



Medicina del Deporte

www.elsevier.es/ramd



Original

Efectos del ejercicio aeróbico interválico, combinado con entrenamiento de fuerza y de la restricción calórica, sobre la composición corporal de ratas obesas

I. Coll-Risco, D. Camiletti-Moirón, D.J. Tirado, E. Nebot, A. Andrade, R. Martínez, G. Kapravelou, J.M. Porres, P. Aranda y V.A. Aparicio*

Departamento de Fisiología, Facultad de Farmacia y Facultad de Ciencias del Deporte e Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Granada, Granada, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 4 de diciembre de 2014

Aceptado el 6 de abril de 2015

On-line el xxx

Palabras clave:

Masa grasa

Masa muscular

Entrenamiento aeróbico interválico

Adiposidad

R E S U M E N

Objetivo: Investigar los efectos de un programa de ejercicio aeróbico interválico, combinado con entrenamiento de fuerza, y de la restricción calórica, sobre el peso y la composición corporal de ratas genéticamente obesas.

Método: Un total de 32 ratas genéticamente obesas fueron divididas aleatoriamente en dos grupos ($n = 16$) con o sin ejercicio aeróbico interválico combinado con entrenamiento de fuerza. A su vez, cada grupo, con o sin ejercicio aeróbico interválico combinado con entrenamiento de fuerza, fue dividido en dos grupos, con o sin restricción calórica, resultando cuatro grupos de intervención ($n = 8$). El programa de ejercicio aeróbico interválico combinado con entrenamiento de fuerza se llevó a cabo en una misma sesión de 60 min, cinco días por semana, durante dos meses. Los grupos con restricción calórica consumieron un 30% menos de alimento que los *ad libitum*. Se determinó el peso corporal y la masa de la carcasa mediante una balanza de precisión y la masa grasa, muscular y el agua corporal, mediante un analizador de composición corporal, basado en resonancia magnética nuclear, de diseño especial para ratas.

Resultados: El peso corporal final fue menor en aquellos animales que realizaron restricción calórica frente a aquellos cuya alimentación fue *ad libitum* ($p < 0.001$). La masa grasa fue menor y la masa muscular mayor en aquellos animales que desarrollaron el ejercicio aeróbico interválico combinado con entrenamiento de fuerza, frente a los sedentarios ($p < 0.001$), sin diferencias atendiendo a la restricción calórica ($p > 0.05$). Hemos observado interacciones entrenamiento *versus* restricción calórica, en masa muscular y agua total. Los animales que incrementaron más su masa muscular y agua corporal, fueron los que combinaron el entrenamiento con la restricción calórica (ambos $p < 0.01$).

Conclusiones: Tanto el programa de ejercicio aeróbico interválico, combinado con entrenamiento de fuerza desarrollado, como la restricción calórica, fueron eficaces, mejorando la composición corporal de ratas obesas, pero el ejercicio lo hizo en mayor magnitud.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Effects of aerobic interval exercise combined with resistance training and caloric restriction, on body composition in obese rats

A B S T R A C T

Objective: To investigate the effects of a training program based on aerobic interval exercise combined with resistance training and caloric restriction, on final body weight and body composition of genetically obese rats.

Methods: Thirty-two genetically obese rats were randomly divided into two groups ($n = 16$) with or without aerobic interval exercise combined with resistance training. In turn, each group, with or without

Keywords:

Fat mass

Muscle mass

Interval training

Adiposity

* Autora para correspondencia.

Correo electrónico: virginiaparcio@ugr.es (V.A. Aparicio).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ramd.2015.04.006>

1888-7546/© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Cómo citar este artículo: Coll-Risco I, et al. Efectos del ejercicio aeróbico interválico, combinado con entrenamiento de fuerza y de la restricción calórica, sobre la composición corporal de ratas obesas. Rev Andal Med Deporte. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ramd.2015.04.006>

aerobic interval exercise combined with resistance training, was divided into two groups, with or without caloric restriction, resulting 4 intervention groups ($n = 8$). The training groups conducted an aerobic interval exercise combined with resistance training program in a 60 min session, five days/week for two months. Calorie-restricted groups consumed 30% less food than ad libitum groups. Body weight and carcass was determined with a precision balance and fat, muscle mass and body water was assessed using a body composition analyzer based in nuclear magnetic resonance, especially designed for rats.

