

Monograph

El Gasto Energético en los Ejercicios de Sobrecarga es Mayor en Ejercicios Realizados hasta la Fatiga que en Ejercicios que Finalizan antes de Alcanzar la Fatiga

Conrad Earnest² y Chris B Scott¹

¹University of Southern Maine, Gorham, Estados Unidos.

²Pennington Biomedical Research Center, Baton Rouge, Estados Unidos.

RESUMEN

Realizamos una investigación retrospectiva de los resultados de dos estudios diferentes realizados para estimar y comparar el gasto de energía de ejercicios aeróbicos y anaeróbicos (EE) junto con el componente del gasto de energía (EE) aeróbico de la recuperación, en una serie de ejercicios de sobrecarga. Un estudio fue realizado utilizando levantamientos que finalizaban antes de la fatiga en los que el ejercicio finalizaba antes de la falla muscular. En otro estudio la falla muscular (fatiga) era el punto final de todos los levantamientos. Se evaluaron el trabajo (peso levantado \times desplazamiento vertical ascendente) y todos los componentes del EE. Los levantamientos que no finalizaron en la fatiga fueron realizados a 50% de 1RM y consistieron en 7, 14 y 21 repeticiones. Los levantamientos hasta la falla fueron realizados ~37%, ~46%, ~56%, 70%, 80% y 90% de 1-RM. Se trazaron las rectas de regresión individuales entre el trabajo y todas las estimaciones de EE, para las condiciones de fatiga y no fatiga, para cada sujeto. Los resultados de nuestro análisis demostraron que las pendientes promediadas entre la fatiga y no fatiga eran proporcionales a: EE total/trabajo ($p = 0,87$), EE anaeróbico del ejercicio/trabajo, ($p = 0,73$) y EE de la recuperación /trabajo ($p = 0,19$). Sin embargo, las ordenadas al origen (punto de corte con el eje y) de los dos estudios fueron significativamente mayores para los levantamientos realizados hasta la fatiga que los levantamientos en los que no se alcanzó la fatiga en: EE total/trabajo ($p = 0,007$), el EE anaeróbico del ejercicio/trabajo ($p = 0,001$) y EE de la recuperación/trabajo ($p = 0,01$), pero no en el EE aeróbico del ejercicio/trabajo ($p = 0,17$). Para el EE aeróbico del ejercicio /trabajo, el levantamiento hasta la fatiga presentó una pendiente mayor en consumo de O_2 /trabajo, que los levantamientos que no fueron realizados hasta la fatiga ($p = 0,04$). Nosotros concluimos que levantar cargas hasta el fallo muscular puede producir componentes del EE aeróbico, anaeróbico y de recuperación significativamente mayores en comparación con los levantamientos que se realizan sin alcanzar la fatiga.

Palabras Clave: gasto de energía anaeróbico, consumo de oxígeno, EPOC, lactato, entrenamiento de sobrecarga

INTRODUCCION

El entrenamiento con sobrecarga se considera un tipo de ejercicio de alta intensidad donde las series se realizan hasta o cerca de la falla muscular, sin tener en cuenta el porcentaje de la repetición máxima (1-RM) seleccionada. De manera contraria, cuando la serie completa de levantamientos no se acerca a la fatiga, el ejercicio puede ser considerado como de intensidad leve a moderada. Aunque esto puede ser intuitivamente obvio, la distinción entre cada tipo de ejercicio podría ser crítica para la programación del ejercicio dependiendo de las metas de los participantes. Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que las intensidades de entrenamiento auto seleccionadas son menores que las que se recomiendan (3, 4, 8) por lo que un mejor conocimiento sobre las demandas energéticas asociadas con diferentes intensidades de entrenamiento con sobrecarga, ayudará finalmente con los esfuerzos de programación de los entrenamientos con sobrecarga.

