PubliCE, (PubliCE) 1994

Monograph

La Influencia del Entrenamiento sobre el Perfil Bioquímico y Mecánico en los Músculos de Atletas

Carmelo Bosco[1,2], Paavo V Komi[2], E. Bosco[3], C. Nicol[2], G. Pulvirenti[3] y I. Caruso[1]

[1]*Universidad de Roma, Tor-Vergata, IR.C.C.S., S. Lucia, Roma, Italia.*
[2]*Universidad de Jyvaskila. Departamento de Biologia de la Actividad Fisica, Jyvaskila, Finlandia.*
[3]*Universidad de Catania, Facultad de Física, Matemáticas y Ciencias Naturales y Facultad de Medicina, Catania, Italia.*

RESUMEN

Un entrenamiento específico a largo plazo puede ser de suficiente fuerza para superar la influencia del potencial genética en las características de la performance física. Esta posibilidad fue analizada indirectamente en un grupo de 49 atletas practicantes de atletismo, los cuales fueron divididos según la composición de las fibras musculares rápidas (FT), y por los antecedentes de entrenamiento, en cuatro subgrupos a saber: atletas de potencia «explosiva rápida» (PF) (FT = 63 %, n = 13), atletas de potencia «explosiva lenta» (PS) (FT = 43 %, n = 13), atletas de «resistencia rápida» (EF) (FT = 41 %, n = 10), y atletas de «resistencia lenta» (ES) (FT = 25 %, n = 13). Todos los atletas realizaron un test de salto vertical de miembros inferiores (SJ) con sobrecarga (15-100 % del peso corporal), y sin sobrecarga. Esto permitió una estimación indirecta de la relación fuerza-velocidad indicada, marcado por un incremento de elevación extra del centro de gravedad ante el uso de peso extra. También se analizaron los músculos extensores de las piernas, en su capacidad de potencia máxima producida durante un test de 15 segundos de saltos continuos (W 15 s), y ante una carrera de 30 m, a máxima velocidad. Además por medio de una biopsia del músculo vasto lateral se analizaron también la oxidación mitocondrial del sustrato (COX y SCR) y las enzimas glucolíticas (PK y LDH). La comparación en estos subgrupos con antecedentes de entrenamiento similar, pero con una diversa composición de las fibras musculares, no han revelado diferencias estadísticamente significativas. En cambio, la comparación de los subgrupos PS y EF, que sí se diferencian en el tipo de entrenamiento, pero no por la composición de las fibras musculares, ha demostrado valores significativamente mas elevados en el grupo PS, tanto en el SJ (P <0,001) como en la potencia del test de salto de 15 s (p <0.01). La capacidad de performance explosiva más elevada estuvo asociada (p <0.001) con la actividad más elevada de LDH, y más baja de COX y SCR. El presente resultado consolida la hipótesis de un fuerte efecto selectivo del entrenamiento sobre la función neuromuscular, que puede enmascarar la influencia básica de la distribución de las fibras musculares fondo, mientras que los atletas de disciplinas de potencia eran velocistas y saltadores. La Tabla l presenta las características físicas de los sujetos, así como la división en cuatro grupos según el tipo de composición de las fibras musculares y el entrenamiento.

Palabras Clave: tipos de fibras, mecánica muscular, enzimas musculares

INTRODUCCION

Las diferencias en la composición de las fibras musculares en el músculo esquelético en atletas que se desempeñan en diversos deportes, han generado la especulación sobre la importancia biológica de la fibra muscular de contracción rápida

FT, y de contracción lenta ST, en el ser humano.

En general, los atletas de elite en los deportes de resistencia son caracterizados por un elevado porcentaje de fibras ST y por una elevada actividad de las enzimas responsables de la oxidación del piruvato y de los ácidos grasos. Por otro lado, los atletas especializados en los deportes de potencia explosiva, que repiten acciones musculares máximas, tienen una predominancia de fibras FT y una elevada actividad de las enzimas comprometidas en la glucólisis (Saltin y cols., 1977). También se ha sugerido que los sujetos dotados de una elevada proporción de fibras FT son más aptos para actividades que requieren producción de fuerza máxima y velocidad elevada (Thorstensson y cols., 1979; Costill y cols., 1976; Coyle y cols., 1979).