Results: Final body weight was lower in animals that followed the caloric restriction compared to those fed *ad libitum* ($P < .001$). Fat mass was lower and muscle mass higher in those animals that developed aerobic interval exercise combined with resistance training compared to the sedentary groups ($P < .001$) without differences attending to the caloric restriction (all $P > .05$). Interactions of caloric restriction *versus* training were observed on muscular mass and total body water. The highest value of muscle mass and body water was observed in those animals that combined the training protocol with the caloric restriction (both, $P < .01$).

Conclusion: Both, the aerobic interval exercise program combined with resistance training program developed and caloric restriction enhanced body composition in obese rats, but exercise improved it further.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Efeitos do exercício aeróbico intervalado combinado com o treinamento de Resistencia e restrição calórica, na composição de ratas obesas

R E S U M O

Palavras-chave:

Massa gorda
Massa muscular
Treinamento físico aeróbico
Adiposidade

Objetivo: Investigar os efeitos de um programa de treinamento baseado no exercício aeróbico intervalado combinado com treinamento de resistência e restrição calórica sobre o peso corporal final e composição corporal de ratas geneticamente obesas.

Método: Trinta e duas ratas obesas foram divididos aleatoriamente em dois grupos ($n = 16$) divididos com ou sem exercício aeróbico intervalado, que por sua vez foram divididos em mais dois grupos (com ou sem restrição calórica), resultando em quatro grupos de intervenção ($n = 8$). O programa de exercício aeróbico intervalado foi realizado em uma sessão de 60 min, cinco dias por semana, durante dois meses. A ingestão de alimentos do grupo restrição calórica foi 30% menor que os *ad libitum*. O peso corporal total e a massa gorda foi mensurada mediante uma balança de precisão e a massa muscular e água corporal foram medidas utilizando a análise de composição corporal baseado na ressonância magnética nuclear especialmente concebido para ratos.

Resultados: O peso corporal final foi menor nos animais que realizaram o restrição calórica frente aqueles cuja alimentação foi *ad libitum* ($p < 0.001$). A gordura corporal foi menor e a massa muscular maior naqueles animais que realizaram o exercício aeróbico intervalado frente aos sedentários ($p < 0.001$) sem diferenças em relação ao restrição calórica (todos $p > 0.05$). Interações do treinamento vs restrição calórica foram observadas na massa muscular e água corporal. O alto volume da massa muscular e água corporal foi observado nos animais que combinaram o protocolo restrição calórica (ambos $p < 0.01$).

Conclusão: Ambos os programas de exercício aeróbico intervalado desenvolvidos com restrição calórica foram eficazes, melhorando a composição corporal de ratas obesas, entretanto o exercício o fez em maior magnitude.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Numerosos estudios epidemiológicos ponen de manifiesto que el sobrepeso es uno de los principales problemas de salud en los países desarrollados¹. De hecho, el sobrepeso es hoy día considerado la pandemia del siglo XXI, ya que tiene una prevalencia superior a los 1800 millones de adultos a nivel mundial². Además, más de 300 millones de personas en el mundo padecen obesidad³. En España, el impacto que genera la obesidad representa un total del 5.5% en la tasa de mortalidad general⁴. El alto impacto que dicho estado genera sobre las enfermedades crónicas, su coste económico, su influencia sobre la calidad de vida y su imparable crecimiento, la convierten en un importante problema de salud pública⁵.

Uno de los métodos más empleados para luchar contra la obesidad es la restricción calórica (RC)⁶. La RC es un régimen dietético que se basa en la ingesta de una dieta baja en calorías pero manteniendo las proporciones saludables de macronutrientes (hidratos de carbono, grasas y proteínas). Los efectos de la RC sobre el retraso

del proceso de envejecimiento y el aumento de la longevidad han sido altamente contrastados en diferentes modelos de experimentación, desde pequeñas células eucariotas hasta en grandes mamíferos⁷. En humanos, a nivel metabólico, la RC ha mostrado no solo prevenir la obesidad, sino también mejorar la sensibilidad a la insulina, los niveles plasmáticos de glucosa en ayunas, el colesterol, la hipertensión y la inflamación crónica⁸.

