

Canvis ventilatoris produïts per variacions biomecàniques en el pedaleig*

J. RIBAS,¹ M. GUERRA,¹ D. RUANO²

¹Laboratori de Valoració Funcional.
Escola de Medicina de la Educació Física i l'Esport. Facultat de Medicina.
Universitat de Barcelona.

Correspondència

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

² Director de la Escola de
Medicina de la Educació Física i l'Esport de Barcelona

* Estudi realitzat gràcies a un ajut de la Direcció General de l'Esport de la Generalitat de Catalunya

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.

RESUM. La finalitat del present estudi és comparar les respostes ventilatòries maximals i en el llindar anaeròbic produïdes amb la utilització o no de clips en subjectes altament entrenats durant un exercici incremental fins a l'extenuació.

Van participar en l'estudi setze barons components d'un club de Mountain Bike d'alta competició, els quals van realitzar dues proves d'esforç sobre cicloergòmetre. La primera prova es va realitzar sense clips mentre que en la segona es van fer servir clips amb sistema de fixació SPD (Shimano PD-M323). Les dues proves van estar separades per un interval comprès entre quatre i sis dies. En els dos casos es va fer servir un protocol incremental amb augments de 25 W cada minut fins a l'extenuació, mantenint una freqüència de pedaleig de 60 rpm.

L'altura del selló es va ajustar al 100 % de l'altura trocantèria predeterminada per a cada ciclista i es va mantenir constant en les dues proves. La longitud de la biela es va mantenir fixa amb un valor de 170 mm.

Es van avaluar les següents variables a través de tot el període de l'exercici: a) consum d'oxigen, $\dot{V}O_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ i $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, STPD), b) producció de diòxid de carboni, $\dot{V}CO_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, STPD), c) ventilació, VE ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$, BTPS), d) quocient respiratori, RER, e) freqüència cardíaca FC (bat/min) i f) treball, W (vat).

No es van observar diferències significatives ($P < 0.01$) entre les dues proves en cap dels paràmetres estudiats tant en el llindar anaeròbic com en el pic de consum d'oxigen.

A causa de la importància en la determinació del llindar anaeròbic, s'hauran de fer nous estudis per a valorar la influència de la resta de variables cinemàtiques i els efectes de la postura sobre cicloergòmetre, tant a nivell del pic de consum màxim d'oxigen com del llindar anaeròbic.

PARAULES CLAU: pedaleig, llindar anaeròbic.

INTRODUCCIÓ

L'ús del cicloergòmetre en la valoració funcional de l'esportista està molt estès, sobretot a Europa, a causa del seu fàcil maneig, familiaritat amb l'exercici, facilitat per a la quantificació del treball extern i seguretat¹. Per altra banda, el cicloergòmetre ha constituït la base per a l'estudi dels paràmetres fisiològics i biomecànics del ciclisme², mentre que altres autors han utilitzat la simulació del ciclisme en carretera mitjançant la utilització de corrons,^{3,4,5,6} o tapís rodador.^{7,8}

No obstant això, en la valoració ergoespiromètrica de l'esportista mitjançant cicloergometria, no s'acostumen a tenir en compte els factors biomecànics que afecten al pedaleig, ja siguin cinètics (rol dels diferents músculs, forces que actuen sobre el pedal, manillar o selló i forces que actuen retardant el moviment) o cinemàtics (angles articulars, velocitat del pedaleig, moviment del peu i longitud de la biela).

Hull i González (1990),⁹ exposen una sèrie de variables geomètriques que afecten a la biomecànica del ciclisme, com són: la longitud del braç de biela, altura del selló, angle del tub del selló, posició longitudinal del peu sobre el pedal, i elevació de l'articulació del turmell sobre l'eix de gir del pedal.

Durant el pedaleig, la cama passiva, força que s'oposa al moviment, ha de ser aixecada per l'activa; en un intent d'eliminar aquestes forces es fan servir clips i cingles.

Lavoie i cols. (1978)¹⁰ troben diferències significatives entre les mitjanes de consum màxim d'oxigen amb clips o sense (59 vs. 53 ml·Kg⁻¹·min⁻¹). Mentre que altres autors no hi troben aquestes diferències; així, Bateman i cols. (1981)¹¹ mostren l'existència de variacions significatives entre les mitjanes de consum màxim d'oxigen en l'ús o no de clips. Moffat i Sparling (1985)¹² no troben diferències estadísticament significatives en la mesura de consum màxim d'oxigen i temps de "performance", en vuit individus barons que van fer servir clips respecte als que no en van fer servir. Coyle i cols. (1988),¹³ en catorze ciclistes d'elit, no descobreixen diferències significatives en la resposta metabòlica a treballs de pedaleig submàxim amb o sense clips. Lafortune i Cavanagh (1983)¹⁴ troben que els clips permetien alguna disminució en el consum d'oxigen i suggereixen que podria ser degut al fet que els clips alteren l'esquema de participació en la càrrega dels diferents músculs.

