PubliCE, (PubliCE) 1998

Research

El Entrenamiento Concurrente entre la Fuerza y la Resistencia influencia la Tasa Metabólica Basal en Individuos que no Realizan Dieta

Brett A Dolezal[1] y Jeffrey A Potteiger[1]

[1]*Exercise Physiology Laboratory, Department of Health, Sport, and Exercise Sciences, University of Kansas, Lawrence, Kansas 66045-2348.*

RESUMEN

Treinta hombres saludables, físicamente activos (20.1±1.6 años) fueron aleatoriamente asignados para participar durante 10 semanas en uno de los siguientes grupos de entrenamiento: entrenamiento de resistencia (ET; trote y/o carreras durante 3 días por semana); entrenamiento de la fuerza (RT; entrenamiento de pesas durante 3 días por semana); o entrenamiento combinado de fuerza y resistencia (CT). Antes y después del entrenamiento se determinó en cada sujeto la tasa metabólica basal (BMR), el porcentaje de grasa corporal (BF), la potencia aeróbica máxima, y una repetición máxima en press de banca y sentadilla. También se determinó la concentración de nitrógeno de la urea urinaria antes, durante y después del entrenamiento. La BMR se incrementó significativamente desde el pre- al post-entrenamiento en el grupo RT (7613±968 hasta 8090±951kJ/día) y en el grupo CT (7455±964 hasta 7,802±981kJ/día), pero no en el grupo ET (7231±554 hasta 7029±666kJ/día). El BF para el grupo CT (12.2±3.5 hasta 8.7±1.7%) se redujo significativamente en comparación con el grupo RT (15.4±2.7 hasta 14.0±2.7%) y el grupo ET (11.8±2.9 hasta 9.5±1.7%). La potencia aeróbica máxima se incrementó significativamente en el grupo ET (13%), pero no en el grupo RT (-0.2%) o en el grupo CT (7%), mientras que las mejoras en una repetición máxima en los ejercicios de press de banca y sentadilla fueron mayores en el grupo RT (24 y 23%, respectivamente), en comparación con el grupo CT (19 y 12%, respectivamente). La perdida de nitrógeno de la urea urinaria fue mayor en el grupo ET (14.6±0.9 g/24h) que en el grupo RT (11.7±1.0g/24h) y CT (11.5±1.0 g/24h), al final de las 10 semanas de entrenamiento. Estos datos indican que, aunque el entrenamiento de la fuerza por si solo incrementa la BMR y la fuerza muscular, y que el entrenamiento de la resistencia por si solo incrementa la potencia aeróbica y reduce el BF, el entrenamiento combinado proporciona todos estos beneficios, pero con una menor magnitud que el RT y el ET por separado, luego de 10 semanas de entrenamiento.

Palabras Clave: metabolismo, ejercicio, gasto energético, nitrógeno de la urea urinaria, perdida de peso

INTRODUCCION

Cuando el gasto energético excede la ingesta energética, se produce un balance energético negativo los que resulta en la reducción de la masa corporal. En la literatura científica se le ha dado considerable atención al miembro de la ecuación del balance energético correspondiente al gasto energético, especialmente a los factores que afectan la tasa metabólica basal

(BMR) de la persona. Dado que la BMR representa el mayor porcentaje de el gasto energético diario de un individuo (~60-75% del gasto energético total), muchos investigadores se han interesado en identificar los tipos de intervenciones que pudieran potenciar el incremento en la BMR (26) y en la tasa metabólica de reposo (RMR) para facilitar la pérdida de peso (14). De manera característica, el ejercicio de resistencia ha sido utilizado para alterar la composición corporal, debido a que este tipo de ejercicio tiene la capacidad de incrementar el gasto energético y la utilización de grasas. Sin embargo, los resultados de estudios previos que han examinado los efectos del entrenamiento de la resistencia sobre la BMR y la RMR son controversiales. Los resultados de algunas investigaciones han mostrado incrementos en la RMR (1, 4, 30), mientras que los resultados de otros estudios han indicado que no se producen alteraciones en la BMR (26) o que la RMR se reduce ligeramente (28) con el entrenamiento de la resistencia.

Se ha mostrado que varios factores influencia la tasa metabólica. La mayor correlación se ha hallado entre la masa magra del individuo (FFM) y la BMR. Se ha propuesto que el incremento en la masa magra corporal incrementa la BMR, y por lo tanto se incrementa el gasto energético total (19). La masa grasa (FM) y la masa corporal total (TM) generalmente se reducen con el ejercicio de resistencia; sin embargo, esta reducción contribuye mínimamente a la ganancia de masa magra corporal (29). Gran parte de las investigaciones realizadas con respecto al incremento en la masa magra corporal han utilizado como modalidad de ejercicio al entrenamiento de la fuerza. La influencia potencial sobre la BMR y la composición corporal que pueden ofrecerle a los individuos los ejercicios de sobrecarga y resistencia garantiza la realización de más investigaciones.

