



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



**PROCENA MAKSIMALNE POTROŠNJE KISEONIKA POMOĆU GASNOG
ANALIZATORA I TRAKE ZA TRČANJE KAO MERA AEROBNE
SPOSOBNOSTI SPORTISTE**

- diplomski rad -

Mentor: Dr Olivera Klisurić

Kandidat: Jovana Vučić

Novi Sad, 2016

SADRŽAJ

UVOD.....	2
1. AEROBNA SPOSOBNOST	3
1.1. AEROBNI I ANAEROBNI METABOLIZAM	3
1.2. SILA , SNAGA I IZDRŽLJIVOST MIŠIĆA.....	4
1.3. ZNAČAJ AEROBNE SPOSOBNOSTI	5
2. MIŠIĆI U TOKU VEŽBANJA I STVARANJE ATP-A	6
2.1. ULOGA ATP-A U METABOLIZMU.....	6
2.2. METABOLIČKI SISTEMI U MIŠIĆIMA TOKOM VEŽBANJA	7
2.2.1. <i>Sistem fosfokreatin-kreatin</i>	7
2.2.2. <i>Sistem glikogen – mlečna kiselina</i>	8
2.2.3. <i>Aerobni sistem</i>	9
2.3. VRSTE SPORTOVA U KOJIMA SE KORISTE POJEDINI ENERGETSKI SISTEMI	10
2.4. HRANLIVE MATERIJE KOJE SE KORISTE U TOKU MIŠIĆNE AKTIVNOSTI.....	11
2.5. DISANJE U TOKU MIŠIĆNOG VEŽBANJA	12
2.6. KARDIOVASKULARNI SESTEM U TOKU VEŽBANJA	15
2.7. OPORAVAK METABOLIČKIH SISTEMA U MIŠIĆIMA POSLE MIŠIĆNOG RADA.....	18
3. METODE ZA ODREĐIVANJE MAKSIMALNE POTROŠNJE KISEONIKA	21
3.1. MAKSIMALNA POTROŠNJA KISEONIKA	21
3.2. PROCENA OSNOVNIH VENTILACIONIH FUNKCIJA	22
3.3. ERGOSPIROMETRIJA	24
3.4. SPRAVE I PROTOKOLI TESTOVA ZA PROCENU ENERGETSKIH KAPACITETA.....	25
3.5. PARAMETRI ZA PROCENU ENERGETSKIH KAPACITETA	28
3.6. PRIKAZ SVIH VARIJABLJI KORIŠĆENIH U TOKU MERENJA	29
4. OPIS MERENJA I REZULTATI	30
4.1. OPIS APARATURE	30
4.2. TOK PREGLEDA	33
4.3. REZULTATI I DISKUSIJA	36
ZAKLJUČAK	41
PRILOG.....	42
LITERATURA.....	45
BIOGRAFIJA	46

UVOD

Naučni interes za problem određivanja, praćenja i kontrole stepena treniranosti spotista razvio se u jedinstven integralni multidisciplinaran sistem, koji je napustio jednostavnu komplikacijsku osnovu i prerastao u specifičnu naučnu disciplinu sa intenzivnim razvojem pripadajuće metodologije. Ta naučna disciplina se naziva dijagnostika treniranosti sportista, koja je zbog svoje fenomenološke prirode prožeta veštinom, umetnošću i intuicijom, jer na žalost niz bitnih informacija za procenu stanja treniranosti sportista nije moguće objektivno meriti. Aplikativnost morfološke, funkcionalne i psihosocijalne dijagnostike u trenažnoj tehnologiji je toliko velika i specifična, da je na današnjem nivou razvoja poprimila autohtonost i autentičnost u sportu. Tumačenje pokazatelja ukupne treniranosti sportiste nije moguće samo parcijalnim poznavanjem određenih antropološkoh karakteristika, nego ono zahteva poznavanje karaktera njihovih međusobnih višestrukih interakcija i relacija u dinamičkom procesu adaptacije, usmerene u cilju podizanja visoke tolerancije na trenažna opterećenja. U tu svrhu neophodno je primeniti specifičnu metodologiju, određene merne instrumente i postupke, kao i metode obrade podataka. Ovim će se utvrditi značaj dobijenih rezultata i njihova neposredna povezanost sa ciljanim stepenom treniranosti i sportskim rezultatom.

Funkcionalna dijagnostika u sportu obuhvata široko područje, od registrovanja tzv. opštih funkcionalnih sposobnosti u rutinsko laboratorijskoj sportsko – medicinskoj praksi, preko dubljeg uvida u pojedine fiziološke i biohemiske procese do istraživanja i merenja na sportskim terenima. U užem smislu, pod funkcionalnom dijagnostikom se podrazumeva izučavanje funkcija organizma sportiste pred koga su postavljeni visoki zahtevi, sa ciljem da se odredi maksimalni adaptacioni kapaciteti za neku definisanu funkciju, koja je bitna za postizanje sportskog rezultata.

U ovom radu će biti prikazano merenje maksimalne potrošnje kiseonika pomoću gasnog analizatora i pokretne trake, kao jedna od najprimjenjenijih metoda pomoću koje se mogu precizno vrednovati sposobnosti kardiovaskularnog, respiratornog i mišićnog sistema.

1. Aerobna sposobnost

1.1. Aerobni i anaerobni metabolizam

Energija koja je potrebna organizmu u mirovanju, kao i za rad umerenog intenziteta dobija se aerobnim metaboličkim procesima, koji se odvijaju uz prisustvo kiseonika. Za razliku od aerobnih metaboličkih procesa, anaerobni metabolički procesi predstavljaju proces pri kome sportista ima ograničenu sposobnost da brzo dođe do energije bez prisustva kiseonika.

Aerobni metabolizam stvara energiju za rad mnogo sporije i takav tempo dobijanja energije nije dovoljan za vršenje fizičke aktivnosti visokog intenziteta, ali energija koja je dobijena na ovaj način dovoljna je za obavljanje umerenogviše časovnog inteziteta.

Aerobna sposobnost predstavlja sposobnost organizma da aerobnim metaboličkim procesima (oksidativnom razgradnjom ugljenih hidrata i slobodnih masnih kiselina) stvara energiju potrebnu za fizički rad. Veličina aerobne sposobnosti zavisi od funkcionalnog stanja svih organskih i metaboličkih sistema koji učestvuju u transportu kiseonika i korisćenju istog za stvaranje potrebne energije za rad. Kiseonik iz spoljašnjeg vazduha, preko gornjih disajnih puteva, stiže do alveola u plućima, odakle procesom difuzije preko alveolarnih membrana pristiže u plućne kapilare, tj. dospeva u krv. Hemoglobinski kapacitet krvi je sledeći sistem koji učestvuje u transportu kiseonika do tkiva (kiseonik u krvi prenosi se vezan za hemoglobin). Treći sistem predstavlja kardiovaskularni sistem čija je funkcija prenos kiseonika do tkiva i tu najbitniju ulogu ima minutni volumen srca. Na kraju, funkcionalni kapacitet mišića za pretvaranje kiseonika u energiju kao i sama mišićna masa imaju uticaj na veličinu aerobne sposobnosti.

Takođe, na veličinu aerobne sposobnosti utiču i nasledni faktor, pol, starosna dob i stepen fizičke aktivnosti. Ipak, na nivo aerobne izdržljivosti najviše utiče sposobnost srca da pri radu različitog intenziteta, povećanjem cirkulacije, doprema mišićima kiseonik koji je neophodan za stvaranje energije za rad.

Mera aerobne sposobnosti je maksimalna potrošnja kiseonika ($\text{VO}_{2\text{max}}$), tj. količina kiseonika koja se utroši za stvaranje energije pri radu maksimalnog intenziteta. $\text{VO}_{2\text{max}}$ se može izraziti kao absolutna vrednost u litrima ili mililitrima kiseonika u minuti (l/min ili ml/min) ili kao relativna vrednost u mililitrima po kilogramu telesne mase u minuti (ml/kg/min), što je objektivniji način izražavanja aerobne sposobnosti, jer na absolutnu vrednost $\text{VO}_{2\text{max}}$ u velikoj meri utiče telesna masa.

