

Aspectos diferenciales en las pruebas de esfuerzo en cicloergómetro y banda rodante en triatletas

ALVERO CRUZ, J.R.*

MARIN GONZÁLEZ, M.C.**

ALVAREZ REY, G.**

AVILA ROMERO, F.***

GARCIA ROMERO, J.*

Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte (EMEFIDE)
Universidad de Málaga

* Profesor Titular. Área de Educación Física y Deportiva.

Universidad de Málaga

** Especialista en Medicina de la EF y el Deporte.

*** Doctor en Educación Física.

CORRESPONDENCIA:

Dr. José Ramón Alvero Cruz
Edificio López de Peñalver.

Campus Universitario de Teatinos s/n.

Universidad de Málaga

E-mail: alvero@uma.es

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 2004; 143: 27-32

RESUMEN: Se han realizado pruebas de esfuerzo en cicloergómetro y banda rodante a 10 triatletas con una diferencia entre ellas de 48 horas y sin mediar, entre ellas entrenamientos intensivos que pudieran modificar los parámetros de esfuerzo máximo. Los protocolos de esfuerzo fueron: para la cicloergometría: inicio en 50 vatios y aumentos de 25 v/min, hasta el agotamiento. En el tapiz rodante inicio en 7 km/h y aumentos de 1 km/h/min, también hasta el agotamiento. Se registraron el VO_2 y VCO_2 y volúmenes espirados con un ergoespirómetro de gases CPX Breeze de Medical Graphics Corporation (MN). USA.

No se observan diferencias entre el VO_2 máx entre las pruebas de cicloergómetro (48.8 ± 4.8 ml kg min) y banda rodante (47.86 ± 3.88)

El VO_2 en el umbral anaeróbico es mayor en la prueba en banda rodante (40.34 ± 0.1) que en el cicloergómetro (37.92 ± 4.69) y porcentualmente con respecto al VO_2 máx se observan diferencias significativas (84.2% versus 77.6%).

La frecuencia cardíaca máxima (FCM) no presenta diferencias significativas entre ambas pruebas. Cicloergómetro: (184.8 ± 13.7), Banda rodante (185.1 ± 19.1). Los valores de FC en el umbral anaeróbico son más altos en banda rodante (168.7 ± 15.5) que en cicloergómetro (157 ± 15). Así mismo los porcentajes de FC en el umbral anaeróbico (UA) con respecto a la FCM son mayores en la banda rodante (91.1% vs 85.1%). Los valores de ventilación máxima son mayores en el cicloergómetro (144.2 ± 13.4 l) que en banda rodante (131.8 ± 2.54 l). Los valores porcentuales de ventilación en el UA son mayores en banda rodante (59.57%) que en cicloergómetro (49.5%).

PALABRAS CLAVE: Triatlón, Cicloergómetro, Banda rodante, VO_2 máx., Ventilación, Frecuencia cardíaca, Umbrales ventilatorios.

SUMMARY. A group of 10 triathlete men were performed in two incremental exercise test in treadmill and cycle ergometer (CE) to exhaustion, there were 48 hours between both tests, and there were no exercise or training in this period that could modify maximum exercise parameters. Exercise test protocols were, for CE: incremental step test of 25 w/min. starting at 50 watts and for treadmill: 1 km/h per minute steps starting at 7 km/h, both till exhaustion. There were measured VO_2 , VCO_2 pulmonary flows and volumes with an ergospirometer gas analyzer CPX Breeze™, Medical Graphics Corporation (MN).

There were observed no statistically significance differences between maximum VO_2 ($\text{VO}_{2\text{max}}$) values for CE (48.8 ± 4.8 ml/kg/min) and for treadmill (47.86 ± 3.88 ml/kg/min). VO_2 values at anaerobic threshold (AT) was higher at treadmill (40.34 ± 0.1) than at CE (37.92 ± 4.69) and significant differences at the $\text{VO}_{2\text{AT}}/\text{VO}_{2\text{max}}$ ratio were found (84.2% versus 77.6%).