Ha sido probado que el factor hereditario es importante en la determinación de la variación interindividual en la composición de las fibras musculares (Komi & Karlsson, 1977). La influencia del factor ambiental no ha sido descartada pero resulta difícil de estimar su relevancia.

Por ejemplo, el grado en el que el entrenamiento físico contribuye a la adaptación muscular, incluyendo la composición de las fibras musculares, necesita ser cuantificado. Y en este propósito, resulta ser particularmente relevante la influencia de un entrenamiento de intensidad elevada realizado en atletas de é1ite, por un período de muchos años.

Por lo tanto, el propósito de este estudio es caracterizar el perfil mecánico y bioquímico en atletas practicantes de disciplinas de resistencia y de potencia. Adicionalmente, estos perfiles están relacionados con diversas características funcionales de performance.

METODOS

SUJETOS: La muestra estuvo integrada por 49 atletas pertenecientes al equipo nacional juvenil italiano de atletismo. De éstos, 23 son atletas de resistencia, y 26 de disciplinas de potencia explosiva. Los atletas de disciplinas de resistencia eran corredores de fondo y medio fondo, mientras que los atletas de disciplinas de potencia eran velocistas y saltadores. La Tabla 1 presenta las características físicas de los sujetos, así como la división en cuatro grupos según el tipo de composición de las fibras musculares y el entrenamiento.

	% FT	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)
-Atletas de potencia explosiva (n = 13)	62.7 +/-7.7	18.0 -	178.1 6.3	68.9 5.3
- Atletas de potencia explosiva (n = 13)	42.8 +/-4.7	18.0 -	181.1 5.7	68.2 4.2
- Atletas de resistencia (n = 10)	41.0 +/-7.2	18.0 -	175.1 5.2	62.8 4.5
- Atletas de resistencia (n = 13)	24.8 +/-3.1	18.0 -	173.9 4.5	58.0 3.1

Tabla 1. *Características físicas y composición fibrilar muscular de cada grupo investigado. Los valores son medias +/- DS. La composición fibrilar muscular fue evaluada a partir de muestras por biopsias extraídas del músculo vasto lateral. Los grupos ES (resistencia lenta) y PF (potencia rápida) difieren significativamente ($p < 0.001$) entre si, y con los otros dos grupos en la composición fibrilar muscular.*

Tests de Performance Física

Todos los sujetos fueron testeados durante el período competitivo pico (Agosto) con varios test de capacidad física. Estos incluían salto de piernas (SJ), 15 s de saltos continuos, y muestras de tejido muscular mediante biopsia. El salto de piernas (SJ) y el test de 15 s de saltos fueron realizados sobre una plataforma ERGOJUMP conectada con un reloj digital (+/- 0.001 s). La elevación del centro de gravedad respecto al terreno (C.G.) por cada performance de salto fue calculada en base al

tiempo de vuelo registrado aplicando la ley balística:

$$h = t^2 . g . 8^{-1} (m) (1)$$

donde t_f tiempo de vuelo (en seg.); g = aceleración de la gravedad (9,81 m/seg 2).

La velocidad vertical de la altura de despegue (V) de cada salto fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$V_v = 1/2\ t_f . g\ (m.s^{-1}) (2)$$

Para tener información más detallada sobre la ejecución del SJ, el lector puede consultar a Komi y Bosco (1979). Cada SJ se inició de una posición estática preestablecida, con las rodillas en un ángulo de 90° y el tronco en la posición más erecta posible. A partir de esta posición inicial se realizaron varios saltos de diverso tipo, con y sin una barra sobre los hombros. La carga de la barra se cambiaba del 15 % al 100 % del peso corporal. La máxima potencia mecánica de los músculos de las piernas en una serie de saltos verticales consecutivos, con una duración de 15 s, fue registrada tomando el tiempo de vuelo en cada salto. El trabajo mecánico realizado durante cada salto fue calculado en base a los picos de oscilación del centro de gravedad (CG), que incluía tanto a la fase de contacto como la fase de vuelo.

El desplazamiento del CG durante el vuelo fue calculado de acuerdo a la fórmula (l), y durante el contacto asumiendo un incremento lineal de la velocidad vertical (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974). Esto permitió proponer la siguiente fórmula:

$$W = g^2 + t_f . 15/4 . n . (15\text{-}t_f), (3)$$

donde W = potencia mecánica (W. Kg.1); g = aceleración debida a la gravedad; t_f = suma del tiempo total de vuelo (s) de todos los saltos (n); n = número de saltos realizados durante el período total de trabajo de 15 segundos.

