

## Fatiga del sistema nervioso mediante umbrales Flicker Fusion después de una prueba de ultrarresistencia por relevos de 200 km

Fatigue of the nervous system through Flicker Fusion thresholds after a 200 km ultra-endurance relay event

Vicente J. Clemente Suárez<sup>1</sup>, Roberto Martínez Trigo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio Entrenamiento Deportivo. Facultad Ciencias del Deporte. Universidad de Castilla-La Mancha

<sup>2</sup> Laboratorio de Fisiología y Biomecánica. Facultad Ciencias de la Educación y el Deporte de Pontevedra. Universidad de Vigo

### CORRESPONDENCIA:

Vicente Clemente Suárez

Laboratorio Entrenamiento Deportivo

Facultad CC. Deporte. Modulo Acuático

Avda. Carlos III s/n.

45004 Toledo

vicente.clemente@uclm.es

Recepción: noviembre 2009 • Aceptación: enero 2010

### Resumen

La investigación en pruebas de ultrarresistencia se ha centrado en el estudio de la respuesta orgánica a través del estudio de diversos parámetros fisiológicos y de composición corporal. El estudio de la influencia en la función cognitiva y el sistema nervioso central no se ha abordado en estas especialidades aunque diversos autores han estudiado la fatiga del sistema nervioso central en sujetos desentrenados y ante diferentes estímulos de ejercicio (Davranche & Audifren, 2004; Gibson & Noakes, 2004; Presland et al., 2005) mediante los Umbrales Flicker Fusion (UFF). El presente estudio pretende estudiar los cambios en los umbrales Flicker Fusion antes y después de realizar una prueba de ultrarresistencia por relevos de 200 km, como medio para valorar la fatiga del sistema nervioso central. La muestra la componen 7 corredores ( $33 \pm 6,9$  años;  $172,6 \pm 3$  cm;  $69,3 \pm 8,7$  kg;  $23,2 \pm 1,7$  kg/m<sup>2</sup>;  $13,0 \pm 2,6\%$  grasa). Previo a la prueba y al finalizar el último relevo de cada corredor, se realizaron las mediciones de los UFF, cada sujeto realizó el test de UFF en tres ocasiones. Los resultados muestran cómo los UFF aumentan después de la prueba aunque no significativamente. Con estos resultados podemos concluir que una prueba de ultrarresistencia por relevos de 200 km no parece que genere fatiga en el Sistema Nervioso Central medida con el sistema Flicker Fusion, ni altere la función cognitiva al no modificarse los UFF.

**Palabras clave:** sistema nervioso central, fatiga, umbrales Flicker Fusion, ultrarresistencia, carrera a pie.

### Abstract

Research about ultra-endurance events has focused on the study of the organism's response to these events through the study of various physiological parameters and body composition. The study of the influence on cognitive function and the central nervous system has not been measured in these specialties, although various authors have studied central nervous system fatigue in untrained subjects and while executing different types of exercise (Davranche & Audifren, 2004, Gibson & Noakes, 2004; Presland et al, 2005) using the Flicker Fusion Threshold (UFF). This study attempts to study changes in Flicker Fusion Thresholds before and after running a 200 km ultra-endurance relay as a means to assess the central nervous system fatigue. The sample was composed of seven runners ( $33 \pm 6.9$  years,  $172.6 \pm 3$  cm,  $69.3 \pm 8.7$  kg,  $23.2 \pm 1.7$  kg / m<sup>2</sup>;  $13.0 \pm 2.6\%$  fat). Before the event and after each subject's last relay, runners performed the UFF test, and each subject performed the UFF test three times. The results show how the UFF increased after the event but not significantly. With these results we conclude that a 200 km ultra-endurance relay event does not generate fatigue in the central nervous system as measured by Flicker Fusion, nor does it alter cognitive function as the UFF does not change.

**Key words:** central nervous system, fatigue, flicker fusion threshold, ultra-endurance, race.

## Introducción

Las investigaciones realizadas en pruebas de ultrarresistencia se han centrado principalmente en el estudio de la respuesta orgánica de los participantes en ese tipo de estímulos. De esta forma se han estudiado cambios de la composición corporal (Bircher et al., 2006; Knechtle et al., 2008), la destrucción muscular (Haiach & Hosler, 1985; Siegel et al., 2007), los sustratos energéticos utilizados (Callow et al., 1986) y la influencia en diversos parámetros fisiológicos (Maron et al., 1975; Nieman et al., 2001; Sánchez-González et al., 2003; Sulzer et al., 2005). No hemos encontrado ningún tipo de estudio que se centre en la repercusión que puede tener este tipo de pruebas de ultrarresistencia en la función cognitiva o el sistema nervioso central.

