



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE KINESIOLOGÍA**

**EFFECTO DE LA INHALACIÓN DE OXÍGENO PURO
EN LA RECUPERACIÓN DE HOMBRES JÓVENES
SOMETIDOS A EJERCICIO HASTA FATIGA**

JAVIER IGNACIO BRAVO GATICA

2010

**EFFECTO DE LA INHALACIÓN DE OXÍGENO PURO EN LA
RECUPERACIÓN DE HOMBRES JÓVENES SOMETIDOS A
EJERCICIO HASTA FATIGA**



**Tesis
entregada a la
UNIVERSIDAD DE CHILE
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar al grado de
LICENCIADO EN KINESIOLOGÍA**

FACULTAD DE MEDICINA

JAVIER IGNACIO BRAVO GATICA

2010

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Allan White Ortiz

PATROCINANTE DE TESIS: Prof. Sylvia E. Ortiz

**FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD DE CHILE**

**INFORME DE APROBACIÓN
TESIS DE LICENCIATURA**

Se informa a la Escuela de Kinesiología de la Facultad de Medicina que la tesis de licenciatura presentada por:

JAVIER IGNACIO BRAVO GATICA

ha sido aprobada por la Comisión Informante de Tesis como requisito para optar al grado de Licenciado en Kinesiología, en el examen de defensa de Tesis rendido el 3 de diciembre de 2010

DIRECTOR DE TESIS:

Prof. Allan White Ortiz

FIRMA

COMISIÓN INFORMANTE DE TESIS:

NOMBRE

FIRMA

Sylvia E. Ortiz Zúñiga

.....

Matías Ossa Cox

.....

Juan Pablo Araya Silva

.....

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis compañeros de Facultad y a mis amigos, todos ellos deportistas amateurs, que colaboraron en este estudio como sujetos experimentales, sin los cuales el desarrollo de esta tesis no hubiera sido posible.

Agradezco de manera especial a Carmen Gloria Muñoz Sagredo por tomar las muestras de sangre y a Rodrigo Osorio Aaby por su activa participación en el registro de datos sin esperar nada más que la oportunidad de aprender.

A Claudia Gatica Román por su colaboración y ánimo entregado.

Agradezco al profesor Marcelo Cano Cappellacci por su activa participación y colaboración con ideas, además de ser siempre un guía, tanto para el desarrollo como estudiante, como también en el ámbito espiritual.

A don René Milla por su trabajo diligente, por su buena voluntad y ganas de ayudar.

A la profesora Sylvia Ortiz por ser una de las personas que guía este proceso.

A mis padres por siempre ayudarme a salir adelante ante la adversidad, apoyarme y otorgarme su confianza.

Finalmente al profesor guía de mi tesis, el Dr. Allan White Ortiz, quien se ha convertido en un gran mentor, una amplia fuente de conocimiento y un guía espiritual tanto en el saber, como en el arduo camino de la vida.

Gracias por creer en mí.

A mis padres por el amor, apoyo y dedicación incondicional
A mi hermana, su marido y el fruto de su amor que alegrará nuestras vidas
A mis familiares y amistades por siempre confiar en mí
Javier

ÍNDICE

	Página
1. Resumen	i
2. Abstract	ii
3. Abreviaturas	iii
4. Introducción	1
5. Marco teórico	2
5.1 Homeostasis	2
5.2 Lactatemia	3
5.3 Frecuencia cardiaca y presión arterial	5
5.4 Glicemia	6
5.5 Hematocrito y concentración de proteínas plasmáticas totales	7
5.6 Fatiga	8
5.7 Rol del oxígeno en la recuperación de la fatiga	8
5.8 Hiperoxia alveolar por aire enriquecido en oxígeno	9
5.9 Pregunta de investigación	12
5.10 Justificación	12
5.11 Objetivo general	13
5.12 Objetivos específicos	13
5.13 Hipótesis de investigación	13
6. Material y métodos	14
6.1 Diseño de investigación	14
6.2 Población de estudio	14

6.3 Criterios de inclusión	14
6.4 Criterios de exclusión	14
6.5 Selección de la muestra	14
6.6 Variable independiente	14
6.7 Variables dependientes	15
6.8 Variables desconcertantes	16
6.9 Procedimiento	16
6.10 Procedimiento estadístico	19
7. Resultados	20
8. Discusión	23
9. Conclusión	25
10. Proyecciones	26
11. Bibliografía	27
12. Anexo 1: Consentimiento informado	30

TABLAS

	Página
TABLA 1	33
TABLA 2	34
TABLA 3	35
TABLA 4	36

FOTOGRAFÍAS

	Página
FOTOGRAFÍA 1	37
FOTOGRAFÍA 2	37
FOTOGRAFÍA 3	38
FOTOGRAFÍA 4	38
FOTOGRAFÍA 5	39
FOTOGRAFÍA 6	39
FOTOGRAFÍA 7	40
FOTOGRAFÍA 8	40

1. RESUMEN

La fatiga producida por el ejercicio necesita tiempo para su recuperación, lo que constituye un problema en deportes de larga duración y esfuerzo intenso. Por esto, es motivo de constante interés la búsqueda de ayudas ergogénicas que optimicen el ejercicio y aceleren la recuperación de la fatiga. Este estudio propuso establecer en 12 hombres jóvenes, voluntarios, la eficacia de respirar oxígeno puro durante el inicio de la fase post-ejercicio para la recuperación de la fatiga. Cada individuo fue sometido en dos ocasiones, con un intervalo de una a dos semanas, a un protocolo de ejercicio hasta fatiga en *treadmill* y una vez alcanzada ésta, se les hizo inhalar en una ocasión oxígeno puro y en la otra placebo (aire atmosférico) cada 30 segundos, durante siete minutos, proporcionado mediante envases que disponen de una mascarilla para su aplicación. Los envases fueron diferenciados con marcas conocidas solamente por el proveedor (doble ciego). Antes del ejercicio y después de alcanzada la fatiga (0, 7, 14, 21 y 35 minutos) se midió en los individuos: presión arterial, saturación arterial de O₂ y frecuencia cardiaca, tomándose además muestras de sangre venosa para medir lactatemia, glicemia, hematocrito y concentración de proteínas plasmáticas totales. Este estudio fue prospectivo, explicativo y utilizó un diseño cuasi-experimental, con una muestra no probabilística por conveniencia. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el *software* SPSS v. 18.0, aplicándose la prueba “*t*-Student” para cada par de variables. En los resultados obtenidos se observó que al cabo de 7 minutos de inhalación de oxígeno después de alcanzada la fatiga, la lactatemia disminuyó significativamente y que 35 minutos después de finalizado el ejercicio la glicemia aumentó significativamente, confirmando así el rol del oxígeno en la recuperación de la fatiga. Esto podría atribuirse a un metabolismo energético más eficiente como consecuencia de la administración de oxígeno.

Palabras Clave: *Ejercicio; Fatiga; Hiperoxia; Presión arterial; Frecuencia cardiaca; Saturación arterial de oxígeno; Lactatemia; Glicemia; Hematocrito; Concentración de proteínas plasmáticas totales.*

2. ABSTRACT

Time is needed to fully recuperate from fatigue after doing exercise. This constitutes a problem in sports of long duration and high intensity. It becomes a motive for constant concern to search for better ergogenic aids that enhance performance in exercise and increase recuperation speed from fatigue. This study proposes to establish in 12 young male volunteers the real efficacy of breathing pure oxygen during the start of the post-exercise phase in order to recover from fatigue. Each individual underwent on 2 occasions an exercise protocol where fatigue had to be achieved after running on a treadmill. Once fatigue was accomplished, each participant inhaled pure oxygen or a placebo (atmospheric air) every 30 seconds during a lapse of seven minutes. The O₂ and placebo were rationed in special containers that included a mask for breathing when applying it to the individual. The recipients were differentiated from one another by different markers that were known only by the providers (double blind experiment). Before the treadmill exercise and after fatigue was achieved (0, 7, 14, 21 and 35 minutes) the following were measured on the individual: arterial pressure, arterial saturation of O₂ and heart rate. Venous blood samples were also taken to measure lactatemia, glycemia, hematocrit and total concentration of plasma proteins. This was a prospective, explanatory study and it utilizes a quasi-experimental design with a nonprobability convenience sampling. SPSS v. 18.0 software was used for the statistical analysis of the results, applying the *t*-student test for two variables. The results showed a diminished lactatemia after seven minutes breathing oxygen post-fatigue and an increment in the Glycemia at 35 minutes post-exercise, that confirm the role of oxygen in the recovery from fatigue. These results suggest a higher efficiency in the energetic metabolism as a consequence of breathing pure oxygen.

Keywords: Exercise; Fatigue; Hyperoxia; Arterial pressure; Heart rate; Arterial saturation of oxygen; Lactatemia; Glycemia; Hematocrit; Total concentration of plasma proteins.

