

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE MEDICINA

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“Efecto de la Oxigenación Hiperbárica Sobre el Umbral Anaeróbico en Nadadores Nativos de Altitud 2200m”

**TESIS QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN
MEDICINA DEL DEPORTE
PRESENTA:**

FERNANDO IBSAN TORRES PUEBLA

DIRECTORES DE TESIS

DR. ALEXANDRE KORMANOVSKY KOVSOVA

MÉXICO, D. F.

MAYO DE 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 12:00 horas del día 02 del mes de diciembre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de de la E.S.M. para examinar la tesis de titulada:

“Efecto de la Oxigenación Hiperbarica Sobre el Umbral Anaerobio en Nadadores Nativos de Altitud 2200m”

Presentada por el alumno:

Torres	Puebla	Fernando Ibsan							
<small>Apellido paterno</small>	<small>Apellido materno</small>	<small>Nombre(s)</small>							
Con registro: <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">A</td> <td style="padding: 2px 5px;">0</td> <td style="padding: 2px 5px;">8</td> <td style="padding: 2px 5px;">0</td> <td style="padding: 2px 5px;">4</td> <td style="padding: 2px 5px;">9</td> <td style="padding: 2px 5px;">8</td> </tr> </table>			A	0	8	0	4	9	8
A	0	8	0	4	9	8			

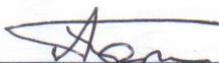
aspirante de:

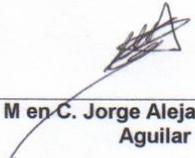
ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL DEPORTE

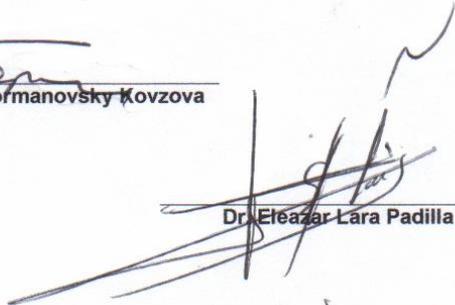
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis


 Dr. Alexandre Kormanovsky Kovzova


 M en C. Jorge Alejandro Gama Aguilar


 Dr. Eleazar Lara Padilla


 Dr. Antonio Ruiz Rivera


 Esp. María del Carmen Rosario Flores Solano

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


 Dr. Eleazar Lara Padilla



ESCUELA SUPERIOR DE MEDICINA
 I. P. N.
 SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA SESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 25 del mes mayo del año 2011, el que suscribe **Fernando Ibsan Torres Puebla** alumno del Programa de **Especialidad en Medicina del Deporte** con número de registro **A080498**, adscrito a la **Escuela Superior de Medicina**, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de **Dr. Alexandre Kormanovski Kovzova** y cede los derechos del trabajo intitulado “Efecto de la Oxigenación Hiperbarica Sobre el Umbral Anaerobio en Nadadores Nativos de Altitud 2200 m”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección drfertop@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Fernando Ibsan Torres Puebla
Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Coordinación General de Estudios de Postgrado e investigación, la Coordinación de la Especialidad de Medicina del Deporte, la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo para la realización de éste trabajo de tesis, el cual deriva del proyecto de investigación **“ EFECTO DE LA OXIGENACION HIPERBARICA SOBRE EL UMBRAL ANAEROBIO EN NADADORES NATIVOS DE ALTITUD 2200M ”**.

A mis Padres, que con todo su esfuerzo, amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido los arquitectos de innumerables oportunidades en mi vida e importantes guías en la consecución de cada una de ellas, el Dr. Fernando Torres Farías y la Sra. Dolores Puebla Calderón, a mi Esposa Verónica y mis dos hermosos hijos Paola Fernanda y Diego Fernando por su gran amor, comprensión y paciencia, a mis Hermanas Sandra Karina y Martha Esthela por su gran entusiasmo y apoyo, a la Sra. Mireya una gran amiga, a los Doctores Gerardo Zepeda Vallejo, José Guadalupe Trujillo Ferrara, Alexander Kormanovski y Jorge Alejandro Gama Aguilar, que gracias a su gran orientación y apoyo se convirtieron en parte fundamental para mi desarrollo como Persona y Médico Especialista.

TÍTULO

**“EFECTO DE LA OXIGENACION HIPERBARICA SOBRE EL UMBRAL
ANAEROBIO EN NADADORES NATIVOS DE ALTITUD 2200M”**

ÍNDICE

Agradecimientos.....	4
Título.....	5
Índice.....	6
Glosario.....	7
Relación de Tablas, Figuras y Gráficas.....	9
Resumen.....	10
Summary.....	12
Introducción.....	14
Antecedentes.....	18
Justificación.....	33
Hipotesis	35
Objetivos.....	36
Materiales y Métodos.....	37
Resultados.....	40
Análisis.....	47
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	51
Bibliografía.....	52

GLOSARIO

ANTIOXIDANTE: Son compuestos que se encargan de neutralizar o reducir la acción oxidante de los radicales libres, sin perder su propia estabilidad electroquímica. Esta biomolécula depende de la especie reactiva sobre la que actúa, dónde y como se genera esta, así como del daño que produce. Puede actuar en los diferentes procesos de la secuencia oxidativa y tener más de un mecanismo de acción.

ATMÓSFERA: Presión ejercida a nivel del mar por una columna de aire de 10.3 km de alto por una pulgada cuadrada, una columna de agua marina de 33 pies de profundidad, o 14.7 lbs por pulgada cuadrada.

CÁMARA HIPERBÁRICA: Recipiente hermético metálico o combinado con acrílico, en el cual se puede obtener presión mayor a la atmosférica y que se utiliza para dar tratamientos de oxigenación hiperbárica.

UMBRAL ANAERÓBICO: La velocidad de carrera que corresponde a 4 mmol/l de lactato en sangre. Umbral corresponde a la velocidad cuando la producción de lactato comienza a dominar sobre su eliminación por diferentes mecanismos

VO₂ máximo: Capacidad máxima de consumo de oxígeno.

Glucosa: La Glucosa ($C_6H_{12}O_6$) es un azúcar, que actúa como fuente principal de energía utilizado por las células y tejidos del organismo al combinarlo con el oxígeno de la respiración. Es regulada en el torrente sanguíneo por la hormona Insulina la cual hace que sea utilizada por los tejidos en forma de glucógeno, aminoácidos y ácidos grasos. En concentraciones muy bajas otra hormona llamada Glucagon la produce, manteniendo los niveles normales en sangre (60 a 100 mg/dl).

RELACIÓN DE TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICAS.

Tabla 1 . Datos de los parámetros medidos durante la prueba escalonada (7x200m) en 6 nadadores antes y 30 minutos después de sesión HBO .

Tabla 2. Datos de los parámetros de la prueba escalonada (7x200m) en 6 nadadores con diferencia de 7 días en grupo control.

Fig.1. Concentración de lactato (a) y FC (b) durante el periodo de recuperación después de la prueba escalonada en el grupo experimental (con sesión HBO).

Fig.2. Concentración de lactato (a) y FC (b) durante el periodo de recuperación después de la prueba escalonada en el grupo control (sin sesión HBO).

Fig.3. Costo anaerobio durante la prueba escalonada en el grupo experimental y de control.

RESUMEN

Introducción: la fisiología, la física y la bioquímica, se han convertido en herramientas importantes para acercar al atleta a los límites de la resistencia humana (lugar donde hoy se encuentran las medallas olímpicas) mediante el uso de hiperoxia normobarica y contemporaneamente la cámara hiperbárica (OHB), al provocar hiperoxia tisular se ha logrado disminuir el aumento de la concentración de lactato en sangre, y por lo tanto, la fatiga muscular. Hay escasos datos y por cierto contradictorios sobre los efectos de OHB al rendimiento de los atletas.

El objetivo de esta investigación fue investigar el efecto de una sesión de OHB a 2.5 ata x 50 minutos sobre el rendimiento de los nadadores de elite junto con el comportamiento metabólico y cardio – respiratorio en la prueba escalonada realizada en la alberca antes y después de la sesión de OHB.

Material y Métodos: 12 nadadores se dividieron en dos grupos: grupo experimental (6 nadadores) con una sesión HBO y grupo control (6 nadadores). Con ambos grupos se realizó dos test escalonados hasta velocidad máxima con diferencia de una semana, con medición de FC y lactato durante la prueba y en recuperación. La segunda prueba en el grupo experimental se realizó 45±15 minutos después de la sesión de OHB (2.5ATA, 10+50+15 minutos) mientras el grupo de control estuvo sin sesión.

