

NEKI METABOLIČKI I VENTILACIJSKI PARAMETRI VRHUNSKIH HRVATSKIH VESLAČA PRI ISCRPLJUJUĆEM RADU NA VESLAČKOM ERGOMETRU

Davor Šentija i Stjepan Heimer

Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu

Izvorni znanstveni članak

UDK: 612.12:797.123

Primljeno: 10.05.93.

Prihvaćeno: 10.06.93.

Sažetak:

Ventilacijski i metabolički parametri mjereni su u 29 vrhunskih hrvatskih veslača otvorenom spiroergometrijskom metodom tokom testa s progresivnim opterećenjem na veslačkom ergometru. Maksimalni minutni volumen disanja kretao se od 147 do 232 l/min, dok je maksimalni primitak kisika u prosjeku iznosio 5,59 l/min, odnosno 65,0 ml/kg*min, pri frekvenciji srca od 175 do 211/min. i pulsu kisika od 26,3 do 34,3 ml O₂/sistoli. Visoke prosječne vrijednosti respiracijskog kvocijenta (RQ = 1,12) i ekspiriranog ugljičnog dioksida (VCO₂ = 6,26 l/min) ukazuju na izrazito učešće anaerobnih izvora energije i iscrpljujući karakter testa. Pri anaerobnom pragu (pri koncentraciji mliječne kiseline u krvi od 4 mmol/L) prosječni primitak kisika iznosi 4,85 ± 0,44 l/min (86 ± 3% VO₂max) uz ergometrijski učinak od 305 ± 28 W. Visoke vrijednosti aerobnog kapaciteta hrvatskih veslača u rangu su s rezultatima vrhunskih veslača drugih zemalja, što s obzirom na mladost (prosječna dob 20 godina) i kvalitetne uvjete za razvoj, obećava dobru perspektivu hrvatskog veslanja.

Ključne riječi: veslanje, veslački ergometar, vrhunski sport, metabolički parametri, ventilacijski parametri

Abstract

SOME METABOLIC AND VENTILATORY PARAMETERS OF ELITE CROATIAN OARSMEN DURING EXHAUSTING WORK ON THE ROWING ERGOMETER

On the sample of 29 elite Croatian oarsmen we have measured the ventilatory and metabolic parameters by means of the open spiroergometric method during incremental exercise test on a rowing ergometer. The maximum ventilation ranged from 147 to 232 l/min, whereas the average maximum oxygen uptake amounted to 5.59 l/min, i.e. 65.0 ml/kg*min, heart rate ranging from 175 to 211/min, and the oxygen pulse 26.3 to 34.3 ml O₂/systole. High average figures of the respiratory quotient (RQ = 1.12) and of the expired carbon dioxide (VCO₂ = 6.26 l/min) show both significant participation of anaerobic energy sources, and the exhausting character of the test. At the anaerobic threshold (with the concentration of the lactic acid in blood of 4 mmol/L) the average oxygen uptake amounts to 4.85 ± 0.44 l/min (86 ± 3% VO₂ max) at the workload of 305 ± 28 W. High values of aerobic capacity of Croatian oarsmen correspond to the results of elite oarsmen from other countries. This represents a good basis for further improvement of Croatian oarsmen if we take into consideration their youth (the average age is 20) and

Zusammenfassung

EINIGE METABOLISCHE UND VENTILATIONSPARAMETER DER KROATISCHEN SPITZENRUDERER BEI DEM ERSCHÖPFENDEN TRAINING AUF RUDERERGOMETER

Ventilations- und metabolische Parameter wurden bei 29 kroatischen Spitzenruderern während des Tests mit progressiver Belastung auf Ruderergometer nach der spiroergometrischen Methode gemessen. Die maximale Ventilation variierte zwischen 147 und 232 l/min, während die maximale Sauerstoffaufnahme im Durchschnitt 5,59 l/min bzw. 65,0 ml/kg betrug, bei der Herzfrequenz von 175 bis 211/min und Sauerstoffpuls von 26,3 bis 34,3 ml O₂/Systole. Die hohen Durchschnittswerte des respiratorischen Quotients (RQ=1,12) und des ausgeatmeten Kohlendioxyds (VCO₂=6,26 l/min) weisen auf ausgesprochene Beteiligung der anaeroben Energiequellen und auf den erschöpfenden Charakter des Tests. Auf der anaeroben Schwelle (bei der Konzentration der Milchsäure im Blut von 4 mmol/L) beträgt die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme 4,85 ± 0,44 l/min (86 ± 3% VO₂ max) bei der ergometrischen Leistung von 305 ± 28 W. Die hohen Werte der aeroben Kapazität der kroatischen Sportrunderer sind im Rang der Resultate der

good training conditions.