Dos estudios contemporáneos que utilizaron diferentes metodologías de gasto de energía, con estado estable y sin estado estable, informaron relaciones entre el gasto de energía y el trabajo del tipo de entrenamiento de sobrecarga, que serían mucho más altas que las estimaciones pasadas(9, 10). Nosotros entendemos que las características del gasto de energía de ejercicios de tipo aeróbico en estado estable no deben ser utilizadas para establecer modelos de gasto de energía de ejercicio aeróbico que no se realiza en estado estable, porque las características fisiológicas y metabólicas de cada uno son diferentes. Por ejemplo, nosotros creemos que cuando se levanta una carga que va de ligeramente pesada a pesada: 1) las intensas contracciones musculares crean la fuerza suficiente para limitar eficientemente el flujo de sangre hacia y desde el músculo esquelético que está realizando el trabajo, impidiendo el consumo de O₂ en el ejercicio (14), 2) la producción de ATP por medio de la glucólisis anaeróbica puede explicar una cantidad significativa de gasto de energía global (10-13), 3) una sola serie de entrenamiento con sobrecarga produce un mayor consumo de O₂ durante la recuperación del ejercicio que durante el ejercicio mismo (10, 11), y 4) el ejercicio pesado a severo puede inducir aumentos "extra" en el gasto de energía aeróbico y en el gasto anaeróbico, probablemente relacionados a cambios en la eficiencia metabolismo-trabajo y/o al mayor reclutamiento muscular necesario para demorar la fatiga (1,15).

El objetivo principal de esta investigación retrospectiva fue comparar dos estudios previos que utilizaron métodos de estimación del gasto de energía en estado no estable: uno dónde una sola serie de levantamientos fue completada antes de que se alcanzara la fatiga muscular (10), el otro donde la serie finalizaba cuando se producía la falla muscular (11). Nosotros planteamos el siguiente interrogante: ¿Son diferentes las relaciones gasto de energía-trabajo entre los protocolos de entrenamiento con sobrecarga de una serie que se realizan hasta la fatiga y los que no se realizan hasta la fatiga?.

MÉTODOS

Se examinaron los datos recolectados en dos estudios previos (10,11). Ambos estudios usaron 1-serie de ejercicios en press de banca para determinar las características de gasto de energía que acompañan la fatiga no muscular y la fatiga muscular total (estos no eran estudios de entrenamiento). Se realizaron comparaciones de los gastos de energía aeróbico, anaeróbico y de recuperación, de cada estudio.

Sujetos

Cada protocolo fue aprobado previamente por el Comité de Revisión Institucional (IRB) de la Universidad *Southern Maine*. Además, el presente estudio retrospectivo fue sometido a una revisión adicional y fue aprobado por el IRB. En la presente investigación sólo se compararon los datos pertenecientes a los varones, ya que mujeres y varones pueden tener diferentes respuestas aeróbicas y anaeróbicas al entrenamiento de resistencia (ver Tabla 1).

	N	Puntaje	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)	1-RM (kg)
Estudio realizado hasta la fatiga	13	78	23,8 ± 2,1	178,7 ± 6,6	85,9 ± 11,3	102,5 ± 20,8
Estudio no realizado hasta la fatiga	4	36	32,8 ± 10,4	177,5 ± 9,5	76,8 ± 13,1	108,0 ± 15,0

Tabla 1. Características de los participantes varones del estudio. (Media ± DS). N= número de sujetos; Puntaje= Cantidad de levantamientos medidos en cada estudio.

Procedimientos

En el estudio donde el ejercicio no finalizaba en fatiga (10), el ejercicio se realizó con el 50% de 1-RM con 7, 14 y 21 repeticiones, (el agotamiento no fue el punto final de ninguno de éstos levantamientos); cada carga de trabajo fue realizada 3 veces por un total de 9 levantamientos (36 puntos en total). En el estudio donde el ejercicio se realizó hasta la fatiga (11), se realizó una sola serie en press de banca hasta la falla muscular en los siguientes porcentajes de 1-RM (número de repeticiones hasta el agotamiento), ~37% (~37 rep), ~46% (~26 rep), ~56% (~20 rep), 70% (~12 repr), 80% (~8 rep) y 90% (~5 rep); cada levantamiento fue realizado una vez (78 puntos en total). El trabajo fue registrado como el producto de fuerza (kilogramos de peso levantados) × desplazamiento vertical (ascendente) de la barra de la Máquina Smith Normal; la distancia que la barra recorría era registrada electrónicamente. Para determinar el gasto de energía en ambos estudios nosotros realizamos mediciones separadas de consumo de O₂ del ejercicio aeróbico, de la concentración de lactato sanguíneo y una medición modificada del exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio (EPOC); la suma de las tres mediciones proporciona una estimación del gasto de energía total

