

Monograph

Los Efectos de un Programa de Entrenamiento a Corto Plazo sobre el Componente Lento del VO_2

Glenn A Gaesser³, Christopher J Womack¹, Judith A Flohr² y Arthur Weltman³

¹Longwood College, Department of Health, Physical Education, and Recreation, Farmville, Virginia.

²James Madison University, Department of Kinesiology, Harrisonburg, Virginia.

³University of Virginia, Department of Human Services, Curry School of Education, Charlottesville, Virginia.

RESUMEN

Ocho sujetos (cinco hombres, tres mujeres) saludables (edad = 22.4 ± 2.7 años, talla = 172.8 ± 10.0 cm, peso = 75.26 ± 18.35 kg) participaron en un programa de entrenamiento de la fuerza de 8 semanas. Antes y después del programa, los sujetos fueron evaluados con un test submáximo de 10 minutos a velocidad constante en cinta ergométrica, a una intensidad aproximada del 80% del VO_2 pico. Aunque la fuerza en una repetición máxima (1RM) en el ejercicio de prensa de piernas mejoró (163.93 ± 63.16 kg pre entrenamiento a 209.37 ± 69.18 kg post entrenamiento), no se observaron cambios significativos en el VO_2 al minuto 3 del test (2.50 ± 0.58 L/min pre entrenamiento y 2.49 ± 0.58 L/min post entrenamiento), en el VO_2 al final del test (2.80 ± 0.67 y 2.75 ± 0.60 , pre y post entrenamiento respectivamente) en el componente lento del VO_2 (el cambio en el VO_2 entre el minuto 3 y el final del ejercicio; 3006 ± 141 mL/min pre entrenamiento, 274 ± 98 mL/min post entrenamiento) o en la concentración de lactato al final del ejercicio (4.64 ± 1.29 mM pre entrenamiento, 4.84 ± 1.98 mM post entrenamiento). La velocidad máxima (177.5 ± 37.3 m/min pre entrenamiento, 187.5 ± 35.8 m/min post entrenamiento) y el tiempo del test (15.16 ± 2.90 pre entrenamiento, 16.22 ± 2.84 min post entrenamiento) durante el test progresivo máximo en cinta mejoraron sin un cambio concomitante en el $VO_{2,pico}$ (38.85 ± 10.18 mL/kg/min pre entrenamiento, 3.44 ± 8.35 mL/kg/min post entrenamiento). Los resultados del presente estudio sugieren que un programa de entrenamiento de sobrecarga de 8 semanas de duración no mejora significativamente la economía de carrera ni atenúa el componente lento del VO_2 en sujetos desentrenados.

Palabras Clave: entrenamiento de sobrecarga, economía de carrera

INTRODUCCION

El ejercicio de alta intensidad realizado a con una carga constante comúnmente produce un componente lento de consumo de oxígeno pulmonar (VO_2), generalmente definido como un incremento en el VO_2 más allá del tercer minuto de ejercicio en estado estable (3, 5, 11-14, 19). Esto resulta en un retraso para alcanzar el estado estable en el VO_2 , si es que este puede alcanzarse (4). El componente lento del VO_2 refleja una reducida eficiencia de trabajo muscular y está asociado con una desmejorada al ejercicio (4, 11).

Por lo tanto, la reducción de la magnitud del componente lento resultaría en una mejora del rendimiento de resistencia. Aunque se ha reportado que el entrenamiento de la resistencia reduce la magnitud del componente lento del VO_2 (3, 4, 13,

19), hasta el momento no sabemos de datos publicados acerca del efecto del entrenamiento de la fuerza sobre el componente lento del VO_2 . Es posible que el entrenamiento de la fuerza a corto plazo reduzca la magnitud del componente lento y similarmente mejore la resistencia de corta duración a intensidad constante durante ejercicios en cicloergómetro y en cinta ergométrica (6) y mejore la economía de carrera (7). Sin embargo no se sabe si estas mejoras en el rendimiento durante la realización de ejercicios están acompañadas por una atenuación del componente lento del VO_2 en ejercicios de alta intensidad. Por lo tanto, el propósito del presente estudio fue evaluar los efectos de un programa a corto plazo de entrenamiento de la fuerza sobre el componente lento del VO_2 durante una carrera en cinta ergométrica en sujetos previamente desentrenados.

