

Artículo original

**INFLUENCIA DE LA OXIGENACIÓN HIPERBÁRICA EN EL RENDIMIENTO
FUNCIONAL AEROBIO DE CICLISTAS VENEZOLANOS**

**INFLUENCE OF HYPERBARIC OXYGENATION ON FUNCTIONAL AEROBIC
PERFORMANCE OF VENEZUELAN CYCLIST**

Gilberto Mendoza *, María Elena González Revuelta **

* Médico Cirujano. Especialista en Medicina Hiperbárica Ecografista Integral Magister en Control Médico del Entrenamiento Deportivo. Docente en la UPTAEB. en el área de fisiología del ejercicio y primeros auxilios Venezuela. Email otreblig23@otmail.com

** DrC, Especialista en Fisiología Normal y Patológica. Magister en Control Médico del Entrenamiento Deportivo. Profesora Titular y Consultante. Investigadora Auxiliar. IMD Email mariele@infomed.sld.cu

RESUMEN

Se realizó un estudio experimental, prospectivo, longitudinal y de cohorte transversal, con 8 ciclistas venezolanos de pista área larga, con el objetivo de determinar la influencia de la oxigenación hiperbárica sobre el comportamiento de variables biomédicas relacionadas con el rendimiento funcional aerobio. Para el estudio los ciclistas fueron agrupados aleatoriamente en un grupo control y otro experimental de 4 ciclistas cada uno, los que fueron sometidos a tres pruebas de esfuerzo, hasta el agotamiento en un veloergómetro: al inicio y final de la preparación general y final de la preparación especial de un macrociclo. El grupo experimental recibió 20 sesiones de oxigenación hiperbárica durante 1 hora, en días alternos post entrenamiento, hasta completar 10 sesiones a mediados de la preparación general y 10 sesiones a mediados de la especial. Todos los ciclistas entrenaron bajo el mismo régimen de cargas físicas. Se observó tendencia a la mejoría de la frecuencia cardíaca submáxima en escalones de carga, del porcentaje de recuperación de la frecuencia cardíaca, de los valores de MVO₂ absoluto y relativo y del pulso de oxígeno en el grupo experimental con respecto al control, siendo esto más evidente al final de la preparación especial, aunque no todas las comparaciones realizadas entre los grupos, arrojaron diferencias estadísticamente significativas para un nivel de $p \geq 0,05$. Se concluye que la oxigenación hiperbárica ejerció una influencia positiva, en el rendimiento

funcional aerobio de los sujetos experimentales, favoreciendo posiblemente una mejor recuperación metabólica y fisiológica de los deportistas. Los resultados se muestran en tablas y gráficos.

Palabras claves : oxigenación hiperbárica , rendimiento aerobio, ciclismo de pista.

ABSTRACT

An experimental, prospective, longitudinal and cross-sectional cohort study was conducted with 8 track cyclists venezuelan large area, in order to determine the influence of hyperbaric oxygenation on the behavior of biomedical variables related to functional aerobic performance. To study the cyclists were grouped randomly into a control group and an experimental 4 riders each, who underwent three exercise tests to exhaustion on a cycle ergometer: the beginning and end of the general preparation and end of the special preparation of a macrocycle. The experimental group received 20 sessions of hyperbaric oxygen for 1 hour post workout every other day, to complete 10 sessions in the beginning of general training stage, and the other 10 at the end of special training stage. All cyclists trained under the same regime of physical loads. Improving trend in heart rate at submaximal load steps , the percentage of recovery of heart rate , the values of absolute and relative MVO₂ and oxygen pulse in the experimental group compared to the control was observed, this being more evident at the end of the special preparation , although not all comparisons between groups yielded statistically significant differences for $p \leq 0.05$ level . We conclude that hyperbaric oxygen exerted a positive influence in the aerobic functional performance of the experimental subjects , possibly leading to a better metabolic and physiological recovery of athletes. The results are shown in tables and graphs.

Key Words: hyperbaric oxygenation, aerobic performance, track cycling

INTRODUCCIÓN

A partir de 1984 un número considerable de publicaciones han resumido las implicaciones fisiológicas del entrenamiento en la altura tanto para un mejor desempeño aeróbico como anaeróbico en la altura y luego de regreso al nivel del mar a tenor con el creciente interés en la estimulación hipóxica como modalidad de entrenamiento de deportistas.

La exposición periódica a un medio ambiente hipóxico hipobárico, es una vía legal y de demostrada efectividad en la mejora de la capacidad de transportación del oxígeno en los deportistas. ⁽¹⁾ Igualmente la biotecnología ha ofertado diversas invenciones que han despertado un marcado interés en el uso de la hipoxia para elevar las capacidades del deportista. ^(2, 3, 4, 5)

En contraposición al entrenamiento de altura y a la cámara de hipoxia hipobárica, la oxigenación hiperbárica (OHB) utiliza una cámara en la que se soportan elevadas presiones, tales como de 2 ó 3 atmósferas absolutas de oxígeno. ⁽⁶⁾

Aunque en la literatura se recogen la experiencia de deportistas de elite ⁽⁷⁾ quienes refieren que el sometimiento a la cámara hiperbárica ofrece bondades desde el punto de vista de la capacidad aeróbica, sin embargo en la literatura revisada no hemos encontrado estudios científicos realizados en deportistas de alto rendimiento con la aplicación de éste procedimiento.

