

Article

# Adaptación del Músculo Esquelético en Chicos Adolescentes: Entrenamiento y Desentrenamiento Aeróbico y de Velocidad

## Skeletal Muscle Adaptation in Adolescent Boys: Sprint and Endurance Training and Detraining

Mario Fournier, Joe Ricci, Ronald Feeguson, Albert Taylor, Richard Montpetit y Bernard Chaitman

*Departamento de Educación Física. Universidad de Montreal e Instituto del Corazón de Montreal, Quebec Canadá.*

### RESUMEN

El propósito del presente estudio fue investigar los efectos de 3 meses de entrenamiento aeróbico y de velocidad sobre el área de la fibras y de la actividad glucolítica (PFK fosfofructokinasa) y oxidativa (SDH succinato deshidrogenasa) del vasto lateral en niños adolescentes. La actividad enzimática fue también determinada luego de 6 meses de desentrenamiento. El entrenamiento aeróbico generó un aumento significativo en el VO<sub>2</sub> max. (58.4 - 64.3 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>), un aumento del área de la fibra ST y FTa (6.0 - 7.3 y 8.0 - 10.4 μm<sup>2</sup> x 10<sup>3</sup>) respectivamente y en la actividad de la SDH (6.4 - 9.1 IU). Luego del desentrenamiento el VO<sub>2</sub> max y la actividad de la SDH retornaron a los niveles de preentrenamiento. El entrenamiento de velocidad resultó en un aumento significativo solo en la actividad de la PFK (28.1 - 33.9 IU) el cual también disminuyó luego del periodo de desentrenamiento. Estos datos demuestran que los cambios enzimáticos en el músculo esquelético de adolescentes masculinos son específicos en relación al modo de entrenamiento y que son similares en dirección pero diferentes en magnitud comparado con los hallados en adultos.

**Palabras Clave:** actividad enzimática, tamaño fibra muscular, biopsia, entrenamiento físico, adolescentes

### ABSTRACT

The purpose of the present study was to investigate the effects of 3-month sprint and endurance training programs on the vastus lateralis muscle fiber area and the activities of glycolytic (phosphofructokinase; PFK) and oxidative (succinate dehydrogenase; SDH) enzymes of adolescent boys. Enzyme activities were also determined after a subsequent 6-month detraining period. Endurance training resulted in significant increases in VO<sub>2</sub>max (58.4 to 64.3 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup>), in ST and FTa fiber area (6.0 to 7.3 and 8.0 to 10.4 microns<sup>2</sup> x 10<sup>3</sup>), respectively), and in SDH activity (6.4 to 9.1 IU). After detraining VO<sub>2</sub>max and SDH activity returned to pretraining levels. Sprint training resulted in a significant increase only in PFK activity (28.1 to 33.9 IU), which was also abolished in the detraining period. These data demonstrate that in adolescent boys skeletal muscle enzyme changes are specific to the mode of training and that they are similar in direction

but different in magnitude to those found in adults.

**Keywords:** enzyme activity, muscle fiber size, biopsy, physical training, teens

## INTRODUCCIÓN

---

El entrenamiento aeróbico ha mostrado un aumento de la actividad de las enzimas oxidativas del musculo esquelético (12-15-16-22-23-25) y el entrenamiento de velocidad ha mostrado un incremento (25-26) o ningún efecto (17) sobre la actividad de las enzimas glucolíticas en adultos. Eriksson y col. (8) notaron que la actividad de la succinato deshidrogenasa (SDH) en chicos de 11-13 años de edad fue similar a la de adultos antes y después de un entrenamiento. También Eriksson (7-8) reportó una disminución de la actividad de la fosfofructokinasa (PFK) en chicos jóvenes comparados con sedentarios, entrenados y deportistas adultos. Hasta esta investigación, no se había publicado ningún estudio sobre los efectos específicos del entrenamiento en el musculo esquelético en adolescentes masculinos, entre la pubertad y la adultez. El propósito de la presente investigación fue determinar los efectos del entrenamiento aeróbico y de velocidad sobre la actividad del musculo esquelético, de la SDH, la PFK y del tamaño de las fibras. Para analizar los cambios parciales debido al crecimiento, la actividad de las enzimas fueron también determinadas después de un periodo de 6 meses de desentrenamiento.

