Revista de Educación Física, (Rev Edu Fís / J Physical Edu) 2021, 2(162)

Selected Papers from Impact

Similares Tasas de Oxidación de Grasas Durante el Ejercicio Submáximo Gradual en Mujeres de Diferente Composición Corporal

Similar Rates of Fat Oxidation During Graded Submaximal Exercise in Women of Different Body Composition

Hugo A. Kerhervé[1,2], Leonie M. Harvey[1], Alexander N. Eagles[1], Chris McLellan[3] y Dale Lovell[1]

[1]*School of Sport Science, University of the Sunshine Coast, Sippy Downs, Australia*
[2]*University Rennes, Rennes, France*
[3]*School of Health and Wellbeing, University of Southern Queensland, Ipswich, QLD, Australia*

RESUMEN

Antecedentes Se recomienda realizar ejercicios de intensidad moderada que oscilen entre el 40 y el 60% del consumo máximo de oxígeno para promover el gasto de energía y la oxidación de grasas en personas con sobrepeso y obesidad. Aunque se ha demostrado que la oxidación de grasas es muy variable entre individuos, todavía existe una incertidumbre relativa con respecto a la prescripción de ejercicio específicamente para mujeres. Este artículo tuvo como objetivo determinar si los indicadores de la composición corporal se pueden utilizar para reducir el rango de intensidad del ejercicio para la prescripción de ejercicio en mujeres. Métodos Un total de 35 mujeres sanas (edad 30.8±9.5 años) clasificadas según su IMC en un grupo de peso normal (NOR; ≤24.9 kg•m2), grupo con sobrepeso (OVW; 25-29.9 kg•m2) y grupo obeso (OBE; ≥30 kg•m2) completaron una prueba graduada submáxima (intensidades que provocan ~30%, 40%, 50% y 60% del consumo máximo de oxígeno). En cada etapa se midieron el lactato en sangre, el esfuerzo percibido y la oxidación absoluta y relativa de sustrato para grasas (OXFAT) y carbohidratos (OXCHO). Resultados El esfuerzo percibido y el lactato sanguíneo aumentaron en función del ejercicio, pero no difirieron entre los grupos. No hubo cambios significativos en la OXFAT absoluta y relativa entre los grupos, o en función de la intensidad del ejercicio. La OXFAT pico se produjo en las etapas del 40%, 50% y 40% para los grupos NOR, OVW y OBE, respectivamente, sin diferencias significativas entre los grupos. Conclusión No medimos diferencias, pero sí una considerable variación interindividual, en la oxidación de grasas en mujeres de diferente composición corporal. Este resultado está de acuerdo con investigaciones previas basadas en ejercicio realizado a ritmo constante y en grupos de participantes independientes. Nuestros hallazgos no apoyan la hipótesis de la oxidación de grasas y refuerzan aún más la perspectiva de que la prescripción del ejercicio debe individualizarse y probablemente basarse en consideraciones distintas a la oxidación del sustrato.

Palabras Clave: Oxidación de grasas, ejercicio, mujeres, composición corporal

ABSTRACT

Background: Moderate intensity exercise ranging 40–60% of maximum oxygen uptake is advised to promote energy expenditure and fat oxidation in overweight and obese people. Although fat oxidation has been shown to be highly variable among individual, there is still a relative uncertainty regarding exercise prescription for women specifically. This article aimed to determine whether indicators of body composition can be used to narrow the exercise intensity range for exercise prescription in women. Methods: A total of 35 healthy women (age 30.8±9.5 yr) classified according to their BMI in normal weight (NOR; ≤24.9 kg•m2), overweight (OVW; 25–29.9 kg•m2) and obese groups (OBE; ≥30 kg•m2) completed a submaximal graded test (intensities eliciting ~30%, 40%, 50% and 60% of maximum oxygen uptake). Blood lactate, perceived exertion and absolute and relative substrate oxidation for fat (OXFAT) and carbohydrates (OXCHO) were measured at each stage. Results: Perceived exertion and blood lactate increased as a function of exercise but did not differ across groups. There were no significant changes in absolute and relative OXFAT across groups, or as a function of exercise intensity. Peak OXFAT occurred at the 40%, 50% and 40% stages for NOR, OVW and OBE groups, respectively, with no significant differences across groups. Conclusión: We measured no differences, but considerable inter-individual variation, in fat oxidation in women of different body composition. This result is in agreement with previous research based on exercise performed at constant rate and in independent participant groups. Our findings do not support the fat oxidation hypothesis, and further emphasise the perspective that exercise prescription should be individualised and likely be based on considerations other than substrate oxidation

Keywords: Fat oxidation, exercise, women, body composition

INTRODUCCIÓN

El sobrepeso y la obesidad es una condición metabólica que actualmente afecta aproximadamente al 39% de la población adulta en todo el mundo y entre el 60% y el 65% en América del Norte, Oceanía y la mayor parte de Europa Occidental [1]. El sobrepeso y la obesidad están asociados con una carga económica sustancial para la sociedad [2] debido al mayor riesgo de desarrollar una serie de enfermedades crónicas, como diabetes, enfermedades cardíacas, hipertensión, accidente cerebrovascular [3] y un mayor riesgo de mortalidad [4,5], especialmente en las formas más graves de obesidad [6]. El sobrepeso y la obesidad se asocian con resistencia a la insulina [7-9] y aumento de los triglicéridos intramusculares [8]. Una capacidad reducida para utilizar ácidos grasos libres (AGL) como sustrato en reposo y durante el ejercicio [7,9] se ha citado como un factor que contribuye a promover la progresión de la obesidad [10,11], aunque esta hipótesis de oxidación de grasas (la incapacidad de utilizar la grasa impulsando el aumento de peso) es criticada [12].

El *American College of Sports Medicine* (ACSM) recomienda la actividad física regular para promover el gasto de energía y contribuir a un control óptimo de la pérdida de peso en personas con sobrepeso y obesidad, y las directrices actuales recomiendan hasta 250-300 min de ejercicio aeróbico de intensidad moderada (40–60% del consumo máximo de oxígeno relativo [VO2máx]) por semana [13]. También se ha demostrado que la misma zona de intensidad relativamente amplia provoca las tasas más altas de oxidación de grasas, u oxidación máxima de grasas (PFO), en individuos sedentarios y obesos [11,14,15], y se ha demostrado que el ejercicio de intensidad moderada mejora la oxidación de grasas y la lipólisis [16-19] en hombres obesos [20] y mujeres [21,22].