Por tanto resulta necesario profundizar en el impacto que provocaría la aplicación de este procedimiento en el rendimiento funcional aerobio de deportistas sometidos a un régimen de entrenamiento intenso y prolongado. En esta investigación nos propusimos darle respuesta a la interrogante de cómo influye la oxigenación hiperbárica sobre el rendimiento funcional aerobio de los ciclistas de pista de área larga, sustentando nuestro trabajo sobre la hipótesis de que la oxigenación hiperbárica ejerce una influencia positiva en el organismo del deportista contribuyendo a obtener mejores resultados en el rendimiento funcional aerobio de los ciclistas sometidos a este procedimiento.

Los objetivos que nos propusimos fueron los de determinar el rendimiento funcional aerobio en un grupo de ciclistas de pista de área larga, que recibieron tratamiento con oxigenación hiperbárica durante un macrociclo, y a la vez analizar la posible influencia de la OHB y de otros factores interactuantes sobre el rendimiento funcional aerobio de los ciclistas de pista de área larga.

MATERIAL MÉTODOS

Se realizó un estudio experimental, prospectivo, longitudinal de panel descriptivo y analítico explicativo con ciclistas de área larga de la selección mayores del Estado Lara, en Venezuela.

La muestra estuvo compuesta por 8 ciclistas del sexo masculino divididos en un grupo control y otro experimental con 4 deportistas cada uno, seleccionados aleatoriamente.

A los ciclistas del grupo experimental se les aplicaron 20 sesiones de oxigenación en cámara hiperbárica, cantidad adecuada (según lo recomendado en la literatura especializada para obtener beneficios ⁽⁸⁾ y distribuidas de la siguiente forma: 10 sesiones aplicadas a mediados de la preparación general la que tuvo una duración de 8 semanas y otras 10 sesiones aplicadas a mediados de la preparación especial la que tuvo una duración de 20 semanas.

Cada sesión de oxigenación hiperbárica se realizó en una cámara monoplace marca "Life" cerrada herméticamente y presurizada a razón de 14,7 PSI (1 atmósfera) y una pureza de oxígeno en el interior de la cámara entre un 99,9 y 100%. Las sesiones de terapia tuvieron una duración de 1 hora y fueron aplicadas con posterioridad a las sesiones de entrenamiento y con una frecuencia aproximada de una sesión en días alternos hasta completar las sesiones establecidas.

A todos los sujetos experimentales así como al entrenador se les explicó detalladamente el procedimiento que se seguiría en la cámara hiperbárica ya que este proceder se requería tanto para solicitar el consentimiento informado de los sujetos lo que se solicitó de forma verbal y escrita así como para lograr

una adecuada cooperación durante las aplicaciones y poder obtener los mejores resultados.

Las aplicaciones de oxigenación hiperbárica fueron realizadas y supervisadas por personal especialmente entrenado para su aplicación.

Cada sujeto experimental fue sometido además a tres pruebas de esfuerzo, consistentes en un test escalonado, triangular sin pausas y hasta el agotamiento en un veloergómetro marca Monark ubicado en el laboratorio de pruebas de esfuerzo del CENACADE de Barquisimeto, estado de Lara.

Las pruebas de esfuerzo se realizaron en tres momentos de la preparación: Inicio y final de la preparación general (IPG y FPG) y final de la preparación especial. (FPE)

Previo a la realización de la prueba de esfuerzo a todos los sujetos se les realizó un estudio electrocardiográfico de 12 derivaciones para descartar alteraciones funcionales en reposo, como criterio de exclusión del estudio. Ninguno de los ciclistas del equipo fue excluido.

Durante las pruebas de esfuerzo se determinaron un conjunto de variables e indicadores fisiológicos que permitieron realizar el diagnóstico del rendimiento funcional aerobio de cada ciclista.

Las variables e indicadores utilizados fueron operacionalizados de la siguiente forma:

➤ **Pulsometría e indicadores cardiovasculares determinados**

- Frecuencia cardiaca máxima predicha (según fórmula de Tanaka 2001 para hombres y mujeres entrenados en resistencia), según la fórmula $f_{cmax} = 206 \times 0,7(edad)^{(9,10)}$
- Frecuencia cardiaca en reposo: se determinó con los sujetos sentados y después de reposar durante 15 minutos en esta posición.
- Frecuencia cardiaca al final de cada escalón de carga (**como indicador de la capacidad de adaptación cardiovascular al entrenamiento**)
- Frecuencia cardiaca máxima alcanzada (frecuencia cardiaca registrada en el máximo esfuerzo)
- %Frecuencia cardiaca alcanzada de acuerdo a la predicha(**como indicador del esfuerzo máximo realizado durante la prueba de esfuerzo**)
- Frecuencia cardiaca en los minutos 1, 3 y 5 después de finalizada la prueba
- % de frecuencia cardiaca de recuperación en los minutos 1, 3 y 5 de la recuperación (**como indicador de la capacidad de recuperación cardiovascular post esfuerzo.**)

La frecuencia cardiaca se expresó en lat/min y se registró durante toda la prueba con un pulsómetro marca POLAR, de fabricación norteamericana, anotándose el valor de frecuencia cardiaca que indicaba el pulsómetro en el segundo 59 del último minuto de cada escalón, y en el momento exacto de finalizar la prueba.