El consumo de oxígeno se determinó a través de un sistema de medición de metabolismo (*metabolic cart*) Parvomedics MM-2400 (*Sandy, UT*) con intervalos de muestreo de 15 segundos. Antes de los levantamientos se realizó la medición del gasto de energía en 5-minutos de descanso en posición supina (REE) con los sujetos recostados sobre el banco con ambos pies apoyados en el suelo. El consumo de O₂ medio (L.min⁻¹) de este período de descanso fue sustraído del consumo de oxígeno y de las mediciones de EPOC de todo el ejercicio. El consumo de O₂ del ejercicio fue convertido según la igualdad, 1 litro de O₂ = 21,1 kJ. EPOC fue registrado con los sujetos con los pies elevados horizontalmente hasta el banco de modo que el sujeto estuviera en posición completamente supina. EPOC se midió hasta el punto donde caía por debajo de 5,0 mL.kg⁻¹.min⁻¹ (una medición típica de descanso en posición de pie) o debajo del REE promedio medido y fue convertido según la igualdad 1 litro de O₂ = 19,6 kJ. El lactato sanguíneo fue determinado al menos mediante dos analizadores *Lactate Pro (FaCT Canada Consulting)* en reposo y por una medición de lactato máximo tomada 2-minutos o 4-minutos post-ejercicio (cualquiera sea el valor mas alto). El gasto de energía del ejercicio anaeróbico fue calculado como la diferencia entre los valores de lactato en descanso y los valores máximos multiplicados por el peso del cuerpo (kg), y luego por 3,0 mL de O₂ (2). Esta estimación equivalente de O₂ fue transformada en Joules según la igualdad 1 L O₂ = 21,1 kJ. El gasto de energía total fue registrado como la suma de los gastos de energía aeróbico y anaeróbico y EPOC.

Análisis Estadísticos

Se calcularon las rectas de regresión entre las mediciones del gasto de energía y de trabajo para cada sujeto y luego promediadas. Los datos de pendiente y ordenada al origen se presentan en la Tabla 2. Las comparaciones fueron realizadas mediante un test-t estándar (con el nivel de alfa fijado en p <0,05).

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los datos que reflejan las diferencias en las características de gasto de energía. Con respecto a la cantidad de trabajo realizado, las pendientes de las rectas de regresión de la condición de ejercicio hasta la fatiga y la de ejercicio finalizado antes de la fatiga, no presentaron diferencias significativas en gasto de energía total (p = 0,87; Figura 1), gasto de energía anaeróbico del ejercicio (p = 0,73) y gasto de energía de la recuperación (p = 0,19). Las dos pendientes fueron diferentes en el gasto de energía aeróbico del ejercicio (p = 0,04), siendo mayor para el estudio realizado hasta la fatiga. Los datos de la ordenada al origen fueron significativamente mayores en el estudio donde se alcanzó la fatiga en comparación con el estudio donde no se alcanzó la fatiga para el gasto de energía total (p = 0,007; Figura 1), gasto de energía anaeróbico del ejercicio (p = 0,001) y gasto de energía de la recuperación (p = 0,01); no se observaron diferencias en la ordenada al origen en el gasto de energía aeróbico del ejercicio.

Estudio	Anaeróbico/ trabajo	O ₂ del Ejercicio/trabajo	EPOC/ trabajo	EETotal/ trabajo
Pendiente F	0,049 ± 0,01	0,029 ± 0,01	0,018 ± 0,02	0,084 ± 0,03
Pendiente NF	0,046 ± 0,02	0,017 ± 0,004	0,024 ± 0,004	0,086 ± 0,02
Valor P	0,73	0,04*	0,19	0,87
Ordenada al origen F	8,12 ± 3,9	-3,27 ± 3,9	17,4 ± 7,7	21,2 ± 10,4
Ordenada al origen NF	-1,4 ± 2,9	-0,31 ± 1,9	6,08 ± 1,8	4,4 ± 2,8
Valor de P	0,007*	0,001*	0,17	0,01*

Tabla 2. Valores medios de las pendientes y ordenadas al origen de los individuos de estudios realizados hasta la fatiga (F) y estudios que finalizaron antes de la fatiga (NF). Los datos se presentan en forma de Media ± SD. La pendiente y ordenada al origen representan las relaciones de los sujetos individuales entre el gasto de energía y trabajo, que fueron promediadas con posterioridad (F, n = 13 varones, 6 entrenamientos, cada uno realizado una vez, referencia 11; NF, n = 4 varones, 3 entrenamientos, realizados 3 veces cada uno, referencia 10); TEE = gasto de energía total; trabajo = fuerza x distancia vertical; Anaeróbico = gasto de energía anaeróbico del ejercicio; O₂ del ejercicio = gasto de energía aeróbico del ejercicio ; EPOC = gasto de energía anaeróbico del exceso de consumo de oxígeno post ejercicio; * se observaron diferencias significativas entre F y NF.

