

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ  
FACULTAD DE MEDICINA  
TRABAJO FIN DE GRADO EN MEDICINA



# EFECTO DE LA DE LA HIPOXIA NORMOBÁRICA SOBRE LA OXIGENACIÓN MUSCULAR DEL CUÁDRICEPS

**Autora:** Paredes Ruiz, María José

**Tutor:** Dr. Diego Echevarría Aza

**Cotutor:** Dr. Ignacio Martínez González-

Moro **Departamento:** Histología y Anatomía.

**Área:** Anatomía y Embriología Humana.

**Curso académico:** 2022-2023 **Convocatoria:**

Febrero



# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	3
RESUMEN Y ABSTRACT .....	9
1.- INTRODUCCIÓN .....	11
2.- JUSTIFICACIÓN HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....	14
2.1 JUSTIFICACIÓN .....	14
2.2 HIPÓTESIS .....	14
2.3 OBJETIVOS .....	15
3.- MATERIAL Y MÉTODO .....	15
3.1 POBLACIÓN .....	16
3.2 METODOLOGÍA GENERAL .....	16
3.3 METODOLOGÍA ESPECÍFICA .....	18
3.3.1 Valoración antropométrica y de composición corporal .....	18
3.3.2 Exploración cardiovascular previa .....	19
3.3.3 Descripción, funcionamiento y colocación de Humon Hex® .....	21
3.3.4 Descripción del simulador I-Altitude .....	22
4.- RESULTADOS .....	24
4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN .....	24
4.2 EXPLORACIÓN PREVIA .....	25
4.3 EFECTO DE LA HIPOXIA NORMOBÁRICA .....	29
4.4 EVOLUCIÓN DE LA SmO <sub>2</sub> .....	33
4.5 CORRELACIONES .....	37
5.- DISCUSIÓN .....	38
6.- CONCLUSIONES .....	43
7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
8.- ANEXOS .....	47
8.1 AUTORIZACIÓN COMISIÓN ÉTICA E INVESTIGACIÓN .....	47
8.2 DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO .....	50
8.3 CUESTIONARIO ANTECEDENTES MÉDICO-DEPORTIVOS .....	51



## AGRADECIMIENTOS

- Gracias a todos los participantes que se prestaron para la realización del estudio.
- Gracias a mi tutor, Diego por facilitarme las cosas desde el principio, por apoyarme y tenderme la mano en este proyecto.
- Gracias a mi cotutor Ignacio y padrino (de traje académico), por seguir en esta larga andadura viéndome crecer, y por seguir después de tantos años creyendo en mí.
- Gracias a mi familia, sin ellos no habría llegado hasta aquí. Ha sido un camino muy largo, pero nunca habéis dejado que cayera.
- A mi Ma, mi fiel compañera, mi mejor amiga, la de siempre.
- A mi pareja, Alberto desde que llegaste a mi vida has sabido como encajar en un puzle complicado, como hacer que no perdiera la calma, como sacar mi mejor versión y hacerme saber que soy capaz de todo.
- Mi Marta y Ana, no sé qué habría sido de mí en Alicante sin vosotras. Mis personas imprescindibles, mis puntos de apoyo, mi gran suerte. Mi maktub.



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**BIRD**- Bloqueo Incompleto de Rama Derecha

**DE**- Desviación estándar

**ECG**- Electrocardiograma

**FCmax**- Frecuencia cardiaca máxima

**Hb**- Hemoglobina

**HbO<sub>2</sub>**- Oxihemoglobina

**HN**- Hipoxia normobárica

**PAD**- Presión arterial diastólica

**PAS**- Presión arterial sistólica

**PPO<sub>2</sub>**- Presión parcial de oxígeno

**SmO<sub>2</sub>**- Saturación Muscular de Oxígeno

**SNS**- Sistema nervioso simpático

**SpO<sub>2</sub>**- Saturación Periférica de Oxígeno

**TTHN**- Test de Tolerancia Hipoxia Normobárica

**VO<sub>2</sub>max**- Consumo máximo de oxígeno







## RESUMEN Y ABSTRACT

**Introducción:** La hipoxia normobárica es una técnica emergente que se utiliza tanto en el deporte como en patología, siendo la  $SmO_2$  una medición complementaria para el estudio de la fisiología muscular.

**Objetivos:** Determinar si la realización de un test de tolerancia a la hipoxia es un estímulo suficiente para generar cambios en la oxigenación muscular medida con espectroscopia del infrarrojo cercano. Además de analizar la vinculación de los cambios en la  $SmO_2$  con el sexo, la edad y la composición corporal. Así como, establecer la relación entre el tiempo de hipoxia y los cambios en la  $SpO_2$  con las variaciones en la  $SmO_2$ .

**Material y método:** En 54 sujetos sanos hemos estudiado la  $SmO_2$  durante un test de tolerancia a la hipoxia normobárica. El test fueron una duración máxima de 10 minutos y/o un descenso de la  $SpO_2$  del 83%. Durante el estudio se registró la  $SmO_2$  con el dispositivo Humon Hex® y la frecuencia cardiaca y la  $SpO_2$  con un pulsioxímetro en el lóbulo de la oreja.

**Resultados:** Completaron los 10 minutos establecidos en el test un 35,1% los varones y un 41,2% las mujeres. Mostró una mayor variabilidad al finalizar el test el grupo que no completó el test (<10 min). en la  $SpO_2$  tras finalizar el test ( $p<0,000$ ). En los varones hay una mayor variabilidad de la  $SmO_2$  ( $p<0,000$ ) que las mujeres. Además, la talla se correlacionó positivamente con el tiempo de hipoxia en los sujetos que no completaron el test (<10 min:  $r=0,376$ ;  $p=0,028$ ). También, la talla y el grupo (<10 min) con la  $SmO_2$  ( $r=0,455$ ;  $p=0,044$ ).

**Conclusiones:** La exposición a la hipoxia normobárica produce una disminución en la oxigenación muscular, observándose una relación entre el sexo y la  $SmO_2$ .

**Palabras clave:**  $SmO_2$ , hipoxia normobárica, medicina deportiva, rehabilitación.

**Introduction:** Normobaric hypoxia is an emerging technique used in both sport and pathology, with  $SmO_2$  being a complementary measurement for the study of muscle physiology.

**Purposes:** To determine whether the performance of a hypoxia tolerance test is a sufficient stimulus to generate changes in muscle oxygenation measured by near-infrared spectroscopy. In addition, to analyse the association of changes in  $SmO_2$  with sex, age and body composition. As well as establishing the relationship between hypoxia time and  $SpO_2$  changes with  $SmO_2$  variations.

**Methods:** In 54 healthy subjects we studied  $SmO_2$  during a normobaric hypoxia tolerance test. The test had a maximum duration of 10 minutes and/or a  $SpO_2$  decrease of 83%. During the study  $SmO_2$  was recorded with the Humon Hex® device and heart rate and  $SpO_2$  with an earlobe pulse oximeter.

**Results:** A total of 35.1% of men and 41.2% of women completed the 10-minute test. The group that did not complete the test (<10 min) showed greater variability in  $SpO_2$  at the end of the test ( $p<0.000$ ). Males showed a higher variability in  $SmO_2$  ( $p<0.000$ ) than females. In addition, height was positively correlated with hypoxia time in subjects who did not complete the test (<10 min:  $r=0.376$ ;  $p=0.028$ ). Also, height and group (<10 min) with  $SmO_2$  ( $r=0.455$ ;  $p=0.044$ ).

**Conclusion:** Exposure to normobaric hypoxia causes a decrease in muscle oxygenation, with a relationship between sex and  $SmO_2$  observed.

**Key words:**  $SmO_2$ , normobaric hypoxia, sports medicine, rehabilitation.

## 1.- INTRODUCCIÓN

La saturación muscular de oxígeno ( $SmO_2$ ) es una medición fisiológica de reciente implantación en medicina deportiva. Se utiliza para el análisis del rendimiento y la planificación del entrenamiento (1). La  $SmO_2$  es cuantificable mediante la espectrometría de infrarrojo cercano (NIRS) (2).

La NIRS es un método no invasivo, inalámbrico, que proporciona información en tiempo real sobre el porcentaje de oxigenación captado por el tejido muscular durante el metabolismo oxidativo. El metabolismo oxidativo o aeróbico, es un proceso bioquímico dependiente de oxígeno ( $O_2$ ), que convierte los carbohidratos en trifosfato de adenosina (ATP) (3) y es el principal mecanismo de producción de energía en reposo y durante el ejercicio aeróbico (4). Diversos estudios han demostrado la utilidad de la NIRS para estudiar la capacidad oxidativa mitocondrial en el tejido muscular y sus adaptaciones inducidas por el ejercicio; tanto en sujetos sanos como con patología (3, 5).

La base de medición de la  $SmO_2$  mediante NIRS, radica en si la hemoglobina (Hb) está unida o no al  $O_2$ ; es decir, oxihemoglobina ( $HbO_2$ : sangre arterial) y desoxihemoglobina (DxHb: sangre venosa). Dependiendo del estado de la hemoglobina, esta presentará diferentes espectros de absorción dentro del rango de longitud de onda cercana al infrarrojo (750 a 2600 nm) (6). Por ello, se modifica el espectro de la luz y la trayectoria del haz que va desde la fuente emisora pasando por los tejidos, hasta volver al detector basándose en las diferentes concentraciones de  $O_2$  que tenga la  $HbO_2$  y la Hb en el momento que son atravesadas por la luz (7). Desde el punto de vista práctico esto es posible gracias a la incorporación de una APP que procesa y registra toda la información captada por una luz LED que se emite hacia los tejidos (2, 8).

La disposición de oxígeno por parte del músculo va a condicionar la actividad del mismo influyendo en la intensidad, volumen y fatiga, pudiéndose cuantificar mediante NIRS

(4). A partir de unos valores iniciales, conforme aumenta el tiempo e intensidad del ejercicio, disminuye el valor de  $SmO_2$ , llegando a su valor mínimo. Este valor cuando en las pruebas de esfuerzo coincide con el consumo máximo de oxígeno ( $VO_2max$ ) y con la frecuencia cardiaca máxima ( $FCmax$ ) alcanzada (10).

Estudios previos muestran las diferencias entre sujetos sugiriendo que existen determinados factores que pueden hacer que cambien los valores de  $SmO_2$  y/o la utilización del mismo como son las características antropométricas, el sexo, el patrón respiratorio (1) o el esfuerzo aplicado ante un ejercicio. Uno de estos estudios es el de Paredes-Ruiz et al. (10) donde evaluaron en un grupo de practicantes de marcha nórdica la relación de la  $SmO_2$  con su  $FCmax$  y el  $VO_2max$  durante la prueba en cinta rodante. Otra situación que podría afectar a la  $SmO_2$  son los cambios en la  $SpO_2$  previa a cualquier actividad que puede asociarse a diversos sistemas de entrenamiento estando, por un lado, las patologías propias del sujeto como anemias, EPOC, bronquitis crónica o, por otro lado, a las situaciones de hipoxia.

