

¿Se modifica la economía de la carrera con el entrenamiento?

Gil Rodas, A. Estruch, V. Pons, J.L. Ventura

Centre d'estudis de l'Alt Rendiment Esportiu (CEARE) Secretaria General de l'Esport

RESUMEN

El objetivo de nuestro estudio fue comprobar si existen cambios en la Economía de la carrera durante dos fases del entrenamiento.

Se estudiaron 9 sujetos distribuidos en dos grupos: 6 corredores de 400 m y 3 deportistas recreacionales como grupo control.

Se realizaron 3 controles durante 1 año, el primero al iniciar la temporada y los otros dos al final de cada fase del entrenamiento.

Se determinó la economía de la carrera (VO_2 máx., km/h) en el Umbral Aeróbico y en el Umbral Anaeróbico ventilatorio de cada sujeto y a una velocidad estándar en dos pruebas distintas en cada control.

Se realizaron pruebas test-retest para cada prueba y obtuvimos una correlación de 0.95 y 0.98.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas de la Economía de la carrera en el grupo de deportistas recreacionales en los tres controles realizados, y si existen diferencias significativas en el grupo de velocistas durante los tres controles.

Palabras clave

Economía de la carrera, entrenamiento.

SUMMARY

The objective of our study was to find out if there were changes in race economy during the different phases of training.

Nine subjects were studied, divided into two groups: six 400 m. runners and three amateur sportsmen as a control group.

NOTA.- Aquest treball ha estat realitzat en part gràcies de la beca concedida per la Secretaria General de l'Esport "Aplicabilitat de la Eficiència Energètica en la valoració funcional de l'esportista".

There controls were carried out over course of the year: the first at the outset of the season and the two at the end each phase of training.

The race economy figure (VO_2 /Km/h) was determined in the Aerobic Threshold and in the Anaerobic Threshold of each subject and at a standard speed in two different races of each control.

Test-retest checks were carried out for each control session and a correlation of 0.95 and 0.98 was obtained.

No statistically significant differences were found for race economy in the amateur sportsmen group in three control sessions. There were significant differences for the 400 m. runners over the course of the three controls.

Key words

Run economy, training

Introducción

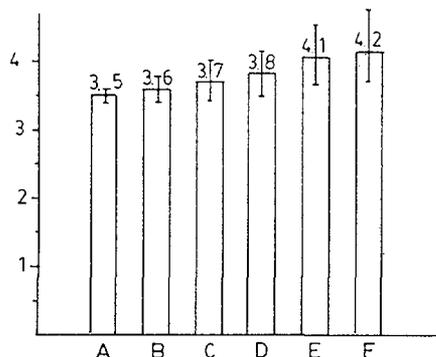
En el año 1979 Daniels definió el concepto de "Economía de la carrera" como el consumo de oxígeno en estado estable para velocidades de carrera submáximas (en un estudio realizado por nuestro grupo comprobamos que existía una alta correlación $-r: 0.85 p < 0.05-$ entre el consumo de oxígeno valorado en estado estable para cargas de trabajo submáximas y el consumo de oxígeno valorado en pruebas escalonadas de 1 minuto muy utilizadas en protocolos para la valoración funcional de deportistas).

Se sabe que la Economía de la carrera presenta diferencias tanto intraindividuales como interindividuales (Costill, 1971⁶; Krahenbull, 1979¹⁹). Corriendo a una velocidad dada se han encontrado diferencias de un 20 y 26% (Cureton y Sparling, 1980⁸; Daniels, 1979⁷⁸). (En otro estudio realizado en nuestro centro con 80 sujetos de distintas modalidades deportivas se encontró que existían diferencias en-

ECONOMÍA EN LA CARRERA

ml/Kg/min
Km/h

en U.An.



A: Marathón $T^{\circ} < 3.00$ h
 B: Medio fondo
 C: Marathón $T^{\circ} > 3.00$ h
 D: Jugadores de equipo
 E: Natación hombres
 F: Natación mujeres

Figura 1

tre los grupos estudiados según su economía de la carrera. Así podemos observar en la fig. 1 como los corredores de marathón con un tiempo menor en competición de 3 horas son más eficientes corriendo, es decir presentan un menor consumo de oxígeno para una velocidad dada, que cualquier otro grupo estudiado).

La razón de estas diferencias podría deberse, a razones genéticas y/o a causas ambientales. Varios factores modifican la economía de la carrera, así como: la edad^{1,9,18}, la resistencia del aire^{10,15}, la temperatura del cuerpo^{2,20,21,22} la longitud de zancada^{3,16,17,23}, el peso añadido¹⁴ y el entrenamiento. Ver fig. 2.

