



PREGLED METODA ZA ODREĐIVANJE ANAEROBNOG PRAGA

A REVIEW OF METHODS FOR DETECTING ANAEROBIC THRESHOLD

Saša Janković, Branka R. Matković

Kineziološki fakultet sveučilišta u Zagrebu

SAŽETAK

Već od 1930 godine fiziolozi prepoznaju pojavu da kod određenog nivoa opterećenja dolazi do značajne akumulacije laktata. Nastojanje da se ta tranzicijska točka odredi dovelo je do daljnjeg produbljivanja problema. Respiratorne varijable i vrijednosti laktata u krvi promatrali su se kako bi se mogla odrediti kritična točka opterećenja. Brojne studije pokazuju visoku korelaciju između aerobnih sposobnosti i određivanja anaerobnog praga. U ovom članku dan je pregled invazivnih i neinvazivnih metoda za određivanje anaerobnog praga.

Ključne riječi: anaerobni prag, laktati, metode

SUMMARY

As far back as the 1930s exercise physiologists recognised the existence of critical levels of work intensity above which lactate accumulation increased drastically and energy production was affected. Investigation of these transition points (thresholds) has led to much recent controversy. Respiratory exchange variables and blood lactate have been monitored to elucidate these critical work intensities. A number of studies have produced high correlations between endurance performance and anaerobic threshold calculations. In this article is made review of noninvasive and invasive measures for determining of anaerobic threshold.

Key words: anaerobic threshold, lactates, methods.

UVOD

U posljednja dva desetljeća došlo je do velikog napretka sporta i sportskih rezultata. Razlozi za taj napredak su velika ulaganja materijalnih sredstava u razvoj sporta, ali isto tako i dostignuća znanosti koja se aktivno uključila u vrhunski sport. Jedan od glavnih problema koji nastoji riješiti fiziologija sporta, a i druge znanstvene discipline uključene u sport, je kako odrediti objektivne pokazatelje razine treniranosti sportaša, te kako omogućiti predviđanje sportskih rezultata.

Jedan od objektivnih pokazatelja treniranosti je svakako i anaerobni prag. Poznavanje razine anaerobnog praga kod sportaša omogućava nam optimalno planiranje treninga, njegovu kontrolu, a u nekim sportovima izdržljivosti i predviđanje rezultata. Upravo zbog toga u radu sa vrhunskim sportašima od neprocjenjive nam je vrijednosti mogućnost određivanja anaerobnog praga.

Pojam anaerobnog praga, koji se prvi put javlja u radovima Wassermana i Mc Ilroy-a (1964), postao je izvor kontraverznih i žučnih rasprava među liječnicima sportske medicine posebno onih koji se bave fiziologijom sporta. Razilaženja koja se javljaju oko anaerobnog praga odnose se na njegov mehanizam, interpretaciju i precizno određivanje. Anaerobni prag se najčešće mjeri određivanjem laktata u krvi (laktatni prag) ili mjerenjem ventilacijskih varijabli (ventilacijski prag). Zadnjih nekoliko godina rasprava se usmjerila na praćenje i opserviranje dviju različitih metoda određivanja praga, ventilacijske i laktatne.

Sam pojam anaerobnog praga nije moguće odvojiti od energetske procesa koji se zbivaju u organizmu. Aerobni i anaerobni energetske kapaciteti čovjeka određivali su tokom evolucije njegovo preživljavanje u prirodi. Veličina energetske kapaciteta više nema praktičnog značenja u dnevnom životu, no ostaje veliki interes za energetske procese u organizmu i široka primjena spoznaja o njima u fizičkoj kulturi i sportu, gdje energetske kapaciteti limitiraju rezultate u najvećem broju sportova.

Tjelesnu aktivnost između ostalog određuju karakteristike energetske procesa u mišićima. Stoga je i sposobnost obavljanja mehaničkog rada, tzv. fizički radni kapacitet, određena veličinom energetske kapaciteta i sposobnošću organizma za njihovim korištenjem. Različiti izvori kemijske energije u organizmu, njihova količina, brzina i efikasnost konverzije u mehanički rad determiniraju fizičku snagu i izdržljivost.

