



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2014/2015

VALORACIÓN DE LA CUALIDAD AERÓBICA Y DE LA UTILIZACIÓN DE LAS GRASAS EN INICIADOS AL RUNNING

Aerobic fitness and fat use assessment in running beginners

Autor: D. Iñaki Subero Armañanzas

Tutor: D. José Gerardo Villa Vicente

Fecha: Viernes, 3 de julio de 2015

VºBº TUTOR/A

VºBº AUTOR/A

Índice

<u>1.-INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1.-Objetivos.....	2
1.2.-Competencias a desarrollar.....	2
<u>2.-RESUMEN Y PALABRAS CLAVE</u>	3
<u>3.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
3.1.-Fundamentación teórica.....	4
3.2.-Metodologías propuestas en la literatura científica.....	11
<u>4.-ESTUDIO EXPERIMENTAL</u>	15
4.1.-Objetivo.....	15
4.2.-Metodología.....	15
4.2.1.-Sujetos.....	15
4.2.2.-Pruebas de evaluación, protocolos y materiales.....	16
4.2.3.-Tratamiento de los datos.....	16
<u>5.-RESULTADOS</u>	17
<u>6.-CONCLUSIONES</u>	22
<u>7.-APLICABILIDAD</u>	22
<u>8.-AGRADECIMIENTOS</u>	24
<u>9.-FUENTES DOCUMENTALES</u>	25
9.1.-Publicaciones científicas.....	25
9.2.-Otras fuentes.....	31

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1: Cociente respiratorio no proteico y rendimiento energético del oxígeno con diferentes porcentajes de utilización de grasas e hidratos de carbono.....	5
Tabla 2: Efectos del ejercicio en la oxidación de grasas.....	7
Tabla 3: Factores condicionantes del FATmax.....	8
Tabla 4: Parámetros antropométricos antes (PRE) y después (POST) de 16 semanas de entrenamiento de <i>running</i> . Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento.....	17
Tabla 5: Parámetros ergoespirométricos máximos antes (PRE) y después (POST) de 16 semanas de entrenamiento de <i>running</i> . Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento y nivel de significación.....	17
Tabla 6: Parámetros ergoespirométricos en el umbral aeróbico o VT1 antes (PRE) y después (POST) de un programa de entrenamiento de <i>running</i> de 16 semanas. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento y nivel de significación.....	18
Tabla 7: Parámetros ergoespirométricos en el umbral anaeróbico o VT2 antes (PRE) y después (POST) de un programa de entrenamiento de <i>running</i> de 16 semanas. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento y nivel de significación.....	18
Tabla 8: Economía de carrera (ml/kg/min) a diferentes velocidades según el nivel del grupo (G1: nivel bajo; G2: nivel medio; G3: nivel alto) antes (PRE) y después (POST) de un programa de iniciación al <i>running</i> de 16 semanas. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento (%) y nivel de significación.....	19
Tabla 9: Tasa de oxidación de grasas (FATox), tasa de oxidación de CHO (CHOox), porcentaje de utilización de grasas (%FAT), porcentaje de utilización de CHO (%CHO) y energía expedida (Eex) a diferentes porcentajes del VO ₂ max antes (PRE) y después (POST) de un entrenamiento de <i>running</i> de 16 semanas. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento (%)......	20
Figura 1: Dinámica de la oxidación de lípidos y de carbohidratos a diferentes intensidades del VO ₂ max; “ <i>crossover concept</i> ”.....	5
Figura 2: Comparación del punto “ <i>crossover</i> ” y el FATmax, expresado en % de Wmax, en grupo control y en varios grupos de atletas.....	10
Figura 3: Representación gráfica de la determinación y presentación del FATmax expresado como % del VO ₂ max o como % de Wmax (g/min; mg/kg/min) según diferentes autores.....	14
Figura 4: A) Media del FATmáx antes (PRE) y después (POST) del entrenamiento de <i>running</i> . B) Oxidación de grasas (FATox; g/min) antes (PRE) y después (POST) del entrenamiento de <i>running</i> . C) Dinámica del porcentaje de utilización de HCO y grasas a diferentes porcentajes del VO ₂ max antes del programa de entrenamiento de <i>running</i>	21

1.-INTRODUCCIÓN

Como parte del currículum de los estudios de 4º de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León se plantea, como condición necesaria para la obtención del título, la elaboración y presentación de un Trabajo Fin de Grado (TFG).

De este modo, la Comisión TFG (2014) nos indica que la realización de dicho TFG tiene como fin último que el estudiante que ha aprobado todas las asignaturas de la carrera demuestre el conjunto de conocimientos, saberes y competencias adquiridas durante su formación. Según el documento citado anteriormente los contenidos, su redacción, la presentación formal del trabajo y su exposición y defensa son los pilares sobre los que se asienta esta última prueba pretendiendo de esta forma observar y evaluar todas las competencias adquiridas en las áreas o ámbitos de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

El tipo de TFG que he decido elaborar consta de dos partes diferenciadas donde la primera fase aparece tipificada en Comisión TFG (2014) y en Junta de Facultad (2013) como “Trabajos de revisión e investigación bibliográfica en diferentes campos relacionados con la titulación” (p.1; p.2) mientras que la segunda fase corresponde a “trabajos experimentales que podrán desarrollarse en departamentos o institutos universitarios” (p.1; p.2) Como se puede observar, el presente TFG ahonda tanto en el contenido puramente teórico como en el procedimental y práctico uniendo los dos elementos para conseguir que el conocimiento pueda llevarse a la realidad.

De este modo, junto con el Dr. José Gerardo Villa Vicente nos decidimos a profundizar en la temática de la valoración funcional de la condición física en relación a la salud. Concretamente, se va a valorar los efectos que tiene un programa de iniciación al *running* de 16 semanas sobre parámetros ergoespirométricos máximos, sobre indicadores de capacidad y resistencia aeróbica, sobre la economía de carrera y sobre la utilización de grasas e hidratos de carbono durante el ejercicio hallando también la tasa máxima de oxidación de grasas (FATmax).



1.1.-Objetivos

- a) Conocer las modificaciones que se dan en diferentes parámetros de la condición física aeróbica (ergoespirométricos máximos, umbrales aeróbico y anaeróbico, economía, utilización de grasas, FATmáx, etc.) tras la realización de un entrenamiento de iniciación al *running* de 16 semanas en personas adultas.
- b) Conocer las diferentes metodologías empleadas en la literatura científica y aplicarlas en un estudio experimental para determinar la capacidad aeróbica, para identificar la resistencia aeróbica (umbrales aeróbico y anaeróbico), para medir la economía de carrera y para cuantificar la tasa de oxidación aeróbica de grasas (FATmax).
- c) Ampliar los conocimientos sobre la utilización de grasas durante el ejercicio y profundizar en el concepto FATmax.

1.2.-Competencias a desarrollar

Las habilidades y capacidades que me he propuesto adquirir durante la elaboración del presente TFG son:

- a) Realizar una búsqueda sistemática de información en la literatura científica.
- b) Utilizar recursos electrónicos y fuentes de datos para la obtención de información de calidad.
- c) Traducir y comprender la información obtenida de fuentes en lengua extranjera.
- d) Analizar y sintetizar la información encontrada.
- e) Liderar, coordinar y organizar la fase de estudio experimental.
- f) Aprender y utilizar de manera autónoma el material e instrumental del laboratorio de valoración de la condición física.
- g) Llevar a la práctica los procedimientos metodológicos ergoespirométricos necesarios para la valoración de la capacidad aeróbica, resistencia aeróbica (umbrales aeróbico y anaeróbico), economía de carrera y FATmax.
- h) Fomentar la participación y adherencia de los participantes dando las explicaciones y la información requerida en todo momento además de contar con su consentimiento para la realización de todas las pruebas.
- i) Sintetizar toda la información recopilada y la experiencia práctica vivida con el fin de sacar conclusiones y una posible aplicabilidad.
- j) Comunicar con soltura, rigor y claridad el TFG por medio de canales visuales y orales al tribunal de evaluación del TFG.

2.-RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El entrenamiento aeróbico supone una serie de mejoras para el organismo en diferentes parámetros cardiorrespiratorios, metabólicos, enzimáticos, etc. que se relacionan con la salud y con el rendimiento. Uno de estos parámetros es la utilización de las grasas durante el ejercicio y la capacidad para que esta oxidación sea máxima. El presente trabajo busca, tras una amplia revisión bibliográfica, profundizar en esta temática y conocer los procedimientos metodológicos necesarios para su determinación con el fin de incluir esta prueba en un protocolo de valoración de la cualidad física aeróbica en un grupo de adultos que realizan un entrenamiento de iniciación al *running* 2 días/semana durante 16 semanas. Se realiza una prueba ergoespiométrica máxima para conocer su capacidad y resistencia aeróbica. Posteriormente se realiza una prueba ergoespiométrica submáxima para determinar la utilización de grasas durante el ejercicio y la economía de carrera. Se han obtenido mejoras significativas en la velocidad máxima alcanzada, en el consumo de oxígeno máximo y en los valores de consumo de oxígeno, velocidad y pulso de oxígeno a los que se alcanzan los umbrales aeróbico y anaeróbico. No se han encontrado mejoras en la economía de carrera ni en la utilización de grasas durante el ejercicio ni en la tasa máxima de oxidación de grasas.

Palabras clave: *condición física, FATmax, economía, umbral anaeróbico, umbral aeróbico, VO₂max.*

ABSTRACT AND KEYWORDS

Aerobic training involves several organism improvements in different cardiorespiratory, metabolic, enzymatic, etc. parameters that are related to health and performance. One of these parameters is the use of fat during exercise and the ability for get a maximal fat oxidation. This paper seeks, after an extensive literature review, deepening this subject and knowing the methodological procedures for its determination to include this test in an aerobic physical fitness assessment protocol in an adult's group who perform a begginers running training two days / week for 16 weeks. Ergospirometric maximum test is performed in order to knowing their aerobic capacity and endurance. Subsequently, an ergospirometric submaximal test is performed to determine the use of fat during exercise and running economy. We obtained significant improvements in maximum speed achieved, in maximal oxygen consumption and the oxygen consumption, speed and oxygen pulse values at which the aerobic and anaerobic thresholds are reached. There are no improvements in running economy, in the use of fat during exercise or in the maximum rate of fat oxidation.

Keywords: *Physical fitness, FATmax, economy, anaerobic threshold, aerobic threshold, VO₂max.*

3.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1.-Fundamentación teórica

El cuerpo humano, para mantener sus funciones vitales y permitir su supervivencia, necesita aportar energía a las células corporales. Esta energía es obtenida a través del metabolismo celular al descomponer los nutrientes que ingerimos en la alimentación y permite el funcionamiento de los diferentes sistemas orgánicos de la persona.

