

Descripció de la adaptació metabòlica i cardiorrespiratòria del triatleta de distància olímpica en els sectors de natació i ciclisme

GONZÁLEZ-HARO C^{1,2};
GONZÁLEZ-DE-SUSO JM^{1,3}; VALLE J¹;
DÍAZ-BEITIA G¹; PADULLÉS JM²;
DROBNIC F¹.

1. Departament de Fisiologia,
Centre d'Alt Rendiment (CAR)
de Sant Cugat del Vallès

2. Institut Nacional d'Educació Física
de Catalunya (INEFC-Barcelona, UB)

3. Departamento Físico-Médico Real
Sociedad de Fútbol (SAD)

CORRESPONDÈNCIA:

Telèfon de contacte: 670.351.657

e-mail: ardcarlos@hotmail.com

Aquest treball va ser guardonat en el 2on Congrés de la Societat Catalana de Medicina de l'Esport (2002) per la millor comunicació lliure de la sessió de Fisiologia de l'Esport.

RESUM: Amb aquest estudi s'ha volgut caracteritzar l'adaptació cardiorespiratòria i metabòlica de triatletes de bon nivell durant una simulació dels sectors de natació i ciclisme i la primera transició d'un triatló de distància olímpica a ritme de competició. Sis triatletes de categoria nacional i internacional es van sotmetre a un protocol consistent en realitzar 1.500 m de natació seguits d'una transició i una hora en cicloergòmetre a ritme de competició, amb lactatèmia seriada, enregistrament de l'intercanvi de gasos i de la freqüència cardíaca. La velocitat mitja observada en el sector de natació va ser de $1,29 \pm 0,07$ m·s⁻¹ corresponent al $98 \pm 2\%$ de la velocitat aeròbica màxima (VAM). En el sector ciclista, la potència mitja desenvolupada va ser de 264 ± 28 W, equivalent al $77 \pm 6\%$ de la potència màxima (PAM). La VAM va correlacionar amb el rendiment en el sector de la natació ($r = 0,944$; $p < 0,05$). Malgrat ingerir $1,08 \pm 0,44$ l de solució glucosada al 8%, es va observar una reducció significativa del pes corporal (2,8%; $p < 0,01$) i canvis en la potència, velocitat i freqüència de pedalada, desenvolupades durant el sector ciclista que van augmentar al final de l'esforç. No va haver-hi diferències en la concentració de lactat entre el final del sector de natació i el de la primera transició, ni tan sols per a les diferents variables cardiorespiratòries i metabòliques (VO_2 , V_E y $[La]$) enregistrades al llarg de la prova en cicloergòmetre. Tot i que el triatló s'entén com un esforç continuat, s'hauria de considerar el rendiment de cada sector per separat. En aquest estudi, s'observa que els sectors de natació i ciclisme es desenvolupen a intensitats relatives diferents. La davallada del pes corporal observada no altera l'economia de pedalada dels triatletes de nivell nacional i internacional durant el sector ciclista, en el qual la intensitat de l'esforç s'ajusta a aquella situada en el llindar lactat individual. Tanmateix, canvis en la tàctica competitiva i altres efectes, com la situació de rebuf en la natació i ciclisme, podrien modificar les intensitats pròpies a cada sector observades en aquest estudi. Queda per esbrinar la repercusió del ritme de competició observat sobre el rendiment en la cursa a peu.

PARAULES CLAU: Triatló de distància olímpica, ritme de competició, primera transició, economia de moviment, metabolisme energètic.

SUMMARY: The purpose of this study is typifying cardiorespiratory and metabolic adaptation capacity at race pace of high-level triathletes during simulations of Olympic distance triathlon swimming sector, cycling sector and first transition. Six national and international-level triathletes underwent a protocol consisting of a 1500 m swimming trial followed by a transition and one hour on ergocycle at race pace, with seriated determination of blood lactate concentration, gas exchange and cardio-frequency recording. The average speed remarked in the swimming sector was 1.29 ± 0.07 m·s⁻¹, matching $98 \pm 2\%$ of maximal aerobic speed (MAS). In the cycling sector, the average power was 264 ± 28 W, matching $77 \pm 6\%$ of maximal aerobic power (MAP). MAS was correlated with performance in swimming sector ($r = 0.944$; $p < 0.05$). Despite ingesting 1.08 ± 0.44 l of a solution with 8% of glucose, a significant loss of body weight (2.8%; $p < 0.01$) was remarked. Changes in pedaling power, speed and frequency, especially towards the end of the effort, were also remarked. Differences in lactate concentration and in cardiorespiratory or metabolic variables between the end of the swimming sector and the end of the first transition did not appear. Although triathlon is understood as a continuous effort, performance in each sector should be considered separately. This study remarks different relative intensities in cycling and swimming sectors. The remarked loss of body weight does not modify pedaling economy in national and international-level athletes during the cycling sector, where effort intensity adapts itself to the one found in individual lactate threshold. However, changes in competition tactics and other effects, such as drafting in swimming and cycling, could alter the intensities established in this study for each sector. We must still elucidate the effects of the remarked race pace on running performance.

KEY WORDS: Olympic distance triathlon, race pace, first transition, movement economy, energetic metabolism.

INTRODUCCIO

El triatló de distància olímpica és una especialitat esportiva de nova creació que va debutar oficialment en els JJOO de Sidney 2000. Aquest esport no s'ha d'entendre com la realització de tres activitats que es desenvolupen de forma aïllada sinó com tres activitats vinculades mitjançant dues transicions, que constitueixen un esforç continu i de llarga durada.