De otro lado, para mejorar el metabolismo aeróbico, el entrenamiento de la resistencia y la oxigenación muscular es clásico el uso del entrenamiento en altitud (11). Este entrenamiento permite aprovechar las adaptaciones del organismo a la hipoxia hipobárica y mejorar el rendimiento gracias al aumento de los valores de hematocrito y hemoglobina inducidos por la hipoxia y por tanto de la mejora del transporte de oxígeno desde los pulmones a los músculos (12). Otro método, actual, de características similares es el uso de la hipoxia normobárica (HN), es decir disminuir la presión parcial de oxígeno ( $PPO_2$ ), pero manteniendo igual la presión atmosférica. La HN es la evolución instrumental del entrenamiento en altitud, para ello es necesario contar con un simulador de altitud y no es necesario el desplazamiento a zonas elevadas (13, 14). Consiste en respirar aire empobrecido en  $O_2$ , es decir con una fracción  $O_2$  inferior a la normal, simulando una altitud determinada. Se realiza mediante protocolos adaptados al deportista (15).

Además, en medicina, en estos últimos años se ha empleado la HN como un coadyuvante terapéutico en diferentes patologías como: respiratorias (16), cardíacas (17) y neurológicas (pacientes con esclerosis múltiple) (18).

Cuando una persona se somete a una situación de hipoxia aguda, ya sea simulada o no, su organismo no es capaz de mantener su función normal y se produce una rápida respuesta estimulando a los quimiorreceptores periféricos de las carótidas que mandan la señal a los centros superiores, dando lugar a una excitación simpática (19). La activación del sistema nervioso simpático (SNS) dependerá de la duración y de la intensidad a la exposición de la hipoxia (20). La excitación simpática mediada por la falta de  $O_2$  en sangre produce cambios adaptativos en los sistemas cardiovascular y respiratorio.

A nivel cardiovascular, la disminución de la  $SpO_2$  y del transporte de  $O_2$ , junto con la activación del SNS, aumenta la frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco (21). Además, por efecto simpático, se reduce el flujo sanguíneo de las arterias que van a la piel y las vísceras y aumenta en aquellas arterias que van a cerebro, pulmones, músculos ventilatorios y corazón (22, perdiéndose calor (23).

Para la confección del protocolo y establecer la respuesta del sujeto a la hipoxia se realiza un test de tolerancia a la hipoxia normobárica (TTHN). Este test consiste en determinar el tiempo que tarda en disminuir la saturación periférica de  $O_2$  al 83% mientras que el sujeto está respirando una concentración de  $O_2$  del 11%, equivalente a una altura de 5050m.

Respirar aire con una presión parcial de oxígeno inferior a lo normal tiene como primeras manifestaciones la disminución de la  $SpO_2$  y el aumento de la frecuencia cardíaca (FC). Si el sujeto está haciendo ejercicio disminuirá también su intensidad (4). Ante esto es interesante saber lo que ocurre en el músculo en reposo cuando disminuyen la  $PPO_2$  y la  $SpO_2$  y aumenta la FC. Nos preguntamos si ese aumento de la FC es suficiente para compensar la disminución del aporte de  $O_2$  y si existe una respuesta uniforme por parte de todos los sujetos.

## 2.- JUSTIFICACIÓN HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1 JUSTIFICACIÓN

La determinación de la saturación muscular de oxígeno es una técnica novedosa que se está utilizando en medicina deportiva específicamente en la fisiología del ejercicio y en el rendimiento del deportista. También, se está empezando a implementar en pacientes con patologías respiratorias. Actualmente hay dispositivos incruentos y de fácil colocación que a través de la espectrometría de infrarrojo cercano permiten el seguimiento de forma instantánea como es el dispositivo Humon Hex<sup>®</sup>.

En esta  $SmO_2$  influyen diferentes variables que han sido estudiadas por diversos autores como pueden ser el sexo, componente graso y los diferentes músculos y sus acciones. Además, en la mejora del rendimiento muscular en la actualidad se están utilizando simuladores de altitud que cumplen una función similar al del entrenamiento en altura aumentando la hemoglobina y hematocrito y mejorando la  $SmO_2$ .

La aplicación de la hipoxia normobárica es un factor que hasta el momento no ha sido estudiado relacionándolo con la saturación muscular de oxígeno. Por lo que consideramos de interés y novedoso aportar conocimiento sobre la respuesta puntual del músculo ante situaciones de hipoxia normobárica.

### 2.2 HIPÓTESIS

La altura a la que se simulan los test de tolerancia a la hipoxia es un estímulo suficiente para provocar disminuciones en la  $SmO_2$ . Y que esta disminución está en relación con la edad, el sexo y la composición corporal.

## 2.3 OBJETIVOS

### *Objetivo principal:*

Determinar si la realización de un test de tolerancia a la hipoxia es un estímulo suficiente para generar cambios en la oxigenación muscular medida con espectroscopia del infrarrojo cercano.

### *Objetivos secundarios:*

1. Analizar la vinculación de los cambios en la  $SmO_2$  con el sexo, la edad y la composición corporal.
2. Establecer la relación entre el tiempo de hipoxia y los cambios en la  $SpO_2$  con las variaciones en la  $SmO_2$ .



### 3.- MATERIAL Y MÉTODO

Este trabajo es un estudio de tipo prospectivo y presenta el visto bueno del Comité Ética de Investigación (anexo 1) y se ha realizado el trabajo siguiendo los principios básicos de la Declaración de Helsinki.

#### 3.1 POBLACIÓN

Reclutamiento: 54 deportistas recreacionales que acuden al Laboratorio del Grupo de Investigación “Ejercicio Físico y Rendimiento Humano” de la Universidad de Murcia a los que se le solicitó participar en el proyecto.

Criterios de inclusión: Sujetos activos físicamente pero que no compiten en ningún deporte de forma específica. Entre 18 y 55 años.

Criterios de exclusión: Presencia de enfermedades cardiorrespiratorias que contraindiquen la realización del TTHN, embarazo, alteraciones hematológicas y metabólicas.

Creación de grupos: Se harán por grupo en función del sexo (hombres y mujeres), y en función de haber terminado o no el test (Completo=10 minutos; Incompleto <10 minutos).

#### 3.2 METODOLOGÍA GENERAL

El trabajo lo hemos dividido en 7 etapas.

Primera: Cumplimentación del consentimiento informado (anexo 2) y cuestionario de antecedentes médico deportivos (anexo 3).

Segunda: Valoración antropométrica y composición corporal; peso, talla, perímetro de cintura, MGR, porcentaje de grasa y porcentaje de músculo por bioimpedancia (in-body 120®).

Tercera: Exploración cardiovascular en reposo, una ecocardiografía (Clarius®) y un electrocardiograma (ECG) de 12 derivaciones con el electrocardiógrafo Cardioline®.



Cuarta: Posicionamiento del paciente y colocación del Humon Hex® en muslo derecho (9), pulsioxímetro en oreja izquierda, pulsómetro en tórax, manguito de presión arterial en brazo derecho y obtención de parámetros basales ( $SmO_2$ ,  $SpO_2$ , FC, TAS, TAD) (11).

Quinta: Realización de un test de tolerancia a la hipoxia para determinar el tiempo máximo de hipoxia. En sedestación, respirando aire con 11% de  $FIO_2$ , equivalente a una altura de 5050m). Finalizando a los 10 minutos o cuando aparezca un descenso de  $SpO_2$  del 83%.

Sexta: Obtención de parámetros al final del test (tiempo de hipoxia,  $SmO_2$ ,  $SpO_2$ , FC, TAS, TAD).

Séptima: Obtención de  $SmO_2$  y  $SpO_2$  a los 10 minutos de normoxia ( $SmO_2$ ,  $SpO_2$ ).

En la figura 1, mostramos el flujograma de este estudio

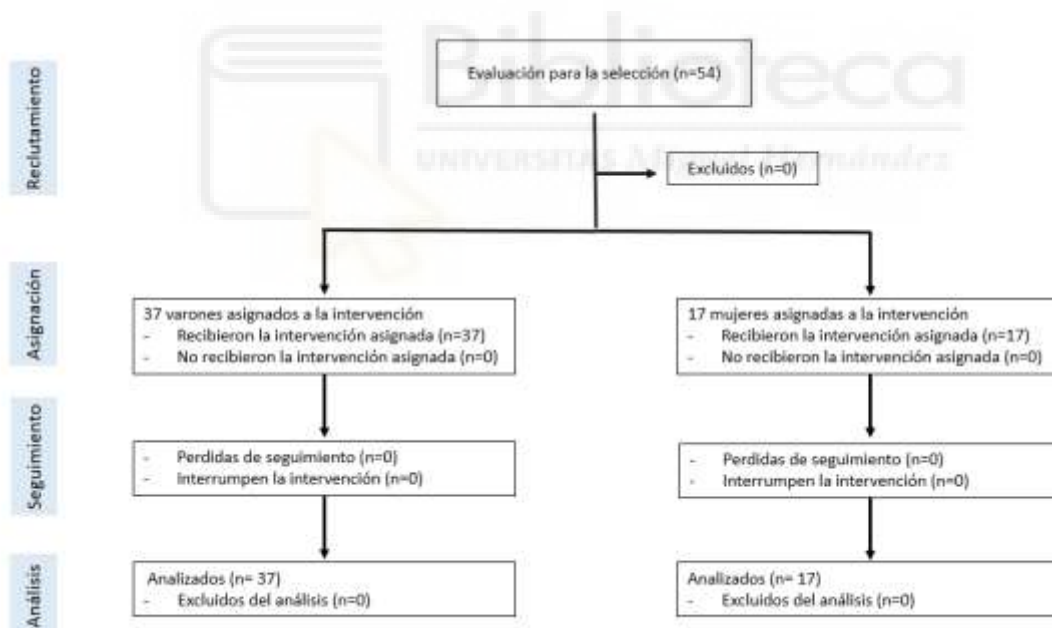


Figura 1. Flujograma

### 3.3 METODOLOGÍA ESPECÍFICA

#### 3.3.1 Valoración antropométrica y de composición corporal

A todos los participantes se les midió la estatura sin zapatos. El sujeto se colocó de espaldas al tallímetro con la cabeza en el plano de Frankfort y los brazos relajados a ambos lados del tronco.

La masa corporal se halló mediante una báscula de bioimpedancia donde además, se obtuvo el porcentaje de músculo y de grasa. Sobre la báscula, el participante sujetaba con ambas manos el manillar del dispositivo colocando los pulgares sobre el electrodo y los brazos estirados sin tocar el cuerpo, los muslos ligeramente separados sin tocarse y los pies alineados. Tras introducir los datos de sexo, edad y altura en el software del equipo, este determinó la masa corporal total y los porcentajes de masa grasa y músculo-esquelética.

