

Article

# El Ejercicio Antes del Desayuno Aumenta la Oxidación de Grasas de 24hs en Mujeres

Kaito Iwayama, Ryosuke Kawabuchi, Yoshiharu Nabekura, Reiko Kurihara, Insung Park, Masashi Kobayashi, Hitomi Ogata, Momoko Kayaba, Naomi Omi y Makoto Satoh

## RESUMEN

---

### Fundamento

El ejercicio realizado en un estado postprandial no aumenta la oxidación de grasas de 24hs en sujetos varones y mujeres. Al contrario, se ha demostrado en sujetos varones que el ejercicio realizado en un estado postabsorción aumenta la oxidación de grasas de 24hs comparado con que los sujetos de control sedentarios y que con pruebas de ejercicio realizadas después del desayuno, el almuerzo, o la cena. Hay una escasez de estudios que evalúan el efecto de ejercicio realizada en un estado del postabsorción o en los sujetos de la mujer.

### Método

Nueve sujetos femeninos jóvenes participaron en la medición de la calorimetría indirecta durante 24hs usando una cámara metabólica del tamaño de un cuarto en la que los sujetos permanecían sedentarios o realizaron 60 minutos de ejercicio antes del desayuno al 50% del VO<sub>2</sub>máx. El ejercicio fue acompañado por un aumento en la ingesta de energía para asegurar que los sujetos estaban en un estado similar de balance de energía durante 24hs para las dos pruebas.

### Hallazgos

Comparado con la condición sedentaria, el ejercicio realizado antes del desayuno aumentó la oxidación de grasas de 24hs (519±37 vs 400±41 kcal/día). Los cursos de tiempo del balance de energía relativo difirieron entre las pruebas con un balance de energía negativo transitorio observado antes del desayuno. Los valores más bajos del balance de energía relativo observados durante la calorimetría 24hs, es decir, un déficit de energía transitorio, fueron mayores en las pruebas de ejercicio que en las pruebas sedentarias. También se observó un déficit transitorio en el equilibrio de los carbohidratos antes del desayuno, y la magnitud del déficit fue mayor en la prueba de ejercicio comparada a la de la prueba sedentaria.

### Interpretación.

Bajo condiciones de energía equilibrada, el ejercicio realizado en un estado postabsorción aumentó la oxidación de grasas de 24hs en sujetos mujeres. El efecto del ejercicio realizado antes del desayuno puede atribuirse al estado nutricional: un déficit transitorio en la energía y carbohidratos al final del ejercicio.

## INTRODUCCIÓN

---

La oxidación de grasas aumenta durante el ejercicio, y sus factores determinantes están bien caracterizados; la intensidad del ejercicio [1,2], la duración del ejercicio [3], el estado de entrenamiento [4,5], el estado nutricional [6,7], y el sexo, son factores que afectan a oxidación de grasas durante el ejercicio. La oxidación de grasas durante el ejercicio es esperable que aumente por el ejercicio prolongado a una intensidad moderada realizado en un estado post-absorción y de ser mayor en individuos entrenados y en mujeres.

También debe considerarse que el efecto del ejercicio sobre el metabolismo energético durante el período de recuperación post-ejercicio tiene implicaciones para la regulación del peso corporal. Varios estudios evaluaron el efecto del ejercicio sobre la oxidación de grasas durante las 24 hs (oxidación de grasas de 24hs) en una condición de equilibrio de energía; como fue planeado por el diseño experimental, el ejercicio fue acompañado por un aumento en la ingesta de energía para lograr una condición de energía equilibrada porque encima el sub- y la sobre-alimentación tiene efectos profundos sobre la oxidación de nutrientes [8,9]. El acuerdo general en la literatura declara que las diferencias en la intensidad del ejercicio parecen jugar un rol pequeño que determinan la oxidación de las grasas de 24hs [10-14].

El efecto de ejercicio sobre la oxidación de grasas de 24hs parece depender de cuándo se ha realizado. El ejercicio realizado en un estado postprandial no aumenta la oxidación de grasas de 24hs en sujetos varones y mujeres [11,12,15,16]. Al contrario, nosotros hemos demostrado en sujetos varones que el ejercicio realizado en un estado de postabsorción, es decir, antes del desayuno, la oxidación de grasas de 24hs aumentó comparado con el control sedentario y pruebas del ejercicio realizadas después del desayuno, almuerzo, o cena [16-18]. Es de notar que hay una escasez de estudios que evalúen el efecto del ejercicio realizado en un estado de postabsorción en sujetos mujeres. La fisiología y patofisiología difieren entre el varón y la mujer más allá de la función reproductiva [19], y varias líneas de evidencia garantizan más estudios con mujeres. Hay diferencias sexuales primero, en la utilización del sustrato durante y después del ejercicio; las mujeres oxidan más grasas durante el ejercicio, mientras que oxidan menos grasas durante el período post-ejercicio cuando es comparado a los varones [20-22]. Segundo, la actividad oxidativa del músculo esquelético de los varones y mujeres responde diferentemente al entrenamiento. El ejercicio de resistencia emprendido en un estado de ayuno de noche fue más eficaz para aumentar la actividad de la citrato sintetasa y de la 3-hidroxi-CoA deshidrogenasa en el músculo esquelético de los varones, mientras el ejercicio después del desayuno fue más eficaz en las mujeres [23]. Tercero, hay diferencias basadas en el sexo en el contenido de triglicéridos intramusculares (IMTG) y la expresión del gen responsable de la oxidación de grasas. El contenido de IMTG en el músculo esquelético femenino es superior que el de los varones [24,25], y el músculo esquelético femenino tiene abundante proteína y mRNA de la carnitina palmitoiltransferasa 1 [26], FAT/CD36, y de la lipasa hormona sensible [27], comparado a los varones.