La combinación de una intervención dietética, junto con la práctica de actividad física parece ser la herramienta más exitosa para combatir la obesidad⁹. La práctica de ejercicio físico modifica la composición corporal, provocando un aumento de la masa muscular, un descenso o normalización del peso, así como pérdida de masa grasa abdominal y visceral¹⁰. La intensidad parece ser el factor fundamental a la hora de programar una determinada práctica de actividad física, pudiendo ser el ejercicio aeróbico interválico a un 65-70% del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) el más eficiente para la pérdida de peso¹¹. Por otra parte, el entrenamiento de fuerza también promueve importantes efectos metabólicos¹².

Por tanto, el Colegio Americano de Medicina del Deporte recomienda que el entrenamiento con cargas debe estar presente, junto con el entrenamiento aeróbico, si se buscaban pérdidas de peso, debido al efecto beneficioso de ambas cualidades¹². Además, se ha observado que el ejercicio aeróbico interválico, que combina periodos a intensidades moderadas, con otros de intensidad vigorosa, podría favorecer mayores beneficios en parámetros de síndrome metabólico¹³.

Para el desarrollo del presente estudio se han empleado ratas genéticamente obesas (raza Zucker), las cuales están predispuestas a la hiperfagia debido a que presentan una mutación en el receptor de la leptina¹⁴. Como consecuencia de dicha mutación, estos animales presentan obesidad, resistencia a la insulina, hipertrigliceridemia e hipertensión arterial¹⁴. Por tanto, el objetivo de este estudio fue valorar los efectos de un programa de entrenamiento aeróbico interválico combinado con entrenamiento de fuerza (AIF) y de la RC sobre la composición corporal de ratas genéticamente obesas para determinar cuál de las dos intervenciones es más eficaz y si existe una interacción positiva entre ambas, o por el contrario no es estrictamente necesario aunarlas.

Método

Muestra

Un total de 32 ratas macho, de la variedad Zucker, genéticamente obesas (Fa/fa), fueron empleadas para este experimento. Los animales fueron divididos aleatoriamente en dos grupos (16 animales por grupo). Un grupo, sedentario, compuesto a su vez por dos subgrupos: grupo con RC (ocho animales) y grupo con ingesta *ad libitum* (ocho animales). El segundo grupo llevó a cabo un protocolo de AIF y también estuvo formado por 16 animales, divididos en dos grupos de ocho ratas (con RC o ingesta *ad libitum*).

Los animales, con un peso inicial medio de 162 ± 8 g, fueron alojados en jaulas grupales de cuatro animales. Todas las jaulas se encontraban en una habitación donde la temperatura era constante (21 ± 2 °C), con una humedad relativa que oscilaba entre el 40 y el 60% y ciclos de luz-oscuridad de 12 h de tipo inverso (08:00-20:00 h). A lo largo del periodo experimental (ocho semanas), todos los animales tuvieron libre acceso al agua destilada tipo 2 (agua con una resistividad de al menos 15Ω).

El peso corporal de los animales se registró semanalmente a la misma hora tras 7 h de ayuno (para evitar que periodos de ayuno superiores indujeran estrés al animal y garantizar que no hubiera descompensaciones y alteraciones fisiológicas derivado del mismo)¹⁵. La cantidad de alimento ingerido por cada animal se cuantificó diariamente.

Una vez finalizado el periodo experimental, se registró el peso de la carcasa, que es el peso del animal una vez desollado, desangrado, eviscerado, sin cabeza, cola y patas. Esta variable aporta información adicional acerca del tamaño (masa ósea y muscular) y tejido activo del animal (masa muscular, principalmente). Todos los experimentos que se realizaron se llevaron a cabo de acuerdo a las guías de dirección relacionadas con el alojamiento de animales y su cuidado¹⁵. Además, todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité Ético de Experimentación Animal de la Universidad de Granada.