Davis i Hull (1981)³ estudien la connexió entre el peu i el pedal i observen que, si la connexió es realitza exclusivament a través de calçat de sola tova, la fatiga té lloc ràpidament, ja que els únics músculs actius són els extensors de la cama; això ja va ser argumentat per Houtz i Fisher (1959);¹⁵ afegint clips es permet la participació de més grups musculars en el

moviment. Ericson i cols.(1985)¹⁶ troben una activitat electromiogràfica més gran en rectus femoris, bíceps femoris i tibialis anterior, quan es fan servir clips i conclouen que aquests músculs estiren el pedal cap amunt.

Hull i González (1990)⁹ estudien els efectes de l'altura de la plataforma del pedal sobre el moviment total articular amb altures d'un rang entre ± 4 cm. La majoria dels pedals comercialitzats tenen la plataforma del pedal per damunt de l'eix del pedal, però es poden dissenyar pedals la plataforma dels quals coincideixi amb l'eix o estigui per sota d'ell. L'altura de la plataforma del pedal, conjuntament amb el gruix de l'abraçadora, gruix de la sola i l'elevació de l'articulació del turmell per damunt de la planta del peu, determinen l'altura del turmell per damunt de l'eix del pedal. S'observa que variacions en l'altura de la plataforma afecten als pics de moviment articular total en un 13%. Comptant el cost funcional derivat dels moments de maluc i genoll, s'ha trobat que l'altura de plataforma que minimitza el cost funcional és de +2 cm; no obstant això, per a freqüències de pedaleig de 90 rpm., la sensibilitat del cost funcional per a les variacions en altura de plataforma és baixa, la qual s'incrementa al variar la freqüència de pedaleig per sota o per damunt de 90 rpm.

La finalitat del present estudi és comparar les respostes ventilatòries maximals i en el llinar anaeròbic produïdes amb la utilització o no de clips en subjectes altament entrenats durant un exercici incremental fins a l'extenuació.

MATERIAL I MÈTODES

Van participar en l'estudi setze barons components d'un club de Mountain Bike d'alta competició, els quals no van prendre medicació ni van mostrar patologies que poguessin impedir la correcta pràctica esportiva. Les mitjanes i desviacions estàndard d'edat, pes i altura dels individus van ser, respectivament: 27.0 \pm 6.24, 74.90 \pm 12.64, 173.88 \pm 5.17. No se'ls va permetre realitzar esforços 24 hores abans de les proves, ni ingerir aliments dues hores abans del test.

En tots els subjectes es va mesurar l'altura trocantèria, definida com la distància entre el punt superior del trocànter del fèmur i el pla de sustentació, a l'igual que l'altura del turmell, distància existent entre l'eix del pedal i l'eix del turmell.

L'altura del selló es va determinar com la distància entre la part més superior del selló i la part més superior de la plataforma del pedal mesurada al llarg del tub del selló; aquesta mesura es va ajustar al 100 % de l'altura trocantèria predeterminedada per a cada ciclista i es va mantenir constant en les dues proves. La longitud de la biela es va mantenir fixa amb un valor de 170 mm.

Taula I

Valors dels diferents paràmetres ventilatoris a l'umbral anaeròbic.

| | Sense clips | Amb clips |
|--|-------------------|-------------------|
| W (vats) | 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 |

Es va sotmetre els subjectes a dues proves d'esforç sobre cicloergòmetre Monark 818 equipat amb manillar de carretera. La primera prova es va fer sense clips mentre que en la segona es van fer servir clips amb sistema de fixació SPD (Shimano PD-M323). Les dues proves van estar separades per un interval comprès entre quatre i sis dies. En els dos casos es va fer ús d'un protocol incremental amb augments de 25 W cada minut fins a l'extenuació, mantenint una freqüència de pedaleig de 60 rpm. Durant tota la prova els subjectes van conservar la posició de "barra caiguda". En l'exercici les respostes ventilatòries i l'intercanvi de gasos es van mesurar respiració a respiració mitjançant un sistema informàtic integrat (Medical Graphics). Els subjectes van respirar a través d'un pneumotacògraf d'un sol ús de baixa resistència (<1.20 cm H₂O/l·seg. Hans Rudolph 7900) amb un espai mort inferior a 40 ml. El pneumotacògraf es va mantenir a una temperatura constant de 37°C. El calibratge es va fer per la introducció dels valors de volums coneguts d'aire ambiental. L'anàlisi de gasos es va efectuar mitjançant un analitzador de CO₂ amb doble feix d'infrarojos i amb un analitzador d'O₂ de cèl·lula de zirconi. Mescles de gasos de concentració coneguda es van fer servir per al calibratge dels analitzadors de gasos. La freqüència cardíaca i el registre electrocardiogràfic es van supervisar contínuament durant tota la prova mitjançant una derivació CM 5 bipolar.

