

EFECTOS DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA-RESISTENCIA SOBRE LOS NIVELES DE RESISTENCIA

Cuadrado, G.; De Benito, A. M.; Sedano, S.; Izquierdo, J. M.;
Redondo, J. C.; Granado, J. C.

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de León

RESUMEN

El presente estudio pretende comprobar que el trabajo aislado de la fuerza resistencia en miembros inferiores produce una mejora de los niveles de resistencia, en términos tanto de potencia como de capacidad aeróbica, optimizando así el entrenamiento de la fuerza para pruebas de resistencia de media y larga duración. Para ello, veinte sujetos participaron en el estudio, dividiéndose de forma aleatoria en dos grupos: grupo control (GC) (n=10) y grupo experimental (GE) (n=10) el cual llevó a cabo un entrenamiento de fuerza resistencia extensivo por intervalos, de diez semanas de duración. Los resultados obtenidos muestran que este tipo de entrenamiento es efectivo para mejorar el rendimiento en una prueba de resistencia aeróbica para sujetos físicamente activos, gracias a la mejora de la capacidad aeróbica, de la fuerza máxima dinámica, elástico explosiva y elástico explosivo reactiva y a la disminución de los niveles de grasa, sin aumento de la masa muscular.

Palabras clave: Entrenamiento, fuerza-resistencia, capacidad aeróbica, antropometría.

ABSTRACT

The purpose of the current study was to determine whether a strength endurance training program of lower limbs isolate can increase endurance levels, both aerobic capacity and aerobic power, in order to adapt the strength training for endurance races. 20 physically active men participated in the study. They were divided into two groups: control group (GC) (n=10) and experimental group (GE) (n=10). GE carried out a strength endurance training program for ten weeks. Results obtained showed that this type of training regime was useful to improve the performance in an aerobic endurance test. This could be due to an improvement in aerobic capacity, maximal dynamic strength, explosive strength and reactive strength. Moreover, there was a decrease in fat mass without increase in muscle mass.

Key words: Training, strength endurance, aerobic capacity, anthropometry.

Correspondencia:

Gonzalo Cuadrado Sáenz
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
Campus de Vegazana, s/n. CP 24007. León
gonzalo.cuadrado@unileon.es

Fecha de recepción: 22/02/2008

Fecha de aceptación: 12/02/2009

INTRODUCCIÓN

Los estudios en el mundo del deporte se centran en encontrar nuevas posibilidades de mejora del rendimiento, por lo que existe una continua revisión del proceso de entrenamiento por parte de investigadores y técnicos.

Desde el punto de vista del rendimiento físico, el desarrollo de la fuerza es uno de los factores determinantes del rendimiento deportivo (González Badillo, 2000). La producción y el incremento de la fuerza dependen principalmente de los procesos neuromusculares (Higbie et al., 1996; Häkkinen et al., 1998a), por lo que, para que esta capacidad física llegue a su máxima expresión no se necesita que el tamaño del músculo sea muy grande, sino que se coordinen los procesos para que los músculos se contraigan eficazmente gracias a una sincronizada estimulación nerviosa, siendo ésta la base para cualquier entrenamiento de fuerza (Higbie et al., 1996; Häkkinen et al., 1998a). La mayoría de los estudios relacionados con esta capacidad han dirigido sus intereses a conocer los efectos que produce el entrenamiento de la misma en el cuerpo humano (González Badillo y Gorostiaga, 1995). Así se ha llegado a la conclusión de que las diversas respuestas del organismo al entrenamiento, se deben a las particularidades del método desarrollado en la práctica y a las características de la persona que efectúa dicho entrenamiento (Granado, 2006).

En la bibliografía disponible existen pocos estudios que avalen la influencia que tiene el trabajo aislado de la fuerza resistencia en el rendimiento en pruebas de resistencia de media y larga duración, ya que la mayor parte de ellos se han centrado en comprobar cómo el entrenamiento simultáneo de la fuerza y la resistencia son compatibles y mejoran el rendimiento de dichas disciplinas (Hickson et al., 1988; Hortobagyi et al., 1991; Paavolainen et al., 1999; Bell et al., 2000).

Con el presente estudio se pretende comprobar que el trabajo aislado de la fuerza resistencia en miembros inferiores produce una mejora de los niveles de resistencia, en términos tanto de potencia como de capacidad aeróbica, optimizando así el entrenamiento de la fuerza para pruebas de resistencia de media y larga duración. También se intenta comprobar cómo una elevación del umbral de lactato puede ser causa de la mejora del rendimiento. Por otro lado, teniendo en cuenta que el VO₂máx en los atletas de alto nivel muestra un rango de variación muy pequeño y las modificaciones que se pueden conseguir con el entrenamiento son mínimas (Sutton, 1992; Cuadrado, 1997), se intentó comprobar si el trabajo de fuerza resistencia influía en la capacidad para mantener el rendimiento durante una prueba, ya que el desarrollo de la resistencia depende en gran medida de la especialización funcional de los músculos esqueléticos, es decir, del aumento de la capacidad de fuerza y de su capacidad oxidativa (Verkhosansky, 1990). Además del aumento de estas dos capacidades, una condición importante para el desarrollo de la llamada resistencia muscular local está representada

por la redistribución del flujo sanguíneo (Verkhosansky, 1990) y por la mejoría de las reacciones vasculares locales (Andersen y Henriksson, 1977; Sinoway et al. 1987).

El interés que puede ofrecer este estudio se centra por tanto, en el análisis de un método de entrenamiento de fuerza resistencia de forma aislada, evitando interferencias de otras capacidades, principalmente de la propia resistencia. Para ello se han controlado aquellas variables que podrían afectar al resultado: frecuencia semanal de entrenamiento, volumen de trabajo (series y repeticiones), recuperación entre series y entre ejercicios y la velocidad de ejecución.