3. ABREVIATURAS

CaO ₂	= concentración arterial de oxígeno
dL	= decilitro
D.E.	= desviación estándar
EPOC	= enfermedad pulmonar obstructiva crónica
FC	= frecuencia cardiaca
FiO ₂	= fracción inspirada de oxígeno
IMC	= índice de masa corporal
Kg	= kilogramo
Kg/m ²	= kilogramo / metro cuadrado
Km/h	= kilómetro / hora
L/min	= litro / minuto
Lpm	= latido / minuto
mg	= milígramo
mmHg	= milímetro de mercurio
mM	= milimolar
mL	= mililitro
PA	= presión arterial
PAD	= presión arterial diastólica
PAS	= presión arterial sistólica
PO ₂	= presión parcial de oxígeno
PPT	= concentración de proteínas plasmáticas totales
SatO ₂	= saturación arterial de O ₂
V'O ₂	= consumo de oxígeno

4. INTRODUCCIÓN

El ejercicio físico es una actividad que desarrollan todos los seres humanos durante su existencia y es importante conocer los mecanismos fisiológicos involucrados. La práctica insuficiente de ejercicio físico predispone a la obesidad y a otras diversas patologías.

Inherente al ejercicio exhaustivo es la fatiga, instancia en que el tejido muscular se agota por la falta de energía, debido a la gran demanda que puede implicar la actividad física. En esta instancia se observa incapacidad del músculo de generar o mantener la fuerza requerida. Para denotar este estado existen indicadores fisiológicos tales como altos niveles de lactatemia precedidos del umbral de lactato e incrementos de una serie de parámetros orgánicos, tales como frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca.

El retorno a los valores basales, después de alcanzada la fatiga, requiere un tiempo variable y en ello participan mecanismos bioquímicos y fisiológicos que involucran el uso de oxígeno como metabolito esencial para la generación de energía que permita a los tejidos volver a su condición de normalidad.

Oxígeno inhalado en altas concentraciones (99,5% +/- 0,5%), incrementa significativamente la PO_2 alveolar y arterial y por consiguiente la oferta de O_2 a los tejidos, de esta manera se produciría una recuperación de las condiciones basales en menor tiempo. Por consiguiente es importante demostrar con fundamentos científicos la eficacia de respirar oxígeno puro con esta finalidad.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Homeostasis

En condiciones de reposo el organismo se mantiene en funcionamiento mediante un metabolismo basal. Con el ejercicio este metabolismo aumenta, con el consiguiente incremento proporcional del consumo de oxígeno, el cual llegó, a manera de ejemplo, a $64,6 \pm 11,3$ L/min en individuos que corrieron a 70% de su FC máxima durante 30 minutos (Camps, A., 2007). Este mayor consumo de oxígeno se debe a la necesidad de sintetizar una mayor cantidad de ATP mediante la fosforilación oxidativa. Cuando la demanda energética es superior a la generada por el oxígeno que llega a las mitocondrias se produce lo que se conoce como “deuda de oxígeno” y esto se relaciona con un incremento en la síntesis de lactato. En el período post-ejercicio, en lo que se conoce como ciclo de Cori, el lactato generado en el músculo es llevado por la sangre hasta el hígado con el fin de sintetizar glucógeno, mientras glucosa liberada a partir de este glucógeno hepático viaja hasta el músculo para ser metabolizada generando energía. Una parte de la deuda de oxígeno no se relaciona con la acumulación de lactato en el ejercicio, sino con la necesidad de restablecer las concentraciones intramusculares de ATP y fosfocreatina, como también, en menor medida, con el restablecimiento de los depósitos de oxígeno en la mioglobina muscular y en la hemoglobina sanguínea (Camps, A., 2007). Cuando en el ejercicio se supera el umbral anaeróbico, instancia en que se sobrepasa la capacidad del organismo de generar los niveles requeridos de energía por intermedio del oxígeno, el lactato aumenta abruptamente en la concentración sanguínea. Coincidentemente aumentan los niveles de insulina, facilitando el ingreso de glucosa a las células, y de hormonas hiperglicemiantes como glucagón, cortisol, etc. que idealmente permiten que la glicemia se mantenga bastante estable. Como consecuencia de esta acción regulatoria endocrina, después de un ejercicio exhaustivo es posible detectar inicialmente valores de glicemia e insulina significativamente incrementados (entre 40% y 70%,

respectivamente). Diversos procesos bioquímicos y fisiológicos que ocurren después del ejercicio físico, permiten que estos valores vuelvan a su normalidad.

5.2 Lactatemia

La medición de lactato sanguíneo, antes, durante y después de ejercicio realizado hasta fatiga, constituye un elemento de juicio válido para estimar la medida en que se requirió de la glucólisis anaeróbica como fuente de energía, la eficiencia de su mecanismo de transporte por las membranas hacia el intersticio, y su reversibilidad metabólica. Por otra parte, permite también evaluar el incremento de la capacidad aeróbica del individuo estableciendo el desplazamiento del umbral anaeróbico en el curso de un proceso de entrenamiento. Su estudio cinético individual, en pruebas estandarizadas, podría constituir un apoyo valioso para la evaluación de los progresos de los deportistas.

El lactato sanguíneo, a diferencia de la FC, el gasto cardíaco o el consumo de oxígeno ($V'O_2$) no tiene un comportamiento lineal en relación a la carga física correspondiente, fundamentalmente debido a que su aparición en sangre está en función de diferentes mecanismos que intervienen en su producción, consumo y distribución por los distintos compartimientos del organismo (muscular, sanguíneo e intersticial). Por debajo del «umbral anaeróbico», la concentración de lactato en sangre varía poco de la observada en reposo, tanto ante cargas de tipo triangular (ejercicio ascendente progresivo), como rectangular (carga mantenida de ejercicio). A niveles submáximos de esfuerzo, si no se sobrepasa el umbral, observaremos un equilibrio entre la producción y su eliminación, existiendo un «estado-estable» metabólico. Con intensidades de esfuerzo por encima del umbral anaeróbico se producirá un exceso de ácido láctico. Si mantenemos dicha intensidad de ejercicio se producirá un aumento lineal de la concentración de lactato por acumulación en el músculo en ejercicio, y tras su distribución, también en el compartimiento sanguíneo (García del Moral, L. y cols., 1988).

El máximo estado-estable del lactato ha sido establecido a partir de un promedio de resultados empíricos en biopsias musculares, correspondiendo a una concentración sanguínea de 4 mM (García del Moral, L. y cols., 1988). La aparición de este máximo estado-estable en sangre ha sido descrita como «umbral aero-anaeróbico» o «umbral anaeróbico» o «*Onset of blood lactate accumulation*». Según diversos estudios, los valores máximos de lactato en sangre y en el músculo cuádriceps son inferiores en el niño que en el adulto (García del Moral, L. y cols., 1988). Ello sugiere que la capacidad de los niños para producir lactato durante el ejercicio máximo, depende de su maduración biológica. Ello sugiere que la capacidad de los niños para producir lactato durante el ejercicio máximo, depende de su maduración biológica (García del Moral, L. y cols., 1988).

Un entrenamiento previo a la realización de un ejercicio intenso va a producir una reducción de la concentración de glucógeno muscular, y con ello una menor producción de lactato durante la prueba, pudiéndose obtener además concentraciones máximas inferiores. Por otro lado una dieta rica en hidratos de carbono, establecida durante 3 a 7 días, al incrementar las reservas glucogénicas, aumentará la capacidad de producción máxima de lactato, no alterando sin embargo el $\dot{V}O_2$ máx (García del Moral, L. y cols., 1988). Este tipo de dieta modifica el umbral anaeróbico (4 mM de lactatemia), el cual se registrará a valores inferiores de $\dot{V}O_2$. La ingestión de glucosa justo antes de realizar un ejercicio físico produce un aumento de la glicemia, y puede producir secundariamente un aumento de la concentración de lactato en sangre. La lactatemia durante el ejercicio máximo y submáximo va a ser influida por el grado de condición física del deportista. Un mayor porcentaje de fibras musculares tipo I (fibras lentas u oxidativas) va a ser responsable del retraso en el inicio de la acumulación de lactato en sangre, debido a la mayor densidad de capilares, a la mayor capacidad oxidativa y a los niveles inferiores de actividad de las enzimas glicolíticas (García del Moral, L. y cols., 1988).

Entre un 10% y un 30 % del lactato producido durante el ejercicio hasta umbral anaeróbico, pasa al torrente circulatorio durante la actividad física. Para los ejercicios en *treadmill* y en cicloergómetro, se asume que participaría una masa muscular equivalente al 25-30 % de la masa corporal, aunque estas cifras pueden variar de unos individuos a otros y probablemente no todos los músculos que intervienen en el esfuerzo serían activados con igual intensidad (Calbet, J. y cols., 1998).

La aparición del lactato por sobre el umbral anaeróbico indica que ya se ha sobrepasado la capacidad del metabolismo aeróbico para generar la totalidad energía requerida en un ejercicio intenso. Si el organismo es capaz de proseguir dicho ejercicio máximo, significa que ha debido contraer una creciente “deuda de O₂”, la que se recupera en el período de reposo subsiguiente, fase en que el lactato es utilizado para formar glicógeno en el hígado, en una secuencia de reacciones que tienen lugar dentro del ciclo de Cori.