➤ **Variable e Indicador del desempeño durante la prueba**

- Carga máxima vencida durante la prueba de esfuerzo expresada en watts
- Índice carga /peso (Watts/Kg)
- **Variables e indicadores aerobios y de eficiencia cardiovascular**
- Consumo máximo de oxígeno (MVO_2): Se determinó de forma indirecta según la fórmula de Wasserman y Whipp ⁽¹¹⁾
 $MVO_2 = 5.8 \times \text{peso (Kg.)} + 151 + (10.5 \times Nm)$ donde:

Nm= potencia máxima alcanzada, y 10.5= factor de corrección para atletas de alto rendimiento. El MVO_2 se expresó en l/min.

- Consumo máximo de oxígeno relativo al peso corporal ($MVO_2 / Kg.$), se expresó en ml / Kg. / min.
- Pulso de oxígeno (MVO_2/ FCM), se expresó en ml / latidos.
- **Indicador del rendimiento energético durante la prueba**
- METS: según la fórmula $MVO_2/Kg /3,5$

El procesamiento estadístico de los resultados se realizó utilizando el paquete estadístico SPSS-PC versión 11,5 y una microcomputadora lapto modelo Compacq

Se determinaron las estadísticas descriptivas de todas las variables biomédicas determinadas tanto en el grupo experimental como en el grupo control.

Para establecer las comparaciones de los resultados arrojados, entre el grupo experimental y control en cada uno de los momentos del estudio se realizó la prueba no paramétrica de Mann Whitney, mientras que para establecer las comparaciones intragrupos entre los momentos estudiados se aplicó la prueba de los rangos con signos de Wilcoxon. En ambas pruebas se fijó un nivel de significación estadística de $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

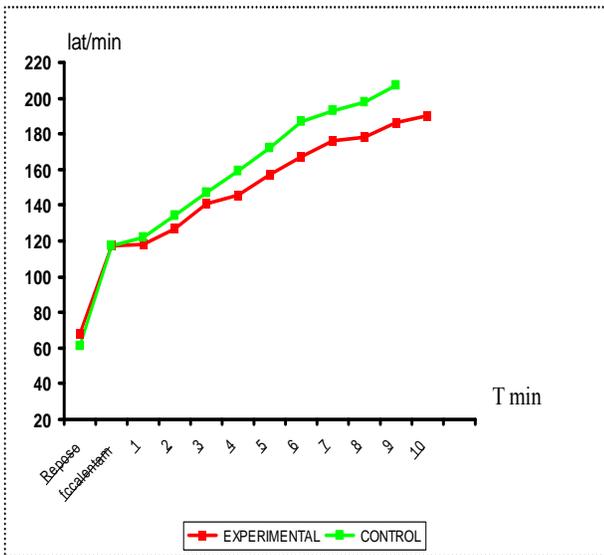
La edad cronológica promedio del grupo experimental fue de 24 años y una edad deportiva promedio de 6 años, mientras que el grupo control tuvo una edad cronológica promedio de 20 años y una edad deportiva promedio de 3 años.

Otro dato de interés es que todas las pruebas de esfuerzo realizadas resultaron ser adecuadas para el diagnóstico, por alcanzar todos los ciclistas valores francamente por encima del 90 % de la frecuencia cardíaca máxima en relación a la predicha, durante la prueba de esfuerzo máximo, en los tres momentos del estudio.

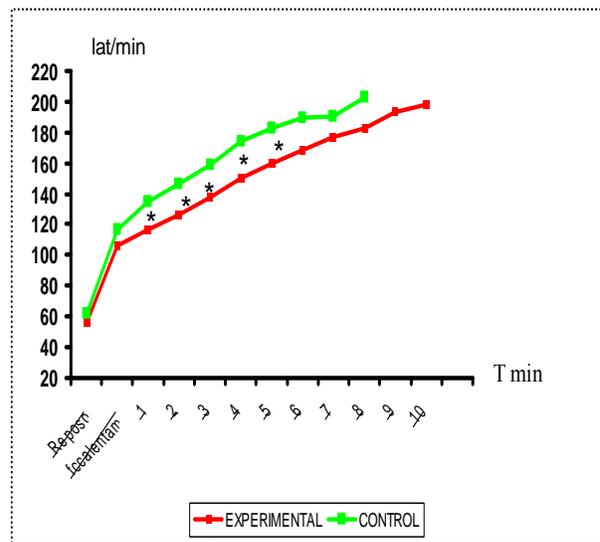
En el Gráfico 1 se muestra el comportamiento de la frecuencia cardíaca por escalones de carga en las pruebas de esfuerzo realizadas en los tres momentos del estudio. Se observa que desde el IPG los sujetos del grupo experimental mostraron una discreta mejor condición cardiovascular que el grupo control durante los escalones de carga, al vencer los escalones con frecuencias cardíacas ligeramente más bajas de forma general. Al final de la preparación general, es decir, después de la aplicación de las diez primeras sesiones de la cámara hiperbárica las diferencias entre los grupos control y

experimental se acentuaron, lo que resultó más evidente durante la etapa de preparación especial ya que mientras el grupo experimental logró vencer 10 escalones con un menor esfuerzo cardiovascular, el grupo control requirió mayores ajustes desde el punto de vista cronotrópico del corazón para vencer un número menor de escalones.