En consecuencia, como objetivo general se pretendía determinar si el entrenamiento de la fuerza resistencia aislado era efectivo en la mejora del rendimiento aeróbico, por aumento de los umbrales aeróbicos y anaeróbicos y por la mejora en la aclaración del lactato en sujetos físicamente activos (estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte). Como objetivos secundarios, se planteaban valorar la resistencia aeróbica y anaeróbica mediante un test en tapiz rodante, estimar la fuerza elástico-explosiva, elástico-explosivo-reactiva y máxima dinámica de los miembros inferiores a través de test indirectos y comprobar la influencia del trabajo de fuerza resistencia en la variación de los pliegues cutáneos y los perímetros también de los miembros inferiores.

MÉTODO

Participantes

La muestra estaba compuesta por veinte sujetos varones, estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, que no llevaban a cabo ningún programa de acondicionamiento físico estandarizado. Los sujetos participaron de forma voluntaria en el estudio, aportando su consentimiento informado tras conocer los objetivos y la metodología a utilizar.

Los participantes se distribuyeron aleatoriamente en dos grupos:

- Grupo control (GC) (n=10): (20,7±0,6 años / 76,9±10,6 kg / 174,2±2,4 cm). Los componentes de este grupo no realizaron ningún tipo de actividad física programada durante las diez semanas que duró el estudio.
- Grupo experimental (GE) (n=10): (20,4±0,7 años / 68,5±10,0 kg. / 171,2±3,1 cm.). Los componentes de este grupo llevaron a cabo un entrenamiento de fuerza resistencia durante diez semanas, cuyas características se explican más adelante.

Procedimiento

El cuestionario era entregado a los usuarios unos días antes de concluir los cursos, y debía ser cumplimentado por los padres, excepto para los cursos de Avanzado y Adultos, donde contestaban los propios usuarios. El motivo de que fueran los pa-

dres, y no los niños, los que contestaran al cuestionario dirigido a los usuarios más jóvenes, se justifica por el hecho de que en esas edades los niños no tienen el peso suficiente en la decisión de consumir el servicio, ni la capacidad crítica para valorar las cuestiones planteadas.

Los cuartiles de la distribución de edad de respuestas fueron de 31, 35 y 38 años para la primera muestra, y de 32, 36 y 41 años para la tercera, careciendo de datos para la segunda muestra. No obstante, y dado que el procedimiento de administración de cuestionarios fue el mismo para los tres estudios, es plausible suponer que la distribución de edad para la segunda muestra esté comprendida en valores similares.

Material e instrumentos de medida

- Antropométricos/Antropometría:
 - Cinta métrica flexible, (0 a 150 cm; precisión de 0,1 cm)
 - Tallímetro Animobel S.A. incorporado a la báscula, (80 a 200 cm, precisión de 0,5 cm. La báscula tenía un rango de medición entre 0 y 150 kg y una precisión de 0,1 kg.
 - Plicómetro Holtain® (British Indicators Ltd.), (0 a 40 mm, precisión de 0,2 mm).
- Fuerza:
 - Plataforma de contacto Sportjump System® conectada a un ordenador portátil Pentium IV con el sistema operativo Windows® XP y el software SportJUMP 2.0® diseñado específicamente para el registro y análisis de los datos procedentes de la plataforma.
 - Goniómetro manual.
 - Máquinas para ejercicios de fuerza marca Telju®: Prensa horizontal, extensión de rodilla (cuádriceps), femoral de pie y gemelos de pie.
- Variables metabólicas y respiratorias:
 - Tapiz rodante: h/p Cosmos® pulsar 3p 4.0 con una superficie de carrera de 190 x 65 cm, un rango de velocidad de 0 a 40 km/h con posibilidad de incrementar la velocidad en 0,1 km/h y una pendiente graduable entre -25 y +25 %, (Figura 1).
 - Analizador de gases y espirómetro Jaeger Oxycon Pro® con calibrador neumotacógrafo Sormedics Corporation 3 liter calibrated syringe-D.
 - Electrocardiógrafo Cambridge® MC 6006.
 - Analizador de lactato Roche Diagnostics®, Cobas Integra 400.
 - Ordenador Fujitsu-Siemens® Celsius R Series, con el software h/p/cosmos® para análisis 2.0 professional cos 14708 y con el programa estadístico SPSS® 13.0 para Windows®.



FIGURA 1. Sujeto del grupo de entrenamiento en la prueba de tapiz rodante.

Descripción de los protocolos de medición

Cada prueba de valoración fue efectuada siempre por el mismo evaluador experimentado y siempre en el mismo orden, con el objetivo de asegurar la validez y fiabilidad de las mediciones. De la misma manera, todos los instrumentos de medida se calibraron antes del inicio de las sesiones de evaluación.

- Variables antropométricas:

Siguiendo los protocolos de medidas antropométricas establecidos por el Grupo Español de Cineantropometría (G.R.E.C.), (Esparza et al., 1993) se tomaron las siguientes medidas: Masa corporal, dos pliegues en cada miembro (muslo anterior y medial de la pierna) y dos perímetros en cada miembro (medial del muslo y pierna).

- Variables metabólicas y respiratorias:

Para el cálculo de este tipo de variables se utilizó un test maximal progresivo en rampa, en concreto el Test del CSD (protocolo de Manuel Rabadán) reseñado en diferentes publicaciones (Rabadán y cols. 1991; Vaquera y cols., 2002). Dicho test comenzaba con un calentamiento de dos minutos a una velocidad de 4 km/h. Posteriormente se iniciaba el test a 6 km/h con una pendiente del 1% de desnivel, aumentándose progresivamente la velocidad en una proporción de 0,25 km/h cada 15 segundos. Una vez superado el minuto trece, además de continuar aumentándose la velocidad, se incrementaba

también la pendiente en 0.25° cada 15 segundos. Se tomaron datos referentes al $VO_{2\text{máx}}$, tiempo de prueba, velocidad máxima alcanzada, frecuencia cardiaca (FC), dinámica del lactato (se efectuaron tomas de lactato a los minutos 1, 3, 5 y 10 después de finalizar los tests) y los relacionados con el umbral anaeróbico: velocidad de desplazamiento en ese punto (V km/h) y pulsaciones en ese punto (FC p/min).