La lactatemia de un ser humano en reposo es muy baja, de 1 a 2 mM, valor que se mantiene sin variación hasta que la intensidad del ejercicio muscular requiera 70% del V'O₂ máx. A mayor intensidad del ejercicio, se observa un incremento casi lineal de la lactatemia (Günther, B. y cols., 2005).

5.3 Frecuencia cardíaca y presión arterial

La frecuencia cardíaca es el indicador de esfuerzo más utilizado. Dado que su medición es relativamente simple, se ha utilizado en gran variedad de pruebas de campo y protocolos de esfuerzo para estimar y monitorizar la intensidad del ejercicio (Barbero, J.C. y cols., 2004). La FC posee una correlación lineal con el nivel de esfuerzo hasta valores de alrededor de 170 latidos por minuto. Numerosos autores indican que un aumento en la intensidad del ejercicio se refleja en un incremento proporcional de la frecuencia cardíaca y del consumo de oxígeno, y a su vez de la frecuencia respiratoria. Tanto la frecuencia cardíaca como respiratoria se incrementan para

facilitar el transporte del oxígeno a los músculos que están trabajando en ese momento (Barbero, J.C. y cols., 2004).

Inicialmente la contracción muscular produce taquicardia y aumenta la presión arterial diastólica debido al aumento generalizado de la actividad simpática por diversos mecanismos. Posteriormente hay cambios hemodinámicos producidos por el aumento del retorno venoso inducidos por la contracción muscular y por el aumento de la frecuencia cardiaca y por consiguiente el gasto cardiaco, este aumento del retorno venoso también contribuye a la taquicardia (Plascencia- Álvarez, N. y cols., 2002).

En un estudio realizado en jugadores de fútbol universitario a los cuales se le administraron distintas concentraciones de oxígeno, antes de realizar una prueba en cicloergómetro, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la administración de las diversas concentraciones de oxígeno y el cambio en la FC de los sujetos estudiados (Manzano, R. y Wilton, C., 2009).

5.4 Glicemia

Desde el comienzo del ejercicio se ponen en marcha mecanismos destinados a favorecer el transporte de glucosa al músculo, como es el aumento de la kalemia debido a un mecanismo α -adrenérgico, que gatilla un pulso fugaz de insulina. Esto se facilita por el aumento de la disponibilidad de glucosa debido a la vasodilatación del territorio muscular en actividad. La glucosa que es transportada al músculo desde la sangre tiene dos efectos, el primero es proveer de energía al músculo a través de la vía glicolítica, y el segundo corresponde mantener regulada la glicemia.

Una vez concluida la actividad física se produce la conocida hiperglicemia post ejercicio, en la que participan hormonas diabetógenas como catecolaminas, cortisol, glucagón y somatotrofina. Esta hiperglicemia debería retornar más rápidamente a los valores basales, debido

a una homeostasis más eficiente, en los individuos mejor adaptados a la cargas atléticas (McArdle, W. y cols., 2004).

5.5 Hematocrito y PPT

La hemoglobina, el hematocrito y el recuento de glóbulos tienen una relación importante con el transporte de oxígeno y por lo tanto pueden influenciar el desempeño en los deportes de resistencia, como es el caso del ciclismo, las competencias de atletismo, etc. En el transcurso de un ejercicio físico aeróbico prolongado el volumen de plasma se reduce y se produce una hemoconcentración, evidenciada en un incremento en el valor del hematocrito. Algunos autores establecen que el recuento de glóbulos rojos se aumenta con frecuencia durante los primeros momentos del ejercicio, debido a la hemoconcentración (Ramos, C. y cols., 2007). El hematocrito también permite estimar el grado de deshidratación alcanzado con la sudoración, ventilación pulmonar y paso de agua al músculo hiperosmótico en ejercicio (McArdle, W. y cols., 2004).

Un estudio, en que sujetos sedentarios, que no reciben hidratación durante la actividad física, trabajan a intensidades cercanas al 60% de su capacidad máxima teórica, señala que no se presentan alteraciones importantes en las concentración de hemoglobina ni en el hematocrito (Ramos, C. y cols., 2007).

Si se considera que las PPT prácticamente no cambian de comportamiento en forma significativa durante el ejercicio, su concentración puede reflejar fielmente la salida de agua desde el interior de los vasos sanguíneos hacia otros compartimientos y hacia el medio externo (McArdle, W. y cols., 2004).

Un estudio demostró que en mujeres no aclimatadas al ejercicio hubo una mayor pérdida de volumen plasmático del espacio vascular, durante una actividad física intensa, que en aquellas que practicaban actividad física con frecuencia. Además, ha sido descrita una mayor pérdida de volumen plasmático en las mujeres, en comparación con los hombres. (Sánchez-González, J. y cols., 2005).

5.6 Fatiga

Los mecanismos precisos por los cuales un organismo llega a la fatiga durante el ejercicio anaeróbico intenso no se conocen del todo, sin embargo el incremento de la concentración de lactato en sangre es un índice aceptado de fatiga (McArdle, W. y cols., 2004).

De la misma manera este término es ambiguo en su definición, con límites difusos respecto a otros términos como astenia, cansancio, disnea, laxitud, falta de energía, debilidad y pérdida de fuerza. La fatiga fisiológica y la conductual en el ejercicio se definen de manera diferente, siendo sus síntomas similares. Una definición es describir fatiga como la sensación subjetiva de cansancio o debilidad experimentada al realizar un esfuerzo, acompañada o no de dificultad en la respiración. El mayor consumo de oxígeno requerido provoca la sensación de disnea y, como consecuencia, fatigabilidad (Iriarte, J. y cols., 1996).

5.7 Rol del oxígeno en la recuperación de la fatiga

El oxígeno actúa como comburente en las reacciones que tienen lugar a nivel celular y que permiten la transformación de la energía química (a partir de los hidratos de carbono, lípidos y proteínas) en energía mecánica (contracción muscular) (López, J. y Fernández, A., 1998). La ventilación es el proceso que permite que el aire entre y salga de los alvéolos y a través de la respiración, el oxígeno puede por intermedio de la circulación sanguínea llegar a cualquier célula, posibilitando la oxidación de metabolitos y producción de energía (Berne, R., 1998).

Durante el ejercicio el organismo necesita una mayor cantidad de energía en menor tiempo, por lo que debe recurrir a la glucólisis, en la cual una molécula de glucosa se transforma en dos moléculas de piruvato. El piruvato puede seguir dos rutas distintas, una aeróbica, en la cual la oxidación completa de una molécula de glucosa dentro del ciclo de Krebs a CO₂ da lugar a la formación de 30-32 moléculas de ATP, en cambio, la glucólisis en condiciones anaeróbicas,

como en un ejercicio intenso, genera sólo 2 ATP por cada molécula de glucosa, generando lactato (Lehninger, A. y cols., 2001).

A.V. Hill denominó al $V'O_2$ correspondiente a la recuperación de la fatiga como deuda de oxígeno, actualmente se utilizan términos como consumo de oxígeno de la recuperación o consumo en exceso de oxígeno tras el ejercicio. Durante el ejercicio intenso máximo, no se puede alcanzar un estado estable, lo que produce grandes cantidades de lactato. Se acumula lactato en la sangre y es necesario algún tiempo para que el $V'O_2$ vuelva al nivel previo al ejercicio. Es casi imposible determinar el déficit de oxígeno verdadero en este tipo de ejercicio debido a que no existe un estado estable y la necesidad de energía supera a la producida por $V'O_{2máx}$. Para Hill la deuda de oxígeno tiene dos fines: 1º restablecer los depósitos originales de hidratos de carbono transformando aproximadamente el 80% del lactato en glucógeno en el hígado, y 2º catabolizar el lactato restante para obtener energía a través de la ruta piruvato-ciclo de Krebs. El ATP generado por esta última ruta presumiblemente estimula la síntesis de glucógeno a partir del lactato acumulado (McArdle, W. y cols., 2004).

El $V'O_2$ durante la recuperación, es considerablemente mayor que el déficit de oxígeno del ejercicio agotador de intensidad alta, y este se produce en parte por factores como la elevación de la temperatura corporal. La temperatura interna frecuentemente aumenta unos 3°C durante el ejercicio vigoroso y puede permanecer elevada durante varias horas en la recuperación. Este empuje termogénico estimula directamente el metabolismo y aumenta el $V'O_2$ tras el ejercicio (McArdle, W. y cols., 2004).

5.8 Hiperoxia alveolar por aire enriquecido en oxígeno

La hiperoxia alveolar puede lograrse con un incremento en la concentración de oxígeno en el aire inspirado ($FiO_2 > 0,2093$) y/o exposición a hiperbaria (Astorino, T. y Robergs, R., 2003).

Chronos y cols., al estudiar 11 sujetos normales, encuentran que al respirar O₂ al 100% durante el ejercicio, experimentan menor disnea que respirando aire ambiente u O₂ al 13%, con niveles similares de carga.