El objetivo del presente estudio fue determinar si el ejercicio realizado en el estado de post-absorción aumenta la oxidación de grasas de 24hs en sujetos mujeres. Con este fin, se realizó una calorimetría indirecta de 24hs en dos ocasiones con una sesión de ejercicio de 60 minutos antes del desayuno o en una condición del control sedentaria. Se diseñaron ambas pruebas experimentales para ser equilibradas en la energía durante 24hs.

## MATERIALES Y MÉTODOS

---

### Características de los sujetos

Se reclutaron nueve mujeres jóvenes para el presente estudio después de proveer el consentimiento informado por escrito. Ellos eran moderadamente activas, pero ninguna de ellas estaba comprometida en el entrenamiento de la resistencia. Ellas no tenían ninguna condición médica actual, y ninguna estaba tomando alguna medicación, inclusive anticonceptivos orales, en el momento del estudio. Hasta una semana antes del primer experimento, las mujeres se pasaron una noche en la cámara metabólica para acostumbrarse a la condición de la medición. Este estudio fue aceptado por el comité de ética de la Universidad de Tsukuba.

### Evaluación de pre-estudio

Todas las mujeres realizaron un test graduado de ejercicio compuesto de tests submáximos y máximos usando un cicloergómetro para determinar la carga de trabajo correspondiente al 50% del consumo máximo de oxígeno individual (VO<sub>2</sub>máx) [16].

### Protocolo experimental

El estudio fue un diseño aleatorizado de medidas repetidas compuesto de pruebas de calorimetría de 24hs con o sin sesiones de ejercicio realizadas antes del desayuno. Para estandarizar las condiciones entre las pruebas, las pruebas de calorimetría de 24hs se llevaron a cabo en la fase folicular temprana del ciclo menstrual, y todos los experimentos se completaron dentro de 2 meses. Se les pidió a los sujetos mantener su peso corporal a lo largo del estudio, sin una diferencia significativa en el peso corporal observada entre las pruebas de la calorimetría individual ( $P > 0.40$ ).

El día anterior de la calorimetría de 24hs, las mujeres entraron en la cámara metabólica (día 1, 22:00), y el gasto energético y la oxidación de nutrientes de 24hs fueron medidos de 6:00 en el día 2 a 6:00 en el día 3. Una vez en la cámara

metabólica, las mujeres durmieron por 7 hs de 23:00 a 6:00. En el día 2, 3 comidas (desayuno a las 8:00, almuerzo a las 12:00, y cena a las 18:00) fueron provistas, y las mujeres se ejercitaron al 50% del  $VO_{2max}$  durante 60 minutos usando un cicloergómetro empezando a las 6:30 (prueba del ejercicio) o permaneciendo en una posición sedentaria (prueba sedentaria). Se les pidió a las mujeres permanecer despiertas y mantener una posición sedentaria excepto al realizar las sesiones del ejercicio prescrito y sólo dormir en momentos especificados por el protocolo

Se diseñaron comidas experimentales para lograr el balance de energía individual asumiendo una tasa metabólica de reposo de 22.1 kcal/kg/día según los requisitos de energía estimados para individuos japoneses [28]. El factor de la actividad física fue asumido como de 1.75 ( $2,248 \pm 65$  kcal/día) en el día 1, 1.60 ( $1,991 \pm 55$  kcal/día) en las pruebas con las sesiones de ejercicio, y 1.24 en las pruebas sedentarias ( $1,637 \pm 42$  kcal/día) en el día 2. Expresados como porcentajes de la ingesta de energía total, las comidas experimentales consistieron en 15% de proteína, 25% de grasas, y 60% de carbohidratos. Las contribuciones del desayuno, el almuerzo, y la cena al consumo de la energía total de 24hs fueron de 33%, 33%, y 34%, respectivamente.

## Mediciones

El metabolismo energético fue medido usando una cámara metabólica del tamaño de un dormitorio (Fuji Medical Science, Chiba, Japón). La cámara hermética medía  $2.00 \times 3.45 \times 2.10$  m, con un volumen interno de 14.49 m<sup>3</sup>. La temperatura y humedad relativa de aire entrante estaban controladas en  $25.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$  y  $55.0 \pm 3.0\%$ , respectivamente. Las concentraciones de O<sub>2</sub> y de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el aire saliente fueron medidos usando un espectrómetro colectivo de proceso on line (VG Prima  $\delta$ B, Thermo Electron, Winsford Reino Unido). A cada 5 minutos, las tasas del consumo de O<sub>2</sub> ( $VO_2$ ) y de la producción de CO<sub>2</sub> ( $VCO_2$ ) fueron calculadas con un algoritmo que daba una respuesta transitoria mejorada [29]

La orina fue recolectada durante la calorimetría indirecta, y la concentración de nitrógeno urinario fue medido usando usando un analizador de nitrógeno quimioluminiscente (TN-100, Mitsubishi Chemical Corp., Kanagawa, Japón). La oxidación de macronutrientes y el gasto energético fueron calculados a partir del  $VO_2$ ,  $VCO_2$  y de la excreción de nitrógeno urinario [30]. El equilibrio energético y de nutrientes respecto al comienzo de la calorimetría de 24hs se estimaron como la diferencia entre la entrada (consumo de la comida) y la producción (la oxidación). El balance de energía relativo fue definido como en función del tiempo (t) desde 6:00 en el día 2.

