

Detecció pràctica del Llindar Anaeròbic

P. Vanuxem¹, D. Vanuxem, E. Fornaris, J.C. Duflot, F. Commandre²

(1) Laboratori de Medicina Experimental.

(2) DIUFAMS

Facultat de medicina, 27 Boulevard Jean Moulin, 13385 Marsella Cedex 5

SUMMARY

The reliability level of the different parameters often used in the indirect determination of the anaerobic threshold, has been tested in two groups of healthy volunteers: 1) one homogeneous group of 28 well trained cyclists, usually competing at a regional level; and 2) one heterogeneous group where some elite athletes as well as sedentary individuals have been included.

The fact that, the experimental values depending on the oxygen uptake, ($\dot{V}O_2$), or the work loads are expressed, does not imply any significant difference in the final results. In both groups, the ventilatory threshold constitutes the most clear and truthful image of the lactates threshold. In the cyclists group, the respiratory equivalent, ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$), the respiratory quotient, (R), and the carbonic gas elimination deficit, ($\dot{V}O_2$), also will allow us to find the anaerobic threshold with a good approximation rate. But in the second group, (the heterogeneous group), the $\dot{V}CO_2$ and $\dot{V}C/\dot{V}O_2$ thresholds are located at a significantly lower position in reference to the lactates threshold. Such dispersion of the thresholds in the second group can be explained in part due to a more rapid increase of the work load.

RESUM

La fiabilitat de diversos paràmetres utilitzats sovint en la determinació indirecta del llindar anaeròbic s'ha posat a prova en dos grups de voluntaris sans: 1) un grup homogeni de 28 corredors ciclistes d'àmbit regional, tots ells ben entrenats; 2) un grup heterogeni de set

individus on hi ha inclosos sedentaris i atletes d'alt nivell.

El fet que s'expressin els valors experimentals en funció del consum d'oxigen ($\dot{V}O_2$) o de la càrrega d'esforç no introdueix cap diferència significativa quant als resultats. En tots dos grups el llindar ventilatori constitueix el reflex més fidel del llindar dels lactats. En el grup dels corredors ciclistes, l'equivalent respiratori ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$), el quocient respiratori (R) i el dèficit d'eliminació de gas carbònic ($\dot{V}CO_2$) permeten situar igualment el llindar anaeròbic amb una bona aproximació. Però en el segon grup (el grup heterogeni), els llindars de $\dot{V}CO_2$ i de $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ se situen significativament en una posició més baixa que no pas el llindar dels lactats. Aquesta dispersió dels llindars en el segon grup es pot explicar en part per un creixement més ràpid de la càrrega d'esforç.

Introducció

La qüestió del llindar anaeròbic constitueix un dels punts més controvertits de la fisiologia de l'exercici muscular.^{1, 5} Tot s'hi posa en discussió: la significació fisiològica del llindar anaeròbic, expressió el fonament mateix de la qual és contestada; la validesa de les correlacions proposades entre l'elevació de la lactatèmia i les modificacions contemporànies observades en l'àmbit de la ventilació i dels intercanvis gasosos respiratoris; la legitimitat de la utilització d'aquests paràmetres en la detecció sense sang del llindar anaeròbic... El nostre objecte no és entrar en aquesta controvèrsia de diversos desenvolupaments: intentarem d'apuntar,

més modestament, vers alguns ensenyaments d'ordre pràctic d'observacions recollides en el marc d'una consulta de medicina de l'esport.

A part de les consideracions d'ordre acadèmic que es puguin fer, el punt de partida d'un camp d'actuació purament pràctic pot ser constituït per alguns punts irrefutables, com ara:

- Siguin els que siguin els mecanismes que en determinen l'origen; el punt de ruptura dels lactats indica el nivell metabòlic (o la rapidesa, o la càrrega d'esforç) més enllà del qual l'individu s'adreça de manera accelerada cap al punt de fatiga. Dit altrament, marca el límit superior de la intensitat dels esforços realitzables en enduriment, aquest amb gran precisió: un maratonista curt en el nivell metabòlic situat a 5% del seu punt de ruptura dels lactats.²
- La instal·lació de l'elevació dels lactats sanguinis està estretament vinculada, qualsevol que en sigui la naturalesa exacta d'aquesta associació, a modificacions en l'evolució de diversos paràmetres mesurables per via externa: ventilació per minut, equivalent respiratori, dèficit d'eliminació del gas carbònic, quocient respiratori...