Respirar gases hiperóxicos aumenta la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre. Weltman y cols., investigaron el efecto de utilizar gas hiperóxico durante la recuperación de un ejercicio agotador y no se produjeron diferencias entre las pruebas respirando aire ambiental u oxígeno cuando se compararon los lactatos sanguíneos durante los períodos de recuperación de 10 y 20 minutos. Esto indica que la inhalación de oxígeno no alteró la eliminación de lactato. Estos hallazgos no apoyan la utilización de las mezclas hiperóxicas de respiración para facilitar la recuperación o como ayuda para mejorar el rendimiento tras diferentes duraciones de la recuperación del ejercicio previo. (McArdle, W. y cols., 2004).

Se analizó la relación entre variaciones en el PO₂ y la fatiga muscular periférica, en individuos que se sometieron a un ejercicio hasta la fatiga bajo condiciones de hipoxia (15% de oxígeno), normoxia (21% de oxígeno) e hiperoxia (100% de oxígeno). En hipoxia la PO₂ se redujo en un 15% mientras que en hiperoxia aumento en un 12% con respecto a los valores de normoxia. La fatiga muscular fue determinada mediante una electromiografía de superficie en el vasto lateral del músculo cuádriceps femoral durante todo el ejercicio, revelando variaciones del ritmo de reclutamiento del músculo. Este ritmo se alteró de manera significativa en hipoxia (15%), mientras que la diferencia entre normoxia e hiperoxia no fue significativa (7 y 6% respectivamente). Por lo tanto se evidencia una alteración del ritmo del desarrollo de la fatiga muscular al variar la FiO₂ (Amann, M. y cols., 2006).

Al llevar a cabo un ejercicio maximal en condiciones de hiperoxia (60% de oxígeno) comparándolo con uno en normoxia, se revela que el glicógeno aumenta dos veces menos que la glucosa-6-fosfato y el lactato se acumula menos, sin embargo, no se observan diferencias

significativas de piruvato, fosfocreatina y lactato sanguíneo y muscular. En tanto, las concentraciones de ATP, ADP y NADH aumentan en hiperoxia, lo que supone una mayor tasa de oxidación de piruvato en la mitocondria, lo que reduce la acidosis metabólica y permite un mejor funcionamiento de la glicólisis y procesos de contracción, retrasando la fatiga muscular (Linossier, M. y cols., 2000).

Ahora bien, se puede llegar a pensar que la inspiración de 100% de oxígeno podría no aumentar su entrega neta a los tejidos, pues el flujo sanguíneo disminuiría debido a una vasoconstricción inducida por hiperoxia, aunque esto es aún controversial (Rousseau, A. y cols., 2005).

El oxígeno que consume una persona en situación de reposo absoluto corresponde al metabolismo basal y es aproximadamente de 3,5 mL de oxígeno por kilogramo de peso, por minuto. A medida que se establece una mayor demanda energética, el consumo de oxígeno va siendo cada vez mayor (López, J. y Fernández, A., 1998).

En ocasiones un exceso en la inhalación de altas concentraciones de oxígeno puede provocar daños al individuo que haga uso de él. Debido a esto el organismo se protege de la excesiva cantidad de oxígeno produciendo radicales libres. La hiperoxia, por otra parte, incrementa la formación de antioxidantes enzimáticos que intentan frenar el aumento de radicales libres. Si este mecanismo compensador es insuficiente, se produce el llamado estrés oxidativo. Cuando se alcanza una presión parcial de oxígeno excesivamente elevada, puede presentarse un cuadro de irritación cortical, el cual fue descrito por Paul Bert en 1878. Esta irritación cortical disminuye rápidamente al cesar la administración de oxígeno (Desola, 1998).

El Oxígeno inspirado aumenta el rendimiento del trabajo muscular, retardando la fatiga de los músculos inspiratorios provocada por el ejercicio en bicicleta durante una carga suave de

ejercicio, pero falla al hacerlo con cargas de ejercicio máximo (Segizbaeva, M. y Aleksandrova, N., 2009).

En modelos animales, la hiperoxia prolongada (7 días con FiO₂ al 100%) da lugar a alteraciones histopatológicas similares a las encontradas en la lesión pulmonar aguda o en los modelos de lesión pulmonar inducida por el respirador artificial. En humanos sanos, la exposición a O₂ al 100% produce una progresiva reducción en la capacidad vital forzada y en la capacidad residual funcional, atelectasias, alteración del aclaramiento mucociliar y traqueobronquitis (Gordo-Vidal, F. y col., 2009).

5.9 Pregunta de investigación

¿Cuál es el efecto del oxígeno puro sobre la velocidad de recuperación de los valores de reposo de variables relacionadas con el ejercicio físico, realizado hasta fatiga, en hombres entre 18 y 25 años?

5.10 Justificación

Cuando el flujo de oxígeno que llega a las mitocondrias es inferior al necesario para generar, en la cadena transportadora de electrones, la energía que requiere un ejercicio intenso, la lactatemia aumenta significativamente, lo cual está asociado con acidosis metabólica y otras alteraciones que afectan los procesos fisiológicos. Esto tiene especial importancia en deportes de larga duración y esfuerzo intenso. Si la hipótesis es confirmada, podría incorporarse en el manejo de los deportistas la inhalación de oxígeno puro después de realizar ejercicio intenso, durante un cierto tiempo y con una cierta frecuencia, optimizando su rendimiento físico y quedando en menos tiempo en condiciones de afrontar la demanda de un nuevo esfuerzo físico. De esta manera, la deuda de oxígeno se podría recuperar en menor tiempo y el tejido muscular quedaría menos expuesto a efectos deletéreos de diversos catabolitos asociados al estado de fatiga.

5.11 Objetivo general:

"Determinar cambios en función del tiempo, después de haber sido alcanzada la fatiga, en algunas variables indicadoras de ésta, inhalando alternadamente oxígeno puro y aire atmosférico"

5.12 Objetivos específicos

Comparar la velocidad de recuperación de valores basales, en condiciones normóxicas con hiperóxicas, de parámetros involucrados en el metabolismo energético, tales como: PA, FC, SatO₂, lactatemia, glicemia, hematocrito y concentración de proteínas plasmáticas totales.

5.13 Hipótesis de investigación

"Inhalar oxígeno puro acelera la recuperación de los valores basales de las variables medidas como indicadores de fatiga, en hombres de 18 a 25 años de edad."

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Diseño de investigación

Esta investigación es un estudio prospectivo, transversal, explicativo que utiliza un diseño cuasi-experimental, con una muestra no probabilística por conveniencia. Se utilizó el mismo grupo control para obtener los datos post inhalación de oxígeno puro, utilizando un mecanismo de doble ciego.

6.2 Población de estudio

Hombres jóvenes que realizan habitualmente una actividad física aeróbica intensa.

6.3 Criterios de inclusión

El estudio se llevó a cabo en 12 individuos sanos, de sexo masculino, de entre 18 y 25 años de edad, con un IMC entre 20 y 28 Kg/m², que realizaban actividad física aeróbica intensa de mínimo una hora, entre tres y cinco veces a la semana.

6.4 Criterios de exclusión

Se excluyó del estudio a todos los sujetos que utilizaran estimulantes o medicamentos que pudieran ralentizar o acelerar los mecanismos homeostáticos de recuperación de la fatiga. No participaron sujetos que tuvieran alguna lesión músculo-esquelética ni que se encontraran enfermos los días de evaluación.

6.5 Selección de la muestra

La muestra fue de 12 sujetos, varones, de entre 18 y 25 años de edad, voluntarios que firmaron previamente el consentimiento informado de este estudio (Anexo 1).

6.6 Variable independiente

- Tiempo, desde el instante en que se alcanza la fatiga, en función del cual se modifican los valores de las variables medidas como indicadores de fatiga.

6.7 Variables dependientes

- Frecuencia cardiaca:

Definición conceptual: Es la cantidad de latidos cardíacos por minuto.

Definición operacional: Los latidos fueron tomados por medio de un monitor de frecuencia cardiaca marca *Polar*; el resultado se expresa en lpm.

- Presión arterial:

Definición conceptual: Es la presión que ejerce la sangre contra la pared de las arterias.

Definición operacional: Fue medida con un esfigmomanómetro de mercurio, se expresó en mmHg.

- Saturación arterial de oxígeno

Definición conceptual: Es el porcentaje de saturación de la hemoglobina con oxígeno.

Definición operacional: La SatO_2 fue tomada con un oxímetro de pulso, el resultado se expresó en porcentaje.

- Glicemia:

Definición conceptual: Es la concentración de glucosa en la sangre.

Definición operacional: Se obtuvo mediante el uso de tiras reactivas 01 Glucocard y la lectura de la reacción colorimétrica en el fotolorímetro de reflexión Glucocard 01-mini. Se expresó en mg/dL.

- Lactatemia:

Definición conceptual: Es la concentración de lactato en la sangre.