Pri kratkotrajnim aktivnostima maksimalnog intenziteta energiju anaerobnim metabolizmom osiguravaju dva izvora energije: energetske fosfati (adenozin trifosfat i kreatinfosfat - fosfageni, alaktatni sistem, ATP-CP sistem) i glikogen procesom anaerobne glikolize (laktatni sistem), dok se pri aktivnostima nižeg intenziteta (aerobni metabolizam) energija oslobađa oksidacijom hranjivih tvari, prvenstveno ugljikohidrata i masti. Veličina anaerobnih energetske kapaciteta i razina njihova korištenja bitno diferenciraju pojedine osobe. Poznavanje i uvid u te karakteristike osnovna su za planiranje i provođenje takvih oblika tjelesne aktivnosti koji će omogućiti povećanje i optimalno korištenje energetske kapaciteta organizma, što je od posebnog značaja u mogućnostima poboljšanja sportskih rezultata.

POVIJESNI RAZVOJ

Davne 1909. godine Ryffel je pratio promjene u organizmu tokom napora i izvijestio o povećanju

vrijednosti laktata u krvi nakon napora.(17) Hill i sur (1924) zaključuju da je uzrok povećanja laktata u krvi tokom napora povećana aktivnost anaerobne komponente tjelesnog metabolizma.(29) Promjene vrijednosti laktata u krvi praćene su promjenama u ventilaciji (Douglas 1927).(2) Owles (1930) provodi detaljniju analizu promjena ventilacijskih varijabli te otkriva da povećanje laktata u krvi prati povećanje ventilacije i ekskrecije ugljičnog dioksida.(4,16) Harrison i Picher (1930) smatraju da je uzrok porasta ekskrecije ugljičnog dioksida djelovanje bikarbonatnog pufera na kiselinu koja se stvara tokom napora. (2,17)

Od tada znanstvenici pokušavaju objasniti povećanje produkcije mliječne kiseline nedostatnom opskrbom kisikom te to nazivaju dugom kisika.

1959 godine Holman prvi uspijeva to važno saznanje primijeniti u praksi, analizirajući opterećenja u sportaša. Koristeći se vrijednostima koncentracije laktata u arterijalnoj krvi Hollman određuje najveće aerobno opterećenje. Primijetio je da prilikom takvog opterećenja dolazi do stabilizacije laktata u krvi.(17)

Zahvaljujući prethodnim istraživanjima Wasserman i Mc Ilroy obrazlažu pojam anaerobnog praga i postupak njegovog određivanja putem mjerenja vrijednosti laktata u krvi.(32) Također dolaze do zaključka, u svrhu izbjegavanja invazivnih mjerenja, da se prag može odrediti i iz ventilacijskih parametara koji se mjere prilikom testiranja.

U literaturi se susreće niz različitih metoda za određivanje anaerobnog praga. Anaerobni prag može se odrediti određivanjem koncentracije laktata u krvi ili praćenjem ventilacijskih parametara. (2,7,30,31)

ODREĐIVANJE ANAEROBNOG PRAGA IZ KONCENTRACIJE LAKTATA

Danas postoje dva osnovna pristupa u određivanju anaerobnog praga putem laktata, gdje se u prvom smatra da je prag fiksni i pri kojem koncentracija laktata u krvi iznosi 4 mmol/l, a u drugom da postoji individualni prag koji je različit za svakog pojedinca.

Mader i sur. (1976) prvi su koncentraciju laktata u krvi od 4 mmol/l smatrali kao vrijednost praga, jer je to bila prosječna vrijednost praga kod njihovih ispitanika. (18,19)

U svojim radovima Kindermann i sur. (1979) i Hecke i sur. (1985) također navode vrijednosti od 4 mmol/l kao anaerobni prag. (13,15)

Sjodin i Jacobs u svojoj metodi za određivanje anaerobnog praga "OBLA" (onset of blood lactate accumulation) također navode da anaerobni prag određuje koncentracija laktata u krvi od 4 mmol/l.(27,28)

Početkom osamdesetih godina počela su se javljati mišljenja, a i istraživanja koja su govorila o nedostatku koncepta koji se zasniva na fiksnoj koncentraciji laktata kod anaerobnog praga. Nedostatak ideje fiksne vrijednosti laktata kod anaerobnog praga je što nije vodio računa o individualnoj kinetici laktata.