Diversos estudis han posat de manifest una davallada del rendiment al final de la prova^(1,2,3) i altres treballs han suggerit l'existència d'una possible pèrdua en l'economia de moviment al llarg del triatló de distància olímpica.⁽²⁾ Sembla ser que es produeix un efecte residual dels sectors de natació i de ciclisme sobre el de cursa a peu que associat a l'increment de la temperatura central i a una pèrdua en la homeostasi del balanç hidroelectrolític, incrementen la demanda energètica.^(2,4,5) Aquestes modificacions fisiològiques s'accentuen a l'inici del sector de cursa a peu pels efectes específics del sector ciclista. Concretament, Hue i cols.⁽⁵⁾ van observar que l'encadenament d'un esforç en cicloergòmetre i de cursa a peu provoca un increment significatiu en la resposta ventilatòria, així com de la capacitat de difusió pulmonar per al CO₂, desencadenant una fatiga de la musculatura respiratòria i/o un edema intersticial de pulmó. Hue i cols.⁽⁴⁾ també han observat, en la transició de la cursa a peu (T2), un seguit de canvis en les variables metabòliques i cardiorespiratòries, respecte a una prova control, que generen una despesa energètica superior amb una menor eficiència ventilatòria. Aquesta davallada de l'eficiència ventilatòria pot ser deguda als canvis respiratoris enregistrats durant un exercici de resistència de llarga durada, particularment amb la hipòxia induïda per l'exercici, tal i com suggereixen Cailaud i cols.⁽⁶⁾ Tanmateix, tot això pot estar relacionat amb el nivell de rendiment, donat que els millors triatletes tenen un menor cost energètic i mecànic en el sector de cursa a peu.⁽⁷⁾ Aquestes alteracions concorren amb molèsties musculars, molt probablement relacionades amb la diferent freqüència de moviment observada en bicicleta (1,5-1 Hz) respecte a la cursa (1,0-1,5 Hz) i que l'activació muscular, predominantment concèntrica durant la pedalada, passa a ser excèntrica en la cursa.⁽⁵⁾

La majoria dels estudis sobre el triatló analitzen la T2 i fa poc temps que es troben treballs que, allunyats de la realitat esportiva,⁽⁸⁾ investiguen les repercussions fisiològiques de la primera transició (T1) malgrat la reconeguda rellevància tàctica.^(1,3) L'objectiu d'aquest estudi va ser caracteritzar, en un grup de triatletes de nivell nacional i internacional, l'a-

daptació cardiorespiratòria i metabòlica durant una simulació dels sectors de natació i ciclisme, així com de la primera transició, d'un triatló de distància olímpica a ritme de competició.

MATERIAL I MÈTODES

Subjectes

En l'estudi, aprovat pel comitè d'ètica del CAR de Sant Cugat, van participar 6 triatletes voluntaris. Els triatletes eren de nivell internacional (n= 4) i nacional (n = 2). Tenien una experiència d'entrenament i competitiva en distància olímpica de 6,3 ± 3,8 anys i una edat mitja de 25,3 ± 4,2 anys. En el moment de l'estudi, les distàncies setmanals mitjanes d'entrenament eren de 23 km en bicicleta i 60 km de cursa a peu. Els seus resultats en el darrer campionat nacional del 2001 van ser de 1:57:24 h ± 0:01:54 h amb una diferència de rendiment respecte al campió nacional (5è en els JJOO de Sidney) de 7,5% ± 2,6%.

Determinació de la condició física

Totes les proves es van realitzar en el Centre d'Alt Rendiment Esportiu de Sant Cugat del Vallès (Barcelona).

Variables cineantropomètriques

El càlcul del percentatge gras i de la massa muscular es va realitzar conforme a la tècnica dels quatre compartiments descrita per Drinkwater i Ross.⁽⁹⁾ Els mesuraments antropomètrics es van realitzar segons la metodologia de Ross i Marfell-Jones,⁽¹⁰⁾ utilitzant un compàs de plecs (John Bull, Anglaterra), una cinta antropomètrica metàl·lica flexible i no extensible, un antropòmetre (Holtain LTD, Anglaterra) i un paquímetre (Holtain LTD, Anglaterra).

Determinació de la Velocitat Aeròbica Màxima (VAM) en natació

Es va valorar la VAM en natació en una piscina coberta de 25 m utilitzant un protocol modificat de Lavoie i Leone.⁽¹¹⁾ Després d'un escalfament de 500 m, a un ritme entre el 80% i el 90% de la VAM i un descans passiu de 5-10 minuts, s'inicia a 3,8 km·h⁻¹ una prova contínua esglaonada amb increments de velocitat de 0,1 km·h⁻¹ cada 2 minuts fins l'esgotament. Es va utilitzar un sistema acústic compost per dos altaveus connectats a un PC, on hi havia programat un test en un full de càlcul Excel.95, per imposar la velocitat i guiar als triatletes. L'entrenador caminava per la vora de la

piscina, marcat cada 5 metres, coincidint amb les senyals acústiques. Durant tot el test es va enregistrar la freqüència cardíaca (XtrainerPlus®, Polar, Finlàndia), la freqüència de cycle ($c \cdot \text{min}^{-1}$), els temps de pas de cada 50 m, es va calcular la longitud de cycle en metres per cycle ($m \cdot c^{-1}$) i la concentració de lactat sanguini als 5 minuts de finalitzar l'esforç, mitjançant un sistema amperomètric portàtil (Lactate Pro®, Arkray, Japó)⁽¹²⁾ a partir de mostres sanguínies de 5 μl obtingudes en el lòbul de l'orella.