Definición operacional: Se obtuvo mediante el uso de tiras reactivas BM-Lactate y la lectura de la reacción colorimétrica en el fotolorímetro de refracción Accutrend Plus. El resultado se expresó en mM.

- Hematocrito:

Definición conceptual: Porcentaje de la sangre que ocupan los glóbulos rojos.

Definición operacional: Una vez separados (decantados) los elementos figurados de la sangre por centrifugación, se calculó su porcentaje en relación al volumen total de sangre.

- Concentración de proteínas plasmáticas totales:

Definición conceptual: Concentración de proteínas en el plasma sanguíneo.

Definición operacional: En el plasma obtenido por centrifugación de la sangre, se midió la concentración de PPT por refractometría. El resultado se expresó en g/dL.

6.8 Variables desconcertantes

En este estudio pueden considerarse variables que pudieran alterar los resultados, tales como la motivación de cada sujeto, su capacidad física, el gesto técnico para llevar a cabo el ejercicio y el nivel de compromiso con el estudio llevado a cabo.

6.9 Procedimientos

Los individuos fueron sometidos en dos oportunidades, con un intervalo de una a dos semanas, a un protocolo estandarizado de ejercicio escalonado en *treadmill*, con pendiente creciente, hasta fatiga, entendiendo como tal la incapacidad de mantener la velocidad del protocolo, por cansancio muscular (Fotografía 1). El protocolo consiste en hacer que los individuos evaluados corran a una velocidad constante de 8,5 Km/h, partiendo con 0% de pendiente, para luego elevarla un 2% cada 2 minutos de trote, hasta alcanzar el máximo posible en el *treadmill* (15%) (Fotografía 3 y 4). Durante el período de recuperación, después de la fatiga, en ambas oportunidades los individuos inhalaban la mezcla gaseosa contenida bajo presión en una botella que dispone de una mascarilla para este efecto. Se ocuparon botellas con 100% de oxígeno y otras con aire atmosférico como placebo (21% de oxígeno), las cuales fueron diferenciadas por el fabricante con marcas que no fueron conocidas durante el estudio por los

investigadores ni por los sujetos estudiados. Cada individuo realizó 15 ciclos de tres inhalaciones de un segundo cada vez (45 inhalaciones en total), estando separado cada ciclo del siguiente por treinta segundos. Esta cantidad de inhalaciones fue elegida arbitrariamente, pues debe considerarse que una botella permite inhalar hasta un máximo de 50 veces una cantidad fija de gas (Fotografía 8). En la segunda ocasión los individuos usaron botellas con marcas diferentes al de la primera oportunidad. De esta manera todos los individuos utilizaron en una oportunidad oxígeno puro y en la otra, aire atmosférico (placebo).

El oxígeno puro se administró mediante envases de O100® , proporcionado por INDURA Médica S.A. que es la empresa fabricante. El placebo consistió en envases similares cargados con aire atmosférico, proporcionados por la misma empresa.

Se efectuaron mediciones biométricas (signos vitales) y se tomaron muestras de sangre venosa para evaluar una serie de parámetros fisiológicos (Fotografía 7) tanto, antes del ejercicio en *treadmill* (condición basal), como inmediatamente después de alcanzada la fatiga. Posteriormente se llevaron a cabo las mismas mediciones a los siete, catorce, veintiún y treinta y cinco minutos post-ejercicio.

Las mediciones biométricas fueron frecuencia cardiaca, presión arterial y saturación sanguínea de oxígeno. La FC fue medida por medio de un monitor de frecuencia cardiaca marca “Polar” (Lat/min). La PA se midió con un esfigmomanómetro de columna de mercurio, ubicando el manguito o brazalete en el brazo contrario al utilizado para la extracción de sangre. Su valor se expresó en mmHg. La SatO₂ se midió con un oxímetro de pulso marca Choicemed, modelo MD300C11, siendo expresados los resultados en porcentaje.

Las muestras de 4 mL de sangre venosa se obtuvieron con jeringas de 5 mL, mediante una bránula (vía venosa) que se instaló en una vena superficial del antebrazo del sujeto (Fotografía 2), tomando la precaución de que no quedara en una posición que dificulte su acceso para la toma de

muestras y que no se ubicara cerca de algún pliegue cutáneo que pusiera en riesgo la instalación de la vía. Posteriormente a la obtención de cada muestra la vía fue permeabilizada con 0,1 mL de heparina, cuya concentración era 500 U.I. por mL.

Antes de la obtención de las muestras siguientes se extrajo y se descartó 1 mL de sangre con el fin de que la muestra estuviera libre de la heparina que se había puesto en la vía. Esto es para evitar falsos resultados en las concentraciones determinadas. Sin embargo, el volumen total de sangre extraída para los análisis efectuados prácticamente no alteró la volemia de los individuos.

Los parámetros sanguíneos medidos fueron: lactatemia, glicemia, hematocrito y concentración de proteínas plasmáticas.

La lactatemia fue medida en una gota de sangre, utilizando tiras reactivas de lactato (BM-Lactate de Roche Diagnostics), leídas en un instrumento “Accutrend Plus” (Fotografía 5) expresando los resultados en mM.

La glicemia, fue medida en una pequeña gota de sangre, utilizando tiras reactivas de glucosa marca Arkray, leídas en un medidor de glucosa Glucocard 01-mini. Los resultados fueron expresados en mg/dL.

El hematocrito fue medido mediante la centrifugación en una centrifuga de microhematocrito, durante cinco minutos, de muestras de sangre puestas en tubos capilares heparinizados, con el fin de separar el plasma de los elementos figurados. Los resultados se obtuvieron mediante un lector de hematocrito y se expresaron en porcentaje. En el plasma resultante de esta centrifugación se midió la concentración de PPT mediante un refractómetro de Goldberg, expresándose el resultado en g/dL.

El remanente de los 4 mL de sangre que quedó en la jeringa correspondiente a cada muestra se vació en tubos heparinizados de 10 mL (Fotografía 6) y se centrifugó en una

centrífuga clínica. Los plasmas obtenidos se trasvasijaron a tubos de poliestireno Falcon de 5 mL con tapa y se guardaron congelados a -20°C para tener la posibilidad de realizar en el futuro otros estudios de indicadores de fatiga.

6.10 Procedimiento estadístico

Además de expresar los datos obtenidos en valores absolutos, se calculó también su porcentaje de variación con respecto al valor basal, atribuyéndose a este último el 100%. Con estos datos se realizó un análisis estadístico mediante la prueba no paramétrica para una muestra de Kolmogorov-Smirnov, con el fin de ver si presentaban una distribución normal. Al resultar esto afirmativo, se aplicó el método de la “*t*-Student” para muestras relacionadas, al análisis de los promedios y desviaciones estándar de los promedios, con el fin de establecer diferencias estadísticamente significativas, toda vez que resultara $p < 0,05$. El software empleado fue SPSS para Windows versión 18.0.

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan en tablas (PAD, SatO₂, hematocrito y PPT) y en gráficos (lactatemia, glicemia, PAS y FC) en los cuales se comparan las modificaciones experimentadas por las variables en función del tiempo, con placebo y con oxígeno puro.

No se observó diferencias estadísticamente significativas entre las FC post-ejercicio medidas en los individuos tratados con oxígeno puro, al compararlos con las FC de los mismos individuos tratados con placebo. Al cabo de 35 minutos post-fatiga la FC no retorna a sus valores basales en ninguno de los dos casos estudiados (Fig. 1).

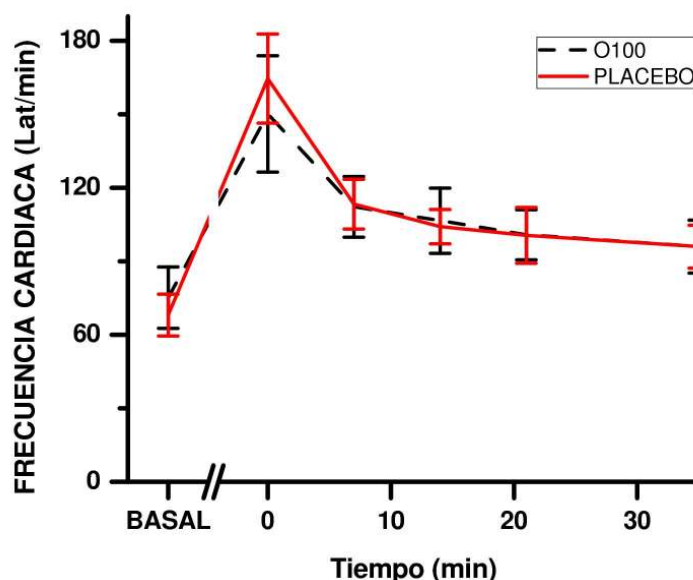


Figura 1.- FC antes y en diversos tiempos después de la fatiga, en condiciones normóxicas e hiperóxicas. Los resultados se expresan como promedio \pm D.E. del promedio.