1.2. Sila, snaga i izdržljivost mišića

Konačni zajednički imenilac uspeha u sportskim takmičenjima jeste šta mišići mogu da urade, odnosno koju silu mogu da razviju kada je to potrebno, koliku snagu mogu da postignu tokom obavljanja rada i koliko dugo takva njihova aktivnost može da traje?

Jačinu mišića prevashodno određuje njegova veličina (masa), sa maksimalnom silom kontrakcije između 30 i 40 N/cm² površine poprečnog preseka mišića.

Sila održavanja dužine mišića veća je oko 40% od sile kontrakcije. To znači da sila koja nastoji da istegne već kontrahovan mišić (doskok posle skoka) mora biti oko 40% veća od sile kontrakcije koja se postiže skraćivanjem.

Mehanički rad koji mišić vrši jeste proizvod sile koju mišić razvija i dužine puta na kojoj ta sila deluje. Snaga mišićne kontrakcije je mera ukupne veličine rada koju mišić može da izvrši u zadatom vremenskom periodu. Snagu ne određuje samo sila mišićne kontrakcije, već i brzina i broj kontrakcija u minuti i izražava se u vatima (W). Mišić ima snagu od 1W ako rad od 1J obavi u jednoj sekundi, odnosno ako u jednoj sekundi deluje silom od 1N na putu od 1m.

$$P = A/t = F \cdot v$$

Maksimalna snaga koju kod visoko utreniranig sportiste mogu da ostvare svi mišići u telu zajedno, približno je prikazana u tabeli 1.2.

Tabela 1.2.1.

	W
Početnih 10-15s	1200
Sledeći minut	650
Sledećih pola sata	300

Izdržljivost je još jedna mera mišićne sposobnosti. Ona u velikoj meri zavisi od snabdevenosti mišića hranljivim supstratima, a prevashodno količine glikogena deponovanog u mišićima pre mišićnog rada. Osoba koja se hrani ugljenim hidratima deponuje u mišićima mnogo više glikogena nego osoba koja je na mešovitoj ishrani.

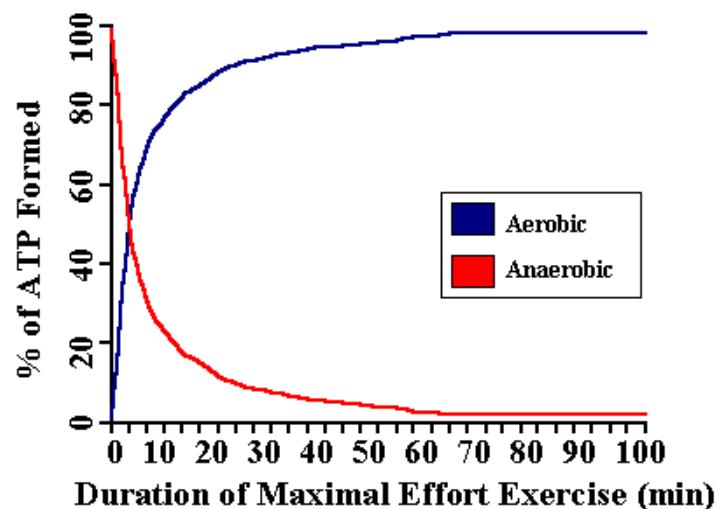
Kada atletičar trči brzinom kojom se obično trči maraton, približne vrednosti izdržljivosti merene vremenom tokom kojeg on može da trči neprekidno do potpune iscrpljenosti, kao i količina glikogena koja je deponovana u mišićima pre početka trke, prikazane su u tabeli 1.2.2.:

Tabela 1.2.2.

	t (min)	g/kg mišića
Ishrana bogata ugljenim hidratima	240	40
Mešovita ishrana	120	20
Ishrana bogata mastima	85	60

1.3. Značaj aerobne sposobnosti

Programirana fizička aktivnost aerobnog karaktera doprinosi smanjenju rizika prernog umiranja, moždanog udara, kardiovaskularnih oboljenja, hipertenzije, insulin-nezavisnog dijabetesa i osteoporoze, smanjuje osećaj depresije i anksioznosti, pomaže održavanju optimalne telesne mase, optimalnom razvoju i održavanju funkcionalne sposobnosti kostiju, mišića i zglobova. Aerobna sposobnost predstavlja podlogu, tj. bazu za usavršavanje ostalih, kako motoričkih tako i tehničkih i taktičkih sposobnosti u sportu, kao i same aerobne izdržljivosti. Ukoliko je aerobna izdržljivost na visokom nivou, sportista se teže zamara, ali i brže oporavlja nakon intenzivnih treninga i takmičenja, samim tim i koncentracija, koja je neophodna za izvođenje tehničkih i taktičkih elemenata određenog sporta, ostaje na visokom nivou u dužem vremenskom periodu. Ovakvu vrstu sposobnosti treba razvijati u pripremnom periodu, a održavati je tokom takmičarskog ciklusa. Na slici 1.3. prikazan je anaerobni i aerobni metabolizam u zavisnosti od dužine trajanja opterećenja .



Slika 1.3.

2. Mišići u toku vežbanja i stvaranje ATP-a

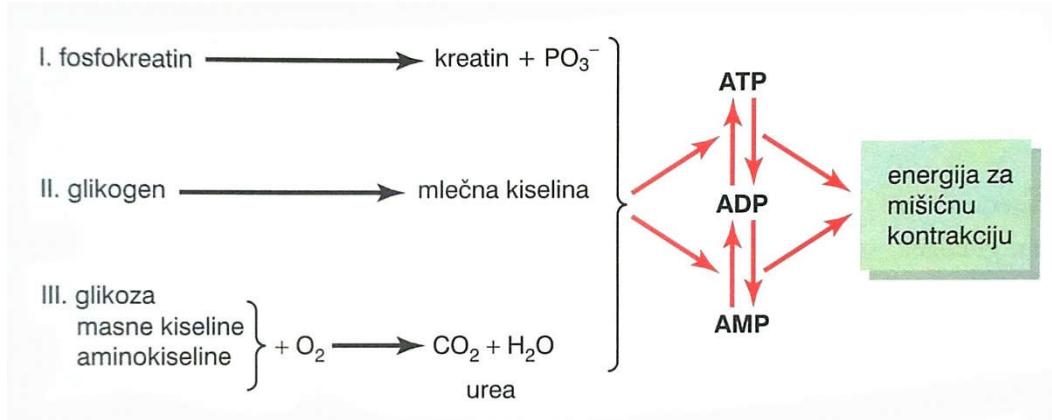
2.1. Uloga ATP-a u metabolizmu

Adenozin-trifosfat (ATP) je ključna veza između funkcionalnih sistema u kojima se energija troši i stvara u organizmu. Iz tog razloga se ATP naziva 'energetskim novcem tela', koji može stalno da se obnavlja i troši.

ATP je nestabilna hemijska supstanca koja se nalazi u svim ćelijama. On predstavlja kombinaciju adenina, riboze i tri fosfatna radikala, od kojih su poslednja dva fosfatna radikala vezana za ostatak molekula visokoenergetskim vezama.



Količina energije u svakoj od ovih visokoenergetskih veza po molu ATP jeste oko 7.300 kalorija (30,6kJ) ili čak nešto više u fiziološkim uslovima u organizmu. Kada se jedan fosfatni radikal odvoji iz molekula, za mišićnu kontrakciju može da se upotrebi 7.300 cal. Zatim kada se odvoji drugi fosfatni radikal, postaje dostupno još 7.300 cal. Odvajanjem prvog fosfatnog radikala, ATP se pretvara u adenozin-difosfat (ADP), a odvajanjem drugog, ADP se pretvara u adenozin-monofosfat (AMP).



Slika 2.1.