Al revisar la literatura científica referente a la influencia del ejercicio sobre el sistema nervioso y el funcionamiento cognitivo, podemos observar que existen diferentes respuestas a diferentes ejercicios. De este modo, ejercicios anaeróbicos intensos hasta el agotamiento y ejercicios hasta alcanzar el  $VO_2$ max parecen no afectar a la función cognitiva. Por otro lado, los ejercicios aeróbicos de corta duración y anaeróbicos producen una mejora del rendimiento cognitivo general. Y, por último, los ejercicios submáximos que conducen a la deshidratación y/o el agotamiento de los sustratos energéticos disminuyen tanto el procesamiento de la información como las funciones de la memoria (Tomprowski, 2003). Uno de los métodos más utilizados para medir la fatiga del sistema nervioso central y la función cognitiva ha sido la utilización de los Umbrales Flicker Fusion (UFF). Ya en 1952 Simonson y Brožec mostraron la relación que existía entre los UFF, el nivel de activación cortical y la fatiga del sistema nervioso central (SNC), postulando que una disminución en los UFF entraría relacionada con un aumento en la fatiga del SNC. También se ha observado que los UFF tienen relación con la edad y el nivel de fitness.

Así es que los sujetos más jóvenes obtienen mayores valores en los UFF, mientras que los sujetos más mayores tienen valores de UFF menores. También los sujetos con un nivel de *fitness* superior tienen valores más elevados en los UFF que los sujetos con un nivel de *fitness* menor (Dustman et al., 1990).

Varios autores han estudiado los UFF en sujetos desentrenados (Bobon et al., 1982; Li et al., 2004), aunque son los estudios realizados en ejercicio los que tienen más relación con el estudio que hemos realizado. Este es el caso de Presland et al. (2005), los cuales, al estudiar a 15 sujetos sanos después de realizar una prueba

de ciclismo hasta la extenuación al 70% del  $VO_2$ max, comprobaron cómo existía un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de los UFF ( $39,2 \pm 2,3$  vs.  $41,7 \pm 3,0$  Hz).

En relación al estudio de estímulos anaeróbicos intensos hasta el agotamiento, Davranche y Pichon (2005), al estudiar los cambios en los UFF en 7 sujetos físicamente activos al finalizar un test de  $VO_2$ max, pudieron comprobar cómo la sensibilidad sensorial aumentaba después de este test. Sin embargo no se observaron diferencias significativas en el criterio subjetivo.

Dentro del estudio de los UFF en esfuerzo de baja intensidad, Davranche y Audifren (2004) comprobaron, al analizar a 16 sujetos con experiencia específica en deportes con toma de decisiones (fútbol, balonmano, baloncesto y tenis), cómo la realización de estímulos de 20 s al 20% y al 50% de la potencia aeróbica máxima en cicloergómetro mejoran su rendimiento cognitivo. También en esta línea un estudio realizado sobre personas mayores (66,6 años) donde se realizó un entrenamiento aeróbico durante cuatro meses (3 sesiones/semana 1 h andando) se pudo comprobar cómo los valores en los UFF tanto en hombres como en mujeres fueron mejores que los obtenidos antes de realizar el programa de entrenamiento aeróbico (Dustman et al., 1985).

El presente estudio pretende continuar el estudio de los cambios en los UFF en diferentes tipos de estímulos, concretamente en los de ultrarresistencia al no haber estudios similares publicados, por ello se plantea como objetivo de estudio el analizar los cambios en los UFF después de realizar una prueba de ultrarresistencia por relevos de 200 km.

## Material y métodos

La toma de muestras se realizó en la prueba deportiva "Interplayas: Objetivo Euskadi" en la cual se realizaron corriendo 200 km para atravesar de este a oeste la comunidad autónoma del País Vasco (España).