Determinació de la Potència Aeròbica Màxima (PAM) en cicloergòmetre

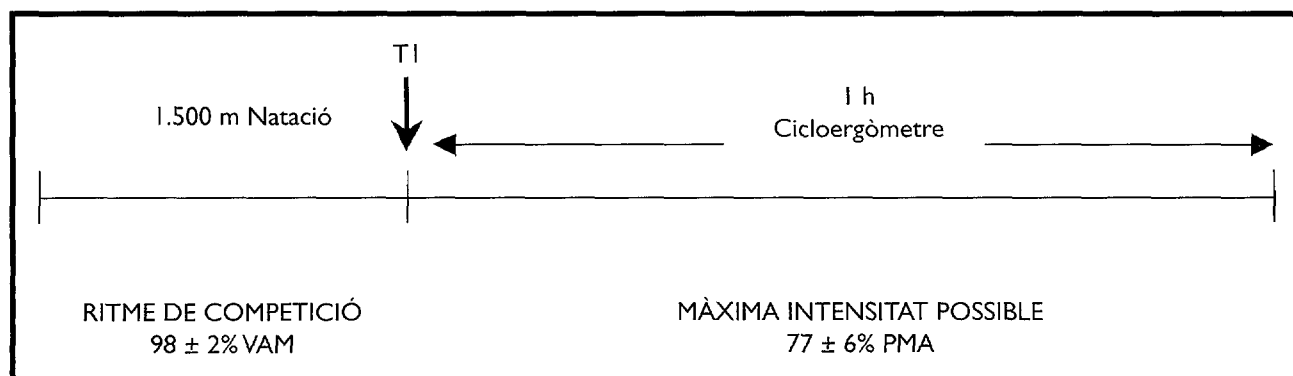
Es va realitzar sobre un cicloergòmetre de fre electromagnètic (Cardgirus®, Espanya), mitjançant un protocol modificat de Padilla i cols.⁽¹³⁾ Després de 10 minuts d'escalfament a 100 W, es van realitzar esglaons rectangulars de 4 minuts de durada, sense pausa entre ells, amb increments de 30 W fins l'esgotament. La freqüència ventilatòria (BF), el volum corrent (VT), la fracció espirada de O_2 (FEO_2), la fracció espirada de CO_2 (FECO_2), la ventilació (V_E), el quocient respiratori (RQ) i el consum d'oxigen (VO_2) es van mesurar en temps real, durant tot el test, gràcies a un sistema d'intercanvi de gasos pulmonars Quark PFT® (Cosmed, Itàlia). Durant els darrers 15 segons de cada esglaó rectangular i als 3 i 5 minuts de finalitzar la prova, es va mesurar la lactatèmia ($[\text{La}]$). La potència aeròbica màxima es va calcular com el valor mig desenvolupat en els darrers 4 minuts d'esforç. La determinació del consum màxim d'oxigen ($\text{VO}_{2\text{màx}}$) es va realitzar com el valor mig del darrer minut d'esforç excepte quan es va identificar una meseta tot i l'increment progressiu de la càrrega. El llindar ventilatori es va establir mitjançant el mètode de la "V-Slope".⁽¹⁴⁾ L'evolució

de la concentració de lactat respecte a la potència desenvolupada es va ajustar a una equació polinòmica de segon ordre que va permetre la determinació del llindar lactat individual (ULI) tal com ho suggereixen Roecker i cols.⁽¹⁵⁾

Prova experimental

El protocol experimental va consistir en nedar 1.500 m en una piscina coberta de 25 metres, seguit d'una ràpida transició de 100 m corrent, per acabar amb un esforç d'1 hora en el cicloergòmetre de fre electromagnètic (Cardgirus®, Espanya). Als subjectes se'ls va ensinistrar per desenvolupar una intensitat igual a la de competició durant tota la simulació (Fig. 1). Tots els subjectes van realitzar la prova experimental entre 7 i 10 dies després de determinar la VAM i la PAM. En el sector de la natació, es va mesurar el temps parcial i la freqüència de cycle cada 50 metres, així com la lactatèmia només acabar l'esforç i després de la transició –en aquest moment el subjecte ja es troba en el cicloergòmetre. Durant la simulació del sector ciclista es va mesurar la potència mecànica (W), la freqüència de pedalada (rpm) i la freqüència cardíaca (FC). A més a més, es va monitoritzar el $\text{VO}_{2\text{màx}}$, la V_E i la $[\text{La}]$. Les variables cardiorespiratòries es van calcular a partir de la mitjana dels 2 últims minuts a temps 10, 15, 30, 45 i 60 minuts de prova; el lactat sanguini també es va recollir al finalitzar cadascun d'aquests intervals de temps. A més a més, al llarg del test en cicloergòmetre, cada subjecte va ingerir una mitjana de 1080 ± 442 ml d'aigua ensucrada al 8% (Just-aid2®, Espanya). Les condicions ambientals de la prova van ser de $23,2 \pm 0,8$ °C de temperatura ambient i de $48,5 \pm 9,4\%$ d'humitat relativa. Les variables respiratòries, la freqüència cardíaca y la lactatèmia es van mesurar amb la metodologia descrita anteriorment.

Figura 1 Prova experimental



Anàlisi estadística

Els resultats es van expressar com la mitja \pm DS. Les diferències entre les variables cardiorespiratòries, metabòliques i mecàniques es van estudiar mitjançant un ANOVA de mesures repetides quan hi havia més de dos mesuraments, o mitjançant una prova T per a mostres relacionades quan només van ser dos mesuraments. El nivell de significació es va establir en $p < 0,05$ per a totes les proves estadístiques realitzades. Com a eina per a l'anàlisi estadística de les dades es va utilitzar el paquet informàtic SPSS.10 i el full de càlcul Excel.00.

RESULTATS

Els resultats dels paràmetres de la condició física dels triatletes es poden observar en les taules 1-4.

Simulació en competició

Esforç en natació. La intensitat mitja de l'esforç en el sector de natació expressada com % VAM, va ser del $98 \pm 2\%$, la freqüència de cycle de $37,2 \pm 3,2$ c·min⁻¹, la longitud de cycle de $2,09 \pm 0,18$ m·c⁻¹ i la velocitat de nedada (Vmitja) de $1,29 \pm 0,07$ m·s⁻¹. Per altra part, es va assolir una [La] al final d'aquest sector de $6,8 \pm 2,1$ mM, igual que la del final de la T1 ($6,6 \pm 1,8$ mM) (Taula 5). Una regressió lineal entre els valors de VAM i el rendiment en aquest sector va mostrar una correlació significativa ($r = 0,944$; $p < 0,05$).

Taula I Característiques morfològiques (mitjana \pm DS).

Pes (kg)	69,9 \pm 4,6
Talla (cm)	175,2 \pm 4,5
Sumatori 6 plecs (mm)	38,9 \pm 5,7
Greix (%)	7,6 \pm 0,6
Muscular (%)	49,8 \pm 1,4

Plecs: Triceps, subescapular; abdominal, supraespal, cuixa anterior i mig de la cama

Taula II Resultats del test de VAM en natació (mitjana \pm DS).

VAM (m·s ⁻¹)	1,33 \pm 0,08
FC (puls·min ⁻¹)	153 \pm 10
F _{Cicle} (c·min ⁻¹)	35,9 \pm 6,2
L _{Cicle} (m·c ⁻¹)	3,16 \pm 2,76
[La] _{màx} (mM)	6,4 \pm 1,4

VAM: Velocitat aeròbica màxima; FC: Freqüència cardíaca; FB: Freqüència de braçada; LB: Longitud de braçada; [La]_{màx}: Lactatèmia màxima.