Estudio	Anaeróbico/trabajo	O ₂ del Ejercicio/trabajo	EPOC/trabajo	EETotal/trabajo
Pendiente F	0,049 ± 0,01	0,029 ± 0,01	0,018 ± 0,02	0,084 ± 0,03
Pendiente NF	0,046 ± 0,02	0,017 ± 0,004	0,024 ± 0,004	0,086 ± 0,02
Valor P	0,73	0,04*	0,19	0,87
Ordenada al origen F	8,12 ± 3,9	-3,27 ± 3,9	17,4 ± 7,7	21,2 ± 10,4
Ordenada al origen NF	-1,4 ± 2,9	-0,31 ± 1,9	6,08 ± 1,8	4,4 ± 2,8
Valor de P	0,007*	0,001*	0,17	0,01*

Figura 1. Gasto de energía total en función del trabajo. Todos los datos son para 1 serie de ejercicio en press de banca. Los datos de la línea inferior (círculos abiertos) se obtuvieron de levantamientos que no finalizaron en fatiga. Los datos de la línea superior (círculos cerrados) se obtuvieron de levantamientos realizados hasta la fatiga. Las pendientes de las dos líneas no son significativamente diferentes (p = 0,87). Sin embargo, hay diferencias significativas entre las ordenadas al origen de las líneas (p = 0,007). Nosotros concluimos que los levantamientos que no se realizan hasta la fatiga no pueden ser utilizados para estimar el gasto de energía total (TEE) de levantamientos hasta la fatiga (TEE = gastos de energía anaeróbico y aeróbico del ejercicio + gasto de energía de la recuperación). TEE de los ejercicios que finalizaban antes de la fatiga = 4,4 + (0,086 × trabajo); TEE de los levantamientos hasta la fatiga = 21,2 + (0,084 × trabajo).

DISCUSIÓN

Nuestro objetivo fue estudiar los costos de energía entre los que se incluían las contribuciones aeróbicas y anaeróbicas de levantar una carga, junto con la recuperación de ese levantamiento. Éstos no fueron estudios de entrenamiento. De hecho, en lugar de examinar un entrenamiento completo, nosotros escogimos cuantificar el gasto de energía del entrenamiento de sobrecarga, de a un ejercicio por vez (los futuros estudios agregarán series y ejercicios para investigar como esto afecta subsecuentemente los costos anaeróbicos, aeróbicos y de recuperación). Nuestra metodología nos permitió dar testimonio de las diferencias únicas entre el ejercicio en estado estable y el ejercicio en estado no estable. Por ejemplo, con 1 serie de ejercicio de sobrecarga en estado no estable, el consumo de O₂ siempre representa el menor gasto de energía medido en comparación con el gasto de energía anaeróbico y el EPOC (10, 11). De manera contraria, bajo condiciones de estado estable el gasto de energía se define en términos de consumo de O₂ durante el ejercicio. Además, después de una sola serie de levantamientos hasta la fatiga, el gasto de energía EPOC aparece como una cantidad relativamente constante no relacionada con el volumen de trabajo completado (11); con el ejercicio aeróbico, “la magnitud” de EPOC está relacionada con la duración e intensidad (6, 7).

Para una sola serie de entrenamiento de sobrecarga que compare series de repeticiones realizadas hasta la fatiga con series de repeticiones que no alcanzaban la fatiga, nuestros datos indican que el gasto total de energía, incluyendo el gasto de energía anaeróbico y gasto de energía de recuperación, es mayor en el ejercicio realizado hasta la fatiga que en el ejercicio no realizado hasta la fatiga, tal como lo indican los valores de las ordenadas al origen (Tabla 2). Está claro que la relación gasto de energía aeróbico/trabajo aumentó significativamente con el ejercicio realizado hasta la fatiga (Tabla 2). A partir de estos datos, nosotros sugerimos que el gasto de energía del ejercicio de sobrecarga hasta la fatiga debe ser planeado de manera diferente en comparación con el ejercicio de sobrecarga que no se realiza hasta la fatiga.

