

Consumo de oxígeno posejercicio después de un ejercicio continuo y otro interválico en tapiz rodante

Post-Exercise Oxygen Consumption after Continuous and Interval Exercise on a Treadmill

ALEJANDRO CAMPS OLMEDO

Departamento de Deporte e informática. Facultad del Deporte
Universidad Pablo de Olavide

Correspondencia con autor

Alejandro Camps Olmedo
acamps@upo.es

Resumen

El propósito de este estudio fue comparar el gasto calórico total (gasto en actividad + EPOC –excesivo consumo de oxígeno posejercicio–) ($n = 10$) realizando 1) un ejercicio de carrera continua de 30 minutos al 65 % VO_{2max} y 2) un ejercicio de carrera a intervalos de 30 minutos, a razón de 15 tandas de un minuto de trabajo al 90 % del VO_{2max} , seguido de un minuto de descanso pasivo, realizado en bipedestación. Diez estudiantes de Ciencias del deporte (edad: $23 \pm 2,8$ años; peso: $70 \pm 8,8$ kg; altura: $175,7 \pm 5,2$ cm) participaron en el estudio. Las pruebas del estudio se realizaron en tapiz rodante. Todos los sujetos realizaron ambas pruebas en días no consecutivos. La FC se registró continuamente durante el ejercicio. Los gases espirados fueron analizados con un analizador de gases estándar. Los resultados mostraron un trabajo total similar, no encontrándose diferencias significativas (CON: $358,60 \pm 70,82$ kJ, INT: $352,99 \pm 63,56$ kJ), el consumo calórico total fue mayor ($P = 0,037$) en interválico ($398,5 \pm 98,5$ kcal) que en continuo ($343,2 \pm 75,3$ kcal), El consumo calórico en la recuperación fue mayor ($P = 0,031$) en interválico ($85 \pm 66,8$ kcal) que en continuo ($43,5 \pm 26,8$ kcal). En conclusión, en este estudio se demuestra que el gasto calórico total es mayor en un ejercicio interválico de alta intensidad que en un ejercicio continuo de baja intensidad para tiempos y cargas de trabajo iguales. Además el gasto calórico en el ejercicio interválico es mayor tanto durante el ejercicio como durante la recuperación.

Palabras clave: ejercicio, consumo calórico, EPOC (excesivo consumo de oxígeno posejercicio)

Abstract

Post-Exercise Oxygen Consumption after Continuous and Interval Exercise on a Treadmill

The purpose of this study was to compare total calorie expenditure [activity expenditure + EPOC (excessive post-exercise oxygen consumption)] ($n = 10$) when doing 1) a 30-minute tempo run at 65% VO_{2max} and 2) 30 minutes of interval training with 15 one-minute activities working at 90% of VO_{2max} followed by a minute of passive rest in the standing position. Ten sports science students (age: 23 ± 2.8 years, weight: 70 ± 8.8 kg, height: 175.7 ± 5.2 cm) took part in the study and the study tests were conducted on a treadmill. All the subjects performed both tests on non-consecutive days. Their HR was recorded continuously during exercise. Expired gases were analyzed with a standard gas analyzer. The results showed similar total work with no significant differences (CON: 358.60 ± 70.82 kJ, INT: 352.99 ± 63.56 kJ), total calorie expenditure was higher ($P = 0.037$) in interval (398.5 ± 98.5 kcal) than in continuous (343.2 ± 75.3 kcal) and calorie expenditure in recovery was higher ($P = 0.031$) in interval (85 ± 66.8 kcal) than in continuous (43.5 ± 26.8 kcal). In conclusion, this study shows that the total caloric expenditure is greater in high intensity interval exercise than in low-intensity continuous exercise for equal times and workloads. Furthermore, caloric expenditure in interval exercise is greater both during exercise and during recovery.

Keywords: exercise, caloric expenditure, PEOC (post-exercise oxygen consumption)

Introducción

Gaesser y Brooks (1984) denominaron “excesivo consumo de oxígeno posejercicio (*excessive post-exercise oxygen consumption*, abreviado EPOC) al aumento del consumo de oxígeno por encima de sus niveles basales que acontece después del ejercicio (Bahr, Ingnes, Vaage, Sejersted, & Newsholme, 1987; Gaesser & Brooks, 1984). El EPOC es un factor a tener en cuenta a la hora de cuantificar el gasto calórico total de cualquier actividad física, ya

que se debe considerar como parte del gasto calórico que la propia actividad provoca y que puede llegar a mantener elevada la tasa metabólica durante horas después de cesar la actividad (Binzen, Swan, & Manore, 2001; González-Alonso, Quistorff, Krstrup, & Saltin, 2000; Schuenke, Mikat, & McBride, 2002). Por ello es importante cuantificar el EPOC en aquellos programas de actividad física encaminados al control y pérdida de peso. Sedlock, Fissinger y Melby (1989) aportaron que el valor energético del

EPOC era equivalente a aproximadamente el 10 % del gasto energético por actividad después de un gasto aproximado de 300 kcal al 75 % VO_{2max} . Bahr, Inges, Vaage, Sejersted y Newsholme (1987) muestran un EPOC de aproximadamente el 15 % del gasto calórico de la actividad después de un ejercicio de 80 min al 70 % VO_{2max} .