A parer nostre –i som conscients que aquest punt de vista pot ser igualment contestat–, un protocol de determinació des del punt de vista de la ruptura dels lactats haurà de recórrer, en la mesura possible, a mètodes no invasius. Qualsevol tècnica de mostra de sang –pel fet que la molèstia hi és prolongada i els actes repetits– acaba per constituir, per a l'individu, una font d'incomoditat més o menys ben acceptada i de vegades percebuda com una agressió. A part dels problemes de relació que sovint se'n segueixen, la presència d'un factor irritatiu com és aquest pot interferir en els resultats de la mesura mateixa, especialment pel que fa a la ventilació. És important, doncs, des d'aquest punt de vista, que la fiabilitat dels paràmetres accessibles per via externa sigui mesurada. Aquesta fiabilitat consisteix essencialment en la persistència d'una bona correlació entre el punt de ruptura del paràmetre i el de la lactatèmia en un marge de variació raonablement extens dels protocols de mesurament. Aquestes consideracions han constituït l'eix principal del nostre enfocament del problema.

I. Procediment seguit

Les correlacions entre el punt de ruptura dels lactats i els dels paràmetres que demostren intercanvis gasosos respiratoris han estat objecte de dos estudis experimentals realitzats segons procediments sensiblement diferents i en poblacions igualment diferents.

- Un primer estudi s'ha dut a terme en un grup homogeni de 28 ciclistes d'alt nivell que han efectuat un exercici màxim d'una càrrega pro-

gressivament creixent en cicloergòmetre amb fre electrònic. La freqüència de pedaleig és de seixanta voltes per minut, l'increment de càrrega de 30 a 40 wats cada dos minuts, i més endavant cada tres minuts fins a la fatiga o l'assoliment de la freqüència cardíaca màxima (220-edat). La lactatèmia [La], PaO₂ i PaCO₂ són mesurades mitjançant prova capil·lar. La ventilació per minut (VE) s'obté per la integració del dèficit. El consum d'oxigen (VO₂), el dèficit de gas carbònic (VCO₂), l'equivalent respiratori (ER = VE/VO₂) i el quocient respiratori (R) es calculen per mitjà d'un ordinador a partir de proves contínues derivades d'una cambra de barreja situada en el circuit expirat. El punt de ruptura dels lactats és determinat per alineaments dels punts de mesurament en paper mil·límetrat. Pel que fa als paràmetres per determinar intercanvis gasosos respiratoris, el seu punt de ruptura és determinat ja sigui per alineament a cop d'ull, ja sigui pel càlcul del coeficient de correlació: aleshores, el punt de ruptura correspon al valor que precedeix immediatament la disminució d'aquest coeficient.

S'ha realitzat un segon estudi a partir d'un grup de set individus, tres dels quals són sedentaris i, els altres quatre, esportistes ben entrenats. A un dels esportistes, corredor de mig fons, li ha estat aplicada la prova en dues fases: al començament de l'entrenament i després d'un any d'entrenament intensiu. Els altres tres atletes, dos dels quals practiquen el rem i un el ciclisme, només han estat avaluats una vegada, en el punt àlgid del seu entrenament. El procediment adoptat ha diferit en diversos punts del primer estudi:

- S'ha registrat un augment més ràpid de la càrrega d'esforç, a raó de 30W per minut.
- S'ha mesurat el nivell de lactatèmia a partir de mostres sanguínies preses cada minut per mitjà d'un catèter situat de manera estable en una vena del colze. També s'ha mesurat en aquest grup l'amonièmia al final de cada estadi.
- S'ha calculat l'expressió logarítmica dels valors de lactatèmia i d'amonièmia mitjançant el càlcul efectuat pel mètode gràfic del punt de ruptura.

Els paràmetres registrats per via externa són els mateixos en l'estudi precedent.

En tots dos estudis, les comparacions entre els líndars que corresponen als diferents paràmetres han estat realitzats per mitjà d'un test (t) comparat. En la segona prova, a causa del reduït nombre de resultats i del seu agrupament, no hi hem buscat cap coeficient de correlació.

II. Resultats i Discussió

L'anàlisi dels resultats del primer estudi no mostra cap diferència significativa entre el líndar anaeròbic determinat per la mesura directa de la lactàn-

Quadre I: Els llindars anaeròbics en funció dels paràmetres estudiats (primera prova, mitjana i error estàndars).