Key words: rowing, rowing ergometer, top sport, metabolic parameters, ventilatory parameters

Spitzensportlerern aus anderen Ländern, was, weil das Durchschnittsalter unserer Ruderer 20 Jahre beträgt, und weil dafür die qualitativ guten Voraussetzungen bestehen, eine gute Perspektive dem kroatischen Rudersport sichert.

Schlüsselwörter: Rudern, Ruderergometer, Spitzensport, metabolische Parameter, Ventilationsparameter

1. Uvod

U veslanju natjecanje se izvodi na veslačkoj stazi dužine 2000 m, uz frekvenciju od 28 do 40 zaveslaja (ciklusa) u minuti, u trajanju od 5 1/2 do 8 minuta, ovisno o kategoriji i brzini čamca. Natjecateljski uspjeh određuju različiti faktori, uključujući motivaciju, tehničko-taktičke sposobnosti i energetske kapacitete, odnosno snagu koju veslači mogu ispoljiti u toku regate. Energetske se potrebe u toku trke pokrivaju pretežno iz aerobnih izvora^{1, 2, 3}.

Mjerenje maksimalnog primitka kisika (VO_{2max}) i laktatnog anaerobnog praga (AP) najprikladnije su metode za procjenu funkcionalne sposobnosti, tj. specifične izdržljivosti u veslanju. Mjerenja metaboličkih i plućnih parametara pri maksimalnom opterećenju pokazuju da vrhunski veslači postižu najveće vrijednosti uopće pojedinih spiroergometrijskih parametara ($VO_{2max} > 6,5$ l O_2 /min, $MVD_{max} > 240$ l/min)^{4,5}.

Cilj je rada ustvrditi funkcionalne karakteristike vrhunskih hrvatskih veslača pri progresivnom opterećenju na veslačkom ergometru, značajnih za uspjeh u natjecateljskom veslanju te ih usporediti s rezultatima inozemnih istraživanja.

Uzorak i metode rada

Istraživanje je provedeno u vremenu od 19. prosinca 91. do 14. siječnja 92. godine na 29 veslača, od kojih je 13 kandidata za OI '92. u Barceloni.

Vitalni kapacitet (VK), forsirani ekspiracijski volumen u prvoj sekundi (FEV₁) i Tiffeneauov indeks (TI) izmjereni su na spirometru Vitalograph^{RM}. Svi su

Tablica 1. Antropometrijske i spirometrijske vrijednosti

N=29	DOB (god)	VIS (cm)	TEŽ (kg)	VK (L)	FEV1 (L)	TI (%)
X	20.0	188.4	86.3	6.63	5.81	88
SD	2.6	4.1	4.2	0.63	0.64	5.8
MIN-MAX	17-26	181-19	77-96	5.4-8.1	4.7-7.3	78-97

X=aritmetička sredina, SD=standardna devijacija, MIN-MAX=minimalna i maksimalna vrijednost

volumeni korigirani s BTPS faktorom.

Ergometrijsko testiranje izvršeno je na veslačkom ergometru "Concept II" (Morisville, Vermont), koji omogućava vrlo vjernu simulaciju opterećenja u čamcu, uz kontinuirano praćenje podataka o opterećenju (u Watt-ima, m/s ili Kal/h), frekvenciji zaveslaja i izvršenom radu (u metrima i joulima) za svaki zaveslaj posebno kao i za ukupno trajanje rada. Primijenjen je diskontinuirani progresivni test sa pet stupnjeva opterećenja u trajanju od 4 minute. Ako nakon 4. stupnja opterećenja koncentracija mliječne kiseline u krvi nije prešla prag od 4 mmol/L, primijenjen je dodatni šesti stupanj opterećenja. U pauzama od 2 minute između pojedinih opterećenja, vađena je krv iz ušne resice nakon 1. minute stanke, radi određivanja laktatnog anaerobnog praga⁶. Koncentracija mliječne kiseline u krvi određivana je aparatom "Lactate analyser YSI MODEL 23L" Yellow Springs Instr. Co. Početno opterećenje podešeno je individualno prema sposobnostima i stupnju treniranosti, dok je kod posljednjeg opterećenja, u trajanju od tri minute, zahtijevan maksimalni intenzitet u posljednjih 90 sekundi, kako bi se dostigle maksimalne vrijednosti aerobnog kapaciteta. Za mjerenje primitka kisika i ostalih spiroergometrijskih parametara korišten je EOS-Sprint (Erich JAEGER GmbH & Co, Wuerzburg), automatski i mobilni sistem koji omogućava jednostavno i dinamičko mjerenje respiracijskih, metaboličkih i ventilacijskih parametara u vremenskim intervalima od 30 sekundi. Instrument sadrži vrlo osjetljive senzore za O_2 , CO_2 , ekspiratorni volumen, frekvenciju disanja, temperaturu i barometarski tlak, a kontinuirani grafički i numerički ispis spiroergometrijskih vrijednosti omogućava softverski paket priključenog Epsona PC AX3_s računala. Frekvencija srca također je kontinuirano praćena pomoću elektrokardiografa.