Si bien el gasto calórico derivado del EPOC es menor que el de la actividad física en sí (Almuzaini, Potteiger, & Green, 1998; Borsheim & Bahr, 2003; Gore & Withers, 1990; Maresh et al., 1992; Schuenke et al., 2002), no es menos cierto que la magnitud y duración del fenómeno del EPOC son mayores cuanto más intensa es la actividad en cuestión (Friedlander, Casazza, & Horning, 1998; Gore & Withers, 1990; Romijn, Coyle, Sidossis, Rosenblatt, & Wolfe, 2000; Thornton & Potteiger, 2002). Brockman, Berg y Latin (1993) concluyeron que el ejercicio de alta intensidad, tanto intermitente como continuo, producía un mayor consumo de oxígeno durante la recuperación comparado con un ejercicio de baja intensidad, esta observación es compartida por Gore y Withers (1990) que mostraron que la intensidad de ejercicio fue el mayor determinante del EPOC y encontraron una relación lineal positiva entre la intensidad del ejercicio y la duración del EPOC (con una duración de 9 h) en el caso de trabajos de intensidad *supramáxima*. Otros autores sugieren que los trabajos a intensidades *supramáximas* (105 % del VO_{2max}) producen un EPOC de mayor duración que los trabajos a intensidades moderadas (70-75 % VO_{2max}) (Horton, Pagliassotti, Hobb, & Hill, 1998; Melanson et al., 2002; Phillips, Green, & Tarnopolsky, 1996). En cuanto a las posibles diferencias entre sujetos entrenados y no entrenados, Sedlock (1994) no halló variaciones en la magnitud y duración del EPOC en función del grado de entrenamiento. Sin embargo otros autores aseguran que si existen diferencias, siendo los entrenados más rápidos en alcanzar los valores de reposo (Haltom et al., 1999; Pritzlaff et al., 2000; A. L. Uusitalo, Huttunen, Hanin, & Uusitalo, 1998). En recientes estudios McGarvey, Jones y Petersen (2005) demuestran que para tiempos y cargas de trabajo similares, la magnitud del EPOC no cambia.

Esta elevación se debe principalmente a los siguientes factores; resíntesis de fosfocreatina (PC) en el músculo, aclaramiento de lactato, reestablecimiento de los almacenes de oxígeno sanguíneo y muscular, aumento de la temperatura, elevación de la frecuencia cardiaca y respiratoria y aumento de actividad hormonal (Gerardo, Córdova, & González, 2000; Gore & Withers, 1990). Además debemos tener en cuenta que la actividad física intensa produce adaptaciones a nivel central y periférico

que no se pueden conseguir con intensidades submáximas y que tiene notables beneficios para la salud, como pueden ser el aumento del consumo de oxígeno, el flujo sanguíneo muscular o el volumen sistólico (Covertino, 1993; Guesbeck et al., 2001; Weltman et al., 1989).

Varios estudios han investigado el EPOC producido por ejercicio de intensidad moderada (Bahr et al., 1987; Binzen et al., 2001; Gerardo et al., 2000; Gore & Withers, 1990; Horowitz & Klein, 2001; Kaminsky, Padjen, & LaHam-Saeger, 1990) pero relativamente pocos (Friedlander et al., 1998; Haltom et al., 1999; McGarvey, Jones, & Petersen, 2005) se han centrado en la comparación del EPOC producido por ejercicio de alta y moderada intensidad. Para realizar una comparación directa del consumo de oxígeno durante la recuperación después de un ejercicio continuo y otro interválico, es importante asegurarse que las variables del ejercicio como duración y trabajo total son lo más parecidos posible, así como evitar comer después del ejercicio.

En estudios anteriores se han utilizado distintas duraciones y trabajos (Friedlander et al., 1998) o diferentes métodos de determinación del EPOC (Haltom et al., 1999; McGarvey et al., 2005) lo que hace difícil la comparación de sus resultados.

Parece que fragmentando un ejercicio de larga duración en dos o más partes iguales y que sumen exactamente el mismo gasto calórico total durante la actividad, la suma de cada EPOC es mayor que el que se obtiene después de una sola sesión (Binzen et al., 2001; Hardman, 2001; Horowitz & Klein, 2000; Kaminsky et al., 1990; Yoshida et al., 1990) Así, en aquellos programas dirigidos al control y pérdida de peso se podrían realizar sesiones fraccionadas con el objeto de aumentar el gasto calórico total (al aumentar el EPOC). Otra ventaja del fraccionamiento sería la de reducir el riesgo de lesión articular por sobrecarga que conllevan lesiones seguidas de mayor duración en personas con sobrepeso.