*Balance de energía relativa (t) = consumo de energía acumulada (t) - gasto energético acumulado (t)*

La actividad sin-ejercicio fue estimada, usando un dispositivo como un reloj de muñeca (ActiGraph, Ambulatory Monitoring, NY EE.UU.), como el número de veces la señal de actividad cruzaba el punto cero de referencia por minuto [31]. La composición corporal fue medida usando el método de bioimpedancia (BC-118E, TANITA Co., Tokyo Japón) que estima la masa libre de grasas altamente correlacionada a la determinada por absorciometría de radiografía de energía dual ( $r = 0.973$ ) [32].

## Análisis estadístico

Los datos en el texto principal y en las figuras se presentan como promedios  $\pm$ SE. El curso de tiempo del gasto energético, se compararon la oxidación de los hidratos de carbono y la oxidación de grasas usando un ANOVA bidireccional de medidas repetidas para la prueba de ejercicio y la prueba sedentaria. Se compararon los valores promedio usando los t-tests dos en dos para la prueba del ejercicio y la prueba de control sedentario. La significancia estadística estaba fijada en  $P < 0.05$ . Se realizaron todos los análisis estadísticos usando el programa SPSS de estadística (Versión 22, IBM Japón, Tokio, Japón).

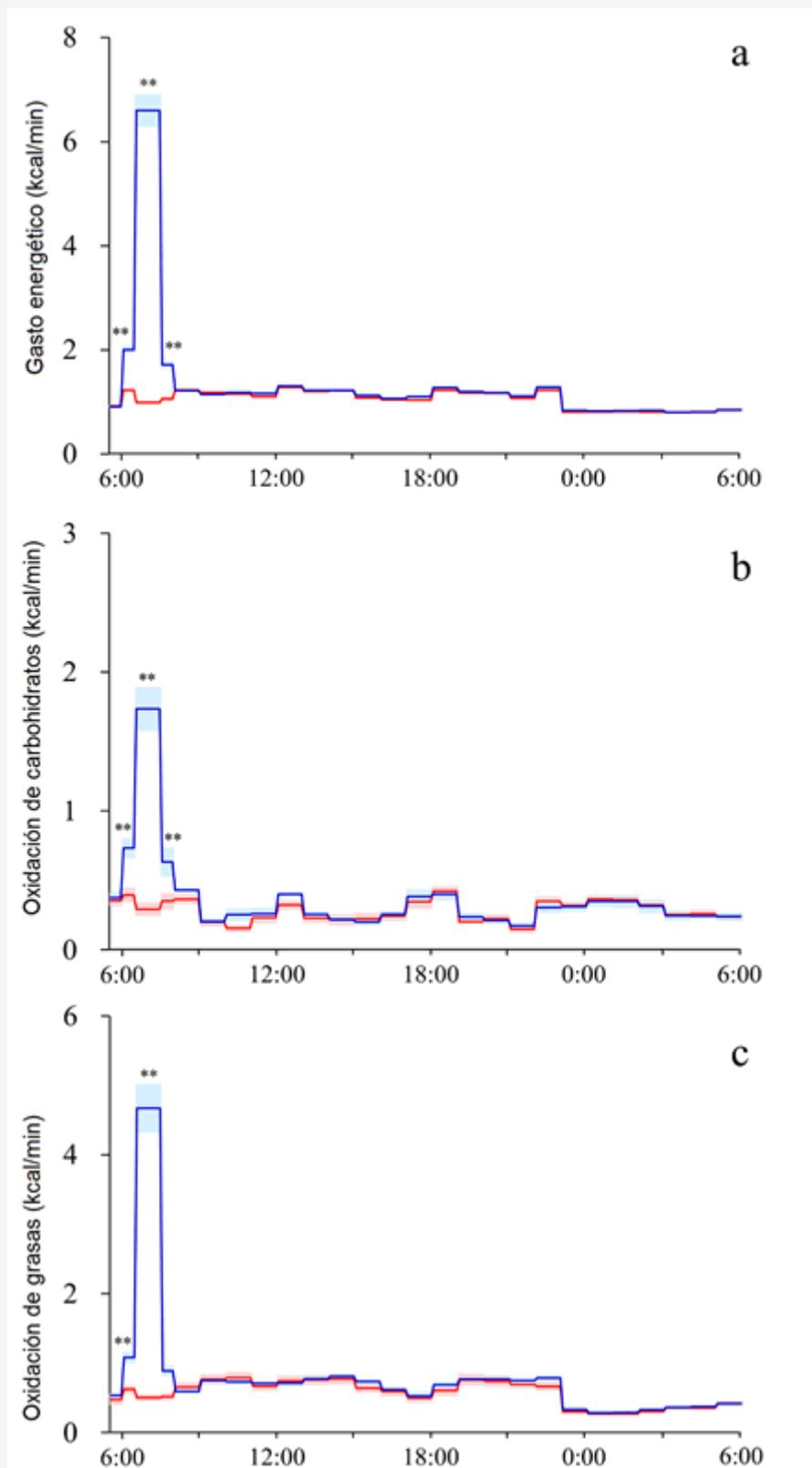
## RESULTADOS

Las características físicas de las mujeres eran  $23.9 \pm 1.3$  años de edad,  $161.4 \pm 1.6$  cm de altura,  $57.8 \pm 1.6$  kg de peso corporal y  $26.9 \pm 1.2\%$  de grasa corporal. Su consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) era de  $43.6 \pm 1.7$  ml/kg/min. La habituación del ejercicio semanal era de  $2.6 \pm 1.0$  (hs/semana). La carga de trabajo, la intensidad relativa del ejercicio y la frecuencia cardíaca promedio durante la sesión de 60 minutos de ejercicio se muestra en la Tabla 1. Cuando se podía, la intensidad relativa del ejercicio estuvo cerca del 50% del  $VO_{2max}$ .

**Tabla 1.** *Metabolismo energético durante el ejercicio.*

Carga de trabajo (W)	87±5
Intensidad relativa (%VO <sub>2</sub> máx)	52.1±2.9
Frecuencia cardíaca (lat/min)	129±7

El curso de tiempo del metabolismo energético durante la calorimetría indirecta de 24hs se muestra en la Fig. 1. Comparado a la prueba del control sedentario, el gasto energético y la oxidación de carbohidratos y grasas fue superior durante el ejercicio (6:30-7:30). Antes del ejercicio (6:00-6:30 debido a la preparación para el ejercicio) e inmediatamente después del ejercicio (7:30-8:00 debido a la limpieza del sudor y el cambio de ropa), el gasto energético y la oxidación de nutrientes fueron superiores en las pruebas de ejercicio comparado a las de las pruebas de control, aunque la diferencia en la oxidación de grasas inmediatamente después del ejercicio no fue estadísticamente significativa. El gasto energético acumulado y la oxidación de carbohidratos y grasas durante 24hs fue superior para la prueba de ejercicio que para la prueba sedentaria. Ninguna diferencia significativa se observó en la oxidación de proteínas en las 24hs (P = 11) (Tabla 2).