La muestra la componen 7 sujetos varones ( $33 \pm 6,9$  años;  $172,6 \pm 3$  cm;  $69,3 \pm 8,7$  kg;  $23,2 \pm 1,7$  kg/m<sup>2</sup>;  $13,0 \pm 2,6\%$  grasa). Los sujetos entrenaban una media de  $93,8 \pm 33,8$  minutos diarios y una media de  $532,5 \pm 213,8$  minutos semanales, tienen una experiencia de entrenamiento deportiva de más de 10 años. Cada sujeto realizó una media de 56 km en relevos de entre 10 y 25 km. La prueba comenzó a las 21:00 del día 10 de octubre de 2009 en Hondarribia (País Vasco) y concluyó a las 17:00 del día 11 de octubre de 2009 en Zierbena (País Vasco). Los perfiles del recorrido se muestran en la figura 1.



Figura 1. Perfil de la prueba.

Antes de comenzar la prueba y al término del último relevo de cada sujeto, se realizaron las mediciones de los UFF mediante el sistema Lafayette Instrument Flicker Fusion Control Unit (Model 12021). Este sistema consta de dos diodos emisores de luz blanca (58 cd/m<sup>2</sup>) que se exponen simultáneamente en el sistema, uno para el ojo izquierdo y otro para el ojo derecho. Los diodos están separados por 2,75 cm y una distancia entre estos y el ojo de 15 cm y un ángulo de visión de 1,9°. El fondo del interior del sistema está pintado de color negro mate para reducir al mínimo las interferencias.

Se realizaron 2 test diferentes, uno ascendente y otro descendente. En el primero, ascendente, el sujeto debía detectar el cambio de una luz discontinua a una luz continua.

En el segundo test, descendente, el sujeto debía detectar el cambio de una luz continua a una luz discontinua. Cuando se detectaba el cambio en las luces el sujeto debía activar un pulsador (Davranche y Pichon, 2005). Los sujetos realizaban tres veces cada uno de los test con un intervalo entre cada test de 5 segundos a las siguientes frecuencias:

- 1<sup>er</sup> Test. 0 a 100 Hz: ascendente.
- 2<sup>o</sup> Test. 100 a 0 Hz: descendente.

En cada uno de los test se cuantificó el tiempo que los sujetos tardaban en detectar los cambios en las luces desde el comienzo del test hasta el momento de activar el pulsador, para poder determinar los UFF:

- UFFa (Umbral Flicker Fusion ascendente), valores obtenidos en el test ascendente.
- UFFd (Umbral Flicker Fusion descendente), valores obtenidos en el test descendente.
- UFFc (Umbral Flicker Fusion clásico), diferencia de la suma de los valores obtenidos en el test ascendente y la suma de los valores obtenidos en el test descendente.
- CS (Criterio Subjetivo), diferencia entre la media de los valores obtenidos en el test ascendente y la media de los valores obtenidos en el test descendente.
- SS (Sensibilidad Sensorial), media de la suma de los valores obtenidos en los test ascendentes y descendentes.

Previo al primer test, los sujetos tuvieron una fase de práctica para familiarizarse con el protocolo en el cual realizaban 3 veces el test ascendente y otras tres veces el test descendente.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos

Toma	Umbral FF	Número Sujetos	Rango Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media	
						Estadístico	Error típico
Pre	UFFa	7	611,0	560,0	1171,0	980,4	75,9
	UFFd	7	306,0	848,0	1154,0	1.069,9	46,0
	UFFc	7	418,0	-130,0	288,0	72,9	56,4
	CS	7	418,0	-130,0	288,0	72,9	56,4
	SS	7	1.142,0	1128,0	2270,0	1.905,7	170,6
Post	UFFa	7	570,0	605,0	1175,0	1.029,4	74,8
	UFFd	7	683,0	948,0	1631,0	1.178,7	83,9
	UFFc	7	763,0	-168,0	595,0	149,3	97,6
	CS	7	822,0	-262,0	560,0	122,9	95,9
	SS	7	1.341,0	1581,0	2.922,0	2.311,7	150,5

UFFa - Umbral Flicker Fusion ascendente; UFFd - Umbral Flicker Fusion descendente; UFFc - Umbral Flicker Fusion clásico; CS - Criterio subjetivo; SS - Sensibilidad Sensorial.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos, asimetría y curtosis