Se planteó la hipótesis de que “El ejercicio interválico de alta intensidad (90 % VO_{2max}) provoca un gasto calórico total (ejercicio + recuperación) mayor que el ejercicio continuo de moderada intensidad (65 % VO_{2max}) para un trabajo total similar”.

El objetivo de este estudio fue determinar si el consumo de oxígeno fue distinto durante la recuperación (hasta que los sujetos alcanzaron los niveles basales $\pm 3,5$ ml/kg/min) después de realizar un trabajo interválico y otro continuo para tiempos de trabajo y trabajo total similares y sin ningún tipo de alimentación posejercicio.

Material y métodos

Sujetos

Diez estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte que no realizaban ningún tipo de entrenamiento específico (edad: $23 \pm 2,8$ años; peso: $70 \pm 8,8$ kg; altura: $175,7 \pm 5,2$ cm; VO_{2max} $48,3 \pm 9,1$ ml/kg/min) participaron en el estudio. Los 10 sujetos fueron escogidos de forma aleatoria de un total de 24 voluntarios y firmaron por escrito su consentimiento a participar en este estudio de cuyas características habían sido adecuadamente informados.

Protocolo de estudio

Todas las medidas de intercambio de gases se realizaron usando con un analizador de gases estándar (Medgraphics CPX Breeze 6.1. St Paul. MN, USA).

Cada sujeto acudió al laboratorio en 3 días separados y a su vez separados entre ellos al menos 72 h. El primer día consistió en un test incremental para la determinación del umbral ventilatorio (V_t) y el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}). V_t se determinó por inspección visual de los datos como la velocidad que causó un aumento sistemático en el equivalente ventilatorio de oxígeno (V_E/VO_2) mientras el equivalente ventilatorio del CO_2 no aumentaba. Los sujetos fueron familiarizados con el tapiz rodante (Powerjog J serie Bridgend, Mid Glamorgan, UK) y con el uso de la mascarilla y la pinza nasal. La Frecuencia cardiaca (FR) de cada sujeto se registró continuamente durante el ejercicio con un telémetro o pulsómetro (Polar RS800, Polar Electro Inc., Woodbury, NY). Se realizó un calentamiento consistente en caminar durante 2 min a $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y 2 min a $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ con una inclinación del 1 %, seguidos de una recuperación pasiva de 3 min. Los sujetos realizaron después el test incremental comenzando a una velocidad de $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ con una inclinación constante del 1 % y se aumentó $0,25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}/15''$ hasta el agotamiento. El agotamiento se estableció en el punto en el que el sujeto no podía mantener la velocidad requerida. Se usaron los criterios estándar FC_{max} teórica alcanzada, $RER > 1,1$ y meseta del VO_2 para confirmar el VO_{2max} (LaForgia, Withers, Shipp, & Gore, 1997). Se utilizaron los valores de gasto cardiaco (Q) y VO_2 para generar ecuaciones de regresión para determinar la potencia/velocidad correspondiente a cada porcentaje de VO_{2max} .

El segundo y tercer día se realizó el protocolo continuo o interválico que fueron aleatoriamente ordenados,

los sujetos fueron instruidos para evitar ejercicio intenso las 36 horas previas al test así como para registrar la dieta realizada las 24 horas previas al primer test y repetirla las 24 horas previas al segundo. Las condiciones de humedad y temperatura se mantuvieron en condiciones normales 60 % y 23°C respectivamente.

Las pruebas del estudio para medición de la EPOC tras carrera continua (30 min a la velocidad correspondiente al 65 % VO_{2max}) o a intervalos (ejercicio de carrera a intervalos de 30 minutos de duración total, a razón de 15 tandas consecutivas de un minuto de trabajo a la velocidad correspondiente al 90 % del VO_{2max} , seguido de un minuto de descanso pasivo, realizado en bipedestación) se realizaron en el citado tapiz rodante. La FC de cada sujeto se registró continuamente (intervalos de 5 s) durante el ejercicio con un telémetro o pulsómetro (Polar RS800, Polar Electro Inc., Woodbury, NY). Los gases espirados fueron analizados de un modo continuo (*breath-by-breath* o 'respiración a respiración') durante el ejercicio y la recuperación (para medición de EPOC) con un analizador de gases estándar (Medgraphics CPX Breeze 6.1. St Paul, MN, USA) (fig. 1).

