

Monograph

La Masa Libre de Grasa y el Género Influyen la Fase Rápida del Exceso de Consumo de Oxígeno Post-Ejercicio

Linda S. Lamont¹, Rochelle Romito² y Karin Rossi²

¹Department of Kinesiology, University of Rhode Island, 25 West Independence Way, Kingston, RI 02881, USA.

²Departments of Cardiology and Pediatrics, Case-Western Reserve University School of Medicine, 3395 Scranton Rd, Cleveland, OH 44109, USA.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la influencia del dimorfismo sexual y la composición corporal sobre la fase rápida del exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio. Para esto se compararon las fases rápidas del exceso de consumo de oxígeno (EPOC) en hombres y mujeres emparejados por edad (32.1 años), estatus de actividad física y consumo máximo de oxígeno ($44.7 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), pero no por masa corporal o masa libre de grasa (FFM). Todos los sujetos se ejercitaron durante 1 h al 50% de su capacidad pico. Si bien se observaron diferencias entre los sexos respecto de la magnitud del consumo de oxígeno absoluto y del EPOC durante la fase rápida de la recuperación, no se observaron diferencias cuando el EPOC fue corregido por la FFM. En base a los resultados se concluye que las diferencias sexuales en el consumo de O_2 absoluto y en el EPOC están relacionadas con el tamaño de la FFM.

Palabras Clave: fase rápida del EPOC, metabolismo post-ejercicio, masa libre de grasa, recuperación, H2[180]

INTRODUCCIÓN

Existe mucha información acerca de los efectos de la intensidad, la duración y el tipo de ejercicio sobre el consumo de oxígeno (VO_2) post-ejercicio (Børsheim and Bahr, 2003), pero poco se sabe acerca de los efectos que pudieran provocar el género o la masa libre de grasa corporal total (FFM). Se sabe que las hormonas secretadas por los ovarios influyen el metabolismo durante el ejercicio y la recuperación (Lamont et al., 1987, 2001; Lamont, 2005), y en un estudio se ha observado que las variaciones del ciclo menstrual en las hormonas ováricas alteran el VO_2 post-ejercicio (EPOC) (Matsuo et al.; 1999), lo cual no se observó en otro estudio (Fukuba et al., 2000). Se han reportado diferencias sexuales respecto del consumo de oxígeno post-ejercicio absoluto, pero en este estudio no se midió el EPOC (Berg, 1991). También se ha hallado que la duración del EPOC es mayor para los hombres que para las mujeres, pero estas diferencias desaparecieron cuando el EPOC se corrigió por la masa corporal (Smith and McNaughton, 1993).

Hasta el momento no se sabe si las diferencias en la magnitud del EPOC o las diferencias sexuales en la FFM son responsables de las diferencias reportadas en los estudios previos. Además, el estudio de la influencia del dimorfismo

sexual y los efectos de la composición corporal sobre el metabolismo ayudarán a valorar aquellos factores que influyen en el gasto energético durante la recuperación. Esto es oportuno debido a que recientemente se han establecido propuestas para estimar el gasto energético post-ejercicio (como el 15% del gasto energético de ejercicio) y adicionar este valor al gasto energético de la actividad física para calcular el gasto energético total (Institute of Medicine, 2005).

Nuestro estudio fue diseñado para valorar la fase rápida, en contraposición con la fase prolongada del EPOC. La fase rápida del EPOC está definida como la suma de los componentes que muestran una reducción dentro de la primera hora de recuperación post-ejercicio; mientras que la fase prolongada decae monoexponencialmente en un tiempo medio de varias horas. Las intensidades de trabajo utilizadas en este estudio están asociadas con el retorno al estado basal dentro de 1 hora y, valorando así la fase rápida. Se comparó la recuperación en hombres y mujeres emparejados por edad, nivel habitual de actividad física y consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}) para valorar las diferencias sexuales. Además, se midió la FFM utilizando el método de trazador en dilución, de manera que se pudiera determinar la relación entre la composición corporal y la magnitud de la fase rápida del EPOC. Por último, se valoró si existía una diferencial del género en la contribución del EPOC al gasto energético de la actividad física medida a través del VO_2 neto total.