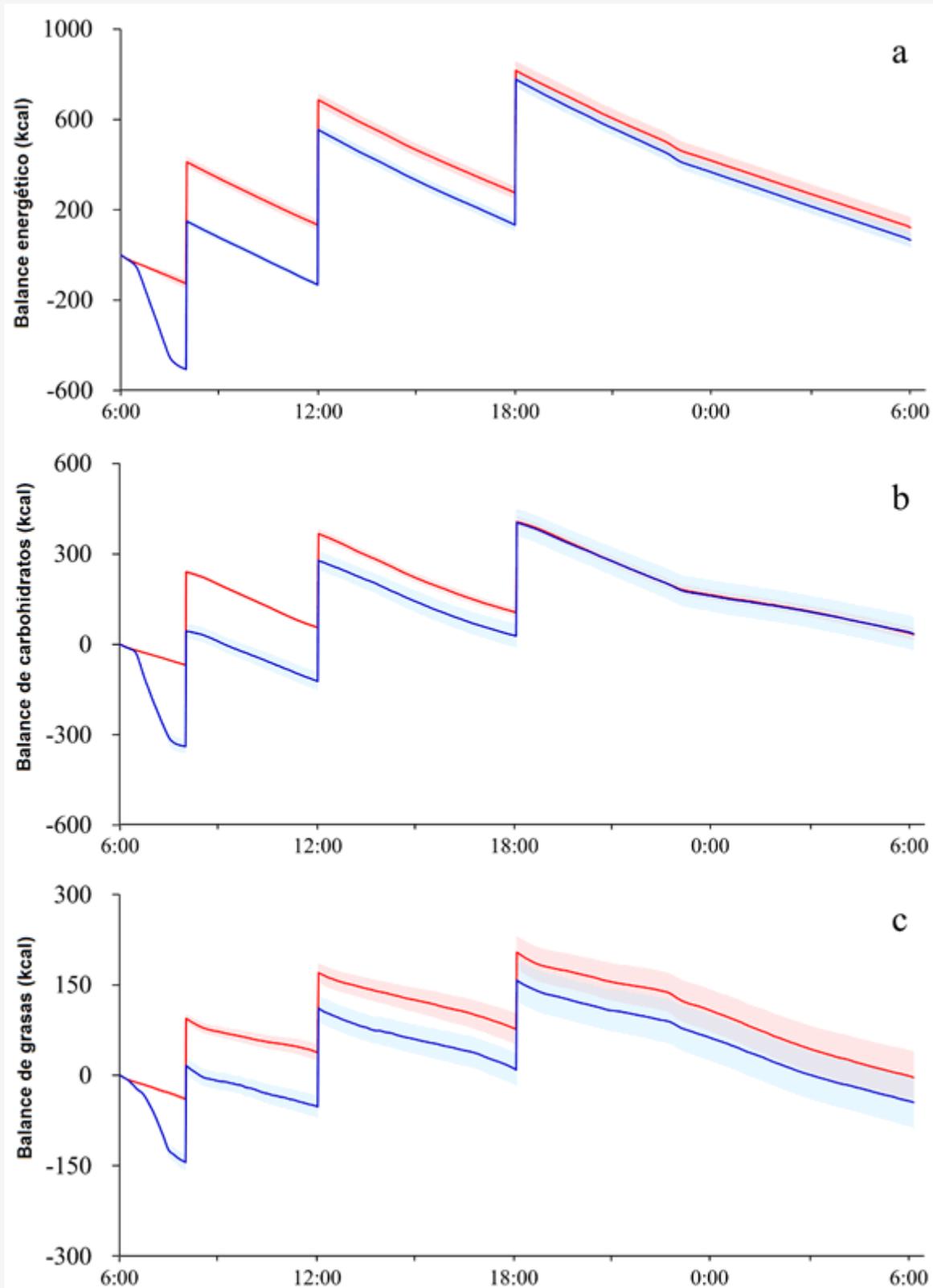


**Figura 1.** El curso de tiempo del gasto energético (a), la oxidación de los hidratos de carbono (b) y la oxidación de grasas (c) para la prueba sedentaria (rojo) y prueba de ejercicio (azul). Los valores son promedios  $\pm$ SE trazados en intervalos de 1 hora salvo durante 6:00-6:30 y 7:30-8:00; 6:00-6:30. Diferencias significativas entre el las pruebas de ejercicio y sedentaria: \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ .

**Tabla 2.** Metabolismo energético durante 24hs.

	<b>Test Sedentario</b>	<b>Test Ejercicio</b>
Gasto energético (kcal/24hs)	1516 ± 40	1925 ± 43*
Oxidación de carbohidratos (kcal/24hs)	892 ± 35	1126 ± 49*
Oxidación de grasas (kcal/24hs)	400 ± 41	519 ± 37*
Oxidación de proteínas (kcal/24hs)	225 ± 34	279 ± 46

\*: P < 0.05



**Figura 2.** El curso de tiempo del balance de energía relativo (a), el balance de los carbohidratos (b) y el balance de las grasas (c). Los valores promedios  $\pm$ SE son trazados en intervalos de 30 minutos para la prueba de ejercicio (azul) y la prueba sedentaria (rojo).

Ninguna diferencia significativa en la actividad física sin-ejercicio se observó entre la prueba sedentaria ( $97 \pm 8$  cuentas/min) y la prueba de ejercicio ( $105 \pm 10$  counts/min,  $P = 0.61$ ).

Los cursos de tiempo del balance de energía relativo diferió entre las pruebas con un balance de energía negativo transitorio observado antes del desayuno (Fig. 2). Los valores más bajos del balance de energía relativo observados durante la calorimetría de 24hs, es decir, el déficit de energía transitorio, fue mayor en las pruebas de ejercicio (-507±20 kcal) que en las pruebas sedentarias (-127±4 kcal,  $P < 0.01$ ). Como fue planeado por el diseño experimental, el balance de energía relativo de ambas pruebas convergió en un valor