

**EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO
COMBINADO AERÓBICO INTERVÁLICO Y
DE FUERZA RESISTENCIA SOBRE LA
INGESTA, EL PESO CORPORAL Y EL
RENDIMIENTO FÍSICO EN RATAS.**



Trabajo Fin de Máster: "Investigación en actividad Física y Deporte".
Curso 2010-2011

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Granada.
Departamento de Educación Física

SERGIO CALONGE PASCUAL

Tutores-coordinadores del Trabajo:

Dra. Virginia Aparicio García-Molina.
Dra. Pilar Aranda Ramírez
Dr. Jesús María Porres Foulquie.

**EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO COMBINADO AERÓBICO
INTERVÁLICO Y DE FUERZA SOBRE LA INGESTA, EL PESO
CORPORAL Y EL RENDIMIENTO FÍSICO EN RATAS.**

SERGIO CALONGE PASCUAL

Trabajo Fin de Máster: “Investigación en Actividad Física y Deporte”

Curso 2011-2012

Facultad de Ciencias de la actividad Física y del Deporte, de la Universidad de Granada.

Tutores:

Dra. Virginia Aparicio Garcia-Molina

Dra. Pilar Aranda Ramirez

Dr. Jesús María Porres Foulquie

ISBN: 978-84-09-18564-1

TÍTULO: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO COMBINADO AERÓBICO INTERVÁLICO Y DE FUERZA SOBRE LA INGESTA, EL PESO CORPORAL Y EL RENDIMIENTO FÍSICO EN RATAS.

- ÍNDICE -

1. RESUMEN:	7
2. ABSTRACT:	8
3. INTRODUCCIÓN:.....	9
3.1. Objetivos:	11
3.1.1. - Objetivo general:.....	11
3.1.2. - Objetivos específicos:.....	11
3.2. Planteamiento de la Hipótesis:	11
4. MATERIAL Y MÉTODO:	12
4.1. Modelo Experimental:.....	12
4.2. Variables y Diseño empleado:.....	12
4.3. PROCEDIMIENTO DEL PERÍODO EXPERIMENTAL:	13
4.3.1. Dieta experimental:.....	14
4.3.2. Realización de los test incrementales	15
4.3.3. Calculo de 1 Repetición Máxima (RM):	16
4.3.4. Protocolo de Entrenamiento:.....	16
4.3.5. Gasto metabólico basal.....	18
4.3.6. Test para el análisis de la curva de Glucemia:.....	19
4.3.7. Sacrificio de los animales y órganos extraídos.....	19
4.3.8. Análisis Estadístico:	19
5. RESULTADOS:	20
5.1. La Ingesta calórica	20
5.2. Cambios ponderales:.....	20
5.3. Evolución de la potencia aeróbica (V02max):	21

5.4. Curva de glucemia:.....	22
5.5. Metabolismo Basal:.....	22
6. DISCUSIÓN:.....	24
7. CONCLUSIONES:.....	27
8. AGRADECIMIENTOS:.....	28
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	29

1. RESUMEN:

El objetivo del presente estudio fue diseñar y valorar el efecto de un programa de ejercicio físico de resistencia aeróbica interválica combinado con entrenamiento de fuerza resistencia sobre la ingesta, el peso corporal y el rendimiento físico de ratas.

Se han utilizado 16 ratas macho (n= 16) modelo animal de raza Zucker, de obesidad genética del tipo (fa/+), las cuales se subdividieron en dos grupos: con entrenamiento (n=8) vs. control sedentarias (n=8). La duración total de la experiencia fue de 8 semanas, en las que se cuantificó la ingesta de comida diariamente y el peso corporal semanalmente. Cada 15 días se realizó un test incremental para valorar la evolución de la condición física de las ratas. Con ello se determinaba el porcentaje relativo al valor de la velocidad aeróbica máxima, para agrupar a las ratas a la intensidad correspondiente en cada uno de los tres subprogramas de entrenamiento derivados de la capacidad de cada animal. Así mismo, llevamos a cabo un test de 1 repetición máxima, para adecuar el peso de arrastre de la rata. El entrenamiento consistió en: 10 minutos de calentamiento al 30-50% del VO_2max , 21 minutos de entrenamiento de fuerza-resistencia al 50-65% de su 1RM, con el tapiz a una velocidad constante de 35 cm/s. en 7 series de 3 min con un minuto de descanso entre cada serie, y finalmente 30 minutos de entrenamiento de resistencia aeróbica interválica, con periodos de intensidad moderada de 4 minutos al 50-65% del VO_2max . intercalados con 3 minutos de intensidad vigorosa al 65-80% del VO_2max .

Los animales que desarrollaron dicho entrenamiento incrementaron su ingesta energética en comparación con los sedentarios (P= 0,000). Todos los grupos tuvieron un incremento de peso corporal a lo largo del periodo experimental, siendo mayor el del grupo sedentario con respecto al que realizaba entrenamiento (P=0,001). En lo que respecta a la mejora de la potencia aeróbica del animal, no hubo diferencias significativas entre grupos, alcanzando unos valores finales de VO_2max relativo menor que el inicial. El gasto metabólico basal fue mayor en el grupo de entrenamiento, provocado por el aumento del tejido activo, lo cual hace aumentar la energía gastada en el metabolismo del animal. El test de glucemia permitió saber que las ratas que realizaban ejercicio físico poseían mayor eficiencia en el transporte y captación de glucosa por parte de sus células, como se ponía de manifiesto con la reducción de los valores de la misma en sangre en las diferentes muestras tomadas periódicamente.

Se ha puesto a punto un modelo experimental de entrenamiento de ratas que combina ejercicio aeróbico interválico con fuerza resistencia comprobando como las que lo llevan a cabo, a pesar de incrementar su ingesta alimenticia, aumentando el tejido activo y con ello el gasto metabólico, reducen su peso corporal de la rata.

Palabras clave: Resistencia aeróbica interválica, fuerza resistencia, ingesta alimentaria, peso corporal, potencia aeróbica máxima (VO_2max), metabolismo basal, ratas.

2. ABSTRACT:

The aim of this study was to assess the effects of an physical activity program of vigorous aerobic interval endurance training combined with resistance strength training, about food intake, body weight and physical performance measured by VO_2 peak in rats.

We used 16 male rats (n=16) Zucker breed of obesity genetic type (fa /+), separated into two groups of accommodation, some animals in individuals cages (n=8) and others on cages groups (n=8), within which were subdivided in a training group or sedentary lifestyle group. The total duration of the experience was 8 weeks, where was measured daily food intake, and every 15 days, was calculated the body weight, and an incremental test to see the evolution of the rats and to determine the percentage of intensity of the VO_2 peak, calculated about maximum aerobic speed to group the rats in one of three training groups accord to the results of tests aerobic power and then a test of repetition maximum (RM) too, to adjust the mass of drag the rat less strong each group and make the training program designed, that it consist of: 10 minutes of the warm up to 30-50% of VO_2 peak, 20 minutes of strength-endurance training at 50-65% of your 1RM, with the treadmill at a constant speed of 35 cm/s, and finally 21 minutes of resistance strength training, with 7 sets of 3 min at 50-65% of your 1RM, with the treadmill to speed of 35 cm/s and one minute of rest between sets and 30 minutes of *vigorous aerobic interval endurance training*, with periods of 4 minutes at 50-65% VO_2 peak. mixed with 3 minutes of submaximal intensity to 65-80% of VO_2 peak.

The vigorous aerobic interval endurance training combined with resistance strength training increased the food intake in comparison with the group that did not make any kind of physical activity (P= 0,000). The results showed that all groups increased their body weight, being higher in the sedentary group than in training group (P=0,001), with the ratio body weight / lean weight more high in the training group, representing an decrease of relative fatty tissue and increase in relative lean weight in the total body weight of the rats. There were no significant differences between the training group which the sedentary lifestyle group about to improving aerobic power of the animal (VO_2 peak), seeing an evolution in the first weeks of training, which eventually it became an involution to confirm in the end of experience values lower of VO_2 peak than the first. Basal metabolic rate was higher in the training group, with a increased active tissue, which increased the energy expenditure on the rat's metabolism. The glucose's test allowed to know that physical activity performed greater efficiency in the transport and uptake of glucose to the cells.

The developed of an experimental model of rat training that combines endurance with resistance, obtained results of as the rats increased their food intake and reduced their body weight with a increased in the active tissue in trained rat.

Keywords: aerobic interval training endurance, resistance, food intake, body weight, VO_2 peak, metabolic rate, rats.