Stegman i Kindermann pokazuju u svojim istraživanjima da je individualni anaerobni prag različit u odnosu na prag dobije fiksnom koncentracijom laktata od 4 mmol/l.(31) Definišu individualni anaerobni prag kao opterećenje pri kojem postoji ravnoteža u stvaranju i eliminaciji laktata.

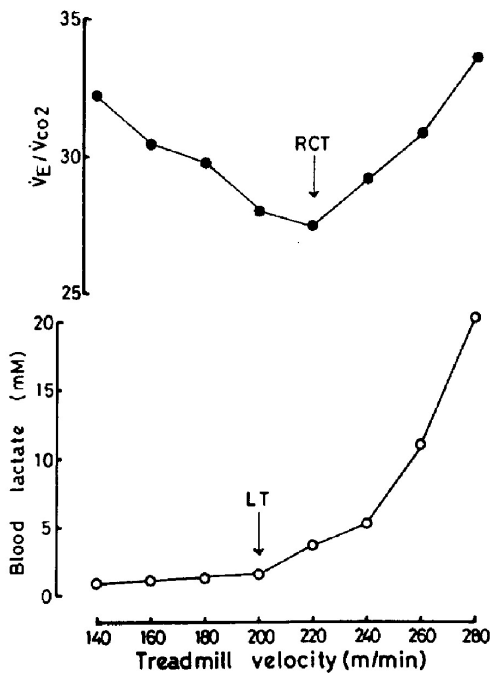
Stegmann i Kinderman (1981) u svojim istraživanjima daju prednost određivanju individualnog anaerobnog praga koji obuhvaća individualne razlike u kinetici laktata. Metoda izračunavanja individualnog praga

obuhvaća mjerenje koncentracije laktata u krvi za vrijeme napora, ali isto tako i u oporavku, jer autori smatraju da je kinetika laktata u oporavku odraz kinetike laktata u naporu.(31)

Godine 1982. objavljuju rezultate istraživanje u kojem su proveli test produženog opterećenja sportaša na nivou vrijednosti njihovog individualnog anaerobnog praga i na nivou vrijednosti dobivenog fiksnom koncentracijom laktata od 4 mmol/l. Opterećenje na nivou individualnog anaerobnog praga nije u nijednog ispitanika dovelo do akumulacije laktata i prekida testa zbog iscrpljenosti. Pri opterećenju koje je dobiveno kao vrijednost praga iz fiksne koncentracije laktata došlo je u većine ispitanika do značajnog porasta koncentracije laktata. Samo u 20 % ispitanika individualni anaerobni prag je bio kod vrijednosti laktata od 4 mmol/l.(31)

Beng (1980.) i Lehman (1983.) opisuju metodu laktatnog ekvivalenta za određivanje anaerobnog praga. Laktatni ekvivalent je omjer laktata i primitka kisika (La/VO_2) u istom vremenu. Kad taj indeks dostigne svoju minimalnu vrijednost, tu točku možemo smatrati anaerobnim pragom. (17,18)

Slika 1. Metoda ventilacijskog ekvivalenta
Figure 1. Ventilation equivalent method