MÉTODOS

Participantes

Catorce sujetos saludables y activos (7 mujeres y 7 hombres) participaron en esta investigación. Las características de estos participantes se muestran en la Tabla 1. Los sujetos masculinos fueron emparejados con los femeninos de acuerdo con la edad y el estatus de actividad física. El estatus de entrenamiento y la cantidad de entrenamiento (volumen e intensidad) fueron determinados a partir de reportes verbales y fueron confirmados a partir de la evaluación del consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$). Como puede observarse en la Tabla 1, el emparejamiento de los géneros también nos permitió comparar grupos que se ejercitaron a intensidades relativas similares, debido a que el VO_{2pico} no fue diferente cuando se expresó por kilogramo de masa corporal o por kilogramo de FFM [$p =$ ni significativo (ns)]

Grupo	Edad (años)	Masa Corporal (kg)	FFM (kg)	VO_{2pico} ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	VO_{2pico} ($mL \cdot kg FFM^{-1} \cdot min^{-1}$)
Mujeres	30.6 ± 3	59.4 ± 3	48.7 ± 2	42.2 ± 3.3	50.5 ± 3
Hombres	33.6 ± 4	79.9 ± 3	71.9 ± 3	47.3 ± 3.3	52.6 ± 3
<i>p</i>	ns	0.01	0.01	ns	ns

Tabla 1. Características de los sujetos (medias ± EEM). FFM, masa libre de grasa; VO_{2pico} , consumo de oxígeno pico; ns, no significativo.

Los exámenes físicos fueron llevados a cabo por un médico antes de las evaluaciones de ejercicio y los 14 participantes exhibieron patrones normales de sonidos cardíacos y electrocardiogramas y valores normales de presión sanguínea en reposo. Además, se determinó el ciclo menstrual de cuatro de las participantes femeninas utilizando un test de anticuerpo monoclonal (Ovokit, Quidel, San Diego, California). Ninguna de las mujeres se encontraba ovulando y 6 de ellas fueron estudiadas durante la fase folicular de su ciclo menstrual mientras que una se hallaba utilizando anticonceptivos orales. También se recolectaron los volúmenes de orina de 24 hs, que fueron analizados para determinar el contenido de nitrógeno ureico como medida indirecta del catabolismo proteico. Esta medición fue incluida debido a que el ejercicio y el ciclo menstrual alteran el catabolismo de las proteínas, lo que representa un proceso energético demandante (Lamont et al., 1987).

Evaluaciones Principales

El VO_{2pico} de los sujetos fue valorado mediante un protocolo progresivo en cicloergómetro (Monark, Varberg, Sweden) utilizando un carro metabólico (model 2900, Sensormedics, Yorba Linda, California). Durante el test de ejercicio máximo, los sujetos exhibieron una meseta en el VO_2 y un valor de $r > 1.0$ en la carga pico de trabajo (mujeres: 196 ± 13.87 W; hombres: 269 ± 24.51 W; $p =$ ns). No se observaron diferencias entre los grupos respecto de la frecuencia cardíaca pico alcanzada durante el test de ejercicio progresivo (mujeres: $178, 3 \pm 3.9$ latidos· min^{-1} ; hombres 183.6 ± 3.9 latidos· min^{-1} ; $p =$ ns).