Mejorar la definición de la intensidad de ejercicio óptima para la prescripción de ejercicio en personas con sobrepeso y obesidad sigue siendo un desafío para los profesionales. Aunque el aumento del gasto energético total utilizando una amplia gama de intensidades es actualmente el principal factor conocido que influye en la prescripción del ejercicio, el efecto de la intensidad del ejercicio sigue sin comprenderse bien. Por ejemplo, si bien el aumento de la flexibilidad metabólica podría ser un beneficio del entrenamiento físico, las tasas de oxidación de grasas varían considerablemente entre individuos y no están bien predichas por la masa grasa [23], ya que están influenciadas por el estado puberal [24], el estado de entrenamiento [25], dieta [10,26], intensidad del ejercicio [10,21,27] y el modo de ejercicio que se realiza [10,28]. Además, actualmente hay poco consenso sobre la intensidad de entrenamiento óptima específicamente en mujeres, a pesar de los desafíos específicos que el embarazo, la menopausia y la anticoncepción imponen en la salud cardiovascular [29]. A pesar de las respuestas normales de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio gradual realizado al 30-60% del VO2máx, se han informado respuestas de presión arterial significativamente diferentes en mujeres obesas en comparación con mujeres normales y con sobrepeso [30]. Se ha informado que la oxidación de las grasas de grupos independientes de mujeres obesas/con sobrepeso es menor [31], similar [32-35] o incluso mayor [36] que la de las mujeres delgadas durante una tasa de trabajo constante en bicicleta a intensidades de ejercicio discretas del 50% al 65% de

VO2máx. De manera similar, la oxidación de sustrato de las mujeres obesas y de peso normal no difirió significativamente durante tasas de trabajo constante de ejercicio en cinta rodante al 50%, 70% o 75% del VO2máx [37,38].

Aún así, actualmente hay una escasez de investigación que mida la dinámica de la oxidación de sustrato a varias intensidades de ejercicio submáximas, en subgrupos de mujeres emparejados por edad y predictores de salud cardiovascular, pero que difieren en la composición corporal. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo determinar la dinámica de la utilización de sustrato en función de la composición corporal utilizando un ejercicio submáximo graduado en cinta rodante con una intensidad que oscila entre el 30 y el 60% del VO2máx. A partir de la literatura disponible, se puede plantear la hipótesis de que la oxidación de sustrato se caracterizaría por una alta variabilidad interindividual y que la oxidación de las grasas sería máxima a intensidades del 40 al 60%, sin diferencias entre mujeres de diferente composición corporal. Aumentar nuestra comprensión de las respuestas a la intensidad del ejercicio podría dar información instrumental destinada a médicos, profesionales y personas que trabajan en la industria de la salud y el fitness.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Treinta y cinco participantes sanas mujeres fueron reclutadas para este estudio en la comunidad local mediante el uso de anuncios y correos electrónicos (Tabla 1). Antes de la inclusión, se informó a las participantes sobre los procedimientos y riesgos del estudio, se les realizó un listado de los criterios de exclusión (peri o posmenopáusicas, fumadora actual, embarazada o amamantando, tomando cualquier medicamento recetado que pueda afectar la frecuencia cardíaca o la oxidación de grasas y excluyendo píldoras anticonceptivas, diabéticas, o que sufren de asma) y se les proporcionó un consentimiento por escrito. La autorización ética para este proyecto fue otorgada por el comité de ética de la Universidad de Sunshine Coast sobre investigación humana (proyecto S/11/317).

Tabla 1. *Características de las participantes.*

	Normal	Overweight	Obese	ANOVA	
	<24.9 kg·m^2 (n = 15)	25–29.9 kg·m^2 (n = 13)	>30 kg·m^2 (n = 7)	p	η^2_p
Resting measures					
Age (yr)	28.3 ± 10.1	33.4 ± 8.9	31.6 ± 8.8	0.362	0.062
Height (m)	1.65 ± 0.05	1.65 ± 0.05	1.68 ± 0.06	0.484	0.044
Weight (kg)	60.9 ± 7.8	**72.3 ± 3.5** [A C]	**104.4 ± 18.4** [B]	**<0.001**	**0.751**
W:H ratio	0.74 ± 0.04	0.77 ± 0.05	0.78 ± 0.04	0.065	0.166
Trunk fat (kg)	5.0 ± 2.5	**8.1 ± 2.2** [A C]	**18.7 ± 5.2** [B]	**<0.001**	**0.760**
Body fat (kg)	17.6 ± 5.7	**25.6 ± 4.0** [A C]	**51.6 ± 10.2** [B]	**<0.001**	**0.798**
Body fat (%)	30.0 ± 7.0	**36.8 ± 5.3** [A C]	**51.2 ± 2.5** [B]	**<0.001**	**0.660**
LBM (kg)	40.2 ± 4.3	43.9 ± 4.2	**49.1 ± 8.5** [A]	**0.020**	**0.230**
Glucose (mmol·L^{-1})	5.19 ± 0.49	5.32 ± 0.44	5.50 ± 0.41	0.348	0.064
Cholesterol (mmol·L^{-1})	4.33 ± 0.72	4.38 ± 0.55	4.44 ± 1.0	0.946	0.003
FVC (L)	3.79 ± 0.39	3.81 ± 0.47	3.76 ± 0.70	0.989	0.001
FEV1 (%)	84.3 ± 6.3	83.4 ± 5.9	84.1 ± 2.1	0.973	0.002
Incremental test					
HR (bpm)	188 ± 9	185 ± 7	187 ± 7	0.451	0.049
[La] (mmol·L^{-1})	11.0 ± 1.7	9.5 ± 2.1	**8.4 ± 2.8** [A]	**0.026**	**0.205**
VO_{2MAX} (L·min^{-1})	2.34 ± 0.43	2.45 ± 0.49	2.46 ± 0.46	0.791	0.015
VO_{2MAX} (ml·kg·min^{-1})	38.2 ± 7.2	**33.3 ± 5.9** [D]	**23.8 ± 3.7** [B]	**<0.001**	**0.451**
VE_{MAX} (L·min^{-1})	91.9 ± 13.9	93.3 ± 14.5	86.9 ± 13.1	0.613	0.030
RER	1.17 ± 0.06	1.16 ± 0.05	1.13 ± 0.08	0.397	0.056

Data are mean ± SD

[A] $p < 0.05$ from BMI <24.9 kg·m^2

[B] $p < 0.001$ from BMI <24.9 kg·m^2

[C] $p < 0.001$ from BMI >30 kg·m^2

[D] $p < 0.05$ from BMI >30 kg·m^2

Abbreviations used: W:H (waist-to-hip); LBM (lean body mass); FVC (forced vital capacity); FEV1 (forced expiratory volume in 1 s); HR (heart rate), [La] (blood lactate concentration), VO_{2MAX} (maximum oxygen uptake), VE_{MAX} (maximum minute ventilation), RER (respiratory exchange ratio).