Recientemente, la realización concurrente de ejercicios de fuerza y de resistencia ha recibido mucha atención como una forma de entrenamiento. Muchas de las pasadas investigaciones han examinado variables similares incluyendo la potencia aeróbica máxima (VO_2máx.), fuerza isotónica e isocinética, y composición corporal. Además, estas investigaciones han demostrado que el impacto del entrenamiento concurrente parece afectar más negativamente a las potenciales ganancias de fuerza (5, 8, 9, 13, 18, 23), que a la potencia aeróbica (2, 5, 8, 9, 13, 15, 16, 22, 23). Además, luego del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia, los investigadores han observado cambios positivos en la composición corporal incluyendo reducciones en la FM y en el porcentaje de grasa corporal (BF), conjuntamente con incrementos en la FFM. Para nuestro conocimiento, no existen estudios que hayan investigado la influencia del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia sobre la BMR en individuos que no realizan dieta. Muchos individuos participan en programas de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia, sin embargo existe poca información acerca de los efectos de este tipo de entrenamiento sobre la tasa metabólica. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue examinar la influencia del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia sobre la BMR, la composición corporal, el VO_2máx., la fuerza muscular y la excreción de nitrógeno de la urea urinaria.

METODOS

Sujetos

Treinta hombres físicamente activos (20.1±1.6 años) participaron en este estudio. Todos los métodos y procedimientos fueron aprobados por el Comité Universitario para la Experimentación con Humanos. Los sujetos leyeron y firmaron un formulario consentimiento y un cuestionario acerca de historia médica antes de comenzar el estudio. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: 1) entrenar al menos 3 días/semana por al menos 1 año, 2) tener un VO_2máx.≥40ml.kg^{-1}.min^{-1} y 3) un porcentaje de grasa corporal de entre 9 y 20%. Los sujetos fueron aleatoriamente asignados a uno de los siguientes tres grupos experimentales: grupo de entrenamiento de resistencia (ET, n=10), grupo de entrenamiento de fuerza (RT, n=10), y grupo de entrenamiento combinado de fuerza y resistencia (CT, n=10). Durante la visita inicial al laboratorio, los sujetos fueron familiarizados con los equipos y con los procedimientos experimentales. Luego de esto los sujetos completaron diferentes tests en un período de 24hs, antes y después del período de 10 semanas de entrenamiento.

BMR

Para medir la BMR se utilizó el método de calorimetría indirecta. Todos los sujetos durmieron 8 horas, no realizaron ningún tipo de ejercicio por al menos 48hs antes de cada sesión, y no consumieron alimentos o líquidos, excepto agua por al menos 12hs antes de la evaluación. Todos los individuos fueron transportados en un vehículo motorizado hasta el lugar de evaluación para asegurar una actividad mínima antes de la determinación de la BMR. Todas las mediciones de la BMR fueron llevadas a cabo entre las 06:00 y las 08:00 horas.

Luego de entrar al laboratorio, los sujetos descansaron en posición supina durante 30 minutos. Luego los sujetos se colocaron una máscara facial Hans Rudolph (Kansas City, MO). El consumo de oxígeno fue monitoreado continuamente

durante 20 minutos por un sistema de Medición Metabólica SensorMedics 2900. El sistema fue calibrado antes de cada evaluación utilizando gases de concentración conocida, mientras que el flujómetro fue calibrado con una jeringa de 3 litros. Durante la evaluación, la habitación fue oscurecida, y el ruido se mantuvo al mínimo. Se les instruyó a los sujetos para que se mantuvieran despiertos, quietos y sin moverse, antes y durante todo el período de 20 minutos. El promedio de los últimos 15 minutos del período de medición fue utilizado como medición de la BMR.

Análisis de Composición Corporal

Para determinar la densidad corporal se utilizó el método de pesaje hidrostático. Para determinar la TM los sujetos, utilizando solo un traje de baño, fueron pesados en una balanza digital. Se realizaron cinco mediciones de pesaje subacuático utilizando para los análisis el promedio de las últimas tres mediciones como el valor medio. El volumen pulmonar residual fue medido utilizando un porcentaje de la capacidad pulmonar total (21). La ecuación de Siri (25) fue utilizada para calcular el BF, calculando de acuerdo con esto la FFM y la FM.

VO_2máx

Los sujetos completaron un test de ejercicio progresivo hasta el agotamiento en una cinta motorizada. El test comenzó con un período de entrada en calor de 4 minutos seguido por un incremento en la velocidad o en la graduación de la cinta cada 2 minutos hasta que se alcanzara una graduación de la cinta de 10%. Luego de esto, solo se incrementó la velocidad de la cinta hasta que el sujeto llegara al agotamiento. El aire espirado fue monitoreado continuamente para medir las concentraciones de oxígeno y de dióxido de carbono utilizando un sistema calibrado de Medición Metabólica SensorMedics 2900. El VO_2máx. se definió como el punto en el cual 1) el consumo de oxígeno alcanzaba una meseta (cambio<2.0ml.kg^{-1}.min^{-1}) con el incremento en la carga de trabajo, y 2) un índice de intercambio respiratorio≥1.10.

Determinación de la Fuerza Máxima

Los sujetos realizaron una serie de tests para la determinación de la fuerza en una repetición máxima (1RM) utilizando pesos libres de estilo Olímpico. Cada sujeto fue evaluado en 1RM en press de banca y en sentadilla, utilizando métodos previamente descritos (27).

Análisis del Nitrógeno de la Urea Urinaria

Durante las evaluaciones previas, durante la mitad y posteriores al entrenamiento, y al menos 24hs después de la ultima sesión de ejercicios, se le pidió a los sujetos que recolectaran orina durante 24hs y preservaran las muestras en un refrigerador hasta que fueran llevadas al laboratorio. Se registró el volumen de orina, y se guardo una alícuota de la orina de cada día a -70ºC hasta que se llevaran a cabo los análisis de nitrógeno de la urea urinaria, utilizando para esto un equipo Sigma Chemical nro. 64B (St. Louis, MO). Todas las muestras fueron analizadas en duplicado utilizando técnicas estándar de espectrofotometría, utilizando en los análisis estadísticos el promedio de los valores en duplicado.

