1998). Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol* 85:1448-1456
8. Chen Q, Ge R, Wang X, et al (1997). Exercise performance of Tibetan and Han adolescents at altitudes of 3,417 and 4,300m. *J Appl Physiol* 83:661-667
9. Coyle E, Feltner M, Kautz S, et al (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 23:93-107
10. Fell J, Rayfield J, Gulbin J, Gaffney P (1998). Evaluation of the Accusport lactate analyzer. *Intl J Sport Med* 19:199-204

11. Gore C, Hahn A, Aughey R, Martin D (1998). Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand* 173:275-286
12. Green H, Roy B, Grant S, et al (2000). Increases in submaximal cycling efficiency mediated by altitude acclimatization. *J Appl Physiol* 89:1189-1197
13. Hackett P, Roach R (1995). High-altitude medicine. *Wild Environ Med* 3:1-37
14. Hahn A, Gore C (2001). The effect of altitude on cycling performance: a challenge to traditional concepts. *Sports Med* 31:533-557
15. Hahn A, Gore C, Martin D (2001). An evaluation of the concept of living at moderate altitude and training at sea level. *Comp Biochem Physiol* 128:777-789
16. Hamlin M, Hellemans J (2004). Effects of intermittent normobaric hypoxia on blood parameters in multi-sport endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc* 36:S337-338
17. Hendrikson I, Meeuwsen T (2003). The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea level exercise: A cross-over study in humans. *Eur J App Physiol* 88:396-403
18. Hodges A, Lynn B, Bula J, et al (2003). Effects of pseudoephedrine on maximal cycling power and submaximal cycling efficiency. *Med Sci Sports Exerc* 35:1316-1319
19. Ingham E, Pfitzinger P, Hellemans J, et al (2001). Running performances following intermittent altitude exposure simulated with nitrogen tents. *Med Sci Sports Exerc* 33:S11
20. Jenkins D, Quigley B (1993). The influence of high intensity exercise training on the Wlim-Tlim relationship. *Med Sci Sports Exerc* 25:275-282
21. Jenkins D, Quigley B (1991). The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics* 34:13-22
22. Julian C, Levine B (2010). Hypoxia: through the Lifecycle. Intermittent hypoxic training (IHT): effects on hematological and performance markers in elite distance runners. *NewYork: Kluwer/Plenum*
23. Katayama K, Matsuo H, Ishida K, et al (2003). Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal efficiency. *High Alt Med Biol* 4:291-304
24. Katayama K, Sato K, Matsuo H, et al (2004). Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 92:75-83
25. Levine B, Stray-Gundersen J (1992). A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sports Med* 13:209-212
26. Levine B, Stray-Gundersen J (1997). Living high-training low: effect of moderate altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 83:102-112
27. Magalha J, Ascensao A, Soares J, et al (2005). Acute and severe hypobaric hypoxia increases oxidative stress and impairs mitochondrial function in mouse skeletal muscle. *J Appl Physiol* 99:1247-1253
28. Meeuwsen T, Hendriksen I, Holewijn M (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol* 84:283-290
29. Monod M, Scherrer J (1965). The work capacity of a synergic muscle group. *Ergonomics* 8:329-338
30. Nummella A, Rusko H (2000). Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400m running performance at sea level. *J Sport Sci* 18:411-419
31. Rivera P, McGregor M, Stephen J (2005). Validiaty and reliability of computrainer and powertap powermeters during incremental and steady state exercise. *Med Sci Sports Exerc* 37:S22
32. Rodriquez, F, Casas H, Casas M, et al (1999). Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* 31:264-268
33. Samaja M, Brenna L, Allibardi S, et al (1993). Human red blood cell aging at 5,050m altitude: a role during adaptation to hypoxia. *J Appl Physiol* 75:1696-1701
34. Saunders P, Telford R, Pyne D (2004). Improved running economy in elite runners after 20 days of moderate simulated altitude exposure. *J Appl Physiol* 96:931-937
35. Savchenko Z, Yugai N (1993). Interval hypoxic training in volleyball. *Hypoxia Med J* 3:32-34
36. Serebrovskaya T (2002). Intermittent hypoxia research in the former Soviet Union and the commonwealth of independent states: history and review of the concept and selected applications. *High Alt Med Biol* 3:205-221
37. Stray-Gundersen J, Chapman R, Levine B (2001). Living high-training low altitude training improves sea level performance in male and female runners. *J Appl Physiol* 91:113-120
38. Sucec A (1996). The effect of moderate altitude on endurance running events in the Mexico Olympics. *Dallas:Pre-Olympic Scientific Congress*
39. Taylor H, Wang Y, Rowell G, et al (1963). The standardization and interpretation of submaximal and maximal test of working capacity. *Pediatrics* 32:703-722
40. Terrados N, Melichna J, Jansson E, et al (1988). Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Phyiol* 57:203-209
41. Wood M, Dowson M, Hopkins W (2006). Running performance after acutely intermittent simulated altitude exposure. *Eur J Sport Sci* 6:163-172

Cita Original

Swain C. B., Kirby T. E., Altschuld J. W. Simulated Altitude via Re-Breathing Improves Performance in Well-Trained Cyclists. *JEPonline*; 13 (6): 21-34, 2010.