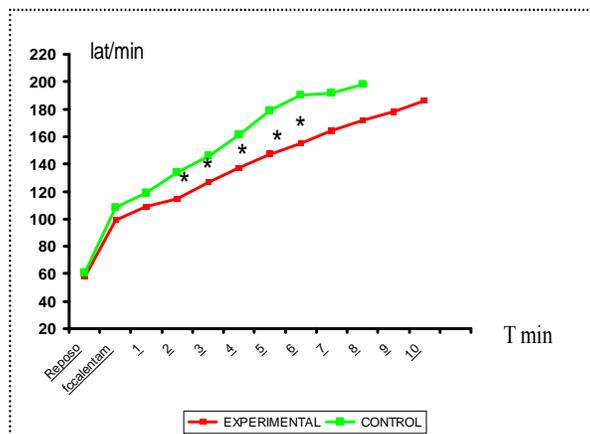
IPG



FPG



FPE



*Dif signif entre grupo experimental y control en los minutos señalados para $p \leq 0,05 = 0,029$

Las comparaciones estadísticas realizadas entre las frecuencias cardiacas por escalones de carga, en la segunda y tercera prueba, mostraron diferencias estadísticamente significativas en un número considerable de escalones para $p < 0,05$ entre los sujetos del grupo experimental y control. (Gráfico 1)

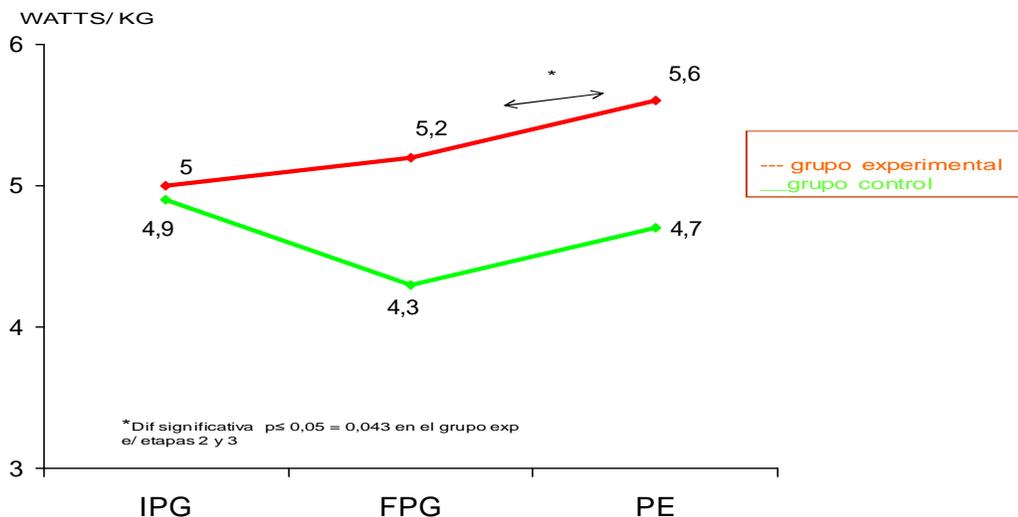
En la Tabla I se observa la evolución del porcentaje de recuperación de la Frecuencia cardiaca en los minutos 1, 3 y 5 después del esfuerzo en los diferentes momentos del estudio. Como puede observarse al IPG los porcentajes de recuperación del grupo experimental estuvieron por encima de los del grupo control excepto en el minuto 1 de la recuperación. Al FPG y FPE las diferencias entre los grupos control y experimental se acentuaron siendo mejores en el grupo experimental, a pesar de que en ambos grupos el entrenamiento con cargas de mayor intensidad incidió en este momento del estudio.

Tabla 1. Porcentaje de recuperación de la frecuencia cardiaca en los minutos ,1 3, y 5 post esfuerzo en los tres momentos del estudio Fuente: Ciclismo pista Estado Lara.

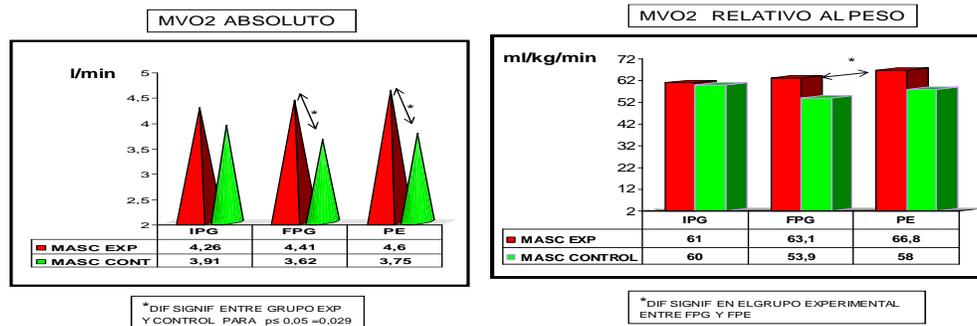
Experimental	IPFG	FPFG	FPE	Control	IPFG	FPFG	FPE
Min 1	25	25	31		24	16	16
Min 3	52	42	47		48	40	38
Min 5	52	52	70		52	47	56

El Gráfico 2 muestra la evolución del indicador Carga/peso en los diferentes momentos del estudio, tanto en el grupo experimental como en el grupo control. Se aprecia evolutivamente que el índice carga peso mejoró en el grupo experimental, no así en el grupo control que disminuyó ostensiblemente el valor de este indicador, al FPG, y aunque tendió a mejorar nuevamente en la PE, los resultados quedaron bastante por debajo del grupo experimental. Se encontraron diferencias significativas en el grupo experimental para un valor de $p < 0,05$ entre el FPG y FPE.