Consumo de O₂ durante el ejercicio

El modelo de referencia de gasto de energía de ejercicio con el trabajo, se aplica específicamente de manera muy sencilla al ejercicio aeróbico de intensidad moderada cuando se alcanzan las producciones de potencia en estado estable, el aporte de oxígeno en estado estable y el consumo de O₂ en estado estable. Dado que la resistencia muscular y los ejercicios de sobrecarga no cumplen estos criterios, nosotros describimos el gasto de energía en estado estable para una serie de trabajo dada [kJoules (kJ)] y el gasto de energía en estado no estable a lo largo de un período de tiempo minuto a minuto de

producción de potencia (kJ min^{-1}).

En comparación con cargas de trabajo más livianas, los ejercicios aeróbicos en estado estable de alta intensidad, revelan un componente "extra" de gasto de energía, un componente lento de O_2 , que se cree que está causado por una disminución en la eficacia y/o por un mayor reclutamiento de fibras musculares en un esfuerzo para tolerar la fatiga y prolongar el trabajo (1, 15). La mayor relación gasto de energía aeróbico del ejercicio/trabajo (pendiente) para los levantamientos realizados hasta la fatiga en comparación con los que finalizaban antes de alcanzar la fatiga, podría probablemente estar relacionada, aunque no necesariamente, con el mayor reclutamiento muscular a medida que se prolonga la tasa de trabajo en estado no estable (que dura minutos). En la ordenada al origen, no se observó un cambio significativo en el gasto de energía aeróbico entre el ejercicio realizado hasta la fatiga y el ejercicio no realizado hasta la fatiga (que dura segundos cada uno). A medida que continuaban los levantamientos y la fatiga se acercaba, aquéllos músculos involucrados con la posición y ubicación corporal probablemente contribuirían con el aumento desproporcionado en el consumo de O_2 del ejercicio en la producción de trabajo, las contracciones más intensas realizadas por los músculos que se encontraban participando en el levantamiento real habrían impedido el flujo de sangre (14). El aumento no-proporcional en el consumo de O_2 con los ejercicios de sobrecarga realizados hasta la fatiga en comparación con los ejercicios no realizados hasta la fatiga, indica que el gasto de energía aeróbico del ejercicio no es consistente a medida que continúan las repeticiones.

Gasto de Energía Anaeróbico

Nuestro método de determinación del gasto de energía anaeróbico para la estimación del gasto de energía anaeróbico (glucolítico) del ejercicio se basa en la diferencia entre las mediciones de lactato sanguíneo máximas y el valor obtenido en reposo (2). Al igual que con el consumo de O_2 del ejercicio en estado no estable, nuestros resultados anaeróbicos proporcionan información sobre una serie de trabajo dada (kJ) y no tasa de trabajo o producción de potencia a lo largo del tiempo (kJ.min^{-1}). La correlación entre el gasto de energía anaeróbico y trabajo fue buena tanto para los estudios realizados hasta la fatiga ($r = 0,79$, $p < 0,0001$) como para los no realizados hasta la fatiga ($r = 0,95$, $p < 0,05$). Los datos de la pendiente indican que el aumento (cambio) en el gasto de energía anaeróbico con el trabajo, cuando realizan los levantamientos hasta la falla muscular es proporcional al de los levantamientos no realizados hasta la fatiga. Sin embargo, los mayores valores de ordenada al origen de los levantamientos realizados hasta la fatiga en comparación con los realizados sin alcanzar la fatiga, revelan una contribución anaeróbica significativamente mayor al gasto de energía de los levantamientos de una sola serie hasta la fatiga. Parecería que una sola serie de levantamientos hasta la fatiga produce un "extra" de gasto de energía anaeróbicos en comparación con las condiciones realizadas sin alcanzar la fatiga.

Exceso de Consumo de Oxígeno Post-ejercicio (EPOC)

Después de una sola serie de entrenamiento con sobrecarga el EPOC excede el consumo de O_2 del ejercicio, esté involucrada o no la fatiga (10,11). En este sentido se requiere que tanto el gasto de energía del ejercicio como el de la recuperación representen bien las demandas de energía asociadas con el levantamiento (nuestra conversión de consumo de O_2 a gasto de energía para EPOC descarta la resíntesis anaeróbica de ATP glucolítico 13,14).