■ Variables de fuerza:

Por un lado se calculó la fuerza dinámica máxima (FDM) en los ejercicios de prensa horizontal, gemelos, femoral de pie y extensión de rodilla (cuádriceps) a través de la fórmula propuesta por Brzycki en 1993: $\%IRM = 102,78 - 2,78 \times \text{repeticiones hasta fallo}$.

Por otro lado, se midió la fuerza elástico-explosivo-reactiva de los participantes utilizando las pruebas de “counter movement jump” (CMJ) y la fuerza-resistencia a través del test “repeated jump” en treinta segundos (RJ30”) siguiendo los protocolos establecidos en la batería de Bosco (Bosco, 1994).

Antes de efectuar este tipo de pruebas, los sujetos efectuaban un calentamiento estandarizado dirigido por un Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Descripción del entrenamiento

El entrenamiento tuvo una duración de diez semanas, con una frecuencia semanal de tres sesiones, en días alternos. La duración media de la sesión era de 40 minutos aproximadamente, incluyendo el calentamiento y la vuelta a la calma. El entrenamiento fue dirigido siempre por el mismo técnico, que se encargaba de verificar que el protocolo se llevara a cabo correctamente. La carga era controlada cada dos semanas, para ir ajustando el trabajo a la intensidad de trabajo planteado en el estudio (40% de IRM).

En cada sesión los sujetos realizaban tres series de 30 repeticiones al 40% de IRM, a una velocidad de ejecución 1:1 (se les indicó que la duración de la fase concéntrica fuese idéntica a la de la fase excéntrica), con 30 segundos de descanso entre series y dos minutos entre ejercicios. Las series de cada ejercicio se realizaban de forma seguida, pasando a continuación al siguiente ejercicio, siempre en el mismo orden en que se realizaban los ejercicios los días de test: prensa, gemelos, femoral de pie y cuádriceps.

Descripción de los ejercicios:

- **Prensa:** El sujeto se coloca sentado en el banco, con la espalda pegada totalmente al mismo. Con los pies paralelos, apoyados en la plataforma de empuje y separados ligeramente (15 – 20cm.). Las piernas en flexión forman un ángulo de 90°.

- **Gemelos:** El sujeto se coloca de pie con la carga apoyada en los hombros. Con los pies paralelos, apoyados en la plataforma de que dispone la máquina para apoyarse y favorecer un ángulo de 180° en la articulación de la rodilla que no debe perderse en todo el ejercicio
- **Femoral de pie:** El sujeto se coloca de pie con todo el dorso apoyado en un acolchado y las manos sujetas en dos asas. Se coloca un pie en la plataforma de la máquina sin moverse y el otro pie, en la palanca de la máquina para hacer el ejercicio de flexión de pierna por detrás. Se debe intentar llegar lo más alto posible.
- **Cuádriceps:** el sujeto se coloca sentado en el asiento con la espalda totalmente pegada al banco. Los pies colocados a la altura de las tibias en cada una de las almohadillas que dispone la máquina para efectuar el ejercicio. Las manos agarran dos asas laterales al banco.

Análisis Estadístico

Para determinar la normalidad de la muestra se empleó la prueba no paramétrica “Test Z de Kolmogorov – Smirnov” (K-S).

Se hallaron la media y la desviación típica en el análisis descriptivo para cada una de las variables.

Para comprobar si existían diferencias significativas en el nivel de partida en las distintas variables entre grupos, se efectuó el análisis de varianza de un solo factor (ANOVA).

A continuación se sometió a los datos a la prueba *t* de Student para muestras relacionadas con un intervalo de confianza del 95%, para determinar la diferencia existente entre las variables antes y después de la intervención

RESULTADOS

El test de Kolmogorov-Smirnov indica que se debe aceptar la normalidad de la muestra, para todas las variables estudiadas, puesto que en todos los casos se obtuvo una $p > 0.05$.

ANOVA reveló que no existían diferencias significativas entre grupos en ninguna de las variables, antes de iniciar el proceso de entrenamiento (línea base).

A continuación se hace referencia al análisis comparativo efectuado en cada variable. Las diferencias son significativas cuando $p < 0.05$.

Variables antropométricas

En la tabla 1 se recogen los datos obtenidos en ambos grupos en las variables antropométricas, antes y después del entrenamiento. En ella se puede observar que el

GC no presenta diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables antropométricas estudiadas. En cuanto al GE, la masa corporal no muestra modificaciones a lo largo del estudio y los perímetros aumentan de forma muy suave sin que existan diferencias significativas entre los valores antes y después del entrenamiento. Por su parte, en el caso de los pliegues cutáneos, sí que aparecen diferencias estadísticamente significativas en ambas piernas. En esta última variable se obtuvieron disminuciones de 3,30 y 2,67 cm. en los gemelos y de 5,98 y 5,88 cm. en los muslos (derechos e izquierdos, respectivamente).

El hecho de que no existan cambios ni en la masa corporal ni en los perímetros pero sí en los pliegues cutáneos, podría interpretarse como un aumento de la sección transversal de los músculos.