## MÉTODOS

---

Doce varones adolescentes de edades entre 16-17 años, fueron asignados al azar a dos grupos de entrenamiento, bajo supervisión, de 4 veces por semana, durante 3 meses. Se obtuvieron consentimientos informados de cada sujeto firmados por sus padres. El grupo de entrenamiento aeróbico (END) realizó carrera, incrementada progresivamente, desde 2 repeticiones de 10 minutos, hasta 2 repeticiones de 30 minutos, con 5 minutos de pausa entre repeticiones. Esto se realizó a velocidades que requerían del 60 al 70% de la máxima frecuencia cardiaca al comienzo del entrenamiento, alcanzando del 80 al 90% al llegar al final del programa de entrenamiento. El grupo de entrenamiento de la velocidad (SP) realizó carreras intervaladas de 50 a 250 metros, y ocasionalmente carreras subiendo escaleras o cuestas. El tiempo de entrenamiento utilizado en cada grupo fue el mismo. Las siguientes evaluaciones fueron realizadas antes y después de 3 meses de entrenamiento; algunas de ellas fueron repetidas después de 6 meses de desentrenamiento. El porcentaje de grasa fue estimado con 10 pliegues de grasa de acuerdo al protocolo de Allen y col (1). El máximo consumo de oxígeno fue obtenido con el test de Leger y col (20). Las biopsias del musculo esquelético fueron tomadas del vasto externo con la técnica de Bergström (5). Una biopsia fue congelada inmediatamente. Se tomaron cortes en series como fue descrito previamente y coloreado para identificar la ATPasa del complejo actomiosina con el método de Dubowitz y Brooke (6).

## RESULTADOS

---

El entrenamiento resultó en un incremento significativo en  $VO_{2max}$  ( $l \cdot min^{-1}$ ) para END (12%) y SP (10%) (tabla 1). El descenso en la máxima frecuencia cardiaca fue significativo en el grupo END. Durante el ejercicio submáximo (0% inclinación - 7 mph) la frecuencia cardiaca fue ( $p < 0.05$ ) significativamente más baja tanto para el grupo SP ( $168 \pm 12$  a  $163 \pm 11$   $lat \cdot min^{-1}$ ) como para el grupo END ( $171 \pm 12$  a  $158 \pm 12$   $lat \cdot min^{-1}$ ). Después de 6 meses de desentrenamiento el  $VO_{2max}$  no fue diferente significativamente de los valores previos al entrenamiento, pero si fueron suficientemente diferentes a los valores al final del periodo de entrenamiento. El grupo END mostró aumentos significativos en el área de las fibras musculares ST, FTa y FTc, mientras que no fue significativo para el grupo que entrenó velocidad (tabla 2). La distribución de las fibras permaneció sin cambios en ambos grupos. El grupo END mostró un 42% de aumento en la actividad de la SDH en el vasto lateral (tabla 3 - figura 1) y ningún cambio en la actividad de la PFK (tabla 3 - figura 2). Por otro lado, el grupo SP mostró un aumento del 21% en la actividad de la PFK sin ninguna modificación en la SDH. Después de 6 meses de desentrenamiento, la actividad de la SDH en el vasto lateral en el grupo END y la actividad de la PFK en el grupo SP retornaron a valores menores que los de antes del entrenamiento aunque no fueron significativos. La actividad de la SDH en el grupo SP fue significativamente menor ( $p < 0.05$ ) después del desentrenamiento, comparado con los valores antes y después del entrenamiento.