El criterio de rendimiento fue el umbral anaeróbico (4 mmol/lactato).

Se realizaron 2 pruebas escalonadas una sin OHB y otras con OHB. Entre las pruebas se continuó con el programa normal de entrenamiento. La prueba sin OHB se realizó en la mañana, 2 horas después de un desayuno muy ligero y 7 días después se realizó la sesión de OHB, con las mismas características de alimentación.

Los parámetros de la sesión de OHB fueron los siguientes: 2.5 ATA, 100% de Oxígeno, 10 minutos de presurización, isopresión (tiempo de OHB) durante 50 minutos, la despresurización durante 15 minutos se realizó respirando OHB para evitar la inhalación de nitrógeno y la generación de fatiga.

En el espacio de una hora (45± 15 min) posterior a la sesión de OHB se realizó la prueba escalonada de 7 x 200 mts en la alberca. Antes de cada prueba se realizó calentamiento estandarizado durante 10 minutos. Los periodos de descanso entre los tramos se controlaron rigurosamente: 3 minutos después de cada 200 m. Se controló la velocidad parcial de los nadadores cada 200 m, se midió el tiempo de cada tramo y la frecuencia cardíaca con pulsómetro electrónico.

Resultados: se observó aumento significativo del umbral anaerobio (4 mmol/l de lactato) y decremento significativo en lactato máximo y FC máxima durante la prueba en el grupo experimental. No se observó efecto de la sesión OHB sobre velocidad de recuperación de ambos parámetros después de prueba.

El costo anaerobio durante prueba (lactato máximo/velocidad máxima) disminuyó significativamente solo en el grupo experimental.

Conclusión: el aumento de umbral anaerobio y decremento en el lactato máximo durante la prueba después de oxigenación hipérbárica están relacionados con la inhibición de la producción de lactato en glucólisis anaerobia y no con la acelerada eliminación de lactato.

SUMMARY

Introduction: the physiology, physics and biochemistry, have become important tools to bring the athlete to the limits of human endurance (where today are the Olympic medals) by the use of normobaric hyperoxia and simultaneously the hyperbaric chamber (OHB), by causing tissue hyperoxia has managed to reduce the increase in blood lactate concentration, and therefore, muscle fatigue. There are indeed few and contradictory data on the effects of HBO on the performance of athletes.

The objective of this research was to investigate the effect of one session of HBO at 2.5 ata x 50-minute performance of elite swimmers with the metabolic and cardio - respiratorio step test performed in the pool before and after HBO session.

Material and Methods: 12 swimmers were divided into two groups: experimental group (6 swimmers) with a session HBO and control group (6 swimmers). With both groups performed two tests with scaled up to full speed difference of a week, with measurement of heart rate and lactate during the test and recovery. The second test in the experimental group was 45 ± 15 minutes after the session of HBO (2.5ATA, 10 +50 +15 minutes) while the control group was without a meetin.

The performance criterion was the anaerobic threshold (4 mmol / lactate).

2 tests were conducted on a phased basis without HBO and other HBO.

Among the tests were continued with the normal training program. The test was performed without HBO in the morning, 2 hours after a very light breakfast and 7 days after the session was HBO, with the same power characteristics.

The parameters of the OHB session were as follows: 2.5 ATA, 100% oxygen, 10 minutes of pressurization, isopressure (time OHB) for 50 minutes, release pressure for 15 minutes breathing HBO made to avoid inhalation of nitrogen and generation of fatigue. In the space of one hour (45 + - 15 min) after the session der OHB step test was performed 7 x 200 meters in the pool. Before each test was performed standardized warm for 10 minutes. Rest periods between segments were tightly controlled: 3 minutes after every 200 m. Speed was controlled part of the swimmers every 200 m, measured the length of each segment and heart rate with electronic heart rate monitor. **Results:** There was significant increase in anaerobic threshold (4 mmol / l lactate) and lactate significant decrease in maximum and maximum heart rate during the test in the experimental group. There was no effect of HBO session on speed of recovery of both parameters after test. The cost for testing anaerobic (lactate max / max speed) decreased significantly only in the experimental group. **Conclusion:** increased anaerobic threshold and maximum decrease in lactate during the test after hyperbaric oxygenation are related to the inhibition of lactate production in anaerobic glycolysis and not to the rapid removal of lactate.

INTRODUCCIÓN

Los efectos de la hiperoxia normobárica han sido intensamente investigados desde la década de 1950 (1). La mayoría de los estudios muestran un aumento de la potencia aeróbica máxima (VO_2 máx.) y el rendimiento acompañado de una disminución en la producción de lactato en el músculo y / o de su flujo de salida hacia la sangre de los atletas. Aunque el mecanismo involucrado en el aumento del rendimiento de los atletas no está claro que podría comenzar con la disminución en la concentración de adrenalina durante el ejercicio después de hiperoxia normobárica, que deprime la glucogenólisis, aumenta el VO_2 y disminuye la producción de lactato (2).

El primer trabajo sobre el efecto de HBO en el rendimiento deportivo fue reportado en los años 70s (3), en el se comparó el rendimiento de 6 atletas con HBO e hiperoxia normobárica, hay pocos datos reportados sobre el efecto de una sesión de HBO sobre el VO_2 max (“maximal aerobic performance”) y rendimiento de los atletas(1,5,6).

Se han hecho estudios en sujetos no entrenados evaluados en banda sin fin antes y después de una sesión HBO (2.8 ATA, 100% de oxígeno, 60 minutos). Se presentó un aumento del VO_2 max (14.4% y del rendimiento (12.8%) 30 minutos después de la sesión (4). El efecto disminuyó gradualmente hasta desaparecer en las 6 horas posteriores a la sesión. Un resultado parecido se observó en el ciclo ergógeno en personas poco entrenadas (2.0 ATA, 100%, 60 minutos) (5). No se observó este efecto posterior a la HBO (2.5 ATA, 95%, 90 minutos) en 12 ciclistas entrenados (6 hombres y 6 mujeres) (6).

En las mismas condiciones de una sesión, en un estudio reciente no se mostró aumento del VO₂max (7), lo que según otros autores confirma el efecto de la HBO (5). La duración de la sesión en el último caso fue de mayor tiempo, pero hay poca información para llegar a alguna conclusión. No existen datos sobre la reacción de las personas que viven y entrenan en condiciones de hipoxia natural.

Hay dos hipótesis principales sobre el mecanismo del efecto de la HBO sobre el rendimiento: estimula la producción de energía en el músculo o aumenta la capacidad de recuperación del atleta. Los datos sobre el efecto directo sobre el metabolismo celular son contradictorios. Los estudios de hiperoxia normobárica en humanos y animales muestran que el oxígeno que llega al músculo activo no aumenta debido al efecto de la disminución del flujo sanguíneo por vasoconstricción (8,9). Se encontró que en la mayoría de este tipo de estudios, el aumento en el rendimiento durante el ejercicio prolongado de intensidad moderada. Pero los resultados sobre los posibles mecanismos fisiológicos de este efecto no están claros.

Ha habido duda sobre el aumento de VO₂ max registrado por el método de Douglas el que ha sido usado en la mayoría de los estudios, por no coincidir con los datos publicados sobre el rendimiento cardiaco y la concentración de los gases en la sangre durante el ejercicio con hiperoxia. De estos estudios surgió la hipótesis sobre la importancia del aumento del rendimiento por hiperoxia y cambios en el balance ácido-base (10). La disminución de lactato durante la hiperoxia se ha explicado principalmente por disminución del uso de carbohidratos, lo cual es determinado por el aumento de la contribución de la grasa como fuente de energía. En resumen, no hay evidencia que la hiperoxia directamente pueda tener como mecanismo algún efecto ergogénico sobre el metabolismo glucolítico pero sí sobre el metabolismo de la beta oxidación.

En varios estudios se investigaron los efectos del HBO sobre la recuperación del músculo dañado por los ejercicios excéntricos o isométricos y no se observaron efectos de una sesión de HBO a la capacidad de recuperación muscular (14,15,18,20). En varios de estos estudios se usaron como control pacientes que respiraron 21% de oxígeno en 1.2-1.6 ATA, para separar el efecto de oxígeno hiperbárico y de la presión del aire. Pero este control es cuestionable porque la presión es menor y es difícil valorar el efecto de la concentración elevada de nitrógeno.