Con respecto al entrenamiento la bibliografía es contradictoria, y sigue discutiéndose si el entrenamiento en general o bien algún tipo determinado de entrenamiento puede hacer cambiar la demanda aeróbica durante el ejercicio submáximo. Así por ejemplo, Costill, D.L., 1969⁷; Daniels, J., 1978¹² y Dolgner, F., 1989¹³ comprueban que la economía

Figura 2

FACTORES QUE MODIFICAN LA ECONOMÍA DE LA CARRERA (1)

- EDAD (Astrand, P.O., 1952; Daniels, J. & Oldrige, N., 1971; Krahenbuhl, G.S. & Pangrazi, R.P., 1983).
- RESISTENCIA AIRE (Hagerman, F.C., 1975; Daniels, J., 1977).
- TEMPERATURA CUERPO (Saltin, B. & Stenberg, J. 1964; Rowell, L.B., 1969; Brooks, G.A., 1970; Mac Dougall, J.D., 1974).
- LONGITUD ZANCADA (Högberg, P., 1952; Knuttgen, H.C., 1961; Cavanagh & Williams, 1982; Shields, S.L. 1982).
- PESO AÑADIDO (Frederich, E.C., 1984).

de la carrera no se modifica con el entrenamiento y sin embargo Conley, D.L., 1981¹⁵ y Sjodin, B., 1982²⁴ aseguran que sí se modifica.

En un estudio previo realizado en nuestro centro estudiando parejas de gemelos deportistas encontramos que después de 6 meses de entrenamiento habian diferencias con relación a la Economía de la carrera entre los dos controles efectuados (fig. 3).

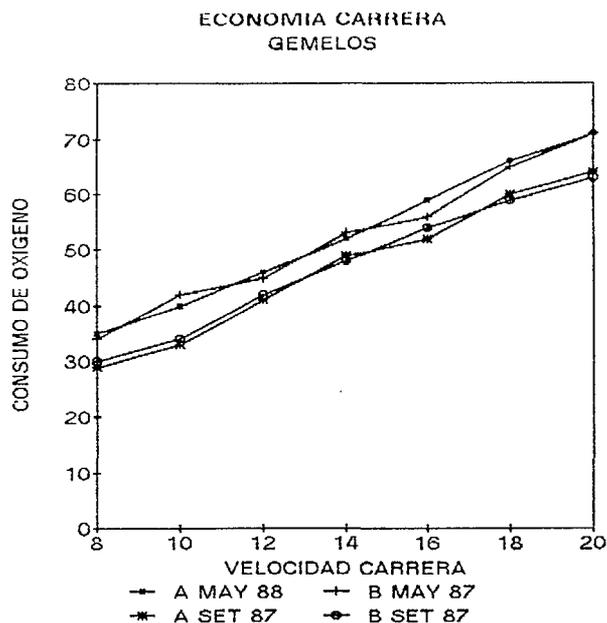
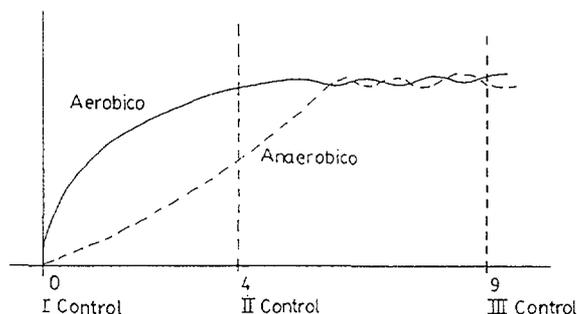


Figura 3

El objetivo de nuestro estudio fue investigar si existían cambios significativos en la economía de la carrera durante dos fases del entrenamiento. Para ello realizamos a un grupo de corredores 3 controles durante un año: el primero al inicio de la temporada, el segundo una vez finalizada la preparación física general (básicamente del metabolismo energético aeróbico) después de 4 meses y el tercero y último antes del inicio de las competiciones, justo terminar la preparación específica, predominando el entrenamiento del metabolismo anaeróbico (después de 9 meses del 1er control). En la fig. 4 podemos ver el modelo teórico de la periodización ciclica del entrenamiento que siguieron.

