PubliCE, (PubliCE) 2001

Research

Cambios en la Potencia Anaeróbica, Actividad de la Creatinquinasa, Concentración de Lactato, y Equilibrio Ácido-Base luego de Series de Ejercicios de Sobrecarga Exhaustivos

Adam Zajac[1], Wieslaw Pilis[1] y Zbigniew Waskiewics[1]

[1]*Academy of Physical Education, Katowice, Polonia.*

RESUMEN

El estudio fue conducido en 10 fisicoculturistas y levantadores de potencia varones que realizaron ejercicios de sobrecarga altamente exhaustivos para los miembros inferiores y superiores. Estos ejercicios incluían 10 series progresivas de sentadilla para los miembros inferiores y 10 series progresivas de press de banca para los miembros superiores. La potencia anaeróbica fue evaluada mediante el test de Wingate de 30 segundos 3 veces: después de un período de descanso de 2 días, y 10 minutos después y 24 horas después de los ejercicios de sobrecarga exhaustivos. Fueron tomadas muestras sanguíneas en reposo, 5 minutos y 24 horas después de los ejercicios de sobrecarga para la evaluación de la actividad de la creatinquinasa (CK), concentración de lactato (LA), y cambios en el equilibrio ácido-base. El trabajo externo relativo (W_t) evaluado inmediatamente después de la finalización de los ejercicios de sobrecarga disminuyó significativamente para tanto los miembros inferiores como superiores, mientras que la potencia máxima relativa (P_{max}) no cambió significativamente a través de todo el protocolo. El retorno de P_{max} y W_t a los niveles iniciales dentro de las 24 horas ocurrió en los miembros superiores e inferiores para la P_{max} y solo en los miembros superiores para W_t. La concentración de LA post-ejercicio fue cerca de 3 veces más alta para los miembros inferiores en comparación con los miembros superiores, y la misma se mantuvo significativamente elevada 24 horas después de la finalización del ejercicio en comparación con los valores de reposo. La actividad de la CK se incrementó significativamente 10 minutos después de los ejercicios de fuerza intensos y aumentó hasta niveles significativamente más altos 24 horas después de la finalización del ejercicio. El nivel de CK sérica puede no estar relacionado a la cantidad de masa muscular utilizada en los ejercicios de sobrecarga. Los cambios en la variable equilibrio ácido-base fueron significativamente diferentes inmediatamente después del final de la sesión de ejercicio y retornaron a los valores de reposo 24 horas después del protocolo de ejercicio exhaustivo. Los dos índices de potencia anaeróbica analizados (P_{max} y W_t) fueron significativamente diferentes para los miembros superiores e inferiores bajo circunstancias iniciales, 5 minutos, y 24 horas después de los ejercicios exhaustivos, mientras que las variables sanguíneas (LA, CK, pH, y exceso de base) difirieron significativamente solo inmediatamente después del protocolo de fuerza.

Palabras Clave: actividad de la creatinquinasa, equilibrio ácido-base, concentración de lactato, potencia anaeróbica

INTRODUCCION

Los ejercicios de fuerza exhaustivos causan cambios fisiológicos significativos en el cuerpo humano. El lactato sanguíneo (LA), pH sanguíneo, y exceso de base (BE) analizados inmediatamente después de los ejercicios de fuerza pueden cambiar significativamente (13, 18). La actividad de la CK sérica puede ser usada como marcador de daño muscular (16), mientras que los cambios en los niveles de CK luego del ejercicio correlacionan significativamente con la tasa de regeneración de células musculares (19). Clarkson et al. (8) observaron una relación entre el incremento de la actividad de la CK y el daño del tejido muscular, sin embargo el mecanismo implicado no fue explicado. Se sabe bien que la actividad de la CK sérica está elevada por varias semanas luego del ejercicio físico intenso y que el entrenamiento induce cambios adaptativos que permiten la disminución de los niveles de CK bajo una carga estándar (8, 13). De otro modo, bajo condiciones de esfuerzo individual máxima (rendimiento anaeróbico llevado a cabo hasta el fallo) los atletas altamente entrenados alcanzan valores mucho más altos concentración de CK sérica y LA post-ejercicio que los no atletas o sujetos medianamente entrenados (6, 14). Esto puede ser explicado por el mayor trabajo externo total realizado por los atletas altamente entrenados en un período de tiempo particular en comparación con los no atletas (18). También ha sido observado que la permeabilidad de la membrana celular muscular se incrementa en los atletas altamente entrenados (1, 2), lo cual también puede resultar en un incremento de la concentración de CK sérica en los atletas en comparación con los no atletas. Lo contrario es cierto para el equilibrio ácido-base y la concentración de LA que retornan a los niveles de reposo dentro de un período de tiempo corto luego del ejercicio intenso (17). El análisis del tiempo de los cambios en los índices de potencia anaeróbica luego de los ejercicios de fuerza puede ser benéfico en la estimación de la carga de entrenamiento y de la velocidad de recuperación.