3. INTRODUCCIÓN:

La epidemia mundial de sobrepeso y obesidad se está convirtiendo en un importante problema asociado a múltiples causas de mortalidad-morbilidad (Aranceta, 2004; Kosti & Panagiotakos, 2006; Raj & Kumar, 2010; Slentz et al., 2004). El 65% de la población mundial vive en países donde el sobrepeso y la obesidad mata más gente que la insuficiencia ponderal (OMS 2012). España es uno de los países del mundo con mayor prevalencia de sobrepeso y obesidad, tanto en niños y adolescentes como en población adulta (Perez-Rodrigo, et al., 2006).

Existen evidencias que afirman que **comer menos** es el método más efectivo para prevenir la ganancia de peso (Westerterp, 2010) o que una **dieta hipocalórica enfocada a reducir peso** ha demostrado ser tan efectiva o mejor en su propósito, que realizando exclusivamente ejercicio físico o combinando ambas variables (Shalitin et al., 2009). Otros estudios afirman que sin reducir la cantidad de comida, modificando el aporte calórico a través de una **dieta hiperproteica**, se **disminuye el sobrepeso** (Choban & Dickerson, 2005).

En el **control de la ingesta calórica** influye la regulación del apetito, y ello afectará al peso corporal que adquiera el sujeto. El ejercicio físico influye en la regulación, a corto plazo, de los niveles de saciedad en el tracto gastrointestinal por la hormona grelina o por la liberación de leptina surgida por la lipólisis del tejido adiposo (Martins, Kulseng, King, Holst, & Blundell, 2010) provocando en ambos casos mejoras en el control del apetito (Martins, Morgan, Bloom, & Robertson, 2007; Schwarz, Rigby, La Bounty, Shelmadine, & Bowden, 2011). A demás determinados sujetos pueden tolerar periodos en déficit energético a corto plazo inducidos por el ejercicio, produciéndose a largo plazo un efecto rebote que supone un aumento en la ingesta alimenticia. Esto es especialmente evidente en hombres, dado que hay un efecto del género sobre la cantidad de ingesta de comida ingerida por una persona (Westerterp et al., 1992).

Además, el **ejercicio físico** sirve para modificar el balance energético y generar un importante déficit a favor del gasto calórico, por lo que puede **reducir el peso corporal**, aún con una **dieta ad libitum por sí mismo** (Westerterp, 2010).

Pero desafortunadamente, **no todos los individuos** que se someten a largos periodos de ejercicio **pierden peso, sobre todo si es bajo condiciones de ingestas ad-libitum**, debido a que el aumento del gasto de energía provocado por el ejercicio se intenta recuperar a largo plazo, suponiendo un aumento en la ingesta alimenticia que equilibra el balance energético, mostrando **resistencia a la pérdida de peso** (Lee et al., 2005) o llegando incluso a **incrementarlo** (King, Hopkins, Caudwell, Stubbs, & Blundell, 2009; Kirk et al., 2009; Lee et al., 2005). Las posibles ganancias de peso tras un programa de ejercicio se producen por cambios en la composición corporal, tales como el **aumento de la masa magra con reducciones en la proporción de masa grasa en el músculo** y en los órganos funcionales (Barwell, Malkova, Leggate, & Gill, 2009; Ibanez et al., 2005; Lee et al., 2005; Slentz et al., 2004).

Recientemente, el Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM), en su documento de consenso acerca de las premisas que ha de tener el ejercicio orientado para la pérdida de peso, ha recomendado la inclusión del entrenamiento de fuerza junto con el ejercicio aeróbico. Las últimas investigaciones y directrices sugieren que el entrenamiento de fuerza podría ser un complemento del ejercicio aeróbico, más que un sustituto, ya que el *entrenamiento de fuerza resistencia* disminuye de forma significativa el tejido adiposo en niños y mantiene el peso corporal en sujetos de edad avanzada (Ibanez et al., 2005) obesos y con sobrepeso (Benson, Torode, & Fiatarone Singh, 2008; Ibanez et al., 2005; McGuigan, Tatasciore, Newton, & Pettigrew, 2009). Otros estudios observaron que tan solo con entrenamiento de fuerza, sin restricción calórica en la dieta, supone unos beneficios para la salud del individuo produciéndose mejoras en la reducción de la masa grasa sobre todo a largo plazo (Sgro, McGuigan, Pettigrew, & Newton, 2009).

Una mayor *capacidad aeróbica* está asociada con la reducción de peso y un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares. Numerosos estudios han verificado que el *ejercicio aeróbico de intensidad vigorosa (60-80% VO₂max)* es más beneficioso que el de *intensidad moderada (40-60% VO₂max)* o *baja (40-55% VO₂max)* a un mismo volumen para perder peso (Slentz et al., 2004) y ambos son menos eficientes que el ejercicio físico de *resistencia aeróbica moderada-vigorosa interválica* (Martins et al., 2007; De Sá CKC et al., 2011).

Numerosas enfermedades cardiovasculares se asocian al sobrepeso y la obesidad (Poirier et al., 2006). Aunque es sabido que el ejercicio físico provoca mejoras y ayuda a disminuir los niveles de obesidad (Donnelly et al., 2009; Hautala et al., 2006; Holviala et al., 2010; Slentz et al., 2004) ofreciendo mejoras en los parámetros de riesgo cardiovascular de la persona que lo practica (Fogelholm, 2010). A pesar de ello existe cierta controversia acerca de qué tipo de ejercicio físico es más eficiente para evitar el sobrepeso/obesidad, así como si combinado con un adecuado aporte calórico, sus efectos se potenciarían y ayudarían a prevenir o disminuir la obesidad en mayor grado.

Por tanto, el ejercicio físico de *resistencia aeróbica interválica es más eficaz que el aeróbico continuo* y el realizado a una *intensidad moderada-vigorosa podría presentar mayor eficacia a la hora de prevenir las enfermedades relacionadas con la obesidad*. Asimismo, el *entrenamiento de fuerza resistencia por sí mismo, o junto con un entrenamiento de resistencia aeróbica*, ayuda a reducir la pérdida de peso corporal y grasa.

Ante todo lo descrito con anterioridad, se propusieron como objetivos del presente Trabajo Fin de Máster: i) analizar si un programa de ejercicio físico combinado de resistencia aeróbica interválica y fuerza resistencia, llevado a cabo bajo una dieta normocalórica ad libitum afecta al peso corporal y a la ingesta. ii) Valorar la puesta a punto de este nuevo sistema de entrenamiento, así como su efectividad sobre parámetros de rendimiento físico tales como la potencia aeróbica, todo ello en ratas.

3.1. Objetivos:

3.1.1. - *Objetivo general:*

- Valorar cómo un programa de ejercicio físico combinado de resistencia aeróbica interválica moderada-vigorosa con fuerza resistencia afecta sobre la ingesta, el peso corporal y el rendimiento físico en ratas.

3.1.2. - *Objetivos específicos:*

Efecto del programa de entrenamiento sobre la ingesta alimenticia:

- Estimar el efecto de 8 semanas de entrenamiento programado junto con una dieta ad libitum normocalórica, sobre la ingesta de ratas.

Efecto del programa de entrenamiento sobre el peso corporal del animal:

- Estimar el efecto de 8 semanas de entrenamiento programado junto con una dieta ad libitum normocalórica, sobre el peso final del animal.

Efectividad del programa de entrenamiento sobre la potencia aeróbica (VO_2max):

- Estimar el efecto de 8 semanas de entrenamiento programado junto con una dieta ad libitum normocalórica, sobre la potencia aeróbica máxima del animal.

Efecto del programa de entrenamiento sobre el metabolismo basal:

- Estimar el efecto de 8 semanas de entrenamiento programado junto con una dieta ad libitum normocalórica, sobre el gasto metabólico basal del animal.

Efecto del programa de entrenamiento sobre la curva de glucemia:

- Estimar el efecto de 8 semanas de entrenamiento programado junto con una dieta ad libitum normocalórica, sobre la curva de glucemia del animal

3.2. Planteamiento de la Hipótesis:

El ejercicio físico de resistencia aeróbica moderada-vigorosa interválica, combinado con cargas de fuerza-resistencia, optimizará la pérdida de peso corporal, aunque haya un aumento de la ingesta alimenticia, incrementando el tejido activo de la rata y mejorando la resistencia a la insulina. A demás se comprobará la efectividad que dicho programa de entrenamiento tiene sobre la potencia aeróbica máxima de las ratas.

4. MATERIAL Y MÉTODO:

4.1. Modelo Experimental:

Se han utilizado 16 ratas macho (n= 16) modelo animal de raza Zucker, de obesidad genética, del tipo (fa/+), (Figura 1) las cuales se subdividieron entre las que realizan un programa de entrenamiento o las control (sedentarias).