Figura 4



Material y método

Sujetos

El estudio se llevó a cabo con 9 sujetos distribuidos en dos grupos, uno de 6 corredores de velocidad mantenida (400 metros) y otro de 3 deportistas recreacionales que no seguían ningún entrenamiento específico como grupo control.

Utillaje

Para el presente estudio se utilizó una cinta ergométrica marca Runner-1 de Ergometrix, S.A. (Barcelona) con microprocesador programable para incrementar la velocidad y la pendiente, con un regulador de la relación peso corporal/velocidad de la cinta, de cara a mantener la velocidad programada independientemente del peso del individuo.

Se utilizó un ergoanalizador de gases modelo Oxycon-4 de Myjnhardt con analizador paramagnético de O₂ (Servomex) y analizador de captación de rayos infrarrojos para CO₂ (Myjnhardt).

Todas las pruebas se realizaron en similares condiciones ambientales, temperatura entre 19 y 22 grados. La presión barométrica se determinaba para cada prueba. El ergoanalizador de gases se calibró diariamente. La VE y la FR se calibraba mediante una jeringa de 3 litros y los volúmenes de gases mediante gases de concentración conocida. La velocidad de la cinta así como la pendiente fueron calibrados diariamente.

Protocolo

En los tres controles realizados se pasaron dos pruebas ergométricas. La primera consistía en una prueba triangular máxima con un calentamiento inicial de 4 minutos de duración a una velocidad de 8 km/h y 5% de pendiente. Se incrementaba la velocidad 2 km/h cada minuto con determinación de gases cada 30 segundos. Terminada la prueba se calculaba el Umbral Aeróbico y Anaeróbico ventilatorio y se determinaba la economía de la carrera a través del consumo de oxígeno a las velocidades de los umbrales ventilatorios y a una velocidad puntual de 8 Km/h para el grupo control y 10 km/h para el grupo experimental. La segunda prueba consistía en un test progresivo también sobre cinta ergométrica a 4 velocidades submáximas, con un tiempo de duración de cada escalón de 4 minutos. Las velocidades eran determinadas previamente a partir de la primera prueba, escogiendo la velocidad en el umbral aeróbico y tres velocidades por debajo, con una diferencia de 1 km/h entre ellas (con ello garantizábamos un trabajo predominantemente aeróbico que constatábamos mediante la determinación de lactacidemias al finalizar la prue-

ba). Seguidamente calculábamos la economía de la carrera a través del consumo de oxígeno en fase estable en la velocidad del umbral aeróbico y a una velocidad puntual de 8 km/h para el grupo control y 10 km/h para el grupo experimental.

Por último, con otro grupo de 3 sujetos se realizó un test-retest para valorar la reproductibilidad de las mediciones.

Los datos del presente estudio fueron tratados con el programa estadístico SPSS. Dado el diseño mixto que se ha utilizado, donde el grupo constituye el efecto inter-sujetos (dos grupos: Experimental y Control) y la sesión experimental el efecto intra-sujetos (tres controles) se aplicó un análisis multivariable de la varianza (MANOVA) que cubría el diseño completamente.

Resultados

El estudio de la reproductibilidad mediante el test-retest dio un coeficiente de correlación de 0.95 para la prueba triangular y de 0.98 para la prueba específica.

LLINDARS AEROBICS EN LES TRES PROVES TRIANGULARS

PROVA	GRUP		TOTAL
	EXPERIMENTAL	CONTROL	
PRIMERA			
Valor mig	35.8	37.3	36.3
Desv.Típica	3.2	4.5	3.5
n	6	3	9
SEGONA			
Valor mig	39.2	37.9	38.8
Desv.Típica	2.9	4.2	3.2
n	6	3	9
TERCERA			
Valor mig	45.8	36.0	42.5
Desv.Típica	3.9	2.3	5.9
n	6	3	9

Taula 1. Valors mitjans dels consums d'oxigen (ml/kg/min) en el llinar aeròbic de les proves triangulars per cada grup.

LLINDARS ANAEROBICS EN LES TRES PROVES TRIANGULARS

PROVA	GRUP		TOTAL
	EXPERIMENTAL	CONTROL	
PRIMERA			
Valor mig	47.1	45.8	46.7
Desv.Típica	2.3	9.0	4.9
n	6	3	9
SEGONA			
Valor mig	51.4	46.7	49.8
Desv.Típica	3.5	10.6	6.4
n	6	3	9
TERCERA			
Valor mig	58.5	45.9	54.3
Desv.Típica	2.9	7.4	7.6
n	6	3	9

Taula 2. Valors mitjans dels consums d'oxigen (ml/kg/min) en el llinar anaeròbic de les proves triangulars per cada grup.