Taula III Resultats de la determinació de la PAM en cicloergòmetre (mitjana \pm DS).

VO _{2màx}	(ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	64,7 \pm 5,7
	(l·min ⁻¹)	4,6 \pm 0,3
PAM	(W)	345 \pm 14
	(W·kg ⁻¹)	4,9 \pm 0,3
[La] _{màx}	(mM)	8,8 \pm 1,5
FC _{màx}	(puls·min ⁻¹)	176 \pm 14

VO_{2màx}: Consum màxim d'oxigen; PAM: Potència aeròbica màxima.

Taula IV Resultats de l'adaptació submàxima en cicloergòmetre (mitjana \pm DS).

	ULI	U2mM	U4mM	V-Slope
PAM (%)	76 \pm 4	74 \pm 4	83 \pm 5	81 \pm 4
Potència (W)	273 \pm 38	266 \pm 39	298 \pm 40	290 \pm 27
FC (puls·min ⁻¹)	150 \pm 14	148 \pm 13	157 \pm 11	155 \pm 10
[La] (mM)	2,4 \pm 0,1	2,0 \pm 0,0	4,0 \pm 0,0	3,3 \pm 1,1

PAM (%): Percentatge de la potència aeròbica màxima; ULI: llinar lactat individual; U2mM: llinar 2mM de lactat; U4mM: llinar 4mM de lactat; V-Slope: llinar ventilatori

Taula V Resultats de la simulació de la prova de 1500m natació (mitjana \pm DS).

	V (m·s ⁻¹)	VAM (%)	F _{Cicle} (c·min ⁻¹)	L _{Cicle} (m·c ⁻¹)	[La] _n (mM)	[La] _{t1} (mM)
X	1,29	98	37,2	2,09	6,8	6,6
DS	0,07	2	3,2	0,18	2,1	1,8
RANG	1,23-1,40	95-101	33,3-41,8	1,82-2,30	3,9-8,9	4,1-8,4

V: Velocitat; VAM: Velocitat aeròbica màxima; FB: Freqüència de braçada; LB: Longitud de braçada; [La]_n: Lactatèmia final sector de natació; [La]_{t1}: Lactatèmia a l'inici sector ciclisme.

Simulació de competició. Esforç en cicloergòmetre

La potència mitja desenvolupada en aquest sector va ser de 264 ± 28 W equivalent al $77 \pm 6\%$ de la PAM. La freqüència mitja de pedalada va ser de 99 ± 3 rpm i l'ergòmetre va calcular una velocitat mitja de $38,0 \pm 1,6$ km·h⁻¹. Els valors mitjos de les variables fisiològiques enregistrades durant aquest sector van ser: 162 ± 13 puls·min⁻¹, 3788 ± 327 ml·min⁻¹ de VO₂ i $112,8 \pm 20,8$ l·min⁻¹ de VE (tots els resultats són a les taules 6 i 7). La potència desenvolupada minva significativament fins el minut 44 per augmentar al final

(Taula 6). Per altra part, no s'han trobat diferències significatives en el VO₂ ni en la VE tot i l'increment progressiu d'ambdós paràmetres durant la prova (Taula 6). Malgrat el comportament similar al de la potència desenvolupada, no s'han trobat diferències significatives en la [La] entre el final del sector de natació, el final de la T1 i al llarg del sector ciclista. Tanmateix, en aquest darrer sector, la cinètica del lactat tendeix a disminuir fins el minut 45 per augmentar al final (Taula 7). Per últim, s'ha observat una pèrdua de pes significativa d'un 2,8% durant el protocol experimental ($71,7 \pm 3,7$ kg vs. $69,7 \pm 3,4$ kg; $p < 0,001$).

Taula VI Resultats de la prova en cicloergòmetre (mitjana \pm DS).

	8-10 min	12-14 min	27-28 min	42-44 min	57-59 min	Promedio
Potència (W)	265 \pm 37	261 \pm 32**	263 \pm 29**	262 \pm 30**	281 \pm 39**	264 \pm 28
VO₂ (ml·min⁻¹)	3683 \pm 240	3671 \pm 180	3841 \pm 354	3847 \pm 562	3994 \pm 422	3788 \pm 327
V_E (l·min⁻¹)	102,5 \pm 13,2	106,1 \pm 14,4	111,0 \pm 20,0	114,9 \pm 27,5	131,6 \pm 24,0	112,8 \pm 20,8
F_{pedaleig} (rpm)	100 \pm 4	99 \pm 3*	97 \pm 4*	98 \pm 4*	99 \pm 3*	99 \pm 3
FC (puls·min⁻¹)	161 \pm 14	161 \pm 14	163 \pm 13	164 \pm 13	167 \pm 13	162 \pm 13

$p < 0,05$; $p < 0,01$ ** (Diferències respecte a 8-10 min).

VO₂: Consum d'oxigen; V_E: Ventilació; FB: Freqüència de braçada; FC: Freqüència cardíaca.

Taula VII Resultats de la prova en cicloergòmetre (mitjana \pm DS).

	15 min	30 min	45 min	60 min	Basal
[La] (mM)	5,2 \pm 1,5	4,3 \pm 1,3	4,1 \pm 1,6	4,8 \pm 2,7	6,6 \pm 1,8

[La]: Lactatèmia.

DISCUSSIO

Els resultats d'aquest estudi van demostrar que l'encadenament en triatló dels sectors de natació i ciclisme, lluny de resultar un esforç homogeni d'aproximadament 80 minuts de durada, suposa una intensitat d'esforç relativa pròpia a cada sector. El percentatge de la potència aeròbica màxima desenvolupada en natació, així com la lactatèmia al final de l'esforç són molt superiors als observats en el sector ciclista.