La evaluación de la potencia anaeróbica a través del uso del test de Wingate parece estar justificada debido a su alta confiabilidad y validez (4). También, el test de Wingate permite la distinción entre los miembros superiores e inferiores, lo cual es muy importante para la evaluación de las respuestas fisiológicas a los ejercicios de fuerza (5). Todas las variables fisiológicas y mecánicas arriba mencionadas permiten la monitorización del estado del cuerpo de los atletas e influencian la efectividad del proceso de entrenamiento.

El propósito principal de este estudio fue evaluar los cambios en la potencia anaeróbica en los miembros superiores e inferiores y analizar los cambios en la actividad de la CK sérica, concentración de LA, y equilibrio ácido-base luego de los ejercicios de fuerza intensos.

METODOS

10 levantadores de potencia y fisicoculturistas bien entrenados participaron en el estudio. La edad promedio de los sujetos fue 22.6±2.1 años, con una masa corporal media de 89.6±9.2 Kg. y una talla de 181.2±10.2 cm. Seis de los 10 participantes eran levantadores de potencia y 5 de ellos estaban ranqueados a nivel nacional, mientras que los 4 sujetos restantes eran fisicoculturistas y miembros del equipo nacional. Fue obtenido el consentimiento de todos los sujetos para la participación en el estudio después de que fueron informados acerca del propósito y naturaleza del mismo. Todos los atletas realizaron el test de Wingate de 30 segundos para los miembros inferiores y superiores 3 veces usando una bicicleta ergométrica MONARK 839. El primer test fue realizado luego de un período de 2 días de descanso, el segundo test fue realizado 10 minutos después de una sesión exhaustiva de entrenamiento de la fuerza, y el tercer test fue realizado 24 horas después de la sesión. El protocolo de fuerza del tren superior e inferior así como las evaluaciones de la potencia anaeróbica estuvieron separadas por un período de descanso de 3 días. El test de Wingate fue llevado a cabo para el tren inferior y superior separadamente. La carga para el test de Wingate fue establecida en 0.075 kp. $Kg.^{-1}$ de peso corporal para los miembros inferiores y 0.040 kp. $Kg.^{-1}$ de peso corporal para los miembros superiores. Fueron medidas variables como la potencia máxima relativa (P_{max}), trabajo externo total relativo (W_t) e índice de fatiga (FI) (3-5). El protocolo de ejercicios de fuerza incluyó 10 series de sentadilla para los miembros inferiores y 10 series de press de banca para los miembros superiores, con la carga inicial establecida en 50% de la mejor marca personal (peso de una repetición máxima [1RM]). La carga fue incrementada en un 5 % hasta la serie 7 y disminuyó en la misma cantidad para las 3 series finales. En cada una de las primeras 3 series, fueron realizadas 15 repeticiones, 12 repeticiones en las 4 series siguientes, y las 3 series finales fueron llevadas a cabo hasta el fallo concéntrico.