Procedimiento

La dieta empleada durante las ocho semanas fue formulada y realizada en forma de polvo en el laboratorio. Para cumplir con los requerimientos nutricionales de la rata, todas las dietas fueron formuladas siguiendo las recomendaciones del Instituto Americano de Nutrición (AIN-93M)¹⁶ y cumplieron con los requerimientos para

satisfacer las necesidades de ratas de experimentación¹⁷. Con el fin de reproducir, de la forma más real posible, los hábitos nutricionales de deportistas y aficionados, se ha empleado un hidrolizado deportivo comercial de lactosuero como fuente proteica (Dymatize ISO-100, Farmers Branch, TX, EE. UU.). El contenido de proteína empleado para las dietas (normocalóricas) fue del 10%, de acuerdo con el Instituto Americano de Nutrición¹⁷. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, se seleccionó un 30% de proteína de origen animal (lactosuero) y un 70% de proteína de origen vegetal (soja). Debido a la alta calidad de la proteína (alto valor biológico) de los suplementos deportivos proteicos empleados, no hemos considerado necesaria la complementación de la dieta con otros aminoácidos, sin embargo, hemos añadido 0.5 g/100 g de dieta de metionina¹⁶.

El grupo con RC ingirió un 30% menos alimento que el grupo *ad libitum* de las mismas características (con o sin entrenamiento). Los animales tenían acceso libre a los comederos grupales durante todo el periodo experimental. Dado que la rata es un animal social, recientemente se han puesto de manifiesto las alteraciones fisiológicas relacionadas con el estrés que se derivan del alojamiento individual de dichos animales¹⁵. Con la intención de evitar y controlar dicho estrés y sus efectos a todos los niveles fisiológicos (incluida, lógicamente, la composición corporal), nuestro grupo viene desarrollando los experimentos en jaulas grupales. En experimentos previos con RC hemos confirmado que la rata no actúa de forma jerárquica y que los animales se reparten de forma uniforme el alimento que haya disponible. Para contrastar que así sucedía, pesamos todos los días a los animales, confirmando que las ganancias de peso corporal son similares para todos los animales de la jaula. Es decir, que no había animales de un mismo grupo/jaula que perdieran o ganaran más peso en comparación con los demás.

Los grupos experimentales fueron entrenados cinco días por semana siguiendo un protocolo de entrenamiento AIF en la misma sesión. El protocolo de entrenamiento fue diseñado y supervisado por licenciados en Ciencias del Deporte, en colaboración con especialistas en el trabajo con los animales. Dicho protocolo de entrenamiento se desarrolló en un tapiz rodante de diseño especial para ratas (Panlab. Harvard apparatus. Treadmills para cinco ratas, LE8710R, software SeDaCom V2. Panlab. Harvard apparatus). Todas las sesiones se llevaron a cabo durante el ciclo de oscuridad de los animales (periodo activo). Los detalles del protocolo de entrenamiento se muestran en la tabla 1. Una semana antes del periodo experimental, los animales se adaptaron al protocolo de entrenamiento y al tapiz rodante mediante un programa de ejercicio a volumen e intensidad muy bajos (20 min a 25 cm/s). El presente protocolo de entrenamiento ha sido diseñado y adaptado a partir de los estudios de Haram et al.¹³ y Kemi et al.¹⁸.

Todas las sesiones consistieron en 60 min de trabajo efectivo. Las sesiones comenzaron con 10 min de calentamiento al 40% del VO_2 máx. Tras el calentamiento se llevó a cabo el entrenamiento de fuerza resistencia, que consistió en ocho series de 2 min de trabajo alternadas con 1 min de descanso en los que el animal se desplazaba sobre el tapiz a baja velocidad (20-25 cm/s, equivalente a ~ 30 -40% VO_2 máx) con una inclinación de la pendiente, que se incrementó progresivamente cada dos semanas, a partir de diez hasta 25 grados. El entrenamiento de fuerza fue seguido de 30 min de ejercicio aeróbico interválico, alternando 4 min de trabajo entre el 50-65% del VO_2 máx combinado con 3 min al 65-80% del VO_2 máx.

Para establecer la velocidad para cada porcentaje del VO_2 máx, se realizó un test incremental máximo al comienzo del periodo experimental y otro al inicio de cada mes, para ajustar la intensidad del protocolo interválico en un tapiz rodante de una sola calle (Panlab. Harvard apparatus. Treadmill para 1 rata, LE8700). Este protocolo, implementado a través de software (Metabolism. Panlab. Harvard apparatus) y un analizador de gases (LE405 O₂/CO₂ Analyser y LE4002FL Air Supply and Switching Unit. Panlab.