Količina ATP-a koja se nalazi u mišićima, čak i kod sportista koji su dobro utrenirani, dovoljna je za održavanje maksimalne snage mišića oko 3 sekunde (može biti dovoljno za $\frac{1}{4}$ sprinta na 100m). Zbog toga je neophodno, osim u prvih nekoliko sekundi, kontinuirano stvaranje novog ATP, čak i u toku kratkotrajne fizičke aktivnosti. Na slici 2.1. vidimo razgradnju ATP prvo u ADP, a zatim u AMP, uz oslobođanje energije za mišićnu kontrakciju. Na levoj strani slike 2.1. su prikazana tri različita metabolička puta odgovorna za stalno snabdevanje mišićnih vlakana adenozin-trifosfatom.

2.2. Metabolički sistemi u mišićima tokom vežbanja

Kvantitativno merenje aktivnosti tri metabolička sistema veoma je važno za razumevanje ograničenja fizičke aktivnosti. Metabolički sistemi su : sistem fosfokreatin-kreatin, sistem glikogen-mlečna kiselina i aerobni sistem.

2.2.1. Sistem fosfokreatin-kreatin

Fosfokreatin je još jedno hemijsko jedinjenje koje ima energijom bogatu fosfatnu vezu i sledeću formulu:

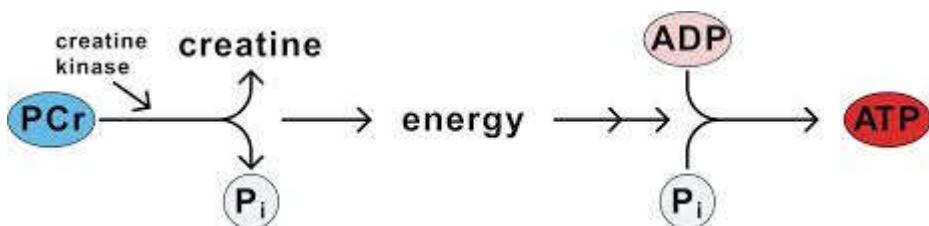


On se razgrađuje na kreatin i fosfatni ion, uz oslobođanje velike količine energije. Energija fosfatne veze u fosfokreatinu je malo veća u poređenju sa energijom bogatim fosfatnim vezama u ATP (10300 cal po molu u poređenju sa 7300 cal, tj. 43kJ u poređenju sa 30,6kJ). Zbog toga, fosfokreatin može obezbediti dovoljno energije za obnovu energijom bogatih fosfatnih veza ATP, slika 2.2.1. Nadalje, većina mišićnih vlakana ima dva do četiri puta veću količinu fosfokretina nego ATP.

Posebna je karakteristika prenosa energije sa fosfokreatina na ATP da se taj prenos odvija u deliču sekunde. Zbog toga je sva energija koja je deponovana u mišiću u obliku fosfokretina trenutno upotrebljiva za mišićnu kontrakciju, baš kao što je i energija deponovana u ATP.

Fosfokreatin i ATP koji se nalaze u ćeliji čine fosfageni energetski sistem. Zajedno mogu omogućiti maksimalnu snagu mišićne kontrakcije tokom 8 do 10 sekundi (što je jedva dovoljno za 100m sprinta).

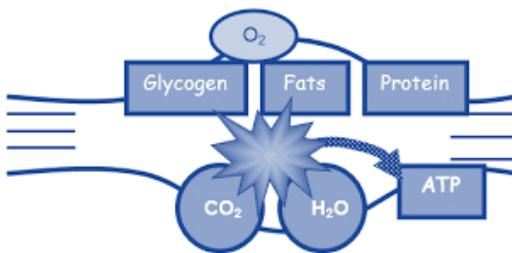
Dakle, energija iz energetskih bogatih fosfatnih jedinjenja koristi se za maksimalni ali kratkotrajni mišićni napor.



Slika 2.2.1.

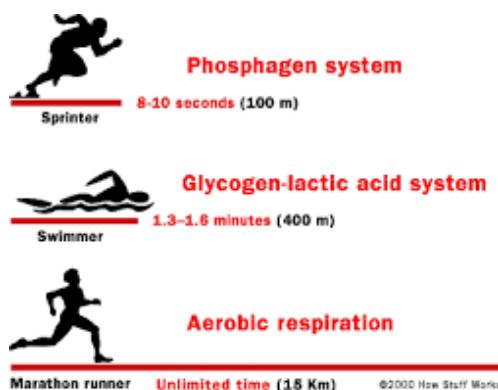
2.2.2. Sistem glikogen – mlečna kiselina

Glikogen koji je deponovan u mišićima može da se pretvori u glukozu koja se koristi za dobijanje energije, slika 2.2.2.1. Početna faza tog procesa koji se naziva glikoliza, odvija se bez kiseonika i predstavlja anaerobni metabolizam. U toku procesa glikolize svaki molekul glukoze razgrađuje se do dva molekula pirogrožđane kiseline. Energija oslobođena razgradnjom svakog molekula glukoze koristi se za sintezu četiri molekula ATP. Pirogrožđana kiselina ulazi u mitohondrije mišićnih vlakana, reaguje sa kiseonikom i stvara se mnogo više molekula ATP. Međutim, kada nema dovoljno kiseonika za drugu fazu metabolizma glikoze (oksidativna faza), veći deo pirogrožđane kiseline pretvara se u mlečnu kiselinu koja prelazi iz mišićnog vlakna u međućelijsku tečnost i krv. Veći deo mišićnog glikogena zbog nedostatka kiseonika pretvara se u mlečnu kiselinu u toku čijeg stvaranja nastaje i određena količina ATP.



Slika 2.2.2.1.

Druga je karakteristika sistema glikogen-mlečna kiselina da se molekuli ATP sintetišu 2.5 puta brže nego u toku oksidativnog metabolizma u mitohondrijama. Znači, kada su za mišićnu kontrakciju u toku nekog kratkog do umereno dugog vremena potrebne velike količine ATP, anaerobna glikoliza može da posluži kao brz izvor energije. Brzina stvaranja energije ovim sistemom otprilike je jednaka polovini brzine fosfagenog sistema. Pod optimalnim uslovima sistem glikogen-mlečna kiselina može da obezbedi energiju za dodatnih 1.3 do 1.6 minuta maksimalnog mišićnog rada (iako s malo smanjenom mišićnom snagom), posle 8 do 10 sekundi mišićnog rada za koji se energija obezbeđuje fosfagenim sistemom.



Slika 2.2.2.2. Prikazani su metabolički sistemi koji se koriste u određenim sportskim granama

2.2.3. Aerobni sistem

Aerobni sistem čine procesi oksidacije hranljivih supstrata u mitohondrijama koji služe za stvaranje energije u ćeliji. Glikoliza, masne kiseline i aminokiseline iz hrane, posle odgovarajuće obrade, reaguju sa kiseonikom, pri čemu se oslobađa velika količina energije koja se koristi za prevođenje AMP i ADP u ATP.

Upoređujući aerobni mehanizam snabdevanja ćelije energijom sa sistemom glikogen-mlečna kiselina i fosfagenim sistemom, dobijaju se relativne maksimalne brzine stvaranja ATP (mol ATP/min) prikazane u tabeli 2.2.3.1.:

Tabela 2.2.3.1.

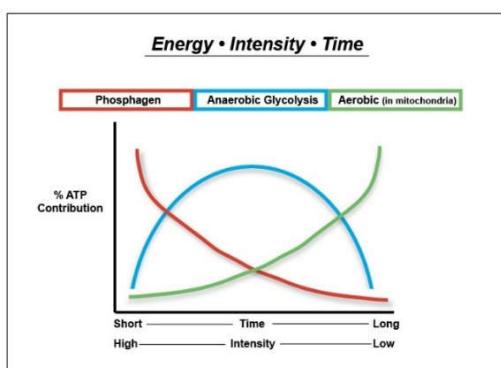
	Mol ATP/min
Fosfageni sistem	4
Sistem glikogen-mlečna kiselina	2.5
Aerobni sistem	1

S druge strane, kada se isti sistemi posmatraju u odnosu na izdržljivost (vreme tokom koga ovi sistemi mogu da obezbede energiju neophodnu za mišićni rad), tada su relativne vrednosti date u tabeli 2.2.3.2.:

Tabela 2.2.3.2.

	vreme
Fosfageni sistem	8 - 10 s
Sistem glikogen-mlečna kiselina	1.3 – 1.6 min
Aerobni sistem	Negraničeno (dok ima hranljivih materija)

Dakle, na slici 2.2.3. lako se može videti da mišići za postizanje velike snage, tokom nekoliko sekundi, koriste fosfageni sistem, dok se kod dugotrajnijeg sportskog napora koristi aerobni sistem. Između se nalazi sistem glikogen-mlečna kiselina, koji je posebno važan izvor dodatne snage na srednjim dugim trkama, kao što je trčanje od 200 do 800m.