Ingesta Nutricional de Tres Días

Cada sujeto completo un diario de ingesta dietaria de 3 días antes de la evaluación, en la semana 5 y en la semana 10 del período de entrenamiento. A los sujetos se les dieron ejemplos de comidas, guías escritas y folletos para mantener el registro de la ingesta de alimentos. Los días a registrar fueron asignados aleatoriamente; sin embargo, siempre se incluyó un día del fin de semana y dos días de la semana. Para analizar la composición dietaria y calcular la ingesta calórica diaria total y el porcentaje de nutrientes ingeridos se utilizó el programa Nutritionist III (N-Squared Computing, Salem, OR).

Programa de Entrenamiento

Lugo de completar todas la evaluaciones pre-entrenamiento, cada sujeto participó durante 10 semanas en un programa de entrenamiento de fuerza, de resistencia o combinado. Los sujetos entrenaron 3 días/semana en días alternados. Se diseñaron programas individuales de entrenamiento para producir marcadas mejoras, ya sea en la fuerza o en la potencia aeróbica. Todos los entrenamientos fueron monitoreados periódicamente por un investigador.

Cada sujeto en el grupo ET participó en un programa que incluía trotes y/o carreras. Los sujetos incrementaron gradualmente la intensidad y duración del entrenamiento de manera que se alcanzara un objetivo de entrenamiento cada dos semanas. En las semanas 1-2 los sujetos se ejercitaron durante 25 minutos al 65% de la frecuencia cardíaca máxima (FC máx.) calculada a partir de la edad, en las semanas 3-6 se ejercitaron durante 35 minutos al 75-85 de la FC máx., y en las semanas 7-10 se ejercitaron durante 40 minutos al 75-85% de la FC máx. Un monitor telemétrico de la frecuencia cardiaca (Polar) estuvo disponible para todos los sujetos para que determinaran con precisión la intensidad del ejercicio. Los sujetos fueron instruidos para que palparan la arteria radial para determinar la frecuencia cardíaca cuando las unidades telemétricas no estuvieran disponibles.

Los sujetos en el grupo RT realizaron el entrenamiento de la fuerza utilizando una combinación de ejercicios con pesos libres y máquinas Universal. El programa estaba compuesto de ejercicios para el tren superior (realizados los lunes), para el tren superior (realizados los miércoles) y ejercicios tanto para el tren superior como para el tren inferior (realizados los viernes). El programa de entrenamiento de la fuerza involucró a los grupos musculares principales e incluyó los siguientes ejercicios: press de banca, dorsales en polea, press de hombros, curl de bíceps, tríceps en polea, sentadilla por detrás, extensiones de rodillas, flexiones de rodillas, cargadas de potencia, press de banca inclinada con mancuernas, press de piernas, remo sentado y remo alto. Durante las primeras 2 semanas del programa los sujetos realizaron 10-15 repeticiones por serie, realizando tres series por ejercicio. La carga fue establecida de manera que el sujeto se agotará a las 10-15 repeticiones. El agotamiento fue definido como el punto en el cual el ejercicio no podía ser ejecutado correctamente a través del rango completo de movimiento. Durante las 8 semanas finales, los ejercicios fueron realizados con una carga establecida para cada serie de manera que el fallo muscular ocurriera a las 10-12 repeticiones en la primera serie, a las 8-10 repeticiones en la segunda serie, y a las 4-8 repeticiones en la tercera serie.

Los sujetos del grupo CT participaron en un programa de entrenamiento que era exactamente la suma de los programas de resistencia y fuerza anteriormente descritos. El grupo CT, realizó los ejercicios de resistencia y de fuerza en los mismos días de la semana, realizando siempre primero el entrenamiento de la fuerza.

Análisis Estadísticos

La magnitud de los cambios para cada variable dependiente producidos por el entrenamiento en cada uno de los tres grupos fue comparada utilizando el análisis de varianza de una vía ANOVA sobre los valores de diferencia (post-test menos pre-test). Cuando se hallaron índices F significativos se realizaron las comparaciones utilizando el test post hoc de Tukey para diferencias significativas. El nitrógeno de la urea urinaria y la ingesta dietaria fueron analizadas por medio del análisis de varianza ANOVA para mediciones repetidas. Para todas las variables se analizaron las diferencias intra-grupo desde el inicio hasta la semana 10, utilizando el test de Student. También se realizaron análisis de correlación de Pearson entre los cambios en la composición corporal y la RMR. La significancia estadística fue establecida a un nivel $p<0.05$. Todos los valores son reportados como medias±DE.

RESULTADOS

Los resultados de la BMR para los períodos de mediciones pre- y post-entrenamiento se presentan en la Tabla 1. Los valores pre-entrenamiento para la BMR (en kJ.kg $TM^{-1}.h^{-1}$ y kJ.kg $FFM^{-1}.h^{-1}$) no fueron significativamente diferentes entre los grupos. Los grupos RT y CT mostraron incrementos significativos en la BMR (expresados en kJ/día y en kJ.kg $TM^{-1}.h^{-1}$) desde el inicio hasta la semana 10, en comparación con el grupo ET, mientras que el grupo ET tuvo una reducción significativa de la BMR (expresada en kJ/día) desde el inicio hasta la semana 10. Se observó una correlación significativa entre los cambios en la BMR (expresada en kJ/día) y la FFM la cual se muestra en la Figura 1 ($r=0.74$, $p<0.01$).