Los perímetros de cintura y cadera se midieron con una cinta métrica inextensible. En bipedestación, a cada sujeto se midió el perímetro de cintura, en el punto de menor circunferencia abdominal, y el perímetro de cadera a nivel de mayor circunferencia glútea.

Las características del material utilizado se muestran en la figura 2.




INSTRUMENTO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p><b>Tallímetro</b> <b>SECA® modelo 213</b></p>	<p>Con una altura máxima de 205 cm y precisión 1mm.</p>	
<p><b>Cinta métrica</b> <b>Holtain®</b></p>	<p>Con 1 mm de precisión Cinta métrica metálica e inextensible, para medir los contornos.</p>	
<p><b>Báscula de bioimpedancia</b> <b>In Body® 120</b></p>	<p>Mide rango de peso de 5-250 kg y estatura de 50-300 cm. Proporciona un análisis detallado de la composición corporal.</p>	

Figura 2. Material utilizado en la exploración antropométrica y de composición corporal.

### 3.3.2 Exploración cardiovascular previa

A cada uno de los participantes se le realizó una exploración cardiovascular en reposo (decúbito supino sobre la camilla) previa al test de hipoxia normobárica. Da comienzo con la auscultación cardíaca, ecocardiografía Clarius HD, y, por último, se realiza un electrocardiograma (ECG) de 12 derivaciones con el electrocardiógrafo Cardioline® (figura 3).

INSTRUMENTO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p><b>Monitor de presión arterial</b></p> <p><b>Beurer BM26</b></p>	<p>Tensiómetro de brazo con medición automática, validado clínicamente con indicador OMS.</p>	
<p><b>Ecocardioscopio</b></p> <p><b>Clarius HD</b></p>	<p>Para ecografía cardiovascular con sonda inhalámbrica (frecuencia de entre 5 y 15 MHz) conectada a una tablet Android con aplicación Clarius HD. Las modalidades son doppler- color, Doppler espectral, elasto-grafía, con guía de aguja y blanco y negro.</p>	
<p><b>Electrocardiógrafo</b></p> <p><b>Cardioline Click® ECG.</b></p>	<p>Presenta el trazado ECG en tiempo real, con posibilidad de guardar e imprimir los registros.</p>	

Figura 3. Material utilizado en la exploración cardiovascular.

### 3.3.3 Descripción, funcionamiento y colocación de Humon Hex®

Humon Hex® (figura 4) es un dispositivo inalámbrico y sencillo de utilizar, está formado por un hexágono que contiene el software, la APP y la batería. Además, permite adaptarlo a cualquier zona corporal mediante una correa ajustable y con un cierre de velcro.



Figura 4. Dispositivo Humon Hex®

En este trabajo se ha colocado un dispositivo Humon Hex® para recoger la  $SmO_2$  del músculo cuádriceps, colocándolo en el vasto lateral del lado dominante, en la zona antero externa del muslo, en el punto medio entre el pliegue inguinal y el polo superior de la rótula (figura 5). El dispositivo se conectó a una tablet Samsung®



Figura 5. Posición Humon Hex®

### 3.3.4 Descripción del simulador I-Altitude

Se calibra la máquina con aire ambiental a un 20,9% de oxígeno y posteriormente se regula para que expulse el aire al 11% a través de un tubo flexible y una mascarilla desechable desprovista de gomas y correas. El software del dispositivo nos muestra en una pantalla la evolución de la SpO<sub>2</sub> y la FC a lo largo del tiempo (figura 6). Cuando se da la señal de inicio el dispositivo comienza las mediciones y si la SpO<sub>2</sub> disminuye del 83%, da un aviso visual y sonoro para que el paciente separe la mascarilla de su boca-nariz y comience a respirar el aire ambiental. Si a los 10 min no se produce este descenso se da por finalizado el test.



Figura 6. Colocación de la mascarilla y Test de hipoxia normobárica

### 3.5 PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO

En la tabla 1 mostramos las variables utilizadas separadas en independientes y dependientes

Tabla 1. Variables independientes y dependientes.

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
Edad, variables antropométricas (peso y talla y composición corporal (IMC, MGR, porcentaje de masa grasa y masa muscular)	Tiempo de hipoxia
Fisiológicas iniciales (FC, TAS, TAD, SmO <sub>2</sub> , SpO <sub>2</sub> )	Clasificación según TTHN
Grupos según sexo (varones ; mujeres)	Diferencias SmO <sub>2</sub> inicial y SmO <sub>2</sub> final
Grupos según tolerancia (Incompleto <10 min; Completo 10 min)	Diferencias SmO <sub>2</sub> recuperación con SmO <sub>2</sub> inicial y SmO <sub>2</sub> final

Se ha realizado la descripción de las variables cuantitativas mediante los valores medios y desviación estándar (DE) y en las variables cualitativas los valores absolutos y porcentajes. Se ha comprobado la normalidad de las variables mediante el test Kolmogórov-Smirnov y la normalidad de las medias con el test de Levene. Las comparaciones intergrupo de las variables cuantitativas se han hecho mediante la *t-student* y los de las variables cualitativas mediante la chi-cuadrado. Las comparaciones intra-sujeto se han realizado mediante el test de la *t*-pareada. Se ha calculado el tamaño del efecto mediante la *d* de Cohen. Las correlaciones se han realizado con la prueba *r* de Pearson. Se han considerado que existen diferencias o relaciones significativas cuando el valor de  $p < 0,05$ .

## 4.- RESULTADOS

### 4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN

La población está compuesta por 54 sujetos de los cuales 37 (68,5%) son varones y 17 (31,5%) mujeres. En la tabla 2 mostramos las características generales y antropométricas de la población separadas por sexo. Se aprecian diferencias significativas entre hombres y mujeres en todas las variables excepto en el perímetro de cadera y la presión arterial diastólica.

Tabla 2. Características generales de la población separadas por sexo.

	Sexo	Media	DE	t-student	Valor p	d Cohen
Edad (años)	Varón	30,9	10,5	1,325	0,095	0,973
	Mujer	27,1	8,4			
Horas de entreno (horas)	Varón	7,24	4,60	2,130	0,019*	0,175
	Mujer	4,65	2,94			
Talla (cm)	Varón	177,14	6,74	5,990	0,000*	2,370
	Mujer	165,18	6,97			
Peso (Kg)	Varón	77,64	9,57	5,407	0,000*	2,182
	Mujer	62,58	9,34			
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	Varón	24,72	2,24	2,686	0,005*	1,348
	Mujer	22,89	2,50			
Porcentaje grasa (%)	Varón	19,06	5,21	-5,541	0,000*	-0,976
	Mujer	28,22	6,52			
Porcentaje músculo (%)	Varón	42,50	5,39	2,916	0,003*	0,149
	Mujer	37,91	5,33			
Cintura (cm)	Varón	80,77	6,53	4,724	0,000*	2,019
	Mujer	71,49	7,07			
Cadera (cm)	Varón	95,74	6,78	0,280	0,390	0,589
	Mujer	95,21	5,59			
Presión sistólica (mmHg)	Varón	129,08	13,71	4,006	0,000*	1,741
	Mujer	113,53	12,15			
Presión diastólica (mmHg)	Varón	80,73	9,04	1,114	0,135	0,888
	Mujer	77,65	10,30			

Nota: \*=diferencia estadísticamente significativa.



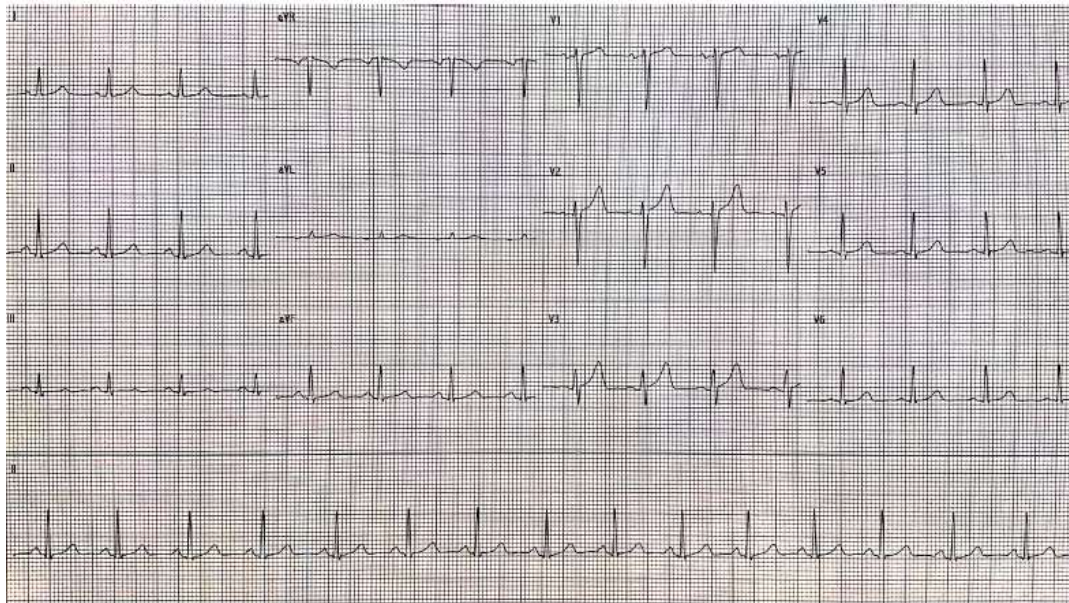
## 4.2 EXPLORACIÓN PREVIA

Mediante la auscultación cardiaca se obtuvieron resultados clínicamente normales en todos los participantes, aunque se observaron 11 (20,3%) con las siguientes anomalías electrocardiográficas: arritmia sinusal (2 sujetos), bradicardia (3 sujetos), bloqueo AV de primer grado (1 sujetos), extrasístole ventricular (3 sujetos) y Bloqueo Incompleto de Rama Derecha (BIRD) (2 sujeto). En la figura 7 mostramos algunos de estos ECG.