Slika 2.2.3.

2.3. Vrste sportova u kojima se koriste pojedini energetski sistemi

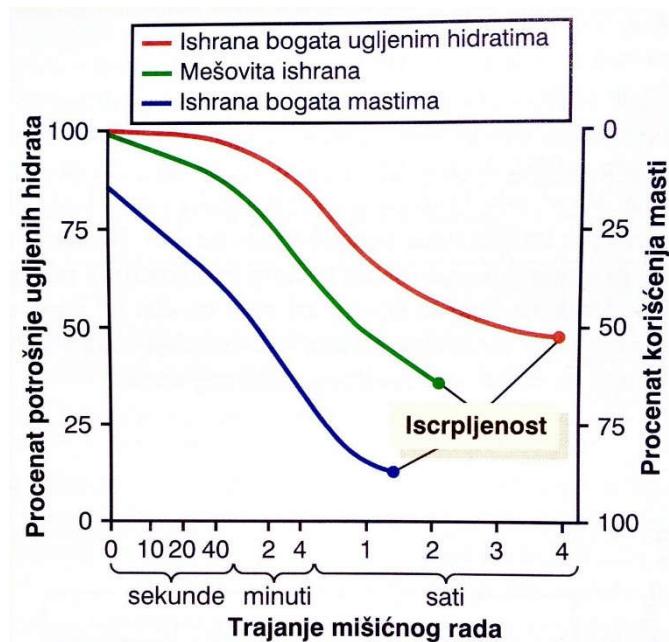
Razmatranjem težine i trajanja neke sportske aktivnosti, skoro tačno može da se odredi energetski sistem koji se upotrebljava za datu aktivnost, kao što je prikazano u tabeli 2.3.:

Tabela 2.3.

Fosfageni sistem (skoro u potpunosti)
Sprint na 100m
Skok u dalj
Dizanje tegova
Sprint pri igranju fudbala
Fosfageni sistem I sistem glikogen-mlečna kiselina
Sprint na 200m
Košarka
Sprint u hokeju na ledu
Sprint pri odbrani u bejzbolu
Pretežno sistem glikogen-mlečna kiselina
Sprint na 400m
Plivanje na 100m
Tenis
Fudbal
Sistem glikogen-mlečna kiselina i aerobni sistem
Sprint na 800m
Plivanje na 200m
Boks
Trčanje na 1.500m
Veslanje na 2.000m
Aerobni sistem
Skijaško trčanje u prirodi
Maraton (42,2km)
Rekreativno trčanje

2.4. Hranljive materije koje se koriste u toku mišićne aktivnosti

Pored velikog korišćenja ugljenih hidrata, pogotovu na početku fizičke aktivnosti, mišići za dobijanje energije koriste i velike količine masti u obliku masnih kiselina i acetosirćetne kiseline, a u mnogo manjoj meri protein u obliku aminokiselina. Čak i u najboljim uslovima, kod sportskih disciplina tipa izdržljivosti koje traju duže od 4 do 5 sati, zalihe glikogena u mišićima se skoro u potpunosti istroše, pa se iz njih ne može dobiti energija za mišićnu kontrakciju. Mišići tada zavise od energije iz drugih izvora, prevashodno iz masti.



Slika 2.4.

Na slici 2.4. nam je prikazan relativni odnos korišćenja ugljenih hidrata i masti za dobijanje energije u toku dugotrajne iscrpljujuće aktivnosti kod tri različite vrste ishrane:

- ishrana bogata ugljenim hidratima
- mešovita ishrana
- ishrana bogata mastima

Treba zapaziti da se u toku prvih nekoliko sekundi i minuta mišićnog rada najveća količina energije dobija iz ugljenih hidrata, ali kada se oni potroše, između 60 i 80% energije se dobija iz masti.

Energija dobijena iz ugljenih hidrata ne potiče samo iz glikogena uskladištenog u mišićima. U stvari, ista količina glikogena deponovana je i u jetri i u mišićima. Jetra može glukozu dobijenu iz glikogena da otpusti u krv, koju mišići zatim uzimaju kao izvor energije. Davanjem rastvora glukoze sportistima u toku takmičenja može se obezbediti 30-40% energije potrebne za dugotrajnu mišićnu aktivnost, kao što je maraton.

Zbog toga, ukoliko ima raspoloživog mišićnog glikogena i glukoze u krvi, to su materije iz kojih će se u toku intenzivne mišićne aktivnosti dobiti energija. Ali uprkos tome, može se očekivati da će se tokom dugotrajnih iscrpljujućih aktivnosti posle prvih 3-4 sata više od 50% energije obezbediti iz masti.

2.5. Disanje u toku mišićnog vežbanja

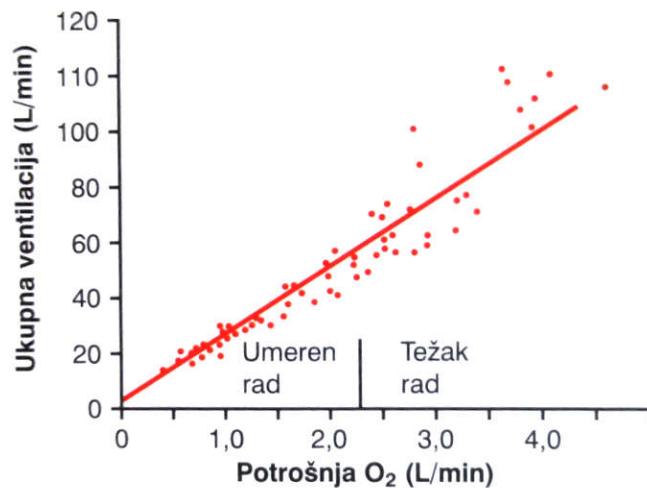
Strujanje vazduha između atmosfere i plućnih alveola predstavlja plućnu ventilaciju, odnosno disanje. Uloga disanja u toku sprinta relativno je mala, za razliku od uloge disanja koja je od odlučujuće važnosti za postizanje maksimalnog učinka u toku dugotrajnih sportskih aktivnosti.

1. Potrošnja kiseonika i plućna ventilacija u toku vežbanja

Potrošnja kiseonika kod mladog muškarca, u toku mirovanja, iznosi oko 250 mL/min. Međutim, ona se tokom maksimalnog napora može povećati približno do vrednosti prikazanih u tabeli 2.5.1.:

Tabela 2.5.1.

	ml/min
Prosečan netreniran muškarac	3600
Prosečan sportista	4000
Maratonac	5100



Slika 2.5.1.

Na slici 2.5.1. je prikazan odnos između potrošnje kiseonika i ukupne plućne ventilacije tokom različitih nivoa mišićnih aktivnosti. Iz ove slike je jasno, kao što je i očekivano, da je taj odnos linearan.

Potrošnja kiseonika i ukupna plućna ventilacija tokom maksimalnih fizičkih aktivnosti povećava se kod dobro utreniranog sportiste za oko 20 puta u odnosu na stanje mirovanja.

2.Ograničenja plućne ventilacije

Na pitanje, koliko mnogo opterećujemo svoj respiratorni sistem tokom fizičkih aktivnosti, odgovor dobijamo sledećim poređenjem prikazanim u tabeli 2.5.2.:

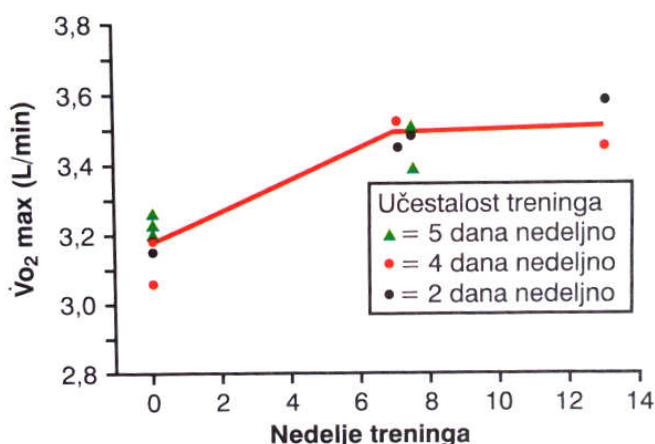
Tabela 2.5.2.