There were found no maximum heart rate (HRmax) differences between both tests, 184.8 \pm 13.7 bpm for CE and 185.1 \pm 19.1 for treadmill. HR values at AT were significantly higher at treadmill (168.7 ± 15.5) than at CE (157 ± 15). Moreover, $\text{HR}_{\text{AT}}/\text{HR}_{\text{max}}$ ratio values were significantly higher at treadmill than at CE. Maximum ventilation (VE) values were significantly higher in CE (144.2 ± 13.4 l) than in treadmill (131.8 ± 2.54 l) and $\text{VE}_{\text{max}}/\text{VE}_{\text{AT}}$ ratio were significantly higher at treadmill (59.57%) than at CE (49.5%).

KEY WORDS: Triathlon, Cycle ergometer, Treadmill, VO_2 max, Ventilation, Heart rate, Ventilatory thresholds.

INTRODUCCION

El triatlón se caracteriza por un deporte en el que se combinan 3 segmentos competitivos: por orden: natación, ciclismo y carrera. La preparación, el modelo y la planificación del entrenamiento serán bien diferentes, así como la intensidad de entrenamiento y competición requerida en cada segmento competitivo.

Los triatletas muestran valores grandes de consumo máximo de oxígeno^(6,7) y de umbrales ventilatorios^(16,17). Algunas de las variables predictoras del rendimiento en triatlón son el pico máximo del consumo de oxígeno y el umbral ventilatorio. El mantenimiento de los valores antes expresados son igualmente factores decisivos en el resultado deportivo tanto en las cargas de entrenamiento como en la estrategia de carrera^(5,19).

El triatlón es una modalidad deportiva en la que la potencia aeróbica es determinante como en otros deportes de resistencia, tanto para el entrenamiento como para la competición. Se entiende que la determinación de los parámetros de consumo máximo de oxígeno y umbrales ventilatorios son muy importantes para la programación del entrenamiento de cara a la mejora del rendimiento. Igualmente es muy importante la determinación de estos parámetros fisiológicos que son reflejo fiable de la economía de carrera, la eficiencia de nado y pedaleo y por tanto se muestran como factores decisivos en el rendimiento en triatlón⁽⁶⁾.

Estudios diversos revelan la relación del umbral anaeróbico con la velocidad en la carrera⁽¹⁸⁾ y no con las variables relacionadas al segmento de natación o ciclismo⁽¹⁹⁾. Cada modalidad deportiva posee unas características fisiológicas que van a depender del deportista, del tipo de entrenamiento, de su planificación y de la adaptación a todos esos factores. No siempre se correlacionan de forma directa las variables obtenidas en natación, ciclismo o carrera.⁽¹⁹⁾

Langill⁽⁸⁾ estudia el rendimiento en triatlón a partir de la determinación de los umbrales ventilatorios en carrera, ciclismo y natación. Evidentemente el rendimiento en triatlón no solo se debe estos parámetros si no a las condiciones ambientales en competición como la fatiga, la deshidratación, el calor, los terrenos variados, etc. Y por ello el estudio de variables fisiológicas nos permitirán un acercamiento a las variables que definen el rendimiento.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo ha sido determinar que variaciones ergoespirométricas existen entre la prueba de esfuerzo máxima creciente en cicloergómetro (CIC) y en ban-

da rodante.(BR), en parámetros como el VO_2 , la frecuencia cardiaca y la ventilación en el umbral anaeróbico y en el máximo en deportistas practicantes de triatlón.

MATERIAL Y METODO

Se han realizado pruebas de esfuerzo en CIC y BR, con tres días entre prueba y con control de la alimentación así como indicaciones del tipo de entrenamiento antes de dichas pruebas, a 10 triatletas de nivel medio (regional) de sexo masculino, de 15 horas de entrenamiento medio semanal y con similar distribución de entrenamientos en natación, ciclismo y carrera.

Los protocolos de esfuerzo fueron: para la CIC: inicio en 50 vatios y aumentos de 25 w/min, hasta el agotamiento. En BR inicio en 7 km/h y aumentos de 1 km/h/min, también hasta el agotamiento.

Se registraron el VO_2 y VCO_2 espirados y la ventilación (VE) con un ergoespirómetro de gases CPX Breeze de Medical Graphics Corporation (MN), respiración a respiración. La frecuencia cardiaca se recogió mediante un pulsómetro Polar Vantage NV.