MÉTODOS

Sujetos

Ocho sujetos (cinco hombres, tres mujeres) saludables y desentrenados (edad = 22.4 ± 2.7 años, talla = 172.8 ± 10.0 cm, peso = 75.26 ± 18.35 kg) fueron voluntarios para participar en el presente estudio. Debido a que los hombres y las mujeres experimentan similares mejoras en la fuerza relativa cuando realizan el mismo programa de entrenamiento (9, 17), los sujetos fueron asignados a un mismo grupo. Los sujetos no participaban en forma regular en un programa de entrenamiento por al menos 1 año antes del comienzo del estudio. El protocolo fue aprobado por el Comité de Investigaciones con Humanos del Colegio Longwood, y se obtuvo el consentimiento escrito de todos los sujetos.

Mediciones

Antes y después del programa de entrenamiento de la fuerza de 8 semanas, todos los sujetos completaron los test que se detallan a continuación.

Test Progresivo en Cinta Ergométrica. El consumo de oxígeno pico ($\text{VO}_{2\text{pico}}$) y la velocidad fueron determinados utilizando un test progresivo en cinta ergométrica, de manera de establecer la velocidad de la cinta para el test submáximo y para documentar cualquier cambio potencial en el $\text{VO}_{2\text{pico}}$ que resultara del entrenamiento de la fuerza. Cada sujeto caminó en la cinta durante 4 minutos. De aquí en adelante la velocidad se incrementó a cada minuto en 10 m/min hasta el agotamiento volitivo. La velocidad inicial fue de 50-80 m/min, dependiendo de la comodidad de cada sujeto. El consumo de oxígeno (VO_2), la producción de dióxido de carbono (VCO_2), y la ventilación minuto fueron determinados cada 20 segundos utilizando un sistema metabólico Sensor Medics 2900 (Yorba Linda, CA). La frecuencia cardíaca (HR) fue obtenida a cada minuto utilizando un Monitor de Frecuencia Cardíaca Polar. El $\text{VO}_{2\text{pico}}$ fue definido como el mayor VO_2 alcanzado durante el test. La correlación test-retest para el $\text{VO}_{2\text{pico}}$ y para la velocidad pico utilizando un protocolo similar ha reportado ser de $r = 0.70$ y 0.96 , respectivamente (16).

Test Submáximo en Cinta Ergométrica. Los sujetos corrieron durante 10 minutos (o menos si el agotamiento se producía antes de los 10 min) a una velocidad correspondiente al 80% del $\text{VO}_{2\text{pico}}$. Esta velocidad fue elegida debido a que ha mostrado provocar el componente lento del VO_2 (5). El VO_2 , VCO_2 , VE y la HR fueron medidos de la misma manera que durante el test progresivo. El componente lento del VO_2 fue definido como la diferencia en el VO_2 entre el tercer minuto de ejercicio y el final del ejercicio (19). Si el componente lento del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ era < 200 mL/min, para asegurar que se produjera el componente lento en todos los sujetos, se repitió el test pre entrenamiento en un día diferente y a una mayor velocidad. Se recolectaron muestras de sangre de las yemas de los dedos inmediatamente antes y después del test, las cuales fueron analizadas para determinar la concentración de lactato sanguíneo $[\text{La}^-]$ utilizando un analizador de lactato YSI 23L. La velocidad absoluta utilizada en el test pre entrenamiento fue también utilizada para el test post entrenamiento.

Porcentaje de Grasa Corporal. Para documentar potenciales cambios en la composición corporal como resultado del entrenamiento de la fuerza, se determinó el porcentaje de grasa corporal utilizando pesaje subacuático. Cada sujeto fue pesado en normalmente utilizando una balanza médica Health-O-Meter y bajo el agua utilizando una balanza para autopsias Chatillon. Cada sujeto realizó 10 pesajes subacuáticos solo con el volumen pulmonar residual. El promedio de los últimos tres pesajes fue utilizado para estimar el peso subacuático que luego se utilizaría en la determinación de la densidad corporal (8). El volumen residual fue determinado mediante la técnica de dilución de oxígeno tal como lo describieran Wilmore et al (18). El porcentaje de grasa corporal fue calculado a partir del valor de la densidad corporal utilizando la ecuación de Brozek et al (2).