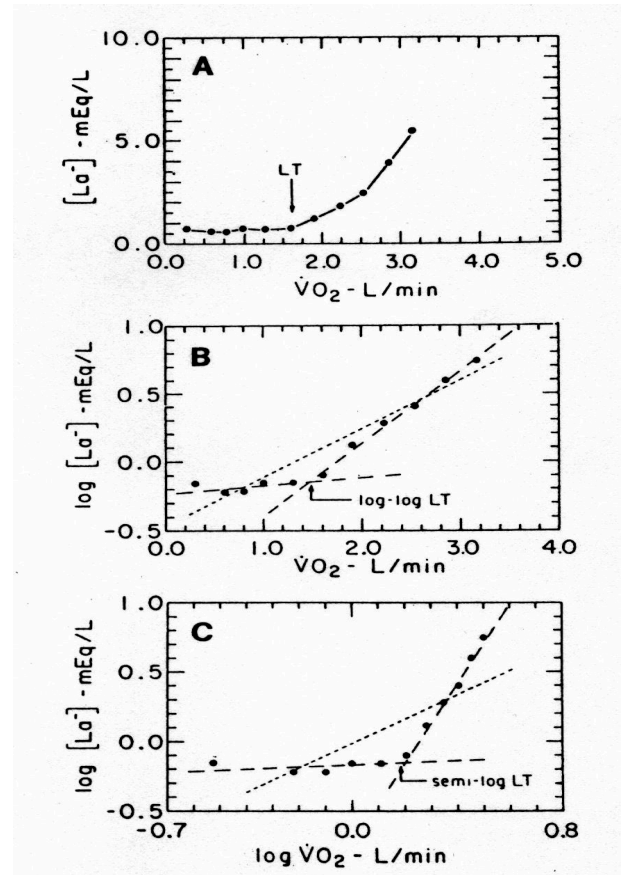


Beaver, Wasserman i Whip (1985) koriste metodu "log-log" za određivanje individualnog anaerobnog praga. (4) Oni su na uzorku od 10 sportaša proveli test opterećenja na bicikl ergometru. Tokom testiranja iz brahijalne arterije uzimali su uzorke krvi svake 2 minute i mjerili vrijednosti laktata. Pratili su povećanje koncentracije laktata u odnosu na primitak kisika. Logaritmirali su dobivene vrijednosti laktata i primitka kisika te su ih grafički prikazali. Odnos logaritmiranih varijabli je bio

linearan te je korištena linearna regresija za određivanje točke anaerobnog praga. Autori su pokušali logaritmirati samo jednu od varijabli, ali tad mjesto sjecišta regresijskih pravaca nije bilo tako uočljivo. (4)

Slika 2. Prikaz «log-log» metode za izračunavanje anaerobnog praga.

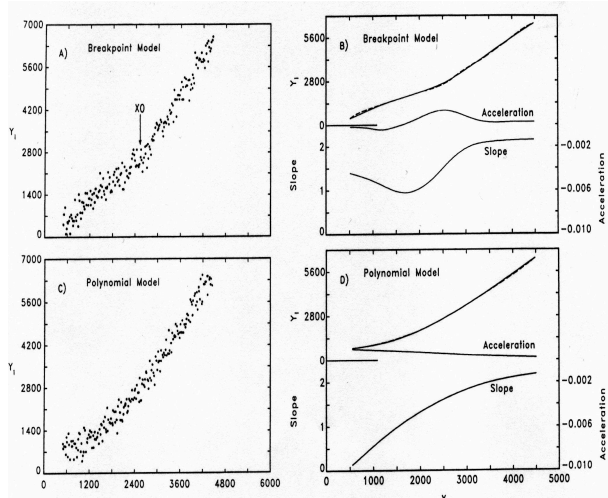
Figure 2. «log-log» method for determination of anerobic threshold.



ODREĐIVANJE ANAEROBNOG PRAGA IZ VENTILACIJSKIH PARAMETARA

Wasserman i sur. su 1964. prvi put objavili rad gdje se koristeći ventilacijskim parametrima određuje ventilacijski prag. (32) Od tada je više ventilacijskih parametara korišteno u određivanju anaerobnog praga.(5) Primitak kisika (VO_2) (Bunce i sur. 1987; Costill i sur. 1973; Davis i sur. 1976; Haverty i sur. 1988), ventilacija (Ve) (Davis i sur. 1976; Ivy i sur. 1980; Rusko i sur. 1980), izdatak CO_2 (VCO_2) (Beaver i sur. 1986; Rusko i sur. 1980) i omjer ventilacije i potrošnje kisika (Ve/VO_2) (Reiherd i sur. 1979; Wasserman i sur. 1981.). (10, 24, 29, 31, 33) Većina metoda zasniva se na tom da se jedan ili dva ventilacijska parametra postave u odnos sa stupnjem opterećenja te se njihov odnos grafički prikaže. Na grafu se vizualno nađe točka gdje započinje nelinearan rast krivulje i pripadajuća vrijednost je anaerobni prag. (1, 2, 5)

Slika 3. Prikaz «V sloap» metode.
Figure 3. «V sloap» method.