TABLA 1
Resultados obtenidos en variables antropométricas en GC y GE
antes y después del entrenamiento

Variables Antropométricas							
Variable		Grupo	Pre (media ± DT)	Post (media ± DT)	F	P	
Masa corporal		GC	76,8±10,5	76,7±10,3	1.212	0.604	
		GE	68,5±10,0	68,4±9,9	2.145	0.934	
Perímetros (cm)	Gemelos	D	GC	37,5±1,7	37,7±2,2	3.001	0.598
			GE	37,8±2,8	38,1±2,6	3.003	0.219
		I	GC	37,6±2,0	37,5±1,9	2.967	0.524
			GE	37,8±2,9	38,2±2,5	1.776	0.15
	Muslo	D	GC	54,9±1,7	55,4±2,2	1.983	0.598
			GE	52,4±4,4	52,9±3,4	2.356	0.535
		I	GC	54,2±2,0	54,2±1,9	3.412	0.524
			GE	51,5±3,9	52,3±3,3	2.999	0.178
Pliegues (mm)	Gemelos	D	GC	14,3±4,2	14,5±3,9	2.657	0,121
			GE	16,9±7,4	13,6±5,7	11.345	0.00*
		I	GC	14,5±4,2	14,5±4,2	0.121	0.916
			GE	18,7±8,3	16,1±7,0	7.879	0.013*
	Muslo	D	GC	23,9±5,6	23,7±5,6	3.114	0.512
			GE	28,2±8,3	22,3±6,7	9.672	0.00*
		I	GC	24,3±6,0	24,4±2,2	2.163	0.542
			GE	28,4±8,2	22,5±7,6	10.213	0.00*

* Diferencia estadísticamente significativa: $p < 0.05$

Variables metabólicas y respiratorias

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en variables metabólicas y respiratorias en ambos grupos, antes y después de la intervención. En el GC se observa que tras las diez semanas el umbral anaeróbico se alcanza con mayores pulsaciones y se produce una mejora estadísticamente significativa en la velocidad alcanzada a nivel de umbral anaeróbico. El resto de variables permanecen sin cambios. Por otra parte, en los sujetos del GE se registraron diferencias significativas en los parámetros de tiempo (duración del test) con un aumento de 1.13 minutos; velocidad máxima aumentando en 1.15 km/h.; consumo de oxígeno relativo que aumentó 1.67 ml/min/kg.; lactacidemia (a los 1, 3, 5 y 10 minutos con aumentos de 2.73; 2.70; 2.76 y 2.30 mM/l respectivamente) y velocidad a la que aparece el umbral anaeróbico, aumentando 0.8 km/h.

TABLA 2
Resultados obtenidos en variables metabólicas y respiratorias en GC y GE antes y después del entrenamiento

Variables Metabólicas y Respiratorias						
Variable		Pre Grupo	Post (media ± DT)	(media ± DT)	F	P
T. máx. (min)		GC	14,4±1,4	14,6±1,5	3.298	0.450
		GE	12,7±2,4	13,9±2,1	12.444	0.000*
V. máx. (km/h)		GC	16,4±1,0	16,7±1,3	3.413	0.527
		GE	14,9±2,3	16,0±2,1	9.897	0.00*
VO ₂ máx	Rel. (ml/kg/min)	GC	53,4±6,8	53,4±6,8	0.999	1.00
		GE	46,1±6,8	47,8±7,1	10.213	0.001*
	Abs. (ml/min)	GC	3477,4±1532,9	4223±669,8	2.109	0.341
		GE	3189,3±759,6	3311,5±799,3	9.478	0.007*
Lactato (mmol/l/min)	1 min	GC	11,2±2,2	10,2±3,5	2.222	0.379
		GE	9,1±2,2	11,8±1,8	9.379	0.001*
	3 min	GC	11,4±2,5	9,7±3,1	1.247	0.175
		GE	9,1±2,0	11,8±2,2	10.000	0.001*
	5 min	GC	11,8±3,1	9,7±3,1	2.100	0.163
		GE	9,2±2,0	11,9±1,7	11.027	0.001*
	10 min	GC	10,7±3,4	8,4±2,7	2.222	0.92
		GE	8,7±2,1	11,0±1,9	8.481	0.008*
Umbral Anaeróbico	FC (p/min)	GC	187,1±9,9	183,7±8,8	0.398	0.066
		GE	176,5±3,7	179,1±5,0	7.882	0.057
	V (km/h)	GC	13,9±1,5	13,8±1,3	0.111	0.923
		GE	12,5±1,9	13,3±1,8	12.354	0.000*

* Diferencia estadísticamente significativa: p<0.05

Variables de fuerza explosiva

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en ambos grupos en variables de fuerza explosiva antes y después de la intervención. En el GC se produce una disminución de los registros tras las diez semanas de entrenamiento, tanto en CMJ como RJ30". Sin embargo, los resultados obtenidos en el GE muestran una tendencia al aumento de los parámetros relativos al tiempo de vuelo (+20.0ms) y a la altura de vuelo (+102.7mm) del CMJ, siendo ambos estadísticamente significativos. Esta tendencia confirma que los sujetos entrenados alcanzaron una mejora de la fuerza explosiva después del entrenamiento de fuerza resistencia. Además, en la prueba RJ30" existe una tendencia a aumentar en los tres parámetros recogidos, aunque no todos ellos ofrecen diferencias estadísticamente significativas. Por ejemplo, en la altura de vuelo se produjo un aumento significativo de 21,0 mm y en la potencia media de 4,42W. Por su parte, el número de saltos medio, a pesar de haber aumentado, no lo hizo de forma estadísticamente significativa.