Mediciones Antropométricas. Para evaluar los potenciales cambios en la masa muscular de las extremidades inferiores, se realizaron mediciones de las circunferencias de la cadera y el muslo utilizando una cinta métrica Gulick y de la siguiente manera: las caderas fueron medidas en la parte más saliente de los glúteos y el muslo fue medido directamente debajo del

pliegue de los glúteos en la máxima circunferencia del muslo.

Test de Una Repetición Máxima. En tres ocasiones separadas antes de realizar la evaluación de la fuerza en una repetición máxima (1RM), los sujetos practicaron los ejercicios de prensa de piernas y press de banca para familiarizarse con la técnica apropiada. En el día de la evaluación, los sujetos realizaron pruebas sucesivas de cada ejercicio hasta que no fueron capaces de levantar el peso utilizando la técnica apropiada. El peso se fue incrementando luego de cada prueba de acuerdo con el esfuerzo individual en la prueba previa, siendo los incrementos cada vez menores a medida que los sujetos se aproximaban a su 1RM. Se les permitió a los sujetos una pausa de 2 minutos entre las pruebas (1). El mayor peso levantado utilizando la técnica apropiada fue definido como la fuerza en 1RM para cada ejercicio.

Programa de Entrenamiento

Los sujetos entrenaron 3 veces por semana durante 8 semanas. Durante cada sesión se realizaron tres series de 10 repeticiones en los siguientes ejercicios: sentadillas, prensa de piernas, extensiones de rodilla, flexiones de rodilla, elevaciones de talones, press de banca, tirones en polea, vuelos laterales con mancuernas, curl de bíceps y extensiones de codo. Los ejercicios fueron realizados utilizando pesos libres (sentadillas, press de banca, vuelos laterales con mancuernas y curl de bíceps) y máquinas para el entrenamiento de la fuerza (prensa de piernas, extensiones y flexiones de rodilla, tirones en polea y extensiones de codo). El programa fue diseñado para hacer énfasis en los grupos musculares del tren inferior. El entrenamiento de la fuerza durante 8 semanas ha mostrado provocar incrementos significativos en la fuerza de las extremidades inferiores tanto en hombres como en mujeres (15). Todos los entrenamientos fueron llevados a cabo bajo la supervisión de un investigador. Una vez que los sujetos pudieron realizar tres series de 10 repeticiones para un ejercicio dado, se procedió a incrementar el peso en la siguiente sesión hasta una carga que le permitiera al sujeto realizar al menos tres series de ocho repeticiones. La asistencia promedio de los sujetos fue del $95.3 \pm 3.5\%$ de la sesiones.

Análisis Estadísticos

Los valores pre y poste entrenamiento del VO_{2pico} , la $[La^-]$ post ejercicio en el test submáximo, el componente lento del VO_2 , el porcentaje de grasa, el peso corporal, la masa magra corporal, la masa grasa, las circunferencias de cadera y muslos y la fuerza en 1RM en los ejercicios de press de banca y prensa de piernas fueron comparados utilizando la prueba t para datos apareados. El VO_2 al minuto 3 y al final del ejercicio durante el ejercicio submáximo fue analizado utilizando el análisis de varianza (ANOVA) de dos factores (tiempo de ejercicio \times estatus de entrenamiento) para medidas repetidas. La significancia estadística a priori fue establecida a $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

El programa de entrenamiento de la fuerza resultó en un incremento significativo en la fuerza en 1RM tanto para el ejercicio de press de banca como para el ejercicio de prensa de piernas (Figura 1).

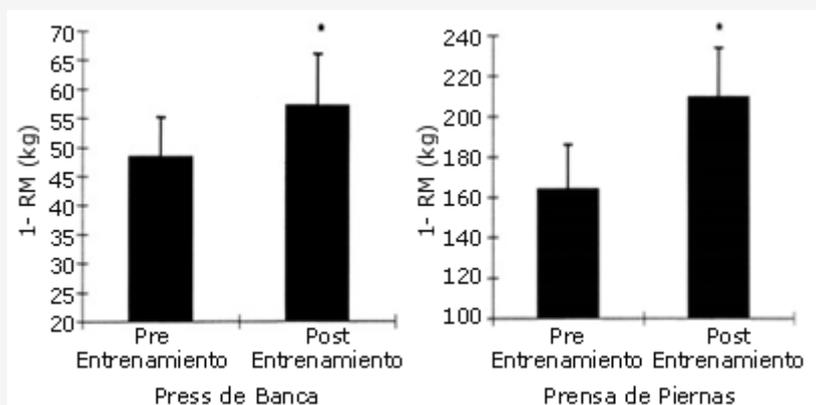


Figura 1. Valores pre y post entrenamiento de la fuerza en una repetición máxima (1RM) solo para los ejercicios de press de banca y prensa de piernas.