Tasa Metabólica Basal	Pre-entrenamiento			Post-entrenamiento		
	Fuerza	Resistencia	Concurrente	Fuerza	Resistencia	Concurrente
kJ/día	7613.3±968.7	7231.2±554.1	7454.9±964.2	8090.8±951.2 * †	7029.7±666.4 *	7801.8±980.6 * †
kJ.kg $TM^{-1}.h^{-1}$	4.12±0.21	4.07±0.19	4.28±0.32	4.28±0.24 *	4.10±0.21	4.44±0.33 *
kJ.kg $FFM^{-1}.h^{-1}$	4.87±0.19	4.62±0.21	4.88±0.40	5.01±0.26 †	4.53±0.24	4.87±0.37

Tabla 1. *Tasa metabólica basal antes y después de 10 semanas de entrenamiento. Los resultados son presentados como medias±DE. TM, masa corporal total, FFM, masa libre de grasa. * Significativamente diferente con respecto a la condición de pre-entrenamiento en el mismo grupo ($p<0.05$); † Significativamente diferente con respecto al grupo de entrenamiento de resistencia ($p<0.05$).*

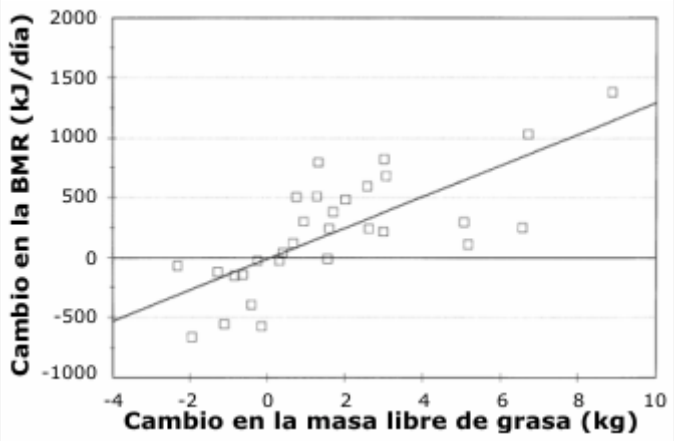


Figura 1. *Relación mostrada entre el cambio en la masa libre de grasa y el cambio en la tasa metabólica basal (BMR) luego de 10 semanas de entrenamiento de la fuerza, de la resistencia o concurrente para n=30 sujetos.*

Los resultados de la composición corporal para las mediciones pre- y post-entrenamiento se muestran en la Tabla 2. Todos los grupos mostraron reducciones significativas en el BF desde el inicio hasta la semana 10. La comparación entre los grupos mostró una reducción significativamente mayor del BF y de la FM para el grupo CT (-3.5±1.8% y -2.6±1.8kg, respectivamente) en comparación con los grupos RT y ET (RT: -1.4±0.1% y -0.8±0.2kg, ET: -2.3±1.2% y -2.0±1.1kg, respectivamente). Tanto el grupo ET como el grupo CT mostraron reducciones significativas en la FM desde el inicio hasta la semana 10. El grupo RT y el grupo CT incrementaron significativamente la FFM desde el inicio hasta la semana 10 (en 2.7±0.4kg y 3.2±0.9kg, respectivamente), lo que fue significativamente mayor que lo observado para el grupo ET (-1.4±0.9kg) en la semana 10.

	Pre-entrenamiento			Post-entrenamiento		
	Fuerza	**Resistencia**	**Concurrente**	**Fuerza**	**Resistencia**	**Concurrente**
TM (kg)	76.9±7.4	74.0±5.2	72.8±7.6	78.5±7.4	71.5±5.0 *‡	73.4±9.4
BF (%)	15.4±2.7	11.8±2.9 ‡	12.2±3.5	14.0±2.7 *	9.5±1.7 *	8.7±1.7 *‡
FFM (kg)	65.0±6.7	65.2±2.9	63.7±6.9	67.3±7.1 *†	64.6±3.8	66.9±7.8 *†
FM (kg)	11.9±2.3	8.8±2.7	9.1±3.7	11.1±2.1	6.8±1.6 *	6.5±1.9 *‡

Tabla 2.*Valores de composición corporal antes y después de las 10 semanas de entrenamiento. Los resultados son presentados como medias±DE. BF, porcentaje de grasa corporal, FM, masa grasa. * Significativamente diferente con respecto a la condición pre-entrenamiento en el mismo grupo (p<0.05); † Significativamente diferente con respecto al grupo de entrenamiento de resistencia (p<0.05); ‡ Significativamente diferente con respecto al grupo de entrenamiento de la fuerza (p<0.05).*

Los resultados del VO_2máx. y de 1RM en los períodos pre- y post-entrenamiento se presentan en la Tabla 3. El grupo ET mejoró significativamente el VO_2máx. desde el inicio hasta la semana 10 (en un 13%), y aunque el VO_2máx. se incrementó en el grupo CT (en un 7%) luego del entrenamiento, este valor no fue estadísticamente significativo en comparación con el valor inicial. Tanto el grupo RT como el grupo CT incrementaron la fuerza desde el inicio hasta la semana 10. Se observaron incrementos de la fuerza en 1RM en sentadilla, tanto en el grupo RT (23%) como en el grupo CT (19%), mientras que no se observaron cambios en el grupo ET (-0.7%). En el ejercicio de press de banca, el grupo RT tuvo el mayor incremento (24%), y el grupo CT tuvo un incremento menor (12%), mientras que no se observaron cambios en el grupo ET (-0.4%).