En reposo, fueron tomadas muestras sanguíneas a partir de la vena antecubital para la evaluación de la actividad de la CK, mientras que las muestras sanguíneas de la punta del dedo (sangre de un capilar) fueron usadas para la evaluación de la concentración de LA y variables de equilibrio ácido-base. Las muestras sanguíneas fueron tomadas 4-5 minutos y 24 horas después de la finalización del entrenamiento para la evaluación de la CK postejercicio, LA, pH, y niveles de BE. Las mediciones de actividad de CK y concentración de LA fueron llevadas a cabo enzimáticamente usando kits comerciales

(Boehringer Diagnostica, Mannheim, Alemania). Los niveles sanguíneos de HCO_3^- y BE fueron medidos usando el Analizador Gas-Sangre pH 168 (Ciba-Corning, East Walpole, MA). Para la evaluación de las diferencias y su significancia ($p<0.05$), fueron usados análisis del test t de Student para muestras dependientes. La relación entre los miembros superiores e inferiores en el área de los parámetros mecánicos del test de Wingate fue determinada usando coeficientes de correlación de Pearson.

RESULTADOS

Los resultados de los análisis de varianza a 2 vías (ANOVA) con mediciones repetidas indicaron diferencias significativas entre los valores de los miembros superiores e inferiores para P_{max} y W_t en relación al tiempo. Los test post-hoc Tukey mostraron que directamente después de los ejercicios de fuerza exhaustivos la potencia máxima relativa disminuyó significativamente para tanto los miembros superiores como los inferiores. La P_{max} relativa disminuyó no significativamente en el caso de los miembros superiores e inferiores. 24 horas después de la finalización de los ejercicios de fuerza, el nivel de la P_{max} relativa permaneció ligeramente debajo de los valores de control para los miembros inferiores, mientras que en el caso de los miembros superiores el mismo regresó al nivel inicial, aunque ambas diferencias no fueron estadísticamente significativas. El carácter de los cambios del trabajo relativo externo total inducido durante el test de Wingate, el cual fue obtenido en las condiciones pre- y postejercicio, fue diferente para los miembros superiores e inferiores. Inmediatamente después de la sentadilla, el trabajo externo total cayó significativamente y permaneció debajo del valor de control 24 horas después de la finalización del ejercicio, y la diferencia fue estadísticamente significativa. El test exhaustivo de 10 series de press de banca causó una disminución significativa en el trabajo externo total directamente después de la sesión, pero 24 horas después este valor excedió el nivel inicial, aunque fue estadísticamente no significativo.

El análisis del patrón de cambios en relación al LA, CK, y equilibrio ácido-base con el uso de ANOVA indicó diferencias significativas a través de toda la variable del grupo (tren superior con respecto al tren inferior) y las mediciones repetidas (reposo y 5 minutos y 24 horas después de la finalización del ejercicio).

La actividad de la CK plasmática se incrementó significativamente inmediatamente después del protocolo de ejercicios de fuerza solo para los miembros inferiores, aunque la misma aumentó hasta valores significativamente mayores 24 horas después de la finalización del ejercicio para ambos miembros. La concentración promedio de LA después de la sesión de entrenamiento para el tren inferior fue casi 3 veces mayor que el valor obtenido para los miembros superiores, y ambas diferencias fueron estadísticamente significativas con respecto al período de reposo. Los niveles de LA retornaron a los valores de reposo 24 horas después de la finalización de tanto los protocolos de ejercicio para el tren superior como para el tren inferior. Las 3 variables de equilibrio ácido-base disminuyeron significativamente inmediatamente después del protocolo de ejercicio, aunque retornaron a los niveles de reposo dentro del período de restitución de 24 horas. Los resultados del test post-hoc Tukey indicaron diferencias significativas entre estas variables. Es importante destacar que las diferencias entre los miembros superiores e inferiores fueron estadísticamente significativas para todas las variables de equilibrio ácido-base bajo las condiciones postejercicio. Las medias y desvíos estándar, la significancia del ANOVA con mediciones repetidas, y los tests post-hoc Tukey en todas las variables de medición son presentadas en la Tabla 1 y la Figura 1.