VELOCITAT PUNTUAL EN LES TRES PROVES TRIANGULARS

PROVA	GRUP		TOTAL
	EXPERIMENTAL	CONTROL	
PRIMERA Valor mig Desv.Típica n	57.5 2.7 6	54.3 10.0 3	56.5 5.7 9
SEGONA Valor mig Desv.Típica n	62.5 3.5 6	57.1 8.5 3	60.7 5.7 9
TERCERA Valor mig Desv.Típica n	67.1 1.8 6	55.8 5.2 3	63.3 6.4 9

Taula 3. Valors mitjans dels consums d'oxigen (ml/kg/min) a una velocitat concreta en les proves triangulars per cada grup.

VELOCITAT PUNTUAL EN LES TRES PROVES ESPECIFIQUES

PROVA	GRUP		TOTAL
	EXPERIMENTAL	CONTROL	
PRIMERA Valor mig Desv.Típica n	41.5 3.9 6	36.5 2.3 3	39.8 4.1 9
SEGONA Valor mig Desv.Típica n	41.3 3.8 6	38.1 1.3 3	40.2 3.5 9
TERCERA Valor mig Desv.Típica n	46.3 3.8 6	38.0 1.7 3	43.5 5.2 9

Taula 4. Valors mitjans dels consums d'oxigen (ml/kg/min) a una velocitat concreta en les proves específiques per cada grup.

LLINDARS AEROBICS EN LES TRES PROVES ESPECIFIQUES

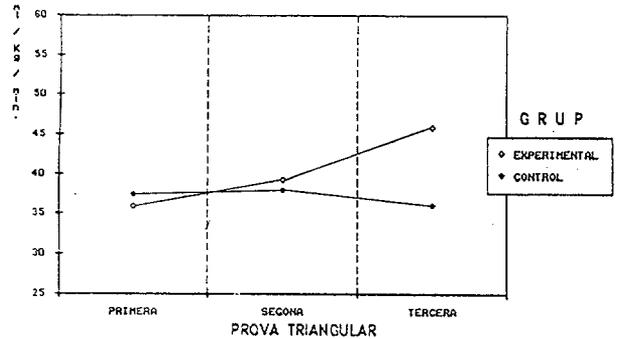
PROVA	GRUP		TOTAL
	EXPERIMENTAL	CONTROL	
PRIMERA Valor mig Desv.Típica n	43.4 5.6 6	38.8 3.4 3	41.8 5.2 9
SEGONA Valor mig Desv.Típica n	43.5 6.2 6	40.8 5.8 3	42.6 5.9 9
TERCERA Valor mig Desv.Típica n	49.5 5.0 6	40.5 3.9 3	46.5 6.3 9

Taula 5. Valors mitjans dels consums d'oxigen (ml/kg/min) en el llindar aeròbic de les proves específiques per cada grup.

Para todas las variables estudiadas, en las tres sesiones y para los dos grupos (control y experimental), se realizó una representación gráfica, en la que observamos los valores medios de los con-

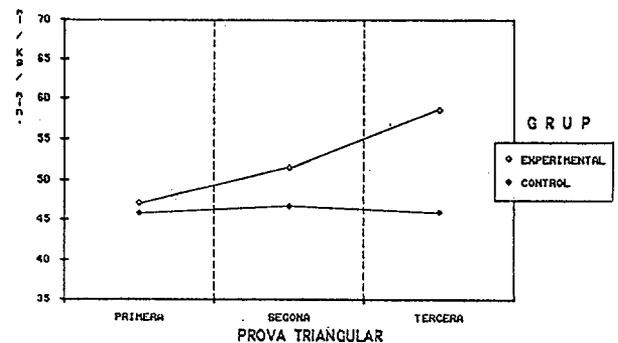
sumos de oxígeno (ml/min/kg) a las velocidades en el umbral aeróbico, umbral anaeróbico y a la velocidad puntual de las pruebas triangulares, y en el umbral aeróbico y velocidad puntual de las pruebas específicas para los dos grupos estudiados. (En las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 se representan los valores medios de los consumos de oxígeno para cada velocidad, para cada grupo y cada control, así como la representación gráfica 1, 2, 3, 4 y 5 correspondiente).

