

Evaluación de parámetros fisiológicos en función de la saturación de oxígeno muscular en mujeres con sobrepeso y obesidad

Evaluation of physiological parameters depending on muscle oxygen saturation in overweight and obesity

Aldo Alfonso Vasquez-Bonilla, Alba Camacho-Cardeñosa, Marta Camacho-Cardeñosa, Ismael Martínez-Guardado, Rafael Timón y Guillermo Olcina

Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura. España

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar parámetros fisiológicos para comparar y correlacionar en función de la saturación de oxígeno muscular y hemoglobina total medida con espectroscopia de infrarrojo cercano no invasivo. La muestra (n=17 mujeres) se dividieron en 2 grupos: sobrepeso/obesidad y normopeso, se valoró la composición corporal, parámetros fisiológicos, saturación de oxígeno muscular e índice de esfuerzo percibido durante la prueba de esfuerzo incremental máxima en un cicloergometro en base a cuatro zonas metabólicas establecidas: fatmax, umbral aeróbico, umbral anaeróbico y zona de consumo máximo de oxígeno. Los resultados se analizaron utilizando el método estadístico Anova de un factor y la correlación de pearson. Los resultados encontrados en el grupo normopeso la saturación de oxígeno muscular tiene correlación positiva alta con el vo2max durante la zona fatmax y umbral aeróbico ($r=0,72$ - $p=0,04$) ($r=0,77$ - $p=0,02$), la frecuencia cardíaca de entrenamiento ($r= -0,87$ - $p=0,01$) tiene correlación negativa muy alta en la zona umbral anaeróbico, en el grupo sobrepeso obesidad no se encontró ninguna correlación. En conclusión las mujeres con normopeso la saturación de oxígeno muscular medida con espectroscopia de infrarrojo cercano no invasivo puede ser un buen parámetro fisiológico para programar ejercicio en la zonas fatmax, umbral aeróbico y umbral anaeróbico, pero en las mujeres con sobrepeso y obesidad se necesitan más estudios.

Palabras clave: espectroscopia de infrarrojo cercano no invasivo; saturación de Oxígeno muscular; Hemoglobina total; Fatmax; índice de esfuerzo percibido.

Abstract

The objective of this study was to compare physiological parameters and correlate function of muscle oxygen saturation and total hemoglobin measured with near-infrared spectroscopy noninvasive. The sample (n = 17 women) were divided into 2 groups: overweight / obese and normal weight, was measured body composition, physiological parameters, saturation of muscle oxygen and index of perceived exertion during testing maximum incremental exercise on a cycle ergometer based titrated four metabolic zones established: fatmax, aerobic threshold, anaerobic threshold and area of maximum oxygen consumption. The results were analyzed using ANOVA statistical method of a factor and Pearson correlation. The results found in the normal weight group muscle oxygen saturation has high positive correlation with VO2max during fatmax zone and aerobic threshold ($r = 0,72$ - $p = 0.04$) ($r = 0.77$ - $p = 0, 02$), the training heart rate ($r = -0.87$ - $p = 0.01$) has very high negative correlation in the anaerobic threshold zone, obesity in overweight group no correlation was found. In conclusion women with normal weight oxygen saturation muscle measured with near-infrared spectroscopy noninvasive can be a good physiological parameter to schedule exercise in fatmax areas, aerobic threshold and anaerobic threshold, but in women with overweight and obesity are needed most studies.

Key words: near-infrared spectroscopy non-invasive; oxygen saturation muscular; total hemoglobin; Fatmax; rating of perceived exertion.

Correspondencia/correspondence: Aldo Alfonso Vasquez Bonilla
Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de extremadura. España
Email: aldovasquez1994@hotmail.com

Introducción

El sobrepeso y obesidad son patologías metabólicas que están asociadas a numerosas enfermedades crónicas que afectan la entrega de oxígeno durante la actividad física (Ara, Larsen, Stallknecht, Guerra, Morales-Alamo, Andersen, y Helge, 2011; Hall, do Carmo, da Silva Juncos, Wang, y Hall, 2014). Uno de los pilares del tratamiento de la obesidad es el ejercicio físico, ya que se han realizado muchas intervenciones con programas de entrenamiento que sean efectivos a esta población (Rodríguez-Hernández, Simental-Mendía, Rodríguez-Ramírez y Reyes-Romero, 2013; El Ferrol, y Coruña, 2006; Luque, García-Martos, Gutiérrez, y Vallejo, 2010), por lo que es importante investigar en la línea de ejercicio y obesidad.

Los avances en el ejercicio físico como tratamiento y prevención de enfermedades crónicas siempre han estado en busca de nuevas tecnologías para evaluar el proceso de entrenamiento, la técnica de espectroscopia del infrarrojo cercano no invasiva (NIRS), surge como una tendencia para evaluar y controlar el entrenamiento por medio de saturación de oxígeno muscular y se ha utilizado en muchas patologías (Takagi, Murase, Kime, Niwayama, Osada, y Katsumura, 2016; Belardinelli, Georgiou, y Barstow, 1995; Niemeijer, Spee, Jansen, Buskermolen, Dijk, Wijn, y Kemps, 2015; Molinari, Martis, Acharya, Meiburger, De Luca, Petraroli, y Liboni, 2015; Sekikawa, Tabira, Sekikawa, Kawaguchi, Takahashi, Kuraoka, y Onari, 2009), para discernir los pequeños cambios en la oxigenación muscular, de manera que NIRS es una técnica útil para estudios de ejercicio metabólicos (Steimers, Vafiadou, Koukourakis, Geraskin, Neary, y Kohl-Bareis, 2016).