En aquest estudi, els subjectes van realitzar el sector de natació a una velocitat de $1,29 \pm 0,07$ m·s⁻¹ mostrant una [La] de $6,8 \pm 1,8$ mM al final del sector. Aquesta intensitat d'esforç implica un major rendiment respecte a altres estudis amb triatletes en els quals es va observar velocitats de neda-

da inferiors ($1,1$; $1,17$ i $1,16$ m·s⁻¹).^(8,16,17) Per altra part, la freqüència i la longitud de cicle en el sector de natació van ser de $37,2 \pm 3,2$ c·min⁻¹ i $2,1 \pm 0,2$ m·c⁻¹, respectivament. Aquestes últimes dades, per manca de referències, no podem comparar-les amb triatletes, però, comparades amb les de nedadors d'alt nivell són sensiblement inferiors a les trobades en tres finalistes dels 1.500 m en les olimpíades de Sidney 2000 ($41,8 \pm 3,3$ c·min⁻¹ i $2,4 \pm 0,2$ m·c⁻¹). Aquestes diferències es deuen probablement a que els nedadors estan millor adaptats al mitjà aquàtic (major longitud i freqüència de braçada).⁽¹⁸⁾ A més a més, per a una mateixa potència metabòlica, els nedadors són capaços d'aplicar una major potència mecànica per a desplaçar-se que els triatletes^(19,20),

fet pel qual la seva eficiència propulsiva és millor el que resulta determinant per al rendiment en natació.⁽²¹⁾ Aquest desavantatge, que obliga a una considerable despesa energètica des de l'inici del triatló, podria minimitzar-se en competició. S'ha observat que la utilització del procediment tàctic d'aprofitar el rebufl d'un altre atleta (*drafting*) mostra millores en el rendiment del 3,2 % en una distància de 400 metres, amb una reducció de la freqüència de cicle del 3,4% i un increment de la longitud de cicle del 6,2%.^(22,23) Una altra estratègia tàctica és la utilització del vestit de neoprè que, en una velocitat de 1,25 m·seg⁻¹, redueix la resistència del medi en un 16%.^(24,25)

Per altra part, malgrat treballar amb un reduït nombre de subjectes, es va observar una correlació significativa entre al V_{mitja} del sector de natació i la prova de VAM prèvia ($r = 0,944$; $p < 0,05$). Això suggereix la utilització de la VAM com a eina de treball per programar les intensitats d'entrenament, tal i com ho han proposat altres autors en atletes de resistència de mitja i llarga durada.^(26,15) A més a més, alguns autors han observat que la VAM té molta més relació amb el rendiment en aquestes especialitats que amb el $VO_{2màx}$.^(27,28) L'explicació d'aquesta relació s'atribueix a que la VAM és una variable en la qual interaccionen dos factors: l'economia del moviment i el $VO_{2màx}$. Ambdós factors, són determinants per al rendiment en activitats de mitja i llarga durada.⁽²⁹⁾ A la llum d'aquestes dades, en nedadors i triatletes, la determinació de la VAM mitjançant una prova contínua, esglaonada i màxima podria ser un eina de valoració funcional més adient que altres proposades com la prova de 400 m en estil lliure.⁽³⁰⁾ A més a més, una prova triangular és més vàlida per a la determinació del $VO_{2màx}$ que una prova de 400m.⁽²⁶⁾ Amb aquesta darrera, la correlació més elevada entre el rendiment en 400 m i el $VO_{2màx}$ en nedadors d'elit és de $r=0,80$ ^(31,32), mentre que hi ha autors que no han trobat correlacions significatives entre la VAM en natació, el rendiment competitiu i la seva aplicació a l'entrenament en triatletes i nedadors.

En la transició vers l'esforç en cicloergòmetre s'ha de destacar el fet que no existeixin diferències significatives entre la lactatèmia al finalitzar l'esforç en natació i la prèvia a l'esforç ciclista. Això pot ser degut a què la mostra de sang es va obtenir al pujar l'atleta al cicloergòmetre, sense donar temps a observar la lògica evolució que proporcionaria altres valors entre el 3er i el 5è minut.⁽³⁴⁾ Una altra explicació, tot i que menys probable, seria que la T1 no provoca un increment de la demanda de producció d'energia respecte a la natació. Això suposa un fet diferencial respecte a la T2 on Hue

i cols.⁽⁵⁾ han suggerit la intervenció de la glucolisi anaeròbica en la producció d'energia per satisfer l'increment en la demanda energètica després de finalitzar l'esforç ciclista i començar la cursa a peu, probablement atribuït al canvi en el patró motor del moviment.⁽⁵⁾

Durant la simulació del sector ciclista, els triatletes d'aquest estudi, han desenvolupat de mitjana una potència de pedalada de 264 ± 28 W (77% de la pAM), un consum d'oxigen de 3788 ± 327 ml·min⁻¹ (82,8% del $VO_{2màx}$), una freqüència de pedalada de 99 ± 3 rpm, una freqüència cardíaca de 162 ± 13 puls·min⁻¹ (92% de la màxima FC), essent la lactatèmia en finalitzar l'esforç de $4,8 \pm 2,7$ mM. Aquests valors estan molt propers als trobats en un altre estudi, amb la manipulació dels tres sectors i una durada del sector ciclista de només 30 minuts, on els triatletes van mostrar una FC mitja de 169 ± 11 puls·min⁻¹, una lactatèmia de $8,4 \pm 0,5$ mM, una freqüència de pedalada de 99 ± 3 rpm i van sol·licitar el 85,6% del $VO_{2màx}$.⁽¹⁶⁾ Delextrat i cols.⁽¹⁶⁾ en un altre estudi el qual els triatletes van realitzar durant el sector ciclista un esforç de 15 minuts de durada a la màxima intensitat possible, van detectar una lactatèmia de $7,7 \pm 2,9$ mM, una FC de 177 ± 13 puls·min⁻¹, una freqüència de pedalada de $91,1 \pm 7,7$ rpm i una potència relativa del 75% de la PAM. Resulta sorprenent constatar que, comparats amb aquests estudis en els que es van desenvolupar similars percentatges de la PAM i de $VO_{2màx}$, els triatletes de l'estudi presenten una concentració de lactat sanguini molt inferior. Desconeixem el nivell d'entrenament i la intensitat del llinar de lactat dels triatletes participants en l'estudi de Hauswirth i cols.⁽¹⁶⁾ Per altra part, Dlextrat i cols.⁽⁸⁾ van treballar amb triatletes, amb una PAM i un llinar anaeròbic similar, que entrenaven molt poc en bicicleta, només 135 minuts d'esforç setmanals per cobrir 59 km, doncs aquest estudi es feia a l'hivern. És molt probable que, si tenim en compte els 250 km setmanals d'entrenament en bicicleta realitzats pels triatletes d'aquest estudi, la menor acumulació de lactat sigui el producte d'una millor adaptació oxidativa per a l'exercici de llarga durada.