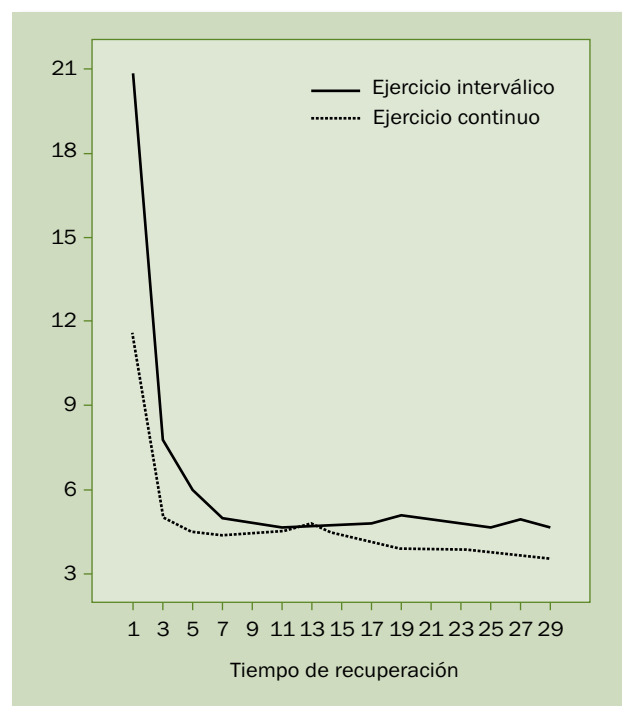


Figura 1

Consumo de oxígeno durante la recuperación de los 10 segundos después del protocolo continuo e interválico en valores medios y expresados en términos relativos (ml/kg/min)

Inmediatamente finalizado el ejercicio los sujetos se sentaron en una silla hasta que sus valores de VO_2 alcanzaron los valores de reposo ($3,5 \text{ mL/kg/min}$) durante al menos 30 s. El EPOC se midió como el consumo de oxígeno (VO_2) desde el comienzo de la recuperación hasta que se alcanzaron los citados valores de reposo. El volumen de O_2 total (L) consumido durante el ejercicio y el periodo de EPOC se obtuvieron multiplicando el VO_2 acumulado en ambos periodos por el tiempo total (30 minutos de ejercicio + tiempo del EPOC). El gasto calórico se halló multiplicando el volumen de O_2 total consumido (L) por 5 (al otorgar un equivalente calórico de 5 kcal a cada L de O_2 consumido).

Análisis estadístico

Se comparó el trabajo total realizado con una prueba paramétrica de medidas repetidas (test de Student) entre el ejercicio interválico y el ejercicio continuo así como el gasto calórico (kcal): 1) durante el ejercicio en sí, 2) en el EPOC, y 3) en la suma de 1) y 2) (gasto calórico total).

El consumo de oxígeno total posejercicio, así como el cociente respiratorio (RER) y la FC fueron analizados usando un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías para medidas repetidas. Cuando el ANOVA ofrecía diferencias significativas se utilizaron correcciones post hoc para comparaciones múltiples (Newman-Kleus test). El nivel de significación se estableció para $\alpha = 0,05$. Para el análisis de datos estadísticos se utilizó el software SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Resultados

Los valores basales anteriores a los dos tipos de ejercicio, interválico y continuo fueron similares para VO_2 (CON: $269 \pm 48 \text{ ml/min}^{-1}$, INT: $275 \pm 51 \text{ ml/min}^{-1}$), RER (CON: $0,85 \pm 0,08$, INT: $0,86 \pm 0,07$), y FC (CON: $58 \pm 10 \text{ ppm}$, INT: $59 \pm 9 \text{ ppm}$) demostrando que los sujetos comenzaron los ejercicios en situaciones fisiológicas comparables. Estos datos son similares a los encontrados por Chad y Quigley (1991) y McGarvey et al. (2005). Los datos en ejercicio se muestran en la *tabla 1*. El trabajo total fue similar en ambos tratamientos (CON: $358,60 \pm 70,82 \text{ kJ}$, INT: $352,99 \pm 63,56 \text{ kJ}$) no encontrándose entre ellos diferencias significativas.

El consumo calórico total fue significativamente mayor ($P = 0,038$) en el ejercicio interválico ($398,5 \pm 98,5 \text{ kcal}$) que en el ejercicio continuo ($343,2 \pm 75,3 \text{ kcal}$) (*tabla 1*). Corroborando nuestra hipótesis y demostrando que el ejercicio interválico debe ser tenido en cuenta a la hora de programar ejercicio para la pérdida de peso y contradiciendo los resultados de McGarvey et al. (2005). El consumo calórico en ejercicio fue significativamente mayor ($P = 0,016$) en el ejercicio interválico ($315,7 \pm 53,1 \text{ kcal}$) que en el ejercicio continuo ($289,7 \pm 60 \text{ kcal}$) (*tabla 1*) para distancias y trabajo total similares (*tabla 1*) demostrando la mayor eficacia del ejercicio interválico. El consumo calórico en la recuperación fue mayor ($P = 0,031$) en el ejercicio interválico ($85 \pm 66,8 \text{ kcal}$) que en el ejercicio continuo ($43,5 \pm 26,8 \text{ kcal}$) (*tabla 1*), este factor explica la importancia de realizar un ejercicio interválico para los tipos de programas específicos de pérdida de peso, ya que el exceso de gasto energético se produce durante la recuperación sin ocasionar trastornos al sujeto. La frecuencia cardiaca media total