Medidas en reposo de antropometría y espirometría, y medidas máximas cardiorrespiratorias y de lactato sanguíneo durante la prueba incremental hasta el agotamiento, de las participantes clasificadas según grupos por IMC.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242551.t001

Las participantes acudieron al laboratorio de fisiología del ejercicio de la Universidad de Sunshine Coast inicialmente para un examen adicional de la historia clínica (cuestionarios médicos de salud), medidas de reposo de la función pulmonar mediante espirometría con maniobras de capacidad vital forzada (FVC) y volumen espiratorio forzado (FEV1), y para la evaluación de características antropométricas de los participantes (altura, peso, índice de masa corporal [IMC; peso corporal dividido por la altura al cuadrado], circunferencia de la cadera y la cintura, relación cintura-cadera [W:H]), composición corporal (grasa corporal total y regional, masa corporal magra [LBM], porcentaje de grasa corporal, densidad mineral ósea y contenido mineral óseo mediante de rayos X de energía dual [DEXA; Lunar Prodigy Advance, GE Healthcare, Buckinghamshire, Reino Unido]).

Vista general

Este proyecto de investigación consistió en dos sesiones de prueba, con al menos tres días entre sesiones para minimizar los efectos de la fatiga entre pruebas. Para ambas sesiones, las participantes se reportaron al laboratorio después de un ayuno nocturno de 10 a 12 horas y no más tarde de las 10 am. La glucosa en sangre (Accu-Chek Advantage, Roche Diagnostics, Indianapolis, IN, EE. UU.) y el colesterol (Cholestech LDX, Hayward, CA, EE. UU.), ambos medidos en milimoles por litro (mmol·L-1), fueron recolectados utilizando una pequeña muestra de sangre capilar obtenida de la yema del dedo mientras la participante estaba en ayunas para garantizar que los resultados no se vieran afectados por la ingesta de alimentos. El ejercicio se realizó con una cinta de correr (TMX425C, Trackmaster, Full Vision Inc., Newton, KS).

En la primera sesión, las participantes realizaron una prueba de ejercicio incremental hasta el agotamiento volitivo para determinar las cargas de trabajo asociadas con ~30%, 40%, 50% y 60% del VO2máx. Después de una caminata de calentamiento de dos minutos a 4 km·h-1 o 6 km·h-1 (según el historial de ejercicio de la participante y las características

físicas), la velocidad se incrementaba cada minuto hasta que la participante señalaba que había alcanzado una velocidad cómoda, después de la cual la pendiente de la cinta se incrementaba en un 1-2% cada minuto hasta la finalización del ejercicio. En la segunda sesión, las participantes realizaron una prueba submáxima graduada con cinco etapas de 3 minutos (línea de base de 4.5 km·h-1 y velocidad de la cinta rodante × cargas de trabajo en pendiente que provocan ~30%, 40%, 50% y 60% del VO2máx), intercaladas con un breve descanso entre etapas para permitir la medición del lactato sanguíneo. Los resultados de la etapa inicial de ejercicio de referencia se consideran un calentamiento y no se presentan en los resultados. Aunque las etapas de tres minutos pueden sobreestimar ligeramente la oxidación de las grasas [39], se han utilizado en investigaciones anteriores [23,28] y permiten minimizar los efectos de arrastre de la fatiga.

Mediciones

Los índices de esfuerzo percibido (RPE) se determinaron en cada etapa de la prueba submáxima graduada utilizando la escala de Borg lineal de 6-20. La frecuencia cardíaca (FC) se midió durante la prueba incremental y la prueba graduada submáxima a 0.2 Hz utilizando una banda en el pecho (Polar Electro, Kempele, Finlandia). La concentración de lactato en sangre ([La]) se midió en la yema del dedo dos minutos después de la finalización del ejercicio (sesión 1) y después de cada etapa (sesión 2) utilizando un analizador portátil (Arkray, Lactate Pro, Kyoto, Japón).

Para ambas pruebas, la tasa de utilización de oxígeno (VO2), la producción de dióxido de carbono (VCO2), la ventilación por minuto (VE) y la relación de intercambio respiratorio (RER = VO2/VCO2) se midieron utilizando una válvula de dos vías que evita volver a respirar (serie 2700, Hans-Rudolph, Kansas City, EE. UU.) y un sistema de análisis metabólico de espirometría de circuito abierto automatizado (True One 2400, Parvo Medics, Sandy UT) con datos promediados durante períodos de 15 seg. El valor más alto de VO2 se utilizó como VO2máx siempre que se cumplieran dos o más de los siguientes criterios: 1) <2.1 ml·kg-1·min-1 de aumento en el VO2 al aumentar la carga de trabajo, 2) [La] ≥8 mmol·l-1, 3) FC máxima dentro de 10 lpm de su FC máxima prevista para la edad (basada en 220-edad), y 4) RER> 1.10. Todos los equipos se calibraron inicialmente siguiendo procedimientos estándar.

Para cada intensidad del ejercicio submáximo graduado, se calcularon las tasas absolutas (g·min-1) y relativas (es decir, escaladas para LBM: mg·kg LBM-1·min-1) de oxidación de grasas (OXFAT) y oxidación de carbohidratos (OXCHO) durante los últimos 60 segundos de cada etapa utilizando ecuaciones estequiométricas [40], basándose en la suposición de que la excreción de nitrógeno urinario era insignificante. La OXFAT pico se abrevia como PFO (*peak fat oxidation*) en el siguiente análisis, como es habitual en la literatura específica. Los puntos de 'crossover' [41] para cada grupo se estimaron después de calcular las contribuciones absolutas (kcal·min-1) y relativas (%) de la oxidación de grasa (EEFAT) y la oxidación de carbohidratos (EECHO) al gasto energético total (EE) utilizando factores *Atwater* para las grasas (9 kcal·g-1) y los carbohidratos (4 kcal·g-1).