similar al valor inicial a finales del estudio (6:00 del día 3), y no hubo ninguna diferencia significativa en el balance de energía de 24hs entre la prueba sedentaria (122±34 kcal/día) y la prueba de ejercicio (67±45 kcal/día,  $P = 0.20$ ). También se observó un déficit transitorio en el equilibrio de los carbohidratos antes del desayuno, y la magnitud del déficit fue mayor en la prueba de ejercicio (-339±23 kcal) comparado al de la prueba sedentaria (-69±3 kcal,  $P < 0.01$ ). Similarmente, el déficit transitorio en el equilibrio de grasas también fue observado (ejercicio, -144±13; sedentaria, -39±6 kcal,  $P < 0.01$ ). Diferencias en el curso de tiempo del equilibrio de carbohidratos entre las dos condiciones experimentales gradualmente disminuyeron, y no hubo ninguna diferencia significativa al final de la calorimetría de 24hs ( $P = 0.96$ ). Similarmente, las diferencias en el tiempo de curso del equilibrio relativo de las grasas se tornó insignificante estadísticamente ( $P = 0.45$ ).

## DISCUSIÓN

El hallazgo principal del presente estudio fue que el ejercicio realizado luego de un ayuno de toda la noche aumenta la oxidación de grasas de 24hs mujeres. Estudios previos que evalúan una condición de energía equilibrada demostraron que el ejercicio realizado en un estado postprandial no aumenta la oxidación de grasas de 24hs en sujetos varones y mujeres [11,12,15,16]. Al contrario, el ejercicio realizado antes del desayuno aumentaba la oxidación de grasas de 24hs más que el ejercicio realizado después del desayuno, el almuerzo, o la cena, o en una prueba de control sedentaria en sujetos varones [16-18]. Tomado todo junto, se indica que el ejercicio realizado en un estado de postabsorción pero no realizado en un estado postprandial, aumenta la oxidación de grasas de 24hs en sujetos varones y mujeres.