	Pre-entrenamiento			Post-entrenamiento		
	Fuerza	Resistencia	Concurrente	Fuerza	Resistencia	Concurrente
1RM press de banca (kg)	76.1±15.7	67.1±11.8	83.2±22.0	94.3±15.3 * † §	66.8±12.0	92.9±21.5 * †
1RM sentadilla (kg)	94.4±22.3	84.6±10.2	100.2±22.8	116.1±22.4 * †	84.0±11.2	118.9±21.0 * †
VO_2máx. ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	50.4±4.0	50.7±5.8	52.3±4.4	50.5±4.5	57.1±5.0 * ‡	55.8±5.2

Tabla 3. *Valores de una repetición máxima y potencia aeróbica máxima antes y después de las 10 semanas de entrenamiento. Los resultados son presentados como medias±DE. 1 RM, una repetición máxima; VO_2máx., potencia aeróbica máxima. * Significativamente diferente con respecto a los valores pre-entrenamiento en el mismo grupo; † Significativamente diferente con respecto al grupo que entrenó la resistencia ($p<0.05$); ‡ Significativamente diferente con respecto al grupo que entrenó la fuerza ($p<0.05$); § Significativamente diferente con respecto al grupo que entrenó concurrentemente la fuerza y la resistencia ($p<0.05$).*

La Figura 2 ilustra las concentraciones de nitrógeno de la urea urinaria en las evaluaciones pre-, durante y post-entrenamiento en cada grupo. No se observaron diferencias significativas en los grupos RT y CT desde el inicio a la mitad del entrenamiento y desde la mitad hasta el final del entrenamiento. El grupo ET mostró un incremento significativo del nitrógeno de la urea urinaria desde el inicio a la mitad del entrenamiento y desde la mitad al final del entrenamiento. Tanto las mediciones de nitrógeno de la urea urinaria en la mitad del período de entrenamiento como las mediciones post-entrenamiento en el grupo ET fueron significativamente mayores que las de los grupos RT y CT.

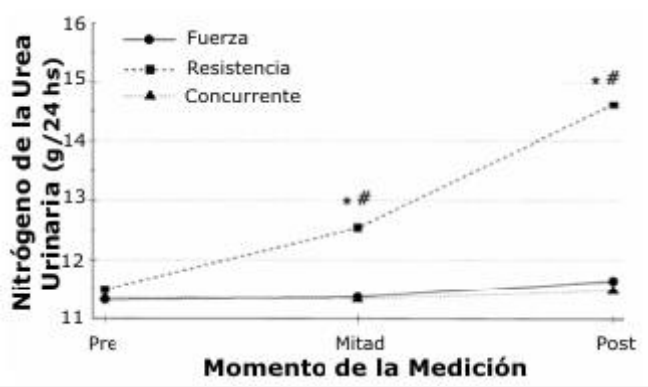


Figura 2. *Valores del nitrógeno de la urea urinaria pre-, durante y post-entrenamiento. Los sujetos participaron en un programa de entrenamiento de fuerza, resistencia o en un programa concurrente de entrenamiento de fuerza y resistencia. * Significativamente diferente con respecto a los valores pre-entrenamiento ($p<0.001$); # Significativamente diferente con respecto al grupo que entrenó la fuerza y al grupo que realizó entrenamiento concurrente ($p<0.001$).*

Los resultados del registro dietario de 3 días se ilustran en la Tabla 4. No hubo diferencias significativas en los patrones dietarios normales de cada grupo entre los períodos de mediciones (desde el inicio hasta la mitad y desde la mitad hasta el final del estudio).

	Ingesta Energética (kJ/día)	Carbohidratos (%)	Grasas (%)	Proteínas (%)
Pre-entrenamiento				
Fuerza	10542.6±2738.6	54.1±6.6	24.9±7.2	21.1±6.8
Resistencia	11750.9±767.3	59.9±7.3	21.4±2.2	18.5±7.3
Concurrente	11619.9±2237.3	58.2±7.5	24.2±7.7	17.7±4.3
Mitad del Entrenamiento				
Fuerza	10856.6±2719.6	54.0±7.5	25.5±7.1	20.3±6.3
Resistencia	11857.9±1087.5	61.6±7.1	20.4±2.4	17.7±7.0
Concurrente	11241.1±1923.9	57.7±6.3	24.4±6.3	18.3±4.1
Post-entrenamiento				
Fuerza	10794.7±2592.1	53.6±6.5	23.9±4.5	22.5±3.6
Resistencia	11946.8±1113.7	61.0±6.9	19.8±2.7	19.1±5.4
Concurrente	11660.5±1893.2	58.3±5.6	23.4±5.5	18.3±3.1

Tabla 4. *Ingesta nutricional antes y después de 10 semanas de entrenamiento. Los resultados son presentados como medias±DE. No se hallaron diferencias significativas entre los grupos o dentro de cada grupo.*

DISCUSION

BMR y Composición Corporal

Se cree que este estudio es el primero en examinar la influencia del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia sobre la BMR en individuos con una dieta ad libitum. Los resultados de este estudio indican que la BMR absoluta (kJ/día) y la BMR expresada en kJ.kg $TM^{-1}.h^{-1}$ se incrementó significativamente a lo largo del período de 10 semanas de entrenamiento en los grupos RT y CT; sin embargo, las diferencias entre los dos grupos no fueron significativas. En el grupo ET se observó una reducción significativa de la BMR absoluta (kJ/día) a lo largo del período de 10 semanas de entrenamiento. La Figura 3 muestra los cambios en los valores de la BMR (kJ/día) entre los grupos.