La energía que se obtiene en el músculo tanto en reposo como durante el ejercicio proviene de los denominados macronutrientes (hidratos de carbono, lípidos y proteínas) y se utilizan de una manera conjunta interviniendo a la vez todos los sustratos y procesos metabólicos. A pesar de esto, según los requerimientos energéticos del individuo en cada momento los sistemas y los sustratos utilizados se hacen unos predominantes sobre el resto. A grandes rasgos, podemos decir que los hidratos de carbono (CHO) y las grasas son los principales combustibles del organismo ya que las proteínas sólo se utilizan en condiciones muy específicas. Esta utilización preferente de un sustrato sobre otro se ha estudiado y podemos conocer la relación de utilización de los hidratos de carbono y de los lípidos a través del cociente respiratorio metabólico (RQ) que se halla dividiendo el volumen de dióxido de carbono producido entre el volumen de oxígeno consumido (VCO_2/VO_2) y que indica la proporción relativa de lípidos y CHO usados en la oxidación. En la actualidad está probado que la intensidad del ejercicio, su duración y la dieta previa modifican este equilibrio de sustratos (Brun, Romain, Varlet-Marie y Mercier, 2012). En la *Tabla 1* podemos observar cómo el RQ determina el rendimiento energético del oxígeno (O_2) y el porcentaje de grasas y de hidratos de carbono que se utilizan.

Como se puede observar, a mayor intensidad de ejercicio (mayor RQ) mayor es el rendimiento energético del oxígeno y mayor porcentaje de utilización de los hidratos de carbono. De este modo observamos cómo en reposo los lípidos proveen más de un 50% de los requerimientos de energía del organismo y suponen una importante fuente de energía durante el ejercicio de baja a moderada intensidad (Jeukendrup, Saris y Wagenmakers, 1998). Por debajo del 25% del consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) se ha probado que la grasa es la principal fuente de energía y que a partir de este punto el glucógeno rápidamente se convierte en el combustible predominante. La oxidación de grasas no se inhibe, sino que sigue incrementándose a pesar de que representa un porcentaje menor del gasto energético total hasta que se alcanza la tasa máxima de oxidación de grasas (FATmax o LIPOXmax). A partir de este valor la oxidación de grasas se reduce (Romijn et al., 1993) mientras que los HCO se

convierten en el principal sustrato a medida que nos acercamos a la alta intensidad (>80% VO₂max) (Jeukendrup et al., 1998).

Tabla 1: Cociente respiratorio no proteico y rendimiento energético del oxígeno con diferentes porcentajes de utilización de grasas e hidratos de carbono (Modificado de De Paz y Garatachea, 2010)

Cociente respiratorio ventilatorio (RQ)	Rendimiento energético del O ₂ (kcal/lO ₂)	% grasas	% hidratos de carbono
1	5,05	0	100
0,97	5,01	4,8	95,2
0,93	4,96	15,6	84,4
0,9	4,92	26,3	73,7
0,87	4,89	36,9	63,1
0,83	4,84	43,8	56,2
0,81	4,81	57,5	42,5
0,78	4,78	67,5	32,5
0,75	4,74	77,4	22,6
0,72	4,70	90,4	9,6
0,7	4,69	100	0

Para conocer la dinámica de las grasas durante el ejercicio es importante conocer el concepto “crossover”. El concepto “crossover” (cruce) es un intento de integrar los efectos aparentemente opuestos que tienen la intensidad del ejercicio, el estado nutricional, el género, la edad y el nivel de entrenamiento de resistencia en el equilibrio de los hidratos de carbono y de los lípidos durante el ejercicio constante. Es la intensidad de ejercicio en la cual la energía proveniente de los HCO predomina sobre la energía derivada de los lípidos. Al incrementar la intensidad llega un punto donde se produce una mayor utilización de CHO y una menor utilización de lípidos (Brooks y Mercier, 1994). En la *Figura 1* se puede apreciar este punto.

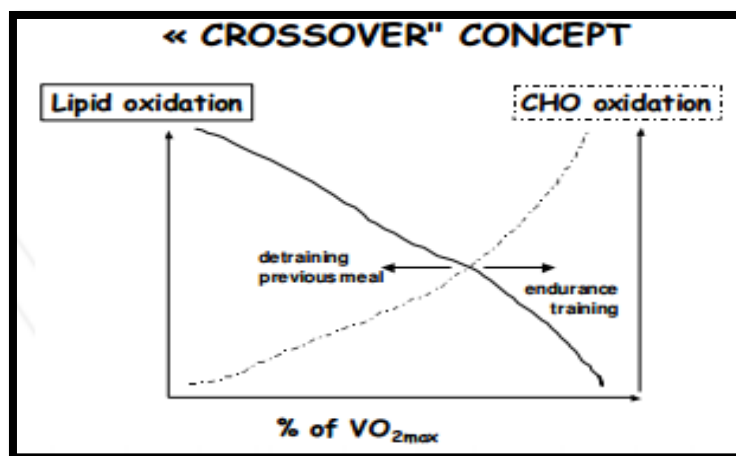


Figura 1: Dinámica de la oxidación de lípidos y de carbohidratos a diferentes intensidades del VO₂max; “crossover concept” (Brun et al., 2012).

El equilibrio en la utilización de sustratos durante el ejercicio depende de la intensidad del mismo. De este modo, a medida que aumenta la intensidad de ejercicio la proporción de lípidos metabolizados decae, mientras que los CHO se convierten en el combustible predominante (>70%) a partir del punto “*crossover*” (aproximadamente al 50% del VO_2max). Este incremento en la oxidación de CHO regula la oxidación de lípidos reduciéndola a pesar de que se siguen utilizando grasas (pero cada vez en menor proporción) (Brun et al., 2012). La literatura contiene datos indicando que el entrenamiento de resistencia a bajas intensidades ($\leq 45\% VO_2max$) se lleva a cabo con lípidos como sustrato principal mientras que durante ejercicio de alta intensidad (aproximadamente el 75% VO_2max) los CHO son los sustratos predominantes (Brooks y Mercier, 1994).

Por encima del punto “*crossover*” la utilización de glucógeno se incrementa de manera exponencial. El entrenamiento de resistencia, el suministro de energía, el sobreentrenamiento, la manipulación de la dieta y el ejercicio previamente realizado modifican este patrón. Los atletas más entrenados desplazan este punto hacia la derecha (Brun et al., 2012) haciendo que el cruce se produzca a una mayor intensidad de ejercicio. El concepto “*crossover*” implica que aunque el incremento de la intensidad del ejercicio resulta en un uso preferencial de CHO, el entrenamiento de resistencia cambia el equilibrio de sustratos durante el ejercicio hacia una mayor dependencia de los lípidos (Brun, Romain y Mercier, 2011; Brooks y Mercier, 1994). Como vemos, este punto puede ser modificado por numerosas variables y una que podemos modificar como profesionales de la actividad física es el entrenamiento de resistencia. En la *Tabla 2* se pueden observar los efectos que tiene el ejercicio sobre la oxidación de lípidos.

De acuerdo con este concepto de cruce, el entrenamiento de resistencia produce una serie de adaptaciones bioquímicas en el músculo que mejoran la oxidación de lípidos y disminuyen la respuesta del sistema nervioso simpático al estrés producido durante el ejercicio submáximo. Estas adaptaciones promueven la oxidación de lípidos durante el ejercicio de baja a moderada intensidad. Por el contrario, aumentar la intensidad del ejercicio produce un incremento de la glucogenolisis inducida por la contracción muscular, una alteración del patrón de reclutamiento de fibra muscular y un aumento de la actividad del sistema nervioso simpático. Por lo tanto, la utilización de sustratos en un individuo en cualquier momento depende de la interacción entre las respuestas inducidas por el ejercicio de intensidad (que incrementa la utilización de CHO) y las respuestas inducidas por el ejercicio de resistencia (que promueve la oxidación de lípidos) (Brooks y Mercier, 1994).

Como ya se ha mencionado, cuando la intensidad del ejercicio se incrementa el glucógeno rápidamente se convierte en el combustible predominante. Sin embargo, la oxidación de grasas todavía se incrementa hasta que se alcanza el llamado LIPOXmax o FATmax. Sobre

este nivel la oxidación de grasas decrece. Es curioso observar cómo este descenso en la oxidación de grasas coincide con un incremento del lactato sobre los niveles basales, como se ha demostrado en adolescentes sanos durante un pedaleo incremental (Tolfrey, Jeukendrup y Batterham, 2010).

Tabla 2: Efectos del ejercicio en la oxidación de grasas (Modificado de Brun et al., 2012).

a) La actividad contráctil muscular puede usar por sí misma las grasas como fuente de energía	Durante un ejercicio a baja intensidad en equilibrio estable la grasa es oxidada en una tasa casi constante (Bensimhon, Kraus y Donahue, 2006; Meyer, Gässler y Kindermann 2007) y hay una intensidad de ejercicio que utiliza la máxima oxidación de lípidos a la que se llama tasa máxima de oxidación de grasas (FATmax)
b) Mayor duración del ejercicio hace aumentar progresivamente la oxidación de grasas	Cuando el ejercicio es lo duro y prolongado suficiente como para llevar a la depleción de los depósitos de glucógeno se produce un incremento gradual en la oxidación de grasas (Ahlborg et al., 1974; Bergman y Brooks, 1999; Watt et al., 2003). Este fenómeno es bastante débil para las intensidades bajas y moderadas de ejercicio cuando la duración no es superior a 1 hora.
c) Incremento en la oxidación de grasas a modo de compensación después de ejercicio de alta intensidad	El ejercicio de alta intensidad oxida casi exclusivamente CHO pero es frecuentemente seguido de un incremento en la oxidación de grasas que compensa más o menos los lípidos no utilizados durante el ejercicio (Folch et al., 2001; Melanson et al., 2002). Esto suele ser poco consistente y poco relevante (Malatesta, Werlen, Bulfaro, Chenevière y Borrani, 2009; Lazzer et al., 2010), incluso es más acentuado si el ejercicio es discontinuo.
d) El ejercicio regular de larga duración incrementa la habilidad para oxidar lípidos	El ejercicio regular de larga duración puede cambiar el equilibrio de sustratos oxidados en 24 horas hacia un mayor uso oxidativo de lípidos (Talanian et al., 2007). El incremento en la habilidad de oxidar lípidos en 24 horas que ha sido inducido por el ejercicio es estadísticamente un predictor de la pérdida de peso inducida por el ejercicio (Barwell, Malkova, Leggate y Gill, 2009).

La intensidad de ejercicio que solicita la máxima oxidación de lípidos se denomina LIPOXmax, FATOXmax o FATmax en función de los autores revisados y se localiza en atletas por debajo del umbral láctico y ventilatorio (alrededor del 40% del VO₂máx) (Brun et al., 2012). Es un parámetro que puede ser medido con protocolos validados y reproducibles (Nordby, Saltin y Helge, 2006; Brun et al., 2011). FATmax es una medida reproducible, pero es modificable por varias condiciones fisiológicas (entrenamiento, ejercicio y comida previa). Este indicador nos da información acerca de la cantidad de lípidos que van a ser oxidados en un ejercicio a dicha intensidad (de baja a media) durante los siguientes 45-60 minutos. Se configura como un marcador de la condición metabólica del sujeto y se relaciona con la función y respiración mitocondrial. El FATmax también se relaciona con el estado de las catecolaminas y con la hormona del crecimiento. Los cambios en este parámetro se relacionan con alteraciones en los niveles musculares de citrato sintasa, con la habilidad mitocondrial para oxidar lípidos durante el ejercicio, con la reducción de la presión sanguínea, con los niveles de HbA1c en diabetes tipo 2 y con la reducción del colesterol circulante (Brun et al., 2011; Brun et al., 2012). Este parámetro disminuye en obesos y diabéticos mientras que en atletas entrenados en resistencia es mayor, estando sujeto a mejoras por este tipo de entrenamiento. Su incremento

se asocia con un conjunto de efectos metabólicos beneficiosos. Este parámetro es propuesto como un componente en la evaluación de la condición física metabólica (Nordby et al., 2006; Brun et al., 2011). Estos beneficios de entrenar en zona FATmax se sumarían a los propios de realizar entrenamiento de resistencia como efectos beneficiosos en la presión sanguínea, en la composición corporal, en los lípidos sanguíneos y en la sensibilidad a la insulina (Cornelissen y Fagard, 2005). A continuación, en la *Tabla 3* podemos observar cómo diferentes variables afectan al FATmax.