Según otros autores en este modelo de recuperación muscular se dañan capilares sanguíneos y uniones neuromusculares y esto puede interferir en los resultados finales. Estos autores manejaron otro modelo usando el fármaco (bupivacain) para dañar solo fibras musculares evitando otro tipo de lesiones. Además estos investigadores suponen que la sesión de HBO afecta principalmente las fibras lentas y consecuentemente músculos con alto contenido de estas fibras como el músculo soleo de ratas. En el primer estudio se observó un aumento de capacidad de fuerza y el crecimiento de microfibrillas del músculo en recuperación después de varias sesiones de HBO (11). Este efecto correlacionaba con la presión: con 2 ATA el efecto máximo se observó en 14 días de regeneración, mientras con 1.2 ATA el efecto máximo es menor y aparece en 25 días. En su más reciente trabajo (12) en este modelo animal los autores observaron el aumento de la capacidad contráctil del músculo en regeneración con HBO en 14 días después de una lesión química, pero este efecto no se sostuvo hasta el final del proceso regenerativo (25 días). Se supone que el efecto de la HBO depende de la composición del músculo por las fibras de tipo diferente que la conforman.

Los mecanismos del efecto positivo de la HBO sobre la capacidad aeróbica máxima y el rendimiento de los atletas no es claro, al igual que el efecto positivo de la hiperoxia normobárica, a pesar que está siendo investigada desde los años 60s (1) hasta la actualidad (13). A diferencia de las pocas publicaciones mencionadas en este trabajo hemos planeado usar el parámetro umbral anaeróbico (UA) para valorar el rendimiento en nadadores. Este parámetro fue determinado por la respuesta de lactato y Glucosa durante una prueba máxima de 7 x 200 mts. El propósito de éste estudio fue evaluar el efecto de una sesión de HBO sobre el UA y respuesta metabólica de lactato y glucosa en la sangre de los nadadores.

ANTECEDENTES

La cámara hiperbárica es un instrumento fisioterapéutico que consiste en un recipiente de acero o acero y acrílico con capacidad para una persona (cámara monoplaza), o dos o más personas (cámara multiplaza), en el cual el paciente se introduce, se aumenta la presión por encima de la presión atmosférica y respira oxígeno al 99.5% por determinada cantidad de minutos dependiendo de la indicación.

Este tratamiento, que también se conoce como oxigenoterapia hiperbárica, a parte de sus aplicaciones terapéuticas puede tener la finalidad de mejorar el estado de salud individual, incrementar el rendimiento del atleta por generar hiperoxia tisular hasta por 3 hrs. Post oxigenación hiperbárica, así como de corregir zonas de penumbra hipóxica en el cuerpo humano, razón por la que se usa en el tratamiento de patologías donde la perfusión de oxígeno tisular está comprometida. También es utilizada en accidentes de buceo al evitar mayor lesión condicionada por aeroembolia, al recomprimir la burbuja y permitirle avanzar y finalmente ser expulsada por el filtro alveolo capilar. El procedimiento es fácil y seguro en corto tiempo y sin ningún riesgo o efecto colateral.

La cámara hiperbárica simula altas presiones atmosféricas y le administra al sujeto oxígeno con una pureza del 99.5%. El efecto básico o mecánico del oxígeno hiperbárico en la medicina del deporte es generar hiperoxia tisular, actuando a nivel de la cadena respiratoria provocando con esto una mayor producción de ATP, y como cada molécula de ATP nos produce 7.4 Kcal siendo una considerable fuente de energía.

Así mismo hay una menor producción de lactato sérico, disminuyendo el débito de oxígeno y logrando con esto una mayor resistencia del atleta.

Adicionalmente, cuando se aumenta la presión dentro de la cámara, el oxígeno disuelto en los líquidos del organismo también aumenta, con lo que se puede hacer frente a los episodios hipóxicos.

Esta técnica (a través del tratamiento de los accidentes de buceo con el uso de aire u oxígeno administrado en un ambiente presurizado), ha comenzado a ser utilizada en el mundo entero para tratar muchas otras enfermedades, lo que ha dado origen a la medicina hiperbárica.

Como la herramienta más empleada es el oxígeno, se le denomina genéricamente oxigenoterapia u oxigenoterapia hiperbárica (OHB). Actualmente se esta investigando el papel de la OHB en la investigación para lograr una mayor resistencia del atleta.

La OHB no pertenece a las medicinas alternativas, es un método ortodoxo relativamente nuevo, que trabaja como excelente coadyuvante de muchos tratamientos establecidos. Así mismo es el tratamiento primario de algunas patologías.

Normalmente la atmósfera ejerce una presión de 14.7 libras por pulgada cuadrada (760 mmHg) a nivel del mar. Esto equivale a una atmósfera absoluta (1 ATA). La atmósfera contiene aproximadamente, en forma simplificada, 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de otros gases.

Durante la OHB la presión atmosférica se eleva de 2 a 3 veces más que la presión atmosférica normal (2-3 ATA) y hasta más de 21 veces la presión alveolar de oxígeno, a 1ATA es de 100 mmHg con aire normal, y respirando O₂ al 100% a 3 ATA es de 2193 mmHg.

La combinación de concentraciones elevadas de oxígeno (100%) y el incremento de la presión, ocasionan que grandes cantidades de oxígeno se disuelvan en la sangre y en líquidos de otros tejidos (hasta casi 22 veces más). Esto hace que haya una mayor cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo.

Además de uso en la medicina del deporte, motivo de este estudio, muchos padecimientos se benefician con el empleo de la OHB. La mayoría son aquellos que sanan con mucha dificultad, como las heridas, especialmente en personas diabéticas, dentro de otras indicaciones manejadas por la comunidad médica internacional.

Tipos de cámaras hiperbáricas

Al inicio de este siglo se diseñaron modelos de cámaras hiperbáricas para uso simultáneo de 20-30 pacientes, para el manejo de accidentes submarinos. En los años '60 aparecen las cámaras monoplasa, y se comienza a extender su uso a otras patologías que tuvieran en común la isquemia tisular, ya en los '70 se establecen modelos que permiten acceso y asistencia directa al paciente durante el procedimiento y a través de intercomunicadores, perfeccionando su manejo a través de microprocesadores. En la última década se han diseñado modelos portátiles (Gamow Bags) relacionados con servicios de atención de urgencia para intoxicaciones por monóxido de carbono, y síndrome de aplastamiento con isquemia traumática, entre otros. A continuación se describirán brevemente las cámaras monoplasa y multiplaza.

Cámaras monoplasa: Son de pequeño volumen, aptas para un solo enfermo, y suelen ser presurizadas con oxígeno puro. La posibilidad de aplicación de técnicas de medicina intensiva es limitada.

Al alcanzarse concentraciones tan elevadas de oxígeno con un volumen de expansión relativamente alto, existe un cierto riesgo de deflagración (combustión súbita con la llama y sin explosión) principalmente ante la presencia de material graso.

Cámaras multiplaza: Se presurizan con aire comprimido, pueden alojar varios enfermos al mismo tiempo que respiran oxígeno puro en circuito semiabierto mediante mascarilla nasofacial hermética o casco integral. De esta forma la concentración de oxígeno ambiental se mantiene muy cerca de los valores atmosféricos, a pesar de que el paciente recibe una concentración cercana al 100%. La gran ventaja de un sistema multiplaza es que el personal médico especializado puede acompañar y asistir al enfermo en caso necesario, y mantener dentro de la cámara todas las técnicas médicas que el paciente precise. El riesgo de deflagración existe, aunque se mantiene en un margen muy reducido. El manejo dentro de la cámara hiperbárica depende de cada caso particular. Esto lo determina el médico hiperbarista y las variables principales son: presión utilizada (expresada en atmósferas absolutas), mezcla para la respiración, tiempo de duración de la sesión y número de sesiones requeridas.

El oxígeno es indispensable para el metabolismo celular normal. Los tejidos corporales utilizan el oxígeno prácticamente para todos los procesos bioquímicos, produciendo como resultado final diferentes productos metabólicos.

El oxígeno hiperbárico u oxígeno administrado en ambiente presurizado, actúa como un auténtico fármaco, produciendo diferentes respuestas en función de las dosis y tiempos de su administración. Los mecanismos de acción en que se basa se pueden resumir en tres aspectos principales:

1.-Relacionado con la hiperoxia tisular, ya que al actuar a nivel de la mitocondria en la cadena respiratoria genera hiperoxia tisular hasta por un periodo de tres horas, ocasionando con esto una disminución en la deuda de oxígeno, provocando menor producción del desecho metabólico, además de una mayor formación de ATP con su consiguiente aumento energético, ya que cada molécula de ATP nos proporciona 7.4 Kcal dando como resultado que el atleta eleve su VO₂ max y por lo tanto su rendimiento.