Danas se u praksi najčešće koristi metoda određivanja anaerobnog praga Beaver-a i Wassermana koju su prvi put objavili 1986 godine. (5) Njihova ideja bazira se na činjenici da se povećava količina izdahnutog CO_2 (VCO_2) pri povećanoj koncentraciji laktata u krvi. Razlog povećanja VCO_2 je taj što pri porastu koncentracije laktata dolazi do povećane koncentracije H^+ iona koji se neutraliziraju bikarbonatnim puferom (HCO_3^-) i pri tome dolazi do povećanog stvaranja CO_2 . Analiziraju odnos VCO_2 kao funkcije VO_2 tokom progresivnog testa opterećenja. Metoda određivanja anaerobnog praga koristi regresijsku analizu krivulje u svrhu određivanja točke kad dolazi do početka intenzivnijeg rasta vrijednosti VCO_2 . Metoda se još naziva «V-sloap». (5)

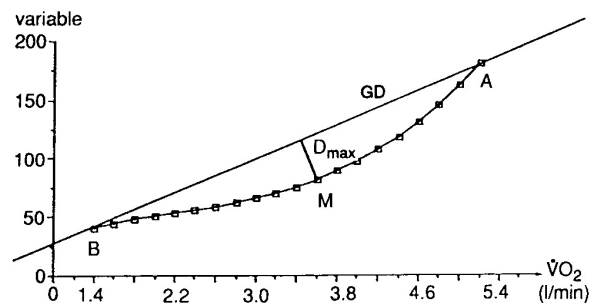
Sherrill i suradnici razvijaju metodu gdje analizirajući odnos VCO_2 i VO_2 koriste neparametrijsku regresijsku analizu (Polynomial smoothing splin) u svrhu određivanja vrijednosti anaerobnog praga tokom progresivnog testa opterećenja. (30) Namjera je bila da se novim postupkom odredi vrijednost VO_2 kad počinje značajnije rast vrijednost VCO_2 u disproporciji sa VO_2 . Autori zapažaju da se neparametrijskom regresijskom analizom dobivaju dvije točke promjene smjera. Prvu točku nazivaju ventilacijskim pragom (VT), a drugu respiracijskom kompenzacijskom točkom (RC) koja se javlja pri višim vrijednostima VO_2 nego ventilacijski prag. Respiracijska kompenzacijska točka označava početak respiracijske kompenzacije zbog metaboličke acidoze. Do pojave RC minutna ventilacija jednako se ponaša kao VCO_2 da bi poslije pojave RC ventilacija rasla ubrzano.

Cheng i Kuipers 1992. godine opisuju novi postupak koji nazivaju D-max za određivanje anaerobnog praga. (9) Autori svoj postupak uspoređuju sa do tada najčešće korištenim postupcima. Cilj istraživanja je bio određivanje anaerobnog praga iz ventilacijskih varijabli i laktata korištenjem jedinstvenog postupka. Mjerenje je

provedeno na uzorku od osam biciklista koji su testirani na bicikl ergometru. Test je započinjao s opterećenjem od 100 W kojih se svakih 5 minuta povećavalo za 50 W. U momentu kad ispitanik dosegne vrijednost pulsa od 160 otkucaja u minuti opterećenje se povećava svakih 2,5 minute. Uzorak krvi uzimao se u zadnjih 30 sekundi prilikom svakog stupnja opterećenja. Matematička analiza pokazala je da regresija trećeg stupnja najbolje opisuje odnos između varijabli iz kojih se izračunava anaerobni prag (ventilacije, frekvencija disanja, VCO_2 , laktati) u odnosu na primitak kisika. Odredi se početna i završna točka regresijske krivulje, te se kroz te dvije točke provuče pravac. Pravac određuje osnovni smjer promjene varijabla. Nakon toga odredi se na krivulji točka koja je na krivulji najudaljenija od pravca. Ona predstavlja promjenu trenda i autori smatraju da ona odgovara anaerobnom pragu. (9)