REZULTATI I DISKUSIJA

Antropometrija i spirometrija

Osnovne antropometrijske i spirometrijske karakteristike ispitanika - dob (DOB), visina (VIS), težina (TEŽ), vitalni kapacitet (VK), forsirani ekspiratorni volumen u prvoj sekundi (FEV_1) i Tiffeneauov indeks (TI) - prikazane su u tablici 1. U veslanju najbolji se natjecateljski rezultati postižu između 20. i 30. godine. Većina je naših najboljih veslača tek na početku seniorske karijere, a troje se još uvijek natječe u juniorskoj konkurenciji. Tjelesna težina i visina najboljih hrvatskih veslača ($86,3 \pm 4,2$ kg, $188,4 \pm 4,1$ cm) u skladu je s prosječnim vrijednostima najboljih svjetskih posada^{2, 3, 4, 5, 7}, te ukazuje na značaj ovih antropometrijskih parametara (tj. na značaj ukupne mišićne mase i dužine poluga) kao determinirajućih faktora uspjeha u veslanju. Vrlo su visoke i vrijednosti osnovnih plućnih parametara - vitalnog kapaciteta ($6,63 \pm 0,63$ l), a osobito, sekundnog kapaciteta ($5,81 \pm 0,64$ l); Hagerman i sur.⁷ navode slične vrijednosti (VK = 6,9 l, $FEV_1 = 5,4$ l) za 13 članova američkog olimpijskog tima.

Spiroergometrija

Pri ergometrijskom testiranju registrirani su sljedeći metabolički i ventilacijski parametri: minutni volumen disanja (MVD, l/min), frekvencija disanja (FD, l/min), primitak kisika (VO_{2max} , l/min), relativni primitak kisika (VO_{2max}/kg , ml/min*kg), ventilacijski ekvivalent kisika ($VEQ O_2$, l/ O_2), frekvencija srca FS_{max} , 1/min), puls kisika (PO_2 , VO_2/FS), ekspirirani ugljični dioksid (VCO_2 , l/min) i respiracijski kvocijent (RQ). Kako je primarni cilj trominutnog testa (posljednje faze progresivnog testa s maksimalnim opterećenjem) na veslačkom ergometru da se dostigne maksimalni aerobni kapacitet ispitanika, u tablici 2 prikazane su vrijednosti spomenutih parametara pri maksimalnom primitku kisika. Linearnom interpolacijom određen je anaerobni prag pri koncentraciji mliječne kiseline u krvi od 4 mmol/L_c. Vrijednosti funkcionalnih parametara pri anaerobnom pragu prikazane su u tablici 3.