Variables	Inicial		5 min después del Wingate		24 h después del Wingate		Grupo	Tiempo	Grupo x Tiempo
Concentración Sanguínea de Lactato ($mmol.L^{-1}$)	**Media**	**DS**	**Media**	**DS**	**Media**	**DS**			
Tren Superior	1.963 *	0.213	5.991**,***	1.302	2.211	0.176	<0.001	<0.001	<0.001
Tren Inferior	2.111	0.303	15.287 **,***	1.902	2.388	0.211			
Actividad de la Creatinquinasa ($U.L^{-1}$)									
Tren Superior	350.107	75.613	468.043	83.596	584.109 ****	96.695	<0.05	<0.001	NS
Tren Inferior	335.043 *	60.501	567.012	120.613	675.014 ****	143.424			
Potencia Anaeróbica Máxima Relativa ($W. Kg.^{-1}$)									
Tren Superior	6.917 ***	0.432	6.712 ***	0.341	7.111 ***	0.309	<0.001	<0.05	NS
Tren Inferior	11.422 ***	1.044	10.810 ***	0.801	11.200 ***	0.704			
Trabajo Externo Relativo Total ($J. Kg.^{-1}$)									
Tren Superior	171.040 ****,***	8.101	153.108 ***	6.725	174.138 ****	5.223	<0.001	<0.001	<0.05
Tren Inferior	267.041 ****,***	20.213	245.037 **,***	19.100	250.014	17.613			
pH Sanguíneo									
Tren Superior	7.356 *	0.077	7.221 ******,***	0.063	7.334	0.049	<0.05	<0.001	<0.001
Tren Inferior	7.364 *	0.040	7.104 ******,***	0.059	7.334	0.029			
Exceso de Base (mM)									
Tren Superior	-4.294 *	0.463	-14.076 ******,***	1.579	-5.104	0.475	<0.001	<0.001	<0.001
Tren Inferior	-4.851	0.551	-20.277******,***	1.627	-4.882	0.733			
Concentración de ion HCO_3									
Tren Superior	20.952 *	1.206	14.878 ******,***	1.013	21.000	1.312	<0.001	<0.001	<0.001
Tren Inferior	21.648 *	1.454	10.682 ******,***	1.112	20.884	1.123			

Tabla 1. *Media±DS, significancia del análisis de varianza a 2 vías (ANOVA) con mediciones repetidas, y tests post-hoc Tukey en todas las variables medidas. NS=no significativo; * I vs. II, p<0.001; ** II vs. III, p<0.05; *** diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (tren superior-tren inferior) a p<0.001; **** I vs. II, p<0.001; ***** I vs. II, p<0.05; ****** II vs. III, p<0.001.*