Se ha mencionado que mientras mayor sea la perturbación metabólica del ejercicio mayor será el EPOC, pero esta consideración, a menudo, está reservada para el ejercicio de tipo aeróbico, en el cual la duración (tiempo) y la intensidad (% de VO_2max) del ejercicio tienen un impacto significativo en EPOC (7). El ejercicio de tipo anaeróbico también tiene componentes de duración (tiempo) e intensidad (% de 1-RM). Sin embargo el % de VO_2max y % 1-RM no parecen ser descripciones compatibles de intensidad en relación a EPOC. De hecho, la duración del ejercicio aeróbico aumenta EPOC de manera lineal mientras que la intensidad del ejercicio aeróbico se cree que aumenta exponencialmente el volumen de EPOC (6). En el ejercicio de tipo anaeróbico hasta la fatiga, los ANOVA indicaron que EPOC de hecho eran similares entre todo los levantamientos hasta la fatiga (con duración de segundos a minutos) ya que no se observaron diferencias estadísticas entre las intensidades de levantamientos que iban de ~37 a 90% de 1-RM y consistían en 4 a 37 repeticiones (11). Los ANOVA de los levantamientos que no fueron realizados hasta la fatiga, no revelaron ninguna diferencia entre EPOC (50% de 1RM del levantamiento que consistió en 7, 14 y 21 repeticiones (10). De manera similar, Haddock y Wilkin no observaron aumentos en el gasto de energía relacionado a EPOC entre 1 serie de levantamientos y 3 series de levantamientos hasta la fatiga aunque el volumen de trabajo era el triple en el último caso (5).

Los datos de EPOC para ambos estudios fueron recolectados a corto plazo intencionalmente, hasta que se alcanzó un consumo de O_2 en reposo en posición de pie. Los datos de levantamientos hasta la fatiga revelan correlaciones leves pero significativas, entre el gasto de energía EPOC y el trabajo del levantamiento de cargas ($r = 0,35$, $p = 0,002$; Figura 2), así como entre EPOC y el gasto de energía aeróbico del ejercicio ($r = 0,27$, $p = 0,02$) pero no entre EPOC y el gasto de energía anaeróbico del ejercicio ($r = 0,22$, $p = 0,06$). Por otro lado el estudio con ejercicios que no finalizaron en fatiga

arrojó una buena correlación entre EPOC y el gasto de energía anaeróbico ($r = 0,75$, $p < 0,0001$) junto con EPOC y trabajo ($r = 0,83$, $p < 0,0001$), pero no con EPOC y gasto de energía aeróbico del ejercicio ($r = 0,17$, $p = 0,42$). Meirelles y Gomes (6) afirmaron que no se disponía de suficientes datos, por lo que nosotros aportamos conocimientos con respecto a EPOC y al gasto de energía relacionado al entrenamiento con sobrecarga. La pregunta que surge dentro de los grupos es, “qué es lo más importante para los propósitos de interpretación: Comparaciones de ANOVA que revelan similitud estadística y por consiguiente ninguna diferencia entre EPOC luego de varias series de levantamientos o, correlaciones estadísticamente significativas entre EPOC y levantamientos que indican un aumento en EPOC con el trabajo?”. Aunque nosotros no podemos responder esta pregunta específicamente, los análisis entre grupos de la ordenada al origen entre los estudios realizados hasta la fatiga y los estudios que finalizaban antes de la fatiga, nos llevan a la conclusión que la recuperación a corto plazo (EPOC) de las contribuciones del gasto de energía después de una sola serie de entrenamiento de sobrecarga hasta la fatiga o finalizado antes de alcanzar la fatiga son diferentes.