El efecto del ejercicio realizado antes del desayuno puede atribuirse al estado nutricional o la naturaleza circadiana de las primeras horas de la mañana. En nuestros estudios previos con sujetos varones, el efecto del ejercicio realizado antes del desayuno se comparó con el ejercicio realizado después del desayuno, el almuerzo, o la cena, y control sin-ejercicio, y se correlacionó un déficit del energía/carbohidratos transitorio negativamente con la oxidación de grasas de 24hs [16-18]. En el presente estudio con mujeres, el ejercicio realizado en un estado de postabsorción indujo un déficit de energía/carbohidratos transitorio más grande comparado con la prueba de control sedentaria. El tamaño del pool de carbohidratos es el más pequeño entre los macronutriente guardados en el cuerpo, y la respuesta metabólica a los cambios en el almacenamiento de los carbohidratos es más sensible que la respuesta a las grasas y a las proteínas [8]. De ahí, el déficit de carbohidratos transitorio se ha indicado como un factor; la escasez de glucógeno induce una translocación nuclear de la AMPK y una sobrerregulación de los genes responsables de la oxidación de grasas en el músculo esquelético [33], y la escasez del glucógeno hepático activa un eje neural hígado-cerebro-tejido adiposo para intensificar la lipólisis [34].

Merece la pena mencionar que la ingesta de energía adicional durante las pruebas de ejercicio fue provista una proporción de la dieta total como opuesto al reemplazo directo de los sustratos oxidados para sostener el ejercicio. La posibilidad de que la desigualdad de nutrientes adicionales y aquellos oxidados durante el ejercicio afecte la oxidación de las grasas de 24hs, permanece a ser evaluada. Alternativamente, el efecto del ejercicio realizado antes del desayuno puede atribuirse a la naturaleza circadiana de las primeras horas de la mañana puesto que puede verse la ritmicidad circadiana en muchos procesos fisiológicos que incluyen la temperatura del cuerpo, la actividad, el sueño, el metabolismo, y la secreción de hormonas y neurotransmisores [35]. Sin embargo, la literatura no apoya esta posibilidad. Primero, la oxidación de grasas durante el ejercicio por la mañana (9:00 hs) y por la tarde (17:00 hs) no fue diferente cuando se evaluó 3 hs después del consumo de una comida idéntica [36]. Segundo, sólo una diferencia de 4hs en el *timing* del ejercicio afectó la oxidación de grasas de 24hs; comparado al ejercicio realizado después del desayuno (10:30-11:30 hs), el ejercicio realizó antes del desayuno (06:30-07:30 hs) oxidó significativamente más grasas [17].

En el presente estudio, la calorimetría indirecta se realizó a principios de la fase folicular lo cual es consistente con la literatura; en muchos de los estudios metabólicos con mujeres, la fase folicular se adopta a menudo para estandarizar las condiciones. Se ha reportado que la oxidación de grasas durante la fase medio-lútea es superior comparado a la fase folicular temprana, y esto se atribuye a la diferencia en el nivel circulante de los esteroides sexuales, como la 17- $\beta$ -estradiol [37]. Puesto que la utilización del glucógeno durante el ejercicio de resistencia es influenciada por el ciclo menstrual [38], un estudio adicional es necesario para evaluar el efecto del ejercicio sobre la oxidación de grasas de 24hs durante la fase lútea. En suma, la calorimetría indirecta en sí no nos permite evaluar las sub-especies de los sustratos: la glucosa y el glucógeno para los carbohidratos, los ácidos grasos libres plasmáticos, los triglicéridos, y los IMTGs para la grasa. Para entender la respuesta metabólica al ejercicio realizado en momentos diferentes del día, se necesitan estudios

más extensos con otros métodos experimentales. Por ejemplo, la observación en los metabolitos del tejido usando una espectroscopia de resonancia magnética o biopsia del tejido y/o uso de trazadores para evaluar la cinética de los sustratos serían de gran valor.

En términos del potencial de transferencia del presente estudio, un poco de consideraciones son requeridas. Como parte de la diversidad del estilo de vida en nuestra sociedad, hay una amplia variación por el momento del día que los individuos eligen para ejercitarse. Los recientes estudios sobre el uso del tiempo en EE.UU. y Japón ha revelado que la mayoría de las personas se ejercitan después del trabajo, mientras algunos individuos se ejercitan antes del trabajo en los días de la semana [39,40]. Esto requiere una consideración para decidir si el ejercicio habitual realizado por la mañana y el realizado por la tarde o a la tarde temprano, tiene diferentes efectos en la oxidación de grasas de 24hs. El efecto de un único turno de ejercicio sobre la oxidación de grasas de 24hs no puede extrapolarse a la reducción de grasa corporal con el ejercicio crónico. Comparado a entrenarse en un estado alimentado, el estado de ayuno suprimió la ganancia de peso corporal de una dieta rica en grasa hipercalórico en un estudio en sujetos varones [41]. Sin embargo, en otros estudios con dieta normal, ninguna diferencia en el cambio del peso se observó entre el entrenamiento en estado alimentado y de ayuno en sujetos varones y mujeres [23,42-46]. Uno de los estudios mencionados analizó los registros de comida pesada; la ingesta diaria promedio de energía, proteínas, y carbohidratos significativamente aumentó durante el entrenamiento, pero estos aumentos no fueron significativamente diferentes entre los grupos de entrenamiento en estado alimentado y de ayuno [23]. Evaluar el efecto de entrenarse en un estado alimentado y un estado de ayuno sobre la composición corporal puede requerir un período de intervención más largo, lo cual lo haría difícil de controlar con precisión o monitorear los hábitos dietéticos durante el estudio entero.