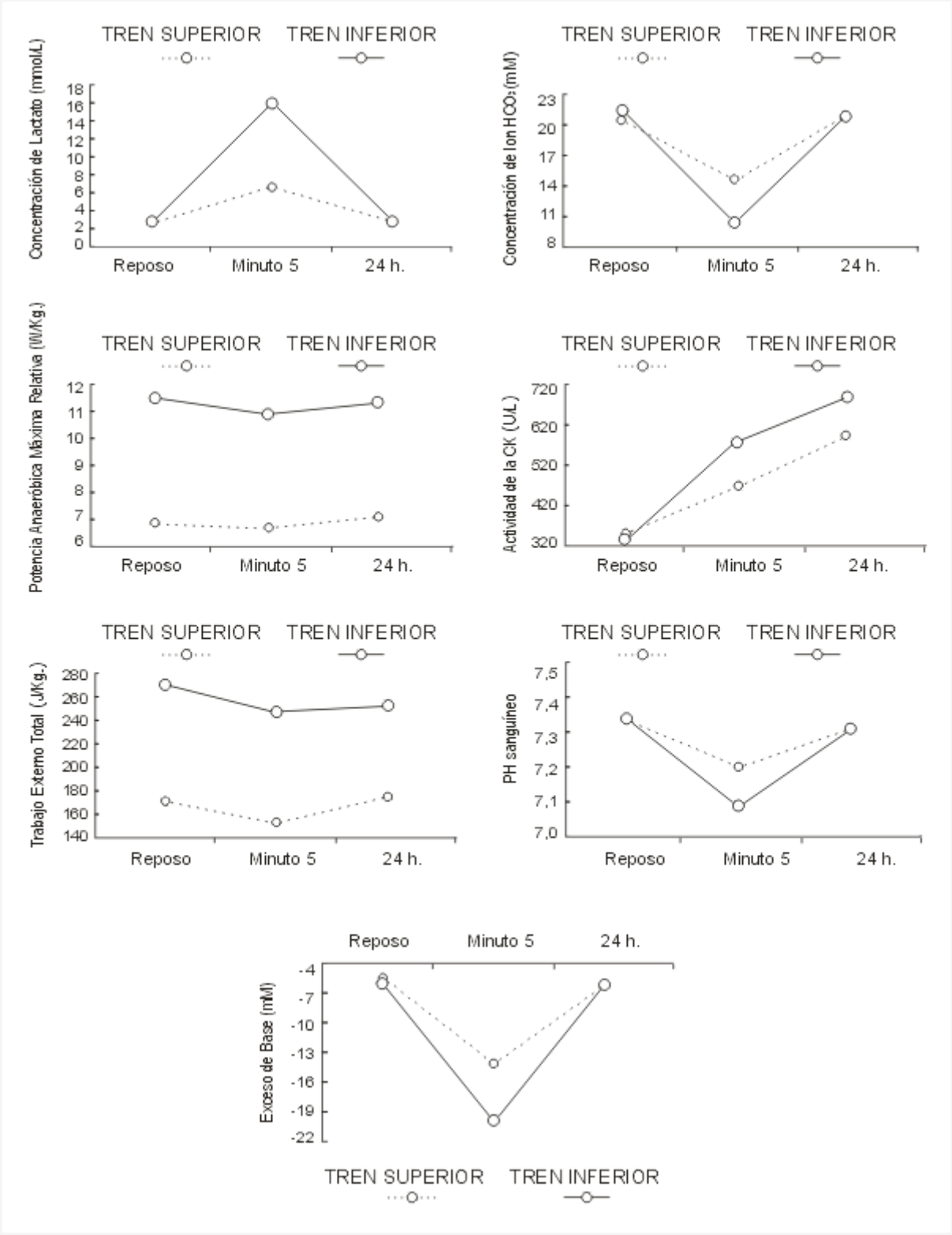


Figura 1. *Patrón de cambios en todas las variables de diagnóstico en las condiciones pre- y postejercicio.*

DISCUSION

El nivel de potencia aeróbica máxima usualmente obtenido en el cuarto a sexto segundo durante el test en bicicleta ergométrica está significativamente relacionado a la capacidad de la fosfocreatina (CP) muscular y a la tasa de resíntesis

de trifosfato de adenosina (ATP) a través del sistema fosfágeno (11). La repleción de CP toma poco tiempo, y aún 10 series de ejercicios de fuerza exhaustivos permiten que la potencia anaeróbica pico alcance cerca del 95% del nivel inicial dentro de 4-5 minutos de restitución. La declinación en la potencia pico es mayor para los miembros inferiores y el proceso de compensación es más lento probablemente debido a la mayor masa muscular implicada durante el test en sentadilla y bicicleta ergométrica. La sentadilla también implica mayor aceleración negativa y un componente de trabajo excéntrico, así induciendo mayor trabajo externo que puede conducir a un incremento de la fatiga muscular (7, 15, 19). El trabajo externo total inducido durante el test de Wingate es significativamente dependiente de la capacidad glucolítica del atleta (11). Este fenómeno está claramente ejemplificado por una concentración de LA postejercicio mucho más alta y por los valores de trabajo externo obtenidos 24 horas después del ejercicio. Los valores significativamente más bajos de trabajo externo total inmediatamente después de la sesión de ejercicios exhaustivos, en el caso de los miembros superiores e inferiores, fueron causados probablemente por la depleción de la CP y el glucógeno muscular (15). Las concentraciones de LA y las variables del equilibrio ácido-base cambiaron significativamente inmediatamente después del protocolo de ejercicio. Es importante señalar que el nivel de todas estas variables fue estadísticamente diferente para los miembros superiores e inferiores; sin embargo, las mismas retornaron a los valores de reposo dentro de 24 horas. La tendencia de los cambios arriba señalados está más probablemente influenciada por la tensión muscular y la masa muscular, la cual es significativamente mayor en los miembros inferiores.