= ns). Los datos del VO_2 pico fueron utilizados para determinar la carga de trabajo (50% del VO_2 pico) con la que cada sujeto se ejercitaría a los ~ 4 posteriores. La utilización de la misma intensidad relativa para ambos grupos representó un desafío metabólico similar en los hombres y las mujeres. Si bien la intensidad relativa de ejercicio fue la misma entre los grupos, la carga absoluta de trabajo fue diferente. Luego del test para la valoración del VO_2 pico, cada sujeto fue instruido para que consumiera una dieta estandarizada en la semana previa a la medición del EPOC. Un nutricionista calificado proveyó las instrucciones para la dieta, que fue diseñada para que fuera isocalórica y nutricionalmente equilibrada; proveyendo 30% de grasas, 10-12% de proteínas, y 58-60% de carbohidratos. Las calorías totales consumidas fueron 1890 ± 113 kcal (1 kcal = 4186.8 J) para las mujeres vs. 2442 ± 87 kcal para los hombres ($p < 0.003$). También se les indicó a los sujetos que evitaran realizar actividad física vigorosa por al menos 48 hs antes de la medición del EPOC. Por último, se les indicó a los sujetos que evitaran fumar o ingerir cafeína antes de la evaluación, aunque ninguno de los sujetos era fumador. El cumplimiento con los procedimientos de nutrición y de actividad física fue valorado revisando los registros dietarios de cada sujeto y realizando entrevistas verbales antes de las mediciones metabólicas.

Medición del EPOC

Los sujetos arribaron al laboratorio en horas de la mañana del día de medición del EPOC y descansaron en posición supina durante 3 hs completamente despiertos y relajados. Cada sujeto arribó al laboratorio en estado post-absortivo habiendo consumido su última comida la noche previa. No se permitió el consumo de bebidas con cafeína durante la mañana. Luego de establecer las condiciones de reposo (3 hs de descanso en posición supina), los sujetos se ejercitaron durante 1 h al 50% de su capacidad aeróbica pico predeterminada para asegurarnos que estuviéramos comparando la respuesta de recuperación a un desafío similar. Si bien, la intensidad relativa de ejercicio fue la misma, este procedimiento no asegura que la carga de trabajo total durante la hora de ejercicio haya sido similar en todos los sujetos. El ejercicio fue llevado a cabo en cicloergómetro, y se revisó periódicamente la resistencia del volante de inercia para asegurar la precisión. La recuperación fue monitoreada durante 1 hs post-ejercicio (durante la fase rápida de la recuperación) con los sujetos en posición de decúbito supino; por lo tanto, se midió la magnitud y no la duración de la fase rápida del EPOC.

Se recolectaron muestras del aire espirado a los 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min utilizando una máscara Hans Rudolph (Hans Rudolph Inc., Kansas City, Mo.) en interface con el carro metabólico. Para asegurar un valor basal estable de los datos de reposo, se utilizó la media de 6 mediciones continuas del consumo de oxígeno (Lamont et al., 1997). Además del VO_2 , las muestras de aire de reposo fueron analizadas para determinar la producción de dióxido de carbono VCO_2 , y $\text{VC}^{[18}\text{O}_2]$, que es el enriquecimiento del ^{13}C del CO_2 espirado en estado estable.

La composición corporal fue valorada durante la fase de reposo del estudio utilizando agua isotópicamente marcada H_2^{18}O y el método de trazador en dilución, que ha sido previamente descrito (Schoeller et al., 1980). Se observó una meseta para el $\text{C}^{[18}\text{O}_2]$ espirado durante el período de reposo de 3 hs. Esta técnica de valoración de la composición corporal asume que el agua corporal total es una fracción fija (73.2%) de la FFM (Schoeller et al., 1980). Las muestras de aire fueron recolectadas durante 1 h antes del ejercicio y durante 1 h luego del mismo. Para calcular el EPOC; se sustrajo el valor del VO_2 de reposo al valor medio del VO_2 de la recuperación (Quinn et al., 1994) y se determinó el promedio. Además, se calculó el costo neto total de oxígeno (NTOC) del ejercicio (NTOC = ejercicio + VO_2 de la recuperación + VO_2 de reposo). Este protocolo de investigación fue aprobado por el Comité de Experimentación con Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad Case-Western Reserve (Cleveland, Ohio) y todos los sujetos dieron su consentimiento informado antes de las evaluaciones.