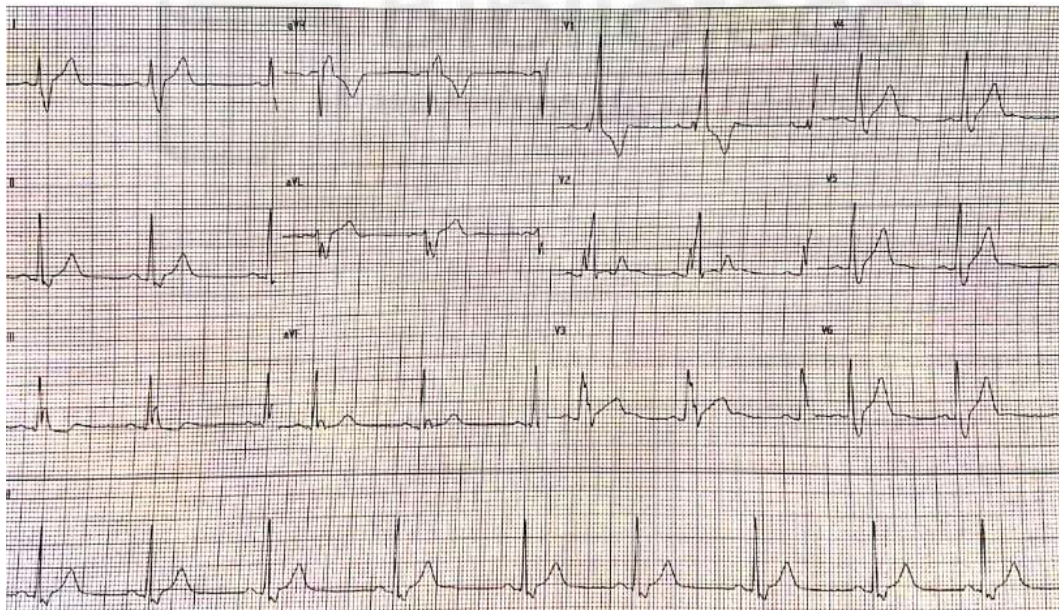


## ELECTROCARDIOGRAMAS

### RITMO NORMAL



### BIRD



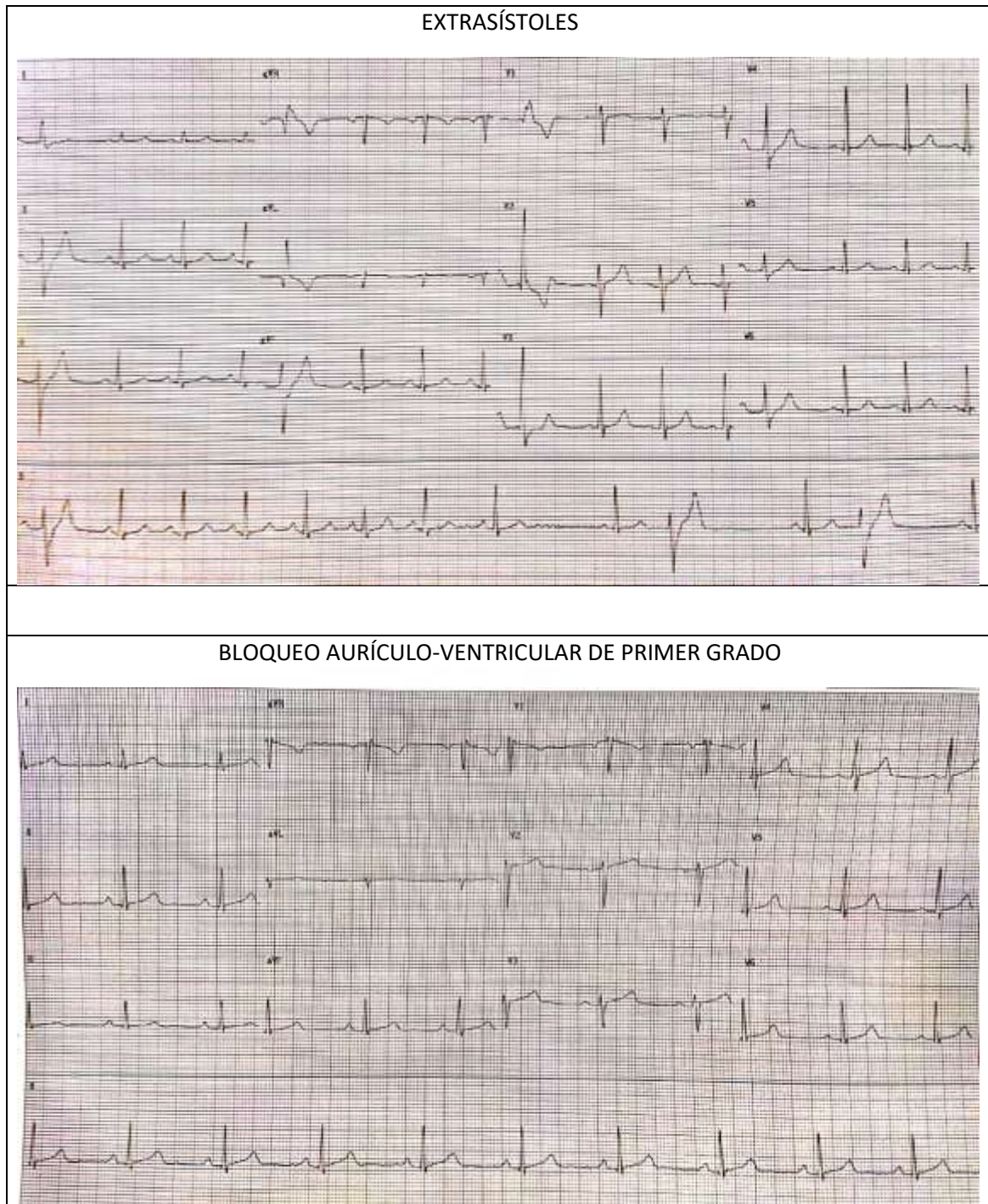


Figura 7. Ejemplos de electrocardiogramas de los participantes del estudio.

La exploración que se realizó durante esta fase fue una ecocardiografía (figura 8), donde se valoró de forma general el correcto funcionamiento de las válvulas, contracción del músculo cardíaco (tanto de las aurículas como de los ventrículos) y se descartó la existencia de alguna disfunción.

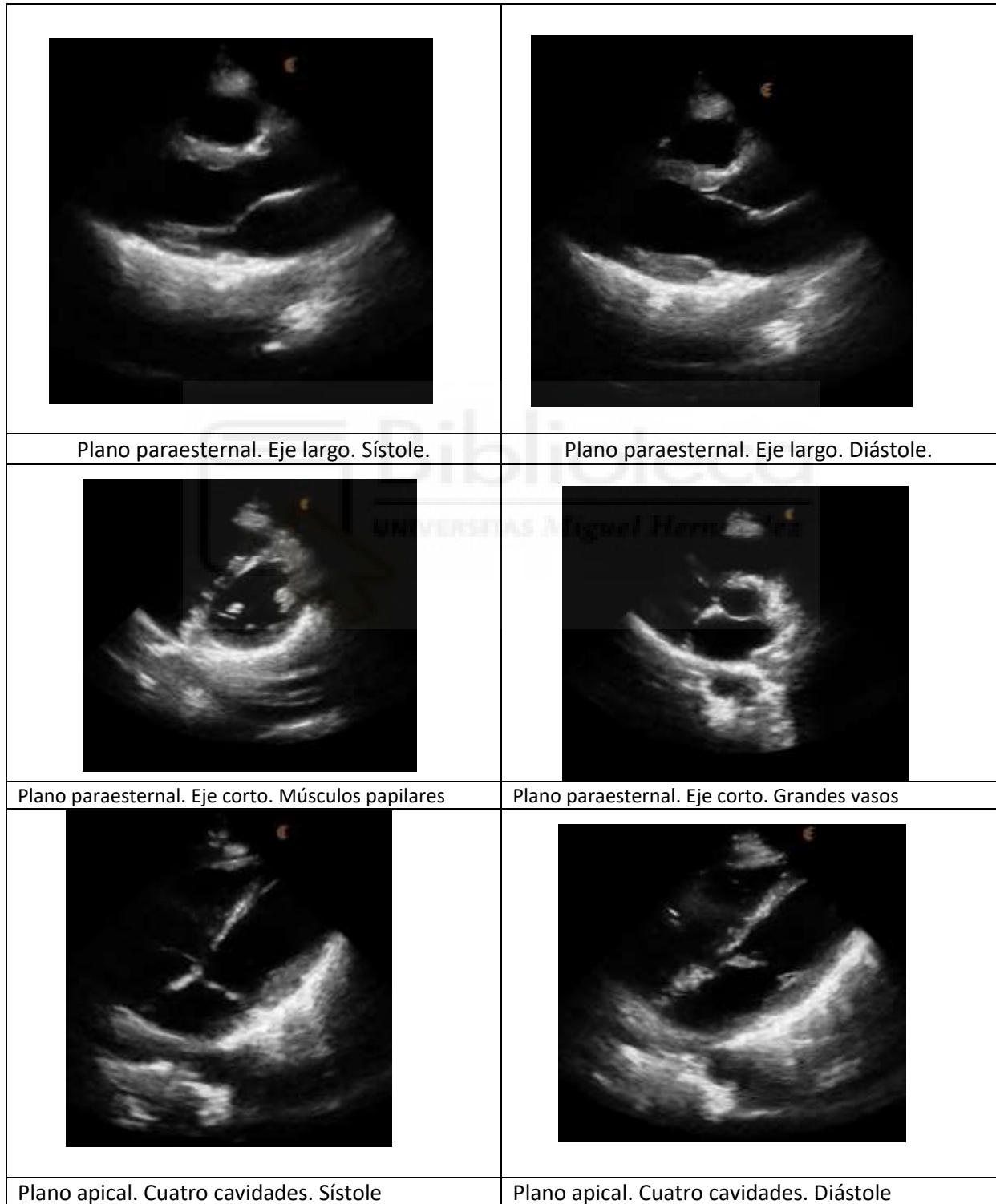


Figura 8. Imágenes ecocardiográficas normales.

### 4.3 EFECTO DE LA HIPOXIA NORMOBÁRICA

En la tabla 3 mostramos los valores previos y posteriores al periodo de exposición a la hipoxia para variables  $SmO_2$ ,  $SpO_2$  y FC para la población en conjunto. Las dos saturaciones han disminuido significativamente tras el periodo de hipoxia mientras la FC ha aumentado.

Tabla 3. Datos previos y posteriores de la exposición a la hipoxia normobárica.

		Media	DE	Media de las diferencias	DE de las diferencias	<i>t-pareada</i>	Valor de <i>p</i>	d Cohen
<b>SpO<sub>2</sub></b>	previa	99,17	1,22	14,46	4,61	23,043	0,000*	3,103
	post-hipoxia	84,70	4,68					
<b>SmO<sub>2</sub></b>	previa	59,85	12,99	3,11	3,52	6,502	0,000*	0,803
	post-hipoxia	56,74	13,00					
<b>FC</b>	previa	73,83	13,99	-6,65	9,48	-5,156	0,000*	-0,685
	post-hipoxia	80,48	12,79					

Nota: \*=diferencia estadísticamente significativa.