Figura 1. Esquema del diseño experimental

La experiencia se realizó en una habitación termorregulada a $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ y aireada, con fotoperiodo controlado (12/12). Los animales consumen una dieta con agua destilada “ad libitum”.

El experimento se efectuó siguiendo las recomendaciones de la Directiva Europea relacionada con el cuidado y alojamiento de animales de laboratorio 86/609/CEE y del Real Decreto 223/1988 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación para manipulación y experiencias con animales de laboratorio. El proyecto cuenta con la autorización número 2011-343 del comité de ética experimental de la Universidad de Granada.

4.2. Variables y Diseño empleado:

Diseño experimental **intergrupo**, con un análisis comparativo final de las medias de las variables dependientes de cada grupo.

- Variables dependientes:

- Ingesta (gramos de comida/día).
- Peso corporal (gramos).
- $VO_2\text{max}$ (ml / kg x min⁻¹).
- Velocidad aeróbica máxima (m/s).
- Glucemia (mg/dl).
- Gasto metabólico basal. (kcal/día/kg^{0.75}).

- Variable independiente:

- Ejercicio de resistencia aeróbica interválica combinado con fuerza-resistencia.

- Variables contaminantes:

- Animales aún en periodo de crecimiento
- Grado de entrenabilidad de cada animal

4.3. Procedimiento del período experimental:

El presente trabajo de investigación tutelada se encuentra enmarcado dentro del Proyecto: "Efectos de un entrenamiento combinado de fuerza y aeróbico y del tratamiento dietético sobre parámetros del síndrome metabólico en ratas genéticamente obesas (DEP2011-27622)" del Plan Nacional I+D+i. Dicho proyecto se está llevando a cabo principalmente por investigadores pertenecientes al grupo de investigación AGR-145 del Departamento de Fisiología de la Facultad de Farmacia y de Ciencias del Deporte, de la Universidad de Granada.

La duración total de la experiencia fue de 8 semanas, donde se cuantificó la ingesta de comida diariamente y el peso corporal en ayunas de las ratas semanalmente.

Se realizaron cuatro test incrementales cada 15 días para ajustar el $VO_2\text{max}$ de cada rata y establecer a los animales en cada uno de los 3 grupos experimentales de entrenamiento.

Además se realizó un test de fuerza dinámica máxima, para calcular el RM de cada rata, para saber el peso que la rata puede arrastrar en la cola la rata en un desplazamiento de al menos 15cm, y quedarnos con el valor que tolera la rata más débil de cada grupo que se estableció en función de su potencia aeróbica máxima.

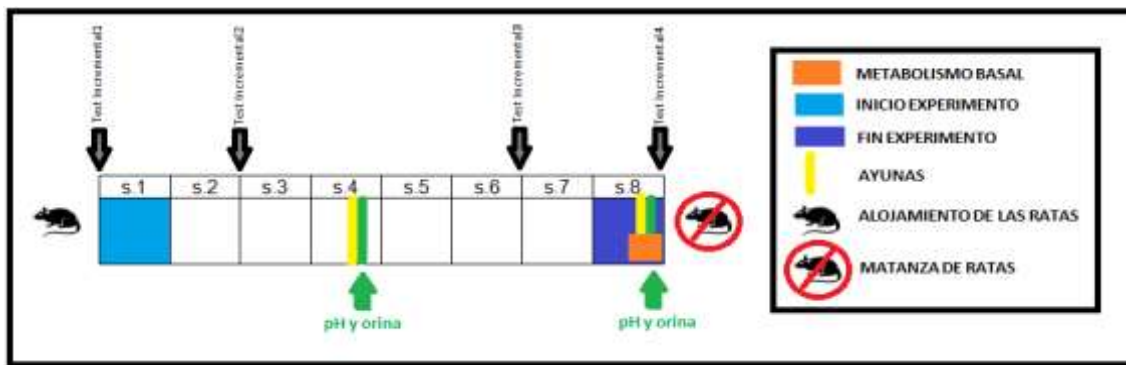


Figura 2. Esquema del diseño experimental

4.3.1. Dieta experimental:

Se formuló una dieta normocalórica en base a las recomendaciones nutricionales de rata de laboratorio de Colegio Americano de Nutrición (AIN-93) (Reeves, Nielsen, & Fahey, 1993). La composición básica de las dietas experimentales es la AIN-93M, con un 10% de proteína (70% de origen vegetal y 30% origen animal). Se proporcionó acceso ad libitum a la comida, mostrándose a continuación las proporciones exactas de cada componente:

COMPONENTE	CANTIDAD (g)
Almidón	623
Sacarosa	100
Proteína de soja	92,1
Aceite de oliva	53,5
Celulosa	50
Proteína de lactosuero	42,9
Corrector mineral	35
Corrector vitamínico	10
Metionina	5
Colina	5

Tabla 1. Formulación básica de la dieta experimental (1000 g).

4.3.2. Realización de los test incrementales

Después de la revisión bibliográfica para la puesta a punto del protocolo de realización de los test incrementales, nos hemos basado en el propuesto de manera inicial por (Pollock et al., 1976) y modificado posteriormente por (Hamlin, Draper, Blackwell, Shearman, & Kimber, 2012) y con ligeras adaptaciones realizadas por nuestro equipo, con lo que el protocolo puesto en práctica fue el siguiente:



Figura 3. Rata realizando un test incremental

Etapa	Vel. Inicial	Vel. Final	Tiempo	Step	Vel. Inicial	Vel. Final	Tiempo
1	0	0	8:00.0	21	87	90	0:45.0
2	25	29	1:00.0	22	90	93	0:45.0
3	29	33	0:45.0	23	93	96	0:45.0
4	33	36	0:45.0	24	96	99	0:45.0
5	36	39	0:45.0	25	99	102	0:45.0
6	39	42	0:45.0	26	102	105	0:45.0
7	42	45	0:45.0	27	105	108	0:45.0
8	45	48	0:45.0	28	108	111	0:45.0
9	48	51	0:45.0	29	111	114	0:45.0
10	51	54	0:45.0	30	114	117	0:45.0
11	54	57	0:45.0	31	117	120	0:45.0
12	57	60	0:45.0	32	120	123	0:45.0
13	60	63	0:45.0	33	123	126	0:45.0
14	66	69	0:45.0	34	126	129	0:45.0
15	69	72	0:45.0	35	129	132	0:45.0
16	72	75	0:45.0	36	132	135	0:45.0
17	75	78	0:45.0	37	135	138	0:45.0
18	78	81	0:45.0	38	138	141	0:45.0
19	81	84	0:45.0	39	141	143	0:45.0
20	84	87	0:45.0				

Tabla 2. Protocolo del test de esfuerzo incremental en un tapiz rodante para ratas

Este protocolo, ejecutado a través del Equipo Panlab Oxylet System, con su software Metabolism V.2.2.OO, que ofrece un correcto funcionamiento, midiendo primero 5 min. de aire ambiental y a continuación aire del interior del tapiz rodante, para determinar la adecuada proporción del VO_2 y el VCO_2 . Antes de comenzar la prueba se pesa a la rata, para posteriormente realizar un calentamiento con el que comienza la adaptación al test incremental y a continuación realizar el mismo a las intensidades marcadas en la **tabla 2**. El test termina cuando el animal ha llegado a la fatiga y es incapaz de continuar la carrera. En ese momento se le saca del tapiz rodante, una vez guardados los datos.

4.3.3. *Calculo de 1 Repetición Máxima (RM):*

Desde el primer día del periodo experimental hasta la finalización del estudio, las cargas de entrenamiento de fuerza-resistencia irán incrementándose progresivamente en base a su repetición máxima (1RM). El test de 1RM se desarrolla de la siguiente forma: la rata se coloca en una superficie horizontal, estática, sin inclinación y antideslizante con una bolsa atada a la base de la cola con una carga. Al animal se le estimula acústicamente y éste reacciona moviéndose y arrastrando con ello la carga. Este procedimiento es repetido, incrementando la carga cada vez de 10 en 10 gramos, hasta que la carga es tan pesada que el animal es incapaz de desplazar el saco incluso con estimulación sonora. La carga máxima que la rata puede arrastrar es registrada y considerada como 1RM, que será medida semanalmente para establecer el porcentaje de trabajo, que oscilará progresivamente entre el 50-65% RM, del valor alcanzado por la rata que menor resultado de, dentro de los tres grupos que se habían realizado, en función de los valores de potencia aeróbica mostrados por las mismas en los test incrementales de potencia aeróbica máxima, incrementándolo un 5% en función de los resultados alcanzados cada dos semanas.

