

Cambios ventilatorios producidos por variaciones biomecánicas en el pedaleo*

J. RIBAS,¹ M. GUERRA,¹ D. RUANO²

¹ Laboratorio de Valoración Funcional. Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte. Facultad de Medicina. Universidad de Barcelona.

² Director de la Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte de Barcelona

CORRESPONDENCIA

J. Ribas. Centre de Valoració Funcional. Servei de Esports. Universitat de Barcelona. Diagonal 695-701. 08028. Barcelona. Spain
e-mail: sesp@org.ub.es

* Estudio realizado gracias a una ayuda de la Direcció General de l'Esport

ABSTRACT. The purpose of this study is to compare the maximum ventilatory responses and in the anaerobic threshold, produced with the use or not of clips in highly trained subjects during an incremental exercise until exhaustion.

Sixteen males, members of a top-competition Mountain Bike club participated in the study, who performed two fitness trials on cycloergometers. The first trial was conducted without clips while clips were used in the second with the SPD attachment system (Shimano PD-M323). The two trials were separated by an interval of between four and six days. An incremental protocol was used in both cases, with 25-W increases every minute until exhaustion, maintaining a pedalling rate of 60 rpm. The height of the saddle was adjusted to 100% of the predetermined trochanteric height for each cyclist, and remained constant in the two tests. The length of the connecting rod remained unchanged at a value of 170 mm. The following variables were evaluated throughout the entire exercise period: a) oxygen consumption, $\dot{V}O_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, y $\text{ml}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ STPD), b) carbon dioxide production, $\dot{V}CO_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, STPD), c) ventilation, VE ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, BTPS), d) respiratory quotient, RER, e) heart rate HR (beat/min) and f) work, W (Watts). No significant differences were observed ($P < 0.01$) between the two trials in any of the parameters studied in either the anaerobic threshold or peak oxygen consumption. As a result of the importance in the determination of the anaerobic threshold, new studies shall have to be conducted to assess the influence of the rest of the kinematic variables and the effects of posture on cycloergometers, in terms of both the maximum oxygen consumption peak and the anaerobic threshold.

KEY WORDS: pedalling, anaerobic threshold.

RESUMEN. La finalidad del presente estudio es comparar las respuestas ventilatorias máximas y en el umbral anaeróbico producidas con la utilización o no de calapiés en sujetos altamente entrenados durante un ejercicio incremental hasta la extenuación. Participaron en el estudio dieciséis varones componentes de un club de Mountain-Bike de alta competición, los cuales realizaron dos pruebas de esfuerzo sobre cicloergómetro. La primera prueba se realizó sin calapiés mientras que en la segunda se utilizaron calapiés con sistema de fijación SPD (Shimano PD-M323). Ambas pruebas estuvieron separadas por un intervalo comprendido entre cuatro y seis días. En los dos casos se utilizó un protocolo incremental con aumentos de 25 W. cada minuto hasta la extenuación, manteniendo una frecuencia de pedaleo de 60 r.p.m.

La altura del sillín se ajustó al 100 % de la altura trocantérea predeterminada para cada ciclista y fue mantenida constante en las dos pruebas. La longitud de la biela se mantuvo fija con un valor de 170 mm. Se evaluaron las siguientes variables a través de todo el período del ejercicio: a) consumo de oxígeno, $\dot{V}O_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ y $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, STPD), b) producción de dióxido de carbono, $\dot{V}CO_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, STPD), c) ventilación, VE ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$, BTPS), d) cociente respiratorio, RER, e) frecuencia cardíaca FC (lat/min) y f) trabajo, W (vatios). No se observaron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre las dos pruebas en ninguno de los parámetros estudiados tanto en el umbral anaeróbico como en el pico de consumo de oxígeno. Debido a la importancia en la determinación del umbral anaeróbico; nuevos estudios deberán ser realizados para valorar la influencia del resto de variables cinemáticas y los efectos de la postura sobre cicloergómetro, tanto a nivel del pico de consumo máximo de oxígeno como del umbral anaeróbico.

PALABRAS CLAVE: Pedaleo, Umbral anaeróbico.

INTRODUCCIÓN

El uso del cicloergómetro en la valoración funcional del deportista está muy extendido, sobre todo en Europa, debido a su fácil manejo, familiaridad con el ejercicio, facilidad para la cuantificación del trabajo externo y seguridad.¹ Por otro lado, el cicloergómetro ha constituido la base para el estudio de los parámetros fisiológicos y biomecánicos del ciclismo², mientras que otros autores han usado la simulación del ciclismo en carretera mediante la utilización de rodillos,^{3,4,5,6} o tapiz rodante^{7,8}.