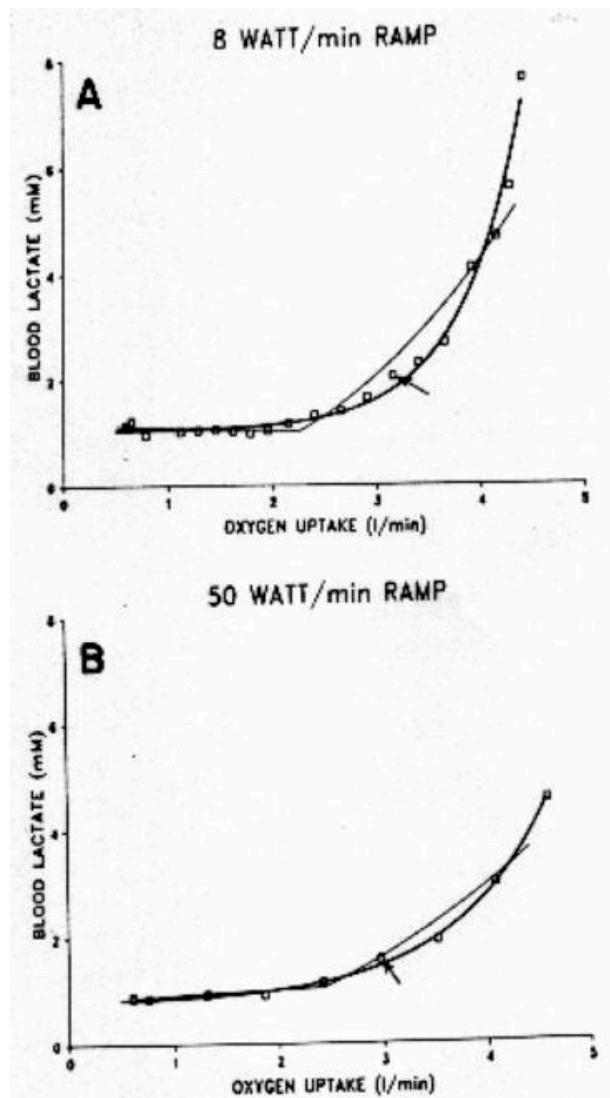
Statističkom obradom pokazalo se da ne postoji statistički značajna razlika u vrijednosti anaerobnog praga ukoliko koristimo različite ventilacijske i metaboličke parametre.

Slika 4. D-max metoda. Pravac između točaka (BA) određuje smjer promjene varijable (GD). Točka M je maksimalna udaljenost pravca od krivulje.
Figure 4. D-max method. The line between points (BA) indicates the general direction in change of a variable (GD). The maximal distance from the curve to line is point M.



Hughson i suradnici zaključuju u svojem istraživanju da se koncentracija laktata u krvi tokom progresivnog opterećenja ponaša se kao kontinuirana funkcija. Na uzorku od 8 sportaša učinjena su 23 testa na bicikl ergometru sa progresivnim opterećenjem. Svake tri minute povećavalo se opterećenje za 50 W. (12,23,33) Koristili su dva različita matematička modela radi određivanja anaerobnog praga, te su ih međusobno usporedili. Koristili su log-log model koji je prvi opisao Beaver 1985. godine. (4) Drugi model je bio kontinuirani eksponencijalni. Na temelju obrade podataka autori zaključuju da promjenu koncentracije laktata bolje opisuju kontinuirani eksponencijalni model, nego logaritamski. Autori to objašnjavaju na taj način što u organizmu ne dolazi do naglog povećanja laktata u jednom momentu, nego je taj porast blaži.

Slika 5. Prikaz eksponencijalnog modela.
Figure 5. Exponential model.



ZAKLJUČAK

Treba reći da danas postoji više definicija pojma anaerobnog praga. Neki znanstvenici čak smatraju da bi trebalo promijeniti i sam naziv pojma anaerobni prag, no on još uvijek danas dominira u svim znanstvenim radovima, te je isto tako uvriježen i u praktičnoj primjeni. Smatra se da je to ona točka pri određenom opterećenju koja odgovara nagloj promjeni u metabolizmu kada se počinje znatnije koristiti anaerobni izvori energije. Kada je termin uveden većina znanstvenika smatrala je da dolazi do naglog prelaska iz jednog fiziološkog stanja u drugo zbog limitirajuće opskrbe kisikom i početka korištenja anaerobnih izvora energije. (8, 11, 20, 21) Treba naglasiti da se dio energije i u mirovanju dobiva anaerobnim procesima. Metoda koja se najčešće koristi u praktičnom radu je metoda koja promatra linearni odnos VO_2 i VCO_2 . Najveća valjanost te metode je da ne ovisi o ventilacijskim parametrima (dubini i frekvenciji disanja).

Također, važno je naglasiti da metoda nije invazivna.