Tipo ejercicio	VE media total (L/min)	VE media en ejercicio (L/min)	VE media en recuperación (L/min)	Distancia recorrida (m)	Gasto calórico total (kcal)	Gasto calórico ejercicio (kcal)	Gasto calórico recuperación (kcal)	FC total (lpm)	FC ejercicio (lpm)	FC recuperación (lpm)	Tiempo de recuperación (s)	Trabajo (kJ)
Interválico	52,7 ± 8,6*	64,6 ± 11,3*	19,5 ± 3,6	3700 ± 289	398,5 ± 98,5*	315,7 ± 53,1*	85 ± 66,8*	149,7 ± 7*	162,2 ± 4,1*	111,4 ± 11,5*	1032 ± 468*	352,99 ± 63,56
Continuo	42 ± 9	45,4 ± 8,6	19,2 ± 9,8	3725 ± 380	343,2 ± 75,3	289,7 ± 60	43,5 ± 26,8	133 ± 4	137,2 ± 2,6	100 ± 7,3	552 ± 324	358,60 ± 70,82

Kcal: kilocalorías; lpm: latidos por minuto; s: segundos; FC: frecuencia cardiaca; L/min: litros/minuto; VE: Ventilación;
* Diferencias significativas entre tratamientos; $P < 0,05$.

Tabla 1

Comparación (datos presentados como media ± DE) entre ejercicio interválico y continuo de: trabajo, consumo calórico, ventilación, frecuencia cardiaca (FC) media en ejercicio y en la recuperación, y suma de las dos

fue significativamente mayor ($P=0,00$) en el ejercicio interválico (149 ± 7 lpm) que en el ejercicio continuo (133 ± 4 lpm) (tabla 1), este aumento de frecuencia cardiaca así como los valores máximos alcanzados proporcionan al sujeto adaptaciones importantes para la salud (6,12,31). La frecuencia cardiaca media en ejercicio fue significativamente mayor ($P=0,05$) en el ejercicio interválico ($162,2 \pm 4,1$ lpm) que en el ejercicio continuo ($137,2 \pm 2,6$ lpm) (tabla 1). La frecuencia cardiaca media en la recuperación fue significativamente mayor ($P=0,039$) en el ejercicio interválico (111 ± 11 lpm) que en el ejercicio continuo (100 ± 7 lpm) (tabla 1). El tiempo de recuperación fue significativamente mayor ($P=0,017$) en el ejercicio interválico (1.032 ± 468 s) que en el ejercicio continuo (552 ± 324 s) (tabla 1). Y la ventilación media total fue significativamente mayor ($P=0,007$) en el ejercicio interválico ($52,7 \pm 8,6$ L/min) que en el ejercicio continuo (42 ± 9 L/min) (tabla 1). La ventilación en la recuperación similar ($P=0,928$) en el ejercicio interválico ($19,5 \pm 3,6$ L/min.) que en el ejercicio continuo ($19,2 \pm 9,8$ L/min) (tabla 1). La distancia recorrida fue similar en ambos casos alcanzándose en el ejercicio interválico (3.700 ± 289 m) y en el continuo (3.725 ± 380 m), demostrando que distancia total recorrida fue similar en ambos tratamientos, situación indispensable a la hora de comparar ambos tipo de ejercicio en igualdad de condiciones.

Discusión

En este estudio hemos comparado el gasto calórico total (ejercicio + recuperación) de un ejercicio continuo de baja intensidad ($65\% \text{VO}_{2\text{max}}$) con el de un ejercicio interválico de alta intensidad ($90\% \text{VO}_{2\text{max}}$). Los resultados mostraron cómo el ejercicio interválico producía un gasto calórico total significativamente mayor que el ejercicio continuo, lo que nos indica que los beneficios que el ejercicio aporta desde el punto de vista de la salud serían mayores con el ejercicio interválico teniendo en cuenta el principio citado por Hardman (2001), a saber: “la energía total consumida en un ejercicio es el principal determinante de su influencia sobre la salud”. Hardman muestra el mayor incremento del VO_2 producido por el ejercicio interválico en comparación con el ejercicio continuo, lo que se traduce en mayores beneficios para la salud de los sujetos. No obstante la mayor parte de la energía que nuestros sujetos consumieron correspondía al ejercicio en sí: 79 y 84 % de la energía total fue consumida durante el ejercicio interválico y continuo, respectivamente, frente al 21 y el 16 %

del gasto posejercicio interválico y continuo, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los datos recogidos por otros autores (Almuzaini et al., 1998; Gore & Withers, 1990; Maresh et al., 1992; Schuenke et al., 2002; Uusitalo et al., 1998). Por otro lado, debemos tener en cuenta que el ejercicio interválico solo producirá los mencionados beneficios cuando se realiza a intensidades altas. “Periodos cortos de ejercicio de alta intensidad producen beneficios en la salud cuando estos provocan un alto consumo de energía” (Hardman, 2001).