El tiempo medio de la duración del test de la población ha sido de 406,5 segundos  $\pm$  185,2 segundos con un rango entre 120 y 600 segundos. De los 54 sujetos del estudio 20 (37%) han completado los 10 minutos del test, mientras que 34 (63%) no lo han hecho. En la tabla 4, mostramos el número de sujetos de cada sexo que terminó o no el test.

Tabla 4. Valores del TTHN según el sexo y si completaron o no el test.

Sexo		Frecuencia	Porcentaje (%)
Varón	Incompleto	24	64,9
	Completo	13	35,1
	Total	37	100,0
Mujer	Incompleto	10	58,8
	Completo	7	41,2
	Total	17	100,0

En la tabla 5 mostramos la comparación en valores absolutos (valor final – valor inicial) y relativos (valor final-valor inicial/valor inicial\*100) de los cambios en las saturaciones de oxígeno y de la FC entre los sujetos que no completaron el test y los que sí lo hicieron. Tanto en valores absolutos como relativos, el cambio de la SpO<sub>2</sub> en el grupo que no completó el test (<10 minutos) mostró una mayor variabilidad tras finalizar el test de hipoxia normobárica siendo el resultado estadísticamente significativo (p=0,000).

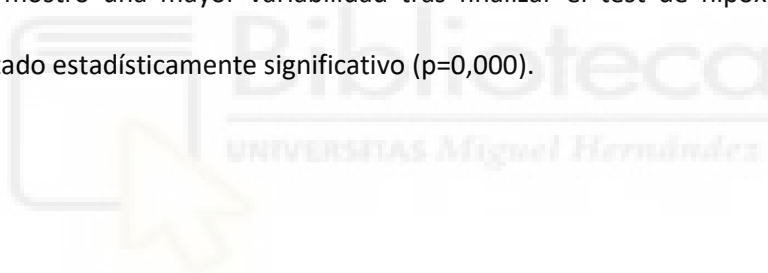


Tabla 5. Comparación de los cambios de las saturaciones de oxígeno y la frecuencia cardiaca.

	Grupo tiempo	Media	DE	<i>t-student</i>	Valor de <i>p</i>	d Cohen
<b>Cambio de la SpO<sub>2</sub> Porcentaje (valor absoluto)</b>	Incompleto	-17,15	2,00	-7,260	0,000*	-2,421
	Completo	-9,90	4,19			
<b>Cambio de la SmO<sub>2</sub> Porcentaje (valor absoluto)</b>	Incompleto	-2,85	3,34	0,700	0,244	0,197
	Completo	-3,55	3,85			
<b>Cambio de la FC Lat/min (valor absoluto)</b>	Incompleto	8,06	9,19	1,441	0,078	0,406
	Completo	4,25	9,71			
<b>Cambio de la SpO<sub>2</sub> Porcentaje (valor relativo)</b>	Incompleto	-17,31	1,90	-7,402	0,000*	-2,489
	Completo	-9,94	4,20			
<b>Cambio de la SmO<sub>2</sub> Porcentaje (valor relativo)</b>	Incompleto	-4,15	7,75	1,243	0,110	0,350
	Completo	-7,20	10,15			
<b>Cambio de la FC Lat/min (valor relativo)</b>	Incompleto	12,34	14,14	1,085	0,142	0,306
	Completo	7,66	17,11			

Nota: \*=diferencia estadísticamente significativa.

En la tabla 6 se comparan también los valores absolutos y relativos de los cambios en las saturaciones de oxígeno y de la frecuencia cardiaca, pero esta vez dividiendo a la población según el sexo. Sin encontrar diferencias significativas distinguiendo a la población entre varones y mujeres.

Tabla 6. Comparación de los cambios de saturaciones de oxígeno y frecuencia cardiaca según el sexo.

	<b>Sexo</b>	<b>Media</b>	<b>DE</b>	<b>t-student</b>	<b>Valor de p</b>
<b>Cambio de la SmO<sub>2</sub> Porcentaje (Valor absoluto)</b>	Varón	-2,89	2,69	0,672	0,252
	Mujer	-3,59	4,94	0,546	0,296
<b>Cambio de la SmO<sub>2</sub> Porcentaje (valor relativo)</b>	Varón	-4,58	4,54	0,863	0,196
	Mujer	-6,80	14,27	0,626	0,270
<b>Cambio de la SpO<sub>2</sub> Porcentaje (valor absoluto)</b>	Varón	-14,14	4,86	0,768	0,223
	Mujer	-15,18	4,07	0,821	0,209
<b>Cambio de la SpO<sub>2</sub> Porcentaje (valor relativo)</b>	Varón	-14,26	4,88	0,759	0,226
	Mujer	-15,29	4,11	0,809	0,212
<b>Cambio de la FC Lat/min (valor absoluto)</b>	Varón	6,70	10,15	0,062	0,475
	Mujer	6,53	8,10	0,067	0,473
<b>Cambio de la FC Lat/min (valor relativo)</b>	Varón	11,14	16,51	0,374	0,355
	Mujer	9,45	12,73	0,412	0,341





#### 4.4 EVOLUCIÓN DE LA SmO<sub>2</sub>

En la tabla 7 mostramos la comparación por sexos de los valores de la SmO<sub>2</sub> antes, después y los 10 minutos del test observando diferencias significativas entre hombres y mujeres.

Tabla 7. Comparación de la SmO<sub>2</sub> en diferentes momentos según el sexo.

	Sexo	Media	DE	t-student	Valor de p	d Cohen
SmO <sub>2</sub> previa	Varones	61,14	17,21	4,001	0,000*	1,484
	Mujeres	36,57	24,97			
SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	Varones	58,49	16,71	4,089	0,000*	1,582
	Mujeres	35,10	22,99			
SmO <sub>2</sub> tras 10 min	Varones	62,06	17,44	4,418	0,000*	11,591
	Mujeres	27,36	26,96			

Nota: \*=diferencia estadísticamente significativa.

En la tabla 8 separados entre varones y mujeres comparamos las SmO<sub>2</sub> del subgrupo de sujetos que ha realizado el test de forma completa y de los que lo realizaron de forma incompleta, observando que no hay diferencias significativas.

Tabla 8. Comparación de los diferentes momentos de la SmO<sub>2</sub> según hayan realizado el test completo o no, separado por el sexo.

Sexo			N	Media	DE	t-student	Valor de p
Varón	SmO <sub>2</sub> previa	Incompleto	24	64,75	10,22	-0,106	0,458
		Completo	13	65,08	5,74		
	SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	Incompleto	24	61,71	10,23	-0,243	0,405
		Completo	13	62,46	5,92		
	SmO <sub>2</sub> tras 10 min	Incompleto	24	65,67	8,83	0,130	0,449
		Completo	13	65,31	6,22		
Mujer	SmO <sub>2</sub> previa	Incompleto	10	48,80	14,09	-0,047	0,482
		Completo	7	49,14	15,31		
	SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	Incompleto	10	46,40	10,50	0,372	0,357
		Completo	7	43,86	17,74		
	SmO <sub>2</sub> tras 10 min	Incompleto	10	49,80	9,59	-0,051	0,480
		Completo	7	50,14	17,85		

En la tabla 9, comparamos las tres  $SmO_2$  entre sí separadas entre varones y mujeres de forma global y con el subgrupo de tiempo (completo/incompleto) observando que en ambos sexos hay diferencias significativas entre la  $SmO_2$  previa al test y la  $SmO_2$  post-hipoxia y entre la  $SmO_2$  post-hipoxia y la  $SmO_2$  tras 10 minutos de finalizar la prueba, pero no entre la  $SmO_2$  previa y la  $SmO_2$  tras 10 minutos.



Tabla 9. Comparación de los momentos diferentes de SmO<sub>2</sub> según el sexo, de forma global y dividiéndolo por el subgrupo de tiempo.

Sexo		N	Media	DE	t-pareada	valor p	d Cohen	
(V)	Global	SmO <sub>2</sub> previa	37,00	64,86	8,81	6,551	0,000*	1,142
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	37,00	61,97	8,87			
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	37,00	61,97	8,87	-8,603	0,000*	-1,325
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	37,00	65,54	7,92			
		SmO <sub>2</sub> previa	37,00	64,86	8,81	-1,512	0,070	-0,352
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	37,00	65,54	7,92			
	Incompleto	SmO <sub>2</sub> previa	24,00	64,75	10,22	6,106	0,000*	1,246
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	24,00	61,71	10,23			
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	24,00	61,71	10,23	-7,889	0,000*	-1,610
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	24,00	65,67	8,83			
		SmO <sub>2</sub> previa	24,00	64,75	10,22	-1,597	0,062	-0,326
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	24,00	65,67	8,83			
Completo	SmO <sub>2</sub> previa	13,00	65,08	5,74	2,969	0,006*	0,823	
	SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	13,00	62,46	5,92				
	SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	13,00	62,46	5,92	-3,982	0,001*	-1,104	
	SmO <sub>2</sub> tras 10 min	13,00	65,31	6,22				
	SmO <sub>2</sub> previa	13,00	65,08	5,74	-0,322	0,377	-0,089	
	SmO <sub>2</sub> tras 10 min	13,00	65,31	6,22				
(M)	global	SmO <sub>2</sub> previa	17,00	48,94	14,13	2,996	0,004*	0,851
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	17,00	45,35	13,48			
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	17,00	45,35	13,48	-3,337	0,002*	-0,912
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	17,00	49,94	13,08			
		SmO <sub>2</sub> previa	17,00	48,94	14,13	-0,663	0,258	-0,232
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	17,00	49,94	13,08			
	Incompleto	SmO <sub>2</sub> previa	10,00	48,80	14,09	1,507	0,083	0,476
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	10,00	46,40	10,50			
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	10,00	46,40	10,50	-3,127	0,006*	-0,989
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	10,00	49,80	9,59			
		SmO <sub>2</sub> previa	10,00	48,80	14,09	-0,476	0,323	-0,150
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	10,00	49,80	9,59			
	Completo	SmO <sub>2</sub> previa	7,00	49,14	15,31	3,035	0,011*	1,147
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	7,00	43,86	17,74			
		SmO <sub>2</sub> post-hipoxia	7,00	43,86	17,74	-2,108	0,040*	-0,797
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	7,00	50,14	17,85			
		SmO <sub>2</sub> previa	7,00	49,14	15,31	-0,437	0,339	-0,165
		SmO <sub>2</sub> tras 10 min	7,00	50,14	17,85			

Nota: \*=diferencia estadísticamente significativa; (V)= varones; (M): mujeres.

En la figura 9 observamos la evolución de los porcentajes de la  $SmO_2$  en cada uno de los cuatro subgrupos: (varón completo/varón incompleto y mujer completa y mujer incompleta).