Tabla 3: Factores condicionantes del FATmax. (Modificado de Brun et al., 2012)

Variable	Efecto	Referencias
Género	Las mujeres oxidan ligeramente más grasas y su FATmax aparece a mayor intensidad. Diferencias confirmadas en todos los estudios pero en la actualidad tiene menos relevancia. La oxidación de grasas es mayor en chicos prepuberales a similar intensidad (pero no en absoluto).	(Friedlander, Casazza, Horning, Buddinger y Brooks, 1998a; Friedlander et al., 1998b; Chenevière, Borrani, Sangsue, Gojanovic y Malatesta, 2011; Brun, Boegner, Raynaud y Mercier, 2009; Zakrzewski y Tolfrey, 2012).
Temperatura	Oxidación preferente de CHO en ejercicios con ambientes cálidos. Restauración después de aclimatación y entrenamiento.	(Febbraio et al., 1994; Del Coso, Hamouti, Ortega y Mora-Rodriguez, 2010).
Atletas altamente entrenados	La mayoría muestran una mayor capacidad para oxidar lípidos durante el ejercicio pero en algunos deportes como en fútbol se ha observado un uso preferencial de CHO.	(Bergman y Brooks, 1999; Achten, et al, 2003; Venables, et al, 2005; González-Haro, et al, 2007; Varlet-Marie, et al, 2006)
Obesidad y diabetes	Valores de FATmax cambian significativamente desplazándose a menores intensidades.	(Pérez-Martin et al., 2001; Sardinoux et al., 2009).
Metformina	Incrementa la oxidación de grasas durante el ejercicio y la disminuye post-ejercicio	(Malin et al., 2010).
Diabetes tipo 2	Menor habilidad para oxidar lípidos cuando se compara con sujetos según el IMC	(Ghanassia, et al 2006; Mogensen, et al, 2009).
Diabetes tipo 1	Menor habilidad para oxidar lípidos	(Brun et al., 2008).
Apnea del sueño	Menor habilidad para oxidar lípidos durante el ejercicio. El entrenamiento mejora tanto el índice de apnea como la oxidación de grasas durante el ejercicio	(Desplan et al., 2010).

El entrenamiento de resistencia produce varias adaptaciones metabólicas en el músculo relacionadas con la capacidad de oxidar grasa durante el ejercicio (Friedlander et al., 2007). Un meta-análisis muestra que entrenar a la intensidad de FATmax es eficaz en sujetos sedentarios para reducir la masa grasa incrementando la habilidad de oxidar lípidos durante el ejercicio, para reducir la glucosa en sangre y Hba1c en diabetes tipo 2 y para disminuir el colesterol en la circulación. En deportistas existen diferentes perfiles pudiéndose observar una alta habilidad para oxidar lípidos en sujetos entrenados en resistencia y un predominio en el uso de carbohidratos en algunas muestras de atletas entrenados en velocidad o en ejercicio intermitente (Brun et al., 2012). Como vemos, con el entrenamiento podemos aumentar la

utilización de grasas para una misma intensidad disminuyendo el aporte de CHO (Brun et al., 2011). De acuerdo con este planteamiento, se puede esperar que los deportistas de resistencia exhiban un perfil de oxidación lipídica proporcional a su condición física y eficacia de su entrenamiento. El ejercicio realizado en un estado estable a este nivel de FATmax puede producir una oxidación de grasas de 400 a 1000 mg/min (Achten, Gleeson y Jeukendrup, 2002).

Entrenar a intensidades bajas (en torno a FATmax) proporciona significativos descensos del peso corporal, de la masa grasa, de la circunferencia de la cintura y del colesterol total. (Romain et al., 2012).

Algunos autores proponen estudiar los efectos que tendría, en un programa de actividad física con objetivo de pérdida de peso, conseguir iguales déficits calóricos entrenando a intensidad de FATmax o a más intensidad (Romain et al., 2012). Muchos de los estudios de calorimetría durante el ejercicio con atletas confirman que, de media, los entrenados en resistencia oxidan más lípidos. Datos de estudios transversales y longitudinales apoyan la idea de que el entrenamiento reduce la dependencia en los CHO como fuente de energía, lo que incrementa la oxidación de grasas durante el ejercicio submáximo (Achten y Jeukendrup, 2004).

Un estudio específico de los efectos del entrenamiento de resistencia en mujeres muestra que las mujeres entrenadas en resistencia tienen un mayor ratio de oxidación de grasas, pero sus valores pico ocurren a una intensidad relativa muy similar ($56 \pm 3\%$ VO_2 máx) comparado con mujeres sin entrenar ($53 \pm 2\%$ VO_2 máx) (Stisen et al., 2006). En la *Figura 2* se puede apreciar las diferencias existentes en diferentes grupos de población en la localización de FATmax y el punto “*crossover*” en porcentaje de la máxima potencia desarrollada.

Los autores coinciden en que no se conoce la utilidad que pueden tener estos parámetros en el deporte, pero se puede utilizar ese criterio para clasificar a los deportistas de acuerdo a su perfil metabólico durante el ejercicio ayudando a comprender su habilidad para realizar deportes de resistencia o de corta duración. Parece ser que también puede utilizarse para detectar el sobreentrenamiento en relación a las alteraciones metabólicas en el ejercicio (Brun et al., 2012).

Algunos ejemplos de que se ha podido mejorar el FATmax con el entrenamiento son los siguientes: Nordby et al. (2006) encontraron que sujetos entrenados tenían un FATmax más alto y que ocurría a más intensidad que en sujetos no entrenados. Se ha mejorado la tasa máxima de oxidación de grasas con doce sesiones de entrenamiento interválico durante cuatro semanas en hombres obesos (Alkahtani, King, Hills y Byrne, 2013). Siete sesiones de entrenamiento con un gran tasa de trabajo-descanso realizando ejercicio interválico de alta

intensidad al 90% del $\text{VO}_2\text{máx}$ incrementaron significativamente la oxidación de grasas inducida por el ejercicio en mujeres moderadamente activas (Talanian et al., 2007). Un programa de entrenamiento a intensidad FATmax produce mejoras en la composición corporal de cadetes de una academia militar de Brasil (Pinheiro, Dantas, Fernandes Filho y Coutinho, 2005). Algunos autores proponen FATmax como la intensidad ideal para la pérdida de masa grasa (Achten et al., 2002).

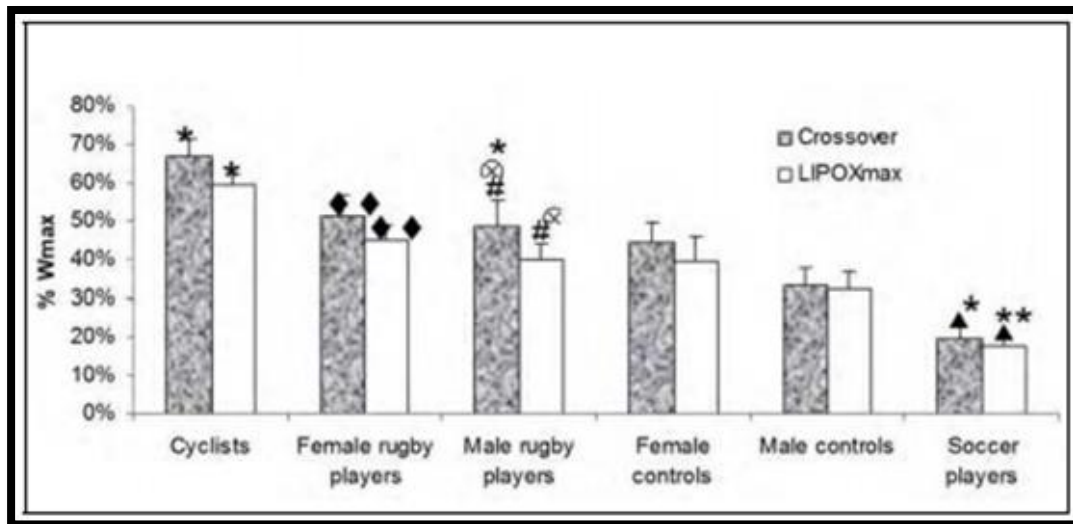


Figura 2: Comparación del punto “crossover” y el FATmax, expresado en % de W_{max} , en grupo control y en varios grupos de atletas. * $p < 0.05$; ** $p < 0.0001$ (atletas masculinos vs. grupo control masculino); ## $p < 0.0001$ (jugadores masculinos de rugby vs. jugadores de fútbol); ▲▲ $p < 0.0001$ (ciclistas vs. jugadores de fútbol); *♦ $p < 0.0001$ (jugadoras femeninas de rugby vs. grupo control femenino); ♦♦ $p < 0.05$; ♦♦ $p < 0.0001$ (ciclistas vs. jugadores masculinos de rugby) (Varlet-Marie, Brun, Fedou y Mercier, 2006).

El desplazamiento del punto “crossover” hacia la derecha y el incremento de la oxidación de grasas para una intensidad dada derivado del entrenamiento de resistencia aumenta el rendimiento ya que la habilidad para oxidar ácidos grasos se relaciona con mayor rendimiento (Achten et al., 2002).

Los jóvenes, al presentar un RQ menor para cada intensidad de ejercicio se supone que utilizan más grasas y menos hidratos de carbono que los adultos (Riddell, Jamnik, Iscoee Timmons y Gledhill, 2008). Los niños usan un 70% más de grasa y un 23% menos de carbohidratos comparado con hombres durante un ejercicio prolongado de moderada intensidad (Timmons, Bar-Or y Riddell, 2003). Los niños, en comparación a los adultos, tienen tasas de oxidación de grasas superiores a lo largo de un gran rango de intensidades expresadas en términos relativos. El punto que solicita la máxima tasa de oxidación de grasas es considerablemente superior en niños que en adultos. Esta tasa decrece a medida que los niños van madurando sobre todo a partir de la media pubertad.

La dificultad de oxidar grasas parece ser un importante factor en la etiología de la obesidad y de la diabetes tipo 2 mellitus (Zurlo et al., 1990) por lo que podría ser considerado como un elemento a tener en cuenta a la hora de prescribir ejercicio para población con estas características.

Lima-Silva et al. (2010) no encontraron diferencias significativas en el FATmax entre sujetos de niveles medio y alto en una prueba de 10.000 metros teniendo los mismos valores de VO_2max . En un grupo de sujetos donde el VO_2max era más elevado, el FATmax tendía a ser mayor. No encontraron relación entre el rendimiento en 10.000 y el FATmax.