Tabla 1
Detalles del programa de ejercicio aeróbico interválico combinado con entrenamiento de fuerza

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Calentamiento (10 min)	35%VO ₂ máx	35%VO ₂ máx	40%VO ₂ máx	40%VO ₂ máx	45%VO ₂ máx	45%VO ₂ máx	50%VO ₂ máx	50%VO ₂ máx
Entrenamiento de fuerza (8 series de 2 min de trabajo con 1 min de recuperación)	10%	10%	15%	15%	20%	20%	25%	25%
Inclinación								
Velocidad ^a	20 cm/s	25 cm/s	20 cm/s	25 cm/s	20 cm/s	25 cm/s	20 cm/s	25 cm/s
Entrenamiento aeróbico interválico (ciclos de intervalos de 3 min y 4 min a distinta intensidad hasta completar 30 min)	4 min 50% VO ₂ máx-3 min 65%VO ₂ máx	4 min 50% VO ₂ máx-3 min 65%VO ₂ máx	4 min 55% VO ₂ máx-3 min 70%VO ₂ máx	4 min 55% VO ₂ máx-3 min 70%VO ₂ máx	4 min 60% VO ₂ máx-3 min 75%VO ₂ máx	4 min 60% VO ₂ máx-3 min 75%VO ₂ máx	4 min 65% VO ₂ máx-3 min 80%VO ₂ máx	4 min 65% VO ₂ máx-3 min 80%VO ₂ máx

VO₂máx: consumo máximo de oxígeno.

^a Muy baja velocidad.

Harvard apparatus), ofrece una valoración adecuada del consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono.

Para determinar la composición corporal de los animales se empleó un analizador de composición corporal diseñado específicamente para ratas (Echo MRI; Echo Medical Systems, Houston, TX, EE: UU.). La valoración fue llevada a cabo con los animales tras 7 h de ayuno un día antes del final del periodo experimental. Este analizador permite medir, mediante resonancia magnética nuclear y sin necesidad de sedar al animal, el tejido graso (g), el tejido magro (g) y el agua corporal (ml) en animales vivos. Además, dicho analizador ha mostrado una alta precisión, validez y fiabilidad¹⁹.

Análisis estadístico

Los resultados se presentan como media y desviación típica. Para interpretar los efectos del protocolo de ejercicio, así como de la RC, se empleó el paquete estadístico para Ciencias Sociales (SPSS, versión 19.0 para Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.) y el nivel de significación estadística se estableció en $p < 0.05$. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías, siendo las dos variables independientes el protocolo de entrenamiento y la RC, y las dependientes los parámetros de composición corporal. Además, se introdujo el análisis de las interacciones RC *versus* entrenamiento en el modelo.

Resultados

Los efectos del entrenamiento AIF y de la RC sobre el peso y la composición corporal se muestran en la [tabla 2](#). El peso final y de la carcasa fue un 20% menor en aquellos animales que realizaron RC comparado con aquellos cuya alimentación fue *ad libitum* ($p < 0.001$). La masa grasa fue un 17% menor en aquellos animales que desarrollaron el protocolo de entrenamiento AIF comparado con los sedentarios ($p < 0.001$), sin diferencias atendiendo a la RC. La masa muscular fue un 13% mayor en aquellos animales que realizaron el entrenamiento comparado con los sedentarios ($p < 0.001$).

Hemos analizado las interacciones entrenamiento AIF *versus* RC: El grupo con mayor masa muscular fue el que realizó el protocolo de entrenamiento AIF y la RC, mientras que el grupo que consiguió una menor masa muscular fue el sedentario con RC ($p = 0.008$). Aquellos animales con mayor cantidad de agua total fueron los que realizaron el programa de entrenamiento AIF sometidos a RC, mientras que los que presentaron una menor cantidad de agua corporal fueron los de RC sedentarios ($p = 0.008$).

Discusión

Los resultados del presente estudio muestran que las ratas sometidas a RC presentaron un peso final y de la carcasa menor que las que consumieron una dieta *ad libitum*, pero a expensas de una menor masa muscular. Sin embargo, aquellos animales que desarrollaron un protocolo de entrenamiento AIF mostraron menor masa grasa y mayor masa muscular. Por lo tanto, debido a la importancia fisiológica y metabólica que conlleva perder peso, no a costa de una disminución de la masa muscular, sino a expensas de la pérdida de grasa, podemos afirmar que los mayores beneficios para la salud se produjeron en los animales que siguieron el entrenamiento AIF.