El umbral anaeróbico (VT_2) se estimó mediante el análisis de los cambios respiratorios de los equivalentes ventilatorios del O_2 y CO_2 así como su relación a las presiones al final de la espiración para el O_2 y CO_2 (PET_{O_2} , PET_{CO_2})⁽⁴⁾.

Con el paquete estadístico SPSS v.10, se sometieron las variables antes citadas a diversos análisis estadísticos aceptándose el valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo, para la comparación entre los distintos valores medios. Se aplicó el test normalidad de Kolmogorov-Smirnov, la t de Student para datos apareados o dependientes.

Las variables analizadas son las siguientes:

- el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), el consumo de oxígeno en el umbral ventilatorio2 (VO_{2AT}), y la relación porcentual entre el consumo de oxígeno en el umbral con respecto al máximo ($\%VO_{2AT}/VO_{2max}$);
- la frecuencia cardiaca máxima (FCM), la frecuencia cardiaca en el umbral (FCAT), la relación porcentual entre la frecuencia cardiaca en el umbral con respecto al valor máximo ($\%FCAT/FCM$), y
- la ventilación máxima (VE_{max}), la ventilación en el umbral (VE_{AT}), la relación porcentual entre la ventilación en el umbral con respecto al valor máximo ($\%VE_{AT}/VE_{max}$).

RESULTADOS

Los valores medios y la desviación estándar de las variables estudiadas, frecuencia cardiaca, VO_2 max y ventilación se muestran en la tabla I.

Tabla I

Se representan los valores medios y la desviación estándar (sd) de las variables VO_2 , FC y VE en el umbral anaeróbico, el máximo así como su relación porcentual en la prueba en cicloergómetro y banda rodante

	Cicloergómetro		Banda rodante	
	Media	sd	Media	sd
VO_2 AT (ml/kg/min)	37.9	4.69	40.34	0.14
VO_2 máx (ml/kg/min)	48.83	4.83	47.86	3.88
% VO_2 AT/ VO_2 max	77.66	4.46	84.3	6.66
FCAT (lat/min)	157.5	15.9	168.7	15.5
FCM (lat/min)	184.8	13.7	185.1	19
% VO_2 AT/ VO_2 max	85.1	4.65	91.1	0.93
VEAT (l/min)	71.39	11.2	78.55	8.9
VEmax (l/min)	144.2	13.4	131.8	2.54
% VO_2 AT/ VO_2 max	49.5	8.23	59.5	6.24

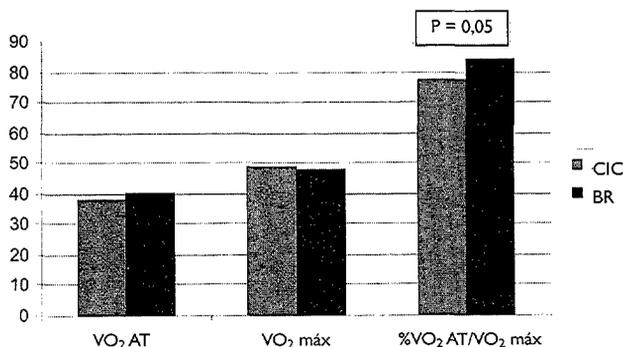
El VO_2 en el umbral anaeróbico (VO_2 AT) es mayor en la prueba en BR (40.34 ± 0.1) que en el CIC (37.92 ± 4.69), si DES.

No se observan diferencias en el VO_2 máx entre las pruebas de CIC (48.8 ± 4.8 ml kg min) y BR (47.86 ± 3.88).

El valor porcentual del VO_2 AT con relación al VO_2 max., presenta diferencias estadísticamente significativas (DES) ($p=0.05$), (77.6% vs 84.2%).

Figura I

Valores de consumo de oxígeno (ml) en el umbral anaeróbico (VO_2 AT), en el máximo (VO_2 max) y el valor porcentual de ambas variables (% VO_2 AT/ VO_2 max) en CIC y BR

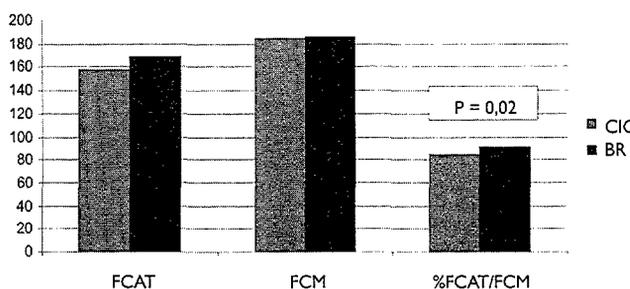


La FCAT y la FCM no presentan DES entre CIC y BR, aun teniendo diferencias en el valor medio en el umbral de 11 latidos/minuto.