Nuestros resultados muestran también que el ejercicio interválico produce mayores aumentos en el tiempo de recuperación que el ejercicio continuo como ya expusieron Gore y Withers (1990), Bahr et al. (1987) y Sedlock (1994). No obstante, nuestros resultados muestran unas diferencias algo menores que estos estudios, pues encontramos recuperaciones de 30 min, en contraposición a recuperaciones más largas (por ejemplo, de hasta 9 h en un estudio en atletas ejercitándose a altísimas intensidades (20 min al $105\% \text{VO}_{2\text{max}}$) (LaForgia et al., 1997).

El mayor consumo de oxígeno en la recuperación tras el ejercicio interválico se debe a incrementos en distintas variables. Tradicionalmente se pensaba que la deuda de oxígeno dependía sobre todo de dos factores distintos: 1) la deuda láctica de oxígeno atribuible a la oxidación del lactato producido en el ejercicio (para restablecer los depósitos de glucógeno hepático a partir del lactato (Ciclo de Cori) y para aclarar el lactato restante a través del ciclo del ácido pirúvico), y 2) la deuda aláctica de oxígeno que no se relaciona con la acumulación de lactato en ejercicio, sino con el restablecimiento de los valores intramusculares de ATP y fosfo-creatina (PCr) y en menor medida con el restablecimiento de los depósitos de oxígeno en la mioglobina muscular y en la hemoglobina sanguínea (McArdle, Katch, & Katch, 2001). Hoy día vemos que el lactato pierde bastante importancia en la duración del EPOC y sabemos que la resíntesis de lactato a glucógeno representa un pequeño porcentaje del EPOC ya que este mecanismo se realiza durante el ejercicio, sobre todo en deportistas entrenados. Además el reestablecimiento de los almacenes de glucógeno se debe en su mayor parte a la dieta y no al lactato. En la actualidad la temperatura corporal alcanza el mayor protagonismo en la duración y magnitud del EPOC ya que mantiene aumentado el metabolismo (como ocurre en estados febriles). Este aumento en la temperatura se debe a la liberación de calor durante la producción de ATP (Kaminsky et al., 1990). La diferencia del aumento de temperatura en ambos tratamientos debe ser, por tanto, un factor a

tener en cuenta, basándonos en que la temperatura corporal aumenta conforme aumenta la intensidad del ejercicio (McArdle et al., 2001) alcanzando niveles de 39 °C a intensidades superiores al 75 % del VO_{2max} (que serían más bajas que la intensidad elegida para nuestro ejercicio interválico) y niveles de 38 °C a intensidades del 50 % VO_{2max} (es decir, a intensidades cercanas a las de nuestro ejercicio continuo). El 10 % de la magnitud del EPOC es atribuible al retorno a los pulmones de volúmenes de sangre de los tejidos activos durante el ejercicio, y un 2-5 % del EPOC es atribuible al restablecimiento de los niveles basales oxígeno sanguíneo y muscular. La ventilación contribuye en un 10 %. También debemos tener en cuenta la redistribución del calcio, el potasio y el sodio o el aumento de la frecuencia cardiaca, de la actividad hormonal (epinefrina, norepinefrina y tiroxina) y de los glucocorticoides. Por ejemplo, A. L. Uusitalo, Huttunen, Hanin y Uusitalo (1998) encontraron diferencias entre los niveles posejercicio de cortisol, catecolaminas y testosterona, siendo mayores en ejercicio máximo que en ejercicio submáximo y que en reposo.

La frecuencia cardiaca fue también significativamente mayor en el ejercicio interválico que en el continuo tanto en el total ($149,7 \pm 7$ lpm vs. 133 ± 4 lpm) como durante el ejercicio ($162,2 \pm 4,1$ lpm vs. $137,2 \pm 2,6$ lpm) y la recuperación ($111,4 \pm 11,5$ lpm vs. $100 \pm 7,3$ lpm). Estos datos concuerdan con los obtenidos por LaForgia, Withers, Shipp y Gore (1997). De todos modos, todavía no está completamente aclarada la contribución relativa de la frecuencia cardiaca en el gasto calórico posejercicio, dado que es una variables que muestra importantes variaciones individuales (McArdle et al., 2001).

Los valores de ventilación también resultaron significativamente mayores en el caso del ejercicio interválico ($52,7 + 8,6$ L/min vs. $42 + 9$ L/min), lo que concuerda con los datos obtenidos en cuanto a consumo energético y frecuencia cardiaca. El poder de tamponamiento de la ventilación dobla en importancia a los efectos químicos de tamponamiento *buffer* de la sangre, de ahí la importancia del aumento de la ventilación en el ejercicio interválico (95 % FC_{max}), donde se producen mayores descensos del pH en comparación con el ejercicio continuo (70 % FC_{max}). Aumentando la ventilación en reposo se consigue aumentar en 0,23 unidades la alcalinidad, pasando el pH de 7,40 a 7,63 y viceversa (McArdle et al. 2001). Este aumento de la ventilación en el ejercicio interválico (95 % FC_{max}) con el objeto en parte de disminuir el pH muscular provoca, a su vez, un aumento en el VO_2 , ya que los músculos respiratorios son responsables

del 10 % del VO_2 total (Williams, Wongsathikum, Boon, & Acevedo, 2002; Yoshida et al., 1990).