PARÀMETRE UTILITZAT	LLINDAR % VO ₂ màx.	
Lactatèmia	80.3	1.4
VE	81.4	1.2
VCO ₂ màx.	81.6	1.5
VE/VO ₂ màx.	81.0	1.1
R	79.9	2.0

cia i la seva avaluació indirecta per mitjà dels intercanvis gasosos respiratoris (quadre I). Podem notar incidentalment el valor elevat del llindar anaeròbic en aquest grup, prop del 80% de VO₂, fet que indica un bon nivell d'entrenament. Els paràmetres que estan millor correlacionats amb el punt de ruptura de la lactatèmia són VE : $r = 0,60$;

Quadre II: Els llindars anaeròbics en funció dels paràmetres estudiats (segona prova, mitjana i error estàndars).

PARÀMETRE UTILITZAT	LLINDAR %	CÀRREGA MÀXIMA
Lactatèmia	80.0	1.5
VE	75.0	1.7
VCO ₂ màx.	53.0	3.1
ER	63.0	2.9
NH ₄	75.0	3.2

$2 p < 0,001$ i VE/VO₂ : $r = 0,62$; $2 p < 0,001$. Més endavant, hi trobem el quocient respiratori i VCO₂ : $r = 0,58$ i $2 p < 0,001$ en tots dos casos.

Aquests resultats demostren, doncs, per a aquesta mena de procediments i per a atletes ben entrenats, la validesa de la determinació indirecta des del punt de vista de ruptura dels lactats per

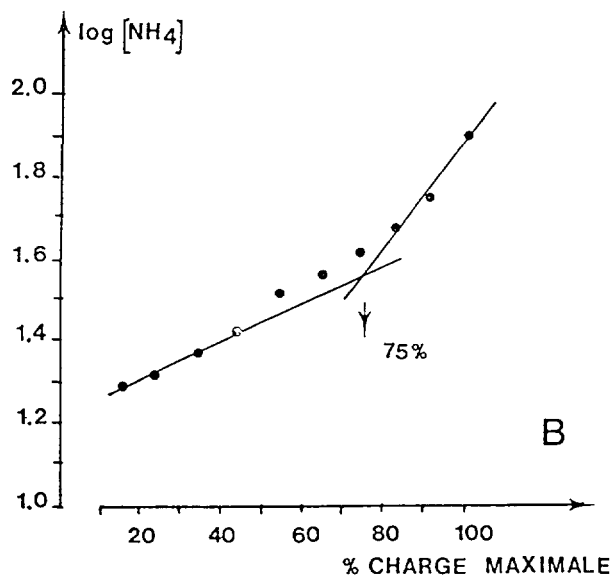
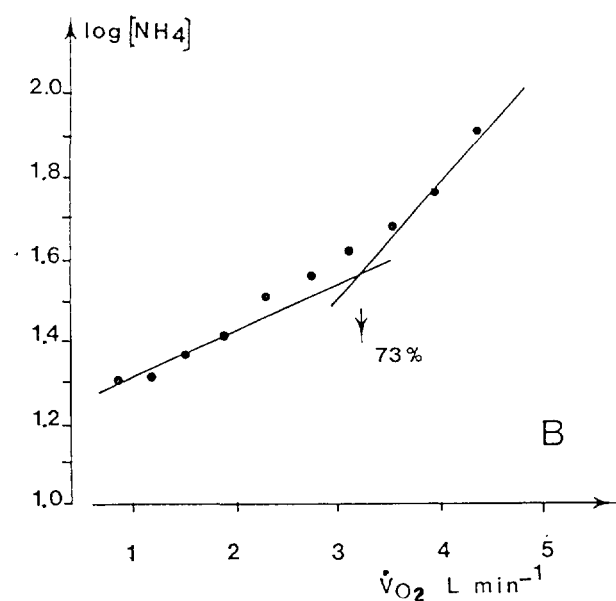
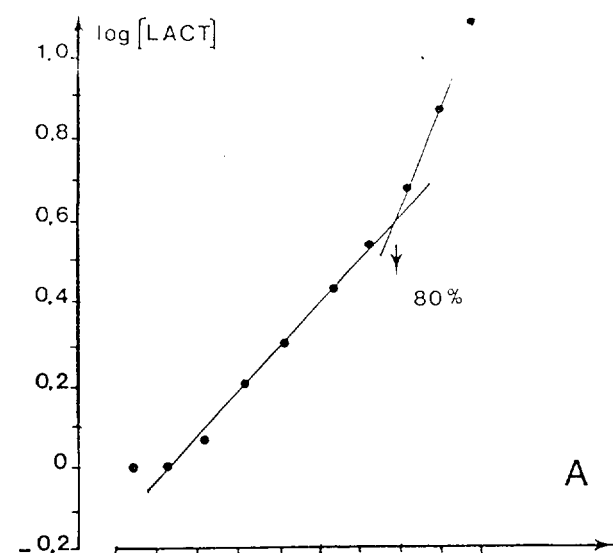
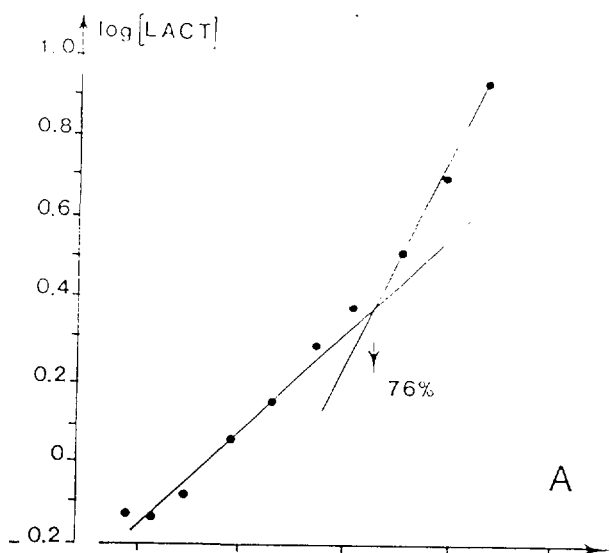