2.- Relacionados con la variación de la presión ambiental. Por la Ley de Boyle-Mariotte se sabe que, a temperatura constante, al aumentar la presión sobre una masa gaseosa esta experimenta una reducción proporcional de su volumen. En este efecto se basa el tratamiento de aquellos accidentes en los que se origine un embolismo gaseoso, que pueden aparecer con la práctica del buceo (enfermedad descompresiva, sobrepresión pulmonar) o con el empleo de maniobras diagnósticas y terapéuticas (manipulación de vías venosas centrales, laparoscopias diagnósticas y terapéuticas, toracoscopias, incluso artroscopias, etc.).

En caso de la enfermedad descompresiva se trataría de burbujas de nitrógeno; en el Síndrome de Sobrepresión Pulmonar y en los embolismos aéreos iatrogenos, la naturaleza del émbolo depende del gas problema.

Pero en ambos casos, al someter al paciente a un aumento controlado de la presión ambiente se logra que el volumen del gas se reduzca, de una manera inversamente proporcional al incremento de presión (Ley de Boyle-Mariotte).

3.- Relacionados con el aumento de la cantidad de oxígeno disuelto en el plasma.

Por la Ley de Henry se sabe que, a temperatura constante, cuando un gas entra en contacto con un líquido, el gas tiende a disolverse en el líquido en función de la constante de disolución del gas en el líquido, la presión a la que se encuentren sometidos el gas y el líquido, y el tiempo en que estén en contacto. Cuando se respira oxígeno puro en un ambiente hiperbárico, se incrementa hasta casi 22 veces la cantidad de oxígeno disuelto en el plasma, con lo que los tejidos hipóxicos (faltos de oxígeno) que reciban irrigación sanguínea, aunque ésta sea escasa, pueden beneficiarse de esta fuente de oxígeno necesaria para su metabolismo, con lo que se restituyen los mecanismos de cicatrización, la neocolagenización, la neovascularización, etc.

Por otro lado, se sabe que ciertos antibióticos como los aminoglucósidos precisan de una tensión de oxígeno tisular superior a 40 mmHg para poder actuar en el foco de la infección, acción que se facilita con la OHB, ya que en focos de infección la tensión tisular no alcanza en ocasiones más de 20 mmhg.

Efectos normales o fisiológicos

La estancia en una cámara hiperbárica a una presión superior a la atmosférica produce ciertos efectos fisiológicos en toda persona, sana o enferma, que la ocupa. Unos dependen, del aumento de la presión ambiental per se, y otros de la elevación de la presión parcial del oxígeno.

Efectos volumétricos. En virtud de la ley de Boyle-Mariotte, la elevación de la presión ambiental disminuye el volumen de todas las cavidades orgánicas aéreas que no están en contacto con las vías respiratorias (vejiga urinaria, tracto digestivo, órgano de la audición, senos paranasales), en función proporcionalmente inversa. Este efecto es reversible al restablecer el valor de la presión atmosférica.

Todos los objetos huecos, o que contengan aire en su interior, experimentan las mismas variaciones de volumen.

Efectos solumétricos. Según la ley de Henry, al respirar oxígeno puro en medio hiperbárico se produce un aumento progresivo de la presión arterial de oxígeno, que puede superar los 2,000 mmHg a un valor ambiental de 3 atmósferas absolutas (ATA). El volumen de oxígeno disuelto y transportado por el plasma, mínimo a presión atmosférica, aumenta más de 21 veces. De ellos deriva, como acción directa, un aumento de la presión venosa de oxígeno, que puede superar los 600 mmHg, y de la presión tisular de oxígeno que puede sobrepasar los 400 mmHg.

El organismo se protege de la excesiva cantidad de oxígeno produciendo radicales libres oxigenados, sobre cuyo efecto la OHB actúa como modulador y experimentando una vasoconstricción periférica dosis-dependiente. A pesar de la disminución de flujo que esto comporta, la gran hiperoxia logra siempre mantener en todos los casos un saldo de oxígeno favorable; es decir, se trata de una vasoconstricción no hipoxemiante.

Los efectos principales de esta terapia son los siguientes:

* Hiperóxygenación (saturación extra de oxígeno). Las altas presiones con oxígeno saturan en más de un 2,000 % la sangre del sujeto presurizado. Esta alta dosis de saturación actúa a nivel de la cadena respiratoria y disminuye la deuda de oxígeno, disminuyendo la producción del fatigante lactato y otros productos del desecho metabólico, evitando micro desgarros, disminuyendo la velocidad de tiempos de recuperación ayuda a la regeneración de los tejidos dañados, y en forma global en otras lesiones como quemaduras, cortadas, o en enfermedades que puedan causar

insuficiencia de oxigenación en determinados órganos del cuerpo, tales como aquellas que causan compromiso circulatorio como la diabetes o por daños en vasos sanguíneos.

Los tejidos en proceso de regeneración o cicatrización requieren de oxígeno para cumplirlo eficazmente. Con una mala oxigenación el proceso se retarda o imposibilita. Con la hiperoxigenación ayuda igualmente a barrer otros gases y es por ello que es útil en el tratamiento de envenenamiento por gases tóxicos.

* Neovascularización (regeneración y creación de nuevos vasos sanguíneos). La hiperoxigenación proporcionada por esta terapia incrementa el crecimiento de nuevos vasos capilares y la regeneración de los existentes, con esto hay un mayor aporte a el músculo y permite obtener mayor cantidad de oxígeno.

Efectos secundarios o indeseables:

El aumento de la presión podría provocar lesiones barotraumáticas sobre el tímpano, los senos paranasales, las cavidades huecas y los pulmones si no se adoptasen las medidas preventivas adecuadas. Con un mínimo de entrenamiento, este efecto se evita con facilidad (Desola, 1998).

El oxígeno hiperbárico puede producir efectos tóxicos importantes especialmente sobre el aparato respiratorio (en exposiciones prolongadas de más de 10 horas), y sobre el Sistema Nervioso Central (en exposiciones breves pero a más de 3 ATA). Utilizando pautas terapéuticas de una duración inferior a las 3 horas y a una presión máxima de 3 ATA, la aparición de efectos secundarios es excepcional.

En el Sistema Nervioso Central:

- * Crea vasoconstricción paradójica durante la OHB, seguida de vaso dilatación posterior a la OHB (se ha determinado vaso dilatación en áreas infartadas, mejorando así la circulación).
- * Incrementa la permeabilidad de la barrera hemato-cefálica.
- * Reduce los niveles de norepinefrina.
- * Detiene o reduce la producción del edema en el Sistema Nervioso Central.
- * Mejora la micro circulación.
- * Incrementa el oxígeno en el fluido espinal.
- * Evidencia la regeneración axonal.

El Sistema Circulatorio:

- ❖ Anti agregante plaquetario, al disminuir la cuenta plaquetaria.
- ❖ Eleva los niveles leucocitarios.
- ❖ Incrementa el hematocrito.
- ❖ Incrementa la hemólisis de glóbulos rojos viejos.
- ❖ Reduce el trabajo cardíaco.
- ❖ Aumenta la resistencia al shock cardiogénico.

El Sistema Endocrino:

- ❖ Estimula las glándulas endocrinas y el timo.
- ❖ Disminuye los requerimientos de insulina.
- ❖ Aumenta la actividad del complemento (activador inmunológico).
- ❖ Mejora el metabolismo.

En el Sistema Gastrointestinal:

- ❖ Disminuye la secreción ácida gástrica (reduce las gastritis y úlceras).
- ❖ Disminuye el tono del píloro (mejora el vaciamiento gástrico).
- ❖ Disminuye los niveles de norepinefrina y monoaminoxidasa en el hígado.
- ❖ Incrementa la movilidad intestinal.

En general:

- ❖ Desplaza otros gases.
- ❖ Sigue la ley de acción de masas.
- ❖ Crea un marcado aumento en la presión parcial de oxígeno en la circulación arterial, pero poca alteración en la presión parcial de oxígeno de la circulación venosa.