Además de estos dos tests, los atletas «explosivos» realizaron un test de velocidad de aceleración sobre 30 m, usando la posición convencional de partida.

La reproductibilidad del test de potencia mecánica (15 s de saltos continuos) y de la performance de salto vertical fueron reportados como muy altos, siendo respectivamente r = 0.95 y r = 0.90 (Bosco y cols., 1983; Bosco y Vittasalo, 1982).

Análisis Bioquímico e Histoquímico

Las biopsias musculares fueron obtenidas de la porción lateral del muslo (músculo vastolateral) (Bergstrom,1962). Una porción del músculo fue usada para la identificación de los principales tipos de fibras musculares mediante técnica histoquímica, y la segunda para la medición de la actividad glucolítica (piruvato-kinasa [PK], y lactato dehidrogenasa [LDH]), así como las enzimas involucradas en la oxidación del sustrato mitocondrial (SRC) y la citocromo c oxidasa (COX).

Método Estadístico

Se usaron métodos estadísticos convencionales, incluidos media (X), desvío standard (DS), y el test «t» de Student para muestras no apareadas.

RESULTADOS

La capacidad del SJ ante el uso de sobrecargas de diverso tipo sobre el hombro, han permitido el cálculo computado de las curvas indirectas de fuerza-velocidad, indicadas por la relación entre la sobrecarga y la elevación del CG (Fig. 1 A, B, C). Estas figuras indican que cuando los grupos fueron comparados con un perfil del entrenamiento similar, tanto los de entrenamiento de tipo explosivo (Fig. 1A), como los de entrenamiento de resistencia (Fig. 1B), las curvas de carga-salto en altura no difirieron considerablemente una de la otra entre si. Sin embargo, cuando la comparación fue hecha teniendo en cuenta diferentes tipos de entrenamiento (explosivo versus resistencia), pero con una composición de fibras musculares similar, las curvas fueron significativas en diferentes posiciones ($p < 0.01$) (Fig. 1C), como lo juzga las diferencias entre los puntos medidos, indicando que los atletas de resistencia tenían siempre características menores de potencia explosiva.

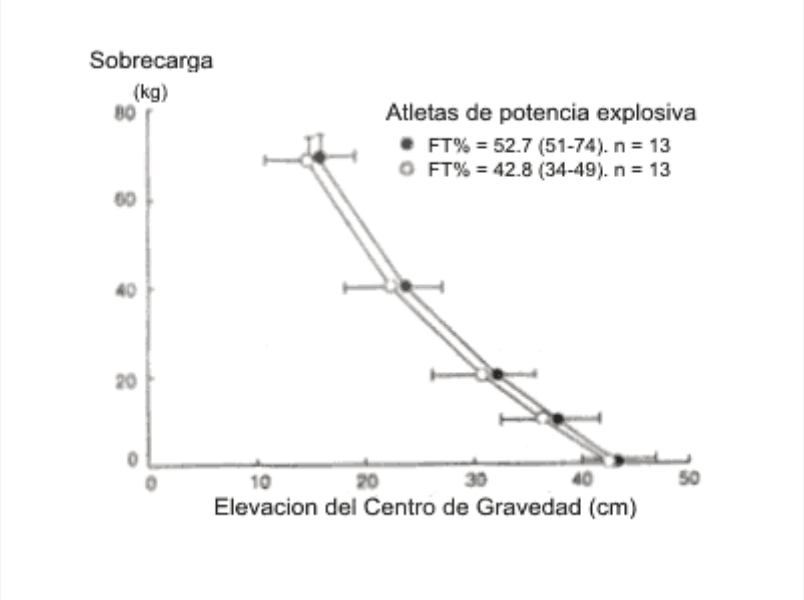


Figura 1A. *Performances de salto vertical de miembros inferiores (SJ) con y sin sobrecarga: relaciones entre la sobrecarga y la elevación del centro de gravedad (C.G.) entre atletas de potencia explosiva. Los sujetos fueron divididos en 2 grupos diferentes de acuer5do a la composición miofibrilar muscular de fibras rápidas (FT). La sobrecarga cero se refiere al peso corporal. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los puntos medidos en el axis horizontal.*