Tras una profunda revisión de la literatura científica no hemos encontrado estudios en los que se comparen los efectos de ambas intervenciones (RC y entrenamiento) en ratas obesas. Sin embargo, algunos estudios han mostrado resultados muy similares en cuanto a los efectos aislados de protocolos de ejercicio físico, sobre la composición corporal de ratas. Cabría destacar el estudio de Haram et al.¹³ en el cual se analizaron los efectos de un programa de ocho

Tabla 2
Efectos del entrenamiento y de la restricción calórica sobre el peso y la composición corporal en ratas genéticamente obesas

	Ejercicio		Sedentario		p Restricción calórica	p Ejercicio	p Interacción restricción calórica-ejercicio
	Restricción calórica	<i>Ad libitum</i>	Restricción calórica	<i>Ad libitum</i>			
Ingesta media (g/día)	19.20 (0.02)	27.4 (3.7)	17.70 (0.05)	25.4 (3.3)	<0.001	<0.001	<0.001
Peso final (g)	377.7 (33.8)	438.3 (28.3)	375.4 (13.5)	462.1 (32.2)	<0.001	0.329	0.052
Peso carcasa (g)	180.0 (15.3)	203.9 (13.1)	155.0 (9.2)	199.9 (11.7)	<0.001	0.022	0.094
Masa grasa (g)	173.4 (19.6)	184.7 (21.5)	199.5 (12.2)	218.5 (13.3)	0.019	<0.001	0.537
Masa muscular (g)	216.5 (17.0)	204.2 (14.8)	174.5 (8.0)	190.0 (13.8)	0.747	<0.001	0.008
Agua corporal (ml)	188.5 (14.9)	174.7 (9.1)	155.4 (6.8)	164.4 (12.3)	0.554	<0.001	0.008

Valores mostrados como media (desviación típica).

semanas de entrenamiento en 24 ratas con síndrome metabólico. Los autores dividieron la muestra en dos grupos de entrenamiento y un grupo control sin entrenamiento, un grupo practicó ejercicio continuo y otro entrenamiento aeróbico interválico. Ambos grupos de entrenamiento consiguieron reducir su peso final con respecto al sedentario. Los dos programas de entrenamiento de ejercicio, sin embargo, fueron igualmente efectivos en la reducción del peso corporal y el contenido de grasa. Bajo nuestras condiciones experimentales, no podemos confirmar pérdida de peso corporal, lo que puede ser debido a que nuestro protocolo de entrenamiento incluía el desarrollo de la fuerza muscular y por tanto ganancias de masa muscular, la cual tiene mayor peso que la masa grasa. De hecho, con nuestras condiciones experimentales, los grupos de entrenamiento mostraron un 13% mayor masa muscular a expensas de un 17% menos de grasa. Por otra parte, los grupos de RC, con respecto a los *ad libitum*, no mostraron cambios ni en la masa grasa ni muscular, pero sí un 20% menor peso final.

Los efectos de la dieta y del ejercicio, así como la comparativa de los efectos de ambas intervenciones sobre la composición corporal, han sido analizados en estudios desarrollados en humanos. Recientes estudios resaltan la importancia de intervalos de ejercicio, con cierto grado de intensidad, para obtener mayores beneficios sobre parámetros de síndrome metabólico (incluida adiposidad). En el estudio de Benson et al.²⁰ desarrollado en niños de entre 10 y 15 años, un protocolo de entrenamiento anaeróbico interválico redujo la grasa corporal con mayor efectividad que una intervención dietética. Macpherson et al.²¹ realizaron un estudio comparando a 20 sujetos jóvenes divididos en dos grupos, uno realizaba un protocolo de entrenamiento aeróbico interválico y el otro un programa de ejercicio basado en entrenamiento aeróbico continuo. Ambos grupos disminuyeron sus niveles de grasa, siendo en el grupo aeróbico interválico el descenso de un 12.4% respecto al 5.5% del grupo de resistencia aeróbica continua. Según el estudio de Park et al.²² realizado en mujeres obesas, aquellas que realizaron un protocolo de entrenamiento combinando el desarrollo de la resistencia aeróbica con la fuerza muscular disminuyeron significativamente más su porcentaje grasa frente a aquellas que lo realizaron de manera aislada (fuerza o resistencia aeróbica).