TABLA 3
Resultados obtenidos en variables de fuerza explosiva en GC y GE
antes y después del entrenamiento

Variables de Fuerza Explosiva						
Variable		Grupo	Pre (media ± DT)	Post (media ± DT)	F	P
CMJ	T (ms)	GC	545,9±24,1	543,9±31,5	2.111	0.807
		GE	480,1±45,8	500,1±44,2	10.376	0.002*
	Alt. (mm)	GC	366,1±31,3	360,2±36,2	0.599	0.469
		GE	281,2±52,0	303,6±49,2	7.856	0.012*
RJ30"	Alt. (mm)	GC	276,9±28,6	272±34,1	0.651	0.469
		GE	228,6±45,1	249,6±36,5	10.001	0.000*
	Pot. (W)	GC	30±6,5	29,2±7,6	2.198	0.371
		GE	22,9±6,4	27,4±5,4	7.698	0.032*
	Nº saltos	GC	38,6±3,2	38,4±3,7	0.333	0.881
		GE	36,9±6,7	40,2±6,1	2.314	0.125

* Diferencia estadísticamente significativa: p<0.05)

Variables de fuerza máxima

Los resultados obtenidos en variables de fuerza máxima antes y después del entrenamiento se ofrecen en la tabla 4. En GC no se registran diferencias significativas en ningún parámetro, existiendo incluso una disminución de los mismos antes y después del entrenamiento. Por su parte, el GE obtuvo aumentos significativos en los

valores de fuerza máxima para todos los ejercicios. En concreto, nos encontramos con unos aumentos de 38.7 kg. en el ejercicio de prensa horizontal, de 78.1 kg. en el ejercicio de gemelos, de 9.8 kg. y 9.3 kg. en el ejercicio de flexión de rodilla derecha e izquierda respectivamente y de 12.3 kg. en el ejercicio de extensores de rodilla.

TABLA 4
Resultados obtenidos en variables de fuerza máxima en GC y GE
antes y después del entrenamiento

Variables de Fuerza Máxima						
Ejercicio	Grupo	Pre (media ± DT)	Post (media ± DT)	F	P	
Prensa (kg)	GC	225,1±89,1	216,6±57,3	3.524	0.135	
	GE	175,3±52,0	214±55,4	13.121	0.000*	
Flexión plantar (kg)	GC	227,2±28,7	232,7±32,8	7.853	0.052	
	GE	196,3±50,7	274,4±52,9	10.432	0.000*	
Extensión rodilla (kg)	GC	65,4±2,8	65±3,4	0.999	0.457	
	GE	53,8±13,5	66,1±17,3	10.032	0.000*	
Flexión Rodilla (kg)	Dcha.	GC	21,4±6,2	22,2±4,6	2.164	0.578
		GE	19,9±6,6	29,7±7,3	12.331	0.000*
	Izda.	GC	21,1±7,1	20,9±6,9	3.212	0.248
		GE	21±5,7	30,3±7,8	12.002	0.000*

* Diferencia estadísticamente significativa: $p < 0.05$

DISCUSIÓN

Variables antropométricas

Como se ha señalado en el apartado anterior, la masa corporal es estable y no presenta diferencias significativas tras el entrenamiento. Investigaciones previas (Wilmore, 1975; Gettman y Pollock, 1981; Tucker, 1987; Graves et al., 1988) encontraron comportamientos similares en esta variable.

Por otro lado, los perímetros de muslo y pierna tampoco sufrieron modificaciones significativas a lo largo del estudio. A pesar del alto número de contracciones musculares, no hay adaptaciones morfológicas, seguramente debido a la baja intensidad de las cargas característica del método empleado. Esto contrasta con el estudio de Reid et al. (1987) en el que sí se observaron aumentos en los perímetros.

En nuestro caso, se observa una disminución significativa del valor de los pliegues en el GE, no ocurriendo así en el GC. Los estudios revisados muestran cierta controversia en sus resultados, puesto que hay algunos que sí observan disminución de los pliegues cutáneos (Reid et al., 1987; Maiorana et al., 2000), mientras que otros no reflejan ningún cambio significativo de esta variable (Marcinik et al., 1991).

El hecho de que los pliegues cutáneos disminuyan en GE de forma significativa puede explicarse parcialmente por el tipo de entrenamiento utilizado, extensivo por intervalos (Hickson et al., 1984; Reid et al., 1987; Kaikkonen et al., 2000; Stanforth et al., 2000).

Finalmente, y tal como se señaló en el apartado de resultados, es importante destacar que el hecho de que no existan cambios ni en la masa corporal ni en los perímetros pero sí en los pliegues cutáneos, podría interpretarse como un aumento de la sección transversal de los músculos.

Variables Respiratorias y metabólicas

■ VO2 máximo

Los resultados de los test indirectos para el cálculo de VO2máx señalan un incremento significativo en el GE, mientras que en el GC no se han producido mejoras. Esto contrasta con algunos estudios como el de Marcinik (1988) en el que no se observaron aumentos del VO2máx, debido a una baja intensidad de las cargas en el trabajo de fuerza. Paavolainen et al. (1999) observaron mejoras en los resultados de resistencia en 5 kilómetros sin cambios en el VO2máx ni en el umbral láctico ni en otras variables de la potencia aeróbica. Millet et al. (2002) también observan un aumento de las capacidades aeróbicas con un entrenamiento de fuerza con cargas elevadas por un aumento de la fuerza y una mejora de la economía de carrera, pero sin efectos significativos en el VO2máx Mierke (2002) observa pequeños cambios en la capacidad aeróbica aunque sin cambios en el VO2máx especialmente en atletas bien entrenados.