4.3.4. *Protocolo de Entrenamiento:*

El entrenamiento se realizará en un tapiz rodante automatizado de 5 calles con diseño especial para ratas (Panlab/Harvard Apparatus, Inc. Cornellá, Barcelona). Los test de entrenamientos protocolizados se realizarán durante el ciclo de oscuridad de la rata.



Figura 4. Tapiz rodante de diseño especial para ratas.

Las investigaciones más recientes han demostrado que el ejercicio intermitente aeróbico-anaeróbico a alta intensidad (65-80 del VO_2 máx. combinado con periodos al 50-65% del VO_2 máx.) obtienen los mejores resultados globales sobre la reducción de la obesidad. Siguiendo esta línea de entrenamiento mostrada como más eficiente según las

fuentes bibliográficas de referencia (Donnelly et al., 2009; Hamlin et al., 2012; Kemi et al., 2005; Pratley et al., 2000), se actuará con:

I. Una etapa de adaptación previa al periodo de entrenamiento, donde los animales se adecuaran al tapiz rodante mediante una sesión diaria de 20 minutos durante una semana.

II. El entrenamiento será desarrollado 5 días por semana durante 60 minutos a lo largo de las 8 semanas del periodo experimental. La metodología de entrenamiento será una combinación de las propuestas de (Kemi et al., 2005) y las sesiones estarán divididas en las siguientes fases:

1º: 10 minutos de calentamiento al 30-50% del VO_2 max equivalente a una velocidad del tapiz rodante de 35 cm/s.

2º: 21 minutos de entrenamiento de fuerza-resistencia, con 7 series de 3 min al 50-65% de su 1RM, con el tapiz a una velocidad de 35 cm/s y un minuto de descanso entre cada serie. El protocolo de fuerza con adaptaciones ha sido desarrollado por nuestro grupo y publicado en el British Journal of Nutrition (Aparicio et al., 2011).

3º: 30 minutos de entrenamiento de resistencia aeróbica vigorosa intermitente, con periodos de 4 minutos al 50-65% del VO_2 max. intercalados con 3 minutos de intensidad submáxima al 65-80% del VO_2 max, tal y como recomiendan las últimas tendencias según (Haram et al., 2009; Kemi et al., 2005)

Dicho entrenamiento sigue los principios básicos del entrenamiento deportivo y cumple los principios del entrenamiento en humanos. Tanto el protocolo de entrenamiento como el desarrollo de los entrenamientos fueron diseñados y supervisados por Licenciados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en colaboración con especialistas en el trabajo con animales.

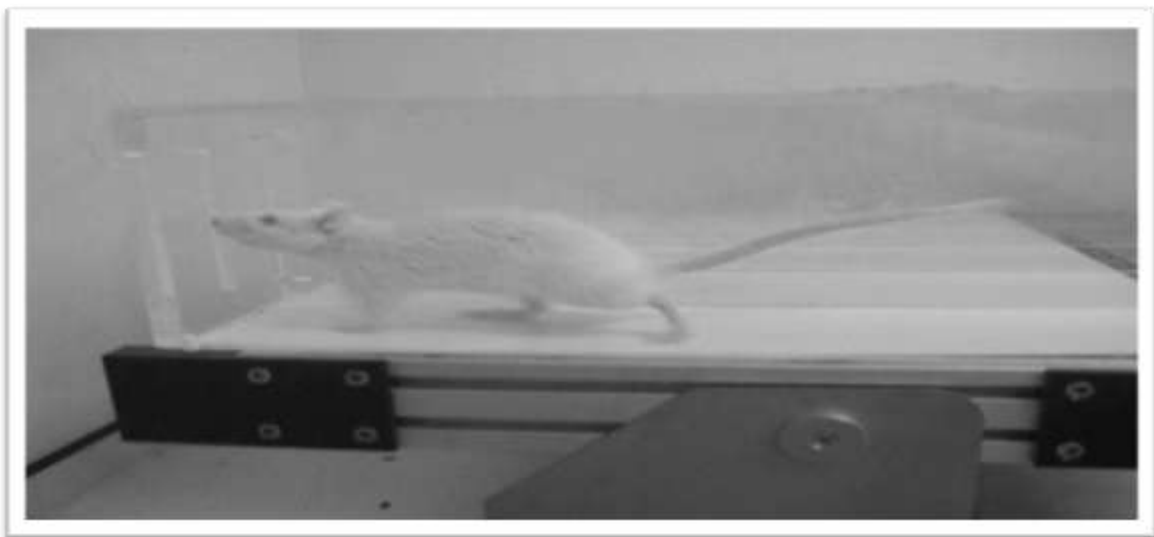


Figura 5. Rata entrenando en el tapiz.

		1ª semana		2ª semana	
Grupo	Vel. max.	R.A.I. 4' (50%)	R.A.I. 3' (55%)	R.A.I. 4' (50%)	R.A.I. 3' (60%)
Fuerte	99	49,5	54,4	49,5	59,4
Medio	88	44	48,4	44	52,8
Flojo	72	36	39,6	36	43,2
		3ª semana		4ª semana	
Grupo	Vel. max.	R.A.I. 4' (55%)	R.A.I. 3' (65%)	R.A.I. 4' (55%)	R.A.I. 3' (70%)
fuerte	112	61,6	72,8	40	50,9
medio	100	55	65	35,7	45,5
flojo	81	44,5	52,6	28,9	36,8
		5ª semana		6ª semana	
Grupo	Vel. max..	R.A.I. 4' (60%)	R.A.I. 3' (70%)	R.A.I. 4' (65%)	R.A.I. 3' (75%)
fuerte	100	60	70	45,5	52,5
medio	88	52,8	61,6	40,0	46,2
flojo	78	46,8	54,6	35,4	40,9
		7ª semana		8ª semana	
Grupo	Vel. max.	R.A.I. 4' (65%)	R.A.I. 3' (75%)	R.A.I. 4' (65%)	R.A.I. 3' (80%)
fuerte	100	65	75	48,7	60
medio	88	57,2	66	42,9	52,8
flojo	78	50,7	58,5	38,0	46,8

Tabla 3. Protocolo de entrenamiento. (R.A.I: Resistencia Aeróbica Interválica moderada-vigorosa. Vel. max.: Velocidad máxima.).

4.3.5. Gasto metabólico basal.

Aprovechando los conocimientos de otros estudios anteriores, se procedió a realizar el control en los dos grupos de ratas, de su gasto metabólico basal en reposo y después de 24h de descanso de la ejecución del programa de ejercicio físico en el grupo de entrenamiento. Se realizaron todos los controles en el mismo periodo de 12h de luz en la habitación, que es cuando la rata es menos activa (Aparicio, 2011).

Para ello se ha utilizado el Equipo Panlab Oxylet System, con su software Metabolism V.2.2.OO eligiendo la opción de metabolismo basal, con una calibración previa a cada uso del aparato. Para calibrarlo se requirieron dos mezclas de gases con diferentes concentraciones. El gas con mayor concentración de CO₂ y O₂ se usó para determinar el punto alto de calibración y el gas con menor concentración se usó para determinar el punto bajo de calibración.

Una vez calibrado, se debe anotar el peso de la rata en el programa informático y posteriormente introducir a esta en la jaula correspondiente, con alimento y agua para hidratarse durante el tiempo de observación, para que el programa registre el gasto de energía realizado, mediante el análisis de una calorimetría indirecta, consumando la

proporción del VO_2 y el VCO_2 para determinar el tipo de sustrato energético utilizado por el animal y el gasto de energía en $\text{kcal/día/kg}^{0.75}$ que su cuerpo gasta en reposo absoluto.

4.3.6. Test para el análisis de la curva de Glucemia:

Se realizó una prueba de tolerancia de una dosis de glucosa, suministrada vía oral a través de una jeringuilla con una cánula adaptada, que mientras una persona inmovilizaba a la rata, la otra le administraba la dosis pertinente, posteriormente se realizó un registro de la concentración de glucosa en la sangre del animal, en los periodos de tiempo 0, 15, 30, 60 y 90 minutos respectivamente y obtenida la muestra de sangre tras realizar un corte transversal en el extremo distal de la cola del animal. Para realizar el registro de los valores se utilizó el sistema de análisis de glucosa en sangre BREEZE[®] 2 de Bayer.

4.3.7. Sacrificio de los animales y órganos extraídos.

Al final del periodo experimental se procederá al sacrificio de los animales mediante desangrado por punción de la arteria aorta abdominal previa anestesia con ketamina-xilacina para la recogida de sangre, órganos y tejidos. Una vez extraídos, se congelarán en nitrógeno líquido y se conservarán a -80°C . El plasma se obtendrá tras centrifugar la sangre a 4000 rpm, 4°C , durante 15 min, tras lo cual se congelará en nitrógeno líquido y se conservará a -80°C para futuros análisis del proyecto DEP2011-27622 del Plan Nacional I+D+i.

