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

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

Universidad de Extremadura, Facultad ciencias del deporte.

Grupo de Avances en Entrenamiento Deportivo y Acondicionamiento Físico

Autor: Aldo Vasquez

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

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

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar parámetros fisiológicos para comparar y correlacionar en función de la saturación de oxigeno 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 oxigeno muscular e indicie 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 pearsón. Los resultados encontrados en el grupo normopeso la saturación de oxigeno 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 oxigeno 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 Oxigeno muscular, Hemoglobina total, Fatmax, Indicé 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, body composition, physiological parameters, saturation of muscle oxygen and indicie 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.

Keywords: near-infrared spectroscopy non-invasive, oxygen saturation muscular, Total Hemoglobin, Fatmax, rating of perceived exertion.

Indice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Métodos

3.1. Diseño del estudio

3.2. Participantes

3.3. Procedimiento

3.4. Análisis estadístico

4. Resultados

5. Discusión

6. Conclusiones

7. Referencias bibliográficas

Introducción

El sobrepeso y obesidad son patologías metabólicas que están asociadas a numerosas enfermedades crónicas que afectan la entrega de oxigeno 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 oxigeno 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 (Botero, Prado, Guerra, Speretta, Leite, Prestes, y Perez, 2014), pero no existe estudio que utilice NIRS para comparar la Saturación de oxigeno muscular y el total de hemoglobina por cada zona metabólica para esta población.

Resulta de interés describir y comparar la respuesta fisiológica durante un test incremental para valorar el comportamiento de la saturación de oxigeno 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 compresión de saturación de oxigeno muscular y hemoglobina total durante el ejercicio físico.

Objetivos

1. Determinar las zonas de entrenamiento metabólicas evaluadas durante una prueba incremental en mujeres con sobrepeso/obesidad y normopeso

2. Describir cuantitativamente y evaluar los parámetros fisiológicos 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 y la saturación de oxigeno muscular en mujeres con sobrepeso/obesidad y normopeso.

5. Establecer correlaciones existentes entre parámetros fisiológicos 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 ± la desviación estándar.

Los criterios de exclusión en el grupo sobrepeso/obesidad fue 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 diagnostico 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 lleve a cabo este estudio.

*Procedimiento*

*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 trasversal ya que su finalidad es describir las diferencias que presenta la saturación de oxigeno 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.

*Protocolo de valoración antropométrica:*

Se les realizo 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 calcuo 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(Suma de pliegues)+0,00000056(suma de pliegues)^2 –0,00012828(edad)

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

%grasa=495/DC-450

*Protocolo de la valoración espiroergometrica:*

Se realizó la prueba de esfuerzo incremental máxima en un cicloergometro (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 vo2max ml/kg/min, porcentaje de Vo2max, 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 inmediatamente centrifugadas a 3,000 rpm durante 10 minutos en una microcentrifuga (Hemocue Hb30, Suecia).

*Protocolo de valoración de saturación de oxigeno 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 oxigeno 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 ± 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 ± 7,7 | 36,6 ± 10,7 |
| **Peso(kg)** | 71,6 ± 11,3 | 61,8 ± 4,0\* |
| **Índice de Masa Corporal(Kg/H`2)** | 28,2 ± 3,0 | 22,7 ± 0,7\* |
| **ICC (Cadera/Cintura)** | 0,75 ± 0,06 | 0,74 ± 0,04 |
| **Porcentaje de Grasa** | 32,7 ± 3,7 | 26,7 ± 3,0\* |
| **Hemoglobina(g/dl)** | 12,5 ± 1,0 | 12,8 ± 1,1 |
| **Vo2 max (ml/kg/min)** | 25,5 ± 6,4 | 29,2 ± 7,1 |
| **Frecuencia cardiaca máxima(ppm)** | 168,4 ± 15,8 | 173,7 ± 12,7 |
| **Frecuencia cardiaca reposo(ppm)** | 69,3 ± 7,6 | 74,5 ± 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 indice de masa corporal (Alemán, de Baranda Andujar y Ortín, 2014; Rubio, Salas-Salvadó, Barbany, Moreno, Aranceta, Bellido y De Pablos, 2007).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Fatmax | | Umbral Aeróbico | | Umbral Anaeróbico | | Vo2max | | Recuperación | |
| Variables | **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 ± 3,91 |
| 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 ± 0,02 |
| 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±0,19 |
| 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 ± 0,29 |
| 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 ± 0,06 |
| 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 ± 1,18 |
| 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 ± 0,51 |
| 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 ± 0,77 |
| % 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

Tabla2. Comparación ergométricas, cardiorrespiratorias, metabólicas e índice de esfuerzo percibido por zonas metabólicas entre grupos

Se comparó y describió los valores por cinco zonas metabólicas: zona fatmax, Umbral aeróbico, umbral anaeróbico, vo2max y la recuperación, y en 2 grupos: sobrpeso/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.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***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 |

*Tabla 3. Correlaciones en función de la saturación de oxigeno muscular*

*\*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 oxigeno 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 oxigeno 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 aerobico.