■ Velocidad y Tiempo

Los resultados muestran un aumento significativo en el GE en la velocidad máxima al final del test, mientras que en el GC apenas se observan modificaciones. Estos resultados están íntimamente relacionados con el tiempo máximo hasta el agotamiento, ya que al ser una prueba incremental implica que los que han llegado a una velocidad mayor aguantan más tiempo hasta la extenuación. En referencia al tiempo, se produce una mejora significativa en el GE, mientras que en el GC tampoco se producen cambios significativos. Este resultado se ve corroborado por un estudio de Campos et al. (2003) en el que se comparaban varios grupos de trabajo de la fuerza, siendo el grupo de mayor número de repeticiones el que aumentaba significativamente el tiempo hasta el agotamiento en un test de resistencia. Hickson et al. (1980a) observaron un aumento del tiempo de ejecución de un esfuerzo en bicicleta del 47% y en carrera del 12% después de un entrenamiento de fuerza, a pesar de que no hubo cambios en el VO2máx.

■ Lactato

El comportamiento del ácido láctico en la recuperación también mejora de forma significativa en el GE en todas las tomas, no ocurriendo así en el GC. Esto ocurre

igualmente en el estudio de Marcinik (1988) en el cual se observaba una disminución de la concentración de ácido láctico que se relacionó con una mejora en el reclutamiento de las unidades motrices. Sin embargo Gettman y Pollock (1981) demostraron que los niveles de lactato sanguíneo aumentaron con el trabajo en circuito, sugiriendo un alto contenido anaeróbico al entrenamiento.

- Frecuencia Cardíaca

El comportamiento de la frecuencia cardíaca no ofrece datos significativos en ninguno de los dos grupos. La revisión de artículos sobre este parámetro, no ha dado grandes resultados. Blomqvist y Saltin (1983) comentan que la FC_{máx} generalmente no se modifica con el entrenamiento.

- Umbral Anaeróbico

El umbral anaeróbico (UA) puede ser utilizado como índice de adaptación del músculo esquelético al entrenamiento de resistencia aeróbica, por eso es importante la respuesta de éste tanto en su relación con la velocidad de carrera como con la FC asociada. Respecto al GE se observa un aumento significativo de la velocidad de carrera, lo cual no ocurre en el GC. Para el segundo dato, la FC no muestra diferencias significativas en ninguno de los dos grupos.

Hay que tener en cuenta el hecho de que la mayoría de los estudios, cuando se refieren al UA lo hacen en alusión directa al Umbral láctico lo cual no debe ser directamente comparable al UA hallado en este estudio ya que está establecido por métodos ventilatorios. Aún así observamos como Marcinik (1988) sí que habla de unas mejoras del Umbral láctico después de un entrenamiento de fuerza en circuito, ya que el lactato disminuye por una mejora en la eficiencia del reclutamiento muscular que hace aumentar la fuerza del cuádriceps y por consiguiente, sobrellevar mejor la fatiga.

Por otro lado tenemos estudios como los de Paavolainen et al. (1999) que no encuentran una mejora del umbral láctico a pesar de que observan mejoras en sus resultados en una prueba de 5 km de carrera.

Variables de fuerza

- Fuerza dinámica Máxima (FDM)

Los resultados obtenidos señalan un incremento significativo de la FDM en todos los grupos musculares evaluados en el GE sin observar ningún aumento en los mismos ejercicios dentro del GC. Esto coincide con varios estudios previos (Kaikkonen et al., 2000; Maiorana et al., 2000; Marx et al., 2001).

Una variable fundamental para modular la carga fue el tiempo de recuperación entre los ejercicios, ya que condiciona el tipo de adaptaciones morfofuncionales que se puedan producir. Los tiempos de recuperación han sido de 20, 30 y 40 segundos

(Marcinik et al., 1987; Kaikkonen et al., 2000). El período de recuperación entre series y entre ejercicios afecta directamente al metabolismo muscular (Kraemer, 1987; Hickson et al., 1994; Bell et al., 2000), a las respuestas hormonales (Kraemer, 1987; Häkkinen et al., 1992; Gotshak et al., 1997) y a las respuestas cardiovasculares (Flecco, 1998).

Por otro lado, la velocidad de ejecución de la carga puede ser otro factor que varíe los resultados de ganancia de fuerza, (Poliquin, 1990). Fleck y Kraemer (1997) coinciden en que mover una carga a mayor velocidad incrementa la intensidad de ejercicio, lo que produce una mayor potencia.

La mayoría de los estudios que obtienen una mejora de los resultados en resistencia, la explican como consecuencia del aumento de la fuerza por varias razones: la mejora del reclutamiento de unidades motoras (Hickson et al., 1988; Marcinik, 1988), el aumento de la actividad de las enzimas aeróbicas (Anderson y Kearney, 1982) o bien, la mejora de la capacidad oxidativa muscular, como efecto del aumento del número de mitocondrias y enzimas oxidativas musculares (Reid et al., 1987).

■ Fuerza Explosiva

Los resultados obtenidos señalan un incremento significativo de la Fuerza explosivo-reactiva en el GE tanto en el tiempo como en la altura del CMJ, no ocurriendo lo mismo en el GC. Para la Fuerza elástico-explosiva reactiva, mientras que el GC no presenta ninguna mejora, el GE muestra mejoras significativas en la altura media y en la potencia media para RJ30". El número de saltos no muestra una mejora significativa, aunque sí un incremento ($p=0.125$).

Parece que el 30-40% de 1RM y la velocidad de ejecución 1:1, pueden explicar las mejoras de la Fuerza Explosiva medida a través de las pruebas de CMJ. Sin embargo, estos resultados contrastan con trabajos como el de Chiroso (2003) en el que con cargas del 70-80% a una velocidad de ejecución de 1:2 no obtuvo mejoras en la fuerza explosiva y sí de la FDM. También contrasta con los trabajos de Ostrowski et al. (1997) y Marx et al. (2001), en los que no se obtuvo ninguna mejora después de un entrenamiento de fuerza, ya que el carácter específico de las adaptaciones mostró que cuando se trabajaba a velocidades inferiores a la máxima, la fuerza explosiva no aumentaba.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- a. El entrenamiento de fuerza resistencia extensivo por intervalos es un método efectivo para mejorar el rendimiento en una prueba de resistencia aeróbica para sujetos físicamente activos.