3.2.-Metodologías propuestas en la literatura científica

Como se ha explicado, la dinámica del metabolismo de las grasas durante el ejercicio está relacionada con el rendimiento en pruebas de larga duración y sobre todo, con la salud y la composición corporal de las personas. Para que podamos incluir la utilización de grasas durante el ejercicio y el FATmax como una prueba de valoración funcional de la condición física es necesario conocer las metodologías que se proponen en la literatura científica.

Para conocer la energía consumida y la proporción de hidratos de carbono y de grasas que intervienen es necesario realizar una calorimetría indirecta. La calorimetría indirecta asume que el metabolismo energético del organismo depende del uso del oxígeno (O_2) y que el dióxido de carbono (CO_2) es el resultado final de la degradación oxidativa de los sustratos (De Paz y Garatachea, 2010). La cantidad de O_2 consumida y de CO_2 producida es diferente si metabolizamos un sustrato u otro. De este modo, en la *Tabla 1* mostrada al inicio del apartado, se observa cómo un consumo de O_2 y una producción de CO_2 determinada expresada como RQ (VCO_2/VO_2) muestra la energía que se está consumiendo y la participación de las grasas o de los carbohidratos en ese total. De este modo, la calorimetría indirecta consiste en medir durante el reposo o el ejercicio el O_2 consumido y el CO_2 producido y desechando la participación de las proteínas se puede conocer la proporción de cada sustrato y la energía aportada. Para llevar a cabo este procedimiento tiene que existir un equilibrio estable en los parámetros respiratorios del sujeto que sólo puede conseguirse en intensidades submáximas y en esfuerzos mantenidos en el tiempo evitando una participación elevada del metabolismo anaeróbico (De Paz y Garatachea, 2010).

A pesar de que podemos obtener los datos deseados utilizando la *Tabla 1* hay autores que proponen diferentes ecuaciones para conocer la cantidad de CHO o de grasas que consumimos por minuto. Así Pérez Martín et al. (2001), Brun et al. (2011) y Frayn (1983) proponen como tasa de oxidación de CHO (CHOox) en mg/min = $4.585VCO_2 - 3.2255VO_2$ y como tasa de oxidación de lípidos (FATox) en mg/min = $-1.7012VCO_2 + 1.6946 VO_2$. Para

conocer el porcentaje de utilización de los sustratos Brandou et al. (2005) proponen para hallar el porcentaje de contribución energética de las grasas (%FAT) = $[(1-RQ/0,29)]*100$ y como porcentaje de contribución energética de los HCO (%CHO) = $[(RQ-0,71)/0,29]*100$. De igual modo, la energía expedida (EEx) medida en kilocalorías (Kcal) puede ser hallada mediante $(kcal/min) = ((1.106*RQ)+3,941)*VO_2$ (l/min) (Weir, 1949; Alkahtani, 2014).

Los procedimientos utilizados para hallar el FATmax varían en función del autor o estudio realizado. Como norma general consiste en realizar una prueba en tapiz rodante o en cicloergómetro y someter al sujeto a varios estadios con intensidad constante intraestadio y creciente interestadio. Los protocolos en cicloergómetro consisten en comenzar a una intensidad baja de 25 a 95 W incrementando la intensidad cada estadio con otros 25 ó 35 W (Riddell et al., 2008; Achten et al., 2002; Alkahtani et al., 2013). Si se realiza en tapiz rodante, el protocolo utilizado consiste en realizar una prueba submáxima, continua o discontinua y rectangular con intensidad creciente en escalón. Este ejercicio incremental en escalón se realiza sobre un rango determinado de intensidades realizando estadios con una duración que permita alcanzar un estado estable. Se puede empezar en torno a 6 km/h y se incrementa 1,2 km/h en cada escalón o estadio (Lima-Silva et al., 2010). También hay autores que han calculado a la vez el pico de consumo de oxígeno y el FATmax utilizando un ejercicio gradual seguido después de 10 minutos de recuperación de una prueba andando en estadios de 4 minutos (Lazzer et al., 2010). Hay autores que hasta han determinado el FATmax durante un prueba de esfuerzo (Ferreira et al., 2013).

El núcleo de la prueba consiste en utilizar un analizador de gases para registrar la utilización de O₂ y la producción de CO₂ con el fin de hallar el RQ. Los estadios deben mantenerse el tiempo suficiente para conseguir un estado estable y no subestimar el consumo de O₂. La prueba se desarrolla hasta que la contribución de las grasas es igual a cero, es decir cuando RQ=1. De igual manera muchos autores, como se detalla en el párrafo siguiente recomiendan realizar recuperaciones suficientes entre estadios para evitar la influencia que puede tener el esfuerzo realizado en los estadios anteriores.

Así Perez-Martin et al. (2001) recomiendan 4 ó 5 cargas de 6 minutos aumentando la intensidad hasta el máximo tolerable donde los parámetros respiratorios nos lo permiten (RQ =1). Se registrarían los datos obtenidos entre el minuto 5 y 6 ya que es cuando se produciría el estado estable. Perez-Martin et al. (2001) también recomiendan estadios de 6 minutos pero tomando los valores de los 2 últimos minutos. Alguna investigación ha concluido que estadios de 3 minutos son suficientes para conseguir un estado estable y poder tomar los datos (Achten et al., 2002). Alkahtani et al. (2013) recomiendan estadios de 4 minutos recuperando 4 minutos entre estadio hasta alcanzar RQ=1 registrando los dos últimos minutos. Hay autores

que van más allá y establecen que para personas entrenadas puede ser suficiente estadios de 3 minutos, mientras que para personas extremadamente sedentarias son necesarios estadios de 6 minutos ya que los estadios de 3 minutos se quedan escasos (Bordenave, Flavier, Fedou, Brun y Mercier 2007). Otros autores argumentan que siempre es preferible los estadios de 6 minutos (Brun et al., 2011). Achten et al. (2002) proponen sets de 5 minutos registrando los dos últimos comenzando la prueba en cicloergómetro a 95 W e incrementando 35W cada 5 minutos hasta llegar a RQ=1 con una recuperación adecuada entre los sets. Los mismos autores defienden que los sets de 3 minutos son tan válidos como los de 5.

Los autores expresan los datos a modo de curva donde puede observarse la oxidación de grasas relaciona con la intensidad de ejercicio expresada generalmente como porcentaje del VO_2 max o de la frecuencia cardíaca máxima (FCmax). El incremento en la oxidación de lípidos adopta la forma de una curva a modo de campana: después del pico, la oxidación de grasas se reduce cuando se llega a intensidades más altas (Brun et al., 2012). Un ejemplo de estas curvas y de los valores de referencia de diferentes poblaciones puede observarse en *la Figura 3*. Los deportistas entrenados parece ser que alcanzan FATmax al 65% del VO_2 máx ó al 75% de la FCmax. Parece ser que la zona óptima de oxidación de grasas es un 10% alrededor de dicha zona (Achten et al., 2002).

Además del FATmax, algunos autores definen otros términos como FATmin: Intensidad de ejercicio donde la oxidación de grasas es 0 ($RQ \geq 1$) y zona FATmax: intensidades comprendidas un 10% alrededor del FATmax y donde la oxidación de grasas es óptima (Achten et al., 2002).

Como vemos, la literatura especializada propone realizar las pruebas en cicloergómetro o en tapiz rodante realizando tantos estadios como sean necesarios hasta llegar a RQ=1 empezando en intensidades bajas y progresando a intensidades moderadas. Cada estadio debe tener una duración mínima de 3 minutos y debe realizarse a intensidad constante. Cada nuevo estadio se incrementa la intensidad y se recomienda realizar períodos de recuperación de duración suficiente entre estadios. De este modo y registrando los datos del último minuto o de los dos últimos minutos (en función de la duración del estadio) podemos obtener la energía utilizada y el porcentaje de contribución de las grasas y de los HCO así como las Kcal producidas por cada sustrato utilizando la *Tabla 1* o las ecuaciones propuestas por los autores vistas anteriormente. Conociendo las kilocalorías (kcal) que aporta cada sustrato al monto total durante dicho ejercicio podemos conocer los gramos metabolizados de cada sustrato sabiendo que 1 gramo de HCO y de grasas producen en su combustión 4 y 9 kcal respectivamente.

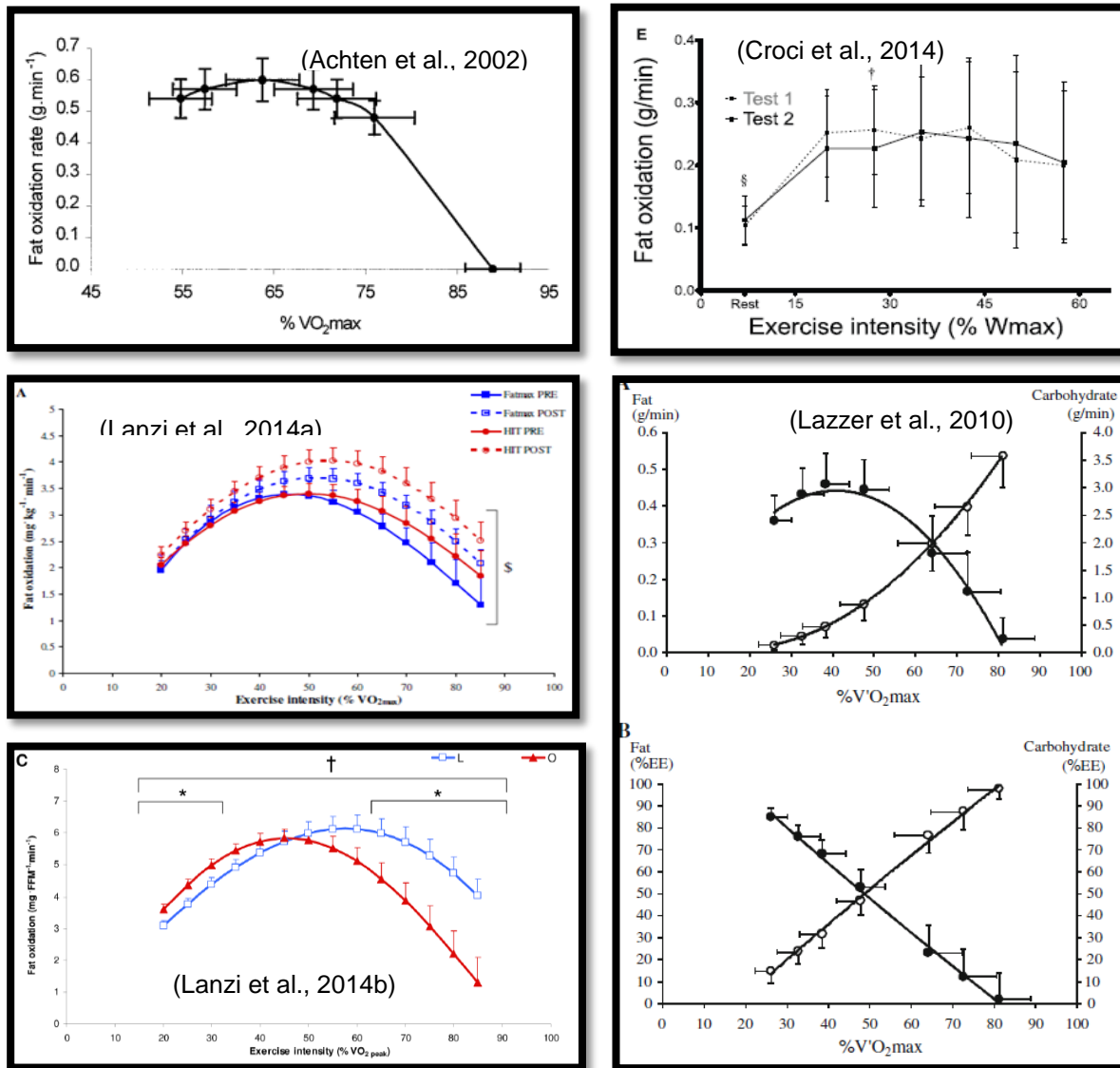


Figura 3: Representación gráfica de la determinación y presentación del FATmax expresado como % del VO₂max o como % de Wmax (g/min; mg/kg/min) según diferentes autores

En definitiva, atendiendo a los antecedentes descritos, se puede establecer la hipótesis de que un programa de entrenamiento aeróbico en adultos que se inician en el *running* va a mejorar, en diferentes cuantías, los diferentes parámetros indicadores de la condición física aeróbica, así como la economía de carrera y la utilización de grasas en el ejercicio incluyendo el FATmax.