El ejercicio realizado en un estado de postabsorción aumentó la oxidación de grasas de 24hs en mujeres. Junto con estudios previos [11,12,15,16], el presente estudio indica que el efecto de un único turno de ejercicio sobre la oxidación de grasas de 24hs depende de cuándo ha sido realizado. La comparación de los efectos crónicos del ejercicio realizado en un momento diferente del día sobre la grasa corporal permanece incierta.

## REFERENCIAS

1. 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. *Am J Physiol.* 1993; 265: E380-E391.
2. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, Wolfe RR. (2000). Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol.* 2000; 88: 1807-1714.
3. Coyle EF. (1995). Substrate utilization during exercise in active people. *Am J Clin Nutr.* 1995; 61: 968S-79S.
4. Nordby P, Saltin B, Helge JW. (2006). Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity? *Scand J Med Sci Sports.* 2006; 16: 209-214.
5. Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K. (2006). Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 98: 497-506.
6. Horowitz JF, Mora-Rodriguez R, Byerley LO, Coyle EF. (1999). Substrate metabolism when subjects are fed carbohydrate during exercise. *Am J Physiol.* 1999; 276: E828-E835.
7. Wallis GA, Dawson R, Juul Achten, Webber J, Jeukendrup AE. (2006). Metabolic response to carbohydrate ingestion during exercise in males and females. *Am J Physiol.* 2006; 290: E708-E715.
8. Flatt JP. (1988). Importance of nutrient balance in body weight regulation. *Diabetes Metab Rev.* 1988; 4: 571-581.
9. Horton TJ, Drougas H, Brachey A, Reed GW, Peters JC, Hill JO. (1995). Fat and carbohydrate overfeeding in humans: different effects on energy storage. *Am J Clin Nutr.* 1995; 62: 19-29.
10. Melanson EL, Sharp TA, Seagle HM, Horton TJ, Donahoo WT, Grunwald GK et al. (2002). Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation. *J Appl Physiol.* 2002; 92: 1045-1052.
11. Melanson EL, Gozansky WS, Barry DW, MacLean PS, Grunwald GK, Hill JO. (2009). When energy balance is maintained, exercise does not induce negative fat balance in lean sedentary, obese sedentary, or lean endurance-trained individuals. *J Appl Physiol.* 2009a; 107: 1847-1856.
12. Melanson EL, MacLean PS, Hill JO. (2009). Exercise improves fat metabolism in muscle but does not increase 24-h fat oxidation. *Exerc Sport Sci Rev.* 2009b; 37: 93-101.
13. Saris WHM, Schrauwen P. (2004). Substrate oxidation differences between high- and low-intensity exercise are compensated over 24 hours in obese men. *Int J Obesity.* 2004; 28: 759-765.
14. Treuth MS, Hunter GR, Williams M. (1996). Effects of exercise intensity on 24-h energy expenditure and substrate oxidation. *Med Sci Sports Exerc.* 1996; 28: 1138-1143.
15. Dionne I, Van Vugt S, Tremblay A. (1999). Postexercise macronutrient oxidation: a factor dependent on postexercise macronutrient intake. *Am J Clin Nutr.* 1999; 69: 927-930.
16. Iwayama K, Kurihara R, Nabekura Y, Kawabuchi R, Park I, Kobayashi M et al. (2003). Exercise increases 24-h fat oxidation only when it is performed before breakfast. *EBioMed.* 2015a; 2: 2003-2009.