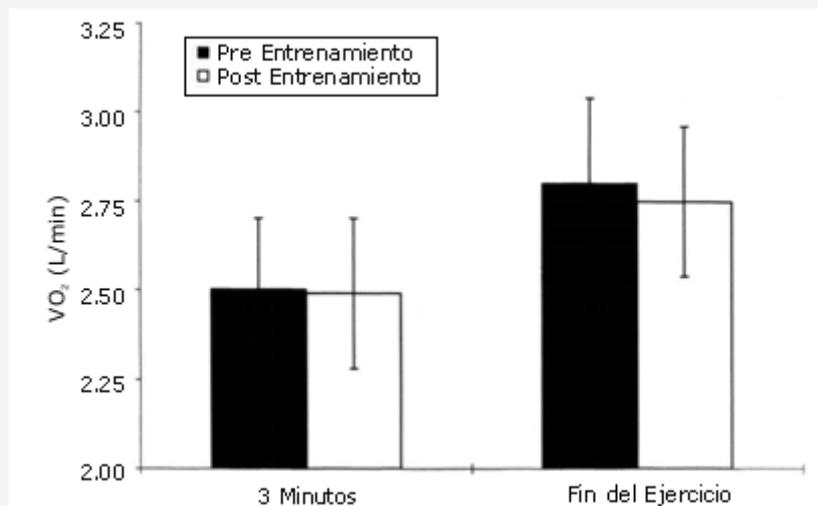


Figura 2. Valores pre y post entrenamiento del VO₂ durante el test de ejercicio submáximo.

La fuerza en 1RM en el ejercicio de press de banca mejoró desde 48.30 ± 19.36 kg hasta 57.10 ± 43 kg. La fuerza en 1RM en el ejercicio de prensa de piernas se incrementó desde 163.93 ± 63.16 kg pre entrenamiento hasta 209.37 ± 69.18 kg post entrenamiento.

El componente lento del VO₂ pudo observarse tanto pre como post entrenamiento (306 ± 141 mL/min pre entrenamiento, 274 ± 98 mL/min post entrenamiento) (Figura 2). El VO₂ al minuto 3 de ejercicio pre entrenamiento fue de 2.50 ± 0.58 L/min mientras que el VO₂ al minuto 3 de ejercicio post entrenamiento fue de 2.49 ± 0.58 L/min. El VO₂ al final del ejercicio pre entrenamiento fue de 2.80 ± 0.67 L/min y el VO₂ al final del ejercicio post entrenamiento fue de 2.75 ± 0.60 L/min. El análisis de varianza ANOVA reveló que no hubo efectos significativos del estatus de entrenamiento ni interacción entre el estatus de entrenamiento y el tiempo. No se observaron cambios en la [La⁻] post ejercicio con el entrenamiento (4.64 ± 1.29 mM pre entrenamiento, 4.84 ± 1.98 post entrenamiento).

La Tabla 1 muestra los datos pre y post entrenamiento, obtenidos durante el test de ejercicio progresivo. El entrenamiento resultó en un incremento en la velocidad pico alcanzada durante el test de ejercicio progresivo y en la duración del test.

Con el entrenamiento se observó un incremento significativo en la masa libre de grasa y una reducción significativa en el porcentaje de grasa corporal (Tabla 2).

	Pre Entrenamiento	Post Entrenamiento
VO ₂ pico (mL/kg/min)	38.85 ± 10.18	39.44 ± 8.35
Velocidad Pico (m/min)	177.5 ± 37.3	$187.5 \pm 35.8^*$
Tiempo de Ejercicio (minutos)	15.16 ± 2.90	$16.22 \pm 2.84^*$

Tabla 1. Valores pico durante el test de ejercicio progresivo antes y después del entrenamiento. * Significativamente mayor que pre entrenamiento ($p < 0.05$)