Tanto en normoxia como en hiperoxia la presión arterial sistólica aumentó, de acuerdo a lo esperado, a aproximadamente un 200% con respecto a los valores basales, sin diferencias estadísticamente significativas entre ambas condiciones. Tanto en la condición de hiperoxia como en la de placebo, se retorna a los valores basales antes de los 35 minutos post-ejercicio (Fig. 2).

Tanto en normoxia como en hiperoxia la presión arterial diastólica también presentó valores esperados, disminuyendo con el ejercicio en aproximadamente un 35%, para recuperarse

posteriormente al cabo de 21 minutos post-ejercicio (Tabla 1).

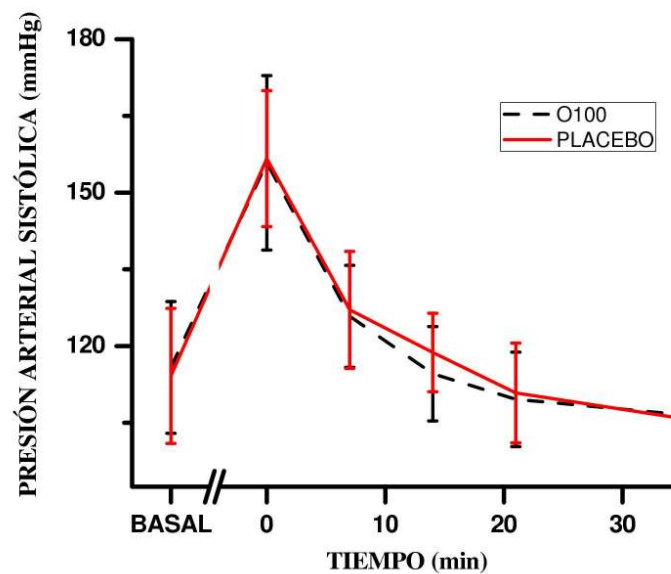


Figura 2.- PAS antes y en diversos tiempos después de la fatiga, en condiciones normóxicas e hiperóxicas. Los resultados se expresan como promedio \pm D.E. del promedio.

No se encontraron diferencias significativas en la SatO_2 de los sujetos, al ser tratados con oxígeno puro con respecto a su tratamiento con placebo (Tabla 2).

Al analizar el cambio porcentual, con respecto al valor basal, de la lactatemia en función del tiempo, se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,013$) a los 7' post-fatiga, entre los individuos tratados con oxígeno puro y los tratados con placebo (Fig. 3).

Por otra parte treinta y cinco minutos después de finalizado el ejercicio la glicemia de los individuos tratados con oxígeno puro resultó ser significativamente superior a la de los tratados con placebo ($p = 0,04$) (Fig. 4).

El hematocrito no presentó cambios en la condición hiperóxica respecto a los individuos tratados con placebo. Este indicador, presentó valores que variaron de acuerdo con lo descrito previamente en la literatura. A los 14 minutos de finalizado el ejercicio, en ambas condiciones el hematocrito recuperó sus valores basales (Tabla 3).

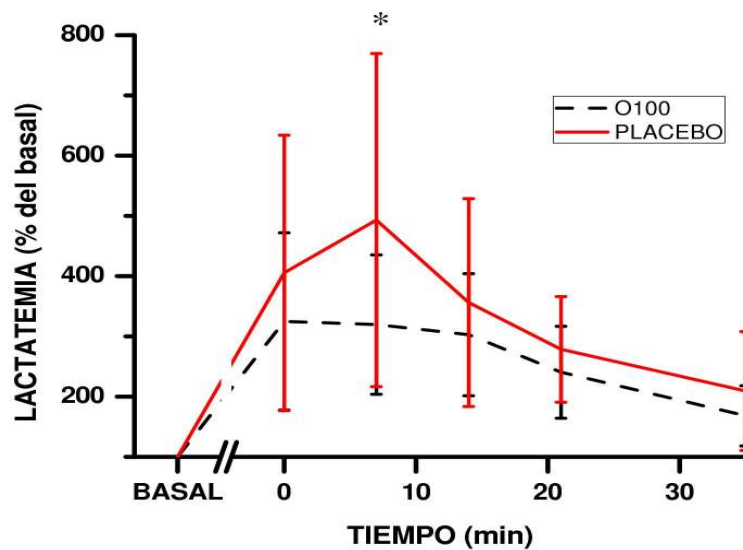


Figura 3.- Cambio porcentual de la lactatemia con respecto al valor basal antes y en diversos tiempos después de la fatiga, en condiciones normóxicas e hiperóxicas. Los resultados se expresan como promedio \pm D.E. del promedio. *: $p = 0,013$

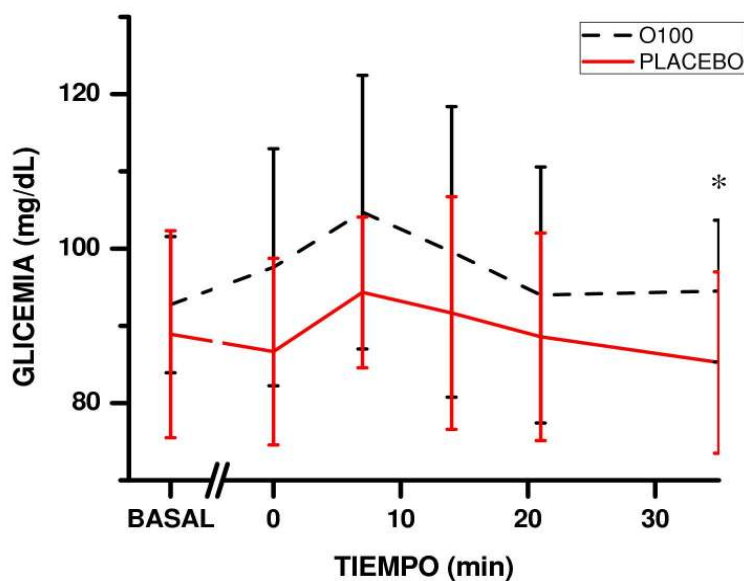


Figura 4.- Glicemia antes y en diversos tiempos después de la fatiga, en condiciones de normoxia e hiperoxia. Los resultados se expresan como promedio \pm D.E. del promedio. *: $p = 0,04$

En ambas condiciones la PPT varía con el ejercicio, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre los tratados con oxígeno puro y los tratados con placebo. En ambas condiciones se recuperaron los valores basales a los 35 minutos post-fatiga (Tabla 4).

8. DISCUSIÓN

El principal hallazgo en este estudio fue que siete minutos post-ejercicio en los individuos tratados con oxígeno puro, el aumento porcentual de la lactatemia con respecto a su valor basal fue significativamente menor que la encontrada en los tratados con placebo ($p = 0,013$), lo cual podría deberse a una más rápida oxidación del lactato a piruvato debido al aumento de la PO_2 ocasionado por la administración de oxígeno. Esto se vería facilitado por la reversibilidad de la reacción que da origen a lactato, a partir de piruvato. Un menor incremento porcentual del lactato respecto a su valor basal, podría interpretarse como una compensación más rápida de la deuda de oxígeno producida por el ejercicio intenso. Estos resultados coinciden con los de Nielsen, H. y col. (2003) en donde se afirma que "La administración de una mayor concentración de oxígeno inspirado, es capaz de restablecer la oxigenación arterial durante ejercicios maximales que habían ocasionado hipoxemia". La importancia de la lactatemia se basa en que aumenta significativamente en ejercicios de alta intensidad y, una vez superado el umbral anaeróbico, puede llegar a asociarse con acidosis metabólica y con otras alteraciones fisiológicas que afecten de manera importante el rendimiento físico, como es el caso de inhibiciones enzimáticas descritas en la glucólisis.

Por otra parte el hecho que 35 minutos post-ejercicio la glicemia de los individuos tratados con oxígeno puro haya sido significativamente mayor que la de los tratados con placebo ($p = 0,04$), podría ser consecuencia de la mayor oxidación del lactato a piruvato y de los procesos gluconeogénicos hepáticos que posteriormente convierten éste en glucosa. Esta última sería a su vez transportada hasta los músculos con el fin de restablecer los depósitos de glucógeno muscular. De esta manera en los individuos tratados con oxígeno puro se lograría saldar más eficientemente la deuda de oxígeno contraída al llevar a cabo actividad física intensa. Lo anteriormente descrito coincide con los resultados obtenidos por Bandali, K. y cols. (2001) en

donde, “se encontró una respuesta hiperglucémica significativa y sostenida después de la administración de una hora de oxígeno en altas concentraciones (cerca del 100%) a lactantes”.

Al comparar la frecuencia cardíaca, presión arterial, saturación arterial de oxígeno, hematocrito y concentración de proteínas plasmáticas totales en función del tiempo, después de alcanzada la fatiga, entre los individuos que inhalaban oxígeno puro y los tratados con placebo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, lo que podría estar en directa relación con la forma de administración del oxígeno. Probablemente si se hubiera proporcionado el oxígeno puro en forma continua, a contar del momento de la fatiga, se podría haber encontrado diferencias significativas entre ambos grupos, en estos indicadores. Por otra parte, una mayor casuística podría también aumentar las probabilidades de encontrar diferencias significativas.