Varios proyectos de investigación han reportado una elevación prolongada de la CK plasmática luego de ejercicios anaeróbicos intensos (13, 18). Fue hipotetizado que el nivel de CK plasmática postejercicio está relacionado a la tensión muscular, tipo de contracción, y principalmente a la masa muscular implicada en el ejercicio (10). A pesar de la significativamente mayor masa muscular implicada en la sentadilla y en la evaluación de los miembros inferiores en bicicleta ergométrica, el nivel de CK inmediatamente después y 24 horas luego de un ejercicio fue similar al de los miembros superiores. Algunos proyectos de investigación han indicado que la elevación de la CK sérica postejercicio no está necesariamente relacionada a la masa muscular implicada o al tipo de contracción (8, 12). El análisis de valores individuales de CK plasmática en reposo y postejercicio muestra grandes variaciones. Los dos atletas menos entrenados, con un ^{record} personal en sentadilla de 150 Kg. tuvieron valores de CK en reposo debajo de 300 $U.L^{-1}$, siendo los valores postejercicio (24 horas) ligeramente superiores a 600 $U.L^{-1}$. Cuando se considera a los dos campeones nacionales cuyos records personales eran de 230 y 250 Kg., los valores de CK en reposo y postejercicio eran cerca del doble de los valores anteriores. Este fenómeno puede estar relacionado al mayor potencial de fuerza y a la tensión muscular más alta desarrollada de los atletas de alto nivel (1). Los atletas con altos niveles de fuerza están dotados de una alta proporción de fibras de contracción rápida (11), y las investigaciones han indicado que el flujo de CK está significativamente relacionado al nivel de fuerza medio y al área de las fibras de contracción rápida (9, 14). Los resultados sugieren que los factores mecánicos (e.g., dureza muscular o stiffness, estabilidad articular, y viscosidad) asociadas con la alta carga puede ser responsables del flujo de CK luego de un ejercicio de fuerza (8, 10). Ya que algunos autores han observado un cambio bifásico en la CK sérica luego de los ejercicios de fuerza, es sugerido que el flujo de CK postejercicio puede reflejar diferentes reacciones histopatológicas incluyendo daño, reparación, y regeneración muscular (20).

Aplicaciones Prácticas

Los resultados de este proyecto de investigación mostraron que la restitución postentrenamiento de la potencia máxima relativa es restaurada en un mayor grado dentro de los minutos de la finalización del ejercicio y completamente dentro de 24 horas. El trabajo externo total relativo, el cual está altamente correlacionado con la capacidad anaeróbica, requiere un tiempo de restitución mucho más largo, especialmente en el caso de los ejercicios para el tren inferior, donde está implicada una masa muscular significativamente mayor. Esto justifica las frecuentes sesiones de entrenamiento de la fuerza explosiva dependientes de la potencia anaeróbica máxima. La concentración de LA postejercicio y las variables de equilibrio ácido-base son buenos indicadores para la intensidad de los ejercicios anaeróbicos; sin embargo, estas variables proporcionan poca información acerca del estado fisiológico de los músculos de los atletas después de un período de restitución de 24 horas. La actividad de la CK, la cual aumenta continuamente después de la finalización del ejercicio hasta el período de restitución de 24 horas, puede ser un buen indicador de la tasa de recuperación muscular del músculo y su potencial de capacidad de trabajo.

REFERENCIAS

1. Alen, M., and P. Rahkila (1988). Effects and side effects of hormone doping. In: World Symposium on Doping in Sport. *P. Bellotti, G. Benzi, and A. Ljungqvist, eds. Rome, Federazione Italiana di Atletica Leggera, pp. 149□163*
2. Apple, F.S., M.A. Rogers, D.C. Casal, W.M. Sherman, and J. Ivy (1985). L-Creatine kinase□MB isoenzyme adaptations in stressed human skeletal muscle of marathon runners. *J. Appl. Physiol. 59:(1) 149□153*