	I/min
Plućna ventilacija tokom maksimalnog mišićnog rada	100-110
Maksimalni minutni volumen disanja	150-170

Dakle, maksimalni minutni volumen disanja je tokom maksimalno intenzivne fizičke aktivnosti veći od aktuelne plućne ventilacije za oko 50%. To predstavlja faktor sigurnosti za sportiste, jer obezbeđuje povećanu ventilaciju u situacijama kao što su: fizička aktivnost na velikim visinama, fizička aktivnost na velikim vrućinama i poremećaji respiratornog sistema. Važno je naglasiti da, uobičajeno, respiratorni sistem nije faktor koji najviše ograničava snabdevanje mišića kiseonikom u toku maksimalnog mišićnog aerobnog metabolizma.

3.Efekat treninga na maksimalnu potrošnju kiseonika ($\dot{V}O_2 \text{ max}$)

$\dot{V}O_2 \text{ max}$ je skraćenica za maksimalnu potrošnju kiseonika pri maksimalnom aerobnom metabolizmu.



Slika 2.5.2.

Slika 2.5.2. nam prikazuje progresivan uticaj sportskog treninga na $\dot{V}O_2 \text{ max}$ zabeležen u grupi ispitanika koji na početku nisu bili trenirani, a zatim tokom 7 do 13 nedelja treninga. U ovom ispitivanju iznenađuje da se $\dot{V}O_2 \text{ max}$ povećao samo za oko 10%. Dalje učestalost treninga; bila ona 2 ili 5 puta nedeljno, ima mali uticaj na porast $\dot{V}O_2 \text{ max}$. Ipak, kao što je ranije naglašeno, $\dot{V}O_2 \text{ max}$ je kod maratonca za oko 45% veći nego kod netrenirane osobe. Deo ovog većeg $\dot{V}O_2 \text{ max}$ kod maratonca verovatno je uslovljen nasleđem. To znači da se maratonci biraju među onim osobama koje imaju veći grudni koš u odnosu na veličinu tela, kao i snažniju respiracionu muskulaturu. Isto tako, verovatno je i da dugogodišnji trening kod maratonca povećava $\dot{V}O_2 \text{ max}$ na vrednosti koje su znatno veće od 10%.

4.Difuzioni kapacitet za kiseonik kod sportiste

Difuzioni kapacitet za kiseonik je mera veličine difuzije kiseonika iz plućnih alveola u krv. Izražava se brojem mililitara kiseonika u toku jednog minuta koji, pri razlici parcijalnih pritisaka od 1 mm Hg, difunduje iz alveola u plućne krvne sudove. Tako, ako je parcijalni pritisak kiseonika u alveolama 91 mm Hg, a pritisak kiseonika u krvi 90 mm Hg, količina kiseonika koja će difundovati kroz respiracionu membranu svakog minuta jednak je difuzionom kapacitetu datim u tabeli 2.5.3.

Tabela 2.5.3.

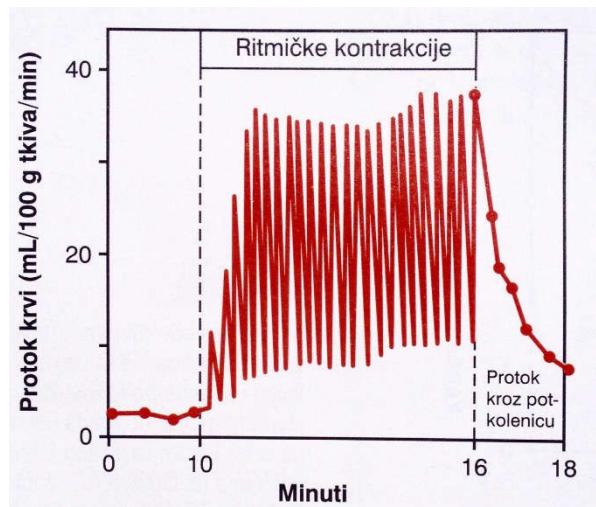
	ml/min
Netrenirani čovek u mirovanju	23
Netrenirani čovek pri maksimalnom fizičkom naporu	48
Plivač pri maksimalnom fizičkom naporu	71
Veslač pri maksimalnom fizičkom naporu	80

Tok krvi kroz plućne kapilare je veoma spor u stanju mirovanja, dok u toku mišićnog rada povećanje protoka u plućima izaziva maksimalnu perfuziju svih plućnih kapilara. Tako se ostvaruje znatno povećanje površine kroz koju kiseonik može da difunduje u kapilarnu krv pluća. Iz ovih vrednosti jasno je da sportisti kojima je potrebna veća količina kiseonika u minutu imaju veći difuzioni kapacitet.

2.6. Kardiovaskularni sistem u toku vežbanja

1. Protok krvi kroz mišiće

Krajnji zadatak kardiovaskularnog sistema u toku vežbanja jeste da dopremi potrebni kiseonik i hranljive materije mišićima koji rade. Zbog toga se protok krvi kroz mišiće u toku mišićnog rada višestruko povećava.



Slika 2.6.1.

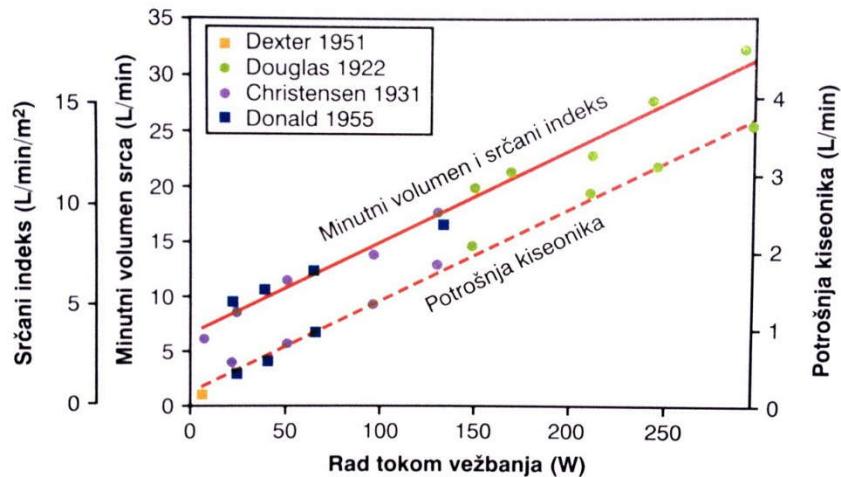
Slika 2.6.1. nam prikazuje promene u protoku krvi kroz potkolenicu čoveka u toku umereno snažnih, periodičnih mišićnih kontrakcija u periodu od 6 minuta. Važno je zapaziti ne samo povećanje protoka krvi za oko 13 puta već i smanjenje protoka za vreme svake mišićne kontrakcije.

Tabela 2.6.1.

	ml/100g mišićne mase/min
Protok krvi u mirovanju	3.6
Protok krvi pri maksimalnom radu	90

Tabela 2.6.1. prikazuje da se protok krvi u mišićima može maksimalno povećati oko 25 puta u toku vrlo intenzivnog mišićnog rada. Skoro jedna polovina ovog povećanja nastaje zbog intramuskularne vazodilatacije koju izaziva direktno dejstvo povećanog mišićnog metabolizma. Druga polovina je rezultat delovanja mnogobrojnih faktora, od kojih je verovatno najvažniji umereno povećanje arterijskog krvnog pritiska, obično za oko 30%, koje nastaje u toku mišićnog rada. Povećanje pritiska ne izaziva samo veći protok krvi kroz krvne sudove već i širi krvne sudove arteriola, pa tako još više smanjuje otpor proticanju krvi.