Todos estos datos nos aportan evidencias suficientes para plantearnos la importancia del ejercicio interválico para prescribir actividad física en obesos, donde el principal objetivo es conseguir el mayor gasto calórico en el menor tiempo posible sin provocar ningún perjuicio para la salud, es importante replantearse el ejercicio en este tipo de población y comenzar a diseñar un trabajo en el que se llegue progresivamente a intensidades altas donde los beneficios para la salud son hoy día incuestionables, ya que además de aumentar el gasto calórico con sus consiguientes beneficios desprendidos de la cita anterior de Hardman (2001) y conseguir una mayor pérdida de peso, podemos obtener mejoras en el consumo de oxígeno mucho mayores que si el ejercicio realizado fuera únicamente aeróbico o continuo. Se ha demostrado que un aumento en el VO_2 aumenta en varios años las expectativas de vida y, por tanto, pensamos que este tipo de ejercicio debe ser parte indispensable de cualquier programa de ejercicio sin olvidar que debe ser el ejercicio de baja intensidad o aeróbico, la base de cualquier programa de actividad física. No obstante nuestros datos entran en contraposición a los obtenidos recientemente por McGarvey et al. (2005) que demuestra que en ejercicio en cicloergómetro y comparando dos situaciones similares a las nuestras (65 % VO_{2max} y 90 % VO_{2max}) no se encuentra diferencias significativas en la cuantificación del gasto calórico total así como en la recuperación. A nuestro entender los resultados pueden deberse a un mayor aumento de la temperatura corporal durante un ejercicio en tapiz rodante donde entran en juego más cantidad de grupos musculares y la magnitud del EPOC se ve incrementado hasta que la temperatura alcance valores de reposo. Así mismo la temperatura ambiente fue mayor en nuestro estudio que en el realizado por McGarvey et al. (2005) (26 °C vs. 23,5 °C) lo que llevaría también a mayores temperaturas alcanzadas por los sujetos. No obstante se recomienda para futuras investigaciones la medición de la temperatura media y total de los dos tipos de ejercicio para poder comparar los resultados.

En conclusión, en este estudio se demuestra que el gasto calórico total es mayor en un ejercicio interválico de alta intensidad que en un ejercicio continuo de baja intensidad para tiempos y cargas de trabajo iguales. Además el gasto calórico en el ejercicio interválico es mayor tanto durante el ejercicio como durante la recuperación, siendo mucho más importante el gasto que se produce durante el ejercicio que el que se produce durante la recuperación.