Uno de los factores claves para prescribir el ejercicio físico es conocer las zonas de entrenamiento, es decir la intensidad de ejercicio que se aplica según el objetivo de la sesión en personas con obesidad y sobrepeso (Clemente-Suarez, 2015; Botero, Prado, Guerra, Speretta, Leite, Prestes, y Perez, 2014), pero no existe estudio que utilice NIRS para compararlo con otras variables fisiológicas que son determinantes para prescribir el ejercicio físico, de esta manera NIRS podría ser una técnica válida e investigativa para guiar la evaluación en programas de entrenamiento en esta población. (Ryan, Brizendine y McCully, 2013)

La técnica NIRS que refleja el uso de oxígeno en el músculo, se ha utilizado en la determinación de las zonas de entrenamiento mediante la detención de umbrales en pruebas de esfuerzo incrementales habiendo interpretaciones de diferentes poblaciones como los atletas ciclistas (Stephan van der Zwaard, Jaspers, Blokland, Chantal, Visser, den Uil, Hofmijster, Koen Levels, Noordhof, Arnold de Haan, de Koning, van der Laarse, de Ruiter, 2016),

Resulta de interés describir y comparar la respuesta fisiológica durante un test incremental para valorar el comportamiento de la saturación de oxígeno muscular y hemoglobina total y la relación con parámetros fisiológicos en diferentes zonas metabólicas en mujeres obesas y no-obesas, de esta manera la información puede ser utilizada para mejorar la comprensión de saturación de oxígeno muscular y hemoglobina total durante el ejercicio físico y planificar programas de ejercicio identificando la zona fatmax que es esencial para el tratamiento con personas sobrepeso y obesidad (Tan, Wang, Cao, Guo, y Wang, 2014; Ferreira, Pereira, Alves, Redkva, Elsangedy, Krinski, 2013).

Objetivos

1. Estimar la condición física evaluada durante una prueba incremental en mujeres con sobrepeso/obesidad y normopeso
2. Describir cuantitativamente y evaluar en los parámetros fisiológicos e índice de esfuerzo percibido en cada zona metabólica y la recuperación de los valores obtenidos durante la prueba de esfuerzo en mujeres con sobrepeso/obesidad y normopeso
3. Comparar los parámetros fisiológicos por cada zona metabólica resultados de una prueba de esfuerzo entre mujeres con sobrepeso/obesidad y normopeso
4. Establecer correlaciones entre parámetros fisiológicos, metabólicos y saturación de oxígeno muscular en mujeres con sobrepeso/obesidad y normopeso.
5. Establecer correlaciones existentes entre parámetros fisiológicos, metabólicos y la hemoglobina total en mujeres con sobrepeso/obesidad y normopeso

Método

Participantes

La muestra de este estudio era un total de 17 mujeres, se dividieron en 2 grupos: sobrepeso/obesidad y normopeso, las características se muestran en la tabla 1 expresándose los datos como la media \pm la desviación estándar.

Los criterios de exclusión en el grupo sobrepeso/obesidad fueron que hubiesen hecho actividad física anterior a un mes, que tuviesen una enfermedad que puede afectar más la sintomatología del sobrepeso y obesidad. Los criterios de inclusión para el grupo de obesas fue el diagnóstico con un IMC >25 .

Para el grupo no-obesas la exclusión fue que hubiesen hecho actividad física anterior a un mes, que tuviesen otra patología y que consumieran tabaco. Los criterios de inclusión que su diagnóstico con el IMC fuese <25

Todos los participantes se ofrecieron voluntariamente a participar en el estudio, fueron previamente informados del protocolo de actuación y firmaron un consentimiento informado de participación voluntaria, de acuerdo a los principios de la Declaración de Helsinki. El Comité de Bioética de la Universidad de Extremadura (España) aprobó para que se llevase a cabo este estudio.

Diseño del estudio

La investigación fue desarrollada en la infraestructura de la Facultad de Ciencias del Deporte Cáceres en el laboratorio del Grupo de Avances en el Entrenamiento Deportivo y Actividad Física (GAEDAF).

Dicho estudio se desarrolló de manera transversal ya que su finalidad es describir las diferencias que presenta la saturación de oxígeno muscular en relación a parámetros fisiológicos medidos por cada zona metabólica entre 2 grupos; un grupo experimental (sobrepeso/obesidad) y un grupo control (normopeso) durante el test incremental máximo en cicloergometro con protocolo fatmax.

Todas las pruebas se llevaron a cabo durante el horario de la mañana y los pasos a seguir fueron de la siguiente manera: primero se evaluó la composición corporal seguida de la evaluación de la hemoglobina y después se realizó la prueba de esfuerzo en cicloergometro.

Procedimiento

Protocolo de valoración antropométrica:

Se les realizó mediciones de la altura del cuerpo utilizando un estadiómetro (SECA, Alemania) de un pie una precisión de 1 mm. El peso corporal se midió con una balanza Seca 225 (Alemania) calibrada aproximación de 0,1 kg, para luego obtener el IMC. Para el cálculo del ICC se utilizó una cinta métrica (SECA 20, Alemania) y para los pliegues cutáneos un pilcometro Holtain (Reino Unido)

Se evaluó la composición corporal según las normas establecidas por la ASCM Fórmula para mujeres (American College of Sports Medicine, 2014)

Pliegues

(Pecho, lineal axilar media, tríceps, subescapular, abdomen, cresta-suprailiaca, muslo)

Densidad Corporal

$=1,097-0,00046971(\text{Suma de pliegues})+0,00000056(\text{suma de pliegues})^2 -0,00012828(\text{edad})$

El porcentaje de grasa corporal se puede calcular una vez determinada la densidad corporal (39).

$\%grasa=495/DC-450$

Protocolo de la valoración espiroergométrica:

Se realizó la prueba de esfuerzo incremental máxima en un cicloergómetro (ergometrics 900, ergoline Alemania) para medir la potencia (vatios) y tiempo.

El protocolo fatmax consistió en un calentamiento de cinco minutos a 50 vatios, seguido de un minuto de reposo, inicio a 35 vatios e incremento de 15 vatios y una recuperación activa a 35 vatios durante tres minutos con una cadencia de pedaleo entre 60 y 65 revoluciones por minuto (rpm) hasta la máxima potencia que lograra mantener.

Protocolo de determinación de umbrales:

Se determinó mediante el modelo trifásico de Skinner y McLellan en relación a las respuestas fisiológicas de vo_{2max} ml/kg/min, porcentaje de Vo_{2max} , Cociente respiratorio observadas durante un ejercicio de intensidad progresivamente creciente medido con Analizador de Gases (metamax, cortex Alemania) (Skinner y McLellan, 1980).

Protocolo fatmax:

Esta zona fue determinada siguiendo los principios de la calorimetría indirecta ((Carbohidratos, grasas y total de energía (gramos/min)) lo que permite determinar las zonas en las que predomina un tipo u otro de sustrato. Para el cálculo de la zona fatmax se utilizó analizador de Gases (metamax, cortex Alemania) se tomó la media de los datos registrados en cada escalón de la prueba siguiendo el protocolo Fatmax adaptado (Achten, Gleeson, y Jeukendrup, 2002).