	Pre Entrenamiento	Post Entrenamiento
Peso Corporal (kg)	88.48 ± 46.12	88.62 ± 46.71
Masa Grasa (kg)	17.08 ± 10.97	16.09 ± 10.74
Masa Magra (kg)	58.10 ± 10.98	59.14 ± 10.80*
% de Grasa Corporal	21.52 ± 10.12	20.18 ± 10.50*
Circunferencia de la Cadera (cm)	100.88 ± 9.27	102.01 ± 9.83
Circunferencia del Muslo (cm)	57.31 ± 4.89	58.11 ± 5.77

Tabla 2. Composición corporal y datos antropométricos antes y después del entrenamiento. * Significativamente mayor que pre entrenamiento ($p < 0.05$)

DISCUSION

A pesar de la mejora en la fuerza del tren inferior y de la mejora en el rendimiento de carrera durante el test de ejercicio progresivo, el componente lento del VO_2 , observado durante el test de ejercicio submáximo en cinta ergométrica, no fue influenciado por el entrenamiento de la fuerza. Esto pudo deberse al hecho de que nuestros sujetos no mostraron incrementos en el VO_2 pico ni tampoco una reducción en la $[La^-]$ post ejercicio durante el test de carrera a velocidad constante de 10 minutos en cinta ergométrica. La atenuación inducida por el entrenamiento en el componente lento del VO_2 ha sido observada solo luego del entrenamiento aeróbico con un incremento en el VO_2 pico y/o una reducción en la $[La^-]$ post ejercicio (3, 4, 12, 16).

Johnston et al (7) recientemente han reportado que 10 semanas de entrenamiento de la fuerza mejoraron la economía de carrera en un 4% en corredoras de cross country. Aunque en el presente estudio no se ha valorado específicamente, la mejora en la economía de carrera es consistente con una reducción en el componente lento del VO_2 . Es posible que la menor duración del programa de entrenamiento (8 semanas) en nuestro estudio pueda explicar porque no se pudo observar un incremento en la economía de carrera en nuestros sujetos.

La mejora en el tiempo de ejercicio durante el test de ejercicio progresivo en cinta es consistente con reportes previos que señalan una mejora en la tolerancia al ejercicio luego del entrenamiento de la fuerza (6, 10). La falta de mejora en el VO_2 pico en nuestros sujetos sugiere que la mayor velocidad pico y el mayor tiempo hasta el agotamiento durante el test de ejercicio progresivo post entrenamiento puede atribuirse a las adaptaciones en el metabolismo no oxidativo dentro de los músculos esqueléticos.

Staron et al (15) observaron que 8 semanas de entrenamiento de la fuerza provocaron el incremento en el porcentaje de fibras tipo IIb en el vasto lateral tanto de hombres como de mujeres. Dicha adaptación podría incrementar la producción de potencia muscular y aumentar las reservas de energía anaeróbicas disponibles para el ejercicio máximo tal como la carrera progresiva en cinta ergométrica. Esto podría explicar la mejora en el tiempo de ejercicio a pesar de la falta de mejora en la capacidad aeróbica.

En conclusión, un programa de entrenamiento de la fuerza de 8 semanas de duración suficiente como para incrementar la fuerza de las piernas en sujetos previamente desentrenados en un 27% provocó la mejora del rendimiento durante un test de carrera en cinta ergométrica pero no atenuó el componente lento del VO_2 ni redujo la $[La^-]$ post ejercicio durante el test en cinta a velocidad constante. Debido a que el entrenamiento de la fuerza puede mejorar el rendimiento durante el ejercicio en cicloergómetro más que el rendimiento durante el ejercicio en cinta ergométrica (6, 10), las futuras investigaciones deberían estudiar los cambios específicos en el componente lento del VO_2 como resultado del entrenamiento de la fuerza.

Aplicaciones Práctica

El entrenamiento de la fuerza es un método efectivo y popular para mejora la fuerza muscular. Además, datos previos sugieren que el entrenamiento de la fuerza puede ser un método efectivo para mejorar el rendimiento de ciclismo (6, 10) o de carrera (6, 7), haciendo que el entrenamiento de la fuerza sea una intervención atractiva que también puede beneficiar el rendimiento de resistencia. Sin embargo, los resultados del presente estudio no sugieren que pueda lograrse ninguna mejora en el componente lento del VO_2 , en la economía de carrera o una reducción en la concentración de lactato a intensidades submáximas de ejercicio, en individuos desentrenados como resultado del entrenamiento de la fuerza.