Ventilacija

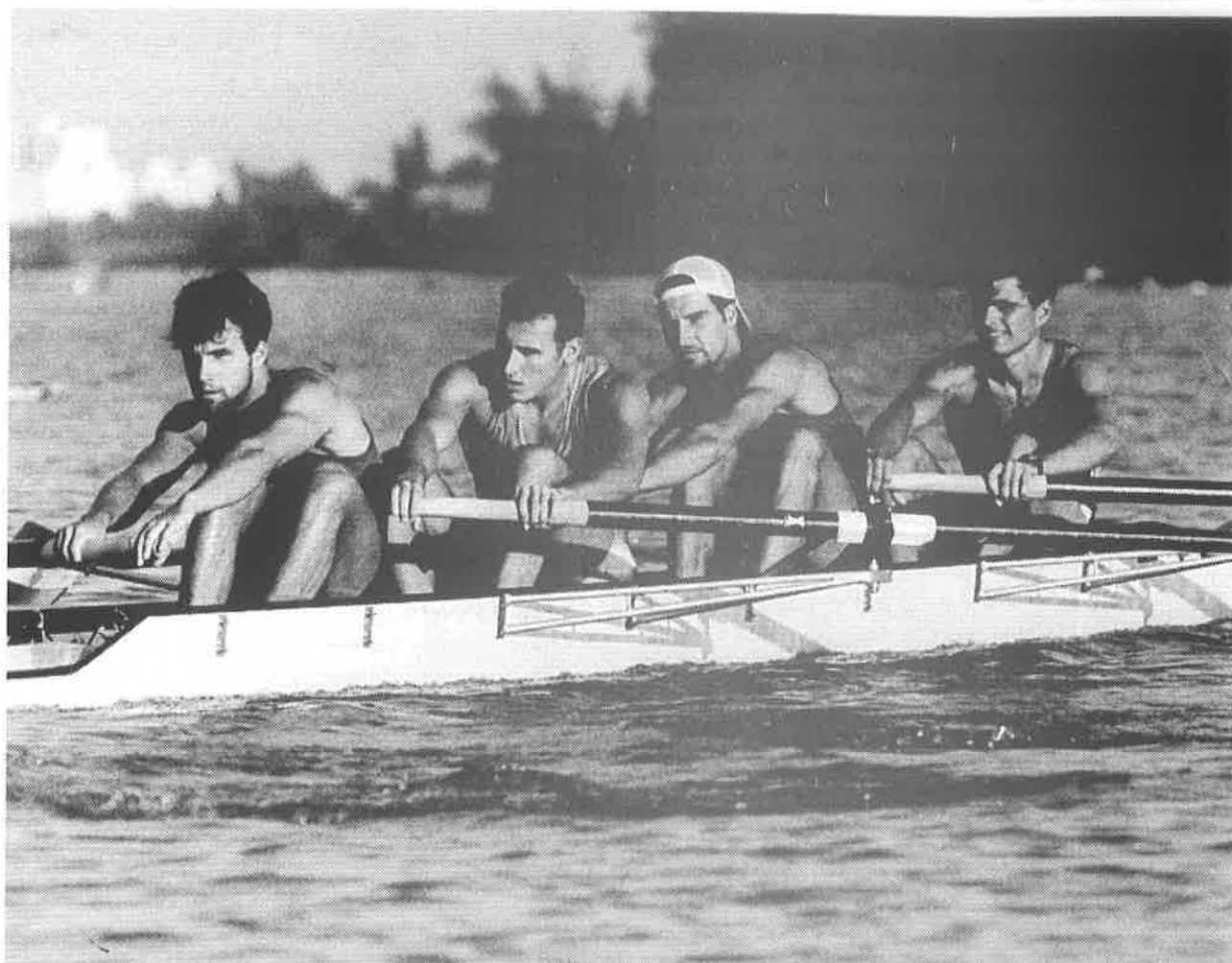
Brojni autori ukazuju da plućna ventilacija ne predstavlja ograničavajući faktor aerobnog kapaciteta neovisno o intenzitetu ili trajanju (sportske) aktivnosti^{8,9}. Naime, bez obzira na intenzitet rada, arterijska krv iz plućne cirkulacije, u sportaša je uvijek gotovo 100% oksigenirana. No energetska potrošnja, tj. ekonomičnost, plućne ventilacije može znatno varirati, ovisno o frekvenciji disanja i dišnom volumenu. U veslanju je frekvencija disanja zadana frekvencijom zaveslaja i iznosi 1 - 2 respiracijska ciklusa po zaveslaju - inspirij u fazi provlaka, ekspirij u fazi zamaha. Izmjerene visoke vrijednosti MVD ($x = 186 \pm 21$ l/min, 147 - 232 l/min) u skladu su s vrijednostima veslača međunarodnog ranga^{2,3,4}. Novacki i sur.¹⁰ navode vrijednost MVD_{max} od čak 288 l/min u jednog člana njemačkog olimpijskog osmerca. Cunningham i sur.³ navode više vrijednosti MVD_{max} kao i $VEQ O_2$ veslača pri testiranju na biciklergometru nego na veslačkom ergometru, objašnjavajući to nepovoljnim ščućnutim položajem tijela u početnoj fazi provlaka što uz pritisak visceralnih organa prema gore ograničava kontrakciju dijafragme pri inspiriju. Nešto niži MVD djelomično je kompenziran većom ekonomičnošću ventilacije (niži $VEQ O_2$), tj. boljim perifernim iskorištenjem kisika, te se aerobni kapacitet mjeren veslačkim i biciklergometrom ne razlikuju značajno.