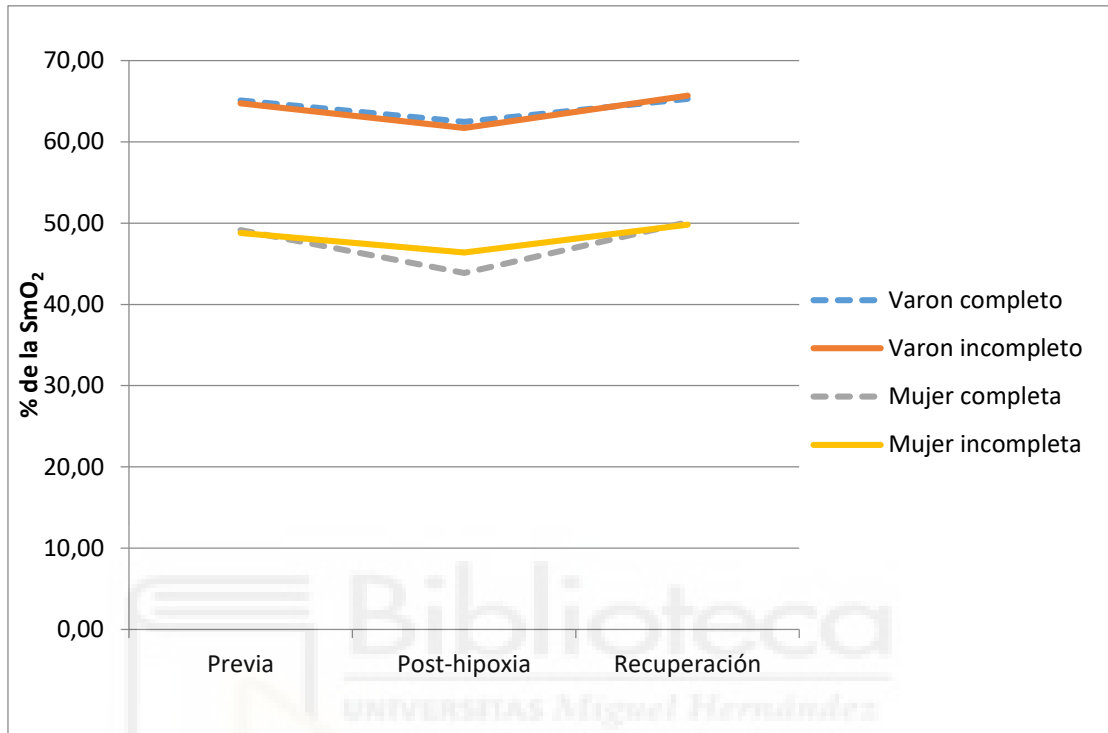


Figura 9. Evolución de los porcentajes de la  $SmO_2$

## 4.5 CORRELACIONES

No se han observado correlaciones entre las variables antropométricas y las de composición corporal con las pérdidas de oxigenación muscular tanto en valores absolutos como en porcentaje. Sí que se observa una correlación positiva con las cifras de tensión arterial diastólica previa a la hipoxia con los cambios de la  $SmO_2$  y los porcentajes de dichos cambios.

Al separar la población en los dos subgrupos según la duración del test y analizar las correlaciones con las variables antropométricas observamos que la talla se correlaciona con el tiempo de hipoxia en los sujetos que hicieron el test de forma incompleta ( $r=0,376$ ;  $p=0,028$ ). Y la talla se correlaciona también en los sujetos que realizaron el test de forma incompleta con los cambios en la  $SmO_2$  ( $r=0,455$ ;  $p=0,044$ ) y con los cambios relativos ( $r=0,508$ ;  $p=0,022$ ). La PAD de los que realizaron el test de forma incompleta tiene una correlación positiva con los cambios en el  $SmO_2$  ( $r=0,372$ ;  $p=0,030$ ).

## 5.- DISCUSIÓN

Los sujetos han sido sometidos a un TTHN mientras se recogía la  $SmO_2$  del cuádriceps analizando la conexión de los cambios en la  $SmO_2$  con el sexo, la edad y la composición corporal. Se ha determinado la relación entre el tiempo de hipoxia y los cambios en la  $SpO_2$  con las variaciones en la  $SmO_2$ , observando que no todos los sujetos completan los 10 minutos establecidos en el test y que esto es independiente del sexo y de la edad. Asimismo, se ha comprobado que la  $SmO_2$  disminuye tras la exposición a la hipoxia tanto en los sujetos que completan los 10 minutos de test como aquellos en los que disminuye la  $SpO_2$  antes de alcanzar este tiempo.

Hemos monitorizado la FC y la  $SpO_2$  mediante un pulsioxímetro mientras que otros trabajos recogieron, por un lado, la FC a través de un pulsómetro Polar inalámbrico (13, 14) o un ECG de 3 derivaciones (24); Por otro lado, evaluaron mediante un oxímetro de pulso digital en el dedo índice derecho (13), la  $SpO_2$ . También hemos monitorizado la FC antes y post-hipoxia como en todos estos artículos mencionados, donde la medición fue de forma continuada.

Determinamos, como criterio la finalización del test, un máximo de 10 minutos de respiración con aire empobrecido en  $O_2$  o al 83% de  $SpO_2$ . Cuando el sujeto bajaba de ese porcentaje, el test automáticamente se detenía y el participante se recuperaba respirando aire ambiental.

La  $SmO_2$ , la monitorizamos mediante el dispositivo NIRS, llamado Humon hex<sup>®</sup>, y aunque muchos de los artículos tomaron de referencia otra marca de dispositivo: Moxy, coincidimos en la colocación de este en el mismo punto de referencia anatómico, vasto lateral derecho (2, 14).

La población de nuestro trabajo está compuesta tanto por mujeres como por varones, comparando entre ambos, no como otros estudios donde la mayoría son en varones (25, 15). Tanto al inicio como al final del test, los valores de  $SmO_2$  son diferentes entre hombres y mujeres. Hecho que también habíamos comprobado en estudios previos (9). Los cambios de  $SmO_2$  son similares en ambos sexos tanto en valor absoluto como en porcentaje lo que nos lleva a afirmar que la adaptación muscular a la hipoxia es independiente del sexo.

En el estudio de Hobbins et al. (2021) (26) se comprobó que la respuesta ante la hipoxia normobárica no se ve afectada por la composición corporal y las variables antropométricas. Nosotros tampoco vemos efectos sobre la  $SmO_2$ . La edad tampoco ha sido un factor determinante en los resultados finales. (edad con  $SmO_2$  o con HN).

La disminución de la  $SmO_2$  como consecuencia de la hipoxia normobárica es similar a la que aparece con ejercicios intensos como una prueba de esfuerzo en tapiz rodante (10) y efectos similares se han visto con otros deportes como el ciclismo (13) o corredores de media y larga distancia (11).

El estudio de la evolución de la  $SmO_2$  es una forma sencilla de entender y objetivar el papel de los distintos tipos de hemoglobina implicados en la oxigenación muscular y el ejercicio físico (7). Por lo que podríamos utilizarlo como un marcador del efecto de la hipoxia normobárica tanto en el entrenamiento de deportistas como coadyuvante al tratamiento de patologías crónicas (27).

Teniendo en cuenta que el rendimiento deportivo del músculo esquelético depende del  $VO_2$  y de su metabolismo oxidativo o aeróbico, resulta útil relacionar la  $SmO_2$  con el ejercicio ya que dependiendo de la respuesta individual del sujeto podemos encontrar mejoras tenues en la fuerza y la masa muscular, la velocidad y la potencia, así como las respuestas hormonales al entrenamiento de resistencia (28). Además, las mejoras en el sistema oxidativo,

conducen a un mayor rendimiento del sujeto tanto en las actividades deportivas como en las actividades básicas de la vida diaria (5).

El ejercicio físico combinado con la hipoxia estimula la activación de biomarcadores angiogénicos como el factor de crecimiento del endotelio vascular, metaloproteasas o el fragmento de escisión de matriz extracelular endostatina, estando relacionados con la matriz extracelular (25). Estos biomarcadores son interesantes en el estudio de los mecanismos de apoyo al rendimiento deportivo, a través de sus regulaciones de forma aguda. Esto puede ser de utilidad para aumentar las capacidades físicas en sujetos sanos o que presentan enfermedades cardiovasculares. Lo que, se asocia positivamente el porcentaje de  $SmO_2$  con la capacidad de ejercicio físico (15).

Hemos considerado un test de tolerancia a la hipoxia de una altitud simulada de 5.050 m ( $FiO_2$  del 11%) porque es el que se describe como test previo para la realización de los entrenamientos en hipoxia. Este protocolo nos ha permitido estudiar la  $SmO_2$  en dos grupos de población; aquellos que completan el test y los que no lo hacen, así tenemos dos estímulos diferentes: hipoxia leve mantenida en el tiempo e hipoxia más acentuada con menos tiempo de exposición, y hemos observado que no hay diferencia entre estos dos grupos. Esto nos hace pensar que debe existir un factor que tenga en cuenta tiempo de exposición e intensidad de la hipoxia. Algo que podría asimilarse a “carga de la hipoxia” que sería el producto del tiempo de hipoxia por el valor del descenso máximo de la  $SpO_2$  ( $100-SpO_2$ ) de tal forma que se compensa un menor tiempo de exposición con un mayor descenso en la  $SpO_2$ .

La disminución de la  $SmO_2$  va a estar relacionada con la aparición de la fatiga, que a su vez lo está con la intensidad del ejercicio. Una forma de medir la aparición de fatiga es a través de la cuantificación de la  $SmO_2$  ya que es más fiable para monitorear la intensidad de un ejercicio que la FC pudiéndose ver está afectada por diversos factores internos. La carga individual de los mecanismos de fatiga que pueden alterar los datos de FC como el estrés, la



variabilidad durante la actividad, la deshidratación, genética, edad y no refleje con precisión la demanda metabólica y la intensidad del ejercicio (4).

El descenso en la  $SmO_2$  se ha estudiado durante ejercicios máximos en laboratorio, observando que se producen habitualmente en diferentes fases de más o menos duración según la intensidad del ejercicio (8) relacionándose con el consumo de oxígeno y los umbrales ventilatorios (29). En nuestro trabajo al asociarlo con la exposición a la hipoxia nos puede servir como base para aplicarlo al entrenamiento en altitud.

Un punto interesante a estudiar sería como se produce el descenso de la  $SmO_2$  debido a la hipoxia, si es de forma lineal o formando unas curvas similares a las que aparecen con el ejercicio extenuante (30). Otro aspecto de interés a partir de nuestro trabajo es analizar cómo se comporta esa curva durante la recuperación porque nosotros solo tenemos los valores extremos.

Una de las limitaciones de nuestro trabajo es que sus conclusiones solo se pueden atribuir a la población que hemos analizado (sujetos sanos y activos) pero no a personas con patologías y personas con alto nivel de entrenamiento. Se ha realizado con una concentración de  $O_2$  determinada por lo que tampoco pude extrapolarse a otras concentraciones de  $O_2$ .