Todos los experimentos fueron desarrollados de acuerdo a la Guía Europea de Alojamiento y Cuidado Animal (European Community Council, 1986) y todos los procedimientos que se han llevado a cabo en el presente estudio han sido aprobados por el Comité Ético de Experimentación Animal de la Universidad de Granada.

4.3.8. Análisis Estadístico:

Los resultados se presentan como media y desviación estándar de la media a no ser que se indique lo contrario. Los efectos principales del entrenamiento sobre las distintas variables incluidas en el estudio (peso, ingesta, variables de condición física) fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Todos los análisis se llevaron a cabo con el software estadístico SPSS, versión 18.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL). El nivel de significación se estableció en 0,05.

5. RESULTADOS:

5.1. La Ingesta calórica

El análisis de varianza realizado del periodo experimental muestra un resultado significativo ($P < 0,001$) del efecto que tiene el programa de entrenamiento con respecto al grupo sedentario sobre la ingesta de alimento (véase *Tabla 5*), observándose que la ingesta media es mayor en el grupo que realiza entrenamiento, frente al que no lo realiza durante todo el proceso experimental, y manteniéndose o incluso elevándose mínimamente en el segundo mes en los dos grupos, con respecto al primero, tal y como se observa en la siguiente *figura.6*.

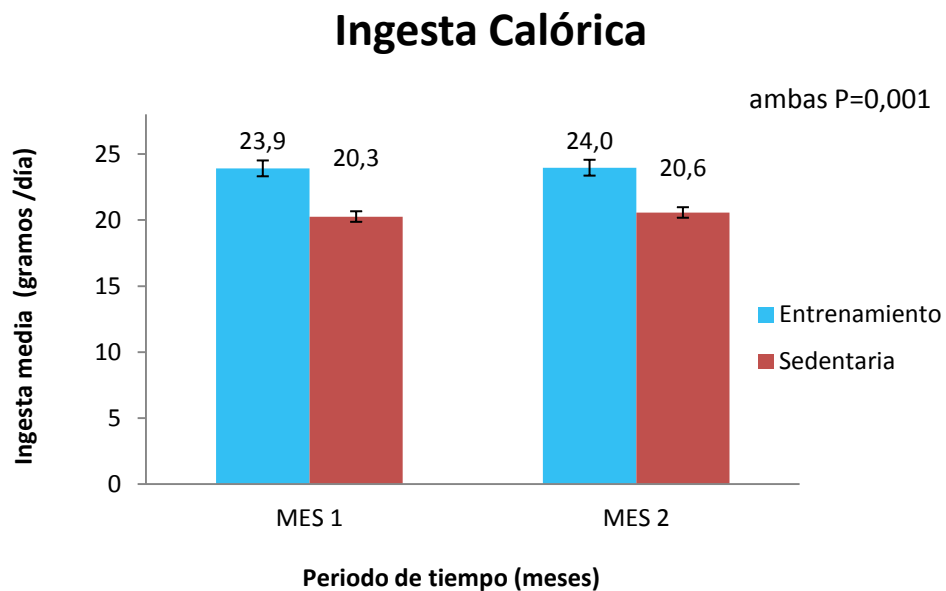


Figura 6. Diferencia la ingesta media media de las ratas en cada uno de los dos meses de experimentación. (S.D. Entrenamiento $\pm 0,13$. S.D.sedentaria $\pm 0,21$)

5.2. Cambios ponderales:

Los efectos del ejercicio físico sobre el peso final de los animales se presentan en la *Tabla 5*. Los resultados obtenidos muestran que hay diferencias significativas entre el grupo que realiza ejercicio con respecto al grupo sedentario ($P= 0,000$), existiendo una ganancia de peso semanalmente en ambos grupos como puede apreciarse en la siguiente *figura 7*.

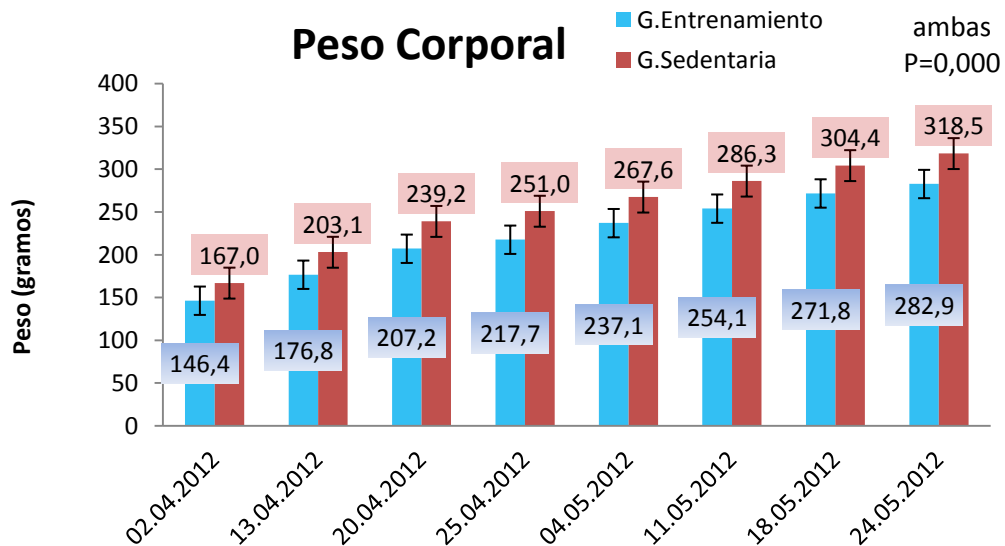


Figura 7. Representación de la evolución del peso corporal en las ratas para grupo control o entrenamiento. (S.D. Entrenamiento ± 12,22. S.D.sedentaria ± 16,09)

5.3. Evolución de la potencia aeróbica (VO₂max):

La influencia del entrenamiento sobre el rendimiento físico de los animales, medido a través de su VO₂max relativo y la efectividad que supone en el animal el entrenamiento llevado a cabo con respecto al que no hace ejercicio físico no muestra diferencias significativas (véase tabla 5). Se observa que ha habido una involución de este parámetro según el test incremental realizado al inicio y al final del proceso experimental, aunque en el transcurso sí que hubo un fuerte aumento de este parámetro a lo largo de las primeras semanas, tal y como se muestra en la siguiente figura 8.

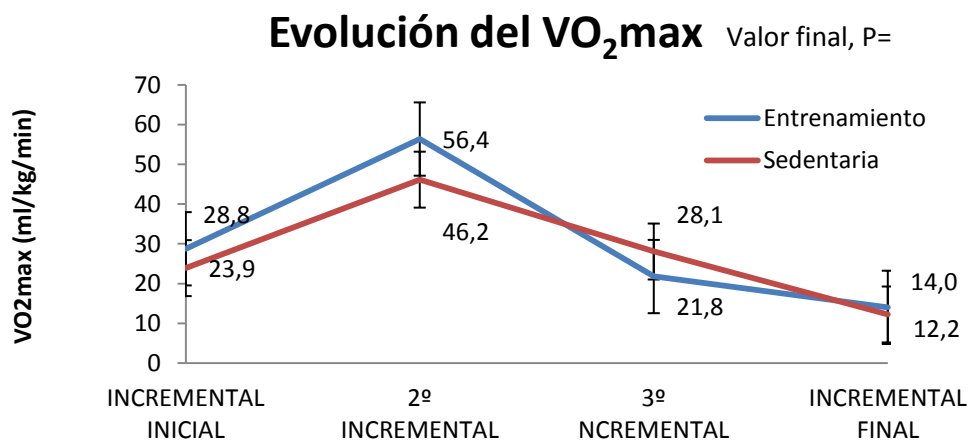


Figura 8. Evolución de los test incrementales realizados cada 2 semanas. (VO₂max relativo: ml / kg x min⁻¹). (S.D.test final grupo de Entrenamiento ±1,76 . S.D. test final grupo de edentaria ± 0,88)

	Sedentario	Entrenamiento	(P)
VO ₂ max Inicial (ml / kg x min-1)	24,25 ±0,49	28,52 ±3,29	0,09
VO ₂ max 2 (ml / kg x min-1)	46,16 ±1,40	56,38 ±6,38	0,04 *
VO ₂ max 4 (ml / kg x min-1)	28,08 ± 1,42	21,86 ±7,17	0,25
VO ₂ max Final (ml / kg x min-1)	12,23 ±0,88	14,00 ±1.76	0,19

Valores expresados como media±desviación estándar. * P < 0.05.