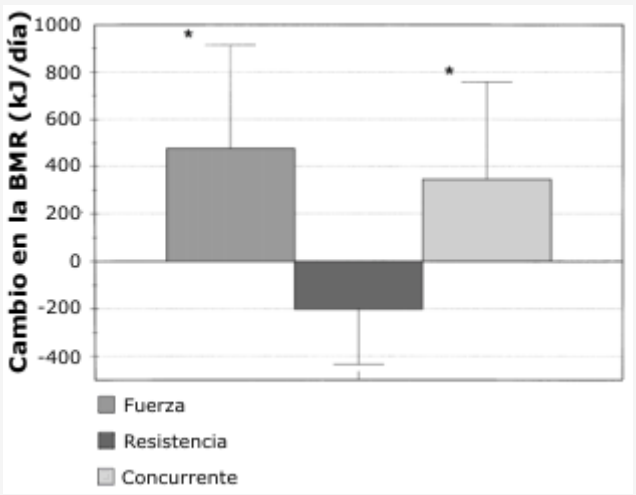


Figura 3. *Cambio en la BMR (kJ/día) para los grupos que entrenaron la fuerza, la resistencia y concurrente. * Significativamente diferente del grupo que entrenó la resistencia (p<0.001).*

Nosotros fuimos capaces de identificar solo un estudio en el cual se midió la RMR en un grupo de sujetos, mientras realizaban un entrenamiento concurrente durante 12 semanas. Whatley et al. (30) concluyeron que un gran volumen de entrenamiento de la resistencia en combinación con entrenamiento de la fuerza en adición a una dieta con una ingesta

energética muy baja puede incrementar las pérdidas de masa corporal y del BF en mujeres obesas. Sin embargo, no pudieron averiguar si la combinación del entrenamiento de la resistencia y el entrenamiento de la fuerza producían un efecto positivo sobre la RMR y si preservaba la FFM. En nuestro estudio, la realización de un entrenamiento concurrente durante 10 semanas indujo cambios favorables en la masa corporal, así como también incrementos en la BMR, los cuales ayudan a controlar el peso.

Se halló una fuerte correlación entre los cambios en la FFM y la BMR durante las 10 semanas de entrenamiento. Cuando se combinaron los datos de los tres grupos, se halló una correlación significativa entre los cambios en los valores de la FFM y de la BMR desde el pre- al post-entrenamiento ($r=0.74$, $p<0.01$). Estos hallazgos concuerdan con los reportes en donde se ha mostrado que la FFM es el factor determinante intrínseco principal de la BMR (3, 26, 29). Pratley et al. (21) hallaron que el entrenamiento de la fuerza en hombres ancianos saludables incrementaba la BMR, y esto fue acompañado por un incremento en la FFM. El intenso entrenamiento de la fuerza periodizado realizado por los grupos RT y CT en nuestro estudio probablemente promovió la hipertrofia de los músculos esqueléticos, lo cual produjo una elevación de la BMR por medio del incremento en la cantidad total de tejido metabólicamente activo (i.e., FFM). Se ha demostrado que, mientras que el incremento en la BMR con el entrenamiento de la fuerza puede ser explicado por el incremento concomitante en la FFM, la elevación de la BMR hallada con el entrenamiento de la resistencia parece estar parcialmente mediada por el incremento en la tasa de actividad por kilogramo de tejido (29). Sin embargo, en este estudio cuando la BMR fue normalizada por la FFM ($kJ.kg\ FFM^{-1}.h^{-1}$) no se observaron incrementos significativos en la BMR en ninguno de los tres grupos, y de hecho hubo una ligera y no significativa reducción de la BMR en el grupo ET. Este hallazgo no es consistente con muchas de las teorías que han propuesto diferentes mecanismos para el incremento inducido por el ejercicio en la BMR relativa a la FFM. Entre estas teorías se incluyen el incremento en la concentración de hormonas metabólicas (e.g., cortisol, catecolaminas, y hormonas tiroideas), el incremento en la actividad de varias reacciones enzimáticas y de sistemas de transporte, el incremento en el flujo de sustratos, la reparación de traumas inducidos por el ejercicio, y el incremento en la síntesis de proteínas (1, 19).

Nosotros especulamos que los incrementos absolutos en la BMR (kJ/día) hallados en los grupos RT y CT y la reducción en la BMR observada en el grupo ET pueda simplemente reflejar las ganancias y pérdidas de FFM, respectivamente. Si bien hubo una disminución no significativa en la FFM en el grupo ET a lo largo de las 10 semanas que duró el estudio, creemos que la disminución en la BMR puede ser atribuida a la pérdida de FFM. Esto se evidenció por la elevación del nitrógeno de la urea urinaria en el grupo ET a lo largo de las 10 semanas del estudio (Figura 2). Las fluctuaciones en la FFM pueden ser seguidas por las mediciones en los cambios en el nitrógeno de la urea urinaria. Debido a que en los humanos, la urea es el principal producto metabólico que contiene nitrógeno derivado del catabolismo proteico, la degradación de la FFM produce una liberación de nitrógeno derivado del amoniaco que causa una elevación del nitrógeno de la urea urinaria (24). Aunque los niveles de nitrógeno de la urea urinaria no se incrementaron significativamente luego de días consecutivos de trote, Kolkhorst et al. (14) observaron un balance total de nitrógeno reducido luego de la realización de ejercicios, de lo cual se puede inferir que hubo una mayor degradación de FFM. En un estudio clínico llevado a cabo con pacientes que se recuperaban de una cirugía de baypass en las arterias coronarias, Shaw et al. (24) mostraron incrementos en nitrógeno de la urea urinaria que acompañaba a la perdida de FFM luego de los primeros días de reposo en cama. De manera similar, en nuestro estudio los niveles elevados de nitrógeno de la urea urinaria observados en el grupo ET fueron consistentes con pérdidas no significativas de FFM; por lo que nosotros creemos que esta reducción en la FFM puede explicar al menos parcialmente la reducción concomitante en la BMR.