Gráfico 2. Comportamiento del índice carga peso en los diferentes momentos del estudio, en los sujetos experimentales y controles. Fuente: Ciclismo pista Estado Lara



En el Gráfico 3 se muestra los resultados del máximo consumo de oxígeno absoluto y relativo al peso, tanto en sujetos experimentales como en los controles y en los tres momentos del estudio.



Se observa que en relación al MVO_2 los sujetos experimentales tendieron a una discreta mejoría del valor del indicador, en los tres momentos del estudio. El grupo control mostró el valor más bajo, al FPG como consecuencia de que fue el momento en el que mostraron el peor desempeño. Las comparaciones realizadas entre grupo experimental y control mostraron diferencias estadísticamente significativas para $p < 0,05$ en las dos últimas pruebas realizada.

En relación al MVO_2 relativo al peso, (MVO_2/Kg) se encontró una total correspondencia con los resultados obtenidos para el MVO_2 , es decir, los sujetos controles mostraron un empeoramiento del valor de este indicador, en la segunda y tercera prueba, siendo más bajo este valor al FPG, mientras que los del grupo experimental mostraron una tendencia a mejorar a lo largo del macrociclo. Se encontraron diferencias significativas para $p < 0,05$ al comparar los resultados del grupo experimental en las dos últimas pruebas.

En la Tabla 2 se observan los resultados obtenidos para el pulso de oxígeno, indicador que permite evaluar la eficiencia cardiovascular. Se observa que todos los sujetos mejoraron durante el transcurso de la preparación general excepto el grupo control.

Tabla 2. Valores promedio del Pulso de oxígeno en sujetos experimentales y controles, en los tres momentos del estudio. Resultados de las comparaciones realizadas. Fuente: Ciclismo pista Estado Lara

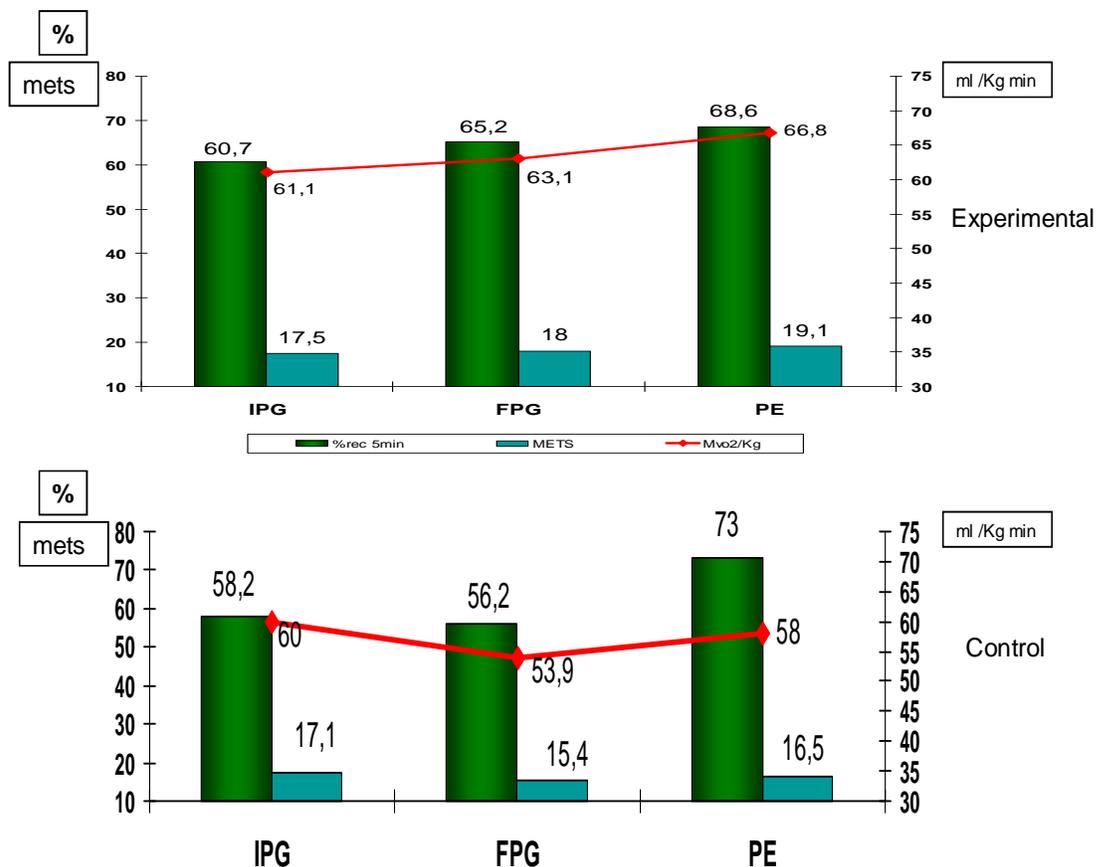
	IPFG	FPG	FPE
Experimental	22,4	22,9	25
Control	19,4	18,3	18,7