Es interesante destacar los valores basales obtenidos tanto en el hematocrito como en la concentración de proteínas plasmáticas totales, los cuales fueron superiores a los descritos para individuos sanos, en condiciones normales. Esto podría deberse a algún grado de deshidratación susceptible de ser considerado en estudios posteriores como un factor que pudiera afectar a las variables del metabolismo energético evaluadas en este estudio.

9. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los datos recopilados, y con los análisis estadísticos llevados a cabo en este estudio, se puede concluir que la administración a sujetos varones, jóvenes, sometidos a un protocolo estandarizado de ejercicio escalonado en *treadmill* a velocidad constante, con incremento gradual de la pendiente hasta alcanzar 13,5° de inclinación, de tres inhalaciones de oxígeno al 100%, de uno a dos segundos de duración, cada medio minuto, durante los primeros siete minutos post-fatiga, produjo un aumento de la lactatemia menor que en los tratados con placebo. Esto podría asociarse con una mayor eficiencia de la reconversión oxidativa del lactato en piruvato, lo cual podría también explicar el otro hallazgo de este estudio consistente en el aumento de la glicemia, mediante gluconeogénesis, observado 35 minutos después de haberse alcanzado la fatiga, confirmando la importancia del oxígeno inhalado en la recuperación del organismo post-ejercicio.

10. PROYECCIONES

Estos resultados podrían apoyar la conveniencia e importancia de continuar realizando estudios relacionados con el uso de oxígeno en diferentes concentraciones, en mezclas de gases administradas antes, durante o después de realizar actividad física. La administración de estos gases puede ser mediante inhalaciones continuas o discontinuas y los tiempos de aplicación pueden ser variados. Asimismo, los estudios podrían ser realizados en diferentes condiciones ambientales (frío, calor, noche, día, hipobaria por altura con respecto al nivel del mar, hiperbaria del buceo, etc.).

Es interesante también considerar el estudio del efecto de la administración de oxígeno puro en actividades físicas estandarizadas llevadas a cabo por cardiópatas, obesos, nefrópatas e individuos con otras patologías, con el fin de establecer una posible optimización del rendimiento físico y de su calidad de vida. Finalmente, puede también estudiarse la eficiencia del uso del oxígeno sobre el metabolismo energético en deportistas. En el caso de los deportistas de élite, una recuperación más rápida de la fatiga conseguida mediante un adecuado tratamiento con oxígeno después de competir, les permitiría estar en condiciones de competir nuevamente con posibilidades de éxito dentro de un menor tiempo, disminuyendo además el riesgo de lesiones.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Amann M., Eldridge M., Lovering A., Stickland M., Pegelow D., Dempsey J. 2006. Arterial oxygenation influences central motor output and exercise performance via effects on peripheral locomotor muscle fatigue in humans. *The journal of physiology*; 575:937-952.
- Astorino T., Robergs R. 2003. Effect of hiperoxia on maximal oxygen uptake, blood acid-base balance, and limitations to exercise tolerance. *Journal of exercise physiology*; 6:9-20.
- Bandali, K.; Belanger, M.; Wittnich, C., 2001. Is hyperglycemia seen in children during cardiopulmonary bypass a result of hyperoxia?. *Cardiopulmonary Support and Physiology*. 122, 753-758.
- Barbero J.C., Granda J., Soto V.M., 2004. Análisis de la frecuencia cardíaca durante la competición en jugadores profesionales de fútbol sala. *Apunts: Educación física y deportes*; 77:71-78.
- Berne R, 1998. *Fisiología*. Segunda edición. Editorial Harcourt Brace. Parte V. Capítulo 27. (López Chicharro J, Fernández Vaquero A., 1998. *Fisiología del ejercicio*. Segunda edición. Editorial Panamericana. Capítulo 23.
- Calbet J.A., Dorado C., Sanchis J., Cortadellas J., Ferragut C., 1998. Validez del déficit máximo de oxígeno acumulado como índice de capacidad anaeróbica. *Revista Motricidad*; 4:27-43.
- Camps O., A., 2007. Importancia del consumo de oxígeno durante la recuperación en la cuantificación del consumo calórico en ejercicio. *Revista Digital - Buenos Aires - Año 12 - N° 115*.
- Desola J., 1998. Base y fundamento terapéutico de la oxigenoterapia hiperbárica. *JANO/Medicina*; LIV: 5-11.

- García del Moral L., García del Moral J., Rodríguez A., 1988. Factores que afectan a la lactatemia durante un test de esfuerzo. Archivos de Medicina del deporte; V: 375-386.
- F. Gordo-Vidal, E. Calvo-Herranz, A. Abella-Álvarez, I. Salinas-Gabiña, 2009. Toxicidad pulmonar por hiperoxia. Servicio de Medicina Intensiva, Hospital del Henares, Coslada, Madrid, España.
- Günther B., Morgado E., Cociña M. 2005. Homeostatic range of the oxidative metabolism: 60 years of integrative fisiometry. Rev Méd Chile; 133: 362-370.
- Iriarte J., Carreño M., de Castro P., 1996. Fatiga y afectación por sistemas funcionales en esclerosis múltiple. Neurología; 11: 210-215.
- Linossier M., Dormíos D., Arsac L., Denis C., Gay J., Geissant A., LaCour J. 2000. Effects of hyperoxia on aerobic an anaerobic performances and muscle metabolism during maximal cycling exercise. Acta physiologica Scandinavica; 168:403-411.
- López Chicharro J, Fernández Vaquero A., 1998. Fisiología del ejercicio. Segunda edición. Editorial Panamericana. Capítulos 22-23.
- Manzano R.A., Wilton C.A., 2009. Rendimiento físico post inhalación de gases hiperóxicos en jugadores de futbol universitarios. Tesis Escuela de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
- McArdle W., Katch F., Katch V., 2004. Fundamentos de fisiología del ejercicio. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill-Interamericana. Capítulos 5 y 17.
- Lehninger A., Nelson D., Cox M. 2001. Principios de bioquímica. Tercera edición. Ediciones Omega. Parte III. Capítulo 15.
- Nielsen H., 2003. Arterial desaturation during exercise in man: implication for O₂ uptake and work capacity. Scandinavian Journal of medicine and science in sports; 13: 339-358.

- Plascencia-Álvarez N., Estañol B., Corona M., Mondragón B., López-Lomelí M., Espinosa-Sierra L., Ruiz J., García-Ramos G., Infante O., Martínez R., 2002. Efecto de la contracción muscular en la frecuencia cardíaca y en el flujo sanguíneo cutáneo. Resultados preliminares. Archivos de cardiología de México; 72:13-19.
- Ramos C., Mancera E., García-Vega O., 2007. Perfiles hematológicos e hidroelectrolíticos en sujetos sedentarios durante ejercicio de resistencia: efecto de la hidratación. Revista Méd; 15:26-39.
- Rousseau A., Bak Z., Sjoberg F. 2005. Acute hiperoxaemia- induced effects on regional blood flow, oxygen consumption and central circulation in man. Acta physiologica scandinavica; 183: 231-331.
- Sánchez- González J., Rivera- Cisneros A., Ramírez M., Tovar- García J., Portillo- Gallo J., Franco- Santillán R., 2005. Estado de hidratación y capacidad aeróbica: sus efectos sobre el volumen plasmático durante el ejercicio físico agudo. Cirugía y Cirujanos; 73: 287-295.

Segizbaeva M.O., Aleksandrova N.P. 2009. Effect of oxygen breathing on inspiratory muscle fatigue during resistive load in cycling men. Journal of Physiology and Pharmacology; 60: 111-115.

ANEXO 1: CONSENTIMIENTO INFORMADO

CONSENTIMIENTO INFORMADO

“EFECTO DE LA INHALACIÓN DE OXÍGENO PURO EN LA RECUPERACIÓN DE HOMBRES JÓVENES SOMETIDOS A EJERCICIO HASTA FATIGA”

Nombre de los Investigadores: Allan White Ortiz, Marcelo Cano Cappellacci, Javier Bravo Gatica.

Institución: ICBM – Facultad de Medicina – Universidad de Chile

Teléfono: 978 6424

Invitación a participar: Estamos invitando a participar en el proyecto de investigación: “Efecto de la inhalación de oxígeno puro en la recuperación de hombres jóvenes sometidos a ejercicio hasta fatiga”, debido a la importancia que tiene el oxígeno en todos los sistemas fisiológicos y el incremento en la dificultad de los deportes, añadiendo el hecho que no existen antecedentes objetivos que respalden su efectividad.

Objetivos: Esta investigación tiene por objetivo evaluar mediante parámetros fisiológicos la efectividad de la inhalación de oxígeno puro en el tiempo de recuperación de la homeostasis en el organismo. El estudio incluirá a un número total de quince individuos voluntarios, de la Región Metropolitana.