Extracción de sangre:

Para la valoración de la hemoglobina (g/dl) se hizo una extracción de sangre en la yema del dedo anular. La toma de muestras se realizó antes de realizar la prueba de esfuerzo. Las muestras eran analizadas en un hemoglobinómetro (Hemocue Hb30, Suecia).

Protocolo de valoración de saturación de oxígeno muscular y hemoglobina total:

Se llevaron a cabo mediciones con el sensor Moxy (USA) que utiliza la técnica NIRS con cuatro fuentes de luz independientes que cubren la longitud de onda que van desde 630 a la 850 nm para medir la Saturación de oxígeno muscular (Smo2%) y hemoglobina total (tHb) (g/dl). Moxy se colocó en el vasto lateral del cuádriceps a medio camino entre el trocánter mayor y el epicóndilo femoral lateral. Para la recolección de los datos se diseñó una hoja de Excel para guardar las medias de cada escalón en función de los watts.

Análisis estadístico

Se realizó el test de normalidad shapiro wilk para cada variable. Al cumplir con la normalidad se procedió a realizar una prueba Anova de un factor para comparar las medias tomando como variable independiente la obesidad y variables dependientes los demás parámetros fisiológicos e índice de esfuerzo percibido. Se utilizó la correlación de Pearson para correlacionar las variables (% potencia, % FC de entrenamiento, %Vo2max, RER, RPE, CHO energía, GR energía y total de energía) en función de la Smo2% tHb. El nivel de significación se fijó con valor $p < 0,05$. Los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar. Todos los análisis se realizaron utilizando el software SPSS (versión 22)

Resultados

A continuación se describen los resultados obtenidos en el presente estudio en base a los objetivos planteados, presentando primero la comparación entre grupos, seguidamente la valoración y correlación de las variables estudiadas mediante la descripción de las tablas.

Tabla 1. Composición corporal y parámetros fisiológicos generales

Variable	Obesas	No obesas
Edad(años)	40,1 \pm 7,7	36,6 \pm 10,7
Peso(kg)	71,6 \pm 11,3	61,8 \pm 4,0*
Índice de Masa Corporal(Kg/H ²)	28,2 \pm 3,0	22,7 \pm 0,7*
ICC (Cadera/Cintura)	0,75 \pm 0,06	0,74 \pm 0,04
Porcentaje de Grasa	32,7 \pm 3,7	26,7 \pm 3,0*
Hemoglobina(g/dl)	12,5 \pm 1,0	12,8 \pm 1,1
Vo2 max (ml/kg/min)	25,5 \pm 6,4	29,2 \pm 7,1
Frecuencia cardiaca máxima(ppm)	168,4 \pm 15,8	173,7 \pm 12,7
Frecuencia cardiaca reposo(ppm)	69,3 \pm 7,6	74,5 \pm 6,8

* $p < 0,05$ estadísticamente significativo

Se muestra las características de las muestras evaluadas por grupos sobrepeso/obesidad y normopeso en este estudio en base a composición corporal y parámetros fisiológicos generales.

Se puede observar que hay diferencias significativas entre los parámetros de diagnóstico de obesidad excepto en el índice cintura cadera que es un mejor predictor de enfermedad metabólica, que el índice de masa corporal (Alemán, de Baranda Andujar y Ortín, 2014; Rubio, Salas-Salvadó, Barbany, Moreno, Aranceta, Bellido y De Pablos, 2007).

Tabla 2. Comparación ergométricas, cardiorrespiratorias, metabólicas e índice de esfuerzo percibido por zonas metabólicas entre grupos

Variables	Fatmax		Umbral Aeróbico		Umbral Anaeróbico		Vo2max		Recuperación	
	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso
tiempo	4,6 ± 1,5	5,2 ± 2,1	7,0 ± 2,1	7,5 ± 2,2	13,3 ± 2,6	13,8 ± 4,2	16,1 ± 3,8	17,4 ± 4,2	19,3 ± 3,7	20,2 ± 3,9
potencia	41 ± 7,9	46 ± 10,6	53 ± 10,0	57 ± 11,3	86 ± 13,2	89 ± 21,1	103 ± 16,9	110 ± 21,2	50 ± 0,0	50 ± 0,0
% potencia	41 ± 10,4	42 ± 8,2	52 ± 9,8	52 ± 6,3	83 ± 2,5	80 ± 7,0	100 ± 0,0	100 ± 0,0	49 ± 7,5	47 ± 9,3
Frecuencia Cardiaca(ppm)	106, ± 12,1	115 ± 11,7	116 ± 9,2	125 ± 10,8	148 ± 12,7	154 ± 17,7	162 ± 15,4	167 ± 12,5	137 ± 17,6	143 ± 15,0
%FC de entrenamiento	38,0 ± 9,2	40 ± 13,5	48 ± 8,3	50 ± 10,4	80 ± 4,3	80 ± 12,6	94 ± 1,7	94 ± 3,2	67 ± 7,7	68 ± 11,3
Cociente Respiratorio	0,87 ± 0,03	0,87 ± 0,02	0,89 ± 0,05	0,90 ± 0,01	0,87 ± 0,31	0,99 ± 0,03	1,02 ± 0,08	1,04 ± 0,02	1,08 ± 0,07	1,07 ± 0,0
Vo2max(ml/kg/min)	10,7 ± 1,2	12,6 ± 2,8	12,6 ± 1,9	15,0 ± 3,0	18,6 ± 3,9	22,13 ± 6,2	21,1 ± 4,8	25,7 ± 6,0	14,5 ± 2,7	16,7 ± 3,1
vo2max%	44 ± 9,9	44 ± 9,3	51 ± 11,4	52 ± 7,3	73 ± 5,3	75 ± 4,5	83 ± 3,9	88 ± 9,7	57 ± 5,5	58 ± 6,6
Escala de borg	2,0 ± 1,6	1,5 ± 1,0	3,1 ± 1,9	2,3 ± 1,0	8,0 ± 1,2	5,6 ± 2,1*	10,0 ± 0,0	9,1 ± 0,7*	-	-
% Oxigenación Muscular	68,5 ± 20,5	69,5 ± 14,2	70,8 ± 21,6	72,3 ± 12,5	75,4 ± 17,6	73,1 ± 11,7	72,8 ± 18,6	68,5 ± 13,1	85,6 ± 10,5	87,1 ± 4,6
Hemoglobina total (g/dl)	11,5 ± 0,38	11,5 ± 0,30	11,5 ± 0,39	11,48 ± 0,27	11,46 ± 0,39	11,36 ± 0,20	11,44 ± 0,43	11,26 ± 0,18	11,65 ± 0,56	11,46 ± 0,1
Ratio Carbohidratos	0,49 ± 0,26	0,59 ± 0,17	0,79 ± 0,29	0,82 ± 0,17	1,61 ± 0,42	1,78 ± 0,61	2,18 ± 0,88	2,35 ± 0,51	1,75 ± 0,53	1,69 ± 0,2
Ratio de grasas	0,19 ± 0,11	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,08	0,13 ± 0,02	0,11 ± 0,11	0,02 ± 0,07	0,17 ± 0,09	-0,07 ± 0,07	0,08 ± 0,0	-0,14 ± 0,0
Energía carbohidratos(g/min)	1,99 ± 1,04	2,36 ± 0,68	3,19 ± 1,17	3,31 ± 0,68	6,46 ± 1,69	7,13 ± 2,45	8,75 ± 3,52	9,43 ± 2,05	7,03 ± 2,12	6,76 ± 1,1
Energía Grasas(g/min)	1,75 ± 0,99	1,37 ± 0,21	1,35 ± 0,77	1,22 ± 0,23	0,46 ± 1,23	-0,05 ± 0,75	-0,63 ± 2,11	-1,00 ± 0,73	-1,28 ± 1,37	-1,20 ± 0,0
Energía Total(g/min)	3,75 ± 0,65	3,73 ± 0,68	4,55 ± 0,93	4,53 ± 0,68	6,93 ± 1,06	7,08 ± 1,82	8,12 ± 1,66	8,49 ± 1,6	5,74 ± 0,88	5,59 ± 0,7
% Carbohidratos	53 ± 26,3	62 ± 8,1	68 ± 17	72 ± 5,8	92 ± 17,7	99 ± 10,8	105 ± 22,3	110 ± 8,0	120 ± 19,6	120 ± 6,6
% Grasas	47 ± 26,3	37 ± 8,1	31 ± 17	27 ± 5,8	7 ± 17,7	0,9 ± 10,8	-5,2 ± 22,3	-11 ± 8,0	-20 ± 19,6	-20 ± 6,6