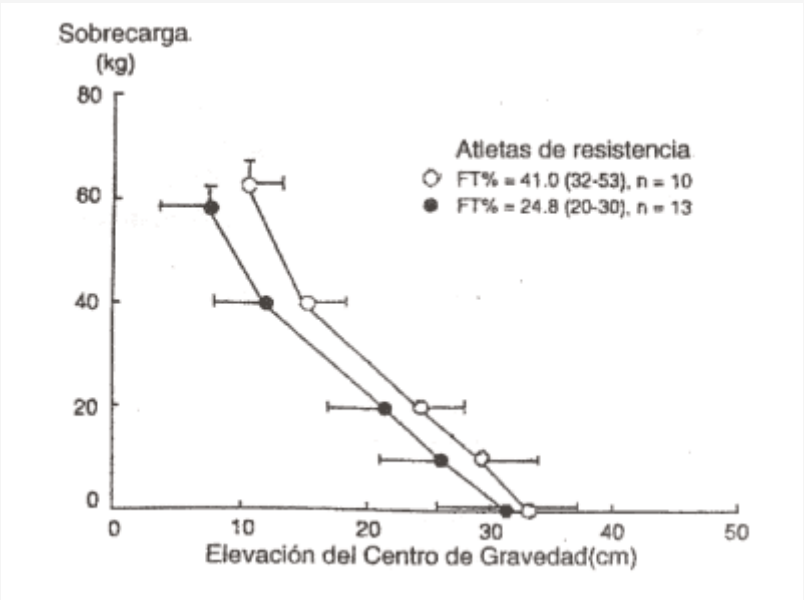


Figura 1B. *Similar comparación que en la Figura 1A, para atletas de resistencia. No se pudieron observar diferencias signicativas entre los puntos medidos en el axis horizontal, excepto para el punto más alto ($p<0.05$).*

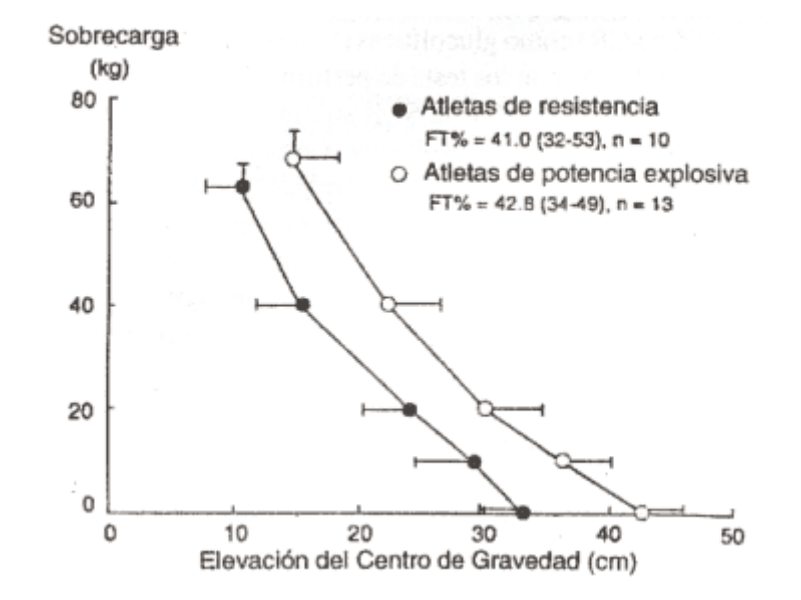


Figura 1C. *Comparación del test de salto vertical (SJ) desarrollado con atletas que tienen diferentes antecedentes de entrenamiento, pero composición de fibras FT similares. Los puntos medidos entre curvas difirieron significativamente (p<0.01) entre si, ante todos los niveles de sobrecarga.*

El test de salto continuo de 15 s midió la capacidad en Watts . BW (Body weight, BW, peso corporal). Estos valores de potencia fueron de nuevo comparado entre los diferentes grupos PF, PS, EF, y ES. Como se puede ver en la Fig. 2, el grupo de atletas de resistencia, considerado como un solo grupo, tiene valores de potencia significativamente menores (p <0.0001) que los atletas explosivos. Esta importante comparación en el presente estudio fue, sin embargo, con los subgrupos de los dos grupos principales. Esta comparación reve1ó que PF y PS no difieren significativamente entre ellos en la potencia producida durante el test de 15 s. La misma evidencia es cierta cuando la comparación fue hecha también en los grupos EF y ES. Sin embargo, los grupos con composición fibrilar muscular similar, pero con diverso perfil de entrenamiento (PS versus EF), han demostrado diferencias significativas: los atletas de potencia tenían valores significativamente más elevados de potencia (P<0.01) respecto de los atletas de resistencia.