## DISCUSIÓN

Åstrand (2) y Eriksson (8-9) han mostrado que los resultados del entrenamiento físico puede diferir en jóvenes comparados con adultos. Åstrand (2) demostró un progresivo aumento de la capacidad aeróbica desde la niñez a la adultez, aunque un metabolismo inferior antes de la pubertad. Eriksson (8-9) encontró cambios en la actividad de las enzimas oxidativas con entrenamiento aeróbico en chicos con pocas modificaciones en la actividad glucolítica. La actividad de la SDH solo se aproximó a los valores en adultos, y la actividad de la PFK fue inferior que la observada en adultos sedentarios. Los presentes resultados confirman los hallazgos encontrados en adolescentes y posiblemente en chicos post púberes. Ambos grupos de entrenamiento han mostrado incrementos en el  $VO_{2max}$  (2-18). Los resultados de este estudio indican una respuesta enzimática específica para cada tipo de entrenamiento, a pesar de un aumento similar en el  $VO_{2max}$ . El grupo END o de entrenamiento continuo aumentó la actividad enzimática, y el grupo SP incrementó la actividad glucolítica. Los cambios en el  $VO_{2max}$  y en la actividad enzimática oxidativa pueden ocurrir separadamente como ha sido demostrado por Henriksson y Reitman (15). Una adaptación específica fue mostrada por el incremento con entrenamiento aeróbico en el área de las fibras ST y FTa. Esto sugirió que el entrenamiento aeróbico estimuló unidades motoras particulares con aumento de tamaño (3-10-14). Sin embargo el grado de tensión generado durante el entrenamiento de velocidad fue adecuado para estimular la vía glucolítica anaeróbica aunque el tiempo y la tensión generada no fue suficiente para aumentar el tamaño de la célula. La adaptación de la actividad enzimática oxidativa en el musculo esquelético en adolescentes es similar a la observada en adultos (10-12-13-17-19). Sin embargo los bajos valores de PFK y la falta de hipertrofia de las fibras FTb, con el entrenamiento de velocidad, difieren de los hallazgos encontrados en adultos. Finalmente, el crecimiento parece no influenciar estos resultados, por que el peso y la talla no se modificaron durante los 3 meses de entrenamiento y las enzimas no cambiaron significativamente después de 9 meses de haber comenzado el estudio, con la excepción de la actividad disminuida en el grupo de entrenamiento de velocidad.

**Tabla 1.** Datos pre, post y desentrenamiento. Valores en media y desvío estándar

\* = diferencia significativa entre pre y post entrenamiento ( $p < 0.05$ ).

† = diferencia significativa entre post y desentrenamiento ( $p < 0.05$ ) usando ANOVA de medidas repetidas.

SP= grupo entrenamiento velocidad; END= grupo entrenamiento aeróbico; N=6 sujetos por grupo

	Pre entrenamiento		Post entrenamiento 3 meses		Desentrenamiento 6 meses	
	SP	END	SP	END	SP	END
Edad (años)	16.3 ± 0.2	16.8 ± 0.3	16.7 ± 0.2	17.1 ± 0.3	17.2 ± 0.3	17.6 ± 0.4
Talla (cm)	172.4 ± 8.2	171.7 ± 6	172.6 ± 8.2	171.6 ± 6.2	172.9 ± 7.4	171.9 ± 6.8
Peso (kg)	61.2 ± 10.5	64.7 ± 7.7	63.1 ± 10.7	65.5 ± 8.5	65.2 ± 9.6	66.3 ± 8.1
% grasa	13.5 ± 4.4	14.7 ± 2.6	14.2 ± 3.8	14.2 ± 3	---	---
FCard 0%-7 mph) (laxmin)	168 ± 12	171 ± 12	163 ± 11*	158 ± 12*	---	---
VO2 max (lxmin)	3.64 ± 0.6	3.72 ± 0.2	3.99 ± 0.7*	4.15 ± 0.5*	3.9 ± 0.4†	3.82 ± 6†
VO2 max (mlxkgxmin)	59.5 ± 4.1	58.4 ± 5.6	63.2 ± 5.4	64.3 ± 5.6*	57.6 ± 4†	58.8 ± 6†
VE max (lxmin)	102.5 ± 18.2	105.9 ± 7.6	98.7 ± 20.2	111.9 ± 9.3	103.4 ± 2.7	102.7 ± 11.2
FCard. Max	200 ± 11	200 ± 8	194 ± 9	191 ± 11*	197 ± 8	190 ± 10
R max	1.07 ± 0.06	1.09 ± 0.05	1.02 ± 0.05*	1.02 ± 0.06*	1.03 ± 0.09	1.06 ± 0.04

**Tabla 2.** Efectos del entrenamiento sobre el área y la distribución de la fibra muscular esquelética.

Para descripción de términos ver tabla 1 y texto.

\* = diferencia significativa entre pre y post entrenamiento ( $p < 0.05$ ).