Los porcentajes de FC en el umbral anaeróbico (FCAT) con respecto a la FCM son mayores en la banda rodante (85.1% vs 91.1%) con una diferencia estadísticamente muy significativa ($p=0.002$)

Figura II

Valores de frecuencia cardiaca (lat/min) en el umbral anaeróbico (FCAT), en el máximo (FCM) y el valor porcentual de ambas variables (%FCAT/FCM) en CIC y BR



Los valores de ventilación máxima (VEmax) son mayores en CIC (144.2 ± 13.4 l) que en BR (131.8 ± 2.54 l.), sin DES ($p=0.084$) y en el umbral anaeróbico es a la inversa, en CIC (71.39 ± 11.23) y en BR (78.55 ± 8.91) sin presentar ambos DES.

Los valores porcentuales de ventilación en el VEAT son mayores en BR (59.57%) que en CIC (49.5%) presentando DES ($p=0.0158$).

Figura III

Valores de ventilación (l/min) en el umbral anaeróbico (VEAT), en el máximo (VEMAX) y el valor porcentual de ambas variables (%VEAT/VEMAX) en CIC y BR

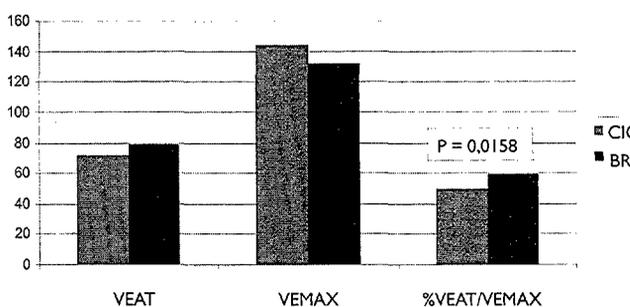
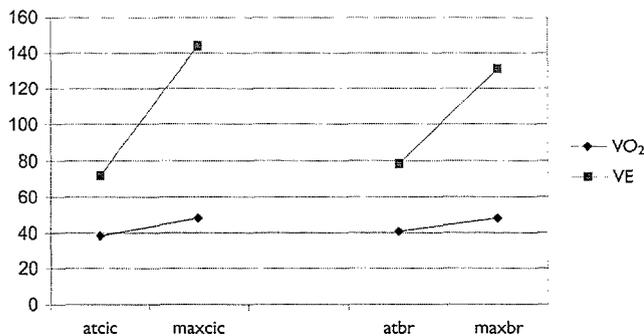


Figura IV

Valores de VO_2 (ml/kg/min) y ventilación (l/min) en el umbral anaeróbico (at), en el máximo (max) en CIC y BR



DISCUSION

Consumo de oxígeno

Los valores de consumo máximo de oxígeno suelen ser mayores en esfuerzos de carrera (BR) con relación los esfuerzos de ciclismo (CIC). (Fig. 1). Estos valores en CIC son un 2.1% menores que los valores en BR, en contraposición a los encontrados por otros autores como O'Toole⁽¹³⁾ entre el 3-6%, entre banda y cicloergómetro, así como Kohrt, variaciones del 7%⁽⁷⁾, Millard-Stafford⁽¹¹⁾ también encuentra diferencias significativas entre banda, ciclismo y natación y Schneider encuentra diferencias del 6-7%^(16, 17). Mayers encuentra similares consumos máximos de oxígeno y umbrales ventilatorios en triatletas sometidos a pruebas en banda rodante y subsiguientemente tras 45 minutos de descanso a una prueba en cicloergómetro.

Es importante valorar el % del VO_2 en el umbral anaeróbico pues nos indica el grado de entrenamiento y adaptación fisiológica del atleta y su relación a la velocidad y economía de carrera. La importancia de que este valor porcentual sea alto, se va a relacionar según Kohrt con unas mejores prestaciones en la competición⁽⁷⁾.