1. VO2 EN EL LLINDAR AEROBIC



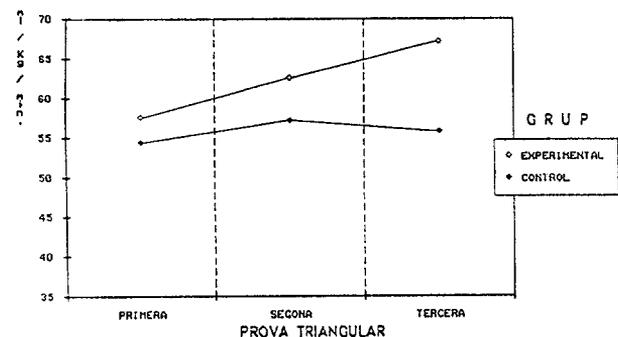
Gràfica 1

2. VO2 EN EL LLINDAR ANAEROBIC



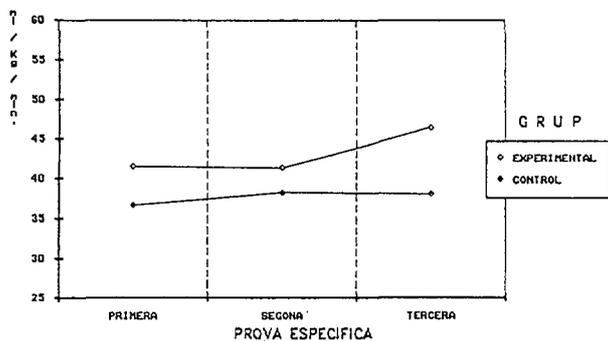
Gràfica 2

3. VO2 A VELOCITAT CONCRETA



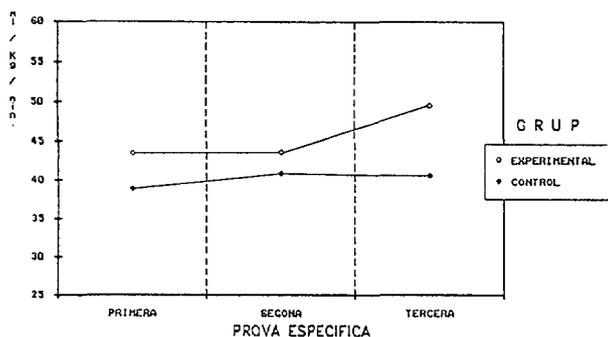
Gràfica 3

4. VO2 A VELOCITAT CONCRETA



Gráfica 4

5. VO2 EN EL LLINDAR AEROBIC



Gráfica 5

Como se puede observar los dos grupos parecen tener evoluciones diferentes a lo largo de las tres sesiones. Estas diferencias se confirman estadísticamente. Mientras la economía de la carrera en el grupo control no varía a lo largo de las tres sesiones, es decir, se mantiene constante, la del grupo experimental disminuye a lo largo de las tres sesiones de forma significativa. En la representación gráfica se observa un aumento lineal de los valores medios del consumo de oxígeno para cada velocidad estudiada, ello quiere decir que los sujetos del grupo experimental se vuelven menos eco-

nómicos a lo largo de las tres sesiones porque aumentan el consumo de oxígeno para cada velocidad dada. El incremento en el consumo de oxígeno de los sujetos del grupo experimental es significativo tanto entre la primera y la segunda sesión como entre la segunda y la tercera. Haciendo una comparación de los dos grupos en cada una de las tres sesiones, se observa que en las dos primeras sesiones, los valores de consumo de oxígeno de los dos grupos no llegan a diferir estadísticamente, pero sí en la tercera, donde los sujetos del grupo experimental consumen un valor medio de oxígeno significativamente superior a la de los sujetos del grupo control.

Conclusión

1. No existen cambios significativos en la economía de la carrera en el grupo control a lo largo de las tres sesiones.
2. Sí existe una DISMINUCIÓN de la economía de la carrera en el grupo experimental a lo largo de las tres sesiones ya que existe un mayor consumo de oxígeno, por lo tanto un mayor coste energético a velocidades de carrera submáximas, y por último,
3. Esta disminución puede ser atribuible a que al entrenar velocidades de carrera por encima del umbral anaeróbico, que son justamente las que requieren para su especialidad atlética (400 m), ocasione un empeoramiento de la economía de la carrera a velocidades claramente inferiores.
4. Sin embargo no se pueden descartar otros factores a parte del biomecánico mencionado anteriormente, así puede ser que al producirse un aumento del metabolismo oxidativo como se evidencia por el aumento del VO_2 máx. hubiera una desviación del metabolismo energético glucídico al lipídico y por lo tanto al haber un menor cociente respiratorio supondría un mayor consumo de oxígeno para una carga dada.