En Medicina del deporte:

- ❖ Eleva el oxígeno tisular después de la exposición en OHB, por lo tanto aumenta el rendimiento, baja la F.C. y la F.R.
- ❖ Aumenta el VO₂ máx.
- ❖ Disminuye la producción del desecho metabólico (lactato y piruvato).
- ❖ Disminuye los micro desgarros y acorta los tiempos de recuperación en lesiones.
- ❖ Aumenta la producción de ATP, por lo tanto hay mayor energía disponible.
- ❖ Incrementa la tensión de oxígeno en el hueso, orina y fluido corporal total (ley de Henry).
- ❖ Regulariza la deposición del colágeno.
- ❖ Incrementa la actividad de las células óseas.
- ❖ Aumenta la actividad de los mecanismos inmunitarios.
- ❖ Disminuye la adhesividad plaquetaria.

Estos usos terapéuticos han sido recogidos de las indicaciones del: Colegio Americano de Medicina Hiperbárica, Sociedad de investigación de Medicina Francesa, Sociedad China de medicina Hiperbárica, Sociedad Japonesa de Medicina Hiperbárica, Sociedad de Medicina Hiperbárica (USA), Ministerio de la Salud de la ex U.R.S.S., Moscú y Sociedad Venezolana de Medicina Hiperbárica.

Contraindicaciones.

Contraindicaciones severas: No permiten la utilización de la OHB, las siguientes afecciones:

- ❖ El neumotórax.
- ❖ Las sinequias pleurales.
- ❖ La enfermedad quística pulmonar.
- ❖ La arritmia severa.
- ❖ Glaucoma de ángulo cerrado.

Contraindicaciones relativas: algunas otras afecciones pueden impedir temporalmente el uso de la OHB, pero si desaparecen no son ya un impedimento para utilizarla:

- ❖ Las afecciones otorrinolaringológicas
- ❖ Las enfermedades convulsivas
- ❖ Las claustrofobias
- ❖ La dispepsia flatulenta (digestión pesada o con excesiva producción de gases).

La OHB es conocida desde hace más de 300 años, aunque sólo se utiliza con propiedad desde hace 25 años. Los documentos y testimonios anteriores a 1961 tienen solamente valor histórico o anecdótico. En la segunda mitad del siglo pasado , en Europa, y en el primer cuarto del siglo en Estados Unidos, la OHB alcanzó una gran difusión, aunque no siempre con suficiente rigor científico, lo que provocó una corriente de escepticismo alrededor del papel real de esta terapia.

El primer uso documentado de cámara hiperbárica es anterior al descubrimiento del oxígeno. El médico británico Henshaw parece haber usado aire comprimido con propósitos médicos en 1662. Los datos de presión barométrica con oxígeno como tal datan de 1775 después de que Priestley descubriera e identificara el oxígeno. En 1834 Junod construyó la cámara hiperbárica para tratar afecciones pulmonares. En 1837 Pravaz construyó una cámara capaz de tratar hasta 50 pacientes. La primera cámara construida en el continente americano fue en Oshawq, Canadá en 1860.

Un año después Corning construyó en New York la primera cámara de los Estados Unidos. En 1921 Cuninghan usó la presión parcial elevada de oxígeno para tratar estados hipóxicos. Los beneficios de la enfermedad por descompresión fueron encontrados en Alemania por Drager en 1917 quien diseñó un sistema para tratar los accidentes de buceo. En 1937 Hehenke y Shaw usaron el oxígeno hiperbárico para el tratamiento de la enfermedad por descompresión.

Boerema, en Amsterdam en 1959, relacionó por primera vez el posible efecto terapéutico de las altas concentraciones plasmáticas de oxígenos con las enfermedades causadas por gérmenes anaeróbicos.

Además nos demostró con cerdos exanguinados la capacidad del transporte de oxígeno en el plasma independiente de la metabolización de la hemoglobina, en su célebre experimento “vida sin sangre”, en el que , una vez sangrado una pareja de cerdos fueron colocados en una máquina hiperbárica con oxígeno a 400% sobreviviendo por 45 minutos, evidenciando posteriormente hemoglobina de 0.5 % luego de reinfusión de suero y expansores de plasma.

En 1967 se funda en los Estados Unidos la organización The Undersea Medical Society y en 1986 cambia su nombre a Undersea and Hyperbaric Committee (ECHN), y en España el Comité Coordinador de Centros de Medicina Hiperbárica (CCCMH). En Panamá a pesar de ser el primer país de Latinoamérica de contar con cámaras hiperbáricas desde los inicios de las obras del canal, no es sino hasta el año 1996 en que se funda la Asociación Panameña de Medicina Hiperbárica y Subacuática.

En México se cuenta con la Asociación Latinoamericana de Medicina Hiperbárica.

Hoy, en USA hay más de 200 centros. En España existen alrededor de 50 centros, mayormente localizados en las áreas costeras. En Italia más de 100 centros, en Francia más de 70, en Alemania más de 120, en Cuba alrededor de 19 (Rodríguez y Sánchez, 2000).

En Venezuela, al igual que en otros países de Latinoamérica, existen numerosos centros donde se aplica la OHB distribuidos en varias ciudades.

Existen datos previos, aunque escasos del efecto de la OHB sobre el rendimiento de los atletas en deportes de resistencia, sin que el mecanismo esté plenamente dilucidado.

Consideramos que por medio de la cámara hiperbárica, al provocar hiperoxia tisular, se logrará disminuir el crecimiento del lactato al reducir la fatiga. Por ello en esta investigación pretendemos el efecto de la HBO sobre indicadores del rendimiento deportivo como el umbral de lactato, frecuencia cardiaca y algunas variables bioquímicas sanguíneas, después de la OHB en los nadadores.

JUSTIFICACIÓN

El principal problema del deporte de alto rendimiento es la recuperación de las cargas del entrenamiento, que desde hace mucho están en el límite de la resistencia del organismo humano, así como la prevención de lesiones. La OHB podría ser un instrumento en manos del médico del deporte. Pero la base científica de este tratamiento en el deporte no es todavía sólida, lo que impulsa a este tipo de estudios.

Cuba, uno de los países más pobres de América Latina, que tiene el primer lugar en los participantes de la región al ganar en las olimpiadas de 1976 a últimas fechas 135 medallas, de las cuales 55 son de oro. En la última Olimpiada consiguió 27 medallas, 9 de oro, 7 de plata y 11 de bronce. En cambio México que es el segundo país más rico de América Latina, debajo de Brasil, logró solo 4 medallas, ninguna de oro, 3 de plata y 1 de bronce, demostrando una pobre participación al ocupar el lugar 60 general de 74 países medallistas.

Considerando que la cantidad y calidad de entrenamiento en condiciones de altura es el principal factor que puede mejorar la situación descrita anteriormente, debemos investigar métodos de recuperación más rápidos y sofisticados para apoyar el entrenamiento en límite de capacidad humana.

Conjugando la fisiología, la física y la bioquímica, se tiene una importante herramienta con la que lograremos acercar al atleta a los límites de la resistencia humana (lugar donde hoy día se encuentran las medallas olímpicas).

Este es el principal móvil para realizar la investigación, logrando con esto el tan requerido apoyo a nuestro deporte nacional.

Pocas publicaciones sobre efecto de una sesión HBO son contradictorias y realizadas con corredores o ciclistas y no hay datos sobre nadadores cuyo rendimiento deportivo depende principalmente del metabolismo anaerobio en diferencia del deporte de resistencia. Esperamos que este estudio nos proporciona datos que sean comparados con lo de nuestro estudio anterior con maratonistas (21) para entender posible mecanismo del oxígeno hiperbárico al rendimiento.

El protocolo fue factible por contar con 12 nadadores mexicanos así como con las instalaciones y técnicas adecuadas. El equipo de investigación bioquímica fue proporcionado por el área de bioquímica de la Escuela Superior de Medicina del IPN, los atletas fueron proporcionados por el CDI (club deportivo Israelí) y la Unidad Cuahutemoc del IMSS; los recursos financieros y el equipo de recompresión los proporcionó el alumno y director de ésta tesis.

HIPOTESIS

Se espera que en nadadores de distancia de 200m de estilo libre se aumente el umbral anaerobio (4mmol/l de lactato) después de una sesión HBO, igual como hemos observado en corredores de fondo (21), pero la velocidad máxima se espera que disminuya porque la velocidad competitiva en nadadores se determina principalmente por glucólisis anaerobio, mientras en maratonistas la velocidad competitiva tiene correlación positiva con el umbral anaerobio .