- b. El entrenamiento de fuerza resistencia extensivo por intervalos es un método efectivo para mejorar la fuerza máxima dinámica en sujetos físicamente activos. Un aumento de la fuerza máxima significa que es necesario emplear un porcentaje menor de dicha fuerza máxima para alcanzar el mismo resultado. lo cual supone que es posible mantener por más tiempo la manifestación de la fuerza necesaria o aplicar más en el mismo tiempo, obteniéndose así una mejora de la resistencia a la fuerza.
- c. El entrenamiento de fuerza resistencia extensivo por intervalos es un método efectivo para mejorar la fuerza explosiva elástica y la fuerza explosiva reactivo elástica en sujetos físicamente activos.
- d. El entrenamiento de fuerza resistencia extensivo por intervalos es un método efectivo para mejorar la capacidad física aeróbica (umbral anaeróbico, consumo de oxígeno máximo y dinámica de la recuperación del lactato) en un período de entrenamiento de 8 a 10 semanas, entrenando incluso a intensidades de ejercicio que se pueden considerar como muy suaves ($<2\text{mmol/l}$ de lactato en sangre) en sujetos físicamente activos.
- e. El entrenamiento de fuerza resistencia extensivo por intervalos disminuye los niveles de grasa sin aumentar los perímetros musculares en los miembros inferiores.

Como futuras líneas de investigación, sería muy interesante estudiar si este método de entrenamiento de la fuerza es efectivo y adaptable al entrenamiento habitual de resistencia para atletas de medio fondo y fondo considerados de alto rendimiento.

REFERENCIAS

- ANDERSEN, P.; HENRIKSSON, J. (1977). Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J. Physiol.*, 270(3):677-690.
- ANDERSON, T. Y KEARNEY, J.T. (1982). Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Res. Quar. Exerc. and Sport*, 53, 1-7.
- BÁRÁNY, M. (1967). ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *The J. Gen. Physiol.*, 50, 197-218.
- BELL, G.; SYROTUIK, D.; MARTIN, T.; BURNHAM, R.; QUINNEY, H. A. (2000). The effect of concurrent strength training and endurance training on skeletal muscle properties and hormonal levels. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 81 (5): 418-427.
- BLOMQUIST, C.G.; SALTIN, B. (1983). Cardiovascular adaptations to physical training. *Ann. Rev. Physiol.*, 45, 169-189.
- BOSCO, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Deporte y entrenamiento*. Barcelona. Paidotribo.
- BOSCO, C. (2000). *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. Barcelona. INDE.

- BRZYCKI, M. (1993). Strength testing – predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *J. Phys. Educ., Rec. & Dance*. 64.
- CAMPOS, G.; LUECKE, E.; THOMAS, J.W.; HEATHER, K.T.; KUMIKA, H.; FREDRIK, C.; THOMAS, M.; KERRY, E.R.; NICHOLAS, A.K.; WILLIAM, J.S. (2003). Adaptaciones musculares como respuestas a tres regímenes de entrenamiento de la fuerza: Especificidad de las zonas de entrenamiento de repeticiones máximas. *PubliCE Premium*. Pid: 232.
- CHIROSA, I.J. (2003). *Efecto de dos metodologías de aplicación de una carga submáxima en el entrenamiento de fuerza. El entrenamiento localizado en circuito frente a un régimen de trabajo localizado*. Tesis doctoral. Departamento de Educación Física y deportiva. Universidad de Granada.
- CUADRADO SÁENZ, G. (1997). *Influencia del acondicionamiento físico aeróbico sobre el metabolismo oxidativo hepático*. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- ESPARZA, F.; ALVERO, J.R.; ARAGONÉS, M.T.; CABAÑAS, M.D.; CANDA, A.; CASAJÚS, J.A.; CHAMORRO, M.; GALIANO, D.; GONZÁLEZ, J.M.; PACHECO, J.L.; PORTA, J.; RODRÍGUEZ, F.; TEJEDO, A. (1993). *Manual de Cineantropometría*. Monografías FEMEDE. Navarra.
- FLECK, S.J. (1999). Periodized Strength Training: A Critical Review. *J. Strength Cond. Res.*, 13 (1), 82-89.
- FLECK, S.J. Y KRAEMER, W.J. (1997). *Designing Resistance Training Programs*. 2nd Ed. Champaign. IL: Hum. Kinetics. p. 98-100.
- GETTMAN, L.R.; POLLOCK, M.L. (1981). Circuit weight training: a critical review of its physiological benefits. *Phys. Sports Med.* 9: 44-60.
- GONZÁLEZ BADILLO, J.J. (2000). Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 1, 6-10.
- GONZÁLEZ BADILLO, J.J.; GOROSTIAGA, E. (1995). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona. INDE.
- GONZÁLEZ BADILLO, J.J.; RIBAS SERNA, J. (2003). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona. INDE.
- GOTSHALK, L.A.; LOEBEL, C.C.; NINDL, B.C. (1997). Hormonal responses to multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Can. J. App. Physiol.*, 22, 244-255.
- GRANADO PELAYO, J.C. (2006). *Estudio de la influencia del entrenamiento de la fuerza resistencia para la mejora de los niveles de resistencia en estudiantes de educación física*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
- GRAVES, J.E.; POLLOCK, M.L.; LEGGETT, S.H.; BRAITH, R.W.; CARPENTER, D.M.; BISHOP, L.E. (1988). Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int. J. Sports Med.*, 9, 316-319.
- HÄKKINEN, K. (1992). Neuromuscular responses in male and female athletes to two successive strength training sessions in one day. *J. Sports Med. & Phys. Fítnees*, 32 (3), 234-242.
- HÄKKINEN, K.; ALEN, M.; KALLINEN, M.; IZQUIERDO, M.; JOKELAINEN, K.; LASSILA, H.; MALKIA, E. (1998a). Muscle CSA, force production, and activation of