Bibliografía

1. ASTRAND, P.O.: Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to sex and Age. Copenhagen: Ejnar Munksgaard, 1952.
2. BROOKS, G.A.; HITTLEMAN K. J.; BEYER, R.E.: Temperature skeletal muscle mitochondrial functions, and oxygen debt. Physiologist 13:156, 1970.
3. CAVANAGH, P.R.; WILLIAMS, K.R.: The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. Med. Sci. Sports Exerc. 14:30-35, 1982.
4. CONLEY, D.L.; KRAHENBUHL, G.: Running economy; distance running performance of highly trained athletes. Med. Sci. Sports. 12:357-360, 1980.

5. CONLEY, D.L.; KRAHENBUHL, G.S.; BURKETT, L.N.: Training for aerobic capacity; running economy. *Physician Sportsmed.* 9 (4): 107-115, 1981.
6. COSTILL, D.L.; BRANAM, G.S.; EDDY, D.; SPARKS, K.: Determinants of marathon running success. *Int. Z. Agnew. Physiol.* 29: 249-254, 1971.
7. COSTILL, D.L.; FOX, E.L.: Energenics of marathon running. *Med. Sci. Sports* 1: 81-86, 1969.
8. CURETON, K.J. y SPARLING, P.B.: Distance running performance; metabolic responses to running in men; women with excess weight experimentally equated. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 12: 288-294, 1980.
9. DANIELS, J.; OLDRIGE, N.: Changes in oxygen consumption in young boys during growth; running training. *Med. Sci. Sports* 3: 161-165, 1971.
10. DANIELS, J.; KRAHENBUL, G.; FOSTER, C.; GILBERT, J.; DANIELS, S.: Aerobic responses of female distance runners to submax; maximal exercise. *Ann. NY Acad. Sci.* 301:726-733, 1977.
11. DANIELS, J.; OLDRIGE, J.; NAGLE, F.; WHITE, B.: Differences; changes in VO_2 among young runner 10 to 18 years of age. *Med. Sci. Sports* 10: 200-203, 1978.
12. DANIELS, J.; YARBROUGH, R.A.; FOSTER, C.: Changes in VO_2 submax and running performance with training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 39: 249-254, 1978.
13. DOLGENER, F.: Oxygen cost walking; running in untrained, sprint trained and endurance trained females. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 22: 60-65, 1982.
14. FREDERICK, E.C.; DANIELS, J.; HAYES, J.: The effect of shoe weight on the aerobic demands of running. *Proceedings of the World Congress on Sports Med. Viena, 1984.*
15. HAGERMAN, F.C.; ADDINGTON, W.W.; GAENSLER, E.A.: Severe steady state exercise at sea level and altitud in olympic oarsmen. *Med. Sci. Sports* 7: 275-279, 1975.
16. HOGBERG, P.: How do stride length; stride frequency influence the energy output during running ? *Arbeitsphysiologie* 14: 437-441, 1952.
17. KNUTTGEN, H.C.: Oxigen uptake; pulse rate while running with undetermined; determined stride lengths at different speeds. *Acta. Physiol. Scand* 52: 366-371, 1961.
18. KRAHENBUHL, G.S.; PANGRAZI, R.P.: Characteristics associated with running performance in young boys. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15: 486-490, 1983.
19. KRAHENBUHL, G.S.; PANGRAZI, R.P.; CHOMOKOS, E.A.: Aerobic responses of young boys to submaximal running. *Res. Q. Exerc. Sport* 50: 413-421, 1979.
20. MacDOUGALL, J.D.; REDDAN, W.G.; LAYTON, C.R. and DEMPSEY, J.A.: Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 36: 538-544, 1974.
21. ROWELL, L.B.; BREGELMANN, G.L.; MURRAY, J.A.; KRANING II, K.K.; KUSUMI, F.: Human metabolic response to hypertermia during mild to maximal exercise. *J. App. Physiol.* 26: 395-402, 1969.
22. SALTIN, B.; STENBERG: Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 19: 833-834, 1964.
23. SHIELDS, S.L.: The effect of varying lengths os strid on performance during submaximal tradmill stress testing. *J. Sports. Med. Phys. Fitness* 22: 66-72, 1982.
24. SJODIN, B.; SHELE, R.: Oxygen cost of treadmill tuning in long-distance runners. In *Exercise and Sport Biology*, P.V. Komi (Ed). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1982, pp. 61-67.