2. Veličina rada, potrošnja kiseonika i minutni volumen srca u toku vežbanja



Slika 2.6.2.

Slika 2.6.2. prikazan je odnos između obavljenog rada, potrošnje kiseonika i minutnog volumena srca u toku vežbanja. Svi oni direktno zavise jedan od drugog, jer mišićni rad linearnom zavisnošću povećava potrošnju kiseonika, a utrošak kiseonika pak dilatira krvne sudove mišića, čime se povećava venski priliv i minutni volumen srca. U tabeli 2.6.2. prikazane su vrednosti minutnog volumena srca za različite stepene mišićnog rada:

Tabela 2.6.2.

	I/min
Minutni volumen mladog muškarca u mirovanju	5.5
Maksimalni minutni volumen srca u toku mišićnog rada kod netreniranog muškarca	23
Maksimalni minutni volumen srca tokom mišićnog rada kod prosečnog maratonca	30

Dakle, zdrava netrenirana osoba može da poveća svoj minutni volumen srca malo više od četiri puta, dok dobro utrenirani sportista može da poveća svoj minutni volumen srca čak šest puta (oko 40% je veći od netrenirane osobe).

Iako je srce maratonca znatno veće od srca normalne, netrenirane osobe, njegov minutni volumen u mirovanju je skoro identičan onom kod netrenirane osobe. Međutim, ovaj normalni minutni volumen srca postiže se povećanjem udarnog volumena, uz smanjenje frekvencije srca.

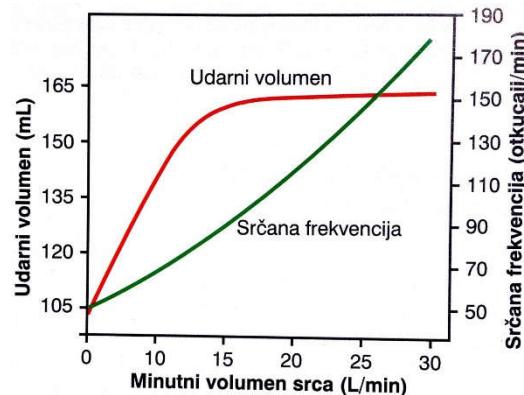
Poređenje udarnog volumena i frekvencije srca kod netrenirane osobe i maratonca dano je u tabeli 2.6.3.:

Tabela 2.6.3.

	Udarni volumen (ml)	Frekvencija srca (otk/min)
Mirovanje		
Netrenirana osoba	75	75
Maratonac	105	50
Maksimalni napor		
Netrenirana osoba	110	195
Maratonac	162	185

Kod dobro trenirane osobe efikasnost srca kao pumpe je pri svakom srčanom udaru za 40-50% veća nego kod netrenirane osobe, ali uz odgovarajuće smanjenje frekvencije srca u mirovanju. Udarni volumen se povećava sa 105 na 162 mL, što čini porast oko 50%, dok se frekvencija srca povećava od 50 do 185, što predstavlja porast od 270%.

Na slici 2.6.3. vidimo da u toku intenzivnog mišićnog rada porast frekvencije srca znatno više doprinosi većem minutnom volumenu srca nego što to čini porast udarnog volumena. Udarni volumen dostiže svoj maksimum u trenutku kada se minutni volumen srca poveća samo na polovinu svoje maksimalne vrednosti. Svako dalje povećanje minutnog volumena srca mora nastati samo povećanjem frekvencije srca.



Slika 2.6.3.

3. Odnos između efikasnosti kardiovaskularnog sistema i $VO_{2\text{max}}$

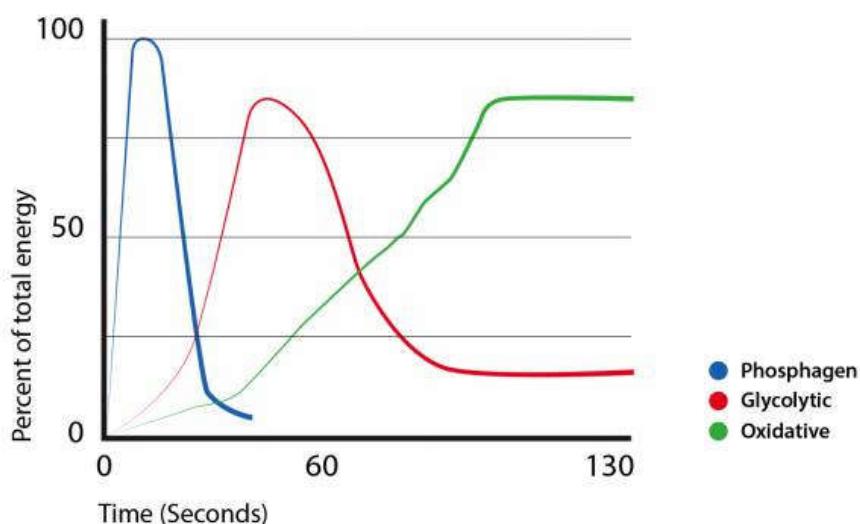
U toku maksimalnog mišićnog rada i frekvencije srca i udarni volumen povećaju se na oko 95% svojih maksimalnih vrednosti. Budući da je minutni volumen srca jednak proizvodu udarnog volumena i frekvencije srca, može se izračunati da je minutni volumen srca pri maksimalnom mišićnom radu oko 90% maksimalne vrednosti koju jedna osoba može postići. Ovo je različito od 65% maksimalne plućne ventilacije. Dakle, jasno je da u normalnim uslovima kardiovaskularni sistem znatno više ograničava $VO_{2\text{max}}$ nego respiratorni sistem, jer veličina potrošnje kiseonika u telu ne može biti veća od veličine dopremljenog kiseonika u tkiva putem kardiovaskularnog sistema.

Zbog toga se kaže da postignut uspeh maratonca prevashodno zavisi od njegovog srca, jer je to faktor koji najviše ograničava dopremanje dovoljnih količina kiseonika mišićima koji rade.

2.7. Oporavak metaboličkih sistema u mišićima posle mišićnog rada

Na isti način na koji se energija iz fosfokreatina može koristiti za resintezu ATP, tako je moguće i energiju dobijenu iz sistema glikogen-mlečna kiselina koristiti za resintezu i fosfokreatina i ATP. Tada se energija iz oksidativnog metabolizma aerobnog sistema može koristiti za obnavljanje svih drugih sistema: ATP, fosfokreatina i sistema glikogen-mlečna kiselina.

Obnavljanje sistema mlečne kiseline uglavnom znači uklanjanje suvišne mlečne kiseline akumulirane u svim telesnim tečnostima. To je veoma značajno zato što mlečna kiselina izaziva veliki zamor. Čak i tokom ranih faza teškog fizičkog rada dolazi do delimičnog smanjenje raspoložive aerobne energije. Ovo nastaje zbog dva razloga: (1) tzv. kiseoničkog duga i (2) smanjenja rezervi glikogena u mišićima.

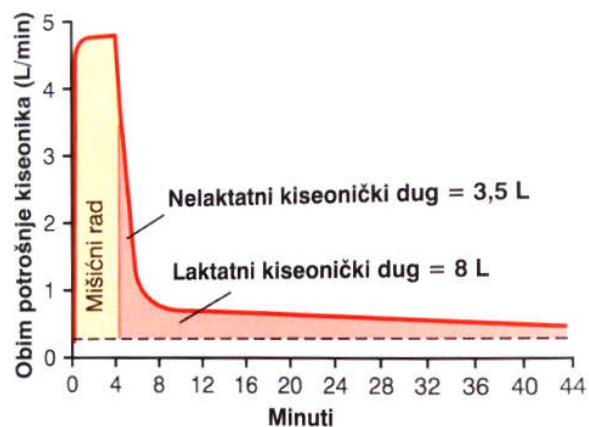


Slika 2.7.1.