Este trabajo se puede considerar como parte de un estudio piloto en el que hemos valorado a los sujetos que van a constituir a un grupo control con el que se compararán personas con limitaciones ventilatorias candidatas a rehabilitación respiratoria en estudios sucesivos; ya que la hipoxia normobárica es una técnica emergente que se está utilizando en medicina del deporte y empezando a introducir en patologías respiratorias.

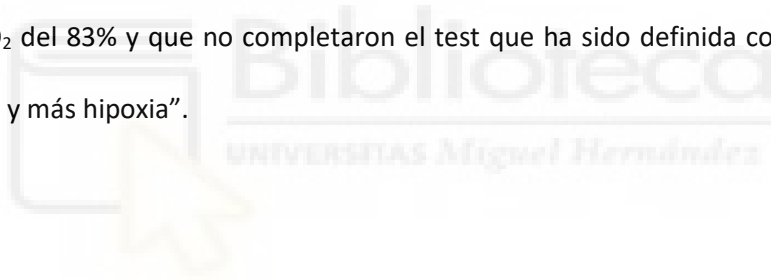
Como nuevas perspectivas de estudio podemos plantearnos repetirlo en poblaciones de otras características como obesos, hipertensos, o atletas entrenados. Así como, variando las condiciones estándar tiempo de duración y concentración de  $O_2$ .

Teniendo en cuenta que la HN es una terapia emergente y que hay que hacerla con una seguridad para el paciente, la medición de la  $SmO_2$  es un parámetro que puede indicar la efectividad de la técnica al ver el efecto sobre el músculo periférico.



## 6.- CONCLUSIONES

1. La realización de un test de tolerancia a la hipoxia a 5050 m de altitud simulada provoca la disminución de la  $SmO_2$  del cuádriceps en todos los sujetos expuestos.
2. No se han observado correlaciones entre la disminución de la  $SmO_2$  y los valores de composición corporal (masa grasa y masa músculo-esquelética), ni con la edad. La  $SmO_2$  previa a la exposición a la hipoxia es mayor en los varones que en las mujeres, pero disminuye en la misma proporción, manteniéndose las diferencias.
3. Se han encontrado dos situaciones que provocan la disminución en la  $SmO_2$ ; una, en los sujetos que completan el test (10 minutos), considerada como de “más tiempo y menos intensidad de hipoxia” y otra en la que los participantes que alcanzaron valores de  $SpO_2$  del 83% y que no completaron el test que ha sido definida como de “menos tiempo y más hipoxia”.



## 7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- (1) Contreras-Briceño F, Espinosa-Ramirez M, Keim-Bagnara V, Carreño-Román M, Rodríguez-Villagra R, Villegas-Belmar F, et al. Determination of the respiratory compensation point by detecting changes in intercostal muscles oxygenation by using near-infrared spectroscopy. *Life*. 2022; 12(3): 444. doi.org/10.3390/life12030444
- (2) Klusiewicz A, Rębiś K, Ozimek M, Czaplicki A. The use of muscle near-infrared spectroscopy (NIRS) to assess the aerobic training loads of world-class rowers. *Biol Sport*. 2021; 38(4): 713-719. doi.org/10.5114/biolsport.2021.103571
- (3) Mizukoshi K, Hamanaka Y, Niwayama M. Investigation of oxygen saturation in regions of skin by near infrared spectroscopy. *Skin Res Technol*. 2020; 1: 2-8 doi.org/10.1111/srt.13169
- (4) Stöggl T, Born DP. Near infrared spectroscopy for muscle specific analysis of intensity and fatigue during cross-country skiing competition a case report. *Sensors*. 2021; 21(7): 2535. doi.org/10.3390/s21072535
- (5) Hamaoka T, McCully KK. Review of early development of near infrared spectroscopy and recent advancement of studies on muscle oxygenation and oxidative metabolism. *J Physiol Sci*. 2019; 69(1): 799-811. doi: 10.1007/s12576-019-00697-2
- (6) Humon io (2020). The Humon training zones. Retrieved 02/03, 2020, from <https://humon.io/use-case/>
- (7) Turnes T, Dos Santos R, Alves de Aguiar R et al. Association between deoxygenated hemoglobin breaking-point, anaerobic threshold and rowing performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019; 14(8): 1103-9. doi: 10.1123/ijsp.2018-0675
- (8) Inglis EC, Iannetta D, Murias JM. Evaluating the NIRS-derived microvascular O<sub>2</sub> extraction “reserve” in groups varying in sex and training status using leg blood flow occlusions. *PLoS one*. 2019; 14(7): 1-33. doi.org/10.1371/journal.pone.0220192
- (9) Paredes-Ruiz MJ, Jódar-Reverte M, Martínez-González-Moro I, Ferrer-López V. Effects of Gender on Oxygen Saturation of Thigh Muscles during Maximal Treadmill Exercise Testing. *Sport Mont*. 2021; 19(1): 7-11. Doi: 10.26773/smj.210203
- (10) Paredes-Ruiz MJ, Jódar-Reverte M, Ferrer-López V, Martínez-González-Moro I. Quadriceps muscle oxygenation during a maximum stress test in middle-aged athletes. *Monten J Sports Sci Med*. 2020; 9(2): 43. doi 10.26773/mjssm.200908

- (11) Albertus-Cámara I, Ferrer-López, V, Martínez-González-Moro I. The Effect of Normobaric Hypoxia in Middle-and/or Long-Distance Runners: *Biology*. 2022; 11(5): 689. doi.org/10.3390/biology11050689
- (12) Breda FL, Manchado-Gobatto FB, de Barros Sousa FA, Beck WR, Pinto A, Papoti M, et al. Complex networks analysis reinforces centrality hematological role on aerobic-anaerobic performances of the Brazilian Paralympic endurance team after altitude training. *Sci Rep*. 2022; 12(1): 1-15. doi.org/10.1038/s41598-022-04823-w
- (13) Yamaguchi K, Sumi D, Hayashi N, Ota N, Ienaga K, Goto K. Effects of combined hot and hypoxic conditions on muscle blood flow and muscle oxygenation during repeated cycling sprints. *Eur J Appl Physiol*. 2021; 121(10): 2869-2878. doi.org/10.1007/s00421-021-04738-w
- (14) Benavente C, Feriche B, Olcina G, Schoenfeld BJ, Camacho-Cardenosa A, Almeida F, et al. Inter-set rest configuration effect on acute physiological and performance-related responses to a resistance training session in terrestrial vs simulated hypoxia. *PeerJ*. 2022; 10: e13469. doi.org/10.7717/peerj.13469
- (15) Peng Y, Meng L, Zhu H, Wan L, Chen F. Effect of normobaric oxygen inhalation intervention on microcirculatory blood flow and fatigue elimination of college students after exercise. *Front Genet*. 2022; 13(1): 1-8. doi: 10.3389/fgene.2022.901862
- (16) Wang JZ, Zhang YH, Du WT, Liu G, Zhang XY, Cheng SZ, et al. A post-surgical adjunctive hypoxic therapy for myocardial infarction: Initiate endogenous cardiomyocyte proliferation in adults. *Med Hypotheses*. 2019; 125: 16-20. doi: 10.1016/j.mehy.2019.02.033
- (17) Mateika JH, Komnenov D. Intermittent hypoxia initiated plasticity in humans: A multi-pronged therapeutic approach to treat sleep apnea and overlapping co-morbidities. *Exp Neurol*. 2017; 287(2):113-129. doi:10.1016/j.expneurol.2016.05.011
- (18) Zrzavy T, Pfitzner A, Flachenecker P, Rommer P, Zettl UK. Effects normobaric hypoxic endurance training on fatigue in patients with multiple sclerosis: a randomized prospective pilot study. *J Neurol*. 2021; 268 (12): 4809-15. doi.org/10.1007/s00415-021-10596-5
- (19) Powell FL, Milsom WK, Mitchell GS. Time domains of the hypoxic ventilatory response. *Respir Physiol*. 1998; 112(2): 123-34. doi.org/10.1016/S0034-5687(98)00026-7
- (20) Smith ML, Muentner NK. Effects of hypoxia on sympathetic neural control in humans. *Respir Physiol*. 2000; 121(2-3):163-71. doi.org/10.1016/S0034-5687(00)00141-9

- (21) Girard O, Brocherie F, Millet GP. Effects of altitude/hypoxia on single and multiple-sprint performance: a comprehensive review. *Sport Med.* 2017; 47(10): 1931-49. doi.org/10.1007/s40279-017-0733-z
- (22) MacIntyre NR. Tissue hypoxia: implications for the respiratory clinician. *Respir Care.* 2014; 59(10): 1590-6. doi.org/10.4187/respcare.03357
- (23) Arnold JT, Bailey SJ, Hodder SG, Fujii N, Lloyd AB. Independent and combined impact of hypoxia and acute inorganic nitrate ingestion on thermoregulatory responses to the cold. *Eur J Appl Physiol.* 2021; 121(4): 1207-18. doi.org/10.1007/s00421-021-04602-x
- (24) Nell HJ, Castelli LM, Bertani D, Jipson AA, Meagher SF, Melo LT, et al. The effects of hypoxia on muscle deoxygenation and recruitment in the flexor digitorum superficialis during sub-maximal intermittent handgrip exercise. *BMC Sports Sci. Med. Rehabilitation.* 2020; 12(1): 1-10. doi.org/10.1186/s13102-020-00163-2
- (25) Suhr F, Knuth S, Achtzehn S, Mester J, de Mares M. Acute exhaustive exercise under normoxic and normobaric hypoxic conditions differentially regulates angiogenic biomarkers in humans. *Medicin.* 2021; 57(7): 727. doi.org/10.3390/medicina57070727
- (26) Hobbins L, Hunter S, Gaoua N, Girar O. Short-Term perceptually regulated interval-walk training in hypoxia and normoxia in overweight-to-obese adults. *J Sports Sci Med.* 2021; 20(1): 45. doi.org/10.1016/j.jsams.2020.11.011
- (27) Timon R, González-Custodio A, Vasquez-Bonilla A, Olcina G, Leal A. Intermittent hypoxia as a therapeutic tool to improve health parameters in older adults. *Int J Environ Res Public Health.* 2022; 19(9): 5339. doi.org/10.3390/ijerph19095339
- (28) Deldicque, L. Does normobaric hypoxic resistance training confer benefit over normoxic training in athletes? A Narrative Review. *J Sci in Sport Exerci.* 2022; 4: 306-314. doi.org/10.1007/s42978-021-00159-5
- (29) Rodrigo-Carranza V, González-Mohíno F, Turner AP, Rodriguez-Barbero, González-Ravé. Using a portable near-infrared spectroscopy device to estimate the second ventilatory threshold. *Int J Sports Med.* 2021; 42 (10): 905-10 doi: 10.1055/a-1343-2127
- (30) Iannetta D, Qahtani A, Millet GY, Murias JM. Quadriceps muscles O<sub>2</sub> extraction and EMG breakpoints during a ramp incremental test. *Front Physiol.* 2017; 8(1):1-9. doi: 10.3389/fphys.2017.00686