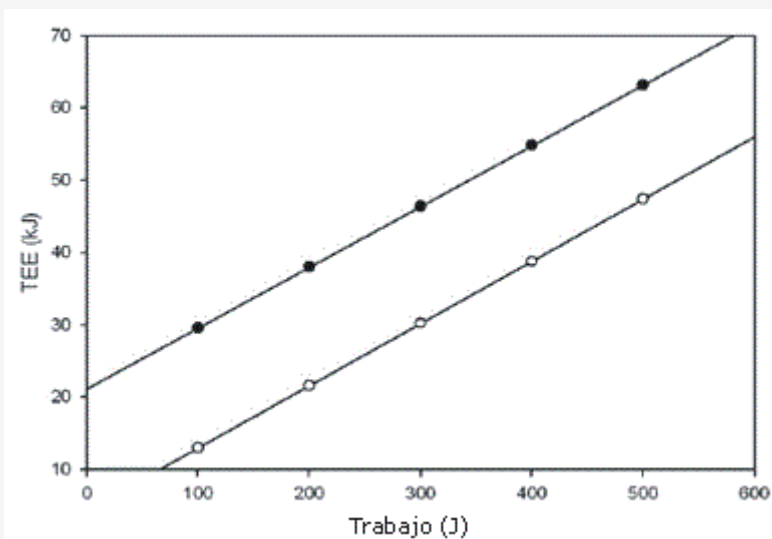


Figura 2. Resultados del exceso de consumo de oxígeno post ejercicio en el estudio hasta la fatiga (11). Es importante destacar que aunque la línea de regresión indica que el gasto de energía EPOC sube con el trabajo y la correlación es estadísticamente significativa ($p < 0,05$), la correlación es pobre ($r = 0,35$). El ANOVA indicó que no hay diferencias significativas entre el gasto de energía EPOC entre los levantamientos hasta la fatiga en los porcentajes de 1-RM que iban de 37% a 90% (tampoco se establecieron diferencias en EPOC entre los levantamientos que no alcanzaban la fatiga en 50% de 1-RM para 7, 14 y 21, repeticiones; sin embargo, se observaron diferencias en EPOC entre los protocolos hasta la fatiga y los que finalizaban antes de la fatiga; ver la referencia 10).

Gasto Energético total

El gasto de energía total de un levantamiento en estado no estable está formado por los componentes del gasto de energía anaeróbico y aeróbico del ejercicio junto con un gasto de energía aeróbico de recuperación modificado (EPOC). La Figura 1 revela que el conjunto de los tres componentes de gasto de energía no sólo es diferente entre 1 serie de levantamiento realizada con un protocolo hasta la fatiga y un protocolo que no alcanza la fatiga, si no que también, que la diferencia es algo proporcional a lo largo de una amplia gama de intensidades de levantamientos y trabajo (diferente ordenada al origen, pendiente similar; respectivamente. Tabla 2). De hecho en producción de trabajo de 100 J, hay una diferencia estimada de 56 % en el gasto de energía total entre los levantamientos no realizados hasta la fatiga (13 kJ) y los realizados hasta la fatiga (29,6 kJ); en una producción de trabajo de 500 J, el gasto de energía total sin alcanzar la fatiga (47,4 kJ) es 25% menor que el levantamiento hasta la fatiga (63,7 kJ). Nosotros concluimos que con series equivalentes únicas de trabajo de entrenamiento con sobrecarga, los ejercicios hasta la fatiga producen un gasto de energía total mayor que los ejercicios que no se realizan hasta la fatiga.

Los datos de la ordenada al origen de la recta gasto de energía EPOC /trabajo fueron significativamente mayores, pero la pendiente de la recta EPOC/ trabajo fue similar para los protocolos de levantamiento de cargas que finalizan antes de la fatiga y los que alcanzan la fatiga. Esto mismo se cumple para las rectas gasto de energía anaeróbico/ trabajo así como para gasto de energía total/ trabajo. ¿Por qué se produce esto?

Nosotros especulamos que los gastos de energía anaeróbico, de recuperación aeróbica (EPOC) y total para 1-serie de ejercicios de sobrecarga hasta la fatiga pueden estar relacionados con una capacidad o límite de reclutamiento muscular junto con una utilización equivalente de ATP, fosfato de creatina (CP) y reservas de oxígeno, sin tener en cuenta la producción de trabajo, o las contribuciones del gasto de energía aeróbico y anaeróbico (glucolíticas) que difieren, a menudo dramáticamente, tanto dentro como entre los protocolos de levantamientos. Como ejemplo, debido a que el gasto de energía anaeróbico (basado en el lactato sanguíneo) y EPOC no se relacionan bien, 37 repeticiones a 37% de 1-RM hasta la fatiga reclutan una cantidad similar de masa muscular y consumen una cantidad similar de reservas de ATP, CP y oxígeno como 8 repeticiones a 80% de 1-RM hasta la fatiga, produciendo similares EPOC a corto plazo. Es importante determinar en el futuro si series y ejercicios adicionales afectan EPOC y como lo hacen.