No obstante, en la valoración ergoespirométrica del deportista mediante cicloergometría, no suelen tenerse en cuenta los factores biomecánicos que afectan al pedaleo, ya sean cinéticos (rol de los diferentes músculos, fuerzas que actúan sobre el pedal, manillar o sillín y fuerzas que actúan retardando el movimiento) o cinemáticos (ángulos articulares, velocidad de pedaleo, movimiento del pie y longitud de la biela).

Hull y González (1990),⁹ exponen una serie de variables geométricas que afectan a la biomecánica del ciclismo, como son: la longitud del brazo de biela, altura del sillín, ángulo del tubo del sillín, posición longitudinal del pie sobre el pedal, y elevación de la articulación del tobillo sobre el eje de giro del pedal.

Durante el pedaleo, la pierna pasiva, fuerza que se opone al movimiento, debe ser elevada por la activa, en un intento de eliminar estas fuerzas se utilizan calapiés y cinchas.

Lavoie y cols. (1978)¹⁰ encuentran diferencias significativas entre las medias de consumo máximo de oxígeno con calapiés ó sin ellos (59 vs 53 ml·Kg⁻¹·min⁻¹). Mientras que otros autores, no hallan dichas diferencias; así, Bateman y cols. (1981)¹¹ muestran la inexistencia de variaciones significativas entre las medias de consumo máximo de oxígeno en el uso o no de calapiés. Moffat y Sparling (1985)¹² no encuentran diferencias estadísticamente significativas en la medida de consumo máximo de oxígeno y tiempo de "performance", en ocho individuos varones que utilizaron calapiés respecto a los que no los utilizaron. Coyle y cols. (1988),¹³ en catorce ciclistas de élite no descubren diferencias significativas en la respuesta metabólica a trabajos de pedaleo submáximo con y sin calapiés. Lafortune y Cavanagh (1983)¹⁴ encuentran que los calapiés permitían alguna disminución en el consumo de oxígeno y sugieren que podría ser debido a que los calapiés alteran el esquema de participación en la carga de los diferentes músculos.

Davis y Hull (1981)³ estudian la conexión entre el pie y el pedal, observando que, si la conexión se realiza exclusivamente a través de calzado de suela blanda, la fatiga ocurre rápidamente ya que los únicos músculos activos son los exten-

sores de la pierna, esto ya fue argumentado por Houtz y Fisher (1959);¹⁵ al añadir calapiés se permite la participación de mas grupos musculares en el movimiento. Ericson y cols. (1985)¹⁶ encuentran mayor actividad electromiográfica en rectus femoris, bíceps femoris y tibialis anterior, cuando se utilizan calapiés y concluyen que estos músculos tiran del pedal hacia arriba.

Hull y Gonzalez (1990)⁹ estudian los efectos de la altura de la plataforma del pedal sobre el movimiento total articular con alturas de un rango entre ± 4 cm. La mayoría de los pedales comercializados poseen la plataforma del pedal por encima del eje del mismo, pero se pueden diseñar pedales cuya plataforma coincida con el eje o esté por debajo del mismo. La altura de la plataforma del pedal, conjuntamente con el grosor de la abrazadera, grosor de la suela y la elevación de la articulación del tobillo por encima de la planta del pie, determinan la altura del tobillo por encima del eje del pedal. Se observa que variaciones en la altura de la plataforma afectan los picos de movimiento articular total en un 13%. Contando el coste funcional derivado de los momentos de cadera y rodilla, se ha encontrado que la altura de plataforma que minimiza el coste funcional es de +2 cm, no obstante para frecuencias de pedaleo de 90 rpm; la sensibilidad del coste funcional para las variaciones en altura de plataforma es baja, incrementándose esta al variar la frecuencia de pedaleo por debajo o por encima de 90 rpm

La finalidad del presente estudio es comparar las respuestas ventilatorias maximales y en el umbral anaeróbico producidas con la utilización o no de calapiés en sujetos altamente entrenados durante un ejercicio incremental hasta la extenuación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Participaron en el estudio dieciséis varones componentes de un club de Mountain-Bike de alta competición, los cuales no tomaron medicación ni mostraron patología que pudieran impedir la correcta práctica deportiva. Las medias y desviaciones estándar de edad, peso y altura de los individuos fueron respectivamente: 27.0 \pm 6.24, 74.90 \pm 12.64, 173.88 \pm 5.17. No se les permitió realizar esfuerzos 24 horas antes de las pruebas, ni ingerir alimentos dos horas antes del test.