*DIF SIGNIF ENTRE GRUPO EXP Y CONTROL PARA $p \leq 0,05 = 0.029$ Al FPG y FPE

**DIF SIGNIF $p \leq 0,05 = 0.029$ ENTRE FPG Y FPE Grupo Experimental

Finalmente el Gráfico 4 resume las relaciones entre el consumo de oxígeno relativo al peso (MVO_2/Kg), el rendimiento energético alcanzado durante las pruebas de esfuerzo y la capacidad de recuperación de la frecuencia cardiaca después del esfuerzo, observándose los valores más elevados de las tres variables durante el transcurso del macrociclo, en los sujetos experimentales después de recibir las 20 sesiones de la OHB, así como una ligera mejoría de la capacidad de recuperación de los sujetos controles en la etapa de PE.

Gráfico 4. Relaciones entre MVO_2/Kg (ml/kg/min), el rendimiento energético (mets) y el porcentaje de recuperación de la Fc al 5to. min después del ejercicio en sujetos experimentales y controles en los diferentes momentos del estudio Fuente: Ciclismo pista Estado Lara.



Se conoce que la actividad física es uno de los factores que en mayor medida incrementa la tasa metabólica generando un aumento marcado de las demandas de nutrientes y de oxígeno para la síntesis de ATP y que las necesidades de este elemento se incrementan marcadamente en ejercicios de moderada a gran intensidad y prolongados en el tiempo, generándose un déficit de oxígeno en el organismo que desencadena mecanismos de ajuste homeostático muchos de los cuales operan en el límite de la fisiología normal del ser humano provocando a largo plazo adaptaciones en el organismo de los deportistas.

Aun cuando se conoce el efecto positivo que provoca la aplicación de la cámara hiperbárica sobre el metabolismo oxidativo ⁽¹²⁾ así como los efectos de su utilización en patologías caracterizadas por un déficit marcado de oxígeno, no hemos encontrado en la literatura revisada el efecto que podría provocar su utilización en el deporte de alto rendimiento como método de suministro adicional de oxígeno.

A nuestro criterio, y después de analizar los valores promedio de frecuencia cardiaca de los ciclistas del grupo experimental y el control, en cada escalon de carga durante la prueba de esfuerzo y en cada uno de los momentos del estudio, (Gráfico 1), así como los resultados correspondientes a la capacidad de recuperación que aparecen reflejados en la Tabla I, las diferencias observadas entre ellos, pudieron deberse más que a una gran mejoría del grupo experimental, a una peor asimilación de las cargas de entrenamiento del grupo control conforme fue avanzando el macrociclo.

Estos resultados podrían estar relacionados al hecho de que aunque el régimen de entrenamiento (tanto en relación al volumen como a la carga aplicada) tuvo su repercusión en ambos grupos, en los sujetos controles, más que beneficiarlos pudo haber provocado un efecto opuesto. Ciertamente se pudo comprobar que la inminencia de participar en algunas competencias durante el macrociclo seleccionado, requirió momentos de una mayor intensidad de la carga para todos los ciclistas, al final de la preparación general, lo que se reflejó en el comportamiento de la frecuencia cardiaca en esta segunda prueba, pero mientras que en el caso de los sujetos experimentales esta situación no tuvo una gran repercusión mas allá de la anteriormente señalada, en el caso de los sujetos controles se observo un empeoramiento notable de la frecuencia cardiaca en las dos últimas pruebas, lo que podría deberse a nuestro juicio a que entre otros factores, ellos carecieron del efecto beneficioso que podría haberles aportado la oxigenación hiperbárica en el rendimiento cardiovascular.

En resumen todos estos resultados obtenidos en relación a la pulsometria denotan en los sujetos experimentales una mejor capacidad de adaptación cardiovascular al esfuerzo así como de la capacidad de recuperación cardiovascular durante el macrociclo de entrenamiento, a pesar de que ambos grupos estuvieron sometidos a un régimen de entrenamiento similar.

Otro indicador controlado evolutivamente en este estudio fue el Índice carga peso, (Gráfico 2) cuyo resultado evolutivo fue mejor en los sujetos experimentales lo que reafirma el planteamiento realizado en el párrafo anterior.

En cuanto a los indicadores aerobios tenemos que en relación al Máximo consumo de oxígeno absoluto (MVO₂) (Gráfico 3) el resultado obtenido constituye una consecuencia de los resultados observados en el desempeño, ya que la ecuación utilizada para inferir de forma indirecta el valor de este indicador, incluye además del peso corporal, a la carga máxima vencida en la bicicleta ergométrica. De ahí, que los sujetos experimentales tendieran a una discreta mejoría del valor absoluto del indicador, en los tres momentos del estudio, al igual que se observó en el indicador relativo, mientras que los sujetos controles mostraron tendencia a valores mas bajos en las dos últimas pruebas. Igualmente en relación a la eficiencia cardiovascular, mientras que los sujetos experimentales tendieron a mejorar durante el macrociclo, ocurrió lo contrario en los sujetos controles. Esto puede explicarse, como es de esperar por el mayor peso corporal, mayor desempeño durante las pruebas ergométricas, y por frecuencias cardiacas máximas alcanzadas ligeramente más bajas que el grupo control en las dos últimos momentos