1. Kiseonički dug

Telo normalno sadrži 2 L deponovanog kiseonika koji se može koristiti za aerobni metabolizam, čak i ako se ne udiše nova količina kiseonika. Ovaj kiseonik se nalazi u sledećim deponima: (1) 0.5 L je u vazduhu koji se nalazi u plućima, (2) 0.25 L je rastvoreno u telesnim tečnostima, (3) 1 L je vezan za hemoglobin u krvi i (4) 0.3 L je deponovano u samim mišićnim vlaknima uglavnom vezano za mioglobin (supstanca koja vezuje kiseonik slično hemoglobinu).

Tokom intenzivne fizičke aktivnosti skoro sav deponivan kiseonik se iskoristi u periodu od oko jednog minuta za aerobni metabolizam. Po završetku fizičke aktivnosti deponovan kiseonik mora da se obnovi udisanjem novih količina kiseonika, koji prelaze uobičajene potrebe. Da bi se fosfageni sistem i sistem mlečna kiselina obnovili, treba uneti u organizam oko 9 L kiseonika više nego normalno. Sav dodatni kiseonik koji mora da se "otplati", ukupno oko 11.5 L, zove se kiseonički dug.

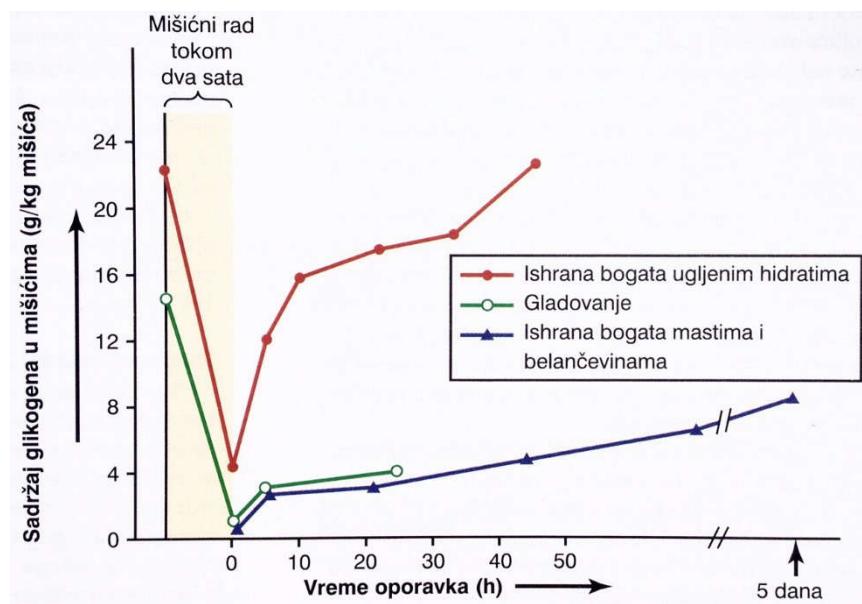


Slika 2.7.2.

Na slici 2.7.2. nam je prikazan princip kiseoničkog duga. Tokom prva četiri minuta intenzivne fizičke aktivnosti potrošnja kiseonika se poveća više od 15 puta. Posle toga, čak i kada se vežbanje završi, korišćenje kiseonika je iznad normale, u početku veoma visoko, dok telo obnavlja fosfageni sistem i nadoknađuje deo kiseoničkog duga. Tokom sledećih 40 minuta, dok se mlečna kiselina ne odstrani, korišćenje kiseonika je nešto manje. Prvi deo kiseoničkog duga zove se nelaktatni kiseonički dug i iznosi oko 3.5 L. Drugi deo se zove laktatni kiseonički dug i iznosi oko 8 L.

2. Obnavljanje mišićnog glikogena

Obnavljanje smanjenje količine mišićnog glikogena nije jednostavna stvar. Ovaj proces često zahteva dane, umesto sekundi, minuta ili sati, koliko zahtevaju procesi obnavljanja fosfagenog sistema ili sistema mlečne kiseline.



Slika 2.7.3.

Slika 2.7.3. pokazuje ovaj proces obnavljanja u tri različita stanja. Prvo kod osoba na ishrani bogatoj ugljenim hidratima, drugo, kod osoba na ishrani bogatoj mastima i proteinima i treće, kod osoba koje gladuju. U slučaju ishrane bogate ugljenim hidratima, kompletno obnavljanje nastaje u roku od približno 2 dana. U druga dva slučaja se primećuje izuzetno malo obnavljanje rezervi mišićnog glikogena, čak i posle pet dana. Iz ovog poređenja izvode se sledeći zaključci: (1) da je za sportistu važno da ima ishranu bogatu ugljenim hidratima pre napornog sportskog takmičenja i (2) da ne učestvuje u iscrpljujućim fizičkim aktivnostima 48 sati pre važnog sportskog događaja.

3. Metode za određivanje maksimalne potrošnje kiseonika

3.1. Maksimalna potrošnja kiseonika

Maksimalna potrošnja kiseonika, skraćeno VO_2max , predstavlja maksimalnu količinu utrošenog kiseonika koji je potreban za snabdevanje mišićnih ćelija za vreme maksimalnog fizičkog rada. Odnosno, predstavlja maksimalnu brzinu kojom aerobni mehanizam obezbeđuje mišićnu energiju.

Ime je izvedeno iz V-koja prestavlja zapreminu, O_2 -kiseonik i max- maksimalna. VO_2max se izražava kao apsolutna potrošnja kiseonika izražena u litrima u minuti (L/min) ili kao relativna ptošnja kiseonika izražena u mililitrima po kilogramu telesne mase u minuti ($\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$). Relativna potrošnja kiseonika se najčešće koristi prilikom izražavanja same izdržljivosti kod sportista.

Treningom se maksimalna potrošnja kiseonika može dosta povećati, ali je u zoni umerenog intenziteta još važnije što se treningom povećava i intenzitet izražen u procentima od VO_2max , pri kome se aktivnost može izdržati duže vreme.

Potrošnja O_2 raste sa povećanjem opterećenja, tako da pri najvećem opterećenju ne postoji dalji porast, a to označava dostizanje VO_2max . Ona je individualni pokazatelj za to, u kojoj meri se razne fiziološke funkcije, mogu prilagoditi povećanim metaboličkim potrebama tokom trajanja opterećenja. VO_2max govori kakva je sposobnost organizma da udahnuti vazduh pretvori u energiju. Ona je u mnogim sportovima presudna mera opšte motoričke sposobnosti, mera bazične aerobne dinamičke sposobnosti ili praktičnim žargonom-mera kondicije. Iz tog razloga se merenje VO_2max smatra najvažnijom merom funkcionalne prilagodljivosti pojedinca.

Fikova jednačina izražava vezu između metabolizma i kardiovaskularne funkcije. Navodi da je potrošnja kiseonika proizvod minutnog volumena srca (Q) i arterijsko-venske razlike kiseonika ($\text{C}_a\text{O}_2 - \text{C}_v\text{O}_2$)

$$\text{VO}_2\text{max} = Q (\text{C}_a\text{O}_2 - \text{C}_v\text{O}_2)$$

Sportisti sa visokim VO_2max imaju efikasnija pluća, koja mogu razmeniti velike zapremine gasa; veće srce je sposobno da sprovodi velike količine krvi svakim otkucajem; veću količinu krvi sa više hemoglobina, koji prenosi više kiseonika do tkiva; bogatiju mrežu kapilara, koji vrše bolju perfuziju mišićnih ćelija; više mitohondrija, drastičnih aerobnih enzima i više sporih vlakana za potrošnju većih količina kiseonika.

Nauka koja se bavi proučavanjem reakcije ljudskog organizma na fizički rad doziran u obliku testova fizičkog opterećenja, naziva se ergometrija. Uređaji pomoću kojih može da se tačno dozira mišićni rad, za potrebe testova opterećenja, nazivaju se ergometri. Osnovne vrste ergometara su: pokretna traka za trčanje, bicikl-ergometar, veslački ergometar i kajakaški ergometar. U ovom radu za merenja koja će se prikazati koristiće se pokretna traka za trčanje, kao vrsta ergometra.