4.-ESTUDIO EXPERIMENTAL

4.1.-Objetivo

El propósito de esta fase es llevar a la práctica los conocimientos conceptuales y procedimentales referidos en el apartado “3.-Revisión bibliográfica”. Para ello se procede a evaluar diferentes parámetros de la condición física (capacidad y resistencia aeróbica, economía de carrera y utilización de grasas) en un grupo de iniciación al *running* antes y después de un programa de entrenamiento de 16 semanas, que se desarrolla a través del servicio de deportes de la Universidad de León (ULe) con el propósito de observar las modificaciones que se puedan producir.

4.2.-Metodología

Se realiza, en primer momento, una recogida de datos básicos de los sujetos (edad, peso y talla). Posteriormente es necesario la realización de una prueba de esfuerzo máxima, continua, progresiva y triangular hasta el agotamiento con el fin de determinar parámetros ergoespirométricos máximos como el $VO_2\text{max}$, ventilación (VE), FCmax, velocidad máxima, etc. además de identificar otros indicadores submáximos como el umbral aeróbico o ventilatorio 1 (VT1) y el umbral anaeróbico o ventilatorio 2 (VT2). A la semana siguiente, y tras analizar la prueba máxima anterior y haber creado tres grupos de nivel (nivel alto, nivel medio y nivel bajo) se realiza otra prueba ergoespirométrica submáxima, continua, progresiva, rectangular en escalón hasta alcanzar el $RQ=1$ para determinar el FATmax y observar el comportamiento de la oxidación de grasas y de CHO a diferentes velocidades y porcentajes del $VO_2\text{max}$. Durante esta prueba también se obtiene la economía de carrera al cumplir el protocolo de Shaw, Ingham y Folland (2014).

4.2.1.-Sujetos

14 adultos de ambos sexos (5 hombres y 9 mujeres) que se inician en el *running* a través del servicio de Deportes de la ULe. Los datos de talla, peso, edad e Índice de Masa Corporal (IMC) pueden verse en la *Tabla 4*. Se han establecido como criterios de exclusión la no realización de las 2 sesiones de entrenamiento semanales y el haber abandonado el programa durante más de 3 semanas. Todos han participado de forma voluntaria y previamente han firmado un consentimiento informado tras las correspondientes explicaciones sobre las pruebas a realizar. La información se dio en dos sesiones previas al comienzo de las pruebas iniciales. El entrenamiento realizado en el programa de iniciación al *running* de la ULe ha consistido en 2 sesiones de entrenamiento semanales de 60 a 90 minutos de duración. Las

sesiones han tenido contenidos de movilidad, de fuerza y sobre todo de resistencia aeróbica con métodos continuos e interválicos.

4.2.2.-Pruebas de evaluación, protocolos y materiales

Prueba de esfuerzo ergoespirométrica máxima (VO₂max y umbrales aeróbico y anaeróbico): Se realizó un test máximo, continuo, triangular, progresivo e incremental en rampa con análisis de gases (Medisoft®, Med Graphics® CPX Plus. St. Paul, Minnesota. USA) en tapiz rodante (Cosmos®). Se inicia a 5 ó 6 km/h según el nivel del sujeto y se incrementa 1 km/h al minuto de manera progresiva manteniendo una pendiente constante de 1%. La prueba finaliza al llegar el sujeto al agotamiento. Los criterios para verificar la que la prueba fue máxima fueron alcanzar >95% de la FC máxima teórica (FCmaxteórica); RQ>1,15 y alcanzar una meseta en el VO₂. La FC se registraba tanto mediante una banda pectoral con registro de la FC (PolarTeam®, Polar® Electro Oy, Finland) como mediante una monitorización continua con electrocardiograma de 12 derivaciones (Medcar®). Nos permite registrar parámetros ergoespirométricos máximos (VO₂, VCO₂, RQ, eqVO₂, etc.) e identificar parámetros submáximos como el VT1 y el VT2.

Prueba de esfuerzo submáxima (Economía de carrera y FATmax): Evalúa la utilización de la oxidación de grasas durante el ejercicio y del VO₂ necesario para trasladar 1 kg de masa corporal 1 km. Test submáximo, continuo, rectangular y progresivo en escalón. Se realizan estadios de 4 minutos manteniendo un equilibrio estable a la misma velocidad. Se comienza a 5, 6 ó 7,5 km/h según el nivel del sujeto (G1, G2, G3), y se incrementa la velocidad en 0,5 km/h al terminar el estadio. Se recogen parámetros respiratorios (VO₂, VCO₂ y RQ) y la FC entre el minuto 3 y el 4 de cada escalón. La prueba finaliza cuando RQ≥1. Se obtienen datos de energía expedida en kcal/min (Eex), porcentaje de utilización de grasas (%FAT), de hidratos de carbono (%CHO) y los gramos consumidos al minuto de sendos sustratos (FATox y CHOox). Se utiliza el mismo tapiz rodante, el mismo analizador de gases y la misma banda pectoral de registro de la FC que en el protocolo de prueba de esfuerzo máxima.

4.2.3.-Tratamiento de los datos

Una vez realizadas las pruebas y obtenidos los informes correspondientes los datos son introducidos en una hoja de cálculo Microsoft Excel 2013. Posteriormente son tratados estadísticamente con el software SPSS® 21.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, Estados Unidos). Dada la naturaleza de los datos, tras llevar a cabo la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene para la igualdad entre varianzas, se decidió aplicar pruebas paramétricas en el análisis de los datos. Para el contraste de dos muestras

relacionadas se utilizó la prueba de t de Student. Las variables se expresaron como media y desviación estándar. El nivel de significación se fijó con un valor de $p < 0,05$.

5.-RESULTADOS

La edad y la ausencia de modificaciones significativas tras el programa de iniciación al *running* en el peso, talla e IMC se expresan en la *Tabla 4*.

Tabla 4: Parámetros antropométricos antes (PRE) y después (POST) de 16 semanas de entrenamiento de running. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento.

PARAMETROS ANTROPOMETRICOS	PRE	POST	% CAMBIO
Edad (años)	43,36 (10,92)	43,71 (10,96)	0,82
Peso (Kg)	65,89 (8,39)	65,88 (8,34)	-0,015
Talla (m)	1,69 (0,07)	1,69 (0,07)	0,047
IMC (kg/m ²)	19,50 (2,40)	19,49 (2,40)	-0,041

En la *Tabla 5* se muestra cómo el entrenamiento logra incrementos significativos en la velocidad de carrera, en el $VO_2\max$ y en el pulso de oxígeno (VO_2/FC ; el cual expresa la eficiencia cardiovascular al reflejar la cantidad de oxígeno transportada en cada latido). La prueba cumplió los criterios necesarios para poder ser considerada máxima al alcanzar el 100% de la FC_{\max} teórica y tener un $RQ > 1,15$.

*Tabla 5: Parámetros ergoespirométricos máximos antes (PRE) y después (POST) de 16 semanas de entrenamiento de running. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento y nivel de significación. *= $p < 0,05$; **= $p < 0,001$.*

PARAMETROS MAXIMOS	PRE	POST	% CAMBIO
Velocidad (km/h)	13,00 (2,18)	13,71 (2,33)	5,49***
$VO_2\max$ (L/min)	2,57 (0,64)	2,73 (0,64)	6,19*
$VO_2\max$ (ml/kg/min)	39,07 (8,52)	41,61 (9,09)	6,49*
$VO_2\max$ (%Teórico)	125,57 (21,02)	134,57 (28,52)	7,16*
Ventilación (L/min)	106,87 (30,71)	112,19 (29,66)	4,98
Ventilación (% Teórico)	96,78 (16,22)	100,92 (13,11)	4,27
RQ (VCO_2/VO_2)	1,27 (0,06)	1,25 (0,06)	-1,49
FC_{\max} (ppm)	177,28 (9,80)	177,14 (7,81)	-0,08
FC_{\max} (% FC_{\max} Teórica)	100,47 (4,01)	100,67 (4,64)	0,20
Pulso O_2 (VO_2/FC)	14,61 (3,34)	15,70 (3,35)	7.48*

Nos encontramos con un grupo de población con un $VO_2\max$ similar al encontrado en otros adultos sedentarios de la misma edad media como los de Herdy y Uhlendo (2011) que llegan a 39 (6,8) ml/kg/min.

En la *Tabla 6* se muestra cómo el entrenamiento logra mejorar significativamente la velocidad de carrera, el VO₂, la ventilación, el pulso de oxígeno y la FC a la que se identifica el umbral aeróbico (VT1). Esta mejora no se produce en los equivalentes ventilatorios (es decir, en la eficiencia ventilatoria, ya que refleja los litros de aire que se necesitan para introducir 1 litro de oxígeno).

*Tabla 6: Parámetros ergoespirométricos en el umbral aeróbico o VT1 antes (PRE) y después (POST) de un programa de entrenamiento de running de 16 semanas. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento y nivel de significación. *= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$.*

PARAMETROS UMBRAL AEROBICO (VT1)	PRE	POST	% CAMBIO
Velocidad (km/h)	7,57 (1,22)	8,89 (1,54)	17,35***
VO ₂ max (ml/kg/min)	23,93 (6,29)	29,28 (6,33)	22,42***
VO ₂ max (%VO ₂ max)	61,60 (12,70)	71,14 (8,48)	15,48*
Ventilación (L/min)	42,13 (14,54)	54,12 (13,24)	28,46**
VE/VO ₂	27,16 (3,34)	28,59 (3,32)	5,26
VE/VCO ₂	31,64 (2,82)	34,56 (12,70)	9,24
RQ (VCO ₂ /VO ₂)	0,85 (0,07)	0,90 (0,11)	5,99
FC (ppm)	126,57 (13,81)	138,64 (9,96)	9,53**
FC (%FCmax)	71,85 (6,67)	80,00 (4,65)	11,33***
Pulso O ₂ (VO ₂ /FC)	12,37 (2,83)	13,95 (3,30)	12,77**

En la *Tabla 7* se muestra cómo el entrenamiento logra mejorar significativamente la velocidad de carrera, el VO₂, la ventilación, el pulso de oxígeno y el equivalente ventilatorio del oxígeno al que se identifica el umbral anaeróbico (VT2). No se producen cambios en la FC.