Toma	Umbrales FF	Desv. típ.	Varianza	Asimetría		Curtosis	
		Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Error típico
Pre	UFFa	200,8	40.303,3	-1,86	0,79	4,06	1,59
	UFFd	121,8	14.827,1	-1,38	0,79	0,51	1,59
	UFFc	149,1	22.239,5	0,08	0,79	-1,06	1,59
	CS	149,1	22.239,5	0,08	0,79	-1,06	1,59
	SS	451,4	203.798,9	-1,21	0,79	-0,16	1,59
Post	UFFa	197,9	39.169,6	-2,10	0,79	4,75	1,59
	UFFd	221,9	49.229,2	1,59	0,79	3,41	1,59
	UFFc	258,3	66.699,9	0,74	0,79	0,12	1,59
	CS	253,8	64.428,5	0,35	0,79	1,25	1,59
	S	398,2	158.573,9	-0,57	0,79	2,49	1,59

UFFa - Umbral Flicker Fusion ascendente; UFFd - Umbral Flicker Fusion descendente; UFFc - Umbral Flicker Fusion clásico; CS - Criterio subjetivo; SS - Sensibilidad Sensorial.

Tabla 3. Resultados obtenidos en los UFF

Umbrales Flicker Fusion (Hz)											
Toma	UFFa	% cambio	UFFd	% cambio	UFFc	% cambio	CS	% cambio	SS	% cambio	
Pre	997,0±207,0		1069,9±121,8		72,9±149,1		72,9±149,1		344,5±17,2		
		3,2		9,2		51,2		40,7		53,2	
Post	1029,4±197,9		1178,7±221,9		149,3±258,3		122,9±253,8		736,0±35,2		

UFFa - Umbral Flicker Fusion ascendente; UFFd - Umbral Flicker Fusion descendente; UFFc - Umbral Flicker Fusion clásico; CS - Criterio subjetivo; SS - Sensibilidad Sensorial.

El análisis estadístico se realizó con el programa estadístico SPSS 17.0. Primero se realizó una transformación de los datos, debido a su dispersión, como se puede comprobar en las tablas de descriptivos 1 y 2. Se realizó la transformación mediante el logaritmo neperiano de los resultados.

A continuación se comprobó la normalidad de la muestra al no encontrar diferencias significativas en la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Después se realizó una prueba T para muestras relacionadas cuando se asumieron la homogeneidad de varianza, la normalidad y la esfericidad. Para todas las comparaciones se aceptó el índice de significación de  $p < 0,05$ .

## Resultados

Observando los resultados podemos ver cómo los UFFa aumentan ligeramente ( $997,0 \pm 207,2$  vs.  $1.029,4 \pm 197,4$  Hz), siendo esta diferencia no significativa. Los UFFd también sufren un ligero aumento ( $1.069,9 \pm 121,8$  vs.  $1.178,7 \pm 221,9$ ) como podemos observar en la figura 2, pero al igual que los UFFa esta diferencia es no significativa. Ambos umbrales obtuvieron los porcentajes de cambio inferiores de todos

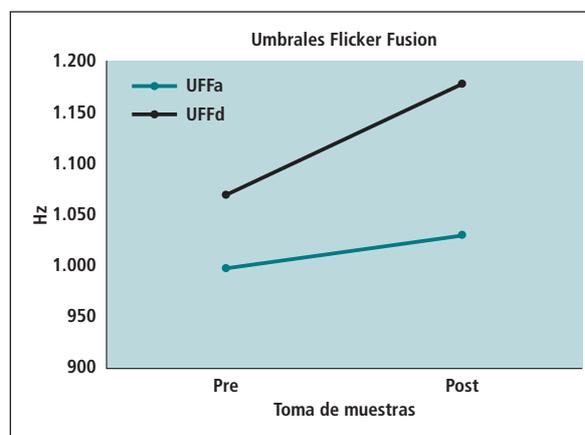


Figura 2. Valores de los UFFa y UFFd.

los valores analizados (Figura 3). Los valores del UFFc aumentan un 51,2% aunque no de forma significativa, como podemos ver en las figuras 3 y 4. El CS presenta también un aumento de sus valores de un 40,7% pero, al igual que los demás umbrales, tampoco es estadísticamente significativo. Por último, se puede ver cómo la SS sufre el mayor aumento de todos (53,2%) pero, al igual que el resto, este cambio tampoco es significativo. Los resultados completos de los diferentes UFF se muestran en la tabla 3.