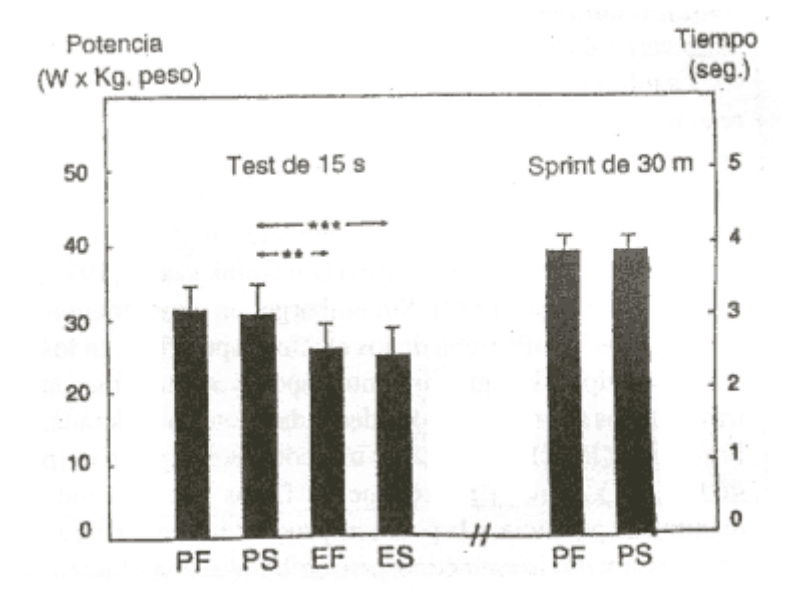


Figura 2. *Medias grupales +/- DS en el test de multisalto de 15 seg. y en la carrera de velocidad de 30 m. Para la identificación de grupos, ver la Tabla 1 y la Figura 1A.*

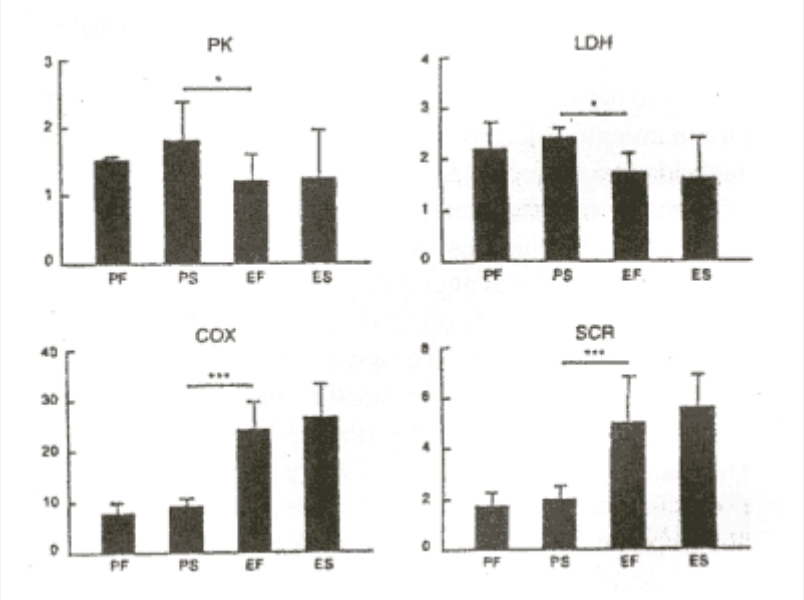


Figura 3. *Actividades de las enzimas Piruvato-Kinasa (PK). Lactato Dehidrogenasa (LDH), Succinato Citocromo c Oxidasa (COX) en las diferentes muestras de atletas (Para la identificación de grupos, ver Tabla 1 y la Figura 1A). Las actividades de PK y LDH son expresadas en µmol cyt.c/gr.(ps)/min a 22 grados de tempreatura +/- 1º. COX y SCR son expresadas en µmol x min $^{-1}$ x (mg proteina)$^{-1}$. (*) p<0.05; (***) p<0.001.*

La fig. 2 presenta también la comparación del tiempo sobre 30 m en velocidad entre los grupos PF y Ps. Los tiempos medios de 3 s 90/100 y 3 s 91/100, respectivamente, no difieren significativamente entre si.