Análisis estadístico

Los participantes se clasificaron en tres grupos según el IMC (peso normal (NOR) ≤24.9 kg·m2; sobrepeso (OVW) 25-29.9 kg·m2; obesos (OBE) ≥30 kg·m2). Para fines de comparación, las participantes también se agruparon en terciles de porcentaje de grasa corporal. Las tablas de contingencia mostraron una fuerte asociación ($p < 0.001$) entre los dos enfoques y se utilizaron grupos de IMC para los análisis.

Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el paquete estadístico de acceso abierto jamovi [42], con datos expresados como media ±desviación estándar (SD), y el nivel de significación se estableció en $p < 0.05$. Un análisis del tamaño de la muestra a priori reveló que el diseño del estudio podría detectar de manera confiable diferencias significativas entre grupos independientes de n = 7 con tamaños de efecto de moderados a grandes (d >0.5) con una probabilidad mayor que 0.8, asumiendo un criterio de dos lados que permite una tasa máxima de error de tipo I de $\alpha = 0.05$. Diferencias entre grupos (NOR, OVW, OBE) en características de reposo (antropometría, composición corporal, glucemia y colesterol, espirometría), en medidas cardiorrespiratorias y [La] durante la prueba incremental, en la PFO absoluta y relativa y puntos de crossover durante el test submáximo graduado, se determinaron utilizando un ANOVA de una vía con pruebas *post-hoc* de Bonferroni. El efecto de la intensidad del ejercicio (30%, 40%, 50% y 60%), el grupo de IMC (NOR, OVW, OBE) y su interacción (intensidad × grupo) en el RPE, [La], OXFAT absoluta y relativa se evaluaron utilizando un ANOVA de 2 vías, de medidas repetidas, con pruebas post-hoc de Bonferroni. La r de Pearson se utilizó para evaluar las relaciones entre la PFO (absoluta y relativa), la edad, la grasa corporal, la masa corporal magra y el VO2máx absoluto. Para identificar los principales predictores de la utilización del sustrato, se realizó una regresión lineal múltiple entre la OXFAT absoluta y covariables de edad, grasa corporal, LBM y VO2máx absoluto. Para los ANOVA, los supuestos de igualdad de varianzas se verificaron inicialmente usando la prueba de Levene, y los supuestos de esfericidad se verificaron usando la W de Mauchly con correcciones de Greenhouse-Geisser si eran significativas. Para las correlaciones, inicialmente se verificaron los supuestos de normalidad. Informamos los tamaños del efecto para los ANOVA mediante el uso de eta-cuadrado parcial ($\eta 2p$) interpretado de acuerdo con la escala de Cohen (efecto pequeño: $0.01<\eta 2p<0.06$, efecto medio: $0.06<\eta 2p<0.14$, y efecto grande: $\eta 2p>0.14$).

Resultados

Todas las participantes completaron los procedimientos del estudio. No hubo diferencias significativas entre los grupos de participantes en edad, altura y función pulmonar (Tabla 1). Las participantes en el grupo OVW se caracterizaron por un mayor peso, grasa corporal y del tronco en comparación con NOR (Tabla 1). Las participantes en el grupo OBE se caracterizaron por un mayor peso, grasa corporal y grasa del tronco en comparación con OVW y NOR, y mayor LBM en comparación con NOR sólo (Tabla 1). Durante la prueba incremental, las participantes en el grupo OBE tenían concentraciones máximas de [La] significativamente más bajas en comparación con NOR, y un VO2máx relativo significativamente más bajo en comparación con NOR y OVW (Tabla 1). No hubo otras diferencias significativas en el VO2máx absoluto máximo, VE o FC entre los grupos de participantes (Tabla 1).

La velocidad, gradiente, RPE, [La] en sangre y la OXFAT absoluta y relativa medidas durante cada etapa de la prueba submáxima se proporcionan en la Tabla 2. Hubo un efecto principal significativo y grande del ejercicio sobre el RPE ($p<0.001$; $\eta2p = 0.803$), con poco efecto de grupo ($p = 0.799$; $\eta2p = 0.014$) o efectos de interacción ($p = 0.728$; $\eta2p = 0.036$). También hubo un efecto principal significativo y grande del ejercicio sobre la [La] ($p<0.001$; $\eta2p = 0.490$), con pocos efectos de grupo ($p = 0.560$; $\eta2p = 0.036$) o de interacción ($p = 0.206$; $\eta2p = 0.083$). Para la PFO absoluta, no hubo efectos significativos ni del ejercicio ($p = 0.522$; $\eta2p = 0.026$), ni grupo ($p = 0.124$; $\eta2p = 0.139$) ni interacción ($p = 0.861$; $\eta2p = 0.029$). Para la OXFAT relativa, tampoco hubo efectos significativos del ejercicio ($p = 0.765$; $\eta2p = 0.015$), grupo ($p = 0.162$; $\eta2p = 0.131$) o interacción ($p = 0.998$; $\eta2p = 0.006$). La PFO ocurrió al 50%, 40% y 50% para los grupos NOR, OVW y OBE, respectivamente, sin un efecto estadísticamente significativo de grupo para el valor absoluto ($p = 0.113$; $\eta2p = 0.127$) o medidas relativas ($p = 0.283$; $\eta2p = 0.081$).