El consum màxim d'oxigen observat en la mostra d'aquesta investigació és alt, superior al d'alguns estudis realitzats en triatletes de subelite ($61,25 \pm 3,21$ ml·kg⁻¹·min⁻¹),⁽³⁵⁾ similar a l'observat en recents treballs ($67,1 \pm 1,7$; $67,2 \pm 1,6$ ml·kg⁻¹·min⁻¹),^(17,36) però notablement inferior al de triatletes d'elit que participen habitualment en proves de copa del món ($70,5 \pm 6,5$ ml·kg⁻¹·min⁻¹).⁽³⁷⁾ Altres treballs més antics,^(38,19) mostren un $VO_{2màx}$ de $63,7 - 69,9$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ en subelit o proper de $72,0$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ en elit.⁽³⁹⁾ Aquests va-

lors s'allunyen dels observats en ciclistes professionals que mostren consums màxims d'oxigen entre 70 i 80 ml·kg⁻¹·min⁻¹, fins i tot superiors en els escaladors, trobant-se el llindar lactat sobre el 90% VO_{2màx}.⁽⁴⁰⁾ En triatletes, el llindar de lactat sembla situar-se en percentatges inferiors (72-88% VO_{2màx}).⁽⁴¹⁾ Aquest aspecte, suggereix que els ciclistes són més econòmics que els triatletes tal i com ho han constatat Laursen i cols.⁽⁴²⁾ que, comparant ambdós esports, van observar el segon llindar ventilatori amb una intensitat significativament superior en els ciclistes. A més a més, si comparem el rendiment ciclista dels triatletes del present estudi amb el dels ciclistes professional, es destaca que els primers, en una contrarellotge individual en el Tour de França de l'any 2002, van obtenir un rendiment de 50,0 ± 0,1 km·h⁻¹, molt superior als 38,0 ± 1,6 km·h⁻¹ observats aquí. En aquest mateix sentit, comparant les variables metabòliques d'aquest estudi amb l'intent de record de l'hora del ciclisme⁽⁴³⁾ s'observa que els valors de freqüència de pedalada (101 rpm) i la lactatèmia als tres minuts d'haver finalitzat la prova (5,2 mM) van ser similars, tot i que la intensitat de l'esforç relativa va ser molt superior durant la prova del ciclista professional (509,5 W).

En acabar el sector de la natació, els triatletes van presentar una lactatèmia elevada, molt superior a l'observada al final de l'esforç ciclista. És probable que, durant el sector ciclista, els triatletes desenvolupin una potència que, tot i ser relativament alta, els permeti eliminar el lactat acumulat durant el sector de natació. En aquest sentit, els triatletes van desenvolupar la mateixa potència que la corresponent al seu llindar lactat individual (77% de la PAM). El llindar lactat individual, relacionat amb el màxim estat estable de lactat,⁽⁴⁴⁾ és la intensitat d'exercici on es troba el major punt d'equilibri de la producció de lactat⁽⁴⁵⁾ que, en funció de les exigències de l'especialitat esportiva, es troba entre el 60 i el 80% del VO_{2màx}.⁽⁴⁶⁾ Aquest ampli ventall d'intensitats pot veure's afavorit pel criteri fisiològic utilitzat quan s'estableix la zona de transició, perquè, tal com veiem en aquest treball, es poden observar diferències properes al 10% del rendiment. Per altra part, durant un exercici en cicloergòmetre, s'ha observat que la intensitat d'esforç en la qual es produeix la major pèrdua de lactat és aquella propera i no superior al llindar anaeròbic, al voltant del 65-70% del VO_{2màx}.⁽⁴⁷⁾ Aquestes dades justifiquen la cinètica del lactat sanguini observada en aquest estudi, on existeix una considerable davallada als 30 minuts de l'esforç en cicloergòmetre 4,3 vs 6,8 mM que no resulta significativa. L'elecció individual d'aquesta intensitat d'esforç coincideix amb l'observada per al-

tres autors que suggereixen una utilització predominant del metabolisme glucolític.⁽⁴⁶⁾ En aquesta experimentació, el quocient respiratori ha proporcionat una contribució mitja del metabolisme lipolític del 36,3 ± 14,8% i un 63,7 ± 14,6% de la glucolisi aeròbica, sense mostrar diferències significatives al llarg del sector ciclista. Tanmateix, i aprofundint en les carències energètiques d'aquests competidor enfront als especialistes en diferents disciplines, no podem oblidar que en situació real de competició, els triatletes acostumen a anar a roda d'altres competidors arribant a reduir la despesa energètica entre un 21% i un 35%.⁽⁴⁸⁾ Tot això estaria d'acord amb el suggerit per Vercruyssen i cols.⁽⁴⁹⁾ i Hausswirth i cols.⁽¹⁶⁾ que reivindiquen l'economia durant el sector ciclista per arribar en òptimes condicions a la cursa a peu, doncs aquests darrer sector resulta determinant en el triatló de distància olímpica.^(1,3)

Per altra part, s'ha suggerit que el patró de moviment està relacionat amb la despesa energètica⁽⁵⁰⁾ i que un dels factors principals determinant del rendiment és la capacitat per a minimitzar la quantitat d'energia emprada.⁽⁵¹⁾ Per això, durant la cursa a peu, els esportistes adopten de forma natural freqüència i amplituds de gambada corresponents a la mínima despesa energètica.⁽⁵²⁾ Tot i que sembli una paradoxa, en ciclisme això no és així. Des de principis del segle passat, es va observar que la freqüència de pedalada òptima en els ciclistes oscil·lava sobre 1 Hz (60 rpm),⁽⁵³⁾ el que s'ha reproduït més endavant observant que la millor eficiència energètica es correspon amb freqüències de pedalada entre 40 i 80 rpm.⁽⁵⁰⁾ Els triatletes participants en aquest estudi han adoptat, lliurement, una freqüència de pedalada molt superior a la considerada com energèticament òptima. De la mateixa manera, els estudis de Hausswirth i cols.⁽¹⁶⁾ i Deletrat i cols.⁽⁸⁾ constaten freqüències superiors a les 90 rpm i confirmen l'observat per altres autors, en cadències lleugerament inferiors,⁽⁵⁴⁾ en les quals no s'observen diferències estadísticament significatives per a exercicis de llarga durada, entre la adoptada lliurement pels triatletes i la més energètica. Altres treballs, realitzats per ciclistes, suggereixen que la freqüència de pedalada podria adaptar-se lliurement respecte a un patró de reclutament d'unitats motores corresponents al que produeix una mínima fatiga neuromuscular (90-100 rpm) i no amb l'enèrgicament òptim.⁽⁵⁵⁾