*Tabla 7: Parámetros ergoespirométricos en el umbral anaeróbico o VT2 antes (PRE) y después (POST) de un programa de entrenamiento de running de 16 semanas. Media y desviación estándar. Efecto de cambio con el entrenamiento y nivel de significación. *= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$.*

PARAMETROS UMBRAL ANAEROBICO (VT2)	PRE	POST	% CAMBIO
Velocidad (km/h)	10,73 (1,86)	11,92 (1,92)	11,11***
VO ₂ max (ml/kg/min)	32,21 (6,38)	36,21 (8,12)	12,40***
VO ₂ max (%VO ₂ max)	83,06 (5,82)	87,08 (5,64)	4,83
Ventilación (L/min)	73,20 (21,46)	86,60 (23,78)	18,30***
VE/VO ₂	34,50 (4,92)	36,14 (4,70)	4,75*
VE/VCO ₂	32,50 (3,81)	32,64 (3,67)	0,43
RQ (VCO ₂ /VO ₂)	1,06 (0,06)	1,11 (0,06)	5,28*
FC (ppm)	161,28 (10,30)	163 (10,54)	1,06
FC (%FCmax)	91,02 (4,24)	91,97 (3,24)	1,04
Pulso O ₂ (VO ₂ /FC)	13,23 (3,22)	14,66 (3,50)	10,76**

En la *Tabla 8* se muestra como el entrenamiento no logra mejoras significativas de la economía de carrera para cada grupo de nivel.

Tabla 8: Economía de carrera (ml/kg/min) a diferentes velocidades según el nivel del grupo (G1: nivel bajo; G2: nivel medio; G3: nivel alto) antes (PRE) y después (POST) de un programa de iniciación al running de 16 semanas. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio (%) con el entrenamiento y nivel de significación. *= $p<0,05$; **= $p<0,01$; ***= $p<0,001$.

Km/h:		5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Economía de carrera (G1)	PRE	188,5 (30)	185,4 (27,81)	180,3 (12,9)	197,5 (22,2)	137,1 (127,3)						
	POST	141,6 (89,9)	131,1 (76,1)	167 (94,5)	136,5 (128,9)	192, (178,2)						
	%	-24,88	-29,29	-7,37	-30,9	40						
Economía de carrera (G2)	PRE			215,4 (19,2)	244 (27,01)	278 (28,8)	328,8 (16,1)	360 (30,6)	300 (169,9)	153,6 (211)		
	POST			213,8 (19,3)	250,7 (23,8)	300 (81,5)	278,4 (164,8)	283,7 (166,7)	306,62 (176)	84,98 (190,)		
	%			-0,74	2,74	7,91	-15,32	-21,19	2,2	-44,67		
Economía de carrera (G3)	PRE						318 (34,6)	342 (44,3)	366 (39,80)	390 (37,3)	416 (49,9)	450 (42,4)
	POST						327 (40,6)	321,7 (35,3)	272,7 (190,7)	289 (206,3)	291,08 (263)	272,65 (385,6)
	%						2,83	-5,92	-20,26	-25,89	-30,02	-39,41

Esto se debe posiblemente a la heterogeneidad del grupo, al escaso nivel inicial y a la necesidad de introducir más carga de entrenamiento para conseguir las adaptaciones deseadas.

En la *Tabla 9* se muestra como el entrenamiento no logra producir cambios en la utilización de grasas y HCO (%FAT y %HCO), en la tasa de oxidación de grasas y de HCO (FATox y HCOox) y en la energía expedida (Eex).

Esto contrasta con lo encontrado por otros autores donde sí se encuentran mejoras en la utilización de grasas tras un período de entrenamiento (Nordby et al., 2006; Alkahtani et al., 2013; Talanian et al., 2007). Croci et al. (2014) estudiando adultos en torno a los 30 años medianamente activos encontraron un FATmax entre 0,2 y 0,3 g/min. Es un dato más cercano a nuestro grupo de población que los vistos en deportistas entrenados que rondan 0,4-0,6 g/min (Achten et al., 2002; Lazzer et al., 2010). Esto se debe al bajo nivel de condición física de partida de los sujetos, a la gran heterogeneidad del grupo y a que la carga de entrenamiento recibida no es suficiente para inducir estas adaptaciones.

Tabla 9: Tasa de oxidación de grasas (FATox), tasa de oxidación de CHO (CHOox), porcentaje de utilización de grasas (%FAT), porcentaje de utilización de CHO (%CHO) y energía expedita (Eex) a diferentes porcentajes del VO₂max antes (PRE) y después (POST) de un entrenamiento de running de 16 semanas. Media y desviación estándar. Porcentaje de cambio con el entrenamiento (%).

%VO ₂ max		45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%
FATox (g/min)	PRE	0,18 (0,06)	0,15 (0,06)	0,16 (0,10)	0,13 (0,14)	0,14 (0,12)	0,19 (0,16)	0,09 (0,06)	0,14 (0,11)
	POST	0,22 (0,10)	0,22 (0,09)	0,18 (0,09)	0,12 (0,09)	0,12 (0,04)	0,10 (0,05)	0,10 (0,04)	0,10 (0,05)
	% cambio	22,22	46,66	12,5	-7,69	-14,28	-47,36	11,11	-28,57
HCOox (g/min)	PRE	0,84 (0,21)	1,27 (0,64)	1,11 (0,24)	1,59 (0,82)	1,78 (0,86)	1,88 (0,50)	2,59 (0,49)	2,01 (0,59)
	POST	0,10 (0,22)	1,30 (0,63)	1,42 (0,85)	1,79 (0,88)	1,95 (1,13)	2,55 (1,05)	2,35 (1,18)	2,02 (0,39)
	% cambio	11,9	102,36	27,92	12,57	9,55	35,63	-9,26	0,49
%FAT (%Kcal/mi)	PRE	37,24 (12,76)	28,96 (17,52)	26,21 (13,49)	20,69 (24,52)	19,31 (17,85)	21,84 (18,99)	9,48 (5,89)	17,24 (12,27)
	POST	38,36 (12,96)	34,48 (14,30)	22,07 (8,31)	19,31 (13,04)	13,79 (5,45)	13,79 (6,90)	11,03 (4,49)	12,07 (5,97)
	% cambio	3	19,06	-15,79	-6,67	-28,58	-36,85	16,35	-29,98
%CHO (Kcal/min)	PRE	62,76 (12,76)	71,24 (17,50)	73,79 (13,49)	79,31 (24,52)	80,69 (17,85)	78,50 (18,75)	69,57 (40,57)	82,76 (12,27)
	POST	61,64 (12,96)	65,52 (14,30)	77,93 (8,31)	80,89 (12,82)	86,21 (5,45)	85,21 (6,63)	88,97 (4,49)	87,93 (5,97)
	% cambio	-1,78	-8,02	5,61	1,99	6,84	8,54	27,88	6,24
Eex	PRE	4,90 (0,46)	6,30 (2,27)	7,64 (3,70)	7,25 (2,50)	8,06 (2,53)	8,91 (1,56)	10,60 (1,33)	8,91 (1,97)
	POST	5,87 (1,10)	6,96 (1,96)	7,04 (2,63)	7,91 (2,89)	8,46 (0,32)	10,57 (3,68)	9,80 (0,49)	8,53 (1,53)
	% cambio	19,79	10,47	-7,85	9,1	4,96	18,63	-7,54	-4,26

Además, en la Figura 4 podemos ver:

A) Cómo no se producen cambios en el FATmax con el entrenamiento posiblemente debido al bajo nivel de partida y a que la carga de entrenamiento realizada no ha sido suficiente para generar estas adaptaciones.

B) Cómo la curva de oxidación de grasas a diferentes porcentajes del VO₂max después (POST) del entrenamiento tiene un forma mejor dibujada y más aproximada a la literatura científica que la curva de antes (PRE) del entrenamiento. En PRE no se observa dónde se alcanza el FATmax (posiblemente más a la izquierda) pero en POST se alcanza al 45-50% del VO₂max (similar a lo indicado por la literatura científica (Brun et al., 2012) y más hacia la derecha.

C) Cómo el “crossover” aparece en PRE entre el 40 y el 45% del VO₂max mientras que en POST el cruce no se ha registrado. Vemos cómo a intensidades bajas predominan (en

%) los lípidos y al aumentar la intensidad predominan los HCO tal y como indica la literatura (Brooks y Mercier, 1994). El punto de cruce que se observa (*crossover*) debería desplazarse hacia la derecha con el entrenamiento, lo cual no ha sido observado en este estudio y no se ha añadido la figura.

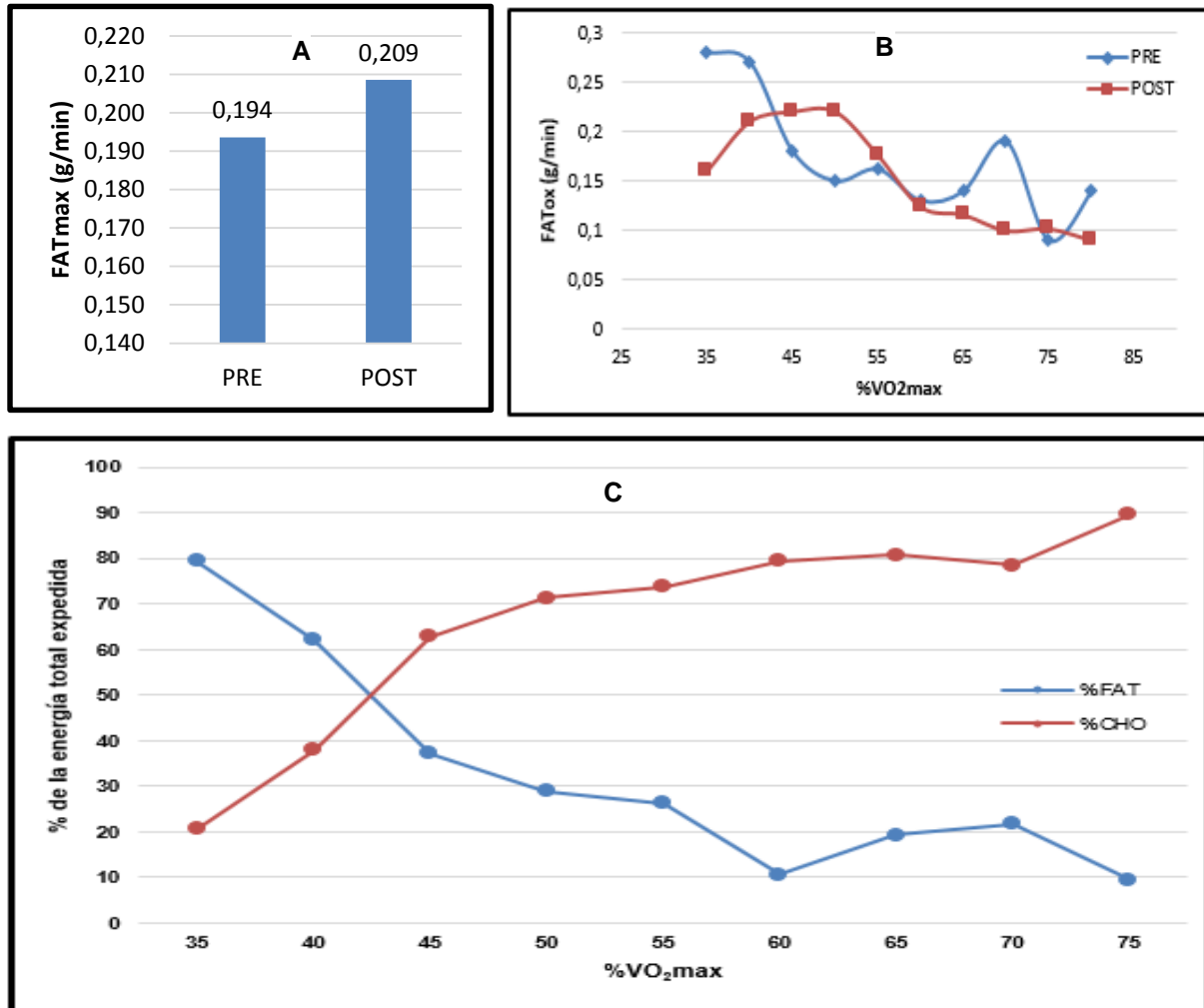


Figura 4: A) Media del FATmáx antes (PRE) y después (POST) del entrenamiento de running. B) Oxidación de grasas (FATox; g/min) antes (PRE) y después (POST) del entrenamiento de running. C) Dinámica del porcentaje de utilización de HCO y grasas a diferentes porcentajes del VO₂max antes del programa de entrenamiento de running.