Tabla 2. *Respuestas fisiológicas durante la prueba graduada submáxima.*

	Normal	Overweight	Obese
	<24.9 kg·m^2 (n = 15)	25–29.9 kg·m^2 (n = 13)	>30 kg·m^2 (n = 7)
Speed (km·hr^{-1})			
30%VO_{2MAX}	4.6 ± 1.0	4.0 ± 0.8	2.9 ± 0.5
40%VO_{2MAX}	5.6 ± 0.9	5.1 ± 0.8	3.7 ± 1.0
50%VO_{2MAX}	6.6 ± 1.0	6.1 ± 0.9	4.9 ± 0.7
60%VO_{2MAX}	7.5 ± 1.2	6.9 ± 0.7	5.7 ± 0.6
Gradient (%)			
30%VO_{2MAX}	0.5 ± 0	0.5 ± 0	0.5 ± 0
40%VO_{2MAX}	0.5 ± 0	0.5 ± 0	0.5 ± 0
50%VO_{2MAX}	0.7 ± 0.5	0.5 ± 0	0.5 ± 0
60%VO_{2MAX}	1.1 ± 1.4	1.0 ± 0.9	0.5 ± 0
RPE			
30%VO_{2MAX}	7.2 ± 1.4	7.3 ± 1.8	6.1 ± 0.4
40%VO_{2MAX}	9.0 ± 2.2	9.3 ± 2.0	8.3 ± 1.9
50%VO_{2MAX}	11.0 ± 2.0	11.1 ± 2.1	10.9 ± 2.4
60%VO_{2MAX}	12.7 ± 2.2	12.9 ± 2.4	13.5 ± 1.4
[La] (mmol·L^{-1})			
30%VO_{2MAX}	1.3 ± 0.3	1.3 ± 0.4	1.5 ± 0.7
40%VO_{2MAX}	1.4 ± 0.4	1.4 ± 0.4	1.5 ± 0.7
50%VO_{2MAX}	2.0 ± 0.6	1.6 ± 0.6	1.7 ± 1.0
60%VO_{2MAX}	2.9 ± 0.9	2.5 ± 1.0	2.2 ± 1.3
OX_{FAT} (g·min^{-1})			
30%VO_{2MAX}	0.301 ± 0.093	0.262 ± 0.093	0.322 ± 0.103
40%VO_{2MAX}	0.312 ± 0.103	0.272 ± 0.106	0.359 ± 0.072
50%VO_{2MAX}	0.319 ± 0.087	0.254 ± 0.133	0.387 ± 0.032
60%VO_{2MAX}	0.298 ± 0.145	0.258 ± 0.206	0.379 ± 0.112
OX_{FAT} (mg·kg LBM^{-1}·min^{-1})			
30%VO_{2MAX}	7.41 ± 2.08	5.94 ± 2.00	6.69 ± 1.86
40%VO_{2MAX}	7.71 ± 2.49	6.20 ± 2.17	7.28 ± 1.67
50%VO_{2MAX}	7.86 ± 1.91	5.60 ± 2.90	8.25 ± 1.73
60%VO_{2MAX}	6.84 ± 3.75	5.90 ± 4.42	8.05 ± 2.11

Data is displayed as mean ± SD

Abbreviations used: RPE (ratings of perceived exertion), [La] (blood lactate concentration), OX_{FAT} (fat oxidation), EE_{FAT} (relative contribution of fat oxidation to total energy expenditure)

Velocidad, gradiente, calificaciones de esfuerzo percibido, concentración de lactato en sangre y oxidación de sustrato absoluta y relativa de las participantes clasificadas según grupos de IMC.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242551.t002

Se presentan los gastos energéticos EEFAT y EECHO absolutos (kcal·min-1) y relativos (%) (Fig. 1). Se estimó que el punto 'crossover' se produjo en 50.6±6.8%, 48.3±8.2% y 55.1±8.2% del VO2máx para los grupos NOR, OVW y OBE, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (p = 0.226; η2p = 0.108).

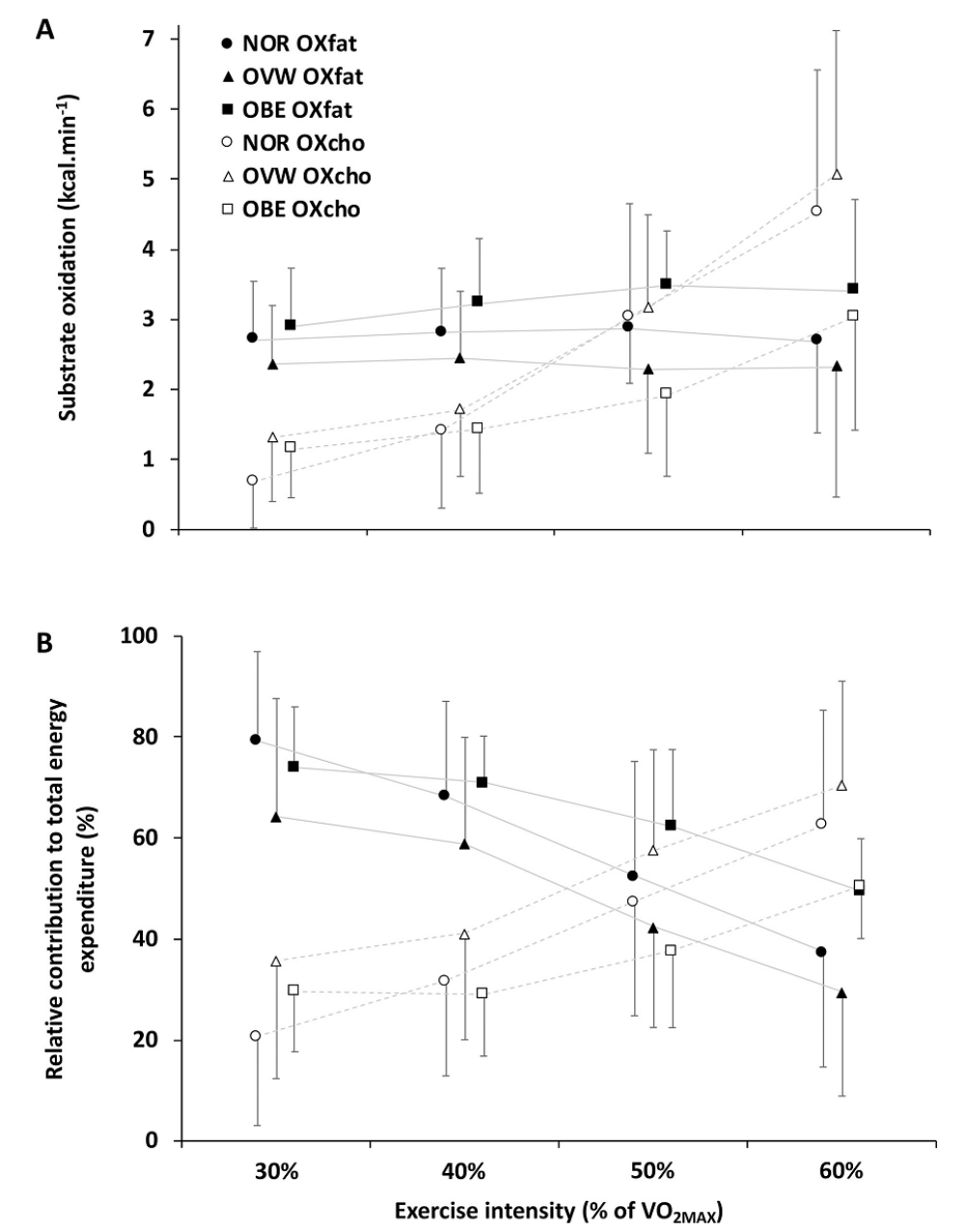

Figura 1. *Oxidación de sustrato y gasto energético.*
Oxidación absoluta del sustrato (panel A) y contribuciones relativas al gasto energético total (panel B) para la oxidación de grasas (OXFAT) y carbohidratos (OXCHO) durante la prueba graduada submáxima de participantes clasificadas según grupos de IMC (NOR <24.9 kg·m2; OVW = 25–29.9 kg·m2; OBE >30 kg·m2).
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242551.g001