Al llarg del protocol experimental, els triatletes van perdre un 2,8% del seu pes corporal. Diferents autors han relacionat aquesta pèrdua de pes amb una relativa deshidratació que limitaria el rendiment dels triatletes de nivell mig o principiants.^(2,4) En el present estudi, no s'han observat di-

ferències significatives en l'evolució de les diferents variables metabòliques ni respiratòries tot i que, durant el sector ciclista, existeix una davallada de la potència i de la freqüència de pedalada respecte al que s'ha observat en els 10 primers minuts i al final. La ingesta d'una solució ensucrada isotònica, la quantitat d'entrenament i el perfil fisiològic dels triatletes⁽⁷⁾ podrien explicar el manteniment del rendiment. El fet que al final de l'hora de l'esforç ciclista augmenti el requeriment energètic i la potència desenvolupada pot ser degut a què en aquesta simulació no s'ha encadenat el treball de cursa a peu. Els triatletes, en conèixer l'inminent final de la prova, van realitzar aquest esforç suplementari durant els darrers minuts.

Com a conclusió, direm que tot i que el triatló s'entén com un esforç continuat, és necessari considerar el rendiment de cada sector per separat. En aquest estudi, s'observa que els sectors de natació i ciclisme es realitzen a intensitats relatives diferents. Les intensitats de competició en la simulació dels sectors de natació i de ciclisme del triatló de distància olímpica van ser del $98 \pm 2\%$ VAM i del $77 \pm 6\%$ PAM, respectivament. La relació observada entre la prova de VAM i el rendiment en el sector natació suggereix, en tria-

letes de nivell nacional i internacional, la utilització d'aquesta prova com a eina per estructurar les intensitats d'entrenament i predir el rendiment competitiu. La davallada d'un 2,8% del pes corporal no altera l'economia de la pedalada de triatletes de nivell nacional i internacional durant la realització del sector ciclista. En aquest sector, els triatletes ajusten la intensitat a aquella situada en el llinar lactat individual. Tanmateix, canvis en la tàctica competitiva i altres efectes, com el drafting en natació i ciclisme, podrien modificar les intensitats relatives d'esforç observades en aquest estudi. Queda per esbrinar la repercussió dels sectors ciclista sobre el rendiment en la cursa a peu.

AGRAÏMENTS

Aquest estudi no s'hagués realitzat sense la inestimable i desinteressada col·laboració de J.M. Juárez, F. Juárez, D. Nielles, S. Huerta, M. Zamora i Carlos Gil (C.N. Reus Ploms, C.N. Barcelona i Excelent Center Club).

Agraïm la col·laboració prestada del Dr. D. Nicolás Terrados Cepeda (Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'esport de Toledo, UCLM).

Bibliografia

1. CHAVARREN J, DORADO C, LÓPEZ JA. Triatlón: Factores condicionantes del rendimiento y del entrenamiento. *RED* 1994;10:29-37
2. GUÉZENNEC CY, VALLIER JM, BIGARD AX, DUREY A. Increase in energy cost of running at the end of a triathlon. *Eur J Appl Physiol* 1996;73:440-445
3. GONZÁLEZ-HARO C, GONZÁLEZ-DE-SUSO JM. Gestión de la competición durante el triatlón de distancia olímpica. Análisis de los resultados de las temporadas 1998 - 1999 - 2000. *Apunts d'Educació Física* 2002;69:59-64
4. HUE O, GALLAIS DL, CHOLLET D. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathlon. *Eur J Appl Physiol* 1998; 77:98-105
5. HUE O, GALLAIS D, BOUSSANA A, CHOLLET D, PRÉFAUT C. Ventilatory responses during experimental cycle-run transition in triathletes. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1422-1428
6. CAILLAUD C, SERRE-COUSINÉ O, ANSELME F, CAPDEVILLA X, PRÉFAUT C. Computerized tomography and pulmonary diffusing capacity in highly trained athletes after performing a triathlon. *J Appl Physiol* 1995;79:1226-1232
7. MILLET GP, MILLET GY, HOFMANN MD, CANDAU RB. Alterations in running economy and mechanics after maximal cycling in Triathletes: Influence of performance level. *Int J Sports Med* 2000;21:127-132
8. DELEXTRAT A, TRICOT V, BERNARD T, VERCRUYSEN F, HAUSSWIRTH C, BRISSWALTER J. Drafting during Swimming improves efficiency during subsequent cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1612-1619
9. DRINKWATER DT, ROSS. Anthropometric fractionation of body mass. En: Ostyn M, Beunen G, Simon S, editores. Kinanthropometry II. Baltimore: University Park Press, 1980; 179-189
10. ROSS WD, MARFELL-JONES MJ. Kinanthropometry. En: McDougall JD, Wenger HA, Green HJ, editors. Physiological testing of high-performance athletes. Champaign III: Human Kinetics, 1991: 223-308
11. LAVOIE JM, LEONE M. La puissance maximale fonctionnelle (PAMF) et l'indice de mouvements de bras (IMB) en nata-