Análisis Estadísticos

Todos los análisis estadísticos fueron llevados a cabo utilizando el programa Sigma Stat Statistical y los datos se reportan como medias \pm EEM. Se calculó que la potencia estadística de estos datos a $\alpha = 0.010$ fue de 0.998. También se determinó la confiabilidad test-retest de la calorimetría indirecta ($r = 0.92$; n muestral = 4). Se utilizó la prueba t de Student para determinar las diferencias entre los grupos. Además, se utilizó la correlación producto-momento de Pearson para definir la relación entre las variables. En todos los casos, un valor de $p < 0.05$ fue considerado estadísticamente significativo.

RESULTADOS

Las mediciones obtenidas durante el período de reposo de 3 hs pre ejercicio se muestran en la Tabla 2. El VO_2 medio durante este período reflejó las bien establecidas diferencias sexuales de la tasa metabólica de reposo. Durante este período de tiempo, no se observaron diferencias sexuales respecto del índice de intercambio respiratorio (RER) o de la frecuencia cardíaca.

Grupo	VO ₂ (L·min ⁻¹)	RER	Frecuencia cardíaca (latidos·min ⁻¹)
Mujeres	0.21 ± 0.008	0.75 ± 0.03	65 ± 5.6
Hombres	0.27 ± 0.011	0.83 ± 0.02	61 ± 3.6
p	0.001	ns	ns

Tabla 2. Mediciones basales establecidas durante el período de reposo de 3 hs previo al ejercicio (media ± EEM). VO₂, consumo de oxígeno; ns, no significativo.

El VO₂ post-ejercicio fue medido durante 1 h. El valor medio de 1 h fue registrado como el VO₂ absoluto (APOC), y el VO₂ de reposo fue sustraído del APOC para obtener el EPOC. El APOC fue significativamente mayor ($p < 0.001$) en los hombres ($306.7 \pm 12.6 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) en comparación con las mujeres ($216.2 \pm 10.8 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$). La Tabla 3 indica que el EPOC promedio (VO₂ post-ejercicio - VO₂ de reposo) fue sostenidamente mayor en los hombres que en las mujeres. Estos datos del EPOC indican que las mujeres tuvieron un gasto energético adicional de $4.43 \pm 1.5 \text{ kcal}$ durante la hora de recuperación post ejercicio mientras que en los hombres este valor fue de $8.79 \pm 1.8 \text{ kcal}$.

Grupo	EPOC (mL·min ⁻¹)	EPOC - FFM (mL·kg FFM ⁻¹ ·min ⁻¹)	NTOC (L·min ⁻¹)
Mujeres	14.8 ± 5.3	0.31 ± 0.26	65 ± 5.6
Hombres	45.3 ± 11.9	0.62 ± 0.15	61 ± 3.6
p	0.001	ns	ns

Tabla 3. Mediciones de la recuperación establecidas durante el período de 1 h post-ejercicio (media ± EEM). NTOC = VO₂ de ejercicio + VO₂ post-ejercicio - VO₂ de la recuperación. EPOC, exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio; FFM, masa libre de grasa, NTOC, costo de oxígeno neto total; ns, no significativo, VO₂, consumo de oxígeno.

Si bien la fase rápida del EPOC mostró diferencias sexuales significativas, cuando se realizaron correcciones por la FFM, los valores fueron similares (Tabla 3). Por lo tanto la FFM tuvo una relación significativa con la magnitud de la respuesta del EPOC y el coeficiente de correlación ($r = 0.70$) entre estas dos variables fue significativo ($p < 0.0075$). El análisis de covarianza (ANCOVA) indicó que era necesario una $r > 0.60$ para considerarse una covarianza significativa (Neter et al., 1983). Por lo tanto, el presente estudio muestra que la masa libre de grasa significativamente impacta la magnitud de la fase rápida del EPOC. Además, la FFM da cuenta de aproximadamente la mitad de la varianza en esta medición. Por último, cuando el EPOC fue expresado como un porcentaje del NTOC (Tabla 3) para este ejercicio, no se observaron diferencias significativas entre los sexos ($0.02 \pm 0.007\%$ para las mujeres vs $0.05 \pm 0.013\%$ para los hombres, $p = ns$).