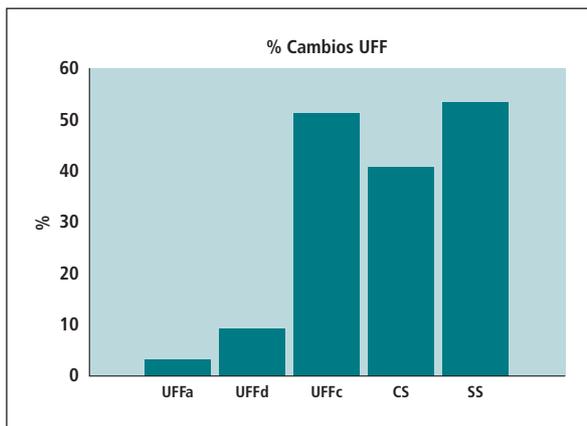


Figura 3. Porcentajes de cambio UFF.

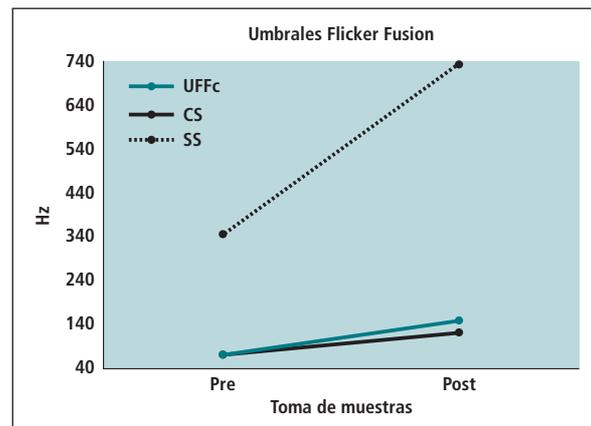


Figura 4. Valores de los UFFc, CS y SS.

### Discusión

La presente investigación pretendía analizar los cambios en los UFF después de realizar una prueba de ultrarresistencia por relevos de 270 km. Al observar los resultados obtenidos se puede ver que los UFF no se modifican significativamente, por lo tanto no existe una disminución en la sensibilidad sensorial y un incremento del nivel de activación cortical (Li et al., 2004). Los valores de UFFc aumentaron un 51,2% después de la realización de la prueba de ultrarresistencia y, aunque las diferencias no son significativas, la tendencia es similar a los resultados obtenidos por Presland et al. (2005) al realizar una prueba de ciclismo al 70% del  $VO_2$ max hasta la extenuación. Los resultados en la SS muestran cómo después del test se observa un gran aumento (53,2%). La misma tendencia que tuvieron los estudios de Davranche et al. (2005). Al investigar a 12 sujetos después de realizar 15 min al 50% de su potencia aeróbica máxima en cicloergómetro y los del estudio de Davranche y Pichon (2005), después de un test de

$VO_2$ max en cicloergómetro, aunque los aumentos en este estudio son mucho superiores a los encontrados por estos dos autores. Al igual que estos dos autores, no se encontraron diferencias significativas en los valores de CS, pero el porcentaje de cambio obtenido después de realizar una prueba de ultrarresistencia de 270 km por relevos es mucho mayor (40,7%).

En función de estos resultados podemos concluir que una prueba de ultrarresistencia por relevos de 270 km no parece que genere fatiga en el Sistema Nervioso Central ni altere la función cognitiva, evaluados mediante los UFF.