Los resultados reflejados en el gráfico 4 corrobora lo antes planteado, observándose una mejor preparación de los sujetos experimentales para sufrir los embates del entrenamiento durante el macrociclo. Además se aprecia que aún cuando todos los ciclistas fueron sometidos a igual régimen de cargas físicas a lo largo del macrociclo, fueron los controles los que peor asimilaron el incremento de la intensidad de la carga aplicada al final de la preparación general como parte de la preparación para las competencias programadas dentro del macrociclo. Por otra parte aunque en la preparación especial hubo mejoría de la capacidad de recuperación cardiovascular en los sujetos controles, sin embargo lejos de poder esto ser atribuido a los efectos beneficiosos del entrenamiento de resistencia al que estuvieron sometidos todos los ciclistas, esto fue provocado, a nuestro criterio por un detrimento marcado del desempeño que sufrieron los ciclistas controles en esa etapa.

De forma general, tres factores fundamentales podrían estar incidiendo en nuestro estudio como causas de los resultados observados: las edades cronológicas y deportivas de los sujetos, el efecto del entrenamiento y la posible influencia de la oxigenación hiperbárica

En relación con las edades, si bien es cierto que aunque el azar estuvo presente en la conformación de los grupos, se presentó un pequeño sesgo por cuanto los sujetos experimentales presentaron una edad cronológica promedio 4 años mayor que la de los sujetos controles, mientras que las edades deportivas referidas por los deportistas resultaron ser unos 3 años superior a la de los controles. Esta diferencia en edades cronológicas y posiblemente deportivas podrían estar influyendo en los resultados, sin embargo, si así fuera la evolución de los parámetros funcionales estudiados durante el transcurso del macrociclo debieron haber mostrado una mejoría más manifiesta en los sujetos más jóvenes, ya que, en los de mayor edad aún cuando los indicadores pueden también incrementarse, el incremento debió haber sido menos notable que en los controles, por estar más cerca de los valores que su potencial genético determina. Sin embargo este comportamiento no se observó estrictamente de esta forma, ya que a pesar de que las mediciones iniciales fueron muy similares en ambos grupos, la mejoría de los experimentales fue mucho más evidente durante el macrociclo, lo que apunta al hecho de que otros factores también están influyendo en los resultados.

En relación con el efecto del entrenamiento no se puede descartar de forma absoluta que en los sujetos experimentales mejorara el transporte de oxígeno a los tejidos por el efecto provocado por la Oxigenación Hiperbárica ya que se conoce que esta terapéutica aumenta el contenido de oxígeno en la sangre, disolviendo grandes cantidades del mismo en el plasma.^(13, 14) lo que podría favorecer no solo el rendimiento funcional aerobio logrado por el entrenamiento, sino también a la capacidad de recuperación de los deportistas de alto rendimiento y de esta forma colaborando al restablecimiento de la homeostasis por favorecer los procesos de resíntesis de sustratos y recuperación energética y fisiológica tan necesarios para la recuperación total del deportista de alto nivel una vez concluidas las sesiones de entrenamiento lo que redundaría en lograr mejores resultados.

En cuanto a la influencia de la OHB, además de lo antes referido en cuanto al aumento del transporte de oxígeno en el plasma, tampoco se puede descartar el posible efecto provocado por la oxigenación hiperbárica contrarrestando el estrés oxidativo a través de la estimulación de los mecanismos antioxidantes⁽¹⁵⁾

Se conoce que el ejercicio de alta intensidad induce estrés oxidativo.⁽¹⁶⁾ En 1978 se demostró por primera vez que el ejercicio físico podía conducir a un incremento en la peroxidación lipídica. Dillard y col. observaron un aumento de 1,8 veces en el nivel de pentosas exhaladas, un posible subproducto del daño oxidativo lipídico, luego de 60 minutos de bicicleta a 25-75% del $VO_{2máx}$ ⁽¹⁷⁾

Desde entonces se han acumulado crecientes evidencias que sostienen la hipótesis de que la actividad física tiene el potencial de aumentar la producción de radicales libres y conducir al estrés oxidativo provocando la peroxidación lipídica, la oxidación proteica y el daño al ADN.

Los mecanismos que subyacen al estrés oxidativo inducido por el ejercicio aún no son bien comprendidos, aunque el aumento de la temperatura corporal y los niveles de catecolaminas pueden incrementar la tasa de formación de radicales libres.⁽¹⁸⁾

Existen diversos medios por los cuales los radicales libres podrían ser generados durante la participación en deportes y ejercicio⁽¹⁸⁾, tales como un consumo de oxígeno incrementado (de por sí es un diradical), producción de intermediarios, como superóxidos, peróxido de hidrógeno y radicales hidroxilos, incremento de epinefrina y otras catecolaminas que pueden producir radicales del oxígeno, producción de ácido láctico que puede convertir a un radical libre poco perjudicial (superóxido) en uno fuertemente perjudicial (hidroxilo).

Se ha demostrado que el entrenamiento físico genera un sistema antioxidante aumentado y una reducción en la peroxidación de lípidos. El atleta que practica de forma irregular puede no tener el sistema de defensa antioxidante aumentado, lo que se produce a través del entrenamiento continuo. Esto puede hacerlo más susceptible al estrés oxidativo. Igualmente en la medida que el VO_{2} máximo se incrementa y por ende el estrés oxidativo, se producen más radicales libres.