Con respecto a otros cambios en la composición corporal, los tres grupos tuvieron reducciones en el BF a lo largo de las 10 semanas de entrenamiento, y solo se observaron reducciones en la FM en los grupos ET y CT. Melby et al. (17) especularon que el ejercicio de sobrecarga intenso puede ser beneficioso para el control del peso, no solo debido al costo calórico directo del ejercicio y a la elevación residual aguda de la BMR, sino también debido a la mayor oxidación de grasas post-ejercicio. Aunque el grupo RT en nuestro estudio mostró una reducción no significativa en la FM a lo largo de las 10 semanas de entrenamiento, cuando se combinó el entrenamiento de fuerza con el entrenamiento de resistencia (grupo CT), la reducción en la FM y en el BF se volvió significativa. Esta mayor pérdida de peso puedo haberse debido a la mayor cantidad de trabajo (e.g., entrenamiento de fuerza y resistencia en comparación con entrenamiento de fuerza por si solo), y de manera similar a la hipótesis planteada por Whatley et al. (30) en su estudio, a que el costo energético adicional del ejercicio pudo haber sido cubierto por un incremento en la oxidación de las grasas.

Fuerza Muscular y Potencia Aeróbica

Los resultados del presente estudio y los de otros estudios (2, 5, 8-13, 15, 16, 18, 22, 23) indican que el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia induce incrementos en la fuerza muscular y en la potencia aeróbica. Sin embargo, los incrementos en la potencia aeróbica y en la fuerza muscular de aquellos sujetos que realizan un entrenamiento concurrente fueron de menor magnitud que los inducidos por el entrenamiento por si solo de la resistencia y de la fuerza, respectivamente. Además, la realización de un entrenamiento solo de resistencia no incrementó la fuerza muscular, mientras que el entrenamiento de la fuerza mejoró la fuerza muscular pero no la potencia aeróbica.

Si bien los investigadores han propuesto que el entrenamiento simultáneo parece comprometer las mejoras en la fuerza más que las mejoras en la resistencia, cuando ambos modos de entrenamiento incluyen los mismos grupos musculares (5, 8, 13, 18, 23), fue interesante observar que en este estudio se halló lo opuesto. Esto es, las mejoras en el VO_2máx. se vieron más comprometidas que las mejoras en la fuerza del tren inferior en el grupo CT. La atenuación en la mejora del VO_2máx. en el grupo CT, cuando se la comparó con la mejora provocada por el entrenamiento solo de resistencia, puede ser explicada por las interferencias halladas en las adaptaciones al entrenamiento de la fuerza, las cuales pueden incluir hipertrofia de las fibras musculares e incremento de las proteínas contráctiles, con la reducción asociada en la densidad capilar y mitocondrial (2, 9, 16, 22). A la inversa, la teoría de que el entrenamiento de la resistencia puede impedir el desarrollo de la fuerza debido a la promoción de la densidad capilar, del volumen mitocondrial, de la actividad de las enzimas oxidativas y la reducción en el tamaño de las fibras (2, 9, 16, 22), no fue consistente con nuestros datos. En conclusión, los hallazgos de este estudio muestran que 10 semanas de entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia tienen efectos benéficos sobre el gasto energético y la pérdida de peso. Si bien ha sido extensivamente demostrado que un modo único de entrenamiento, tal como el entrenamiento de la resistencia o de la fuerza, incrementa la capacidad aeróbica y la fuerza muscular, respectivamente, en este estudio el entrenamiento concurrente produjo un incremento de ambas variables, aunque este incremento fue de menor magnitud. Además, si bien el entrenamiento de la fuerza solo, induce un incremento en la FFM con un incremento concomitante en la RMR, y el entrenamiento de la resistencia solo, induce pérdidas del BF y de la FM, el entrenamiento concurrente compartió todos estos beneficios, y por lo tanto provee de una estrategia más efectiva de ejercicio cuando los que se desea es la pérdida de peso.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los sujetos que participaron en el estudio por dar su tiempo y esfuerzo, y a Matt Comeau, Rhonda Stein, Mark Haub, Cynthia Schroeder Greg Haff, y Chris Thompson por su ayuda en la recolección de los datos.

Nota al pie

Este estudio fue respaldado por una Beca para la Investigación otorgada por la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento (National Strength and Conditioning Association).

Dirección para el pedido de reimpresiones

J. A. Potteiger, Dept. of Health, Sport, and Exercise Sciences, 101 Robinson Center, Lawrence, KS 66045-2348, (correo electrónico: japott@ukans.edu).