	Pre entrenamiento		Post entrenamiento	
	SP	END	SP	END
Area ( $\mu\text{m}^2 \times 10^3$ )				
ST	4.8 $\pm$ 0.6	6 $\pm$ 1.8	5.2 $\pm$ 0.3	7.3 $\pm$ 2*
FTa	6.2 $\pm$ 0.7	8 $\pm$ 3.1	6.7 $\pm$ 0.3	10.4 $\pm$ 2.5*
FTb	5.9 $\pm$ 0.9	6.8 $\pm$ 2.5	5.6 $\pm$ 0.5	8.5 $\pm$ 1.4
FTc	7.4 $\pm$ 0.5	8 $\pm$ 2	6.6 $\pm$ 0.8	9.7 $\pm$ 2.1*
Distribución (%)				
ST	43.6 $\pm$ 15	47.2 $\pm$ 15.7	47.2 $\pm$ 8.3	47 $\pm$ 13.2
FTa	36.3 $\pm$ 12.9	29.5 $\pm$ 4.3	33.4 $\pm$ 10.3	36.9 $\pm$ 14.2
FTb	18.5 $\pm$ 3.4	21.9 $\pm$ 14.1	18.5 $\pm$ 2.2	15.1 $\pm$ 6.5
FTc	1.6 $\pm$ 1.5	1 $\pm$ 1.6	0.9 $\pm$ 1	1 $\pm$ 1.5

**Tabla 3.** Efectos de entrenamiento y desentrenamiento sobre la actividad enzimática muscular en adolescentes. Para descripción de terminos ver tabla 1 y texto.

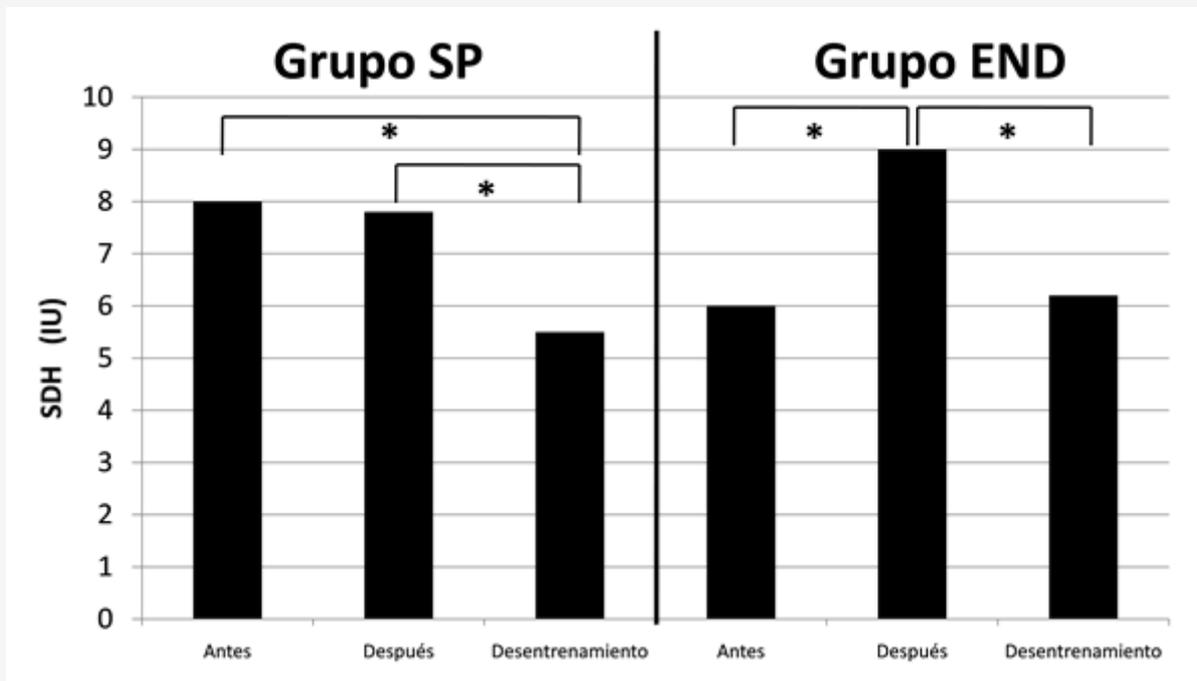
IU=  $\mu\text{moles} \times \text{gr} \times \text{min}$

\* = diferencia significativa entre pre y post entrenamiento ( $p < 0.05$ ).