Se hallaron diferencias sexuales respecto de la excreción urinaria de nitrógeno en un período de 24 hs indicando diferencias en el catabolismo proteico ($5.80 \pm 0.50 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ para las mujeres vs $12.50 \pm 1.98 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ para los hombres; $p < 0.007$). Sin embargo, no se halló relación alguna entre el EPOC y la excreción urinaria de nitrógeno ($r = 0.15$; $p = ns$).

DISCUSIÓN

Una revisión previa de la literatura relacionada con el VO₂ post-ejercicio resalta el hecho de que los efectos del género sobre el EPOC son aún desconocidos (Børsheim and Bahr 2003). Existen algunas razones para esta falta de comprensión: la cantidad de comparaciones entre géneros es limitada; de estas comparaciones que han sido realizadas en algunos casos no se tuvo en cuenta la fase del ciclo menstrual y; en algunos estudios, no se emparejaron a los sujetos de acuerdo con su estatus de entrenamiento. Nuestro estudio contribuye a la literatura debido a que se determinó la fase del ciclo menstrual y se controló el estatus de entrenamiento para emparejar a los sujetos antes de las evaluaciones. La determinación de la fase del ciclo menstrual es importante debido a que la tasa metabólica de reposo (RMR) se encuentra en su punto más bajo en la primera semana previa la ovulación (Solomon et al., 1982) y la fase del ciclo menstrual puede influenciar el catabolismo proteico, el cual es un proceso energéticamente demandante (Lamont et al., 1987).

Hemos reportado diferencias sexuales en el VO_2 de reposo y, por lo tanto, en el RMR, lo cual es un hallazgo consistente con la literatura. Está bien documentado que las mujeres tienen un menor RMR que los hombres (Durnin, 1981), pero estudios recientes indican que la actividad del adrenoreceptor β_1 puede modular la RMR (Lamont et al., 1997). Se ha observado que existen diferencias sexuales respecto de la respuesta de las catecolaminas tanto en reposo como durante el ejercicio (Braun and Horton, 2001; Lamont et al., 2003). Por lo tanto, los futuros estudios deberían explorar el hecho de la interacción entre la respuesta de las catecolaminas y el género durante la recuperación metabólica del ejercicio.

En el presente estudio no se han hallado diferencias en la capacidad aeróbica entre los géneros, ya sea si esta fue expresada por kilogramo de masa corporal o por kilogramo de FFM. Por lo tanto, ambos grupos fueron comparados a una carga de trabajo relativa (pero no absoluta) similar. La intensidad del ejercicio es un factor clave en relación con la magnitud del EPOC, y se ha hallado que da cuenta de casi la mitad de la varianza (45.5%) de esta medición (Gore and Withers, 1990).

El presente estudio fue diseñado para determinar si existían diferencias sexuales en la fase rápida del EPOC. Hemos determinado que si existen diferencias significativas en este aspecto, pero parece que este efecto está relacionado con el tamaño de la FFM. Otros estudios han reportado que los hombres tienen una duración del EPOC sostenidamente mayor que las mujeres cuando se ejercitaron durante 30 min a diferentes intensidades (40%, 50% y 70% del $VO_{2,pico}$) (Smith and McNaughton, 1993). En todas estas intensidades de ejercicio, la magnitud de la diferencia del EPOC desapareció al ajustar sus valores por la masa corporal. Si bien en el presente estudio la duración del ejercicio fue mayor, la intensidad se encontró en el rango de intensidades utilizado por Smith y McNaughton (1993). Por lo tanto, nuestros datos concuerdan con los de estos investigadores e indican que las diferencias en la composición corporal también son componentes críticos en la magnitud de la fase rápida del EPOC.