Para la PFO absoluta, las correlaciones fueron estadísticamente significativas con el VO2máx absoluto (r = 0.490; p <0.001) y la LBM (r = 0.374; p = 0.032), pero no con la edad (r = -0.162; p = 0.353) y la masa grasa (r = 0.190; p = 0.290). Para la PFO relativa, las correlaciones no fueron estadísticamente significativas con el VO2máx absoluto (r = 0.219; p = 0.221), la edad (r = -0.172; p = 0.339), LBM (r = -0.047; p = 0.797) y masa grasa (r = -0.049; p = 0.785). También se observaron relaciones significativas entre la edad y el VO2máx absoluto (r = -0.409; p = 0.015) y la grasa corporal (r = -0.791; p <0.001). La regresión lineal múltiple para el pico absoluto de la OXFAT con las covariables de VO2máx absoluto (estimación estandarizada [EE] = 0.588; p = 0.039), edad (EE = 0.006; p = 0,997), grasa corporal (EE = -0.158; p = 0.615) y LBM (EE = 0.291; p = 0.228) no fue significativa (p = 0.905; r = 0.529, R2 = 0.280).

Discusión

El objetivo de este estudio fue comparar la utilización de sustrato durante el ejercicio submáximo en cinta rodante en

mujeres clasificadas por su IMC como normal, con sobrepeso y obesidad. El principal hallazgo de este proyecto fue que no hubo diferencias en la oxidación de grasas en 35 mujeres de IMC normal, con sobrepeso y obesas, de entre 18 y 50 años, sin condiciones de salud subyacentes.

De acuerdo con la literatura previa [23], observamos una variación interindividual muy grande en las tasas de oxidación de sustrato (tanto absoluta como relativa a la masa corporal magra) independientemente de la composición corporal en un ejercicio graduado que oscila entre el 30 y el 60% de la capacidad aeróbica máxima. Si bien ningún estudio previo ha comparado específicamente la PFO entre mujeres normales, con sobrepeso y obesas de 18 a 50 años de edad, nuestros resultados son consistentes con las tasas de oxidación de grasas absolutas [11,38] y relativas [23] observadas en grupos similares de participantes de forma independiente. De manera similar, la oxidación de sustrato en relación con el gasto energético total no fue diferente entre los grupos de IMC, aunque con una importante variabilidad interindividual. Además, mientras que la contribución relativa de la oxidación de las grasas al gasto energético total disminuyó después del 50% en todos los grupos, la oxidación absoluta de las grasas no se vio afectada por la intensidad del ejercicio, incluso al 60%.

Una fortaleza significativa del estudio actual es la evaluación de la composición corporal usando la metodología DEXA para garantizar que todos los participantes se agruparan adecuadamente en la categoría de IMC correcta: mientras que la edad y la altura promedio de cada categoría de IMC no fueron diferentes entre los grupos, el peso fue significativamente mayor en OVW en comparación a NOR, y mayor en OBE en comparación con OVW. De acuerdo con investigaciones previas [11], también medimos mayor grasa corporal (absoluta y relativa) en OBE en comparación con NOR, y en OVW en comparación con NOR. También medimos una mayor cantidad de grasa en el tronco en OBE en comparación con NOR, y en OVW en comparación con NOR, aunque la relación W:H no fue significativamente diferente entre los grupos. Es importante destacar que tanto la grasa corporal como la grasa del tronco están asociadas con un mayor riesgo de que las personas desarrollen más problemas de salud como el síndrome metabólico y las enfermedades cardiovasculares [13].

En este estudio, las regresiones lineales simples indican que los principales determinantes de la PFO absoluta fueron el VO2máx y la LBM, aunque el modelo de regresión no alcanzó significación. Si bien el VO2máx se correlacionó negativamente con la edad y la grasa corporal, no encontramos que la edad sea un predictor significativo de la OXFAT durante el ejercicio, lo que podría diferir de las conclusiones extraídas de la OXFAT medida en reposo [43].

Tampoco medimos diferencias entre los grupos en la glucosa en sangre y el colesterol en reposo, o diferencias entre los grupos en la concentración de lactato en sangre o en las calificaciones del esfuerzo percibido durante el ejercicio en cinta ergométrica graduada, a pesar de las diferencias en el VO2máx relativo y la concentración de lactato durante la prueba incremental. Como tal, nuestros resultados confirman que el ejercicio fue verdaderamente submáximo, y son consistentes con la literatura reciente que ha determinado que el fitness aeróbico (aquí representado como VO2máx) contribuye en mayor medida a la PFO que la ingesta dietética [44].

Por lo tanto, los hallazgos del estudio actual están de acuerdo con una serie publicaciones existentes que subrayan que existen marcadas variaciones interindividuales en la oxidación de grasas entre mujeres sanas de diferente composición corporal, y que se establece un perfil de oxidación de sustrato por aumento del número de intensidades de ejercicio probadas, sin modificar los resultados esperados que se pueden inferir de la literatura. Además, existían correlaciones de baja potencia entre la oxidación de grasas y los predictores típicos del fitness cardiorrespiratorio. Por último, la intensidad del ejercicio no influyó significativamente en la oxidación de las grasas y, por lo tanto, la prescripción del ejercicio debe individualizarse y probablemente basarse en consideraciones distintas de la oxidación de sustrato (al menos durante el ejercicio submáximo). Como tal, la popularidad del ejercicio en intervalos de alta intensidad proporciona vías interesantes para futuras investigaciones sobre la oxidación de sustrato como una función de la composición corporal, especialmente considerando el efecto de la intensidad del ejercicio en el consumo de energía y la termogénesis después del ejercicio.