*p<0,05 estadísticamente significativo sobrepeso/obesidad vrs normopeso

Se comparó y describió los valores por cinco zonas metabólicas: zona fatmax, Umbral aeróbico, umbral anaeróbico, vo2max y la recuperación, y en 2 grupos: sobrepeso/obesidad y normopeso. Como se aprecia no hay diferencia estadísticamente significativa en ningún parámetro fisiológico, pero el grupo sobrepeso/obesidad muestran un índice de percepción del esfuerzo más alto que el grupo normopeso en la zona umbral anaeróbico. Durante recuperación no se tomaron los datos del índice percepción del esfuerzo.

Tabla 3. Correlaciones en función de la saturación de oxígeno muscular

Zona Metabólica	Fatmax		Umbral Aeróbico		Umbral anaeróbico		Vo2max		Recuperación	
Variable	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso
% potencia	-0,06	0,64	0,26	0,57	-0,25	-0,89**	-0,11	0,38	-0,12	-0,77*
% FC entrenamiento	-0,11	0,00	0,20	-0,37	-0,13	-0,87**	0,24	-0,62	-0,24	0,06
% vo2max	0,24	0,72*	0,32	0,77*	0,31	0,11	0,43	0,66	0,11	-0,04
Cociente respiratorio	0,20	0,03	-0,04	-0,29	0,22	-0,69	-0,49	-0,63	-0,39	-0,05
Escala de Borg	0,29	-0,12	0,58	-0,53	0,83*	-0,75	0,11	-0,70	-	-
Energía Carbohidratos	-0,13	0,12	0,29	-0,21	-0,33	-0,67	-0,11	-0,50	-0,08	0,25
Energía grasa	0,48	0,03	0,31	0,31	0,65	0,71	0,33	0,67	0,24	-0,21
Energía total	0,52	0,13	0,62	-0,11	0,22	-0,61	0,20	-0,33	0,18	0,29
Hemoglobina total	-0,31	-0,80*	-0,25	-0,72*	-0,42	0,99**	-0,28	0,01	-0,22	0,10

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

En el grupo sobrepeso/obesidad hay correlación positiva alta en la zona umbral anaeróbico con el índice de esfuerzo percibido.

En el grupo normopeso el vo2max% tiene correlación positiva alta con la saturación de oxígeno muscular en las zonas metabólicas fatmax y umbral aeróbico, dos zonas donde la presencia de O₂ es mayor que la de CO₂, luego en la zona de vo2max vuelve a elevarse los niveles de oxígeno muscular.

La tHb sucede el mismo fenómeno que con el vo2max% en presencia de oxígeno tiene una correlación inversa a la oxigenación muscular, pero en el umbral anaeróbico se vuelve a una correlación positiva muy alta, a medida aumenta Intensidad% y la FCE% la oxigenación muscular y la tHb disminuye.

Tabla 4. Correlaciones en función de la Hemoglobina total

Zona Metabólica	Fatmax		Umbral Aeróbico		Umbral anaeróbico		Vo2max		Recuperación	
Variable	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso	Obeso	No obeso
% potencia	-0,19	-0,77*	-0,09	-0,82*	0,05	-0,12	-0,07	0,27	-0,66	0,38
% FC entrenamiento	-0,52	-0,39	-0,36	-0,04	-0,66	0,31	-0,47	0,53	-0,04	0,30
% vo2max	-0,26	-0,42	-0,24	-0,27	-0,50	-0,06	-0,43	-0,19	-0,40	0,28
Cociente respiratorio	0,62	-0,02	0,61	0,28	0,08	-0,21	0,41	-0,33	0,56	-0,32
Escala de Borg	0,52	-0,19	0,51	-0,51	-0,63	-0,85*	-0,10	-0,78	-	-
Energía Carbohidratos	0,16	-0,29	0,56	0,01	0,59	-0,19	0,52	-0,22	0,66*	-0,67*
Energía Grasa	-0,06	-0,17	-0,44	-0,26	-0,23	0,15	-0,41	0,45	-0,57	0,52
Energía total	0,15	-0,34	0,33	-0,08	0,67*	-0,20	0,59	-0,12	0,70*	-0,70*

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

El grupo de sobrepeso/obesidad tiene correlación positiva alta entre la tHb y total de energía en las zonas metabólicas umbral anaeróbico y la recuperación.