La tHb presenta una disminución durante el umbral anaeróbico en el grupo normopeso es igual que 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 otro 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 él % Vo2max en las zonas fatmax y umbral aeróbico debido a que son zonas estables en las que en el oxígeno está presente en mayor cantidad (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 oxigeno que metaboliza el musculo (Giannakis, Thünenkötter, Weiler y Urhausen, 2013; Valkovič, Chmelík, Ukropcová, Heckmann, Bogner, Frollo y Trattnig, 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-fosfocolina 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 rompimiento 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 estudió 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 utilizo 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 anaeróbico. 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 lentos 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. Al terminar el ejercicio en la zona de recuperación activa sigue obteniendo energía de los carbohidratos los pacientes con obesidad (Chicharro, 2006). Lo interesante es ver por qué fisiológicamente se ve reflejada la asociación de la tHb con los sustratos energéticos.

Una de la 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 CHO ingerido, el horario de alimentación, el glucógeno la disponibilidad (Jeukendrup y Jentjens, 2000). Al igual que el calor producido en musculo 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 contratación 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 (Croci, 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 (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 compresión en avances de intervenciones en programas de ejercicio físico con mujeres con sobrepeso y obesidad, y la saturación de oxigeno muscular en relación con otros parámetros fisiológicos para poder ver si en el futuro se puede guiar el proceso de entrenamiento 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 oxigeno 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 en la zona umbral anaeróbico y zona vo2max.

3. En mujeres con normopeso cuando se eleva la saturación de oxigeno muscular aumenta el vo2max en las zonas fatmax, umbral aeróbico. En la zona umbral anaeróbico entre más frecuencia cardiaca de entrenamiento menos saturación de oxigeno 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.

Referencias bibliográficas

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.

Alemán, J. A., de Baranda Andujar, Pilar Sainz, & 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., et al. (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.

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.

Botero, J. P., Prado, W. L., Guerra, R. L., Speretta, G. F., Leite, R. D., Prestes, J., et al. (2014). Does aerobic exercise intensity affect health‐related parameters in overweight women? *Clinical Physiology and Functional Imaging, 34*(2), 138-142.

Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2006). *Fisiologa del ejercicio/Physiology of exercise* Ed. Médica Panamericana.

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.

Croci, I., Borrani, F., Byrne, N., Wood, R., Hickman, I., Cheneviere, X., et al. (2014). Reproducibility of fat max and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. *PloS One, 9*(6), e97930.

El Ferrol, A. M., & Coruña, A. (2006). El paciente con exceso de peso: Guía práctica de actuación en atención primaria. *Rev Esp Obes, 4*(1), 33-44.

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.

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.

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.

Jeukendrup, A. E., & Jentjens, R. (2000). Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise. *Sports Medicine, 29*(6), 407-424.

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.

Luque, G. T., García-Martos, M., Gutiérrez, C. V., & 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., et al. (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.

Niemeijer, V. M., Spee, R. F., Jansen, J. P., Buskermolen, A. B., Dijk, T., Wijn, P. F., et al. (2015). Test–retest reliability of skeletal muscle oxygenation measurements during submaximal cycling exercise in patients with chronic heart failure. *Clinical Physiology and Functional Imaging,*

Orsi, Juliana Vianna de Andrade, Nahas, F. X., Gomes, H. C., Andrade, Carlos Henrique Vianna de, Veiga, D. F., Novo, N. F., et al. (2008). Impact of obesity on the functional capacity of women. *Revista Da Associação Médica Brasileira, 54*(2), 106-109.

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.

Rubio, M. A., Salas-Salvadó, J., Barbany, M., Moreno, B., Aranceta, J., Bellido, D., et al. (2007). Consenso SEEDO 2007 para la evaluación del sobrepeso y la obesidad y el establecimiento de criterios de intervención terapéutica. *Rev Esp Obes, 5*(3), 135-175.

Sekikawa, K., Tabira, K., Sekikawa, N., Kawaguchi, K., Takahashi, M., Kuraoka, T., et al. (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.

Skinner, J. S., & McLellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 51*(1), 234-248.

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.

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.

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.

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.

Valkovic, L., Chmelik, M., Ukropcova, B., Heckmann, T., Bogner, W., Frollo, I., et al. (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.

Zorgati, H., Collomp, K., Boone, J., Guimard, A., Buttelli, O., Mucci, P., et al. (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.