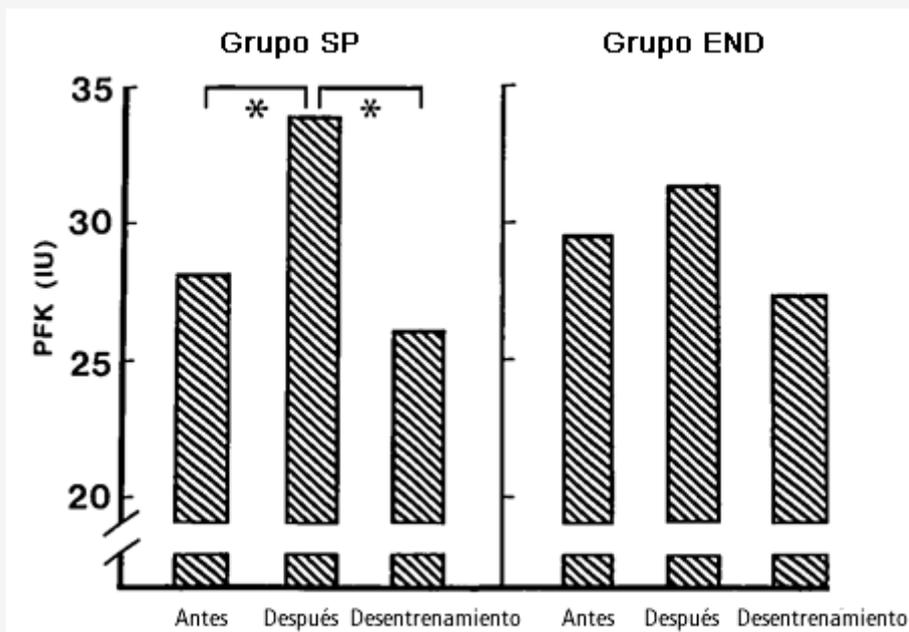
† = diferencia significativa entre post y desentrenamiento ( $p < 0.05$ ) usando ANOVA mediciones repetidas.

SP= grupo entrenamiento velocidad; END= grupo entrenamiento aeróbico; N=6 sujetos por grupo

	Pre entrenamiento		Post entrenamiento		Desentrenamiento 6 meses	
	SP	END	SP	END	SP	END
SDH (IU)	8.2 $\pm$ 3.7	6.4 $\pm$ 2	7.9 $\pm$ 2.8	9.1 $\pm$ 3.6*	5.7 $\pm$ 4.2†	6.5 $\pm$ 2†
PFK (IU)	28.1 $\pm$ 7.4	29.6 $\pm$ 7.7	33.9 $\pm$ 6.6*	31.4 $\pm$ 10.4	25.6 $\pm$ 6.2†	27.4 $\pm$ 9.3



**Figura 1.** Actividad de la Succinato deshidrogenasa (SDH) antes y después de 3 meses de entrenamiento de velocidad (SP) y de resistencia (END), y 6 meses de desentrenamiento.



**Figura 2.** Actividad de la Fosfofructokinasa (PFK) antes y después de 3 meses de entrenamiento de velocidad (SP) y de resistencia (END), y 6 meses de desentrenamiento.

Esta investigación fue financiada en parte por una beca de Fonds de Soutien, Alma Mater, Universidad de Montreal.

Todas las superficies y porcentajes de las fibras fueron calculados de las micrografías de NADH nitrotetrazolium reductasa coloreadas (21), en un contador de partículas Zeiss modelo TGZ3. Una segunda biopsia fue bioquímicamente analizada (LKB reaction rate analyzer modelo 8200) para la actividad enzimática de SDH (EC 1.3.99.1) y PFK (EC 2.7.1.11), con el método fluorométrico de Gollnick, descrito por Sembrowich y col, y Bergmayer (4) respectivamente.