Procedimientos: Quienes acepten participar serán sometidos, en dos ocasiones (con un intervalo de tres semanas) a los siguientes procedimientos:

- a) Evaluación de glicemia, de hematocrito y de la concentración sanguínea de lactato y proteínas plasmáticas totales, además de la frecuencia cardiaca y la presión arterial antes y después de la inhalación de oxígeno puro o de placebo en la recuperación de la fatiga.
- b) Los voluntarios serán sometidos en dos oportunidades, a un protocolo estandarizado de ejercicio con pendiente creciente, en *treadmill*, hasta fatiga. Durante el período de recuperación, en ambas oportunidades los individuos inhalarán, tres veces cada treinta segundos, la mezcla gaseosa contenida bajo presión en una botella de O100® ó de Oxyenergy®. Las botellas de O100® disponen de una mascarilla para la administración de su contenido. Habrá botellas con 100% de oxígeno y otras con aire atmosférico (placebo). Sólo al final del experimento sabrán tanto los investigadores como los voluntarios en qué momento inhalaron el oxígeno puro o el placebo.

- c) Durante el estudio los voluntarios mantendrán su programa de entrenamiento habitual y sus actividades normales.
- d) En ambas oportunidades se extraerá a cada voluntario seis muestras de 3 mL de sangre, mediante una sola punción venosa, para determinación de parámetros fisiológicos.

Riesgos: La cantidad de oxígeno puro administrada en el experimento no debería acompañarse de efectos indeseados, de acuerdo con la experiencia acumulada en el último tiempo en que se ha incrementado su uso medicinal.

Costos: El oxígeno puro y el placebo serán aportados por el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, sin costo alguno para el desarrollo de este proyecto. Todos los exámenes o análisis que son necesarias para el estudio serán igualmente financiados por esta institución.

Beneficios: Además del beneficio que este estudio significará para el progreso del conocimiento en lo referente a la mejoría en los tiempos de recuperación de la homeostasis en los sujetos experimentales, la participación en este estudio les permitirá ser evaluados fisiológicamente, proporcionándoles antecedentes que les hagan posible objetivar su estado fisiológico pre y post-ejercicio. A cada participante se le entregará los resultados obtenidos de sus parámetros fisiológicos, como también de cualquier otro dato que pudiere resultar de su evaluación.

Compensación: Los participantes no recibirán ninguna compensación económica por su participación en el estudio, pero tampoco deberán incurrir en gastos de ninguna naturaleza. Como principal compensación recibirán los resultados de sus evaluaciones.

Confidencialidad: Toda la información derivada de la participación como voluntario en este estudio será conservada en forma de estricta confidencialidad. Cualquier publicación o comunicación científica de los resultados de la investigación se efectuará en forma completamente anónima.

Información adicional: Los voluntarios serán informados si durante el desarrollo de este estudio surgen nuevos conocimientos o complicaciones que puedan influir en su voluntad de continuar participando en la investigación.

Voluntariedad: La participación en esta investigación es totalmente voluntaria y será posible retirarse en cualquier momento comunicándolo oportunamente al investigador responsable. De igual manera el investigador responsable podrá determinar el retiro de algún voluntario en el estudio si considera que esa decisión va en su beneficio.

Complicaciones: En el improbable caso de que a algún voluntario se le presenten complicaciones directamente dependientes de la inhalación de oxígeno puro o placebo, recibirá el tratamiento médico completo de dicha complicación, financiado por los responsables del estudio, sin costo alguno para él o su sistema previsional.

Derechos del participante: Si se requiere cualquier otra información sobre la participación en este estudio se puede llamar a:

Estudiante de Kinesiología Javier Bravo Gatica, Fono: (09) 832 905 83

Prof. Allan White Ortiz, Fono: 978 6424

Prof. Marcelo Cano, fono 978 6424

Conclusión:

Después de haber recibido y comprendido la información de este documento y de haber podido aclarar todas mis dudas, otorgo mi consentimiento para participar en el proyecto “Efecto de la inhalación de oxígeno puro en la recuperación de hombres jóvenes sometidos a ejercicio hasta fatiga”.

_____	_____	_____
Nombre del sujeto	Firma	Fecha

_____	_____	_____
Nombre del investigador	Firma	Fecha

TABLA 1.- EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE OXIGENO PURO POST-FATIGA, SOBRE LA RECUPERACIÓN DE LA PRESIÓN ARTERIAL DIASTÓLICA.

	POST-FATIGA					
	BASAL	0'	7'	14'	21'	35'
O₂ PURO (mmHg)	66,7 ± 10,7	43,3 ± 4,7	55,8 ± 8,6	65,4 ± 6,9	67,1 ± 6,6	67,1 ± 12,7
PLACEBO (mmHg)	69,2 ± 10,2	42,1 ± 5,2	53,8 ± 13,4	67,5 ± 11,1	72,1 ± 8,3	70,0 ± 7,6

Los resultados se expresan como promedio ± D.E. del promedio.
 p > 0,05 al comparar O100® con placebo en todos los tiempos analizados.

**TABLA 2.- EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE OXIGENO PURO POST-FATIGA,
SOBRE LA RECUPERACIÓN DE LA SATURACIÓN ARTERIAL DE O₂.**

	POST-FATIGA					
	BASAL	0'	7'	14'	21'	35'
O₂ PURO (%)	97,0 ± 1,5	97,0 ± 0,9	97,3 ± 1,2	96,6 ± 1,2	96,2 ± 1,7	96,7 ± 1,50
PLACEBO (%)	97,9 ± 0,9	97,1 ± 1,5	97,4 ± 0,8	97,2 ± 0,9	97,6, ± 0,9	97,3 ± 0,76

Los resultados se expresan como promedio ± D.E. del promedio.
p > 0,05 al comparar O100® con placebo en todos los tiempos analizados.

TABLA 3.- EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE OXIGENO PURO POST-FATIGA, SOBRE LA RECUPERACIÓN DEL HEMATOCRITO.

	POST-FATIGA					
	BASAL	0'	7'	14'	21'	35'
O₂ PURO (%)	46,7 ± 1,9	51,4 ± 2,7	49,5 ± 2,3	48,0 ± 2,4	46,4 ± 2,3	45,3 ± 1,9
PLACEBO (%)	47,7 ± 3,6	50,5 ± 2,5	49,1 ± 1,6	47,8 ± 1,5	47,5 ± 2,4	46,4 ± 3,1

Los resultados se expresan como promedio ± D.E. del promedio.
 p > 0,05 al comparar O100® con placebo en todos los tiempos analizados.

TABLA 4.- EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE OXIGENO PURO POST-FATIGA, SOBRE LA RECUPERACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PPT.

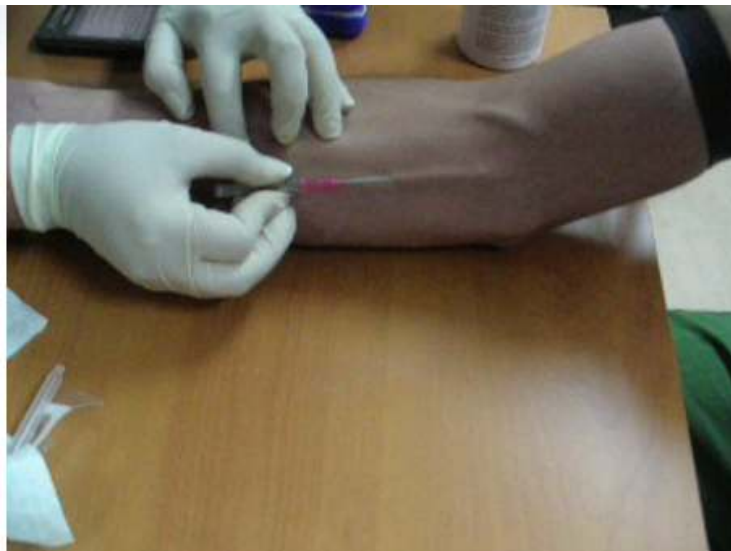
	POST-FATIGA					
	BASAL	0'	7'	14'	21'	35'
O₂ PURO (g/dL)	7,79 ± 0,46	8,91 ± 0,38	8,62 ± 0,48	8,25 ± 0,51	7,97 ± 0,13	7,70 ± 0,14
PLACEBO (g/dL)	7,48 ± 0,32	8,72 ± 0,40	8,38 ± 0,42	7,91 ± 0,37	7,74 ± 0,41	7,49 ± 0,33

Los resultados se expresan como promedio ± D.E. del promedio.
 $p > 0,05$ al comparar O100® con placebo en todos los tiempos analizados.

FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1.- Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Escuela de Kinesiología, en un día de recolección de datos



Fotografía 2.- Instalación de bránula para obtención de muestras sanguíneas



Fotografía 3.- Individuo trotando en *treadmill* inclinado



Fotografía 4.- Panel de control del *treadmill*



Fotografía 5.- Análisis de la lactatemia en Accutrend Plus



Fotografía 6.- Mezcla de la sangre con heparina de tubos al vacío



Fotografía 7.- Extracción de muestra sanguínea y toma de presión de un sujeto



Fotografía 8.- Aplicación de oxígeno al 100% a un voluntario