REFERENCIAS

1. Ballor, D. L., and E. T. Poehlman (1992). Resting metabolic rate and coronary-heart-disease risk factors in aerobically and resistance-trained women. *Am. J. Clin. Nutr. 56: 968-974*
2. Bell, G. J., S. R. Petersen, J. Wessel, K. Bagnall, and H. A. Quinney (1991). Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *Int. J. Sports Med. 12: 384-390*
3. Bogardus, C., S. Lillioja, E. Ravussin, W. Abbott, J. K. Zawadzki, A. Young, W. C. Knowler, R. Jacobowitz, and P. P. Moll (1986). Familial dependence of the resting metabolic rate. *N. Engl. J. Med. 315: 96-100*
4. Broeder, C. E., K. A. Burrhus, L. S. Svanevik, and J. H. Wilmore (1992). The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *Am. J. Clin. Nutr. 55: 802-810*
5. Dudley, G. A., and R. Djamil (1985). Incompatibility of endurance and strength training modes of exercise. *J. Appl. Physiol. 59: 1446-1451*
6. Dudley, G. A., and S. J. Fleck (1987). Strength and endurance training: are they mutually exclusive?. *Sports Med. 4: 79-85*
7. Fleck, S. J., and W. J. Kraemer (1988). Resistance training: physiological responses and adaptations. *Physician Sportsmed. 16: 108-124*
8. Hennessy, L. C., and A. W. S. Watson (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J. Strength Cond. Res. 8: 12-19*
9. Hickson, R. C (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol. 45: 255-269*
10. Hickson, R. C., B. A. Dvorak, E. M. Gorostiga, T. T. Kurowski, and C. Foster (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J. Appl. Physiol. 65: 2285-2290*
11. Hickson, R. C., M. A. Rosenkoetter, and M. M. Brown (1980). Strength training effects on aerobic power and short term endurance. *Med. Sci. Sports Exerc. 12: 336-339*
12. Hortobagyi, T., F. I. Katch, and P. F. LaChance (1991). Effects of simultaneous training for strength and endurance on upper and lower body strength and running performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness 31: 20-30*

13. Hunter, G., R. Demment, and D. Miller (1987). Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *J. Sports Med. Phys. Fitness 27: 269-275*
14. Kolkhorst, F. W., B. R. Londeree, and T. R. Thomas (1994). Effects of consecutive exercise days of jogging or cycling on the resting metabolic rate and nitrogen balance. *J. Sports Med. Phys. Fitness 34: 343-350*
15. Kraemer, W. J., J. F. Patton, S. E. Gordon, E. A. Haraman, M. R. Deschenes, K. Reynolds, R. U. Newton, N. T. Triplett, and J. E. Dziados (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol. 78: 976-989*
16. McCarthy, J. P., J. C. Agre, B. K. Graf, M. A. Pozniak, and A. C. Vailas (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc. 27: 429-436*
17. Melby, C., C. Scholl, G. Edwards, and R. Bullough (1993). Effect of acute resistance exercise on postexercise energy expenditure and resting metabolic rate. *J. Appl. Physiol. 75: 1847-1853*
18. Nelson, G. A., D. A. Arnell, S. F. Loy, L. J. Silvester, and R. K. Conlee (1990). Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys. Ther. 70: 287-294*
19. Poehlman, E. T (1989). A review: exercise and its influence on resting energy metabolism in man. *Med. Sci. Sports Exerc. 21: 515-525*
20. Pollock, M. L., L. Garzarella, and J. E. Graves (1995). The measurement of body composition. *In: Physiological Assessment of Human Fitness, edited by P. J. Maud, and C. Foster. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 167-204*
21. Pratley, R., B. Nicklas, M. Rubin, J. Miller, A. Smith, M. Smith, B. Hurley, and A. Goldberg (1994). Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *J. Appl. Physiol. 76: 133-137*
22. Sale, D. G., I. Jacobs, J. D. MacDougall, and S. Garner (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc. 22: 348-356*
23. Sale, D. G., J. D. MacDougall, I. Jacobs, and S. Garner (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *J. Appl. Physiol. 68: 260-270*
24. Shaw, D. K., D. T. Deutsch, P. M. Schall, and R. J. Bowling (1991). Physical activity and lean body mass loss following coronary artery bypass graft surgery. *J. Sports Med. Phys. Fitness 31: 67-74*
25. Siri, W. E (1961). Body composition from fluid spaces and density. *In: Techniques for Measuring Body Composition, edited by J. Brozek, and A. Henschel. Washington, DC: National Academy of Sciences, p. 223-244*
26. Sjodin, A. M., A. H. Forslund, K. R. Westerterp, A. B. Andersson, J. M. Forslund, and L. M. Hambraeus (1996). The influence of physical activity on BMR. *Med. Sci. Sports Exerc. 28: 85-91*
27. Stone, M. H., K. Pierce, R. Goosen, G. D. Wilson, D. Blessing, R. Rozenek, and J. Chromiak (1987). Heart rate and lactate levels during weight training exercise in trained and untrained men. *Physician Sportsmed. 15: 97-105*
28. Thompson, J. L., M. M. Manore, and J. R. Thomas (1996). Effects of diet and diet-plus-exercise programs on resting metabolic rate: a meta-analysis. *Int. J. Sport Nutr. 6: 41-61*
29. Weinsier, R. L., Y. Schutz, and D. Bracco (1992). Reexamination of the relationship of resting metabolic rate to fat-free mass and to the metabolically active components of fat-free mass in humans. *Am. J. Clin. Nutr. 55: 790-794*
30. Whatley, J. E., W. J. Gillespie, J. Honig, M. J. Walsh, A. L. Blackburn, and G. L. Blackburn (1994). Does the amount of endurance exercise in combination with weight training and a very-low-energy diet affect resting metabolic rate and body composition?. *Am. J. Clin. Nutr. 59: 1088-1092*

Cita Original

Dolezal Brett A. and Jeffrey A. Potteiger. Concurrent Resistance and Endurance Training Influence Basal Metabolic Rate in Nondieting Individuals. J Appl Physiol; 85: 695-700, 1998.