En lo referente a la restricción de la ingesta, Kraemer et al.²³ observaron que aquellos hombres con sobrepeso que siguieron una dieta baja en calorías y en grasas perdieron aproximadamente 9.5 kg en 12 semanas de intervención. Otro grupo del citado estudio además siguió un programa de entrenamiento aeróbico y un tercer grupo un programa de entrenamiento de fuerza. Los resultados fueron, una vez más, bastante reveladores, el grupo de intervención únicamente nutricional perdió un 69% del total en grasa, el segundo un 78%, mientras que el tercer grupo que siguió la dieta y realizó un entrenamiento de fuerza perdió casi la totalidad del peso en grasa corporal (97%). Además, este grupo solo perdió un 3% de masa magra en comparación con el 22% del segundo grupo y el 31% del primero. Sartor et al.²⁴ demostraron mejoras significativas en la composición corporal, con un protocolo de entrenamiento

aeróbico interválico en cicloergómetro de diez series de 4 min al 90% del VO₂máx junto con una dieta restringida en hidratos de carbono. Se observó una mejora en ambos grupos, concretamente la pérdida de un 2.6% de masa grasa en los sujetos que se sometieron al protocolo de entrenamiento y del 2.4% en los que solamente se sometieron a la RC. Sin embargo, lo más destacable, por su similitud con nuestros hallazgos, es el efecto que se observó en la masa libre de grasa, ya que aquellos sujetos que se sometieron al protocolo de entrenamiento y a la RC aumentaron un 2.1% el tejido muscular, mientras que el grupo que realizó solo la RC lo redujo en un 2.1%, lo cual podría predisponer a un descenso del gasto metabólico basal y con ello un marcado efecto rebote tras abandonar dicha RC. Finalmente, otro estudio realizado por Foster-Schubert et al.²⁵ durante doce meses en 400 mujeres posmenopáusicas, mostró valores de pérdida de masa grasa similares a los nuestros. El grupo que mayor pérdida de masa grasa obtuvo fue el que combinó la RC y el protocolo de ejercicio (un 12.4% de reducción). El grupo que realizó aisladamente RC perdió un 8.9% mientras que el grupo que realizó aisladamente el protocolo de ejercicio un 3.3%.

Cabría señalar que los presentes resultados obtenidos en ratas deben ser tomados con cautela y confirmados en humanos. Además, el grado de entrenabilidad de cada animal varía y ello puede conducir a distintos niveles de mejora. De hecho, las ratas obesas se muestran más reticentes al entreno que las delgadas. Sin embargo, este trabajo puede arrojar luz sobre el protocolo de entrenamiento más eficaz a la hora de producir mejoras sobre la composición corporal, en personas obesas, o con aquellas en las que dietas estrictas hayan fracasado.

El protocolo de AIF mejoró la composición corporal (menor cantidad de masa grasa sin pérdidas de masa muscular), en animales obesos. La pérdida de masa grasa fue mayor en aquellos animales que realizaron el protocolo de entrenamiento, frente a aquellos a los que únicamente se les restringió la ingesta. El programa de ejercicio físico testado en el presente trabajo podría plantearse y testarse como una buena opción en humanos, al favorecer mejores resultados globales sobre la composición corporal y no dar lugar al desalentador «efecto rebote» de las dietas basadas en la restricción de la ingesta.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Financiación