OBJETIVOS

Objetivo General:

Recibir más información (no hay publicaciones) sobre el efecto de una sesión HBO en el umbral de lactato y Frecuencia Cardiaca, tanto durante prueba escalonada, como en el periodo de recuperación en nadadores, cuyo rendimiento se determina principalmente por función de glucólisis anaerobia y compararla con lo recibido anteriormente en maratonistas.

Objetivos Específicos:

- Evaluar efectos de una sesión HBO sobre el umbral de lactato durante una prueba escalonada máxima.
- Evaluar efectos de HBO sesión sobre velocidad de recuperación de lactato y FC después de prueba.
- Evaluar como subjetivamente se sienten los nadadores en prueba después de oxigenación hiperbárica.

MATERIAL Y METODOS:

1.1. Sujetos:

Participaron 12 nadadores de alto rendimiento que se dividieron en 2 grupos; un grupo experimental (5 hombres una mujer, 21 ± 1.9 años) con una sesión de HBO y otro grupo control (5 hombres una mujer, 22 ± 2.1 años) sin sesión HBO. Ambos grupos se les realizó la misma prueba máxima de 7 x 200 mts dos veces: en el grupo experimental la primera prueba se realizó una semana antes de la sesión HBO y la segunda 45 ± 15 minutos después de la sesión OHB. En el grupo control, se realizaron dos pruebas con diferencia de una semana en el mismo periodo sin sesión HBO.

Todos los nadadores contaban con buen estado de salud y no estaban en algún tratamiento farmacológico.

1.2. Prueba escalonada

Los Nadadores tenían por lo menos 3 a 5 años seguidos de entrenamiento, entrenan diariamente con el mismo entrenador (mismo promedio en km). Se realizó prueba escalonada (7x200m: 3x200, 2x200, 200, 200) con aumento gradual de intensidad en cada escala (son 4) hasta alcanzar la velocidad máxima.

Antes de cada prueba se realizó un calentamiento estandarizado durante 10 a 15 minutos. Los periodos de descanso entre los tramos de 3 x 200 mts, 2 x 200mts, 1 x 200 mts, 1 x 200mts, se controlaron rigurosamente y fueron de 3 minutos. Se midió el tiempo de cada tramo y la FC promedio con cronómetro electrónico y también la FC se determinó en 1, 3 y 5 minutos de recuperación después de prueba. El grupo control se evaluó dos veces al mismo tiempo sin sesión de HBO.

Las razones principales para llevar este protocolo son:

- 1.- La duración de la prueba permite alcanzar un nivel estable de lactato en sangre (“steady state lactate”) que permite alcanzar el equilibrio entre concentración de lactato en musculo y sangre.
- 2.- Los Nadadores estaban acostumbrados a esta prueba durante su entrenamiento lo que permitió planear adecuadamente las intensidades de la prueba en el estudio, aumentando la exactitud de esta prueba.
- 3.- La prueba permite realizar la evaluación de por lo menos 6 nadadores en el mismo tiempo después de la sesión de HBO para evitar efectos de la posible reducción del efecto de la sesión de HBO.

1.3. Sesión de HBO.

Los parámetros de la sesión de HBO fueron los siguientes: 2.5 ATA, 100% de oxígeno, 10 minutos de presurización, la isopresión (tiempo de OHB) durante 50 minutos. La despresurización durante 15 minutos se realizó respirando OHB para evitar la inhalación de nitrógeno y generar fatiga.

Entre las pruebas continuaron realizando su programa normal de entrenamiento. La sesión de OHB se realizó por la mañana en ayuno. Antes (7 – 8 días) y dentro de (45 _+ 15 minutos) de la sesión de OHB se realizó una prueba de 7 x 200 mts en la alberca del Club Deportivo Israelita.

1.4. Muestras sanguíneas

Las muestras de sangre de lóbulo previamente calentado con una pomada irritante se tomaron dentro de 1-2 minutos después de cada tramo y en 15 minutos de recuperación, se centrifugaron para separar suero guardado sobre hielo.

Posteriormente se determinó la concentración de lactato con reactivo y procedimiento RANDOX.

1.5. Estadística

Se realizó análisis de varianza (t-test Student) para comparar las series de mediciones.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan datos de la prueba escalonada 7x200m antes y después de una sesión HBO en el grupo experimental.

Tabla 1. Datos de los parámetros medidos durante la prueba escalonada (7x200m) en 6 nadadores antes y 30 minutos después de la sesión HBO .

	UAa	UAd	Δ UA	Vm(a)	Vm(d)	Δ Vm	LAm(a)	LAm(d)	Δ LAm	Pm(a)	Pm(d)	Δ P
1	1.1	1.15	0.05	1.14	1.16	0.02	5.50	4.70	-0.80	214	210	6
2	1.34	1.42	0.08	1.38	1.46	0.08	5.00	4.8	-0.2	218	182	-36
3	1.34	1.38	0.04	1.36	1.35	-0.01	6	2.6	-3.4	192	171	-21
4	1.27	1.27	0	1.31	1.3	-0.01	4.4	4	-0.4	181	180	-1
5	1.31	1.37	0.06	1.35	1.34	-0.01	5.8	2.2	-3.6	189	178	-2
6	1.41	1.44	0.03	1.44	1.4	-0.04	6.4	3.1	-3.2	180	171	-9
pr	1.30	1.34*	0.04	1.33	1.34	0.01	5.52	3.56*	1.95	194	182*	-11

UA – umbral anaerobio, Vm – velocidad máxima, Lam – lactato máximo, Pm – pulso máximo, a – antes, d – después, Δ - (d - a), pr – promedio.

Como podemos ver hay aumento en UA significativo ($P=0.012$), decremento significativo en lactato máximo ($P=0.035$) y decremento en pulso máximo en límite de significancia ($p=0.049$) comparando con el nivel inicial.

Y en la Tabla 2 se presentan los mismos datos del grupo de control.

Tabla 2. Datos de los parámetros de la prueba escalonada (7x200m) en 6 nadadores con diferencia 7 días en grupo control.

	UAa	UAd	Δ UA	Vm(a)	Vm(d)	Δ Vm	LAm(a)	LAm(d)	Δ LAm	Pm(a)	Pm(d)	Δ P
1	1.2	1.21	-0.01	1.23	1.26	0.02	9.6	10.1	0.5	183	182	-1
2	1.27	1.25	0.02	1.46	1.47	0.01	10.5	9.7	-0.8	181	192	11
3	1.02	1.02	0	1.20	1.20	0.01	9.2	9.9	0.7	179	199	20
4	1.04	1.04	-0.005	1.48	1.39	-0.09	7.2	6.3	-0.9	182	201	19
5	1.45	1.43	0.02	1.07	1.05	-0.02	8.2	7.9	-0.3	237	241	4
6	1.03	1.03	0	1.05	1.04	-0.01	7.2	6.7	-0.5	180	192	12
pr	1.17	1.16	0.004	1.25	1.24	-0.01	8.65	8.43	-0.22	190	201	11

UA – umbral anaerobio, Vm – velocidad máxima, LAm – lactato máximo, Pm – pulso máximo, a – antes, d – después, Δ - (d- a), pr – promedio.

En grupo de control (sin sesión de HBO) no se observó cambio significativo en todos los parámetros. Pero vemos que en el grupo de control el Umbral Anaerobio y la Velocidad máxima promedios estuvieron menor que en el grupo experimental,