Literatura

1. Ahmaidi S, Hardy JM, Varray A, Collomp K, Mercier J, Prefaut C. Respiration gas exchange indices used to detect the blood lactate accumulation threshold during an incremental exercise test in young athletes. *Eur J Appl Physiol* 1993; 66: 31-6.
2. Anderson GS, Rhodes EC. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med* 1989; 8: 43-45.
3. Aunola S, Rusko H. Comparison of two methods for aerobic threshold determination. *Eur J Appl Physiol* 1988; 57:420-4
4. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60: 2020-2027.
5. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol* 1985; 59: 1936-1940.
6. Beneke R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Medi Sci Sports* 1995; 27:863-867.
7. Brooks GA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for the future. *Med Sci Sports* 1985; 17: 22-31.
8. Chasiotis D. Effects of adrenaline infusion on cAMP and glycogen phosphorylase in fast-twitch rat muscles. *Acta Physiol Scand* 1985; 125:537-540.
9. Cheng B, Kuipers H, Snyder A et al A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med* 1992; 13:518-522.
10. Davies SC, Iber C, Keene SA et.al. Effect of respiratory alkalosis during exercise on blood lactate. *J Appl Physiol* 1986;61:948-952.
11. Davis JA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports* 1985; 17: 6-18.
12. Haverty M, Kenney WL, Hodgson JL. Lactate and gas exchange responses to incremental and steady state running. *Br J Sp Med* 1988; 22: 51-54.
13. Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, et al. Justification of the 4.0 mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985; 6: 117-130.
14. Hollmann W: Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int J Sports Med* 1985; 6: 109-116.
15. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Physiol* 1979; 42: 25-34.
16. Lehmann M, Keul J, Huber G, Da Prada M. Plasma catecholamines in trained and untrained volunteers during graduated exercise. *Int J Sports Med* 1981; 2: 143-7.
17. Lehmann M, Keul J. Capillary-venous differences of free plasma catecholamines at rest and during graded exercise. *Eur J Appl Physiol* 1985; 54: 502-5.
18. Mader A, Heck H. A theory of the metabolic origin of anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1986; 7(Suppl): 45-65.
19. Mader A, Liesen H, Heck H, Phillipi H, Rost R, Scurch P, Hollmann W. Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt Sportmed* 1976; 27: 80-8,109-12.
20. McLellan TM, Cheung KSY, Jacobs I. Incremental test protocol, recovery mode and the individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1991; 12:190-5.
21. McLellan TM, Jacobs I. Reliability, reproducibility and validity of the individual anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol* 1993; 67: 125-31.
22. Neary PJ, MacDougall JD, Bachus R, Wenger HA. The relationship between lactate and ventilatory thresholds: coincidental or causal effect? *Eur J Appl Physiol* 1985; 54: 104-1098.
23. Orr GW, Green HJ, Hughson RL, Bennett GW. A computer linear regression model to determinate ventilatory anaerobic threshold. *J Appl Physiol* 1982; 52: 1349-1352.
24. Reinhard U, Muller PH, Schmulling RM. Determination of anerobic threshold by ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration* 1979; 38: 36-42.
25. Rucker K, Schotte O, Niess A, Dickhuth HH. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 1552-7.
26. Rucker K, Striegel H, Freund T, Dickhuth HH. Relative functional buffering capacity in 400-metar runners, long-distance runners and untrained individuals. *Eur J Appl Physiol* 1994; 68: 430-4.
27. Schneider DA, McGuiggin Me, Kamimori GH. A comparison of the blood lactate and plasma catecholamine thresholds in untrained male subjects. *Int J Sports Med* 1992; 13: 562-6.
28. Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sport Med* 1981; 2: 23-26.
29. Stainsby WN, Sumners C, Eitzman PD. Effects of catecholamines on lactic output during progressive working contractions. *J Appl Physiol* 1985; 59: 1809-14.
30. Stainsby WN, Sumners C, Ertzman PD. Effects of catecholamines on lactic acid output during progressive working contractions. *J Appl Physiol* 1985; 59: 1809-1814.
31. Stegman H, Kinderman W, Schnabel A. Lactat kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1981; 2: 160-165.
32. Wasserman K, McIlroy M. Detection of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964; 14: 844-52.
33. Weltman A. *The Blood Lactate Response to Exercise*. Champaign, Illinois:Human Kinetics;1995.