Es van valorar las següents variables a través de tot el període de l'exercici: a) consum d'oxigen, VO₂ (ml·min⁻¹ i ml·kg⁻¹·min⁻¹, STPD), b) producció de diòxid de carboni, VCO₂ (ml·min⁻¹, STPD), c) ventilació, VE (L·min⁻¹, BTPS), d) quocient respiratori, RER, e) freqüència cardíaca FC (bat/min) i f) treball, W (vats).

Es va determinar el llindar ventilatori de forma informàtica utilitzant la metodologia descrita per Beaver i cols. (1986).¹⁷

Taula II

Valors dels diferents paràmetres ventilatoris en el pic de consum d'oxigen

| | Sense clips | Amb clips |
|--|--------------------|--------------------|
| W (vats) | 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 |

L'anàlisi estadístic es va fer mitjançant la diferència entre les mitjanes per a observacions aparellades utilitzant el programa informàtic Microsta.

RESULTATS

Els resultats inclouen exclusivament els valors obtinguts en el llindar anaeròbic i en el pic de consum d'oxigen. Les mitjanes i desviacions estàndard de les variables valorades es mostren a les taules I i II.

No es van observar diferències significatives ($P < 0.01$) en cap dels paràmetres estudiats, tant en el llindar anaeròbic com en el pic de consum d'oxigen. En el llindar anaeròbic tots els valors dels paràmetres, exceptuant-ne el RER, van ser superiors en la prova sense clips; mentre que el pic de consum d'oxigen va mostrar valors superiors en la primera prova exceptuant-ne RER, W, VE i FC.

Les mitjanes de les mesures de l'altura del turmell no van variar significativament entre les dues proves (10.26 ± 1.3 vs. 10.50 ± 0.7).

DISCUSSIÓ

Diferents autors mostren la importància del llindar anaeròbic i el consum màxim d'oxigen dins de les característiques fisiològiques necessàries per a un correcte rendiment en el ciclisme; així, Hagberg i cols. (1978)¹⁸ van estudiar en tres ciclistes de classe nacional els valors de consum màxim d'oxigen; aquests valors van ser 71.6, 69.7, 69.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹, els quals son similars als valors d'altres ciclistes europeus. Coyle i cols. (1988)¹³ van estudiar els factors dels quals depèn la "performance" en catorze ciclistes de competició i van observar que estava altament relacionada amb el consum màxim d'oxigen en el llindar anaeròbic làctic. Faria

i cols. (1989)¹⁹ van examinar les característiques fisiològiques de quinze ciclistes d'elit, durant una prova incremental en cicloergòmetre. Van obtenir un consum màxim d'oxigen mitjà de $5.15 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($75.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), notablement alt quan es compara amb la nostra població; la mitjana del llinard ventilatori va ser de $62.3 \pm 4.3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, la qual cosa va succeir al 83% del consum màxim d'oxigen, també considerablement superior a la nostra sèrie, i suggereix la important contribució del llinard anaeròbic en la "performance" del ciclista d'elit. Coyle i cols. (1991)²⁰ en un test dissenyat per a simular una prova contrarellotge de 40 km, van concloure que la potència de treball mantinguda durant una hora de test es va correlacionar positivament amb el consum màxim d'oxigen (l/min) en el llinard anaeròbic làctic ($r^2=0.86$).

El nostre estudi mostra l'inexistència de canvis en els paràmetres ventilatoris tant a nivell del llinard anaeròbic com en el pic de consum màxim d'oxigen mitjançant la utilització o no de clips, cosa que coincideix parcialment amb estudis previs. Així, Bateman i cols. (1981)¹¹ van estudiar en dinou barons no entrenats els efectes de la posició del manillar en "barra caiguda" i l'ús de clips sobre el consum d'oxigen. Per a aquesta finalitat van realitzar proves maximals sobre cicloergòmetre en quatre condicions diferents: estàndard, amb clips, posició del manillar en "barra caiguda", ús de clips i posició del manillar en "barra caiguda"; a més a més, van fer una prova sobre tapís. No es van trobar diferències significatives ($P<0.05$) en els valors màxims de ventilació, quocient respiratori i temps d'extenuació; mentre que la freqüència cardíaca màxima va ser significativament superior ($P<0.05$) en les proves amb clips i amb clips i posició del manillar en "barra caiguda". Entre les proves realitzades en cicloergòmetre el consum d'oxigen màxim no va mostrar valors significativament diferents per a $P<0.05$.