Para tener una adecuada salud y lograr un adecuado rendimiento deportivo debe existir un estrecho balance entre los mecanismos que generan radicales libres del Oxígeno (RLO) y los que los neutralizan.⁽¹⁶⁾

Si tenemos en cuenta que los ciclistas del presente estudio en ocasiones algunos de ellos no mantienen regularidad en la frecuencia del entrenamiento, y que tampoco son adecuadamente suplementados con antioxidante e incluso no se ha podido controlar la dieta que reciben por no encontrarse concentrados todos ellos en un internado, no podemos descartar la presencia de un cierto grado de estrés oxidativo el cual no fue tampoco cuantificado en este trabajo por carecer de los recursos necesarios para ello.

Lo antes expuesto tampoco nos permite descartar que la terapéutica con OHB haya podido estimular en cierta medida la producción de los mecanismos antioxidantes en los ciclistas que la recibieron, favoreciendo los procesos de recuperación energética y fisiológica en estos sujetos y reduciendo los fenómenos de daño celular que disminuirían la capacidad de recuperación y resíntesis de los sustratos tan necesaria después del ejercicio de resistencia.

Consideramos que el objetivo propuesto se ha cumplido pues no se ha podido esgrimir en este estudio elementos que permitan refutar la hipótesis de trabajo planteada, demostrándose así el posible efecto beneficioso de la OHB sobre el rendimiento funcional aerobio de los ciclistas de área larga, pero sin que se pretenda establecer una relación directa causa efecto entre la aplicación de esta terapéutica y los resultados observados ya que sobre los mismos influyen otros factores ya mencionados que no han podido ser controlados en este trabajo y que nos limitan para poder llegar a conclusiones más certeras en relación a los resultados obtenidos .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rusko HK, Tikkanen HO, Peltonen JE. Altitude and endurance training. J Sports Sci. 2004 ; 22 (10):928-44
2. Baker A, Hopkins WG. Altitude training for sea level competition. In: Sports Science. Training & Technology. Internet Society for Sports Science. (revista electrónica). (Consultado el 20/03/2011). Disponible (Online) en: <http://www.sportsci.org/traintech/altitude/wgh.html>. 1998
3. Pfitzinger P. Highlights of the Third Annual International Altitude-Training Symposium Sport science 2000; (Consultado el 20/03/2011) Disponible en: <http://www.sportsci.org/jour0001/pp.html>.2000
4. Casas M, Casas H, Pages T, Rama R, Ricart A, Ventura JL, "et al" Intermittent hypobaric hypoxia induces altitude acclimation and improves the lactate threshold. Aviat Space Environ Med 2000; 71(2):125-30.
5. Wilber RL. Current trends in altitude training. Sports Med 2001;31(4):249-52
6. Desola J. Bases y Fundamento terapéutico de la oxigenación hiperbárica. Revista virtual de Medicina Hiperbárica 1998; Vol LIV (1260). (Consultado 11 /10/2013). [Disponible en http://www.cccmh.com/BasesOHB.htm](http://www.cccmh.com/BasesOHB.htm).
7. Diaz GD. La cámara hiperbárica de Djokovic. 11/10 2011. (Consultado 28/09/ 2013. Disponible en <http://www.vitonica.com/equipamiento/>
8. Solerme MC. El oxígeno en la bioenergética celular. ACTA MEDICA 2003;11(1):26-37
9. Tanaka H, Monahan KG, Seals DS. Age predicted maximal heart rate revisited. J Am Coll Cardiol 2001; 37: 153-6
10. Robergs RA, Landwehr R. La sorprendente historia de la ecuación 220-edad JEPonline 5(2) May 2002. (Consultado 13/02/ 2009) Disponible en http://www.ergowin.com.ar/Documentos/prediccion_fcmx.doc

11. Wasserman K. "Prediction of oxygen uptake and CO₂ output for any given workload in watts". In. Erich Jaeger (eds.) Ergoespirometry Seminar .Predicted values for exercise testing. Alemania: Jaeger.1981; 4-6.
12. Boerema I, Brummelkamp W H, and Meijne N G. Clinical application of Hyperbaric Oxygen. First Ed. Amsterdam :Elsevier Publishing Comp. 1964.
13. Boerema I, Meyne NG, Brummelkamp WH, Bouma S, Mensch MH, Kamermans F, Stern H M, et al. Life without blood Journal of Cardiovascular Surgery 1960; 1:133-146.
14. SNA Oxigenacion Hiperbárica en el deporte. (Consultado el 30/12/2004). Disponible en www.ohbcoppola.com./Deportes.html .
15. Salinas A. Papel biológico de los Radicales Libres. Medicina Subacuática e Hiperbárica. 3a. Edición. Madrid: Instituto Social de la Marina.1995; 633-649
16. .Insua MF .Radicales libres, estrés oxidativo y ejercicio. Revista Digital 2003 Año 9 - N° 66 (Consultado 03/03/2012). Disponible en <http://www.efdeportes.com>.
17. Dillard CJ .Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. J.Appl.Physiol 1978; 45: 927-932.
18. Del Castillo VC. Antioxidantes, Radicales libres y Ejercicio Revista Digital. 2000 año 5 No. 23 (Consultado 03/03/2012) Disponible en <http://www.efdeportes.com>