Nota: El Dr. Christopher J. Womack ahora se desempeña en la Universidad Estatal de Michigan, East Lansing, MI 48824.

Agradecimientos

Esta investigación fue subvencionada mediante una beca del Programa de Desarrollo del Colegio Longwood. Los autores quisieran agradecer al Dr. Gerald Graham y al Sr. Jason Norton por su asistencia en la recolección de los datos y a todos los sujetos que participaron en este estudio.

REFERENCIAS

1. BRAITH, R.W., J.E. GRAVES, S.H. LEGGETT, AND M.L. POLLOCK (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:132-138
2. BROZEK, J., F. GRANDE, J.T. ANDERSON, AND A. KEYS (1963). Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann. NY Acad. Sci.* 110:113-140
3. CASABURI, R., T.W. STORER, I. BEN-DOV, AND K. WASSERMAN (1987). Effect of endurance training on possible determinants of $\dot{V}O_{2\max}$ during heavy exercise. *J. Appl. Physiol.* 62:199-207
4. GAESSER, G.A., AND D.C. POOLE (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc. Sports Sci. Rev.* 24:35-70
5. HAGBERG, J.M., J.P. MULLIN, AND F.J. NAGLE (1978). Oxygen consumption during constant-load exercise. *J. Appl. Physiol.* 45:381-384
6. 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
7. JOHNSTON, R.E., T.J. QUINN, R. KERTZER, AND N.B. VROMAN (1995). Improving running economy through strength training. *Strength Cond.* 17:7-13
8. KATCH, F.L.E.D.M., AND S.M. HORVATH (1967). Estimation of body volume by underwater weighing: Description of a simple method. *J. Appl. Physiol.* 23:811-813
9. LEWIS, D.A., E. KAMON, AND J.L. HODGSON (1986). Physiological differences between genders: Implications for sports conditioning. *Sports Med.* 3:37-369
10. MARCINIK, E.J., J. POTTS, G. SCHLABACH, S. WILL, P. DAWSON, AND B.F. HURLEY (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:739-743
11. POOLE, D.C., W. SCHAFFARTZIK, D.R. KNIGHT, T. DERION, B.KENNEDY, H.J. GUY, R. PREDILETTO, AND P.D. WAGNER (1991). Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *J. Appl. Physiol.* 71:1245-1253
12. POOLE, D.C., S.A. WARD, G.W. GARDNER, AND B.J. WHIPP (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 31:1265-1279
13. POOLE, D.C., S.A. WARD, AND B.J. WHIPP (1990). The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high intensity cycle ergometer exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59:421-429
14. SHINOHARA, M., AND T. MORITANI (1992). Increase in neuromuscular activity and oxygen uptake during heavy exercise. *Ann. Physiol. Anthropol.* 11:257-262
15. STARON, R.S., D.L. KARAPONDO, W.J. KRAEMER, A.C. FRY, S.E. GORDON, J.E. FALKEL, F.C. HAGERMAN, AND R.S. HIKIDA (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J. Appl. Physiol.* 76:1247-1255
16. WELTMAN, A., D. SNEAD, P. STEIN, R. SEIP, R. SCHURRER, R. RUTT, AND J. WELTMAN (1989). Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and $\dot{V}O_{2\max}$. *Int. J. Sports Med.* 11:26-32
17. WILMORE, J.H. (1974). Alterations in strength, body composition, and anthropometric measurements consequent to a ten-week weight training program. *Med. Sci. Sports Exerc.* 6:133-138
18. WILMORE, J.H., P.A. VODAK, R.B. PARR, R.N. GIRANDOLA, AND J.E. BILLING (1980). Further simplification of a method for determination of residual lung volume. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12:216-218
19. WOMACK, C.J., S.E. DAVIS, J.L. BLUMER, E. BARRETT, A.L. WELTMAN, AND G.A. GAESSER (1995). Slow component of $\dot{V}O_2$ uptake during heavy exercise: Adaptation to endurance training. *J. Appl. Physiol.* 79:838-845

Cita Original

Womack, C.J., J.A. Flohr, A. Weltman, and G.A. Gaesser. The effects of a short-term strength training program on the slow component of $\dot{V}O_{2\max}$. *J. Strength Cond. Res.* 14(1):50-53. 2000