Con el mismo significado Sleivert y cols⁽¹⁸⁾ relacionan la velocidad de carrera con el porcentaje de consumo de oxígeno en el umbral anaeróbico

En nuestro estudio el $\% \text{VO}_2\text{AT}/\text{VO}_2$ máx está en valores de el 84 y el 77% para BR y CIC respectivamente, concordando estos datos con los aportados por Bunc⁽²⁾ que están en torno al 82% y Schneider, al 80% para la carrera y 67% para el ciclismo (10) y Kohrt⁽⁷⁾ entre el 80-85% en banda y 72-76% en ciclismo.

Aunque nuestro estudio esta realizado en hombres, estudios en mujeres mostraban un $\% \text{VO}_2\text{AT}/\text{VO}_2$ máx en el 74% en banda y del 62% en CIC^(16, 17).

Frecuencia cardiaca

En nuestro estudio la FCM no presenta valores diferentes en BR y en CIC, concordando con los estudios de Zhou⁽¹⁹⁾. La frecuencia cardiaca es una variable que se afecta por muchísimas causas entre ellas el tipo de esfuerzo que se realiza, las masas musculares, el nivel de esfuerzo y duración de la misma, la temperatura, la humedad, el nivel de recuperación entre sesiones, etc.

En contraposición O'Toole⁽¹⁴⁾ aporta datos diferentes de FCM en CIC y BR, por lo cual recomienda la comprobación de dichas FCM con relación a la prescripción de intensidades de entrenamiento.

Los valores medios de frecuencia cardiaca en el cicloergómetro son de 11 lat /min menos con respecto a la banda rodante en el umbral anaeróbico, aunque no presentan DES. Esta variable es muy importante a la hora del control de la intensidad de entrenamiento, sobre todo teniendo en cuenta que los triatletas duplican sesiones de entrenamiento o bien combinan varias modalidades y por ello necesitan controlar diferentes niveles de pulsaciones. De aquí que el conocimiento de estas variables sirva para optimizar la utilización de los monitores de frecuencia cardiaca, que nos ayudan al control de la intensidad y el ritmo del entrenamiento. Dependiendo de la duración de la prueba, el nivel cardiaco corresponderá a un nivel porcentual de trabajo que será diferente en ciclismo, carrera y natación⁽¹⁴⁾. En cada modalidad de ejercicio por tanto puede existir una frecuencia cardiaca máxima "verdadera".

Ventilación

La ventilación va a depender del tipo de esfuerzo ergométrico: es mayor cuando se hace de pie que sentado o sobre una bicicleta.⁽¹⁰⁾ Muchos investigadores han señalado la importancia de los husos musculares y su relación a los músculos respiratorios y que por tanto son afectados por el tono muscular, la postura y el movimiento.

Sin embargo en este estudio se han obtenido mayores valores de VE_{max} en CIC respecto a BR, lo que podría explicarse por una mayor resistencia a la ventilación en la fase inspiratoria, una mayor congestión pulmonar y un incremento de la presión venosa pulmonar en la posición de la bicicleta, que produciría a nivel aferente la estimulación de las motoneuronas alfa y por tanto un aumento en la fuerza de los músculos inspiratorios⁽⁹⁾.

La realización de un ejercicio en un ergómetro de bicicleta con los brazos producía mayor ventilación que en un ejercicio con las piernas (Stenberg, citado por Astrand⁽¹⁾). Igualmente eran mayores los niveles de ácido láctico y de frecuencia cardiaca.

El porcentaje de ventilación en el umbral anaeróbico es menor en CIC que en BR, (49.5% vs 59.5%) presentando diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.0158$). Este fenómeno podría ser explicado por la posición en la que se realiza el ejercicio.⁽¹⁰⁾

La ventilación aumenta de forma lineal con relación al consumo de oxígeno, hasta valores del 50-60% del VO_2 máx., a partir de dónde el aumento será más pronunciado⁽⁴⁾.

En general los valores de ventilación (VE) son mayores en ciclismo y carrera que en natación.⁽⁶⁾

Conclusiones

- Los valores máximos de frecuencia cardíaca y de consumo de oxígeno y ventilación son similares en el cicloergómetro comparado con la banda rodante.
- La relación porcentual de los valores de FC, VO_2 y VE en el umbral con respecto al valor máximo siempre es menor en cicloergómetro con respecto a la banda rodante con DES.
- Es necesario determinar mediante pruebas de esfuerzo estas variables, pues existen diferencias significativas con relación a las cargas e intensidades de entrenamiento de las modalidades de carrera y ciclismo en triatletas.
- En la prescripción de las intensidades de entrenamiento, se tendrán en cuenta las diferencias de estas variables para cada modalidad deportiva.