Aerobni kapacitet

Vrhunski su veslači populacija, ne samo među sportašima već i uopće, s najvećim aerobnim kapacitetom, mogli bi reći graničnim vrijednostima za čovjeka. U literaturi se navode pojedini veslači s maksimalnim primitkom od preko 7 litara kisika u minuti¹⁰. Visok aerobni kapacitet hrvatskih veslača ($x=5,59 \pm 0,38$ l O_2 /min, 4,92 - 6,76 l O_2 /min) u rangu je^{2,3,4,5} ili nešto niži¹⁰ od maksimalnog primitka kisika veslača međunarodnog ranga. Zbog mlade dobi naših veslača ($20 \pm 2,6$ godina), uz adekvatan trening i porast mišićne mase, može se očekivati i značajniji porast $VO_2 max$. S druge strane, relativni maksimalni primitak kisika (VO_{2max}/kg tjelesne težine) nešto je niži, ali i manje značajan u veslača nego u vrhunskih sportaša drugih aerobnih disciplina kao što su npr. trčanje na duge pruge ili skijaško trčanje. Veslači, naime, u čamcu ne nose vlastitu

Tablica 2. Spiroergometrijske vrijednosti pri maksimalnom primitku kisika

N=29	MVD (L/min)	FD (L/min)	VO2max (L/min)	VO2max/kg (ml/min*kg)	VEQ O2	FS (1/min)	PO2 (ml)	VCO2 (L/min)	RQ
X	186	62	5.59	65.0	33.4	190	29.4	6.27	1.12
SD	20.7	8.8	0.38	4.2	2.6	8.3	2.1	0.53	0.08
MIN-MAX	147-232	44-89	4.9-6.8	57-74	29-39	175-211	26.3-34.3	5.1-7.4	.97-1.29



težinu tijela kao u spomenutim disciplinama, pa je važniji apsolutni aerobni kapacitet od relativnog.

Frekvencija srca i puls kisika

U kontroli i evaluaciji trenažnog procesa frekvencija srca, bez sumnje, najčešće je korišten parametar za procjenu intenziteta aktivnosti. Maksimalna frekvencija srca pretežno je nasljedno određena, opada sa starenjem, a treningom se ne mijenja značajno¹. Nešto niža maksimalna frekvencija srca pri radu na veslačkom ergometru³ objašnjava se većim udarnim volumenom srca uslijed veće mišićne pumpe (u veslanju aktivirana je gotovo cjelokupna muskulatura - ruku, nogu i trupa). Omjer između primitka kisika i frekvencije srca - puls kisika (PO_2) mnogo se

koristi pri funkcionalnim testiranjima budući daje vrlo korisne podatke o efikasnosti kardiovaskularnog sustava. Carey i sur.⁵ ($PO_2 = 29$) te Hagerman i sur.² ($PO_2 = 32,2$) navode slične ili nešto više vrijednosti kisikovog pulsa od hrvatskih veslača ($PO_2 = 29,4 \pm 2$ ml). Pojedine vrijednosti maksimalnog kisikova pulsa od 34, 38 i više ml O_2 po sistoli ukazuju na izvanrednu sposobnost srca kao pumpe u veslača. Prosječne su vrijednosti maksimalnog kisikova pulsa u drugim sportskim disciplinama¹⁰ (aerobnim i anaerobnim) značajno niže.

Izdatak CO_2 i respiracijski kvocijent

Količina izdahnutog ugljičnog dioksida (VCO_2) može, do određene granice, ukazati na veličinu akumuliranog laktatnog duga i puferskog kapaciteta. Pri prijelazu respiracijskog kvocijenta (VCO_2/VO_2) na vrijednosti preko jedinice pri aktivnostima većeg intenziteta, dolazi do znatnijeg uključivanja anaerobnih izvora energije (anaerobnom glikolizom), akumulacije mliječne kiseline u krvi i smanjenja vrijednosti pH uz znatan porast VCO_2 . Povećano izdavanje CO_2 potječe pretežno iz bikarbonatnog pufera, neutralizacijom vodikovih (H^+) iona disociranih iz mliječne kiseline^{12,13}.