- tion: Normes et prediction de la performance au crawl. Montréal, Département d'éducation physique, Université de Montréal, 1987.
12. PYNE DB, BOSTON T, MARTIN DT, LOGAN A. Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:112-116
 13. PADILLA S, MUJICA I, ORBAÑOS J, SANTISTEBAN J, ANGULO F, GOIRIENA JJ. Exercise intensity and load during mass-start stage in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:796-802
 14. BEAVER WL, WASSERMAN K, WHIPP BJ. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60:2020-2027
 15. ROECKER K, SCHOTTE O, NIESS AM, HORSTMANN T, DICKHUTH H-H. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1552-1557
 16. HAUSSWIRTH C, LEHÉNAFF D, DRÉANO P, SAVONEN K. Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:599-604
 17. SCHABORT EJ, KILLIAN SC, ST CLAIR GIBSON A, HAWLEY JA, NOAKES TD. Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:844-849
 18. CRAIG AB, SKEHAN PL, PAWELCZYK JA, BOOMER WL. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:625-634
 19. KOHRT WM, MORGAN DW, BATES B, SKINNER JS. Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling and running. *Med Sci Sports Exerc* 1987;19:51-55
 20. TOUSSAINT HM. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:409-415
 21. TOUSSAINT HM, BEELEN A, RODENBURG A, SARGEANT AJ, GROOT G, HOLLANDER AP, VAN INGEN SCHENAU GJ. Propelling efficiency of front-crawl swimming. *J Appl Physiol* 1998;65:2506-2512
 22. CHATARD JC, CHOLLET D, MILLET G. Performance and drag during drafting swimming in highly trained triathletes. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1276-1280
 23. CHOLLET D, HUE O, AUCLAIR F, MILLET G, CHATARD JC. The effect of drafting on stroking variations during swimming in elite male triathletes. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:413-417
 24. CHATARD JC, SENEGAS X, SELLES M, DREANOT P, GEYSSANT A. Wet suit effect: a comparison between comparative swimmers and triathletes. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:580-586
 25. TOUSSAINT HM, BRUININK L, COSTER R, LOOZE MD, VAN ROSSEM B, VAN VEENEN R, GROOT GD. Effect of a triathlon wet suit on drag during swimming. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:325-328
 26. LÉGER LA, BOUCHER R. An indirect continuous running multistage field test: The université de Montreal track test. *Can J Appl Sports Sci* 1980;5:77-84
 27. NOAKES TD. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc* 1988;20:319-330
 28. MORGAN DW, BALDINI FD, MARTIN PE, KOHRT WM. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO_{2max} among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21: 78-83
 29. BILLAT LV, KORALSZTEIN P. Significance of the velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 1996; 22:90-108
 30. RODRÍGUEZ FA. Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers. *J Sports Med Phys Fit* 2000; 40:87-95
 31. RIBEIRO JP, CADAVID E, BAENA J, MONSALVETE E, BARNA A, DE ROSE EH. Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. *Br J Sports Med* 1990; 24:196-200
 32. COSTILL DL, MAGLISHO EW, RICHARDSON AB. Swimming. London: Blackwell Scientific Publications, 1992
 33. WAKAYOSHI K, YOSHIDA T, UDO M, KASAI T, MORITANI T, MUTOH Y, MIYASHITA M. A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med* 1992;13:367-371
 34. FREUND H, OYONO-ENGUELLE S, HEITZ A, OTT C, MARBACH J, GARTNER M, PAPE A. Comparative lactate kinetics after short and prolonged submaximal exercise. *Int J Sports Med* 1990;11:284-288
 35. ZHOU S, ROBSON SJ, KING MJ, DAVIE AJ. Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests. *J Sports Med Phys Fit* 1997;37:122-130
 36. HUE O, GALY O, LE GALLAIS D, PRÉFAUT C. Pulmonary responses during the cycle-run succession in elite and competitive triathletes. *Can J Appl Physiol* 2001;26:559-573
 37. HUE O. Prediction of rafted-triathlon race time from submaximal laboratory testing in elite triathletes. *Can J Appl Physiol* 2003;28:547560
 38. KREIDER RB, CUNDIFF DE, HAMMETT JB. Effects of cycling on running performance in triathletes. *Ann Sports Med* 1988;3:220-225
 39. HOLLY RG, BARNARD RJ, ROSENTHAL M, APPLIGATE E, PRITIKIN N. Triathlete characterisation and response to prolonged strenuous competition. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:123-127
 40. LUCÍA A, HOYOS J, CHICHARRO JL. Physiological response to professional road cycling: climbers vs. time trialists. *Int J Sports Med* 2000;21:505-512

41. O'TOOLE M, DOUGLAS PS. Applied physiology of triathlon. *Sports Med* 1995;19:251-267
42. LAURSEN PB, SHING CM, TENNANT SC, PRENTICE CM, JENKINS DG. A comparison of the cycling performance of cyclists and triathletes. *J Sports Sci* 2003;21:411-418
43. PADILLA S, MUJIKA I, ANGULO F, GOIRIENA JJ. Scientific approach to the 1-h cycling world record: a case study. *J Appl Physiol* 2000;89:1522-1527
44. SVEDAHL K, MACINTOSH BR. Anaerobic threshold: The concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol* 2003;28:299-323
45. BILLAT VL, SIRVENT P, KORALSZTEIN G, MERCIER J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med* 2003;33:407-426
46. LAJOIE C, LAURENCELLE L, TRUDEAU F. Physiological responses to cycling for 60 minutes at maximal lactate steady state. *Can J Appl Physiol* 2000;25:250-261
47. STAMFORD BA, WELTMAN A, MOFFATT R, SADY S. Exercise recovery above and below anaerobic threshold following maximal work. *J Appl Physiol* 1981;51:840-844
48. NEUMANN G. Cycling, En: Shephard RJ, Astrand PO, editors. *Endurance in sport*. Oxford: Blackwell, 1992; 582-596
49. VERCRUYSSSEN F, BRISSWALTER J, HAUSSWIRTH C, BERNARD T, BERNARD O, VALLIER J-M. Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:530-536
50. GREGOR RJ, BROKER JP, RYAN MM. The biomechanics of cycling. *Exerc Sci Rev* 1991;9:127-168
51. DI PRAMPERO PE. The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med* 1986;7:55-72
52. HOLT KG, JENG SF, RATCLIFFE R, HAMILL. Energetic cost and stability during human walking at the preferred stride frequency. *J Mot Behav* 1995;27:164-178
53. BENEDICT FG, CATHCART EP. Publication N° 187. Washington D. C., Carnegie Institution, 1913.
54. BRISSWALTER J, HAUSSWIRTH C, SMITH D, VERCRUYSSSEN F, VALLIER JM. Energetically optimal cadence vs. freely-chosen cadence during: effect of exercise duration. *Int J Appl Physiol* 1999;20:60-64
55. NEPTUNE RR, HULL ML. A theoretical analysis of preferred pedalling rate selection in endurance cycling. *J Biomech* 1999;32:409-415