En todos los sujetos se midió la altura trocantérea, definida como la distancia entre el punto superior del trocanter del fémur y el plano de sustentación, al igual que la altura del tobillo, distancia existente entre el eje del pedal y el eje del tobillo.

La altura del sillín se determinó como la distancia entre la parte más superior del sillín y la parte más superior de la plataforma del pedal medida a lo largo del tubo del sillín; esta

Tabla I Valores de los diferentes parámetros ventilatorios en el umbral anaeróbico.

	Sin calapiés	Con calapiés
W (vatios)	178,12 ± 35,2	168,75 ± 32,2
VO ₂ (ml·min ⁻¹)	2339,93 ± 409,4	2138,56 ± 309,8
VO ₂ (ml·min ⁻¹ · Kg ⁻¹)	32,67 ± 7,0	29,91 ± 5,7
VCO ₂ (ml·min ⁻¹)	2101,56 ± 405,1	1953,31 ± 356,8
RER	0,89	0,90
VE (L·min ⁻¹)	46,75 ± 8,1	44,37 ± 8,5
FC	142,50 ± 14,1	136,25 ± 14,1

Tabla II Valores de los diferentes parámetros ventilatorios en el pico de consumo de oxígeno

	Sin calapiés	Con calapiés
W (vatios)	312,50 ± 27,3	315,62 ± 23,9
VO ₂ (ml·min ⁻¹)	3.816,68 ± 470,9	3.676,12 ± 407,2
VO ₂ (ml·min ⁻¹ · Kg ⁻¹)	53,0 ± 8,1	50,9 ± 7,5
VCO ₂ (ml·min ⁻¹)	4.773,25 ± 665,1	4.761,81 ± 546,7
RER	1,25 ± 0,1	1,29 ± 0,8
VE (L·min ⁻¹)	127,37 ± 26,7	128,56 ± 22,2
FC (lat · min ⁻¹)	187,75 ± 8,6	188,62 ± 7,1

medida se ajustó al 100 % de la altura trocantérea predeterminada para cada ciclista y fue mantenida constante en las dos pruebas. La longitud de la biela se mantuvo fija con un valor de 170 mm.

Se sometió a los sujetos a dos pruebas de esfuerzo sobre cicloergómetro Monark 818 equipado con manillar de carretera. La primera prueba se realizó sin calapiés mientras que en la segunda se utilizaron calapiés con sistema de fijación SPD (Shimano PD-M323). Ambas pruebas estuvieron separadas por un intervalo comprendido entre cuatro y seis días. En los dos casos se utilizó un protocolo incremental con aumentos de 25 W. cada minuto hasta la extenuación, manteniendo una frecuencia de pedaleo de 60 rpm. Durante toda la prueba los sujetos conservaron la posición de "barra caída". En el ejercicio las respuestas ventilatorias y el intercambio de gases fueron medidas respiración a respiración mediante un sistema computerizado integrado (Medical Graphics). Los sujetos respiraron a través de un neumotacógrafo desechable de baja resistencia (<1.20 cm H₂O/l/seg, Hans Rudolph 7900) con un espacio muerto menor a 40 ml. El neumotacógrafo fue mantenido a una temperatura constante de 37°C. La calibración fue realizada por la introducción de los valores de volúmenes conocidos de aire ambiental. El análisis de gases se efectuó mediante un analizador de CO₂ con doble haz de infrarrojos y con un analizador de O₂ de célula de zirconio. Mezclas de gases de concentración conocida fueron usados para la calibración de los analizadores de gases. La frecuencia cardíaca y el registro electrocardiográfico fue monitorizada de modo continuo durante todo la prueba mediante una derivación CM 5 bipolar.

Se valoraron las siguientes variables a través de todo el período del ejercicio: a) consumo de oxígeno, VO₂ (ml·min⁻¹ y ml·kg⁻¹·min⁻¹, STPD), b) producción de dióxido de carbono, VCO₂ (ml·min⁻¹, STPD), c) ventilación, VE (L·min⁻¹, BTPS), d) cociente respiratorio, RER, e) frecuencia cardíaca FC (lat/min) y f) trabajo, W (vatios).