3. Bar-Or, O (1978). A new anaerobic capacity test characteristic and applications. *In: The 21st World Congress in Sports Medicine. Brazil*
4. Bar-Or, O., R. Dotan, and O. Inbar (1977). A 30-second all-out ergometric test□Its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel J. Med. Sci. 13:326*
5. Bar-Or, O., R. Dotan, O. Inbar, A. Rotstein, I. Karlsson, and P. Tesch (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability, and validity. *Sports Med. 4:381□394*
6. Burke, E.R., H.L. Falsetti, R.D. Feld, G.S. Pattonand, and C.C. Kennedy (1982). Creatine kinase levels in competitive swimmers during a season of training. *Scand. J. Sports Sci. 4:(1) 1□4*
7. Byrnes, W.C., P.M. Clarkson, J.S. White, S.S. Hsieh, P.N. Frykman, and R.J. Maughan (1985). elayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. *J. Appl. Physiol. 59:(3) 710□715*
8. Clarkson, P.M., W.C. Byrnes, K.M. McCormick, L.P. Turcotte, and J.S. White (1986). Muscle soreness and serum creatine kinase activity following isometric, eccentric, and concentric exercise. *Int. J. Sports Med. 7:(3) 152□155*
9. Clarkson, P.M., W. Kroll, J. Graves, and W.A. Record (1982). The relationship of serum creatine kinase, fiber type, and isometric exercise. *Int. J. Sports Med. 3:(3) 145□148*
10. Clarkson, P.M., P. Litchfield, J. Graves, J. Kirwan, and W.C. Byrnes (1985). Serum creatine kinase activity following forearm flexion isometric exercise. *Euro. J. Appl. Physiol. 53:(4) 368□371*
11. Gollnick, P.D., and W.M. Bayly (1986). Biochemical training adaptations and maximal power. *In: Human Muscle Power. N. L. James, N. McCartney, and A. G. MacComas, eds. Hamilton, Ontario: MacMaster University, 255□264*
12. Graves, J.E., P.M. Clarkson, P. Litchfield, J. Kirwan, and J.P. Norton (1987). Serum creatine kinase activity following repeated bouts of isometric exercise with different muscle groups. *Eur. J. Appl. Physiol. 56:(6) 657□661*
13. Jaffe, A.S., B.T. Garfinkel, C.S. Ritter, and B.E. Sobel (1984). Plasma MB creatine kinase after vigorous exercise in professional athletes. *Am. J. Cardiol. 53:856□858*
14. Jansson, E., and C. Sylven (1985). Creatine kinase MB and citrate synthase in type I and type II muscle fibers in trained and untrained men. *Eur. J. Appl. Physiol. 54:(2) 207□209*
15. Komi, P.V., and J.T. Viitasalo (1977). Changes in motor unit activity and metabolism in human skeletal muscle during and after repeated eccentric and concentric contractions. *Acta Physiol. Scand. 100:(2) 246□254*
16. Newsholme, E.A (1980). Use of enzyme activity measurements in studies on the biochemistry of exercise. *Int. J. Sports Med. 1:100□102*
17. Pan, L., H. Forster, G. Bisgard, C. Murphy, and T. Lowry (1986). Independence of exercise hypernea and acidosis during high-intensity exercises in ponies. *J. Appl. Physiol. 60:1016□1024*
18. Pilis, W., J. Langfort, A. Pilsniak, M. Pyzik, and M. B asiak (1988). Plasma lactate dehydrogenase and creatine kinase after anaerobic exercise. *Int. J. Sports Med. 9:(2) 102□103*
19. Sargeant, A.J., and P. Dolan (1987). Human muscle function following prolonged eccentric exercise. *Euro. J. Appl. Physiol. 56:(6) 704□711*
20. Tokuda, S., and S. Otsuji (1988). Changes in blood creatine kinase activity, calcium, inorganic phosphate, zinc, and polyamines with transient weight training. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 37:(5) 383□392*

Cita Original

Zajac Adam, Zbigniew Waskiewics, y Wieslaw Pilis. Anaerobic Power, Creatine Kinase Activity, Lactate Concentration, and Acid-Base Equilibrium Changes Following Bouts of Exhaustive Strength Exercises. J. Strength Cond. Res.; Vol. 15, No. 3, pp. 357□361, 2001.