Este estudio ha sido financiado por el proyecto DEP2011-27622 (subprograma DEPO) del Plan Nacional I+D+i 2011-2014, Ministerio de Ciencia e Innovación y forma parte de la tesis de Irene Coll-Risco, becaria FPU del Ministerio de Economía y Competitividad.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Caballero B. The global epidemic of obesity: An overview. *Epidemiol Rev.* 2007;29:1-5.
2. Bombak A. Obesity, health at every size, and public health policy. *Am J Public Health.* 2014;104(2):e60-7.
3. Campos P. Does fat kill? A critique of the epidemiological evidence. En: Rich E, Monaghan LF, Aphramor L, editores. *Debating obesity critical perspectives.* Londres: Palgrave Macmillan; 2011. p. 36-59.
4. Banegas JR, López-García E, Gutiérrez-Fisac JL, Guallar-Castillón P, Rodríguez-Artalejo F. A simple estimate of mortality attributable to excess weight in the European Union. *Eur J Clin Nutr.* 2003;57(2):201-8.
5. Dee A, Kearns K, O'Neill C, Sharp L, Staines A, O'Dwyer V, et al. The direct and indirect costs of both overweight and obesity: A systematic review. *BMC Res Notes.* 2014;7:242.
6. Vilchez López FJ, Campos Martín C, Amaya García MJ, Sánchez Vera P, Pereira Cunill JL. Very low calorie diets in clinical management of morbid obesity. *Nutr Hosp.* 2013;28(2):275-85.
7. Taormina G, Mirisola MG. Calorie restriction in mammals and simple model organisms. *Biomed Res Int.* 2014;2014:308690.
8. Soare A, Weiss EP, Pozzilli P. Benefits of caloric restriction for cardiometabolic health, including type 2 diabetes mellitus risk. *Diabetes Metab Res Rev.* 2014;30 Suppl 1:41-7.
9. Ross R, Dagnone D, Jones PJ, Smith H, Paddags A, Hudson R, et al. Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med.* 2000;133(2):92-103.
10. Bann D, Kuh D, Wills AK, Adams J, Brage S, Cooper R, et al. Physical activity across adulthood in relation to fat and lean body mass in early old age: Findings from the Medical Research Council National Survey of Health and Development, 1946-2010. *Am J Epidemiol.* 2014;179(10):1197-207.
11. Messonnier L, Denis C, Prieur F, Lacour JR. Are the effects of training on fat metabolism involved in the improvement of performance during high-intensity exercise? *Eur J Appl Physiol.* 2005;94(4):434-41.
12. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(2):459-71.
13. Haram PM, Kemi OJ, Lee SJ, Bendheim MØ, Al-Share QY, Waldum HL, et al. Aerobic interval training vs. continuous moderate exercise in the metabolic syndrome of rats artificially selected for low aerobic capacity. *Cardiovasc Res.* 2009;81(4):723-32.
14. Zucker LM, Antoniades HN. Insulin and obesity in the Zucker genetically obese rat "fatty". *Endocrinology.* 1972;90(5):1320-30.
15. European Union Council. Directional on the protection of animals used for specific purposes. *Official J Eur Union.* 2010;276:33-79.
16. Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC Jr. 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. *J Nutr.* 1993;123(11):1939-51.
17. National Research Council. *Nutrient requirements of laboratory animals.* 4th revised ed. Washington: The National Academies Press; 1995.
18. Kemi OJ, Haram PM, Loennechen JP, Osnes JB, Skomedal T, Wisløff U, et al. Moderate vs. high exercise intensity: Differential effects on aerobic fitness, cardiomyocyte contractility, and endothelial function. *Cardiovasc Res.* 2005;67(1):161-72.
19. Jones AS, Johnson MS, Nagy TR. Validation of quantitative magnetic resonance for the determination of body composition of mice. *Int J Body Compos Res.* 2009;7(2):67-72.
20. Benson AC, Torode ME, Fiatarone Singh MA. The effect of high-intensity progressive resistance training on adiposity in children: A randomized controlled trial. *Int J Obes (Lond).* 2008;32(6):1016-27.
21. Macpherson RE, Hazell TJ, Olver TD, Paterson DH, Lemon PW. Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(1):115-22.
22. Park SK, Park JH, Kwon YC, Kim HS, Yoon MS, Park HT. The effect of combined aerobic and resistance exercise training on abdominal fat in obese middle-aged women. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2003;22(3):129-35.
23. Kraemer WJ, Volek JS, Clark KL, Gordon SE, Puhl SM, Koziris LP, et al. Influence of exercise training on physiological and performance changes with weight loss in men. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(9):1320-9.
24. Sartor F, de Morree HM, Matschke V, Marcora SM, Milousis A, Thom JM, et al. High-intensity exercise and carbohydrate-reduced energy-restricted diet in obese individuals. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(5):893-903.
25. Foster-Schubert KE, Alfano CM, Duggan CR, Xiao L, Campbell KL, Kong A, et al. Effect of diet and exercise, alone or combined, on weight and body composition in overweight-to-obese postmenopausal women. *Obesity (Silver Spring).* 2012;20(8):1628-38.