Tabla 4. Efectos de cada grupo sobre la evolución del VO₂max.

5.4. Curva de glucemia:

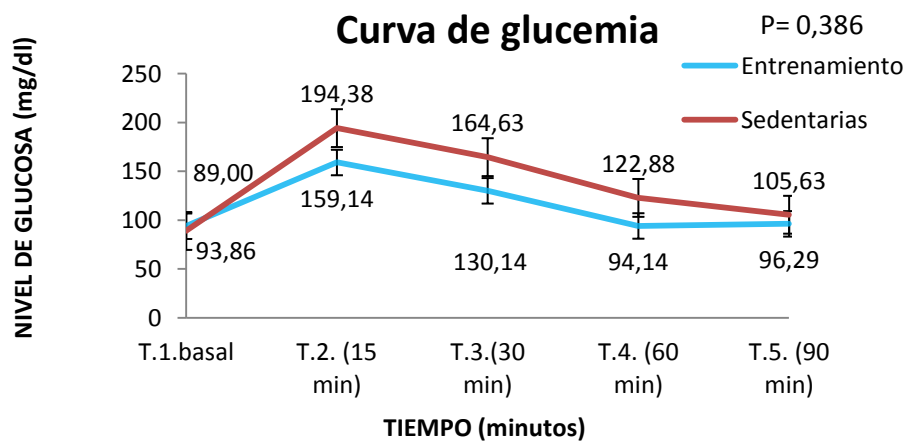


Figura 9. Evolución de la curva de glucemia el último día de la fase de experimentación.

5.5. Metabolismo Basal:

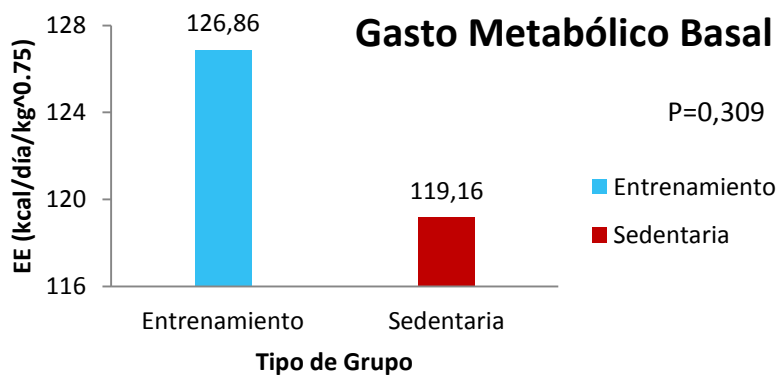


Figura 10. Energía Gastada en el metabolismo basal realizado con luz en la sala.

		N	Media	Desviación típica	P
Peso final (Gramos)	Entrenamiento	6	282,34	12,22	,001*
	Sedentarias	7	318,48	16,09	
Ingesta media (Gramos/día)	Entrenamiento	8	23,92	0,13	,000*
	Sedentarias	8	20,45	0,21	
Metabolismo basal nocturno final. (EE (kcal/día/kg ^{0.75})).	Entrenamiento	7	126,86	6,63	,309
	Sedentarias	5	119,18	17,56	
Glucosa tiempo 90 (minutos)	Entrenamiento	7	96,29	28,14	,386
	Sedentarias	8	105,63	8,47	
Carcasa (Gramos)	Entrenamiento	7	163,94	6,42	,0700
	Sedentarias	8	175,57	14,34	
VO₂max Inicial (ml / kg x min-1)	Entrenamiento	8	28,53	3,29	0,090
	Sedentarias	2	24,25	0,49	
VO₂max Final (ml / kg x min-1)	Entrenamiento	8	14,00	1,76	0,190
	Sedentarias	2	12,23	0,88	

Tabla 5. Efectos de un programa de entrenamiento resistencia aeróbica moderada-vigorosa interválica y fuerza resistencia sobre la ingesta calórica, peso corporal, composición corporal, la evolución del VO₂max, el metabolismo basal y la curva de glucemia. * P < 0.05.

6. DISCUSIÓN:

Cabe destacar en este apartado, que dentro del presente trabajo de investigación se pretendió poner a punto el pilotaje de un nuevo programa de entrenamiento caracterizado por la combinación del ejercicio de fuerza resistencia, ejecutado seguidamente con un ejercicio de resistencia aeróbica interválica, realizado a una intensidad moderada-vigorosa. Todo ello realizado en el orden propuesto, siguiendo el principio de transferencia, que indica el orden de realizar las capacidades físicas básicas dentro de una sesión de trabajo, realizando la fuerza antes de la resistencia, para no fatigar los neurotransmisores y con ello perder eficacia en todo el trabajo físico realizado dentro de la misma sesión. Diferenciando de esta manera lo realizado anteriormente en otros estudios de investigación realizados con un perfil de rata (Zucker), que posee un rendimiento físico condicionado por sus características genéticas (obesidad, hipertrigliceridemia, hipertensión, resistencia a la insulina, etc.) causa que la hace predispuesta a conseguir un aumento mayor de su peso corporal.

Los principales hallazgos de este estudio fueron el aumento de la ingesta y una paradójica disminución del peso corporal en las ratas que realizaban el programa de entrenamiento guiado con respecto al grupo control sedentario. Además se comprobó como dicho programa de actividad física supuso una regresión en los valores de potencia aeróbica máxima en las ratas, que no se esperaba a priori.

La mayor **ingesta** de alimento por parte de los animales que realizan un programa de ejercicio físico puede deberse: i. La compensación del propio gasto energético de la actividad, el animal deberá equilibrar la energía gastada con respecto a la energía ingerida, regulando el balance energético del organismo (Martins et al., 2010; Martins et al., 2007; Schwarz et al., 2011); Whybrow et al., 2008), ii. Dicho entrenamiento produce un aumento en el contenido de masa magra, como muestra el aumento del peso de la carcasa, tejido activo que hace incrementar la energía necesaria para el mantenimiento de dicho tejido muscular, así como viene a confirmarse en el mayor metabolismo basal de las ratas que se ejercitan.

Con respecto a los **cambios ponderales**, cabe destacar que la práctica de entrenamiento de resistencia aeróbica interválica combinado con fuerza resistencia, supuso una disminución del peso corporal con respecto al grupo control, como se ve en los resultados de la **Tabla 5 y la figura 7**, hecho que también ocurría en los estudios precedentes con otro tipo de ejercicio físico: de resistencia aeróbica continua moderada, con un control en el porcentaje total en cuanto al tipo de nutrientes que poseía la dieta, pero sin restricción en la cantidad total de alimento ingerido (Lee et al., 2005), sin un control en la alimentación de ningún tipo (King et al., 2009) o con un programa de entrenamiento físico de fuerza resistencia con restricción calórica en la ingesta total de alimento (Kirk et al., 2009). Además el mayor peso de la carcasa en ambos grupos y el aumento periódico del peso corporal desde la primera semana a la última fue debido a la maduración física de la rata en periodo de crecimiento.

Por si mismo, el ejercicio aeróbico continuo, intermitente y de fuerza resistencia disminuye la masa grasa y aumenta la masa magra, produciendo una transformación en la composición corporal y existiendo por tanto una transferencia de los resultados en los valores del peso corporal, ya que la densidad de la masa magra es mayor que la de la masa grasa y puede hacer aumentar el peso corporal (King et al., 2009; Kirk et al., 2009; Lee et al., 2005). En este estudio la diferencia entre el peso total con respecto a la masa magra (determinada por la carcasa del animal, *ver tabla 5*), supone también unos efectos adicionales sobre la reducción del tejido adiposo, como también se observaron en estudios precedentes (Barwell et al., 2009; Ibanez et al., 2005; Lee et al., 2005; Slentz et al., 2004) Todo ello debido por el aumento del tejido activo (masa magra) que a su vez y como se dijo anteriormente, supone un aumento en el metabolismo basal de la rata en reposo (ver figura 10).

La **evolución del $\dot{V}O_2\text{max}$** sufrió una disminución, datos que no se corresponden con los estudios precedentes en los que se realizaba solamente ejercicio aeróbico continuo a una intensidad moderada (Martins et al., 2010; Messonnier, Denis, Prieur, & Lacour, 2005) o de fuerza resistencia (Hautala et al., 2006) y se asemejan a los resultados de otros programas de entrenamiento combinado de resistencia aeróbico continuo y fuerza resistencia, donde apenas hay evolución en el $\dot{V}O_2\text{max}$ (Holviala et al., 2010).