En el grupo normopeso tiene correlación negativa alta a medida aumenta el % de potencia disminuye la tHb en las zonas fatmax y umbral aeróbico.

La tHb presenta una disminución durante el umbral anaeróbico en el grupo normopeso, igual que en el total de energía, y durante la recuperación hay mayor cantidad de energía disponible por el organismo y de CHO al igual que la tHb vuelve a elevarse sus niveles.

El índice de esfuerzo percibido tiene correlación negativa muy alta con la tHb en la zona umbral anaeróbico a medida que disminuye la oxigenación muscular la percepción del esfuerzo aumenta en el grupo normopeso.

En la recuperación la tHb y la energía total con los carbohidratos se diferencian entre los dos grupos, siendo una correlación positiva alta para el grupo sobrepeso/obesidad y correlación negativa alta para el grupo normopeso.

Discusión

Algunas descripciones en el campo de avances en el ejercicio físico para la salud en poblaciones especiales en relación a la Smo2% y tHb han sido detalladas en este estudio ya que no hay otra publicación que utilice Moxy ni la técnica NIRS para describir, comparar y relacionar por zonas metabólicas la Smo2% y tHb con otros parámetros fisiológicos evaluados en programas de ejercicio físico con pacientes con sobrepeso y obesidad.

En el grupo normopeso la correlación es positiva muy alta entre la Smo2% y el % Vo2max en las zonas fatmax y umbral aeróbico debido a que son zonas estables en las que el oxígeno está presente en mayor cantidad (van der Zwaard S,2016; Chicharro y Vaquero, 2006), pero en los pacientes con sobrepeso y obesidad no existe relación dinámica entre estas variables, esto podría deberse a que en personas con grasa excesiva tienden a tener una disfunción mitocondrial que afecta a la cantidad de oxígeno que metaboliza el músculo (Giannakis, Thünenkötter, Weiler y Urhausen, 2013; Valkovič, Chmelík, Ukropcová, Heckmann, Bogner, Frolo y Trattng, 2016), aunque los valores presentados en el % Vo2max y Smo2% son similares en los dos grupos. El vo2max no es indicador fiable general de la salud cardiovascular en pacientes obesos (Goodpaster, Wolfe y Kelley 2002).

Aunque el vo2max presentado en los grupos es muy bajo en relación con el peso corporal, pero esto no indica que el rendimiento físico se reduce en pacientes obesos, es más bien debido a una pérdida patológica de la masa muscular (Giannakis, 2013), que afecta la capacidad mitocondrial y diferencias en el flujo de cambio Pi-ATP, y las concentraciones de glicero-fosfolina en comparación con grupos normales (Valkovič, 2016).

Durante la zona umbral anaeróbico en los dos grupos la correlación entre el % Vo2max y Smo2% no existe, lo cual no es habitual según estudios (Bellotti, Calabria, Capelli, y Pogliaghi,2013), donde el vo2max con el ejercicio incremental aumenta linealmente hasta llegar a una meseta estable donde ya no puede obtener el O2 que demanda el organismo y el Smo2%. En esta zona tiende un punto de ruptura debido al ácido láctico acumulado en el cuerpo que se ve incapacitado para eliminarlo con eficacia de los músculos (Snyder y Parmenter, 2009), por lo tanto habría una correlación negativa entre estos parámetros pero no efectúa de esa manera, esto puede ser debido a varias causas que aún se desconocen en este estudio y la influencia de factores como el nivel de condición física y la cadencia de pedaleo ya estudiados por otros autores (Zorgati, Collomp, Boone, Guimard, Buttelli, Mucci y Prieur 2015), que son de gran influencia sobre los cambios en la cinética de la Smo2% durante una prueba de esfuerzo en cicloergometro.

Durante la zona umbral anaeróbica la FC y FCE% de Karvonen aumenta de manera violenta, la cual se relacionó de forma de inversa a la Smo2% que empieza a descender en el grupo normopeso, por lo que la Smo2% cuando empieza a descender es un indicador de que se está entrando en una zona anaeróbica según lo comparado en otro estudio (Kuznetsov, Popov, Borovik, y Vinogradova, 2015) donde utilizó la técnica de NIRS y Electromiografía (EMG) para determinar la transición aeróbica – anaeróbica y lo orientó a nuevas perspectivas para su uso en el ejercicio de la medicina y el deporte.

En los dos grupos fisiológicamente fue menor el rendimiento pero el índice de esfuerzo percibido fue más alto en las mujeres sobrepeso/obesidad durante la zona umbral anaeróbica. Estos valores demuestran que la oxigenación muscular en la zona anaeróbica en el grupo sobrepeso/obesidad fue mayor comparados con el grupo normopeso, pero esto se debió a que la capacidad de resistir a la carga física fue mejor del grupo normopeso. Los pacientes obesos presentan una aptitud física y la capacidad funcional más pobre menor en relación con otros grupos obesos (Orsi, Nahas, Gomes, Andrade, Veiga, Novo y Ferreira, 2008), aunque es aconsejable utilizar la escala de índice de esfuerzo percibido durante el ejercicio en esta población hacen falta más estudios para correlacionar este parámetro en esta población (Coquart, Tourny-Chollet, Lemaitre, Lemaire, Grosbois y Garcin, 2012).

La respuesta fisiológica de la tHb durante la prueba de esfuerzo va disminuyendo a medida la intensidad aumenta y vuelve a elevarse en la recuperación post-ejercicio, en el grupo normopeso es más pronunciada la caída de tHb durante el esfuerzo. Entre más alta sea la intensidad del ejercicio más larga será la recuperación de los niveles de oxígeno (Chicharro, 2006). Los cambios relativos en la hemoglobina y la mioglobina son necesarios para evaluar el efecto del suministro de oxígeno al músculo claramente de la utilización de oxígeno (Spires, Lai, Zhou y Saidel, 2011). Esto puede indicar una deficiencia de oxígeno la utilización y / o la reducción de la difusión de oxígeno durante el ejercicio.

Las diferencias encontradas en la correlaciones de hemoglobina total con el total de energía y carbohidratos durante la recuperación podrían atribuirse a que el nivel de carbohidratos se recupera más lentamente en sujetos con sobrepeso y obesidad que en los normopesos pero esto debido a que la utilización de los sustratos de las grasas en los sobrepeso/obesidad fue menor que el normopeso en función de la tHb. Este fenómeno se le atribuye a que diferentes intensidades de ejercicio se muestra que las personas con sobrepeso muestran una capacidad de oxidación de grasas inferior y un desplazamiento anterior de lípidos hacia el combustible derivado de Carbohidratos que las personas con normopeso. Al terminar el ejercicio en la zona de recuperación activa sigue obteniendo energía de los carbohidratos los pacientes con obesidad; (Perez-Martin, Dumortier, Raynaud, Brun, Fedou, Bringer, y Mercier, 2001; Chicharro, 2006). Lo interesante es ver por qué fisiológicamente se ve reflejada la asociación de la tHb con los sustratos energéticos.