Como observamos, no se han producido cambios y el comportamiento esperado (referido en la literatura científica) no se cumple, salvo en determinados parámetros. Esto me hace reflexionar sobre los factores que pueden haber influido, como la baja forma inicial, la escasa carga de entrenamiento, la heterogeneidad del grupo o el cumplimiento o no de las recomendaciones nutricionales antes de las pruebas. Además, me permite darme cuenta de lo complejo que puede resultar trasladar un concepto teórico a la práctica a la hora de buscar su aplicación y su utilidad.

6.-CONCLUSIONES

1.- Un programa de entrenamiento de iniciación al *running* de 2 sesiones/semana durante 16 semanas consigue mejorar la capacidad aeróbica, la eficacia cardiovascular, el rendimiento o tiempo hasta la extenuación y los umbrales aeróbicos y anaeróbicos (indicadores de resistencia aeróbica) en un grupo de personas adultas con niveles de condición física muy heterogéneos.

2.- No ha habido mejoras significativas en la economía de carrera para ninguno de los tres grupos. Se observa una tendencia a la mejorar en la mayoría de los casos pero no una mejora estadísticamente relevante. No ha habido mejoras significativas en el FATmax, el cual se encuentra muy reducido en comparación con otras poblaciones, ni en la utilización de grasas en el ejercicio. Puede estar vinculado a la alta heterogeneidad del grupo, a su nivel de iniciación y a que 2 días a la semana y 16 semanas de entrenamiento no es una carga de entrenamiento suficiente para producir estas adaptaciones.

3.- No siempre la realización estandarizada y rigurosa de los procedimientos y metodologías descritos en la literatura permiten obtener las variables y resultados perseguidos, de aquí la necesidad de llevarlos a la práctica para reconocer su posible aplicabilidad y utilidad.

7.-APLICABILIDAD

El presente trabajo y las diferentes fases que lo componen han tenido una aplicación directa sobre mi proceso formativo permitiéndome desarrollar numerosos conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales como explico a continuación.

Fase de revisión bibliográfica: La realización de este apartado me ha permitido mejorar mis habilidades de búsqueda de información científica a través de bases de datos especializadas. También me ha permitido aumentar mi conocimiento sobre la dinámica de grasas durante el ejercicio, el FATmax y los protocolos que define la literatura científica para hallarlo comparando las diferentes aportaciones de los autores.

Fase de estudio experimental: Esta fase me ha servido para desarrollar habilidades relacionadas con la utilización de material de evaluación de la condición física como el tapiz rodante, el analizador de gases y sus componentes (neumotacógrafo, máscara facial...), bandas con registro de la frecuencia cardíaca, etc. También ha sido necesario aprender a

interpretar los informes derivados de las pruebas para introducir los datos a una hoja Microsoft Excel 2013 para su tratamiento, análisis y para la generación de figuras.

De la organización del estudio: Para llevar a cabo la fase experimental y la realización de las pruebas he tenido que ponerme al frente de un grupo de 14 sujetos organizando todos los procesos que se han llevado a cabo desarrollando habilidades de organización, coordinación, control, socialización y comunicación.

Del trato con los participantes: He aprendido la importancia de dar retroalimentación a los participantes inmediatamente después de realizar las pruebas de evaluación ya que demandan conocer cuáles son sus resultados y qué significan. Hecho que ha exigido el tener que repasar o volver a estudiar y actualizar diferentes temas. De igual modo, es muy importante explicar adecuadamente previo al inicio de la prueba en qué consiste la prueba y qué información se espera conseguir para que el sujeto tenga conocimientos adecuados y aumente su motivación.

Analizar la información: Esta fase me ha permitido ver cómo los distintos estudios de otros autores dan diferentes resultados a los encontrados en este estudio. Eso se debe al diferente grupo de población estudiado y a su mayor o menor homogeneidad. Esta fase de análisis permite ver diferencias con otros estudios y ver a qué se deben para poder sacar conclusiones.

Aplicación práctica: A modo de síntesis puedo decir que la realización de este TFG con sus dos fases me ha permitido entender la importancia de fundamentarse y basarse en los estudios, aportaciones y conocimientos generados por otros autores para poder trabajar o intervenir en los sujetos o clientes de la forma más segura y eficaz. Sin embargo, también he podido constatar la larga distancia que, a veces, separa la teoría de la aplicación práctica. En la evaluación del FATmax, a pesar de seguir rigurosamente los procedimientos y los métodos referidos, no se obtienen los mismos resultados que en la literatura científica. Esto me hace reflexionar aún más en las diferentes variables que pueden afectar al entrenamiento y a las evaluaciones, en las diferencias existentes entre los grupos de población utilizados en otros estudios (generalmente atletas entrenados) y en la idoneidad de los protocolos para cada grupo de población.

8.-AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha supuesto un gran esfuerzo y dedicación a lo largo de todo el curso académico por mi parte. Ha sido una gran satisfacción el haber podido compartir este proceso con las siguientes personas a las que quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

Al grupo de investigación de Valoración Funcional de la Condición Física en Relación con la Salud, el Entrenamiento y el Rendimiento Físico-Deportivo (VALFIS) de la ULe por permitirme utilizar los laboratorios y el material correspondiente con toda confianza ofreciendo siempre facilidades para el desempeño de las tareas.

A mi tutor, D. José Gerardo Villa Vicente, por guiarme durante todo el proceso de la mejor forma posible, por transmitirme su profesionalidad y dedicación y por estar siempre dispuesto y atento a ofrecer correcciones para la mejora del trabajo.

A David Suárez Iglesias por su apoyo y colaboración durante todo el curso, por ayudarme con las pruebas de evaluación y con el tratamiento de los datos.

A Marcos López Flores por su ayuda y buen humor a la hora de introducir los datos de los informes de las pruebas a la hoja de cálculo Microsoft Excel 2013.

Finalmente quiero agradecer a la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León, a sus profesores, a su personal de secretaría, de conserjería, de limpieza, del servicio de deportes, de la biblioteca y a todos los compañeros estudiantes con los que he compartido estos 4 años el haber contribuido de manera tan notable a mi formación.

8. FUENTES DOCUMENTALES

8.1-Publicaciones científicas

- Achten, J., Gleeson, M. y 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.
- Achten, J., y Jeukendrup, A.E. (2004). Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition*, 20 (7), 716-727.
- Achten, J., Venables, M. C. y Jeukendrup, A. E. (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism*, 52 (6), 747-752.
- Ahlborg, G., Felig, P., Hagenfeldt, L., Hendler, R., y Wahren, J. (1974). Substrate turnover during prolonged exercise in man. Splanchnic and leg metabolism of glucose, free fatty acids, and amino acids. *J Clin Invest*, 53 (4), 1080-1090.
- Alkahtani, S. A., King, N. A., Hills, A. P. y Byrne, N. M. (2013). Effect of interval training intensity on fat oxidation, blood lactate and the rate of perceived exertion in obese men. *SpringerPlus*, 2 (1), 532.
- Alkahtani, S. A. (2014). Comparing Fat Oxidation in an Exercise Test with Moderate-Intensity Interval Training. *Journal of sports science & medicine*, 13 (1), 51-58.
- Barwell, N.D., Malkova, D., Leggate, M., y Gill J.M.R. (2009). Individual responsiveness to exercise-induced fat loss is associated with change in resting substrate utilization. *Metab Clin Exp*, 58 (9), 1320-1328.
- Bensimhon, D.R., Kraus, W.E., y Donahue, M.P. (2006). Obesity and physical activity: a review. *Am Heart J*, 151 (3), 598-603.
- Bergman, B.C., y Brooks G.A. (1999). Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *J Appl Physiol*, 86 (2), 479-487.
- Bordenave, S., Flavier, S., Fedou, C., Brun, J. y Mercier, J. (2007). Exercise calorimetry in sedentary patients: procedures based on short 3 minutes' steps underestimate carbohydrate oxidation and overestimate lipid oxidation. *Diabetes Metab*, 33 (5), 379-384.

- Brandou, F., Savy-Pacaux, A. M., Marie, J., Bauloz, M., Maret-Fleuret, I., Borrocoso, S. y Brun, J. F. (2005). Impact of high-and low-intensity targeted exercise training on the type of substrate utilization in obese boys submitted to a hypocaloric diet. *Diabetes & metabolism*, 31 (4), 327-335.
- Brooks, G. A., y Mercier, J. (1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of Applied Physiology*, 76 (6), 2253-2261.
- Brun, J.F., Boegner, C., Raynaud, E., Mercier, J. (2009). Contrairement à une idée reçue, les femmes n'oxydent pas plus de lipides à l'effort que les hommes, mais leur Lipoxmax survient à une puissance plus élevée. *Sci Sports*, 24 (1), 45-48.
- Brun, J.F., Fedou, C., Grubka, E., Karafiat, M., Varlet-Marie E., y Mercier J. (2008). Moindre utilisation des lipides à l'exercice chez le diabétique de type 1. *Sci Sports*, 23 (3), 198-200.
- Brun, J. F., Romain, A. J., Varlet-Marie, E., y Mercier, J. (2012). Measurement and Physiological Relevance of the Maximal Lipid Oxidation Rate During Exercise (LIPOXmax). *INTECH Open Access Publisher*. Recuperado el 2 de febrero de 2015 de <http://cdn.intechweb.org/pdfs/28440.pdf>.
- Brun, J. F., Romain, A. J., y Mercier, J. (2011). Maximal lipid oxidation during exercise (Lipox max): From physiological measurements to clinical applications. Facts and uncertainties. *Science & Sports*, 26 (2), 57-71.
- Chenevière, X, Borrani, F, Sangsue, D, Gojanovic, B, y Malatesta, D. (2011). Gender differences in whole-body fat oxidation kinetics during exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*, 36 (1), 88-95.
- Cornelissen, V. A. y Fagard, R. H. (2005). Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure-regulating mechanisms, and cardiovascular risk factors. *Hypertension*, 46 (4), 667-675.
- Croci, I., Borrani, F., Byrne, N., Wood, R., Hickman, I., Cheneviere, X. y Malatesta, D. (2014). Reproducibility of Fatmax and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. *PloS one*, 9 (6), e97930. Recuperado el 3 de febrero 2015 de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/10.1371-journal.pone.0097930.PDF>.
- Del Coso, J., Hamouti, N., Ortega, J.F. y Mora-Rodriguez, R. (2010) Aerobic fitness determines whole-body fat oxidation rate during exercise in the heat. *Appl Physiol Nutr Metab*, 35 (6), 741-748.