Es importante señalar que nuestro estudio tuvo cuatro limitaciones principales. La primera limitación es que la fase menstrual no se tuvo en cuenta en la presente investigación; sin embargo, todas las participantes debían tener una menstruación regular y no presentar ningún síntoma que sugiriera la menopausia. La fase menstrual es un tema polémico con respecto a la utilización de sustrato, con hallazgos contradictorios que se informan a lo largo de la literatura y deben investigarse más a fondo. La segunda limitación es que el grupo de IMC obeso contó con sólo 7 mujeres en el estudio actual, lo que podría haber mitigado la verdadera varianza de la población. Sin embargo, las variaciones interindividuales fueron similares en los tres grupos de IMC que representan 35 mujeres en total, y medimos una alta asociación entre los grupos de IMC y las participantes agrupadas por terciles de masa corporal. Por tanto, y de acuerdo con estudios previos que utilizaron tasas de trabajo constantes en grupos independientes, es poco probable que el aumento de nuestro grupo de participantes hubiera afectado nuestro principal hallazgo. En tercer lugar, la prueba submáxima graduada utilizó una etapa de calentamiento seguida de etapas consecutivas de dificultad creciente como ejercicios de preparación para alcanzar el estado estable lo más rápido posible. Aunque mitigamos el riesgo de arrastre de la fatiga entre las etapas al incluir un período de descanso entre cada etapa (todos inferiores a 2 minutos), es posible que las etapas posteriores se vieran afectadas por la fatiga inducida por el ejercicio. Además, existe evidencia de que las pruebas de 3 minutos pueden

ser demasiado cortas en participantes muy sedentarios para establecer una medida confiable de oxidación de grasas [39]. No obstante, la prueba graduada fue tolerada por todas las participantes, realizada a intensidades verdaderamente submáximas, y todos nuestros resultados son consistentes con la literatura previa. Aún así, las etapas de intensidad aleatorias pueden ser una adición útil para estudios futuros que utilicen pruebas graduadas para propósitos similares. Por último, no controlamos cuantitativamente la dieta habitual y la actividad física antes de la prueba submáxima, que son factores que se sabe que afectan las medidas de la contribución de los macronutrientes al gasto energético total en cierta medida [12].

Conclusiones

De acuerdo con la literatura, este estudio informa que no hubo diferencias en la oxidación de grasas (absoluta y relativa a la masa corporal magra) durante el ejercicio submáximo realizado en ayunas en mujeres que difieren en la composición corporal, con un pico de oxidación de grasas que ocurre al 40-50% y un punto de crossover estimado en 48–55% del VO2máx. Por lo tanto, las intensidades específicas del ejercicio no están influenciadas por la composición corporal y nuestros hallazgos no apoyan la hipótesis de la oxidación de grasas. La prescripción adecuada de ejercicio debe enfatizar la individualización de las respuestas de las pruebas y probablemente debe basarse en consideraciones distintas a la oxidación de sustrato para un control eficiente del peso.

Información de respaldo

S1 Dataset. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12783347.v1.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242551.s001
S1 Cuestionarios. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13043009.v1.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242551.s002

Disponibilidad de datos: Los datos subyacentes a los resultados presentados en el estudio están disponibles en la siguiente dirección: doi.org/10.6084/m9.figshare.12783347.v1
doi.org/10.6084/m9.figshare.13043009.v1.

Financiamiento: Este estudio no ha recibido financiamiento específico.

Intereses en competencia: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

REFERENCIAS

1. World Health Organization (2015). Global Health Observatory (GHO) data. *Overweight and obesity.*
2. Nguyen DM, El-Serag HB. (2010). The epidemiology of obesity. *Gastroenterology Clinics of North America. 2010;39(1):1–7. PubMed Central PMCID: PMC2833287. pmid:20202574*
3. Field AE, Coakley EH, Must A, Spadano JL, Laird N, Dietz WH, et al. (2001). Impact of overweight on the risk of developing common chronic diseases during a 10-year period. *Archives of Internal Medicine. 2001;161(13).:1581–6. pmid:11434789*
4. Adams KF, Schatzkin A, Harris TB, Kipnis V, Mouw T, Ballard-Barbash R, et al. (2006). Overweight, obesity, and mortality in a large prospective cohort of persons 50 to 71 years old. *The New England Journal of Medicine. 2006;355(8).:763–78. pmid:16926275*
5. Wei M, Kampert JB, Barlow CE, Nichaman MZ, Gibbons LW, Paffenbarger J, et al. (1999). Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal-weight, overweight, and obese men. *JAMA. 1999;282(16).:1547–53. pmid:10546694*
6. Flegal KM, Kit BK, Orpana H, Graubard BI. (2013). Association of all-cause mortality with overweight and obesity using standard body mass index categories: a systematic review and meta-analysis. *2013;309(1).:71–82. PubMed Central PMCID: PMC4855514 pmid:23280227*
7. Colberg SR, Simoneau J-A, Thaete FL, Kelley DE. (1995). Skeletal muscle utilization of free fatty acids in women with visceral obesity. *Journal of Clinical Investigation. 1995;95(4).:1846–53. pmid:7706491*
8. Kelley DE, Goodpaster BH, Wing RR, Simoneau J-A. (1999). Skeletal muscle fatty acid metabolism in association with insulin resistance, obesity, and weight loss. *American Journal of Physiology—Endocrinology And Metabolism. 1999;277(6 pt. 1).:E1130–41.*
9. Kelley DE, Williams KV, Price JC, McKolanis TM, Goodpaster BH, Thaete FL. (2001). Plasma fatty acids, adiposity, and variance of skeletal muscle insulin resistance in type 2 diabetes mellitus. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2001;86(11).:5412–9. pmid:11701715*
10. Achten J, Jeukendrup AE. (2004). Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition. 2004;20(7–8).:716–27. pmid:15212756*