Aunque se deja abierta para futuros estudio la hipótesis de que esta variable no hubiera sufrido un descenso tan acusado en el grupo de entrenamiento si hubiese existido algún periodo de descanso entre las 8 semanas de duración del programa, ya que el equivalente de edad de los 60 días de periodo experimental de la rata suponen unos 20 años de vida en el ser humano sin descansos, lo cual no permite cumplir el principio de supercompensación en el animal, como si se hubiera adecuado un periodo transitorio adecuado entre los estímulos oportunos, para provocar la mejora compensatoria a nivel fisiológico en el animal, porque en las primeras etapas el aumento fue muy acusado, no sabemos si por el estímulo de entrenamiento o por la maduración a nivel física y fisiológica o por ambos motivos, ya que como se comento anteriormente, esta última causa pudo provocar también la ganancia progresiva en el peso corporal.

La maduración de la rata y el supuesto aumento del tejido magro en relación al peso total, del grupo que desarrolla un programa de ejercicio físico, no se correspondió con la declinación consecuente del $\dot{V}O_2\text{max}$ en la última fase del experimento, observándose que la regresión en dicha variable es algo mayor en el grupo sedentario que en el que entrena (*ver figura 8*). A demás, no se debe olvidar que son ratas de raza Zucker, genéticamente modificadas, para optimizar el estudio de la obesidad y el síndrome metabólico.

El aumento del gasto metabólico basal fue mayor en el grupo de entrenamiento con respecto al grupo control sedentario, provocado por el desarrollo del tejido activo, que hace aumentar la energía gastada en el metabolismo del animal tanto en reposo como cuando el organismo se encuentra en movimiento, hecho que supone que aunque se ingiera más cantidad de comida, esta se requiera como necesaria para compensar el

balance energético entre la energía gastada /energía ingerida, provocando una disminución o cuanto menos un mantenimiento en el peso corporal del animal.

El test de glucemia permitió saber que las ratas que realizaban ejercicio físico poseían mayor eficiencia en el transporte de glucosa por parte de los transportadores de glucosa hacía sus células (transportadores dependientes de insulina no hepática) así como en la captación de la misma en las células a través de los receptores, provocando una eficacia positiva en cuanto a la resistencia a la insulina, hecho demostrado con la reducción de los valores de la misma en sangre en las diferentes muestras tomadas periódicamente en la realización de dicho test.

A pesar de que este estudio se trata de un pilotaje existen ciertas limitaciones que cabría destacar: 1. Sería deseable establecer el ratio testosterona/cortisol en plasma para descartar o reafirmar que el descenso del $VO_2\text{max}$, se produzca por un posible sobrentrenamiento. 2. Desconocemos los efectos de dicho programa de entrenamiento sobre marcadores bioquímicos, especialmente de perfil lipídico, altamente relacionados con un mayor riesgo cardiovascular. 3. Dado que se trata de la primera fase del estudio no podemos establecer comparaciones con animales sometidos a dietas con o sin entrenamiento o de diferente perfil genético. 4. Futuras estimaciones de los niveles séricos de corticosterona confirmarán la teoría del estrés como una posible explicación para el rendimiento que obtuvieron las ratas en la evolución de su potencia aeróbica máxima ($VO_2\text{max}$). 5. En el desarrollo de los entrenamientos y tests incrementales, para obtener el $VO_2\text{max}$ de la rata, se observó como algunas ratas intentaban mostraban cierto malestar en los entrenamientos intentándolos evitar. También podría ocurrir, que las ratas en los test incrementales, posean tal falta de motivación hacia el desempeño de la prueba que desobjetivizara los resultados obtenidos. 6. En sucesivos experimentos se medirá con DEXA (Dual-Energy X-ray Absorptiometry) de forma más precisa, la composición corporal de los animales, que se ha adquirido en el departamento donde se realizó el proyecto de investigación en estos días, y no estuvo disponible durante el desarrollo del periodo experimental.

No me gustaría dejar de comentar que este trabajo es un proyecto piloto, que se encuentra enmarcado dentro de otro proyecto y que ha contado con un número limitado de muestra que ha podido resultar clave en la significación de las medias obtenidas en alguna de las variables analizadas.

Por otra parte recordar que no hay estudios anteriores donde se combine el ejercicio de resistencia aeróbico **interválico** junto con el ejercicio de fuerza resistencia, como método para disminuir o prevenir la obesidad, con lo que los resultados obtenidos podrían ser el comienzo de una nueva línea de investigación que aclare y mejore la epidemia de obesidad que se expande a un ritmo vertiginoso, principalmente en los países más desarrollados.

7. CONCLUSIONES:

Se ha puesto a punto un nuevo programa de entrenamiento de resistencia aeróbica interválica, realizado a una intensidad moderada-vigorosa, donde se combina con ejercicio de fuerza resistencia en la misma sesión de trabajo y que se considera novedoso y presumiblemente eficiente para disminuir y/o contrarrestar la obesidad.

Con el entrenamiento programado que se llevó a cabo con las ratas de experimentación, se observó una reducción del **peso corporal** en los animales que realizaron el programa de entrenamiento frente a los que no lo hicieron, lo que supuso una disminución del tejido graso y un aumento del peso magro relativo al peso total del animal. A pesar del incremento de **la ingesta alimenticia** que fue debido a un aumento del tejido activo del animal, lo cual provoca un aumento en el gasto metabólico basal y con ello que la rata requiriera mayor energía para realizar su metabolismo.

Asimismo dicho programa de entrenamiento mejoró la resistencia a la insulina, dato que se comprobó con el tiempo de recuperación necesario para volver a los niveles basales de glucosa en sangre, después de realizar el test de la curva de glucemia a todas las ratas.

No hubo diferencias significativas entre el grupo que realizó ejercicio físico al que llevó una vida sedentaria, en lo que respecta a la mejora de la **potencia aeróbica** del animal. Se observó una evolución muy marcada en las primeras semanas de entrenamiento, que finalmente fue decreciendo a lo largo que avanzó el experimento, hasta confirmar unos valores finales de VO_2 max relativo menores que los iniciales para ambos grupos de experimentación.

Con todo lo anteriormente citado, cabe pensar en una prometedora línea de investigación sobre el ejercicio físico, para combatir con mayor efectividad el síndrome metabólico y la obesidad. Aunque serán los futuros estudios quienes confirmen o contrasten estos resultados.

8. AGRADECIMIENTOS:

A Virginia, por sus incansables ganas de enseñar, las infinitas ganas de mejorar que me ha transmitido a lo largo de todo este tiempo para alcanzar la perfección, y por haberme acogido desde el primer momento.

A Pilar, por el trato y amabilidad que me ha ofrecido y por darme la posibilidad de poder trabajar y comenzar mi proyecto fin de máster y quién sabe si mi futura tesis doctoral con este maravilloso grupo.

A Jesús M^a Porres Foulque, por su eterna paciencia, su calidad como persona y los valores que me ha transmitido en la forma de trabajar.

A mi madre, por dedicar su vida por mí, y por estar siempre a mi lado pese a mis nervios e intranquilidades mostradas en muchos momentos.

A mi hermana, por ser mi verdadera guía y por todo el apoyo y tiempo que ha dedicado en que yo creciera.

A Elena y Gari, por sus consejos, su disposición y amabilidad mostrada constantemente en resolver mis infinitas dudas.

A todos los demás compañeros de laboratorio: Christian, Ana, Lucía, Sandra, Chari, Jesús, Jorge, Carlos y Dani por su colaboración y la calidad humana que han mostrado tener en toda esta experiencia.