Figura 1. Llindar dels lactats (A) i de l'amoni (B) expressats en percentatge de VO₂ màx.

Figura 2. Llindar dels lactats (A) i de l'amoni (B) expressat en percentatge de la càrrega màxima.

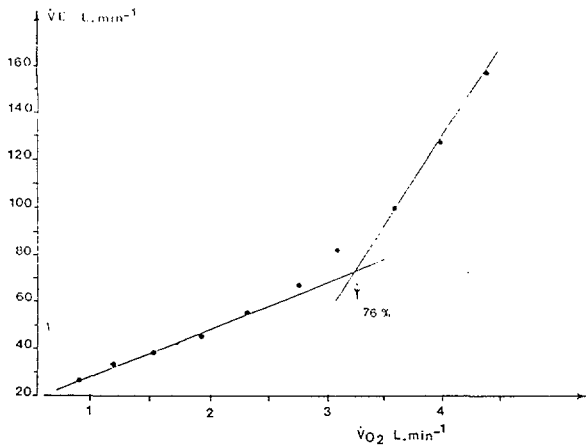


Figura 3. Líndar ventilatori expressat en percentatge de $\dot{V}O_2$ màx.

mitjà dels intercanvis gasosos respiratoris. Sembla que hom pot utilitzar indistintament per a aquesta finalitat un o altre dels paràmetres, sempre tenint present la possibilitat d'alteracions de VE vinculades a estímuls no respiratoris.

En la segona prova, els líndars que corresponen als diferents paràmetres estudiats han estat determinats bé en funció del $\dot{V}O_2$, o bé en funció de la càrrega. La tria d'un o l'altre d'aquests paràmetres com a referència no introdueix cap diferència significativa en els resultats.

– El punt de ruptura de la lactatèmia, calculat per l'alineament màxim dels punts per transformació logarítmica i expressat en funció de $\dot{V}O_2$ se situa, per al grup estudiat, a 76% del $\dot{V}O_{2\text{màx}}$. (fig. 1A) i a