Conclusiones

Estos datos retrospectivos revelan que con 1 serie de entrenamiento con sobrecarga en estado no estable, el consumo de O₂, aumenta desproporcionadamente en el ejercicio hasta la fatiga en comparación con los ejercicios que no alcanzan la fatiga. Más aún, los gastos de energía anaeróbico, aeróbico (EPOC), y el gasto de energía total son significativamente mayores en el trabajo de sobrecarga que involucra la fatiga que en el trabajo donde no se alcanza la fatiga. Nuestra conclusión es que el gasto de energía diseñando ejercicios de sobrecarga hasta la fatiga no puede basarse en las mediciones obtenidas en ejercicios que no se realizan hasta la fatiga. Para el ejercicio anaeróbico hasta la fatiga nosotros continuamos proponiendo que una estimación válida de gasto de energía no puede basarse en las mediciones de consumo de O₂ en estado estable y debe incluir la suma de los gastos de energía del ejercicio aeróbico y anaeróbico y los gastos de energía de la recuperación aeróbica.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Scott CB, PhD. Department of Exercise, Health and Sport Sciences, University of Southern Maine, Gorham, ME, USA, 04038. Phone (207)780-4566 FAX: (207)780-4745; correo electrónico: cscott@usm.maine.edu.

REFERENCIAS

1. Aagaard P, Bangsbo J (2006). The muscular system: design, function, and performance relationships. In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2006. 144-160*
2. di Prampero PE, Ferretti G (1999). The energetic of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Resp Physiol 118;103-115*
3. Focht BC (2007). Perceived exertion and training load during self selected and imposed-intensity resistance exercise in untrained women. *J Strength Cond Res 21:183-187*
4. Glass S, Stanton D (2004). Self-selected resistance training intensity in novice weightlifters. *J Strength Cond Res 18:324-327*
5. Haddock BL, Wilkin LD (2006). Resistance training volume and post exercise energy expenditure. *Inter J Sports Med 27:143-148*
6. Meirelles Cd-M, Gomes PSC (2004). Acute effects of resistance exercise on energy expenditure: revisiting the impact of the training variables. *Rev Bras Med Esporte 4:131-138*
7. Poehlman ET (1989). A review: exercise and its influence on resting energy metabolism in man. *Med Sci Sport Exerc 21:515-525*
8. Ratamess NA, Faigenbaum AD, Hoffman JR, Kang J (2008). Self selected resistance training intensity in healthy women: the influence of a personal trainer. *J Strength Cond Res 22:103-111*
9. Robergs RA, Gordon T, Reynolds J, Walker TB. Walker (2007). Energy expenditure during the bench press and squat exercises. *J Strength Cond Res 21:123-130*
10. Scott CB, Croteau A, Ravlo T (2009). Energy expenditure before, during and after the bench press. *J Strength Cond Res 23:611-618*
11. Scott CB, Leighton B, Ahearn K, McManus J. (2010). Aerobic, anaerobic and EPOC energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-set of bench press to muscular fatigue in press. *in press, J Strength Cond Res*
12. Scott CB (2008). A Primer for the Exercise and Nutritional Sciences: Thermodynamics, Bioenergetics, Metabolism. *Totowa, NJ: Humana Press*
13. Scott CB (2005). Contribution of anaerobic energy expenditure to whole body thermogenesis. *Nutr Metab (online) 2(14).10*
14. Tamaki T, Uchiyama S, Tamura T, Nakano S (1994). Changes in muscle oxygenation during weight lifting exercise. *Eur J Appl Physiol. 68:465-469*
15. Zoladz JA, Gladden LB, Hogan MC, Niekarz Z, Grassi B (2008). Progressive recruitment of muscle fibers is not necessary for the

slow component of VO₂ kinetics. *J Appl Physiol.* 105:575-580

Cita Original

Scott CB, Earnest CP. Resistance Exercise Energy Expenditure is Greater with Fatigue as Compared to Non-Fatigue. *JEPonline*;14 (1): 1-10, 2011.