Moffat i Sparling (1985)¹² no van trobar diferències estadísticament significatives en la mesura de consum màxim d'oxigen en vuit individus barons que van fer servir clips respecte als que no en van fer servir ($62.4 \pm 5.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ vs. $60.4 \pm 5.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). De la mateixa manera, Coyle i cols. (1988)¹³ tampoc observen diferències en la resposta metabòlica de catorze esportistes al realitzar una prova incremental, amb i sense clips.

Per altra banda, Lavoie i cols. (1978)¹⁰ van investigar l'ús de clips i cingles durant cicloergometria i van trobar diferències significatives ($P<0.05$) entre les mitjanes de consum màxim d'oxigen utilitzant o no clips (59 vs. $53 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Els autors assenyalen que l'augment en el consum màxim d'oxigen a causa de la utilització de clips i cingles es produï-

ria per un augment en la utilització de la musculatura de les cames. Lafortune i Cavanagh (1983)¹⁴ van estudiar l'efectivitat i eficiència durant el pedaleig en dues poblacions amb dues interfícies diferents entre la sabata i el pedal; una consistia en pedal de cautxú amb sabatilles de sola de pell i l'altra en un pedal metàl·lic convencional amb cingles i clips. Van observar que no existien diferències entre l'orientació del pedal en els dos grups de subjectes, tot i que la força normal va ser més gran en el primer dels casos, mentre que la tangencial va ser-ho en el segon. Es va observar que el subjecte encara empeny avall el pedal durant la fase de recuperació, la qual cosa indica que, sota les condicions estudiades, part de l'impuls propulsiu és utilitzat per aixecar la cama de recuperació. El consum d'oxigen, obtingut en bicicleta aproximadament a 155 wats i 60 rpm., va ser significativament menor quan es van fer servir cingles i clips que quan no se'n van fer servir ($2.03 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ vs. $2.08 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$), encara que no existissin diferències significatives en índex d'efectivitat, cosa que podria explicar-se pel fet que en el pedaleig sense clips cal una quantitat extra d'energia muscular perquè el peu no rellisqui del pedal.

Els clips utilitzats en el nostre estudi difereixen de les cingles i clips tradicionals; no obstant això, Okajima (1990)²¹ va estudiar les variacions biomecàniques i fisiològiques produïdes per l'ús de tres tipus de pedal: SPD (Shimano Pedaling Dynamics), clips amb cingles i pedal sense cingles ni clips. No es van observar diferències significatives en el consum màxim d'oxigen i freqüència cardíaca entre els diferents tipus de pedal mentre els corredors s'exercitaven entre el 60 i el 80 % del seu consum màxim d'oxigen.

Cal ressenyar importants diferències metodològiques en els estudis esmentats. Així, les proves van ser maximals i realitzades en cicloergòmetre, exceptuant-ne Lafortune i Cavanagh (1983)¹⁴, que fan servir una potència constant de 155 wats i realitzen la prova sobre bicicleta convencional. La població és de ciclistes de competició, tret de l'estudi de Bateman i cols. (1981)¹¹, Lafortune i Cavanagh (1983)¹⁴, Lavoie i cols (1978)¹⁰; aquests darrers van fer servir dos grups de deu barons, deu dels quals van ser ciclistes de competició i deu estudiants d'educació física. La inexistència de canvis ventilatoris en la població de ciclistes de competició podria explicar-se per una adequació tècnica més gran del pedaleig que els permetria una superior duració de la fase propulsiva, fins i tot sense clips, i evitant que el moviment de la biela comprès entre 180 i 360 graus fos realitzat en la seva totalitat per la cama propulsiva.

S'observen, també, diferències en les cadències de pedaleig utilitzades, 60 rpm. (Lavoie i cols. (1978)¹⁰, Lafortune i

Cavanagh (1983)¹⁴) i 75 rpm. (Moffat i Sparling (1985)¹², Coyle i cols. (1988)¹⁵). Per altra banda, tots els estudis esmentats, a diferència del nostre, mostren valors ergoespiromètrics maximals o submaximals, sense valorar-se els resultats obtinguts en el lllindar anaeròbic.

CONCLUSIONS

Com que ja hem assenyalat la importància de la determinació del lllindar anaeròbic, particularment en els ciclistes i

en els esportistes en general, s'hauran de fer nous estudis per valorar la influència de la resta de variables cinemàtiques (freqüència de pedaleig, angles articulars, longitud de biella...) i els efectes de la postura sobre cicloergòmetre (altura del selló, posició de les mans...), tant a nivell del pic de consum màxim d'oxigen com del lllindar anaeròbic.

AGRAÏMENTS

Els autors volen agrair al Club de Mountain Bike Verd, les facilitats mostrades per a la realització d'aquest treball

Bibliografia

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.L.L.: "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.