Se determinó el umbral ventilatorio de forma computerizada utilizando la metodología descrita por Beaver y cols. (1986)¹⁷.

El análisis estadístico se realizó mediante la diferencia entre las medias para observaciones pareadas utilizando el programa informático Microsta.

RESULTADOS

Los resultados incluyen exclusivamente los valores obtenidos en el umbral anaeróbico y en el pico de consumo de oxígeno. Las medias y desviaciones estándar de las variables valoradas se muestran en las tablas I y II.

No se observaron diferencias significativas ($P < 0.01$) en ninguno de los parámetros estudiados tanto en el umbral anaeróbico como en el pico de consumo de oxígeno. En el umbral anaeróbico todos los valores de los parámetros, exceptuando el RER, fueron mayores en la prueba sin calapiés; mientras que el pico de consumo de oxígeno mostró valores superiores en la primera prueba exceptuando RER, W, VE y FC.

Las medias de las medidas de la altura del tobillo no variaron significativamente entre las dos pruebas (10.26 ± 1.3 vs. 10.50 ± 0.7).

DISCUSIÓN

Varios autores muestran la importancia del umbral anaeróbico y el consumo máximo de oxígeno dentro de las características fisiológicas necesarias para un correcto rendimiento en el ciclismo, así, Hagberg y cols. (1978)¹⁸ estudiaron en tres ciclistas de clase nacional los valores de consumo máximo de oxígeno; dichos valores fueron 71.6, 69.7, 69.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹ siendo similares a los valores de otros ciclistas europeos. Coyle i cols. (1988)¹³ estudiaron los factores de los que depende la "performance" en catorce ciclistas de competición y observaron que estuvo altamente relacionada con el consumo máximo de oxígeno en el umbral anaeróbico láctico. Faria y cols.

(1989)¹⁹ examinaron las características fisiológicas de quince ciclistas de élite, durante una prueba incremental en cicloergómetro. Obtuvieron un consumo máximo de oxígeno medio de 5.15 l·min⁻¹ (75.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹), notablemente alto cuando se compara con nuestra población, la media del umbral ventilatorio fue de 62.3 ± 4.3 ml·kg⁻¹·min⁻¹, lo cual ocurrió al 83% del consumo máximo de oxígeno, también considerablemente superior a nuestra serie, sugiriendo la importante contribución del umbral anaeróbico en la "performance" del ciclista de élite. Coyle y cols. (1991)²⁰ en un test diseñado para simular una prueba contrarreloj de 40 Km., concluyeron que la potencia de trabajo mantenida durante una hora de test correlacionó positivamente con el consumo máximo de oxígeno (l./min.) en el umbral anaeróbico láctico ($r^2=0.86$).

Nuestro estudio muestra la inexistencia de cambios en los parámetros ventilatorios tanto a nivel del umbral anaeróbico como en el pico de consumo máximo de oxígeno mediante la utilización o no de calapiés, coincidiendo parcialmente con estudios previos. Así, Bateman y cols. (1981)¹¹ estudiaron en diecinueve varones no entrenados los efectos de la posición del manillar en "barra caída" y el uso de calapiés sobre el consumo de oxígeno. Para ello realizaron pruebas maximales sobre cicloergómetro en cuatro condiciones diferentes: estándar, con calapiés, posición del manillar en "barra caída", uso de calapiés y posición del manillar en "barra caída", a demás realizaron una prueba sobre tapiz. No se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) en los valores máximos de ventilación, cociente respiratorio y tiempo de extenuación, mientras que la frecuencia cardíaca máxima fue significativamente mayor ($P<0.05$) en las pruebas con calapiés y con calapiés y posición del manillar en "barra caída". Entre las pruebas realizadas en cicloergómetro el consumo de oxígeno máximo no mostró valores significativamente diferentes para $P<0.05$.

Moffat y Sparling (1985)¹² no encontraron diferencias estadísticamente significativas en la medida de consumo máximo de oxígeno en ocho individuos varones que utilizaron calapiés respecto a los que no los utilizaron (62.4 ± 5.4 ml·kg⁻¹·min⁻¹ vs 60.4 ± 5.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Del mismo modo Coyle y cols. (1988)¹³ tampoco observan diferencias en la respuesta metabólica de catorce deportistas al realizar una prueba incremental, con y sin calapiés.