Las características bioquímicas analizadas del tejido de la biopsia muscular fueron comparadas en la misma forma como a través de SJ. La figura 3 representa estas comparaciones. La tendencia general fue que los grupos PF y PS de un lado, y los grupos EF y ES por el otro, no tienen actividad enzimática significativamente diferente. Sin embargo, los atletas de potencia explosiva, como grupos unificado, tenían valores de actividad enzimática significativamente diferentes ($p < 0.05$ – $p < 0.0001$) comparados con aquellos valotes de atletas de resistencia. Diferencias similares fueron observadas entre los subgrupos PS y EF.

REFERENCIAS

1. Asmussen E, Bonde-Petersen F (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscle in man. *Acta Physiol Scand:91: 385-392*
2. Bergstrom J (1962). Muscle electrolytes in man. *Scand J Clin Lab Invest (Suppl.): 68: 11-13*
3. Bosco C, Komi PV (1979). Mechanical characteristics and fibre composition of human leg extensor muscle. *Eur J Appl Physiol: 41: 275-284*
4. Bosco C, Viitasalo JT (1982). Potentation of myoelectrical activity of human muscles in vertical jumps. *Electromyogr Clin Neurophysiol: 22: 584-562*
5. Bosco C, Luthanen P, Komi PV (1983). A simple method for measurement mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol:50:273-282*
6. Close R (1972). Dynamic properties of mammalian skeletal muscle. *Physiol Rev: 52: 129-197*
7. Costill DL, Fink WJ, Pollock ML (1976). Muscle fibre composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med Sci Sports: 8: 96-100*
8. Costill DL, Daniels J., Evans W, Fink W, Krahenbuhl G, Saltin B (1976). Skeletal muscle enzymes and fibre composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol: 40: 149-154*
9. Coyle EF, Costill DL, Leshes GR (1979). Leg extension power and muscle fibre composition. *Med Sci Sports: 11: 12-15*
10. Goldspink G, Larsson RE, Davies RE (1970). The immediate energy supply and the cost of maintenance of isometric tension for different muscle in the hamster. *Z Vgl Physiol: 66: 389 397*
11. Ivy JL, Withers RT, Brose G, Marxwell BD, Costill DL (1981). Isokinetic contractile properties of the quadriceps with relation to fibre type. *Eur J Appl Physiol: 46: 247-255*
12. Komi PV, Bosco C (1978). Utilization ofelastic energy in jumping and its relation to skeletal muscle fibre composition in man. *Med*

Sci Sports: 10: 4: 261-265
13. Komi PV, Karlsson J (1979). Physical performance, skeletal muscle enzyme activities and fibre types in monozygous twins of both sexes. *Acta Physiol Scand (Suppl): 462*
14. Moritani T, Devries H (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med 1979: 58 (3): 115-130*
15. Saltin B, Henriksson J, Nygard E, Andersen P, Jansson E (1977). Fibre types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary men and endurance runners. *Ann N Y Acad Sci: 301: 3-29*
16. Steg G (1964). Efferent muscle innervation and rigidity. *Acta Physiol Scand (Suppl): 61*
17. Thorstensson A, Grimby G, Karlsson J (1976). Force velocity relation and fibre composition in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol: 40: 12-16*
18. Thorstensson A, Grimby G, Karlsson J (1977). Muscle strength and fibre composition in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol 40: 12-16*
19. Thorstensson A, Larsson L, Tesch P, Karlsson J (1977). Muscle strength and fibre composition in athletes and sedentary men. *Med Sci Sports: 9: 26-30*
20. Tihany J, AporP, Fekete G (1982). Force-velocity-power characteristics and fibre composition in human knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol: 48: 331-343*

Cita Original

C. Bosco, P. V. Komi, E. Bosco, C. Nicol, G. Pulvirenti y I. Caruso. La Influencia del Entrenamiento sobre el Perfil Bioquímico y Mecánico en los Músculos de Atletas. Revista de Actualización en Ciencias del Deporte Vol. 5 Nº14. 1997.