## 8.- ANEXOS

## 8.1 AUTORIZACIÓN COMISIÓN ÉTICA E INVESTIGACIÓN

En nombre de la Universidad de Murcia, se certifica que el presente documento es una copia electrónica legítima de un documento administrativo original archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 27.3 c) de la Ley 39/2015, de 1 de octubre. En su totalidad puede ser consultado a través de la siguiente dirección: <a href="http://www.um.es/calidad/">http://www.um.es/calidad/</a>	
<b>INFORME DE LA COMISIÓN DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA</b>	
<p>Jaime Peris Riera, Catedrático de Universidad y Secretario de la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia,</p>	
<p><b>CERTIFICA:</b></p>	
<p>Que D. Ignacio Martínez González-Moro ha presentado la memoria de trabajo del Proyecto de Investigación titulado "<i>Efecto de la hipoxia normobárica sobre la oxigenación muscular del cuádriceps</i>", a la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia.</p>	
<p>Que dicha Comisión analizó toda la documentación presentada, y de conformidad con lo acordado el día seis de octubre de dos mil veintidós<sup>1</sup>, por unanimidad, se emite INFORME FAVORABLE, desde el punto de vista ético de la investigación.</p>	
<p>Y para que conste y tenga los efectos que correspondan firmo esta certificación con el visto bueno de la Presidenta de la Comisión.</p>	
<p>Vº Bº LA PRESIDENTA DE LA COMISIÓN DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA</p>	
<p>Fdo.: María Senena Corbalán García</p>	
<p>ID: 4142/2022</p>	
<p><sup>1</sup>A los efectos de lo establecido en el art. 19.5 de la Ley 40/2015 de 1 de octubre de Régimen Jurídico del Sector Público (B.O.E. 02-10), se advierte que el acta de la sesión citada está pendiente de aprobación.</p>	
	<p>Código seguro de verificación: <a href="https://www.um.es/calidad/">RDxPMrj6-f24TzgaB-fEgR7PtC-BW/HlPhU</a> <span style="float: right;">COPIA ELECTRÓNICA - Página 1 de 1</span></p> <p style="font-size: 8px;">Este es una copia electrónica legítima de un documento administrativo original archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 27.3 c) de la Ley 39/2015, de 1 de octubre. En su totalidad puede ser consultado a través de la siguiente dirección: <a href="http://www.um.es/calidad/">http://www.um.es/calidad/</a></p>



**INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)**

Elche, a 20 de octubre del 2022

Nombre del tutor/a	Diego Echevarria Aza
Nombre del alumno/a	María José Paredes Ruiz
Tipo de actividad	Adherido a proyecto
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	EFFECTO DE LA DE LA HIPOXIA NORMOBÁRICA SOBRE LA OXIGENACIÓN MUSCULAR DEL CUÁDRICEPS
Código/s GIS estancias	
Evaluación Riesgos Laborales	No procede
Evaluación Ética	No procede
Registro provisional	221020131832
Código de Investigación Responsable	TFG.GME.DEA.MJPR.221020
Caducidad	2 años

Se considera que el presente proyecto carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **EFFECTO DE LA DE LA HIPOXIA NORMOBÁRICA SOBRE LA OXIGENACIÓN MUSCULAR DEL CUÁDRICEPS** ha sido realizada de manera automática en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)", habiéndose determinado que no requiere someterse a dicha evaluación. Dicha información se adjunta en el presente informe. Es importante destacar que si la información aportada en dicho formulario no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, se autoriza la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos  
Secretario del CEII  
Vicerrectorado de Investigación

Domingo L. Orozco Beltrán  
Presidente del CEII  
Vicerrectorado de Investigación

**Información adicional:**

- En caso de que la presente actividad se desarrolle total o parcialmente en otras instituciones es responsabilidad del investigador principal solicitar cuantas autorizaciones sean pertinentes, de manera que se garantice, al menos, que los responsables de las mismas están informados.
- Le recordamos que durante la realización de este trabajo debe cumplir con las exigencias en materia de prevención de riesgos laborales. En concreto: las recogidas en el plan de prevención de la UMH y en las planificaciones preventivas de las unidades en las que se integra la investigación. Igualmente, debe promover la realización de reconocimientos médicos periódicos entre su personal; cumplir con los procedimientos sobre coordinación de actividades empresariales en el caso de que trabaje en el centro de trabajo de otra empresa o que personal de otra empresa se desplace a las instalaciones de la UMH; y atender a las obligaciones formativas del personal en materia de prevención de riesgos laborales. Le indicamos que tiene a su disposición al Servicio de Prevención de la UMH para asesorarle en esta materia.

Página 1 de 2





La información descriptiva básica del presente trabajo será incorporada al repositorio público de Trabajos fin de Grado y Trabajos Fin de Máster autorizados por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández en el curso académico 2020/2021. También se puede acceder a través de <https://oir.umh.es/tfg-tfm/>



## 8.2 DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

**FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PRUEBA DE ESFUERZO**

Usted tiene derecho a conocer el procedimiento de prueba de esfuerzo convencional (ergometría) a la que va a ser sometido y las complicaciones más frecuentes que pueden ocurrir. Este documento intenta explicarle todas esas cuestiones; léalo atentamente y consulte con el personal sanitario todas las dudas que se le planteen. Le recordamos que, por imperativo legal, tendrá que firmar el consentimiento informado para que podamos realizar dicha prueba.

La ergometría es una prueba no invasiva, salvo que se tomen muestras de sangre para análisis del ácido láctico. Permite comprobar la respuesta del sistema cardiovascular al ejercicio físico. Se utiliza para valorar la aparición de síntomas o alteraciones electrocardiográficas inducidas por el ejercicio, evaluar la capacidad funcional, la respuesta al ejercicio de algunas arritmias y de la tensión arterial; y para el diagnóstico de isquemia cardiaca que puede aparecer con el ejercicio.

Se realiza caminando y corriendo por una cinta rodante o pedaleando en bicicleta ergométrica. Durante la prueba la velocidad aumenta progresivamente y/o la pendiente, o el nivel de carga de la bicicleta. La duración suele ser de 8-12 minutos.

Durante su realización, se controla la presión arterial, la frecuencia cardiaca el electrocardiograma para analizar sus variaciones y los gases espirados. La prueba se suspende si aparecen signos o síntomas alarmantes, o si usted no desea continuar. Inicialmente la prueba de esfuerzo es máxima, por lo que suele terminarse por cansancio muscular, dolores en las piernas o fatiga general, que desaparecen o se alivian al cesar el esfuerzo.

La realización de esta prueba tiene unos riesgos tales como: palpitaciones, mareo, cansancio, calambres en las piernas y aumento o disminución de la tensión arterial. De forma infrecuente puede presentarse: dolor torácico anginoso, síncope y la presentación de arritmias ventriculares, que implican la terminación de la prueba. Si aparecen complicaciones, el personal médico y de enfermería están capacitados y disponen de los medios necesarios para tratar de resolverlas.

He leído qué es, cómo se realiza y para qué sirve la ergometría. También he entendido de los riesgos existentes, las posibles molestias y complicaciones. He comprendido todo lo anterior y doy voluntariamente mi autorización y consentimiento para que el personal docente de la Universidad de Murcia la realicen y utilicen los datos e información obtenida (incluidas fotos) con fines docentes y de investigación, respetando mi anonimato. Si durante el procedimiento, de manera imprevista, se necesitase para bien del paciente realizar algún tipo de maniobra o intervención no informada previamente, autorizo expresamente a que se lleve a cabo. Puedo retirar este consentimiento cuando lo desee.

Firmado:

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_ DNI: \_\_\_\_\_

Yo, D. \_\_\_\_\_ he informado a este paciente y/o a su representante legal, del propósito y naturaleza del procedimiento, así como de sus riesgos.

Firma y nº de colegiado del médico responsable: \_\_\_\_\_

## 8.3 CUESTIONARIO ANTECEDENTES MÉDICO-DEPORTIVOS

**CUESTIONARIO DE SALUD PRUEBAS DE HIPOXIA**

<b>Nombre y apellidos:</b>					<b>Nº</b>	
<b>Teléfono:</b>			<b>Email:</b>			
<b>DNI:</b>	<b>Sexo:</b>	<b>Edad:</b>	<b>Fecha nacimiento:</b>	<b>Fecha reconocimiento:</b>		
<b>Actividad deportiva:</b>		<b>Nº días ejercicio físico semana:</b>		<b>Nº horas ejercicio físico semana:</b>		
<b>MARQUE SÍ O NO SEGÚN CORRESPONDA</b>						
					<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
¿Algún miembro de su familia ha fallecido por problemas de corazón o de forma repentina antes de los 50 años?						
¿A algún miembro su familia le han diagnosticado un problema en el corazón, arritmia, corazón grande, infarto, síndrome de Marfan?						
¿Le han diagnosticado a Vd. alguna enfermedad cardiaca?						
¿Le han dicho que tiene un soplo en el corazón?						
¿Le han hecho antes un electrocardiograma o ecografía cardiaca?						
¿Nota si a menudo se le acelera el corazón o siente palpitaciones?						
¿Ha sentido dolor o molestias en el pecho al hacer algún ejercicio?						
¿Le han dicho que tiene la tensión arterial alta (mayor de 140/90) más de una vez?						
¿Le han dicho que tiene alteraciones del colesterol (colesterol total mayor de 200 mg/dl o colesterol-HDL inferior a 35 mg/dl)?						
¿Ha sentido sensación de falta de aire en reposo o mientras realizaba ejercicio?						
¿Padece alguna enfermedad respiratoria (asma, bronquitis crónica,...)?						
¿Tiene algún tipo de alergia (polen, polvo, fármacos, alimentos, insectos,...)?						
¿Fuma habitualmente o ha dejado de fumar hace menos de 6 meses?						
¿Ha padecido algún síncope o pérdida de conocimiento?						
¿Ha sido diagnosticado de epilepsia o ha sufrido convulsiones?						
¿Está tomando actualmente alguna medicación?						
¿Ha sido intervenido quirúrgicamente?						
En caso de ser mujer, ¿sabe si está embarazada o puede estarlo?						
¿Ha padecido anemias o falta de hierro?						

**NOTA:** Confirmando la veracidad de los datos declarados, los cuales son absolutamente confidenciales y doy  mi consentimiento para realizar las pruebas de tolerancia a la hipoxia y autorizo el uso de los datos y/o imágenes obtenidas para fines académicos y/o de investigación, siempre que se respete mi anonimato.

**Fecha:**

**Firma del participante:**