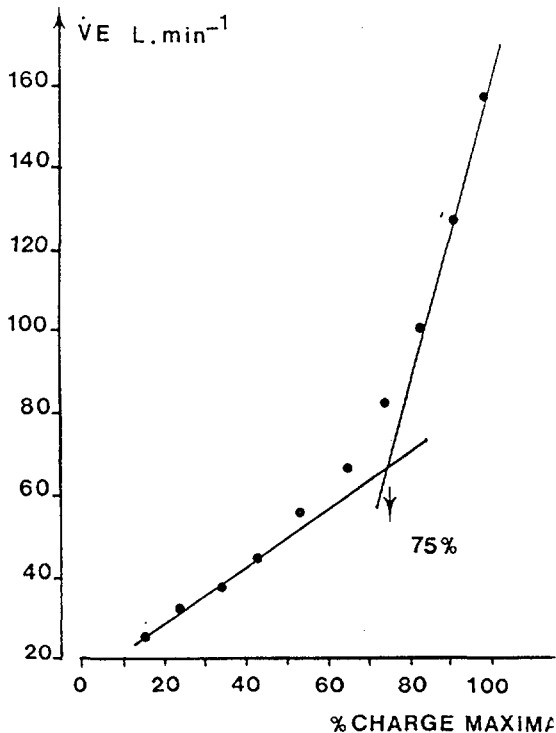


Figura 4. Líndar ventilatori expressat en percentatge de la càrrega màxima.

Quadre III: Els líndars anaeròbics: A = atleta al començament de l'entrenament; B = atleta al final de l'entrenament; SED. = individus sedentaris; ENTR. = individus entrenats.

	VE	VCO ₂	LACTATS	ER
A	77	51	73	61
B	78	64	75	70
SED.	73	53	77	54
ENTR.	81	73	83	69

80% de la càrrega màxima (fig. 2). Podem notar incidentalment (fig. 1B) que el punt de ruptura de l'amonièmia se situa a un nivell semblant (t comparat no significatiu).

– No hi ha cap diferència tampoc entre el punt de ruptura de VE i el de lactatèmia (fig. 3 i 4)

Per a dos paràmetres, (ER i VCO₂) no trobem una correspondència amb el punt de ruptura dels lactats que se segueixi de l'experimentació precedent (quadre II). Tots dos tenen punts de ruptura situats significativament més baixos que el dels lactats ($p < 0.001$). Aquesta dissociació és particularment important pel que fa al VCO₂, que s'expressa en funció del $\dot{V}O_2$ màx. (fig. 5) o de la càrrega (fig. 6). Aquesta discordança entre els resultats dels dos estudis ens sembla *a priori* difícil d'explicar. Podem esmentar, en primer lloc, diferències importants en la realització de la prova d'esforç i en la manera de prendre les mostres de sang: un augment ràpid de la càrrega, en el cas del segon procediment, pot fer aparèixer una dissociació entre el punt de ruptura dels lactats i el de VE.⁴ Però ER hauria d'evolucionar en aquest cas en el mateix sentit que VE. En els nostres dos estudis, la coincidència entre el punt de ruptura de VE i el dels lactats és la mateixa.

El mesurament del nivell de lactatèmia a partir de mostres de sang venosa, si bé presenta l'avantatge

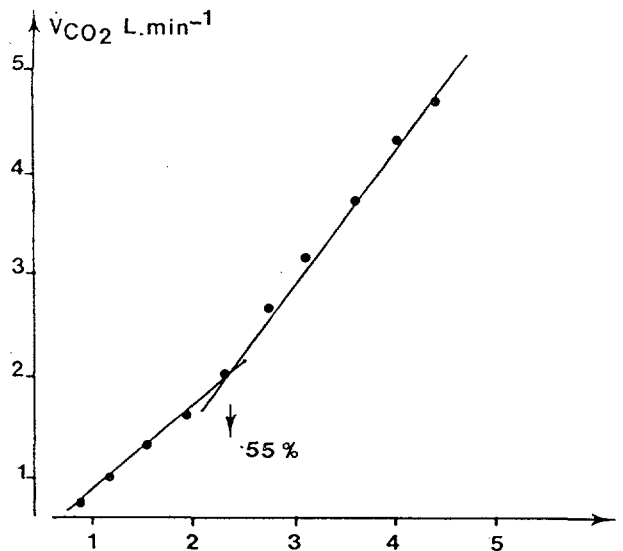


Figura 5. Líndar de VCO₂ expressat en percentatge de $\dot{V}O_2$ màx.