En resumen, el presente estudio muestra que los hombres, en comparación con las mujeres, tienen una mayor APOC y un mayor EPOC durante la fase rápida de la recuperación posterior a una hora de ejercicio al 50% de la capacidad pico. La magnitud de esta diferencia estuvo relacionada con el tamaño de la FFM y se ha observado que da cuenta de la mitad de la varianza. Si bien se hallaron diferencias sexuales en el catabolismo proteico, no se hallaron relaciones entre este proceso metabólico y la fase rápida del EPOC.

REFERENCIAS

1. Berg KE (1991). Comparison of energy expenditure in men and women at rest and during exercise recovery. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 31(3):351-356
2. Børsheim E, Bahr R (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med.* 33(14):1037-1060
3. Braun B, Horton T (2001). Endocrine regulation of exercise substrate utilization in women compared to men. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 29(4):149-154
4. Durnin, J.U.G.A (1981). Basal metabolic rate in man. Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation on Energy and Protein Requirements. *Rome, Italy*
5. Fukuba Y, Yano Y, Murakami H, Kan A, Miura A (2000). The effect of dietary restriction and menstrual cycle on excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) in young women. *Clin. Physiol.* 20(2):165-169
6. Gore CJ, Withers RT (1990). Effect of exercise intensity and duration on postexercise metabolism. *J. Appl. Physiol.* 68(6):2362-2368
7. Institute of Medicine (2005). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. *National Academy Press, Washington, D.C*
8. Lamont LS (2005). Gender differences in amino acid use during endurance exercise. *Nutr. Rev.* 63(12 Pt. 1):419-422
9. Lamont LS, Lemon PW, Bruot BC. 1987 (1987). Menstrual cycle and exercise effects on protein catabolism. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19(2):106-110
10. Lamont LS, Romito RA, Finkelhor RS, Kalhan SC (1997). β_1 -Adrenoreceptors regulate resting metabolic rate. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29(6):769-774
11. Lamont LS, McCullough AJ, Kalhan SC (2001). Gender differences in leucine, but not lysine, kinetics. *J. Appl. Physiol.* 91(1):357-362
12. Lamont LS, McCullough AJ, Kalhan SC (2003). Gender differences in the regulation of amino acid metabolism. *J. Appl. Physiol.* 95(3): 1259-1265
13. Matsuo T, Saitoh S, Suzuki M (1999). Effects of the menstrual cycle on excess postexercise oxygen consumption in healthy young women. *Metabolism* 48(3):275-277
14. Neter, J., Wasserman, K., and Kutner, M.H (1983). Applied linear regression models. *Irwin, Homewood, Ill.* p. 68
15. Quinn TJ, Vroman NB, Kertzer R (1994). Postexercise oxygen consumption in trained females: effect of exercise duration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26(7): 908-913
16. Schoeller DA, van Santen E, Peterson DW, Dietz W, Jaspan J, Klein PD (1980). Total body water measurement in humans with 18O

and 2H labeled water. *Am. J. Clin. Nutr.* 33(12): 2686-2693

17. Smith J, McNaughton L (1993). The effects of intensity of exercise on excess postexercise oxygen consumption and energy expenditure in moderately trained men and women. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 67(5): 420-425
18. Solomon SJ, Kurzer MS, Calloway DH (1982). Menstrual cycle and basal metabolic rate in women. *Am. J. Clin. Nutr.* 36(4): 611-616

Cita Original

Linda S. Lamont, Rochelle Romito, Karin Rossi. Fat-Free Mass and Gender Influences the Rapid-Phase Excess Postexercise Oxygen Consumption. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 35(1):23-26 (2010)