## REFERENCIAS

- Allen TH, MT Peng, KP Cheng, TF Hyang, C Chang y HS Fang (1956). Prediction of total adiposity from skinfolds and curvilinear relationship between external and internal adiposity. *Metabolism*. 5:346-352
- Astrand PO (1952). Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. *Copenhagen: Munksgaard*. P 56
- Bell RD, JD MacDougall, R Billeter and H Howald (1980). Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in six year old children. *Med. Sci Sports Exercise*. 12:28-31
- Bergmeyer U (1974). Methods of enzymatic analysis. *New York. Academic Press*, p 451
- Bergstrom J (1962). Muscle electrolytes in man. *Scand J. Clin. Lab. Invest. Supplement*. 68:1-110
- Dubowitz U and MH Brooke (1973). Muscle biopsy: a modern approach. *London WB Saunders*, p 475
- Eriksson BO (1972). Physical training, oxygen supply and muscle metabolism in 11-13 year old boys. *Acta Physiol. Scand. Supplement*. 384:1-48
- Eriksson BO, PD Gollnick and B Saltin (1973). Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol. Scand*. 87:485-497
- Eriksson BO, J Karlsson and B Saltin (1971). Muscle metabolism during exercise in 13 years old boys. *Acta Paediatr. Scand*. 60 Supplement. 217, 57-63
- Essen B, E Jansson, J Henriksson, AW Taylor and B Saltin (1975). Metabolic characteristics of fibre type in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand*. 95:153-165
- Ferguson RJ, J Charlebois, AW Taylor et al (1979). Peripheral adaptations with training in patients with angina pectoris. *Circulation* 60 Supplement II. Abstract, 235
- Gollnick PD, RB Armstrong, B Saltin, CW Saubert, WL Sembrowich and RE Shepherd (1973). Effect of training on enzyme activity and fibre composition of human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol*. 34:107-111
- Gollnick PD, RB Armstrong, CW Saubert, K Piehl and B Saltin (1972). Enzyme activity and fibre composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J. Appl. Physiol*. 33:312-319
- Henriksson J and JS Reitman (1976). Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II fibers of man after training.

15. Henriksson J and JS Reitman (1977). Time course of changes in human skeletal muscle succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activities and maximal oxygen uptake with physical activity and inactivity. *Acta Physiol. Scand.* 99:91-97
16. Jansson E and L Kaisjer (1977). Muscle adaptation to extreme endurance training in man. *Acta Physiol. Scand.* 100:315-324
17. Karlsson J (1971). Lactate and phosphagen concentrations in working muscle man. *Acta Physiol. Scand. Supplement.* 358:1-72
18. Knuttgen HG, LO Norder, B Ollander and B Saltin (1973). Physiological conditioning through internal training with young male adults. *Med. Sci. Sports.* 5:220-226
19. Komi PV and J Karlsson (1978). Skeletal muscle fibre types enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta Physiol. Scand.* 103:210-218
20. Leger L, V Seliger and L Brassard (1980). Backward extrapolation of VO<sub>2</sub> max. values from the O<sub>2</sub> recovery curve. *Med. Sci. Sports Exercise.* 12:24-27
21. Novikoff AB, WY Shin and J Drucker (1961). Mitochondrial localization of oxidative enzymes staining results with two tatrazolum salts. *J. Biophys. Biochem. Cytol.* 9:47-61
22. Saltin B (1973). Metabolic fundamentals in exercise. *Med. Sci. Sports.* 5:137-146
23. Saltin B, K Nazar, DL Costill et al (1976). The nature of the training response: peripheral and central adaptations to one legged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 96:289-305
24. Sembrowich WL, MB Knudson and PD Gollnick (1977). Muscle metabolism and cardiac function in the myopathic hamster following training. *J. Appl. Physiol.* 43:936-941
25. Taylor AW, S Lavoie, G Lemieux, C Dufresne, JS Skinner and J Vallee (1978). Effects of endurance training on the area and enzyme activities of skeletal muscle of French Canadians. In: 3rd International Symposium on biochemistry of exercise. *F Landry and WAR Orban (Eds). Miami: Sumposia Specialist, pp 267-278*
26. Thorstensson A, B Sjodin and J Karlsson (1975). Enzyme activities and muscle after sprint training in man. *Acta Physiol. Scand.* 94:313-318

### **Cita Original**

Fournier M, Ricci J, Taylor AW, Ferguson RJ, Montpetit RR, Chaitman BR. Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(6):453-6.