Por otro lado Lavoie y cols. (1978)¹⁰ investigaron el uso de calapiés y cinchas durante cicloergometría encontrando diferencias significativas ($P<0.05$) entre las medias de consumo máximo de oxígeno utilizando calapiés o sin ellos (59 vs 53 ml·Kg⁻¹·min⁻¹). Los autores señalan que el aumento en el consumo máximo de oxígeno debido a la utilización de calapiés y cinchas se produciría por un aumento en la utilización

de la musculatura de las piernas. Lafortune y Cavanagh (1983)¹⁴ estudiaron la efectividad y eficiencia durante el pedaleo en dos poblaciones con dos diferentes interfases entre el zapato y el pedal, una consistía en pedal de caucho con zapatillas de suela de piel y la otra con un pedal metálico convencional con cinchas y calapiés. Observaron que no existían diferencias entre la orientación del pedal en los dos grupos de sujetos, aunque la fuerza normal fue mayor en el primero de los casos, mientras que la tangencial lo fue en segundo. Se observó que el sujeto aún empuja hacia abajo el pedal durante la fase de recuperación, lo cual indica que bajo las condiciones estudiadas parte del impulso propulsivo es utilizado para levantar la pierna de recuperación. El consumo de oxígeno, obtenido en bicicleta aproximadamente a 155 vatios y 60 rpm., fue significativamente menor al utilizar cinchas y calapiés que sin ellos (2.03 l·min⁻¹ vs 2.08 l·min⁻¹), aunque no existieran diferencias significativas en índice de efectividad, lo cual podría explicarse por el hecho de que en el pedaleo sin calapiés se precisa una cantidad extra de energía muscular para que el pie no se resbale del pedal.

Los calapiés utilizados en nuestro estudio difieren de las cinchas y calapiés tradicionales, no obstante, Okajima (1990)²¹ estudió, las variaciones biomecánicas y fisiológicas producidas por el uso de tres tipos de pedal: SPD (Shimano Pedaling Dynamics), calapiés con cinchas y pedal sin cinchas ni calapiés. No se observaron diferencias significativas en el consumo máximo de oxígeno y frecuencia cardíaca entre los diferentes tipos de pedal mientras los corredores se ejercitaban entre el 60 y el 80 % de su consumo máximo de oxígeno.

Cabe reseñar importantes diferencias metodológicas en los estudios antes citados. Así, las pruebas fueron maximales y realizadas en cicloergómetro, exceptuando Lafortune y Cavanagh (1983)¹⁴ que utilizan una potencia constante de 155 vatios, realizando la prueba sobre bicicleta convencional. La población es de ciclistas de competición, salvo los estudio de Bateman y cols. (1981),¹¹ Lafortune y Cavanagh (1983),¹⁴ Lavoie y cols (1978),¹⁰ estos últimos utilizaron dos grupos de diez varones, diez de los cuales fueron ciclistas de competición y diez estudiantes de educación física. La inexistencia de cambios ventilatorios en la población de ciclistas de competición podría explicarse por una mayor adecuación técnica del pedaleo, que les permitiría una superior duración de la fase propulsiva, incluso sin calapiés, y evitando que el movimiento de la biela comprendido entre 180 y 360 grados sea realizado en su totalidad por la pierna propulsiva.

Se observan, también, diferencias en las cadencias de pedaleo utilizadas, 60 rpm. [Lavoie y cols. (1978),¹⁰ Lafortune y Cavanagh (1983)¹⁴] y 75 rpm. [Moffat y Sparling (1985),¹²

Coyle y cols. (1988)¹³). Por otro lado, todos los estudios citados, a diferencia del nuestro, muestran valores ergoespirométricos, maximales o submaximales, sin valorarse los resultados obtenidos en el umbral anaeróbico.

CONCLUSIONES

Puesto que ya hemos señalado la importancia de la determinación del umbral anaeróbico particularmente en los ciclistas y en los deportistas en general; nuevos estudios debe-

rán ser realizados para valorar la influencia del resto de variables cinemáticas (frecuencia de pedaleo, ángulos articulares, longitud de biela...) y los efectos de la postura sobre cicloergómetro (altura del sillín, posición de las manos...), tanto a nivel del pico de consumo máximo de oxígeno como del umbral anaeróbico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Club de Mountain Bike-Verd, las facilidades mostradas para la realización de este trabajo.