Si bien la Smo2% medida con NIRS puede estimar el nivel de fatiga del ser humano (Halim, Salikin, Rusop, Laili, Aziz y Laili, 2016), sus mediciones de onda continua son reproducibles, pero el espesor del tejido adiposo afecta en gran medida la amplitud de las señales de la hemoglobina oxigenada en un grado diferente y por lo tanto también puede afectar a la cinética de señales combinadas con el oxígeno del músculo. (Nasseri, Kleiser, Ostojic, Karen, y Wolf, 2016; van der Zwaard, 2016)

Una de las razones puede ser la intensidad del ejercicio se relaciona con la disponibilidad de los carbohidratos con el flujo sanguíneo lo cual puede afectar al grupo de normopeso que tuvo más tiempo durante la prueba de esfuerzo, también hay otros factores como el tipo y cantidad de carbohidrato ingerido, el horario de alimentación, el glucógeno la disponibilidad (Jeukendrup y Jentjens, 2000). Al igual que el calor producido en músculo durante el ejercicio puede reducir el flujo sanguíneo en consecuencia la entrega de glucosa al músculo puede ser dañado. Sea o no el flujo de sangre en la contracción muscular se reduce durante el ejercicio en el calor es el objeto de cierta controversia (Jentjens, Wagenmakers y Jeukendrup, 2002).

La cantidad de oxidación de glucógeno muscular durante el ejercicio se reduce en el tipo obeso, la resistencia a la insulina se caracteriza también por músculo esquelético con un transporte y / o fosforilación reducida de glucosa, lo que lleva a la disminución de la captación de glucosa muscular y menores tasas de síntesis de glucógeno muscular en comparación con individuos no obesos y con mayor masa magra, la capacidad de oxidar la grasa en el músculo está determinada por varios factores tales como porcentaje de fibras tipo I, mitocondrial densidad y HAD y la enzima HSL (Goodpaster, 2002).

El grupo sobrepeso/obesidad obtuvo el gasto energético de la grasa más elevado en la zona fatmax, aunque estadísticamente la diferencia no es significativa. La zona fatmax tiene el potencial de aumentar la sensibilidad a la insulina en los pacientes obesos (Crocì, Borrani, Byrne, Wood, Hickman, Cheneviere y Malatesta, 2014), mientras el grupo normopeso el gasto energético lo requiere más de los carbohidratos, esto se debe a la resistencia a la insulina que caracteriza a las personas con sobrepeso y obesidad.

Esto apoya también estudios donde describe que el ritmo de trabajo relativamente pesado provoca la mayor tasa de oxidación de grasas en poblaciones activas, pero en la sujeto mujer existe la creencia de que es preferible realizar ejercicio de baja intensidad para aumentar metabolismo de las grasas (Tan, 2014; Astorino, 2000).

La falta de correlación de parámetros fisiológicos en el grupo de sobrepeso/obesidad nos dejan con preguntas abiertas a futuro ya que se cree puede ser debido: i) el tejido adiposo influye en la medida de MOXY ii) los obesos perciben un mayor esfuerzo durante la prueba iii) anomalías metabólicas que reducen el trabajo mitocondrial en los obesos.

Implicaciones

Nuestros resultados son de importancia para la comprensión en avances de intervenciones en programas de ejercicio físico con mujeres con sobrepeso y obesidad, y la saturación de oxígeno muscular en relación con otros parámetros fisiológicos para poder ver si en el futuro se puede guiar el proceso de entrenamiento con la medición del Som2% con la técnica de NIRS.

Limitaciones

Esta investigación tuvo muy poca muestra, un estudio con una mayor muestra podría encontrar diferencias significativas entre estos dos grupos

No se pudo contar con un grupo de que tuviese un índice mayor de obesidad, la mayor parte estaba el rango de sobrepeso

No se realizó mediciones de lactato, lo cual puede ser interesante ya que muchos autores lo han realizado para ver la similitud en la zona anaeróbica con NIRS (Kuznetsov, 2015; Bellotti, 2013; Snyder AC, 2009).

No se realizó mediciones de triglicéridos y colesterol que están asociados dentro de la realización de ejercicio físico en patologías cardiovasculares.

Prospectivas a futuro

A futuro se propone utilizar NIRS como complemento con otros parámetros de fisiológicos para valoración y seguimiento del entrenamiento en una población obesa, como vemos en los resultados surge la hipótesis de que a medida mejora el rendimiento en la saturación de oxígeno también mejoran los parámetros fisiológicos y composición corporal, así también programar entrenamientos por zonas metabólicas para observar los efectos en la salud de este tipo de población.

La realización del ejercicio físico con otro tipo de pruebas no incrementales o en otras condiciones ambientales como ser el entrenamiento en las alturas o el ejercicio en climas cálidos o fríos para observar el comportamiento de Smo2% y tHb.

Se puede realizar este mismo estudio con otras poblaciones asociadas a problemas cardiacos, como sujetos que consumen tabaco, EPOC, arteriosclerosis o con problemas reumatológicos como la Artritis, Artrosis y fibromialgia.

Conclusiones

Las siguientes conclusiones se describen en base a los objetivos planteados en el estudio.

1. Según los parámetros fisiológicos evaluados la condición física es baja independientemente de su estado de sobrepeso/obesidad o normopeso.
2. No existen diferencias entre los parámetros fisiológicos entre mujeres con sobrepeso/obesidad y mujeres con normopeso, pero si en cuanto al índice de esfuerzo percibido que es mayor en la zona umbral anaeróbico y zona vo2max en el grupo sobrepeso/obesidad.
3. En mujeres con normopeso cuando se eleva la saturación de oxígeno muscular aumenta el Vo2max en las zonas fatmax, umbral aeróbico. En la zona umbral anaeróbico entre más frecuencia cardíaca de entrenamiento menos saturación de oxígeno muscular. En mujeres con sobrepeso/obesidad no encontró ninguna correlación.
4. En la zona umbral anaeróbico las mujeres con sobrepeso y obesidad cuando se incrementa el gasto de energía total disminuye la hemoglobina total y en las mujeres con normopeso entre más alto perciben el esfuerzo empieza a disminuir la hemoglobina total.
5. En las mujeres con sobrepeso/obesidad durante la recuperación post-ejercicio a medida se elevan los niveles de hemoglobina total gastan más energía de los carbohidratos y las mujeres con normopeso gastan menos energía de los carbohidratos.