- De Paz Fernández, J.A. y Garatachea Vallejo, N. (2010). Valoración del gasto energético en el ejercicio. En J. López Chicharro y A. Fernández Vaquero (Ed.), *Fisiología del ejercicio* (pp. 222-239). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Desplan, M., Avignon, A., Mestéjanot, C., Outters, M., Sardinoux, M., y Fedou, C. (2010). Impaired ability to oxidize lipids at exercise in severe vs. mild to moderate sleep apnea/hypopnea obstructive sleep syndrome (OSAS). *Fund Clin Pharmacol*, 24, 66.
- Febbraio, M.A., Snow R.J., Hargreaves M., Stathis C.G., Martin I.K. y Carey M.F. (1994) Muscle metabolism during exercise and heat stress in trained men: effect of acclimation. *J Appl Physiol*, 76 (2), 589-597.
- Ferreira, S. S., Pereira, J. L., Alves, R. C., Redkva, P. E., Elsangedy, H. M., Krinski, K., ... Da Silva, S. G. (2013). Are sedentary women able to self-select a walking intensity that corresponds to maximal fat oxidation (fatmax)? *Official Research Journal of the American Society of Exercise Physiologists*, 16 (2), 32-39.
- Folch, N., Péronnet, F., Massicotte, D., Duclos, M., Lavoie, C., y Hillaire-Marcel, C. (2001). Metabolic response to small and large ¹³C-labelled pasta meals following rest or exercise in man. *Br J Nutr*, 85 (6), 671-680.
- Frayn, K. N. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous Exchange, *Journal of Applied Physiology*, 55, 628-634. En Croci, I., Borrani, F., Byrne, N., Wood, R., Hickman, I., Cheneviere, X., & Malatesta, D. (2014). Reproducibility of Fatmax and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. *PloS one*, 9 (6), e97930. Recuperado el 2 de febrero de 2015 de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/10.1371-journal.pone.0097930.PDF.
- Friedlander, A.L., Casazza, G.A., Horning, M.A., Buddinger, T.F. y Brooks, G.A. (1998a). Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 275 (5), 853-863.
- Friedlander, A.L., Casazza, G.A., Horning, M.A., Huie, M.J., Piacentini, M.F. y Trimmer, J.K. (1998b). Training-induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently from men. *J Appl Physiol*, 85 (3), 1175-1186.
- Friedlander, A. L., Jacobs, K. A., Fattor, J. A., Horning, M. A., Hagobian, T. A., Bauer, T. A. y Brooks, G. A. (2007). Contributions of working muscle to whole body lipid metabolism are altered by exercise intensity and training. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 292 (1), 107-116.

- Ghanassia, E., Brun, J.F., Fedou, C., Raynaud, E., y Mercier, J. (2006). Substrate oxidation during exercise: type 2 diabetes is associated with a decrease in lipid oxidation and an earlier shift towards carbohydrate utilization. *Diabetes Metab*, 32 (6), 604-610.
- González-Haro, C., Galilea, P.A., González-de-Suso, J.M., Drobnic, F., y Escanero, J.F. (2007). Maximal lipidic power in high competitive level triathletes and cyclists. *Br J Sports Med*, 41 (1), 23 -28.
- Herdy, A. H. y Uhlendorf, D. (2011). Reference values for cardiopulmonary exercise testing for sedentary and active men and women. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 96 (1), 54-59.
- Jeukendrup, A. E., Saris, W. H. y Wagenmakers, A. J. (1998). Fat metabolism during exercise: a review. Part I: fatty acid mobilization and muscle metabolism. *Int J Sports Med*, 19 (4), 231-244.
- Lanzi, S., Codecasa, F., Cornacchia, M., Maestrini, S., Capodaglio, P., Brunani, A.,... Malatesta, D. (2014a). *Effects of 2-wk endurance training in severe obese men: high intensity interval versus Fatmax training*. Comunicación presentada en el 6º Congrés annuel de la Sportwissenschaftliche Gesellschaft der Schweiz, Friburgo, Alemania. Recuperado el 5 de febrero de 2015 de http://zeisch.de/sgstagung2014/images/abstracts/Lanzi_Stefano.pdf.
- Lanzi, S., Codecasa, F., Cornacchia, M., Maestrini, S., Salvadori, A., Brunani, A. y Malatesta, D. (2014b). Fat oxidation, hormonal and plasma metabolite kinetics during a submaximal incremental test in lean and obese adults. *PloS one*, 9 (2), e88707. Recuperado el 2 de febrero de 2015 de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/journal.pone.0088707.PDF>.
- Lazzer, S., Lafortuna, C., Busti, C., Galli, R., Tinozzi, T., Agosti, F. y Sartorio, A. (2010). Fat oxidation rate during and after a low-or high-intensity exercise in severely obese Caucasian adolescents. *European journal of applied physiology*, 108 (2), 383-391.
- Lima-Silva, A. E., Bertuzzi, R. C., Pires, F. O., Gagliardi, J. F., Barros, R. V., Hammond, J. y Kiss, M. A. (2010). Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. *Journal of sports science & medicine*, 9 (1), 31-35.
- Malatesta, D., Werlen, C., Bulfaro, S., Chenevière, X., y Borrani, F. (2009). Effect of highintensity interval exercise on lipid oxidation during postexercise recovery. *Med Sci Sports Exerc*, 41 (2), 364-374.

- Malin, S.K., Stephens, B.R., Sharoff, C.G., Hagobian, T.A., Chipkin, S.R., y Braun, B. (2010). Metformin's effect on exercise and postexercise substrate oxidation. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 20 (1), 63-71.
- Melanson, E.L., Sharp, T.A., Seagle, H.M., Horton, T.J., Donahoo, W.T., y Grunwald, G.K. (2002). Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation. *J Appl Physiol*, 92 (3), 1045-1052.
- Meyer, T., Gässler, N. y Kindermann, W. (2007). Determination of "Fatmax" with 1 h cycling protocols of constant load. *Appl Physiol Nutr Metab*, 32 (2), 249-256.
- Mogensen, M., Vind, B.F., Højlund, K., Beck-Nielsen, H., y Sahlin, K. (2009). Maximal lipid oxidation in patients with type 2 diabetes is normal and shows an adequate increase in response to aerobic training. *Diabetes Obes Metab*, 11 (9), 874-883.
- Nordby, P., Saltin, B. y Helge, J. W. (2006). Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16 (3), 209-214.
- Perez-Martin, A., Dumortier, M., Raynaud, E., Brun, J. F., Fedou, C., Bringer, J., y Mercier, J. (2001). Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab*, 27, 466-474.
- Pinheiro, J. C. S., Dantas, E. H. M., Fernandes Filho, J. y Coutinho, W. (2005). Efeitos do Treinamento Aeróbico com Intensidade na Zona do Fatmax (64+ 4% do VO₂ máx) na Composição Corporal de Cadetes da Academia Militar das Agulhas Negras. *Fitness & performance journal*, 3, 157-162.
- Riddell, M. C., Jamnik, V. K., Iscoe, K. E., Timmons, B. W., y Gledhill, N. (2008). Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. *Journal of applied physiology*, 105 (2), 742-748.
- Romain, A. J., Carayol, M., Desplan, M., Fedou, C., Ninot, G., Mercier, J.,... Brun, J. F. (2012). Physical activity targeted at maximal lipid oxidation: a meta-analysis. *Journal of nutrition and metabolism*, 2012. doi: 10.1155/2012/285395.
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E. y Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol*, 265 (3), 380-391.

- Sardinoux, M., Brun, J.F., Lefebvre, P., Bringer, J., Fabre, G., y Salsano, V. (2009). Influence of bariatric surgery on exercise maximal lipid oxidation point in grade 3 obese patients. *Fund Clin Pharmacol*, 23, 57.
- Shaw, A. J., Ingham, S. A. y Folland, J. P. (2014). The valid measurement of running economy in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 46 (10), 1968-1973.
- Stisen, A. B., Stougaard, O., Langfort, J., Helge, J. W., Sahlin, K. y Madsen, K. (2006). Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol*, 98 (5), 497-506.
- Talanian, J. L., Galloway, S. D., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., y Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of applied physiology*, 102 (4), 1439-1447.
- Timmons, B. W., Bar-Or, O., y Riddell, M. C. (2003). Oxidation rate of exogenous carbohydrate during exercise is higher in boys than in men, *Journal of applied physiology*, 94 (1), 278-284.
- Tolfrey, K., Jeukendrup, A. E., y Batterham, A. M. (2010). Group-and individual-level coincidence of the 'Fatmax' and lactate accumulation in adolescents. *European journal of applied physiology*, 109 (6), 1145-1153.
- Varlet-Marie, E., Brun, J. F., Fedou, C., y Mercier, J. (2006). Balance of substrates used for oxidation at exercise in athletes: lipodependent vs glucodependent sports. *Fund Clin Pharmacol*, 20, 220.
- Venables, M.C., Achten, J., y Jeukendrup, A.E. (2005). Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol*, 98 (1), 160-167.
- Watt, M.J., Steinberg, G.R., Heigenhauser, G.J.F., Spriet, L.L. y Dyck, D.J. (2003). Hormonesensitive lipase activity and triacylglycerol hydrolysis are decreased in rat soleus muscle by cyclopiazonic acid. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 285 (2), 412-419.
- Weir, J. D. V. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*, 109 (1-2), 1-9.

Zakrzewski, J. K. y Tolfrey, K. (2012). Comparison of fat oxidation over a range of intensities during treadmill and cycling exercise in children. *European journal of applied physiology*, 112 (1), 163-171.

Zurlo, F., Lillioja, S., Esposito-Del Puente, A., Nyomba, B. L., Raz, I., Saad, M. F. y Ravussin, E. (1990). Low ratio of fat to carbohydrate oxidation as predictor of weight gain: study of 24-h RQ. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 259 (5), 650-657.

8.2-Otras fuentes:

Comisión TFG (2014). *Información Básica y pautas de elaboración*. Página web de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León. Recuperado el 2 de febrero de 2015 de <http://www.fcafd.unileon.es/documentos/Informacion%20basica%20TFG.pdf>.

Junta de Facultad (2013). *Normativa para el desarrollo de Trabajos Fin de Grado en los Estudios de Grado de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León*. Página web de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León. Recuperado el 2 de febrero de 2015 de <http://www.fcafd.unileon.es/documentos/NormativaTrabajosFindeGrado.pdf>.