- leg extensors during isometric and dynamic actions in middle-aged and elderly men and women. *J. Aging Phys. Act.*, 6 (3), 232-247.
- HICKSON, R.C.; ROSENKOETTER, M.A.; BROWN, M.M. (1980a). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med. Sci.Sports Exerc.*, 12, 336-339.
- HICKSON, R.C.; BUONO, M.J.; WILMORE, J.H.; CONSTABLE, S.H. (1984). Energy cost of weight training exercise. *NSCA Journal.*, 3, 22-24.
- HICKSON, R.C.; DVORAK, B.A.; GOROSTIAGA, E.; KVROWSKI, T.T.; FOSTER, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J. Appl. Physiol.*, 65, 2285-2290.
- HICKSON, R.C.; HIDAKA, K.; FOSTER, C. (1994). Skeletal resistance fiber type, resistance training, and strength-related performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26 (5), 593-598.
- HIGBIE, E.J.; CURETON, K.J.; WARREN, G.L.; PRIOR, B.M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J. Appl. Physiol.*, 81 (5), 2173-2181.
- HORTOBAGYI, T.; KATCH, F.; LACHANCE, P. (1991). Effects of simultaneous training for strength and endurance. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 31,20-20.
- KAIKKONEN, H.; KARPPINEN, T.; LAUKKANEN, R. Y SK-POHJANTÄHTI, O. (2000). Recovery and overtraining detection in male orienteers before, during and after intensive training period. Abstract in the 6th International Scientific Meeting on Orienteering. Oslo. Norway.
- KRAEMER, W.J.; NOBLE, B.J.; CLARK, M.J.; CULVER, B.W. (1987). Physiologic responses to heavy resistance exercise with very short rest periods. *Int. J. Sports Med.*, 8, 247-252.
- MAIORANA, A.; O'DRISCOLL, G.; CHEETHAM, C.; COLLINS, J.; GOODMAN, C.; RANKIN, S.; TAYLOR, R.; GREEN, D. (2000). Combined aerobic and resistance exercise training improves functional capacity and strength in CHF. *J. Appl. Physiol.*, 88, 1565-1570.
- MARCINIK, E.J. (1988). *Effect of circuit weight training on endurance performance: Muscular strength, power endurance and lactate threshold correlates*. Thesis Doctoral.
- MARCINIK, E.J.; HODGDON, J.A.; ENGLUND, C.E.; O'BRIEN, J.J. (1987). Changes in fitness and shipboard task performance following circuit weight training programs featuring continuous or interval running. *Eur. J. Appl. Phys.*, 56, 132-137.
- MARCINIK, E.J.; POTTS, J.; SCHLABACH, G.; WILL, S.; DAWSON, P.; HURLEY, B.F. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports and Exerc.*, 23 (6), 739-743.
- MARX, J.O.; RATAMEES, N.A.; NINDL, B.C. (2001). Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33, 635-643.
- MIERKE, K. (2002). Turnover and Running Speed / Efficiency. Noah Sports.
- MILLET, G.P.; JAOUEN, B.; BORRANI, F.; CANDAU, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO2 kinetics. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34, 1351-1359.

- OSTROWSKI, K.J.; ILSON, G.J.; WEATHERBY, R.; MURPHY, P.W.; LYTTLE, A.D. (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J. Strength Cond. Res.*, 11, 148-154.
- PAAVOLAINEN, L.; HÄKKINEN, K.; HÄMÄLÄINEN, I.; NUMMELA, A.; HEIKKI, R. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.*, 86 (5), 1527-1533.
- POLIQVIN, C.H. (1990). At which speed should repetitions be performed. *Sports Coach*. April-June. 35-38.
- RABADÁN, M.; GONZÁLEZ, M.; UREÑA, P.; CANDA, A.; GUTIÉRREZ, F.; RUBIO, S. (1991). Estudio de la capacidad aeróbica y anaeróbica en deportes de equipo. Archivos de Medicina del Deporte. Libro de comunicaciones. *IV Congreso de la Federación de Medicina del Deporte (FEMEDE)*. VIII, 18-19.
- REID, C.M.; YEATER, R.A.; ULLRICH, I.H. (1987). Weight training and strength, cardio-respiratory functioning and body composition of men. *Brit. J. Sports Med.*, 21, 40-44.
- SINOWAY, L.I.; SHENBERGER, J.; WILSON, J.; MCLAUGHLIN, D.; MUSCH, T.; ZELIS, R. (1987). A 30-day forearm work protocol increases maximal forearm blood flow. *J. Appl. Physiol.* 62, 1063-1067.
- SUTTON, J.R. (1992). VO_2max -new concepts on an old theme. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24, 26-29.
- STANFORTH, D.; STANFORTH, P.R.; HOEMEKE, M.P. (2000). Physiologic and metabolic responses to a Body Pump workout. *J Strength Cond. Res.*, 14, 144-150.
- TUCKER, L.A. (1987). Effect of weight training on body attitudes: Who benefits more? *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 27, 70-78.
- VAQUERA, A.; RODRÍGUEZ, J.A.; VILLA, J.G.; GARCÍA, J.; ÁVILA, C. (2002). Cualidades fisiológicas y biomecánicas del jugador joven de liga EBA. Motricidad: *Eur. J. of Human Movement*, 9, 43-63-
- VERKHOSHANSKY, Y. (1990). *Entrenamiento deportivo*. Barcelona, M. Roca.
- WILMORE, J.H. (1975). Body composition and strength development. *J. Phys. Ed. Res.*, 46 (1), 38-41.