11. Lazzer S, Busti C, Agosti F, De Col A, Pozzo R, Sartorio A. (2007). Optimizing fat oxidation through exercise in severely obese Caucasian adolescents. *Clinical Endocrinology. 2007;36(4).:582–8. pmid:17590171*
12. Péronnet F, Haman F. (2019). Low capacity to oxidize fat and body weight. *Obesity Reviews. 2019;20(10).:1367–83. pmid:31353786*
13. Pescatello LS, Arena R, Riebe D, Thompson PD. (2014). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. *9th edition ed. Medicine ACoS, editor. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2014.*
14. Bogdanis GC, Vangelakoudi A, Maridaki M. (2008). Peak fat oxidation rate during walking in sedentary overweight men and women. *Journal of Sports Science and Medicine. 2008;7(4).:525–31. PubMed Central PMCID: PMC3761910. pmid:24149961*
15. Bircher S, Knechtle B. (2004). Relationship between fat oxidation and lactate threshold in athletes and obese women and men. *Journal of Sports Science and Medicine. 2004;3(3).:174–81. PubMed Central PMCID: PMC3905300. pmid:24482595*
16. Tunstall RJ, Mehan KA, Wadley GD, Collier GR, Bonen A, Hargreaves M, et al. (2002). Exercise training increases lipid metabolism gene expression in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 2002;283(1).:E66–E72. pmid:12067844.*
17. Hurley BF, Nemeth PM, Martin WHr, Hagberg JM, Dalsky GP, Holloszy JO. (1986). Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. *Journal of Applied Physiology. 1986;60(2).:562–7. pmid:3512511.*
18. Martin WHr Dalsky GP, Hurley BF Matthews DE, Bier DM Hagberg JM, et al. (1993). Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 1993;265(5).:E708–E14. pmid:8238496.*
19. Phillips SM, Green HJ, Tarnopolsky MA, Heigenhauser GJF, Hill RE, Grant SM. (1996). Effects of training duration on substrate turnover and oxidation during exercise. *Journal of Applied Physiology. 1996;81(5).:2182–91. pmid:9053394.*
20. van Aggel-Leijssen DPC, Saris WHM, Wagenmakers AJM, Senden JM, Van Baak MA. (2002). Effect of exercise training at different intensities on fat metabolism of obese men. *Journal of Applied Physiology. 2002;92(3).:1300–9. pmid:11842071.*
21. Friedlander AL, Casazza GA, Horning MA, Buddinger TF, Brooks GA. (1998). Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 1998;275(5).: E853–E63. pmid:9815006.*
22. van Aggel-Leijssen DP, Saris WH, Wagenmakers AJ, Hul GB, van Baak MA. (2001). The effect of low-intensity exercise training on fat metabolism of obese women. *Obesity Research. 2001;9(2).:86–96. pmid:11316351*
23. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. (2005). Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *Journal of Applied Physiology. 2005;98(1).:160–7. pmid:15333616*
24. Riddell MC, Jamnik VK, Iscoe KE, Timmons BW, Gledhill N. (2008). Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. *Journal of Applied Physiology. 2008;105(2).:742–8. pmid:18535137.*
25. Holloszy JO, Coyle EF. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology. 1984;56(4).:831–8. pmid:6373687.*
26. Melanson EL, Sharp TA, Schneider J, Donahoo WT, Grunwald GK, Hill JO. (2003). Relation between calcium intake and fat oxidation in adult humans. *International Journal of Obesity. 2003;27(2).:196–203. pmid:12586999*
27. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 1993;265(3).:E380–E91. pmid:8214047.*
28. Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE. (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism—Clinical and Experimental. 2003;52(6).:747–52. pmid:12800102*
29. Woodward M. (2019). Cardiovascular Disease and the Female Disadvantage. *International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019;16(7).:1165. pmid:30939754*
30. Kerhervé HA, Harvey LM, Eagles AN, McLellan C, Lovell D. (2020). Body composition influences blood pressure during submaximal graded test in women. *Obesity Research & Clinical Practice. 2020;In Press. pmid:32962957*
31. Hickner RC, Privette J, McIver K, Barakat H. (2001). Fatty acid oxidation in African-American and Caucasian women during physical activity. *Journal of Applied Physiology. 2001;90(6).:2319–24. pmid:11356798.*
32. Devries MC, Samjoo IA, Hamadeh MJ, McCready C, Raha S, Watt MJ, et al. (2013). Endurance Training Modulates Intramyocellular Lipid Compartmentalization and Morphology in Skeletal Muscle of Lean and Obese Women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2013;98(12).:4852–62. pmid:24081737*
33. Ezell DM, Geiselman PJ, Anderson AM, Dowdy ML, Womble LG, Greenway FL, et al. (1999). Substrate oxidation and availability during acute exercise in non-obese, obese, and post-obese sedentary females. *International Journal of Obesity. 1999;23(10).:1047–56. pmid:10557025*
34. Kanaley JA, Cryer PE, Jensen MD. (1993). Fatty acid kinetic responses to exercise. *Effects of obesity, body fat distribution, and energy-restricted diet. J Clin Invest. 1993;92(1).:255–61. pmid:8325992*
35. Thyfault JP, Kraus RM, Hickner RC, Howell AW, Wolfe RR, Dohm GL. (2004). Impaired plasma fatty acid oxidation in extremely obese women. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 2004;287(6).:E1076–E81. pmid:15280153.*
36. Horowitz JF, Klein S. (2000). Oxidation of nonplasma fatty acids during exercise is increased in women with abdominal obesity. *Journal of Applied Physiology. 2000;89(6).:2276–82. pmid:11090579.*
37. Kanaley J, Weatherup-Dentes M, Alvarado C, Whitehead G. (2001). Substrate oxidation during acute exercise and with exercise training in lean and obese women. *European Journal of Applied Physiology. 2001;85(1).:68–73. pmid:11513323*
38. Steffan HG, Elliott W, Miller WC, Fernhall B. (1999). Substrate utilization during submaximal exercise in obese and normal-weight women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1999;80(3).:233–9. pmid:10453926*
39. Bordenave S, Flavier S, Fédou C, Brun JF, Mercier J. (2007). Exercise calorimetry in sedentary patients: procedures based on short 3 min steps underestimate carbohydrate oxidation and overestimate lipid oxidation. *Diabetes & Metabolism.*

2007;33(5).:379–84. pmid:17936665
40. Frayn KN. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology. 1983;55(2).:628–34. pmid:6618956*
41. Brooks GA, Mercier J. (1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of Applied Physiology. 1994;76(6).:2253–61. pmid:7928844.*
42. Jamovi Project (2018). jamovi (Version 0. *9).. Retrieved from https://www.jamovi.org2018.*
43. Calles-Escandon J, Arciero PJ, Gardner AW, Bauman C, Poehlman ET. (1995). Basal fat oxidation decreases with aging in women. *Journal of Applied Physiology. 1995;78(1).:266–71. pmid:7713822.*
44. Fletcher G, Eves FF, Glover EI, Robinson SL, Vernooij CA, Thompson JL, et al. (2017). Dietary intake is independently associated with the maximal capacity for fat oxidation during exercise. *American Journal of Clinical Nutrition. 2017;105(4).:864–872. pmid:28251936*

Cita Original

Kerherve, H. A., Harvey, L. M., Eagles, A. N., McLellan, C., & Lovell, D. (2020).. Similar rates of fat oxidation during graded submaximal exercise in women of different body composition. PloS one, 15(11)., e0242551. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0242551