A todos mis amigos/as y compañeros, por los buenos momentos y por lo que habéis aportado cada uno en mi vida.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Aparicio, V. A., Nebot, E., Porres, J. M., Ortega, F. B., Heredia, J. M., Lopez-Jurado, M., & Ramirez, P. A. (2011). Effects of high-whey-protein intake and resistance training on renal, bone and metabolic parameters in rats. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Br J Nutr*, *105*(6), 836-845. doi: 10.1017/S0007114510004393
- Aranceta, J. (2004). [Community Nutrition]. [Review]. *Arch Latinoam Nutr*, *54*(2 Suppl 1), 9-13.
- Barwell, N. D., Malkova, D., Leggate, M., & Gill, J. M. R. (2009). Individual responsiveness to exercise-induced fat loss is associated with change in resting substrate utilization. *Metabolism*, *58*(9), 1320-1328.
- Benson, A. C., Torode, M. E., & Fiatarone Singh, M. A. (2008). The effect of high-intensity progressive resistance training on adiposity in children: a randomized controlled trial. [Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Int J Obes (Lond)*, *32*(6), 1016-1027. doi: 10.1038/ijo.2008.5
- Choban, P. S., & Dickerson, R. N. (2005). Morbid obesity and nutrition support: is bigger different? *Nutr Clin Pract*, *20*(4), 480-487.
- Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W., & Smith, B. K. (2009). American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. [Practice Guideline]. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(2), 459-471. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181949333
- Fogelholm, M. (2010). Physical activity, fitness and fatness: relations to mortality, morbidity and disease risk factors. A systematic review. *Obes Rev*, *11*(3), 202-221.
- Hamlin, M. J., Draper, N., Blackwell, G., Shearman, J. P., & Kimber, N. E. (2012). Determination of Maximal Oxygen Uptake Using the Bruce or a Novel Athlete-Led Protocol in a Mixed Population. *Journal of Human Kinetics*, *31*, 97-104.
- Haram, P. M., Kemi, O. J., Lee, S. J., Bendheim, M. O., Al-Share, Q. Y., Waldum, H. L., . . . Wisloff, U. (2009). Aerobic interval training vs. continuous moderate exercise in the metabolic syndrome of rats artificially selected for low aerobic capacity. [Comparative Study Research Support, N.I.H., Extramural Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S.]. *Cardiovasc Res*, *81*(4), 723-732. doi: 10.1093/cvr/cvn332
- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., Makikallio, T. H., Kinnunen, H., Nissila, S., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2006). Individual differences in the responses to

- endurance and resistance training. [Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Eur J Appl Physiol*, 96(5), 535-542. doi: 10.1007/s00421-005-0116-2
- Holviala, J., Hakkinen, A., Karavirta, L., Nyman, K., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. M., . . . Hakkinen, K. (2010). Effects of combined strength and endurance training on treadmill load carrying walking performance in aging men. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Strength Cond Res*, 24(6), 1584-1595. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181dba178
- Ibanez, J., Izquierdo, M., Arguelles, I., Forga, L., Larrion, J. L., Garcia-Unciti, M., . . . Gorostiaga, E. M. (2005). Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in older men with type 2 diabetes. [Clinical Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Diabetes Care*, 28(3), 662-667.
- Kemi, O. J., Haram, P. M., Loennechen, J. P., Osnes, J. B., Skomedal, T., Wisloff, U., & Ellingsen, O. (2005). Moderate vs. high exercise intensity: differential effects on aerobic fitness, cardiomyocyte contractility, and endothelial function. [Comparative Study Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Cardiovasc Res*, 67(1), 161-172. doi: 10.1016/j.cardiores.2005.03.010
- King, N. A., Hopkins, M., Caudwell, P., Stubbs, R. J., & Blundell, J. E. (2009). Beneficial effects of exercise: shifting the focus from body weight to other markers of health. *Br J Sports Med*, 43(12), 924-927.
- Kirk, E. P., Donnelly, J. E., Smith, B. K., Honas, J., Lecheminant, J. D., Bailey, B. W., . . . Washburn, R. A. (2009). Minimal resistance training improves daily energy expenditure and fat oxidation. [Randomized Controlled Trial Research Support, N.I.H., Extramural Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Med Sci Sports Exerc*, 41(5), 1122-1129. doi: 10.1249/MSS.0b013e318193c64e
- Kosti, R. I., & Panagiotakos, D. B. (2006). The epidemic of obesity in children and adolescents in the world. [Review]. *Cent Eur J Public Health*, 14(4), 151-159.
- Lee, S., Kuk, J. L., Davidson, L. E., Hudson, R., Kilpatrick, K., Graham, T. E., & Ross, R. (2005). Exercise without weight loss is an effective strategy for obesity reduction in obese individuals with and without Type 2 diabetes. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*, 99(3), 1220-1225.
- Martins, C., Kulseng, B., King, N. A., Holst, J. J., & Blundell, J. E. (2010). The effects of exercise-induced weight loss on appetite-related peptides and motivation to eat. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Clin Endocrinol Metab*, 95(4), 1609-1616. doi: 10.1210/jc.2009-2082

- Martins, C., Morgan, L. M., Bloom, S. R., & Robertson, M. D. (2007). Effects of exercise on gut peptides, energy intake and appetite. [Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Endocrinol*, *193*(2), 251-258. doi: 10.1677/JOE-06-0030
- McGuigan, M. R., Tatasciore, M., Newton, R. U., & Pettigrew, S. (2009). Eight Weeks of Resistance Training Can Significantly Alter Body Composition in Children Who Are Overweight or Obese. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(1), 80-85. doi: Doi 10.1519/Jsc.0b013e3181876a56
- Messonnier, L., Denis, C., Prieur, F., & Lacour, J. R. (2005). Are the effects of training on fat metabolism involved in the improvement of performance during high-intensity exercise? *Eur J Appl Physiol*, *94*(4), 434-441. doi: 10.1007/s00421-005-1325-4
- Perez-Rodrigo, C., Aranceta Bartrina, J., Serra Majem, L., Moreno, B., & Delgado Rubio, A. (2006). Epidemiology of obesity in Spain. Dietary guidelines and strategies for prevention. [Review]. *Int J Vitam Nutr Res*, *76*(4), 163-171. doi: 10.1024/0300-9831.76.4.163
- Poirier, P., Giles, T. D., Bray, G. A., Hong, Y., Stern, J. S., Pi-Sunyer, F. X., & Eckel, R. H. (2006). Obesity and cardiovascular disease: pathophysiology, evaluation, and effect of weight loss: an update of the 1997 American Heart Association Scientific Statement on Obesity and Heart Disease from the Obesity Committee of the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. [Consensus Development Conference Review]. *Circulation*, *113*(6), 898-918. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.171016
- Pollock, M. L., Bohannon, R. L., Cooper, K. H., Ayres, J. J., Ward, A., White, S. R., & Linnerud, A. C. (1976). A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. [Comparative Study]. *Am Heart J*, *92*(1), 39-46.
- Pratley, R. E., Hagberg, J. M., Dengel, D. R., Rogus, E. M., Muller, D. C., & Goldberg, A. P. (2000). Aerobic exercise training-induced reductions in abdominal fat and glucose-stimulated insulin responses in middle-aged and older men. [Clinical Trial Controlled Clinical Trial Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S. Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *J Am Geriatr Soc*, *48*(9), 1055-1061.
- Raj, M., & Kumar, R. K. (2010). Obesity in children & adolescents. [Review]. *Indian J Med Res*, *132*, 598-607.
- Reeves, P. G., Nielsen, F. H., & Fahey, G. C., Jr. (1993). AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc

- writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. [Congresses]. *J Nutr*, 123(11), 1939-1951.
- Schwarz, N. A., Rigby, B. R., La Bounty, P., Shelmadine, B., & Bowden, R. G. (2011). A review of weight control strategies and their effects on the regulation of hormonal balance. *Journal of nutrition and metabolism*, 2011, 237932.
- Sgro, M., McGuigan, M. R., Pettigrew, S., & Newton, R. U. (2009). The effect of duration of resistance training interventions in children who are overweight or obese. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Strength Cond Res*, 23(4), 1263-1270. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181910746
- Shalitin, S., Ashkenazi-Hoffnung, L., Yackobovitch-Gavan, M., Nagelberg, N., Karni, Y., HersHKovitz, E., . . . Phillip, M. (2009). Effects of a twelve-week randomized intervention of exercise and/or diet on weight loss and weight maintenance, and other metabolic parameters in obese preadolescent children. [Multicenter Study Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Horm Res*, 72(5), 287-301. doi: 10.1159/000245931
- Slentz, C. A., Duscha, B. D., Johnson, J. L., Ketchum, K., Aiken, L. B., Samsa, G. P., . . . Kraus, W. E. (2004). Effects of the amount of exercise on body weight, body composition, and measures of central obesity: STRRIDE--a randomized controlled study. [Clinical Trial Randomized Controlled Trial Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *Arch Intern Med*, 164(1), 31-39. doi: 10.1001/archinte.164.1.31
- Westerterp, K. R. (2010). Physical activity, food intake, and body weight regulation: insights from doubly labeled water studies. [Review]. *Nutrition reviews*, 68(3), 148-154. doi: 10.1111/j.1753-4887.2010.00270.x
- Westerterp, K. R., Meijer, G. A., Janssen, E. M., Saris, W. H., & Ten Hoor, F. (1992). Long-term effect of physical activity on energy balance and body composition. *Br J Nutr*, 68(1), 21-30.
- Whybrow, S., Hughes, D. A., Ritz, P., Johnstone, A. M., Horgan, G. W., King, N., . . . Stubbs, R. J. (2008). The effect of an incremental increase in exercise on appetite, eating behaviour and energy balance in lean men and women feeding ad libitum. [Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Br J Nutr*, 100(5), 1109-1115. doi: 10.1017/S0007114508968240