En conclusión general las mujeres con normopeso la saturación de oxígeno muscular medida con la técnica espectroscopia de infrarrojo cercano no invasivo puede ser un buen parámetro fisiológico para programar ejercicio en la zonas fatmax, umbral aeróbico y umbral anaeróbico, pero en las mujeres con sobrepeso y obesidad se necesitan más estudios.

Referencias

- Achten, J.; Gleeson, M., & Jeukendrup, A. E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 92-97.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00015>
- Alemán, J. A; Pilar Sainz., y Ortín, E. J. O. (2014). *Guía para la prescripción de ejercicio físico en pacientes con riesgo cardiovascular* SEH-LELHA.
- American College of Sports Medicine. (2005). *Manual ACSM para la valoración y prescripción del ejercicio* Editorial Paidotribo.
- Ara, I.; Larsen, S.; Stallknecht, B.; Guerra, B.; Morales-Alamo, D.; Andersen, J.; Ponce-González, J. G.; Guadalupe-Grau, A.; Galbo, H.; Calbet, J A L., & Helge, J. W. (2011). Normal mitochondrial function and increased fat oxidation capacity in leg and arm muscles in obese humans. *International Journal of Obesity*, 35(1), 99-108.
<https://doi.org/10.1038/ijo.2010.123>
- Astorino, T. (2000). Is the ventilatory threshold coincident with maximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(3), 209.
- Belardinelli, R.; Georgiou, D., & Barstow, T. (1995). Near infrared spectroscopy and changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise in chronic heart failure: A comparison with healthy subjects. *Giornale Italiano Di Cardiologia*, 25(6), 715-724.
- Bellotti, C.; Calabria, E.; Capelli, C., & Pogliaghi, S. (2013). Determination of maximal lactate steady state in healthy adults: Can NIRS help. *Med Sci Sports Exerc*, 45(6), 1208-1216.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182828ab2>
- Botero, J. P.; Prado, W. L.; Guerra, R. L.; Speretta, G. F.; Leite, R. D.; Prestes, J.; Adrian V. Lyon S.S.; Paulo H. S. M.; Vilmar, B.; Sergio E. A.; Ana, D., & Rozinaldo, G. da Silva. (2014). Does aerobic exercise intensity affect health-related parameters in overweight women? *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34(2), 138-142.
<https://doi.org/10.1111/cpf.12076>
- Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2006). *Fisiología del ejercicio/Physiology of exercise* Ed. Médica Panamericana.
- Clemente-Suarez, V. J. (2015). The importance of intensity in the prescription of health training. [La importancia de la intensidad en la prescripción de entrenamiento para la salud]. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. 11(41), 192-195.
<https://doi.org/10.5232/ricyde2015.041ed>
- Coquart, J.; Tourny-Chollet, C.; Lemaitre, F.; Lemaire, C.; Grosbois, J., & Garcin, M. (2012). Relevance of the measure of perceived exertion for the rehabilitation of obese patients. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 55(9), 623-640.
<https://doi.org/10.1016/j.rehab.2012.07.003>
- Croci, I.; Borrani, F.; Byrne, N.; Wood, R.; Hickman, I.; Cheneviere, X., & Malatesta, D. (2014). Reproducibility of fat max and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. *PloS One*, 9(6), e97930.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097930>
- El Ferrol, A. M., y Coruña, A. (2006). El paciente con exceso de peso: Guía práctica de actuación en atención primaria. *Revista Española de Obesidad*, 4(1), 33-44.

- Ferreira, S. S.; Pereira, J. L.; Alves, R. C.; Redkva, P. E.; Elsangedy, H. M.; Krinski, K., ...& Brasil, F. D. P. U. C. P. (2013). Are sedentary women able to self-select a walking intensity that corresponds to maximal fat oxidation (Fatmax). *Journal of Exercise Physiology Online*, 16(2), 32-40
- Giannakis, G.; Thunenkotter, T.; Weiler, B., & Urhausen, A. (2014). Ergometric performance and cardiovascular profile of obesity clinic patients. *Bulletin De La Societe Des Sciences Medicales Du Grand-Duche De Luxembourg*, 3(3), 7-24.
- Goodpaster, B. H.; Wolfe, R. R., & Kelley, D. E. (2002). Effects of obesity on substrate utilization during exercise. *Obesity Research*, 10(7), 575-584.
<https://doi.org/10.1038/oby.2002.78>
- Halim, A. A. A.; Salikin, M. S.; Rusop, M.; Laili, M. H.; Aziz, N. A. M., & Laili, A. R. (2016, March). Evaluation of muscle oxygen consumption at regional level of fatigue using functional near infrared spectroscopy. In *Photonics (ICP), 2016 IEEE 6th International Conference on* (pp. 1-3). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/icp.2016.7510020>
- Hall, M. E.; do Carmo, J. M.; da Silva, A. A.; Juncos, L. A.; Wang, Z., & Hall, J. E. (2014). Obesity, hypertension, and chronic kidney disease. *International Journal of Nephrology and Renovascular Disease*, 7, 75-88.
<https://doi.org/10.2147/IJNRD.S39739>
- Jentjens, R. L.; Wagenmakers, A. J., & Jeukendrup, A. E. (2002). Heat stress increases muscle glycogen use but reduces the oxidation of ingested carbohydrates during exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 92(4), 1562-1572.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00482.2001>
- Jeukendrup, A. E., & Jentjens, R. (2000). Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise. *Sports Medicine*, 29(6), 407-424.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200029060-00004>
- Kuznetsov, S. Y.; Popov, D.; Borovik, A., & Vinogradova, O. (2015). Determination of aerobic-anaerobic transition in the working muscle using EMG and near-infrared spectroscopy data. *Human Physiology*, 41(5), 548-552.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200029060-00004>
- Luque, G. T.; García-Martos, M.; Gutiérrez, C. V., y Vallejo, N. G. (2010). Papel del ejercicio físico en la prevención y tratamiento de la obesidad en adultos. *Retos Nuevas Tendencias En Educ Física Deporte Recreación*, 18, 47-51.
- Molinari, F.; Martis, R. J.; Acharya, U. R.; Meiburger, K. M.; De Luca, R.; Petraroli, G., & Liboni, W. (2015). Empirical mode decomposition analysis of near-infrared spectroscopy muscular signals to assess the effect of physical activity in type 2 diabetic patients. *Computers in Biology and Medicine*, 59, 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2015.01.011>
- Nasseri, N.; Kleiser, S.; Ostojic, D.; Karen, T., & Wolf, M. (2016). Quantifying the effect of adipose tissue in muscle oximetry by near infrared spectroscopy. *Biomedical Optics Express*, 7(11), 4605-4619.
<https://doi.org/10.1364/BOE.7.004605>
- Niemeijer, V. M.; Spee, R. F.; Jansen, J. P.; Buskermolen, A. B.; Dijk, T.; Wijn, P. F., & Kemps, H. M. (2015). Test-retest reliability of skeletal muscle oxygenation measurements during submaximal cycling exercise in patients with chronic heart failure. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, [Epub ahead of print].
<https://doi.org/10.1111/cpf.12269>