Bibliografía

1. Astrand, P.O., Rodahl, K.: Respiración. En : Fisiología del trabajo físico. Ed. Panamericana. Buenos Aires, 1991
2. Bunc, V.; Heller, J.; Horcic, J.; Novotny, J. : Physiological profile of best Czech male and female young triathletes. *J Sports Med Phys Fit* 1996; 36 (4)
3. Butts, N. K; Henry, B. A; Mclean, D : Correlations between VO_2 max and performance times of recreational triathletes. *J Sports Med Phys Fit* 1991; 31 (3) 339-344.
4. Chicharro, J, Fernández Vaquero, A.: Fisiología del Ejercicio: Ed. Panamericana. Madrid, 1995.
5. De Vito, G; Bernardi, M; Spoviero, E; Figura, F.: Decrease of endurance performance during Olympic Triathlon. *Int J Sports Med* 1995; 16 (1), 24-28
6. Dengel, D.R.; Flynn, M.G; Costill, D.L; Kirwan, J.P. : Determinants of success during triathlon competition . *Res Quart Exer Sport* 1989; 60 (3), 234-238,
7. Kohrt, W. M.; O'Connor, J. S.; Skinner, J. S.: Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running . *Med Sci. Sports Exer* 1989; 21(5), 569-575.
8. Langill, R.H.: Prediction of triathlon performance from ventilatory threshold measurements. Microform Publications, Institute for Sport and Human Performance, University of Oregon, 1993
9. Lucía, A.: La ventilación pulmonar durante el ejercicio. En: Fisiología del Ejercicio: Chicharro, J, Fernández Vaquero, A. Ed. Panamericana. Madrid, 1995.
10. Mayers, M.A., Holland, G.J., Rich, G.Q., Vincent, W.J., Heng, M.: Effects of prolonged intense cycle ergometry upon immediately subsequent maximal treadmill running in trained triathletes. *Med Sci Sports Exe* 18:S86, 1986
- Mellerowicz, H.: Volúmenes respiratorios temporales durante el esfuerzo ergométrico. En: Ergometría. Mellerowicz, H. Ed. Médica Panamericana. Buenos Aires. 1984
11. Millard-Stafford, M; Sparling, P. B; Roszkopf, L. B; DiCarlo, L. J : Differences in peak physiological responses during running, cycling and swimming . *J Appl Sports Sci Res* 1991; 5(4), 213-218.
12. Miura, H; Kitagawa, K; Ishiko, T: Characteristic feature of oxygen cost at simulated laboratory triathlon test in trained triathletes. *J Sports Med Phys Fit* 1999; 39 (2), 101-106.
13. O'Toole, M. L; Douglas, P. S; Hiller, W. D. B : Applied physiology of a triathlon. *Sports Med* 1989; 8 (4), Oct 201-225.
14. O'Toole, M. L; Douglas, P. S; Hiller, W. D. B : Use of heart rate monitors by endurance athletes: lessons from triathletes. *J Sports Med Phys Fit* 1998; 38 (3), 181-187.
15. O'Toole, M. L; Hiller, W. D. B; Douglas, P. S; Pisarello, J. B; Mullen, J. L: 1987; Cardiovascular responses to prolonged cycling and running. *An Sports Med* 3 (2), 124-130.
16. Schneider, D. A; Lacroix, K. A; Atkinson, G. R; Troped, P. J; Pollack, J: Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Med Sci. Sports Exer* 1990; 22 (2) 257-264.

17. Schneider, D. A; Pollack, J. : Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in female triathletes . *Int J Sports Med* 1991; 12 (4), 379-383.
18. Sleivert, G; Wenger, H. A : Physiological predictors of short-course triathlon performance. *Med Sci Sports Exer* 1993; 25(7), 871-876.
19. Zhou, S; Robson, S.J; King, M.J; Davie, A.J : Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests . *J Sports Med Phys Fit* 1997; 37 (2), 122-130.