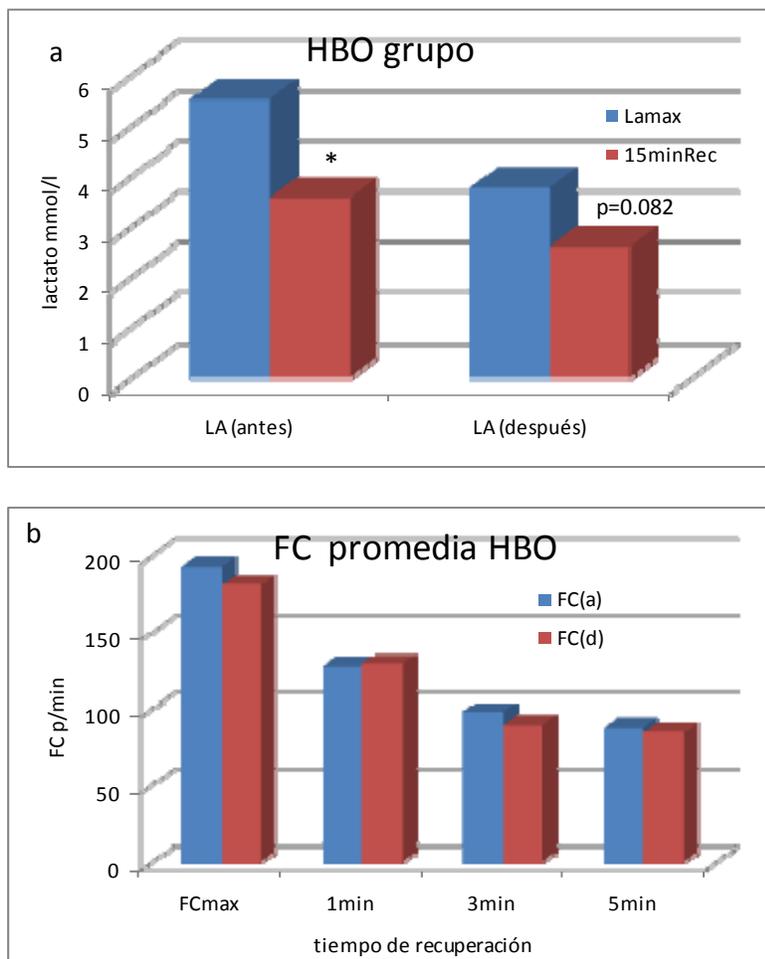
pero estas diferencias no estuvieron significativas estadísticamente. Esto significa que no hay diferencia significativa en el rendimiento promedio entre los grupos experimental y control.

Se espera este resultado porque sabemos bien que para mover el Umbral Anaerobio es necesario mucho más tiempo de entrenamiento que una semana.

Pero el grupo control tenía mayor Lactato máximo basal (8.7 vs 5.5 mmol/l, $p < 0.01$) comparando con el grupo experimental. Parece que en el grupo control, la misma Velocidad máxima se alcanzaba con mayor lactato, lo que muestra moderadamente menor el rendimiento en este grupo en sentido metabólico. Entonces en la interpretación de cambios de Lactato máximo durante recuperación debemos tomar en cuenta esta diferencia.

En la Figura 1 se presentan datos de cambio de lactato (a) y FC (b) en el periodo de recuperación después de la prueba escalonada en el grupo experimental.

Figura 1. Concentración de lactato (a) y FC (b) durante el periodo de recuperación después de prueba escalonada en el grupo experimental (con HBO sesión). * - $p < 0.05$.



Podemos ver que en 15 minutos de recuperación después de la prueba (Fig.1a) el decremento de lactato es significativo antes de la sesión de HBO y el límite de significancia ($P=0.082$) después de la sesión. En porcentaje del decremento de lactato antes y después de la sesión de OHB los decrementos son parecidos de 55% y 45%.

Tomando en cuenta el menor nivel de Lactato máximo después de la sesión OHB, esto significa poca diferencia en la velocidad de eliminación de lactato después de la prueba escalonada antes y después de la sesión HBO.

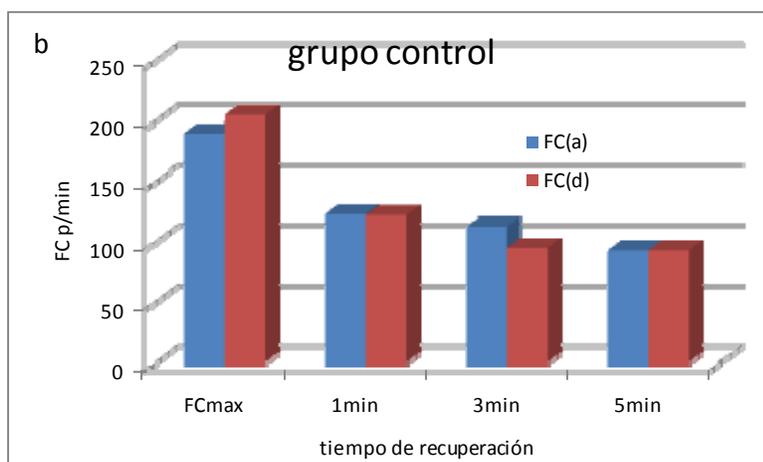
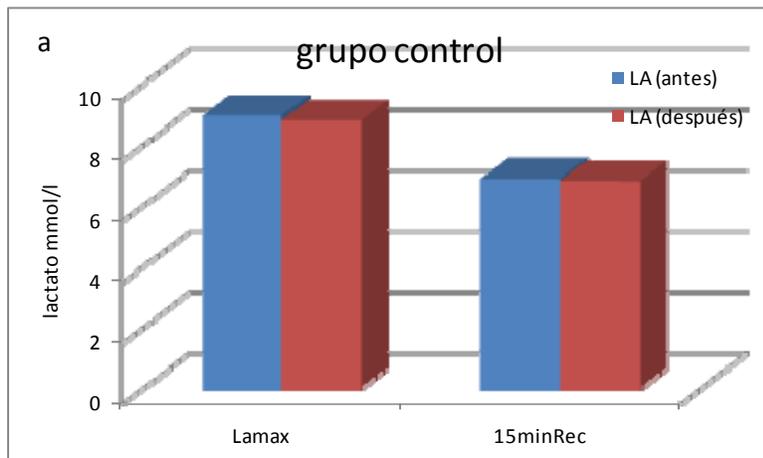
También no se observó diferencia significativa antes y después de la sesión de OHB en recuperación de la FC en 1,3 y 5 minutos después de prueba (Fig.1b).

En el grupo control (Fig.2) tanto en lactato (Fig.2 a) como en FC (Fig.2 b) no se observó diferencia significativa en la velocidad de su recuperación.

El decremento de lactato en 15 minutos de recuperación es 29% tanto en la primera prueba como en la segunda en el grupo control, es menor que en el grupo experimental antes de la sesión de HBO. Pero en este grupo de control los niveles de

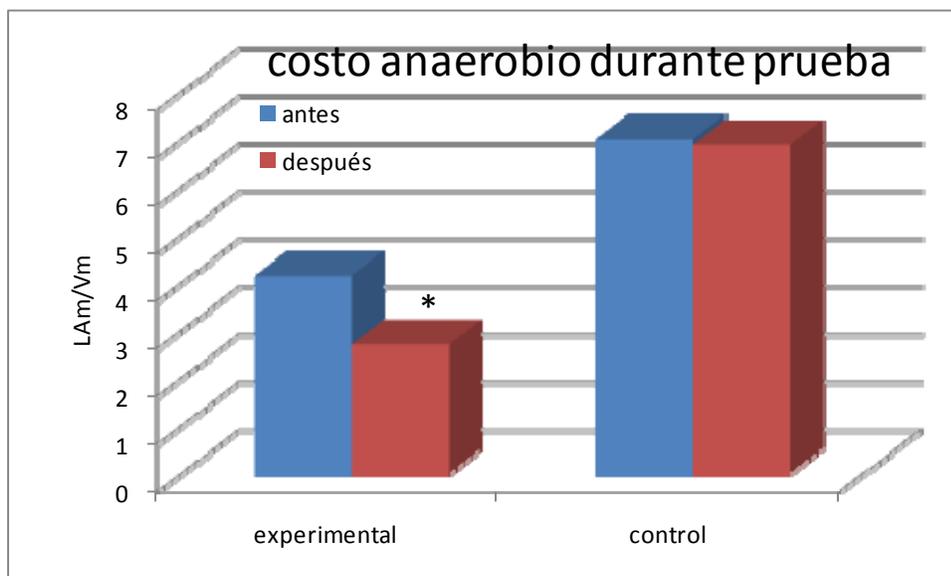
lactato máximo estuvieron más altos que en el grupo experimental, que no es raro para muestra limitada de 6 nadadores en cada grupo. La menor velocidad de eliminación de lactato en este grupo confirma nuestra suposición que metabólicamente el mismo rendimiento promedio en el grupo de control “cuesta” más por la mayor participación de glucólisis anaerobio.

Figura 2. Concentración de lactato (a) y FC (b) durante el periodo de recuperación después de prueba escalonada en el grupo control (sin sesión de HBO).



Si vamos a dividir Lactato máximo entre Velocidad máxima, recibimos la proporción que refleja el costo anaerobio durante prueba: la concentración de lactato por 1m/seg de la velocidad máxima. Comparación entre grupos en este parámetro se presenta en la Fig.3.

Figura 3. Costo anaerobio durante la prueba escalonada en el grupo experimental y de control. * - $p < 0.05$.