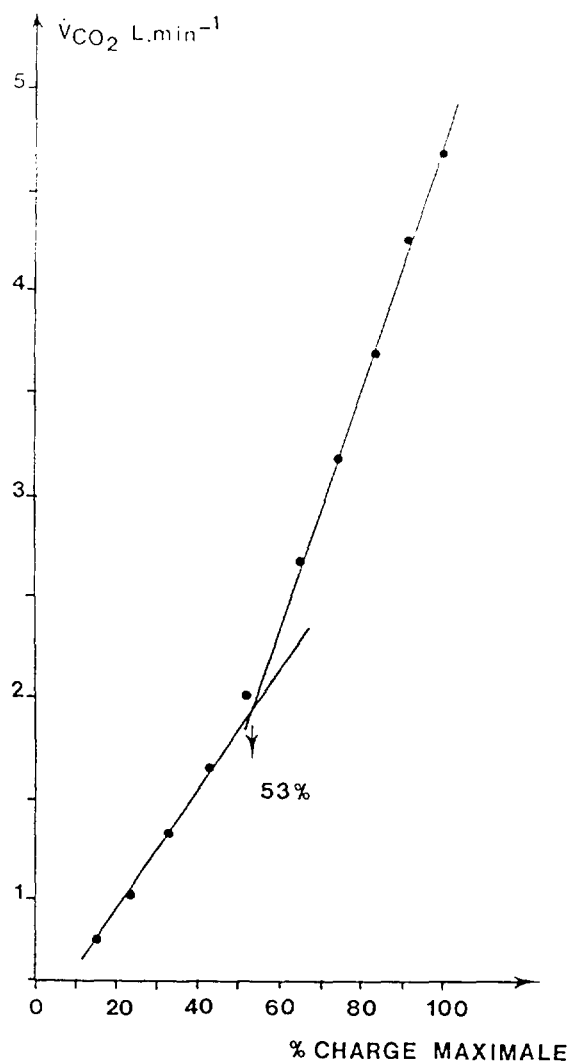


Figura 6. Líndar de VCO₂ expressat en percentatge de la càrrega màxima.

de permetre la repetició de proves aproximatives, és molt criticada, ja que pot ser influenciada pels moviments locals de lactats. De fet, en el nostre estudi, els punts de ruptura del lactats que són determinats d'aquesta manera no sembla que pre-

sentin cap discordança evident amb els que són establerts a través de les proves capil·lars, tècnica que podem considerar perfectament fidedigna.

Tanmateix, ens han sorprès dues constatacions (quadre III):

- La separació entre els punts de ruptura, d'una banda, de VCO₂ i ER, i el de lactatèmia, de l'altra, és menys marcat entre els individus entrenats que no pas entre els sedentaris.
- Aquest fet sembla trobar una confirmació en l'individu (el corredor de mig fons) que hem sotmès a prova al començament de l'entrenament i després d'un any d'entrenament intensiu.

Per a explicar aquestes particularitats, podríem esmentar modificacions dels sistemes tampó de l'organisme sota l'efecte de l'entrenament i/o una adaptació de la sensibilitat central o perifèrica a l'estímul CO₂. Però les nostres observacions encara són massa poc avançades per a poder interpretar-les amb un cert rigor. Si arriben a ser confirmades, podríem comptar amb un mitjà complementari d'apreciació del nivell d'entrenament.

Conclusió

Els resultats que acabem de recollir ens han dut a les conclusions següents:

- En la determinació indirecta del líndar anaeròbic a partir de l'estudi dels intercanvis gasosos respiratoris, l'ús de fases iguals o superiors a dos minuts sembla més adequat a una convergència que satisfaci paràmetres que el de fases més curtes.

Sigui quina sigui la tendència de creixement de la càrrega, VE seria en el nostre estudi el paràmetre més constantment fidedigne.

Les divergències aparegudes d'un procediment a l'altre i segons el nivell d'entrenament confirmarien la noció que la naturalesa exacta de les relacions entre el punt de ruptura dels lactats i el dels paràmetres vinculats als intercanvis gasosos respiratoris encara és coneguda amb molt poca precisió.

Bibliografia

1. BROOKS, G.A.: Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 17: 22-31, 1985.
2. FARREL P.A.; WILMERRE, J.K.; COYLE, E.F.; BILLING, J.E.; COSTILL, D.L.: Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 11: 338-344, 1979.
3. GRIMAUD, C.; NICOLI, M.M.; FORNARIS, E.; DUFLOT, J.C.: Mesures et signification du seuil anaérobie dans

un groupe de cyclistes amateurs. *Médecine du Sport*, 57: 309-314, 1983.

4. HUGHSON, R.L.; GREEN, H.J.: Blood acid base and lactate relationships studied by ramp work tests. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 297-302, 1982.

5. RIEU, M.: Lactatémie et exercice musculaire. Signification et analyse critique du concept de "seuil aérobie-anaérobie". *Science et Sport*, 1: 1-23, 1986.