17. Shimada K, Yamamoto Y, Iwayama K, Nakamura K, Yamaguchi S, Hibi M et al. (2013). Effect of exercise performed before or after breakfast on 24-h fat oxidation. *Metabolism*. 2013; 62: 793-800.
18. Iwayama K, Kawabuchi R, Park I, Kurihara R, Kobayashi M, Hibi M et al. (2015). Transient energy deficit induced by exercise increases 24-h fat oxidation in young trained men. *J Appl Physiol*. 2015b; 118: 80-85.
19. Miller VM. (2012). In pursuit of scientific excellence: sex matters. *J Appl Physiol*. 2012; 112: 1427-1428.
20. Horton TJ, Pagliassotti MJ, Hobbs K, Hill JO. (1998). Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J Appl Physiol*. 1998; 85: 1823-1832.
21. Henderson GC, Fattor JA, Horning MA, Faghihnia N, Johnson ML, Mau TL et al. (2007). Lipolysis and fatty acid metabolism in men and women during the postexercise recovery period. *J Physiol*. 2007; 584: 963-981.
22. Henderson GC, Alderman BL. (2014). Determinants of resting lipid oxidation in response to a prior bout of endurance exercise. *J Appl Physiol*. 2014; 116: 95-103.
23. Stannard SR, Buckley AJ, Edge JA, Thompson MW. (2010). Adaptations to skeletal muscle with endurance exercise training in the acutely fed versus overnight-fasted state. *J Sci Med Sport*. 2010; 13: 465-469.
24. Roepstorff C, Donsmark M, Thiele M, Vistisen B, Stewart G, Vissing K et al. (2006). Sex differences in hormone-sensitive lipase expression, activity and phosphorylation in skeletal muscle at rest and during exercise. *Am J Physiol*. 2006; 291: E1106-E1114.
25. Tarnopolsky MA, Rennie CD, Robertshaw HA, Fedak-Tarnopolsky SN, Devries MC, Hamadeh MJ. (2007). Influence of endurance exercise training and sex on intramyocellular lipid and mitochondrial ultrastructure, substrate use and mitochondrial enzyme activity. *Am J Physiol*. 2007; 292: R1271-R1278.
26. Berthon PM, Howlett RA, Heigenhauser GJF, Spriet LL. (1998). Human skeletal muscle carnitine palmitoyltransferase I activity determined in isolated intact mitochondria. *J Appl Physiol*. 1998; 85: 148-153.
27. Kiens B, Roepstorff C, Glatz JFC, Bonen A, Schjerling P, Knudsen J et al. (2004). Lipid-binding proteins and lipoprotein lipase activity in human skeletal muscle: influence of physical activity and gender. *J Appl Physiol*. 2004; 97: 1209-1218.
28. Anon. (2010). Dietary reference intakes for Japanese. *Ministry of Health Labour and Welfare of Japan, Tokyo*.
29. Tokuyama K, Ogata H, Katayose Y, Satoh M. (2009). Algorithm for transient response of whole body indirect calorimeter: deconvolution with a regularization parameter. *J Appl Physiol*. 2009; 106: 640-650.
30. Ferrannini E. (1988). The theoretical basis of indirect calorimetry: A review. *Metabolism*. 1988; 37: 287-301.
31. Sato M, Nakamura K, Ogata H, Miyashita A, Nagasaka S, Omi N et al. (2011). Acute effect of late evening meal on diurnal variation of blood glucose and energy metabolism. *Obesity Research & Clinical Practice*. 2011; 5: e220-e228
32. Naka T, Han I, Keii T et al. (2006). Body composition evaluated by segmental bioelectrical impedance analysis in healthy subjects and athletes. *Jpn J Phys Fitness Sports Med*. 2006; 55 (Suppl), S49-S52.
33. Philp A, Hargreaves M, Baar K. (2012). More than a store: regulatory roles for glycogen in skeletal muscle adaptation to exercise. *Am J Physiol*. 2012; 302: E1343-E1351.
34. Izumida Y, Yahagi N, Takeuchi Y, Nishi M, Shikama A, Takarada A et al. (2013). Glycogen shortage during fasting triggers liver-brain-adipose neurocircuitry to facilitate fat utilization. *Nature Commun*. 2013; 4: 2316.
35. Hastings MH, Maywood ES, Reddy AB. (2008). Two decades of circadian time. *J Neuroendocrinol*. 2008; 20: 812-819.
36. Kim HK, Ando K, Tabata H, Konishi M, Takahashi M, Nishimaki M et al. (2016). Effects of different intensities of endurance exercise in morning and evening on the lipid metabolism response. *J Sports Sci Med*. 2016; 15: 467-476.
37. Tarnopolsky MA. (2008). Sex differences in exercise metabolism and the role of 17-beta estradiol. *Med Sci Sports Exerc*. 2008; 40: 648-654.
38. Devries MC, Hamadeh MJ, Phillips SM, Tarnopolsky MA. (2006). Menstrual cycle phase and sex influence muscle glycogen utilization and glucose turnover during moderate-intensity endurance exercise. *Am J Physiol*. 2006; 291: R1120-R1128.
39. Anon. (2015). Sports and Exercise. *Bureau of Labor Statistics, United States Department of Labor*. Available from <http://www.bls.gov/spotlight/2008/sports/>, Accessed 2 August 2015.
40. Anon. (2015). Survey on Time Use and Leisure Activities. *Statistics Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan, Tokyo*. 2013. Accessed 2 August 2015.
41. Van Proeyen K, Szulc K, Nielens H, Pelgrim K, Deldicque L, Hesselink M et al. (2010). Training in the fasted state improves glucose tolerance during fat-rich diet. *J Physiol*. 2010; 588: 4289-4302.
42. De Bock K, Derave W, Eijnde BO, Hesselink MK, Koninckx E, Rose AF et al. (2008). Effect of training in the fasted state on metabolic response during exercise with carbohydrate intake. *J Appl Physiol*. 2008; 104: 1045-1055.
43. Gillen JB, Percival ME, Ludzki A, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. (2013). Interval training in the fed or fasted state improves body composition and Muscle oxidative capacity in overweight women. *Obesity*. 2013; 21: 2249-2255.
44. Nybo L, Pedersen K, Christensen B, Aagaard P, Brandt N, Kiens B. (2009). Impact of carbohydrate supplementation during endurance training on glycogen storage and performance. *Acta Physiol*. 2009; 197: 117-127.
45. Schoenfeld BJ, Aragon AA, Wilborn CD, Krieger JW, Sonmez GT. (2014). Body composition changes associated with fasted versus non-fasted aerobic exercise. *J Int Soc Sports Nutr*. 2014; 11: 54.
46. Van Proeyen K, Szulc K, Nielens H, Ramaekers M, Hespel P. (2011). Beneficial metabolic adaptations due to endurance exercise training in the fasted state. *J Appl Physiol*. 2011; 110: 236-245.

## Cita Original

Iwayama K, Kawabuchi R, Nabekura Y, Kurihara R, Park I, Kobayashi M, et al. (2017) Exercise before breakfast increases 24-h fat oxidation in female subjects. *PLoS ONE* 12(7): e0180472. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180472> Editor: Andrew Philp, University of Birmingham, UNITED KINGDOM Recibido: Febrero 27, 2017; Aceptado: Junio 15, 2017; Publicado: Julio 10, 2017 Copyright: © 2017