Bibliografía

1. WASSERMAN K., HANSEN J.E., SUE D.Y., WHIPP B.J.: "Principles of exercise testing and interpretation". Ed. Lea & Febiger. 1987.
2. ERICSON, M.O.: "On the biomechanical of cycling: a study on joint and muscle load during exercise on the bicycle ergometer". *Scan. J Rheab. Med.* 1986; (suppl 16) :1-43.
3. DAVIS R.R., HULL M.L.: "Measurement of pedal loading in bicycling: II. Analysis and results". *J. Biomechanics.* 1981; 14 (12) : 857-872.
4. BOLOURCHI F.: "Measurement of rider induced loads during simulated bicycling" *Int. J. Sport Biomechanics.* 1985; 1(4):308-329.
5. HULL M.L., JORGE M.: "A method for biomechanical analysis of bicycle pedalling". 1985; *J. Biomechanics.* 18(9):631-644.
6. REDFIELD.R., HULL M.LL: "On the relation between joint moments and pedalling rates at constant power in bicycling". *J. Biomechanics.* 1986;19 (4) :317-329.
7. DESIPRES M: "An electromyographic study of competitive cycling conditions simulated on a treadmill". *Biomechanics IV.* 349-355 1974.
8. FARIA I.E., SJOGAARD G., BONDE-PETERSEN F: "Oxygen cost during different pedalling speeds for constant power outputs" *J. Sports. Med. Phys. Fitness.* 1982; 22 : 295-299.
9. HULL M.L., GONZÁLEZ H.K.: "the effect of pedal platform height on cycling biomechanics". *Int. J. Sports. Biomechanics.* 1990; 6:1-17.
10. LAVOIE N.F., MAHONEY M.D., MARMELIC L.S.: "oxygen uptake on a bicycle ergometer without toe stirrups and with toe stirrups versus a treadmill". *Can. J. Appl. Sports Sciences.* 1978; 3: 99-102.
11. BATEMAN M.S., BUTTSN K., WUSSOW D.G., KIRKENDALL D.T., SANTIESTEBAN J.: "Effects of forward lean position and the use of toe clips on maximal oxygen uptake during bicycle ergometry". *Med. Sci. Sports Exer.* 1981; 13 (2): 123 (abstract).
12. MOFFAT R.S., SPARLING P.B.: "Effect of toeclips during bicycle ergometry on VO₂ max". *Res. Q. Exercise Sport.* 1985; 56 (1): 54-57.
13. COYLE E.F., COGGAN A.R., HOPPER M.K., WALTERS T.J.: "Determinants of endurance in well-trained cyclist". *J. Appl. Physiol.* 64(6):2622-2630.1988.
14. LAFORTUNE M., CAVANAGH P.R.: "Effectiveness and efficiency during bicycle riding". en *biomechanics VIIIb* (editado por matsui.h., k.kobayashi). pp. 928-936.1983. *Human Kinetics, Champaign Il.*
15. HOUTZ S.J., FISHER F.J.: "Analysis of muscle action and joint excursion during exercise on a stationary bicycle". *J. Bone J. Surg.* 1959; 41:123-131.
16. ERICSON M.O., NISELL R., ARBROELIUS U.P., EKHOLM J.: "Muscular activity during ergometer cycling". *Scan. J. Rehabil.* 1985; 17.
17. BEAVER W.L., WASSERMAN K., WHIPP B.J.: "a new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchanxge". *j. appl. physiol.* 6:2020- 2027,1986.
18. HAGBERG J.M., GIESE M.D., SCHNEIDER R.B.: "comparison of three procedures for measuring VO₂ max. of competitive cyclists". *Eur. J. Appl. Physiol.* 1978;39:47-52.
19. FARIA I.E., FARIA E.W., ROBERTS S., YOSHIMURA D.: "Comparison of physical and physiological characteristics in elite young and mature cyclists". *Res. Q. Exer Sport Sci.* 1989; 60: 388-395.
20. COYLE E.F., FELTNER M.E., KAUTZ S.A., HAMILTON M.T., MONTAIN S.J., BAYLOR A.M., ABRAHAM L.D., PETREK G.W.: "Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance". *Med. Scienc. Sport. Exerc.* 1991; 23 (1) : 93-107.
21. OKAJIMA.S.: "The development of shimano pedaling dynamics (spd)". *Cycling Science.* 1990;4-7.sept.