- Orsi, J V.; Nahas, F. X.; Gomes, H. C.; Andrade, Carlos, H. V.; Veiga, D. F.; Novo, N. F., & Ferreira, L. M. (2008). Impact of obesity on the functional capacity of women. *Revista Da Associação Médica Brasileira*, 54(2), 106-109.
<https://doi.org/10.1590/S0104-42302008000200010>
- Perez-Martin, A.; Dumortier, M.; Raynaud, E.; Brun, J. F.; Fedou, C.; Bringer, J., & Mercier, J. (2001). Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab* 27(4), 466.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11547220>
- Rodriguez-Hernandez, H.; Simental-Mendia, L. E.; Rodriguez-Ramirez, G., & Reyes-Romero, M. A. (2013). Obesity and inflammation: Epidemiology, risk factors, and markers of inflammation. *International Journal of Endocrinology*, 2013, 678159.
<https://doi.org/10.1155/2013/678159>
- Rubio, M. A.; Salas-Salvadó, J.; Barbany, M.; Moreno, B.; Aranceta, J.; Bellido, D.; Blay, V.; Carraro, R.; Formiguera, X.; Foz, M.; Luis de Pablos, P.; Garcia-Luna, P.; Griera, J.; López de la torre, M.; Martínez, J. A.; Remesar, X.; Tebar, J., y Vidal, J. (2007). Consenso SEEDO 2007 para la evaluación del sobrepeso y la obesidad y el establecimiento de criterios de intervención terapéutica. *Revista Española de Obesidad*, 5(3), 135-175.
- Ryan, T. E.; Brizendine, J. T., & McCully, K. K. (2013). A comparison of exercise type and intensity on the noninvasive assessment of skeletal muscle mitochondrial function using near-infrared spectroscopy. *Journal of Applied Physiology*, 114(2), 230-237.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01043.2012>
- Sekikawa, K.; Tabira, K.; Sekikawa, N.; Kawaguchi, K.; Takahashi, M.; Kuraoka, T.; Inamizu, T., & Onari, K. (2009). Muscle blood flow and oxygen utilization measured by near-infrared spectroscopy during handgrip exercise in chronic respiratory patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 21(3), 231-238.
<https://doi.org/10.1589/jpts.21.231>
- Skinner, J. S., & McLellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(1), 234-248.
<https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609285>
- Snyder, A. C., & Parmenter, M. A. (2009). Using near-infrared spectroscopy to determine maximal steady state exercise intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 23(6), 1833-1840.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ad3362>
- Spires, J.; Lai, N.; Zhou, H., & Saidel, G. M. (2011). Hemoglobin and myoglobin contributions to skeletal muscle oxygenation in response to exercise. *Oxygen transport to tissue XXXII* (pp. 347-352) Springer.
https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7756-4_47
- Steimers, A; Vafiadou, M; Koukourakis, G; Geraskin, D; Neary, P; & Kohl-Bareis, M. (2016). Muscle oxygenation during running assessed by broad band NIRS. *Oxygen transport to tissue XXXVII* (pp. 41-47) Springer.
https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3023-4_5
- Takagi, S; Murase, N; Kime, R; Niwayama, M; Osada, T; & Katsumura, T. (2016). Aerobic training enhances muscle deoxygenation in early post-myocardial infarction. *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), 673-685.
<https://doi.org/10.1007/s00421-016-3326-x>

Vasquez-Bonilla, A. A.; Camacho-Cardenosa, A.; Camacho-Cardenosa, M.; Martínez-Guardado, I., Timón, R., y Olcina, G. (2017). Evaluación de parámetros fisiológicos en función de la saturación de oxígeno muscular en mujeres con sobrepeso y obesidad *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte*. 47(13), 63-77.
<https://doi.org/10.5232/ricyde2017.04705>

Tan, S.; Wang, J.; Cao, L.; Guo, Z., & Wang, Y. (2014). Positive effect of exercise training at maximal fat oxidation intensity on body composition and lipid metabolism in overweight middle-aged women. *Clinical physiology and functional imaging*. 36, 225-230.

<http://dx.doi.org/10.1111/cpf.12217>

Valkovic, L.; Chmelik, M.; Ukropcova, B.; Heckmann, T.; Bogner, W.; Frollo, I.; Tschan, H.; Krebs, M.; Bachl, N.; Ukropec, J.; Trattinig, S., & Krššáka, M. (2016). Skeletal muscle alkaline pi pool is decreased in overweight-to-obese sedentary subjects and relates to mitochondrial capacity and phosphodiester content. *Scientific Reports*, 6, 20087.

<https://doi.org/10.1038/srep20087>

van der Zwaard, S.; Jaspers, R. T.; Blokland, I. J.; Achterberg, C.; Visser, J. M.; Anne, R., ... & de Koning, J. J. (2016). Oxygenation Threshold Derived from Near-Infrared Spectroscopy: Reliability and Its Relationship with the First Ventilatory Threshold. *PLoS one*, 11(9), e0162914.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162914>

Zorgati, H.; Collomp, K.; Boone, J.; Guimard, A.; Buttelli, O.; Mucci, P.; Amiot, & V; Prieur, F. (2015). Effect of pedaling cadence on muscle oxygenation during high-intensity cycling until exhaustion: A comparison between untrained subjects and triathletes. *European Journal of Applied Physiology*, 115(12), 2681-2689.
<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3235-4>