Aunque el número de sujetos de esta investigación fue reducido, los resultados obtenidos muestran un aumento en los valores de los UFF. Esta modificación representa que se puede producir fatiga en el Sistema Nervioso Central en este tipo de pruebas de ultrarresistencia. Esta afirmación estaría en relación por lo propuesto por Tomporowski (2003) para ejercicios submáximos que conducen a la deshidratación y/o el agotamiento de los sustratos energéticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bircher, S., Enggist, A., Jehle, T., & Knechtle, B. (2006) Effects of an extreme endurance race on energy balance and body composition - A case study. *Journal of Sports Science and Medicine* 5, 154-162.
- Bobon, D.P., Lecoq, A., von Frenckell, R., Mormont, I., Lavergne, G., Lottin, T. (1982). La fréquence critique de fusion visuelle en psychopathologie et en psychopharmacologie. *Acta Psychiatrica Belgica* 82, 7-112.
- Callow, M., Morton, A. & Guppy, M. (1986) Marathon fatigue: the role of plasma fatty acids, muscle glycogen and blood glucose. *European Journal of Applied Physiology* 55, 654-661.
- Davranche, K., & Audiffren, M. (2004). Facilitating effects of exercise on information processing, 22: 419-428.
- Davranche, K., Burle, B., Audiffren, M., Hasbroucq, T. (2005). Information processing during physical exercise: a chronometric and electromyographic study. *Experimental Brain Research*, 165: 532-540.
- Davranche, K., Pichon, A. (2005). Critical Flicker Frequency Threshold Increment After an Exhausting Exercise. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 27: 515-520.
- Dustman, R., Emmerson, R., Ruhling, R. Shearer, D., Steinhaus, L., Johnson, S., Bonekat, H., & Shigeoka, J. (1990). Age and fitness effects on EEG, RPEs, visual sensitivity, and cognition. *Neurobiology of Aging*, 11: 193-200.
- Dustman, R., Ruhling, R., Russell, E., Shearer, S., Bonekat, H., Shigeoka, J., Wood, J., & Bradfor, D. (1984). Aerobic Exercise training and improved neuropsychological function of older individuals. *Neurobiology of Aging*, 5: 35-42.
- Ghozlan, A., & Widlöcher, D. (1993). Ascending-descending threshold difference and internal subjective judgment in CFF measurements of depressed patients before and after clinical improvement. *Perceptual & Motor Skills*, 77: 435-439.
- Haiach, H. & Hosler, M.W. (1985) Serum creatine kinase in marathon runners. *Cellular and Molecular Life Sciences* 41, 39-40.
- Herskovic J., Kietzman, & M., Sutton, S. (1986). Visual flicker in depression: response criteria, confidence ratings and response times. *Psychological Medicine*, 16:187-197.
- Knechtle, B., Fraire, O. S., Andonie, J. L., & Kohler, G. (2008) Effect of a multistage ultra-endurance triathlon on body composition: World Challenge Deca Iron Triathlon 2006. *British Journal of Sports Medicine* 42(2): 121-125.
- Li, Z., Jiao, K., Chen, M., & Wang, C. (2004). Reducing the effects of driving fatigue with magnitopuncture stimulation. *Accident Analysis and Prevention*, 36: 501-505.
- Maron, M. B., Horvath, S. M. & Wilkerson, J. E. (1975) Acute blood biochemical alterations in response to marathon running. *European Journal of Applied Physiology* 34, 173-181.
- Nieman, D.C., Henson, D.A., Smith, L.L., Utter, A.C., Vince, D.M., Davis, J.M., Kaminsky, D.E. & Shute, M. (2001) Cytokine changes after a marathon race. *Journal Applied Physiology* 91, 109-114.
- Presland, J., Dowson, S., Cairns, S. (2005). Changes of motor drive, cortical arousal and perceived exertion following prolonged cycling to exhaustion. *European Journal Applied Physiology*, 95: 42-51.
- Sánchez-González, J., Rivera-Cisneros, A. & Tovar Luz, J. (2003) Asociación de las respuestas fisiológicas a los cambios metabólicos, en el ejercicio físico extenuante. *Cirugía y Cirujanos* 71, 217-225.
- Siegel, A. J., Verbalis, J. G., Clement, S., Mendelson, J. H., Mello, N. K., Adner, M., Shirey, T., Glowacki, J., Lee-Lewandrowski, E. & Lewandrowski, K. B. (2007) *Hyponatremia in Marathon Runners due to Inappropriate Arginine*.
- Simonson, E., & Brožek, J. (1952) Flicker fusion frequency: background and applications. *Physiological Reviews*, 32: 349-378
- Smith, J.E., Garbutt, G., Lopes, P. & Tunstall Pedoe, D. (2004). Effects of prolonged strenuous exercise (marathon running) on biochemical and haematological markers used in the investigation on of patients in the emergency department. *British Journal of Sports Medicine* 38, 292-294.
- Sulzer, N. U., Schwellnus, M. P., & Noakes, T. D. (2005) Serum electrolytes in ironman triathletes with exercise-associated muscle cramping. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37(7), 1081-1085.
- Tomporowski, P. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*; 112: 297-324.
- Withers, R., Gore, C., Gass, G., Hahn, A. Determination of Maximal Oxygen Consumption (VO<sub>2</sub>max) or Maximal Aerobic Power. En C. Gore (Ed.) (2000). *Physiological Tests for Elite Athletes*. Leeds: Human Kinetics, 122.