Primero que vemos que en el grupo control este costo es mayor comparando con el grupo experimental (7 vs 4.1) a pesar de que la velocidad máxima promedio es parecida en ambos grupos. Claramente vemos que una sesión HBO disminuyó la producción de lactato durante prueba, mientras que en el grupo control no hay cambio ninguno. Es decir que este parámetro por el efecto de oxígeno hiperbárico bajó de 4.1 a 2.7 y este cambio es significativo estadísticamente ($p=0.035$).

ANÁLISIS

En un estudio anterior hemos demostrado que una sesión de HBO aumenta el Umbral Anaerobio en corredores de maratón, que en caso del maratón significa aumento del rendimiento deportivo (21). La natación de 200 m en competencia dura entre 2 y 3 minutos y se abastece principalmente por glucólisis anaerobio con nivel de lactato hasta 18 mmol/l y el rendimiento del nadador no está relacionado directamente con el Umbral Anaerobio.

En este estudio se observó aumento del Umbral Anaerobio y disminuyó significativamente el lactato máximo después de la sesión de HBO, igual como en los corredores (21). Pero no se observó aumento en la velocidad de recuperación de lactato o de FC, en el grupo experimental que muestra ausencia del efecto de oxígeno hiperbárico al proceso de eliminación de lactato y recuperación de FC. Y entonces es más seguro que el aumento del Umbral Anaerobio y el decremento en lactato máximo, están relacionados con la disminución en la producción de lactato y no con su eliminación.

La velocidad máxima en la prueba después de la sesión de HBO no tiene cambios significativos con tendencia a la disminución en 4 de 6 nadadores. Pero si tomamos en cuenta que los nadadores terminaron con menor lactato y menor FC, y que subjetivamente ellos sentían más pesada la prueba después de la sesión de HBO en el sentido de que no podrían desarrollar la velocidad máxima a la que están acostumbrados, todo este conjunto, con ausencia del efecto del oxígeno hiperbárico sobre la velocidad de eliminación de lactato nos permite con alta seguridad concluir que la sesión de HBO disminuyó la **producción** de lactato. Es un resultado importante. Y como la glucólisis anaerobia determina Velocidad máxima del nadador, la sesión de HBO no lo beneficia inmediatamente y/o directamente. El costo anaerobio de Velocidad máxima en la prueba, después de la sesión HBO (Fig.3) esta a favor de nuestra conclusión.

Esta conclusión coincide con datos de otros autores en donde el oxígeno hiperbárico disminuye la actividad de enzimas de glucólisis anaerobia probablemente por decremento en la adrenalina después de la sesión de HBO (2).

Ahora que observamos que una sesión de HBO no favoreció el rendimiento de los nadadores y no aceleró la velocidad de eliminación de lactato y recuperación de FC no significa que no es útil para nadadores de alto rendimiento. Como no sabemos todavía los mecanismos de efectos metabólicos de oxígeno hiperbárico, es probable que haya efectos tardíos de una sesión de HBO que pueden ser muy útiles en proceso de recuperación metabólica durante exceso de cargas de entrenamiento.

CONCLUSIONES

- Una sesión de HBO aumenta umbral de lactato (umbral anaerobio) de los nadadores y disminuye significativamente lactato máximo y FC máxima en una prueba escalonada.
- Una sesión de HBO no afectó procesos de recuperación de lactato o FC después de la prueba.
- Estos cambios no aumentan el rendimiento de nadadores inmediatamente después de oxigenación hiperbárica, tanto objetivamente (velocidad máxima) como subjetivamente (como se sentían los nadadores en segunda prueba).
- Un resultado importante, es la conclusión de que el aumento del umbral de lactato y el decremento en el lactato máximo durante la prueba está relacionado con la inhibición de producción de lactato por la vía de la glucólisis anaerobia.

RECOMENDACIONES

Sería interesante hacer dos grupos de atletas, en los que se pueda hacer seguimiento durante por lo menos 3 meses con la prueba escalonada (o prueba máxima) cada mes: un grupo control y otro grupo con una sesión de HBO cada mes. Es probable que en este caso podamos ver los efectos tardíos del oxígeno hiperbárico y probablemente encontrar el beneficio al atleta si este existe.

BIBLIOGRAFIA

1. Bannister R, Cunningham D. The effect on the respiration and performance during exercise of adding oxygen to the inspired air. *J Physiol* 1954; 125:118-137.
2. Stellingwerff T, Glazier L, Watt MJ, LeBlanc PJ, Heigenhauser JF, Spriet LL. Effects of hyperoxia on skeletal muscle carbohydrate metabolism during transient and steady state exercise. *J Appl Physiol* 2005; 98:250-256.
3. Bannister EW, Taunton JE, Patrick T. Effecto of oxygen of high pressure of rest and during severe exercise. *Respir Physiol* 1970, 10: 74-84.
4. Cabric M, Medved R, Denoble P, Zivkovic M, Kovacevic H. Effect of hyperbaric oxygenation on maximal aerobic performance in a normobaric environment. *J Sports Med Phys Fitness* 1991, 31(3):362-6.
5. Webster AL, Syrotuik DG, Bell GJ, Jones RL, Bhambhani Y, Young M. Exercise after acute hyperbaric oxygenation: is there an ergogenic effect. *Undersea Hyperb Med.* 1998 Fall; 25(3): 153-9.
6. McGavock JM, Lecomte JL, Delaney JS, Lacroix VJ, Hardy P, Montgomery DL. Effects of hyperbaric oxygen on aerobic performance in a normobaric environment. *Undersea Hyperb Med.* 1999 Winter; 26(4):219-24.
7. Hodges ANH, Delaney JS, Lecomte JM; Lacroix VJ, MONTgomery DL. *Br J Sports Med* 2003, 37:516-520.
8. Welch HG, Petersen FB, Gram. T, Klausen K, Secher N. Effects of hiperoxia on leg blood flow and metabolism during exercise. *J Appl Physiol*, 1977, 42: 385-90.

9. Wilson BA, Stainsby WN. Effects of O₂ breathing on RQ, blood flow, and developed tension in situ dog muscle. *Med Sci Sports*, 1978, 10: 167-170.
10. Adams RP, Welch HG. Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fraction. *J Appl Physiol*, 1980, 49(5):863-868.
11. Gregorevic P, Gordon S, Lynch GS, Williams DA. Hyperbaric oxygen improves contractile function of regenerating rat skeletal muscle after myoxic injury. *J Appl Physiol* 2000, 89:1477-1482.
12. Gregorevic P, Williams DA, Lynch GS. Hyperbaric oxygen increases the contractile function of regenerating rat slow muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2002, 34(4):630-6.
13. Linossier MT, Dormois D, Arsac L, Denis C, Gay JP, Lacour JR. Effect of hyperoxia on aerobic and anaerobic performances and muscle metabolism during maximal cycling exercise. *Acta Physiol Scand* 2000, 168:403-411.
14. Babul S, Rhodes EC, Taunton JE, Lepawsky M. Effects of intermittent exposure to hyperbaric oxygen for the treatment of an acute soft tissue injury. *Clin J Sport Med.* 2003 May; 13(3): 138-47.
15. Germain G, Delaney J, Moore G, Lee P, Lacroix V, Montgomery D. Effect of hyperbaric oxygen therapy on exercise-induced muscle soreness. *Undersea Hyperb Med.* 2003 Summer; 30(2):135-45.
16. Kaijser L. Physical exercise under hyperbaric oxygen pressure. *Life Sci* 1969, 8:929-934.
17. Mader A. Evaluation of the endurance performance of marathon runners and theoretical analysis of test results. *J of Sport Med and Phys Fitness* 31: 1-19, 1991.

- 18.** Mekjavic IB, Exner JA, Tesch PA, Eiken O. Hyperbaric oxygen therapy does not affect recovery from delayed onset muscle soreness. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Mar;32(3):558-63.
- 19.** Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marthon running performance. *Int J f Sports Med*, 1981, 2: 23-26.
- 20.** Webster AL, Syrotuik DG, Bell GJ, Jones RL, Hanstock CC. Effects of hyperbaric oxygen on recovery from exercise-induced muscle damage in humans. *Clin J Sport Med.* 2002 May; 12(3): 139-50.
- 21.** Kormanovski A, Hernandez-Garcia DM, Lara-Padilla E, Campos-Rodriguez R. Performance. Metabolic and oxidant/antioxidant response were improved by hyperbaric Oxygen in high performance runners. *Global J of Med Res*, 2010, 10(2): 11-15.
- 22.** Yoshida T. Effect of dietary modification on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise. *Europ J of Appl Physiol*, 1989, 53: 200-205.