Tablica 3. Anaerobni prag

N=29	VO2 (L/min)	%VO2max (%)	W (Watt)	t/500m (sek)	V (m/s)
X	4.85	86	305	1:45"	4.744
SD	0.44	8.1	28	3.0	0.136
MIN-MAX	4.3-6.1	80-93	272-370	1:38-1:49"	4.58-5.1

Anaerobni prag

Funkcionalni parametri pri anaerobnom pragu, tj. koncentraciji mliječne kiseline u krvi od 4 mmol/L, prikazani su u tablici 3; uz primitak kisika - apsolutni i izražen kao postotak VO_2max , prikazan je i intenzitet rada pri anaerobnom pragu u različitim jedinicama - m/s (v), Wattima (W), i kao vrijeme prolaza na 500 m (t/500m). Određivanje anaerobnog praga na veslačkom ergometru danas je već rutinski laboratorijski test neophodan za planiranje trenažnog procesa i procjenu stanja treniranosti veslača; dok se, naime, maksimalni primitak kisika ne mijenja značajno tijekom sezone, maksimalna razina pri kojoj se aerobni kapacitet može dugotrajno koristiti (anaerobni prag) oscilira značajno ovisno o stupnju treniranosti. Koerner i Schwanitz¹ navode da pri graničnoj vrijednosti laktata od 4 mmol/l u vrhunskih veslača primitak kisika treba iznositi oko 80-90%

od VO_2max , uz ergometrijski učinak od preko 350 W. Mahler i sur.¹⁴ navode prosječne vrijednosti anaerobnog praga od 78% VO_2max (na početku pripremnog perioda) i 89% VO_2max (na početku natjecateljske sezone), za članove američkog nacionalnog tima. Iznenadujuće su visoke vrijednosti primitka kisika pri anaerobnom pragu u odnosu na VO_2max u naših veslača ($AP_{4mmol} = 86\% VO_2max$), budući je testiranje izvršeno u početnom, zimskom pripremnom periodu.

Ekstezivna studija naših veslača - natjecatelja omogućit će stvaranje baze podataka u cilju razvoja fiziološkog profila veslača međunarodnog ranga. Valjanost testova maksimalnog intenziteta i njihova sličnost stvarnim natjecateljskim situacijama omogućena je upotrebom specifičnog veslačkog ergometra pri treningu i testiranju, rezultati kojih se mogu koristiti i pri selekciji za nacionalni i olimpijski tim u veslanju.

Literatura:

1. Koerner T, Schwanitz P (1985): *Rudern*, Sportverlag Berlin.
2. Hagerman FC, Connors MC, Gault JA, Hagerman GR, Polinski WJ (1978): Energy expenditure during simulated rowing. *J APPL PHYSIOL* 45(1):87-93.
3. Cunningham DA, Goode PB, Critz JB (1975): Cardiorespiratory response to exercise on a rowing and bicycle ergometer. *MED SCI SPORTS* 7(1):37-43.
4. Hagerman FC, David Lee W (1971): Measurement of oxygen consumption, heart rate, and work output during rowing. *MED SCI SPORTS* 3(4):155-160.
5. Carey P, Stensland M, Howard Hartley L. (1974): Comparison of oxygen uptake during maximal work on the treadmill and the rowing ergometer. *MED SCI SPORTS* 6(2):101-103.
6. Mader A i sur (1976): Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *SPORTARZT SPORTMED* 27:80-112.
7. Hagerman FC, Addington WW, Gaensler EA (1975): Severe steady state exercise at sea level and altitude in Olympic oarsmen. *MED SCI SPORTS* 7(4):275-9.
8. Ouellet Y, Poh SC, Becklake MR (1969): Circulatory factors limiting maximal aerobic exercise capacity. *J APPL PHYSIOL* 27:874-880.
9. di Prampero RE, Ferretti G (1990): Factors limiting maximal oxygen consumption in humans. *RESP PHYSIOL* 80:113-128.
10. Novacki PE, Krause R, Adam K (1969): Maximal oxygen uptake by rowing crew winning Olympic gold medal 1968. *PFLUEGERS ARCH* 312: R66.
11. Dal Monte A (1983): *La valutazione funzionale dell'atleta*. Sansoni Ed. Firenze, p.114-5.
12. Sutton JR, Jones NL (1979): Control of pulmonary ventilation during exercise and mediators in the blood: CO_2 and hydrogen ion. *MED SCI SPORT EXERC* 11:198-20.
13. Hirakoba K, Maruyama A, Inaki M, Misaka K (1992): Effect of endurance training on excessive CO_2 expiration due to lactate production in exercise. *EUR J APPL PHYSIOL* 64:73-7.
14. Mahler DA, Nelson WN, Hagerman FC (1984): *Mechanical and Physiological Evaluation of Exercise Performance in Elite National Rowers*. *JAMA* 252:496-499.