Referencias

- Almuzaini, K. S., Potteiger, J. A., & Green, S. B. (1998). Effects of split exercise sessions on excess postexercise oxygen consumption and resting metabolic rate. *Canadian Society for Exercise Physiology, 23*(5), 433-43. doi:10.1139/h98-026
- Bahr, R., Inghes, I., Vaage, O., Sejersted, O. M., & Newsholme, E. A. (1987). Effect of duration of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *European Journal of Applied Physiology, 62*(2), 485-90.
- Binzen, C. A., Swan, P. D., & Manore, M. M. (2001). Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Medicine and science in sports and exercise, 33*(6), 932-8. doi:10.1097/00005768-200106000-00012
- Borsheim, E. & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 33*(14), 1037-60. doi:10.2165/00007256-200333140-00002
- Brockman, L., Berg, K., & Latin, R. (1993). Oxygen uptake during recovery from intense intermittent running and prolonged walking. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 33*(4), 330-336.
- Chad, K. E. & Quigley, B. M. (1991). Exercise intensity: Effect on postexercise O₂ uptake in trained and untrained women. *European Journal of Applied Physiology, 70*(4), 1713-1719.
- Covertino, V. A. (1991). Blood volume: its adaptation to endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 23*(12), 1338-1348.
- Friedlander, A. L., Casazza, G. A., & Horning, M. A. (1998). Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism, 275*(5), E853-E863.
- Gaesser, G. A. & Brooks, G. A. (1984). Metabolics basis of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 16*(1), 29-43.
- Gerardo, J., Córdova, A., & González, J. (2000). Nutrición del deportista. Madrid: Gymnos.
- González-Alonso, J., Quistorff, B., Krstrup, P., & Saltin, B. (2000). Heat production in human skeletal muscle at the onset of intense dynamic exercise. *The Journal of Physiology, 524*(Pt. 2), 603-15. doi:10.1111/j.1469-7793.2000.00603.x
- Gore, C. J. & Withers, R. T. (1990). Effect of exercise intensity and duration on postexercise metabolism. *Journal of Applied Physiology, 68*(6), 2362-8.
- Guesbeck, N. R., Hickey, M. S., MacDonald, K. G., Pories, W. J., Harper, I., Ravussin, E., ... Houmar, J. A. (2001). Substrate utilization during exercise in formerly morbidly obese women. *Journal of Applied Physiology, 90*(3), 1007-12.
- Haltom, R. W., Kraemer, R. R., Sloan, R. A., Hebert, E. P., Frank, K., & Tryniecki, J. L. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 31*(11), 1613-8. doi:10.1097/00005768-199911000-00018
- Hardman, A. E. (2001). Issues of fractionization of exercise (short vs long bouts). *Medicine and Science in Sports and Exercise, 33*(6 Supl.), S421-S427.
- Horowitz, J. F. & Klein, S. (2000). Oxidation of nonplasma fatty acids during exercise is increased in women with abdominal obesity. *Journal of Applied Physiology, 89*(6), 2276-2282.
- Horton, T. J., Pagliassotti, M. J., Hobbs, K., & Hill, J. O. (1998). Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *Journal of Applied Physiology, 85*(5), 1823-1832.
- Kaminsky, L. A., Padjen, S., & LaHam-Saeger, J. (1990). Effect of split sessions on excess post-exercise oxygen consumption. *British Journal of Sports Medicine, 24*(2), 95-8. doi:10.1136/bjism.24.2.95
- LaForgia, J., Withers, R. T., Shipp, N. J., & Gore, C. J. (1997). Comparison of energy expenditure elevations after submaximal and supramaximal running. *Journal of Applied Physiology, 82*(2), 661-666.
- Maresh, C. M., Abraham, A., De Souza, M. J., Deschenes, M. R., Kraemer, W. J., Armstrong, L. E., ... Hoffman, J. R. (1992). Oxygen consumption following exercise of moderate intensity and duration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 65*(5), 421-6. doi:10.1007/BF00243508
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2001). *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance* (5.ª ed.). Philadelphia, USA: Lippincott Williams and Wilkins.
- McGarvey, W., Jones, R., & Petersen, S. (2005). Excess Post-Exercise oxygen consumption following continuous and interval cycling exercise. *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism, 15*(1), 28-37.
- Melanson, E. L., Sharp, T. A., Seagle, H. M., Horton, T. J., Donahoo, W. T., Grunwald, G. K., ... Hill, J. O. (2002). Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation. *Journal of Applied Physiology, 92*(3), 1045-52.
- Phillips, S. M., Green, H. J., & Tarnopolsky, M. A. (1996). Effects of training duration on substrate turnover and oxidation during exercise. *Journal of Applied Physiology, 81*(5), 2182-2191.
- Pritzlaff, C. J., Wideman, L., Blumer, J., Jensen, M., Abbott, R. D., Gaesser, G. A., ... Welman, A. (2000). Catecholamine release, growth hormone secretion, and energy expenditure during exercise vs. recovery in men. *Journal of Applied Physiology, 89*(3), 937-946.
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Rosenblatt, J., & Wolfe, R. R. (2000). Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *Journal of Applied Physiology, 88*(5), 1707-1714.
- Schuenke, M. D., Mikat, R. P., & McBride, J. M. (2002). Effect of an acute period of resistance exercise on excess post-exercise oxygen consumption: Implications for body mass management. *Journal of Applied Physiology, 86*(5), 411-7.
- Sedlock, D. A. (1994). Fitness level and postexercise energy expenditure. *The Journal of sports medicine and physical fitness, 34*(4), 336-342.
- Sedlock, D. A., Fissinger, J. A., & Melby, C. L. (1989). Effect of exercise intensity and duration on postexercise energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 21*(6), 662-666.
- Thornton, M. K. & Potteiger, J. A. (2002). Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 34*(4), 715-22. doi:10.1097/00005768-200204000-00024
- Uusitalo, A. L., Huttunen, P., Hanin, Y., & Uusitalo, A. J. (1998). Hormonal responses to endurance training and overtraining in female athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine, 8*(3), 178-86. doi:10.1097/00042752-199807000-00004
- Williams, J. S., Wongsathikum, J., Boon, S. M., & Acevedo, E. O. (2002). Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 34*(7), 1194-8. doi:10.1097/00005768-200207000-00022
- Yoshida, T., Chida, M., Ichioka, M., Makiguchi, K., Eguchi, J., & Udo, M. (1990). Relationship between ventilation and arterial potassium concentration during incremental exercise and recovery. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 61*(3-4), 193-6. doi:10.1007/BF00357598
- Weltman, A., Weltman, J., Rutt, R., Seip, R., Levine, S., Snead, D., ... Rogol, A. (1989). Percentages of maximal heart rate reserve, and VO₂ peak for determining endurance training intensity in sedentary women. *International Journal of Sports Medicine, 10*(3), 212-6. doi:10.1055/s-2007-1024903