3.2. Procena osnovnih ventilacionih funkcija

Spirometrija podrazumeva ispitivanje disajnih funkcija (ventilacije pluća), s tim da ona predstavlja osnovni test sa kojim se započinje svako ispitivanje. Pomoću nje se određuje koji će se dodatni testovi eventualno upotrebiti, kako bi se rasvetlio tip funkcionalnog oštećenja i/ili dokazalo da je disajna funkcija neoštećena.

Izvodi se na aparatu koji se naziva spiometar. Rezultati su u vidu numeričkog i grafičkog zapisa i mogu se upoređivati sa procentom ostvarene vrednosti, u odnosu na tablične vrednosti koje su sačinjene na osnovu starosti ispitanika, pola, telesne visine i telesne težine. Ovim načinom se određuju:

- Različiti volumeni – volumen pri mirnom disanju, volumen pri najdubljem udahu, volumen pri najdubljem izdahu
- Različiti kapaciteti – inspiratori kapacitet, ekspiratori kapacitet i rezidualni kapacitet

Termin „mala spiometrija“ usvojen je za tri spiometrijska testa:

1. Vitalni kapacitet (VC)
2. Maksimalni ekspiratori volumen u prvoj sekundi (FEV1%)
3. Air Trapping

Oni nam daju podatke o stanju ventilacije pluća, odnosno omogućava da se sazna, kolika je efikasnost ventilacije i da li postoji bilo kakav vid poremećaja.

Spirometrijske norme

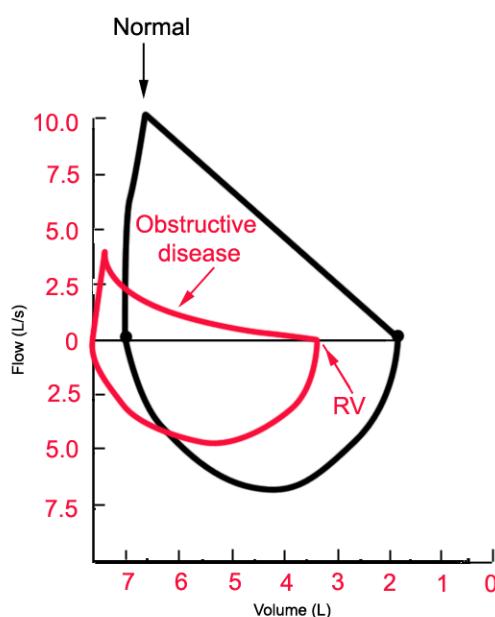
Da bi ostvarene vrednosti spiometrijskih testova mogle da se procenjuju, neophodno je da se one uporede sa vrednostima koje se smatraju referentnim. Kod nas su u primeni „Evropske norme“. Po njima su vrednosti VC i FEV1% u granicama normale, ako ne odstupaju za $\pm 18\%$ od predviđene tablične vrednosti.

Interpretacija spiometrijskih rezultata

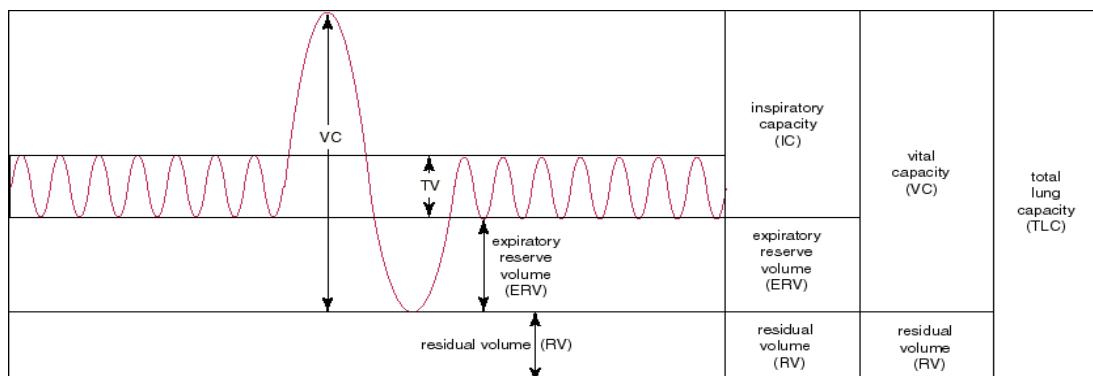
Interpretacija rezultata treba da se vrši uvek uz kompletну laboratorijsku obradu sportiste, tj. spiometrijski podaci moraju da se uklope sa ostalim rezultatima testiranja kako bi se mogla doneti konačna i objektivna dijagnoza. Tumačenje rezultata se vrši na osnovu: dobijenih numeričkih vrednosti (apsolutnih i relativnih) i na osnovu izgleda dobijenih krivulja. Tek nakon što smo se uverili da je sportista dobro sarađivao tokom ispitivanja, možemo se osloniti na numeričke vrednosti. Na slabu saradnju može da nam ukaže nenormalno visok odnos $FEV1\% / VC \times 100$ (preko 90% ili čak preko 100%;-sportista ne može forsiranom ekspiracijom, u prvoj sekundi, izdahnuti više od 90% svog vitalnog kapaciteta).

Na slici 3.2.1. prikazano je da pri registrovanju krivulje vitalnog kapaciteta (VC), zapažamo da je njen ekspiratorni deo širi od inspiratornog. Ova pojava nastaje zbog toga što je za potpun maksimalni ekspirijum potrebno dva puta više vremena, nego za inspirijum. U slučajevima sa opstrukcijom, širina ekspiratornog dela krivulje je mnogo više izražena. Razvučena krivulja VC, naročito u svom ekspiratornom delu, predstavlja jasan znak opstrukcije. Ona nam ne omogućuje i kvantitativnu procenu opstruktivnog poremećaja.

Nedostatak sprometrijskog ispitivanja je u tome što pri ispitivanju postoji dvostruka subjektivnost – od strane lekara i od strane sportista. Spirometrijsko testiranje je ispitivanje voljne ventilacije i u izvesnoj meri zavisi od saradnje sportista. S druge strane, dobra interpretacija spirografske krivulje zavisi od obučenosti i iskustva stručnjaka, koji mora sa dovoljno kritičnosti da posmatra svaki rezultat. Spirometrijsko ispitivanje kod sportista ima daleko veći značaj kada se pridoda drugim dijagnostičkim metodama kao što je ergometrija.



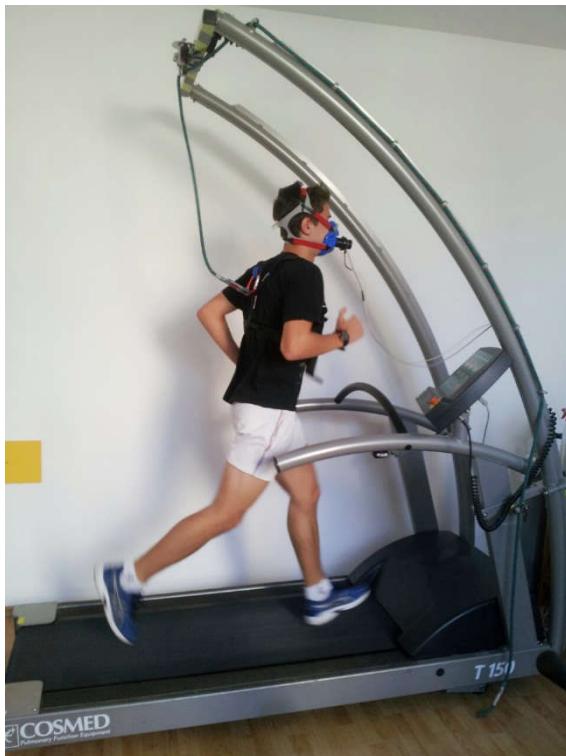
Slika 3.2.1.



Slika 3.2.2.

3.3. Ergospirometrija

Ergospirometrija ili kardiopulmonalni test fizičkim opterećenjem je dijagnostička procedura kojom se kontinuirano mere disanje i razmena gasova tokom testa, a istovremeno se prati i procenjuje rad srca pri opterećenju. Ovaj test nam omogućava procenu funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema i metabolizma, i smatra se zlatnim standardom u testiranju funkcionalnih sposobnosti neaktivnih osoba, rekreativaca i vrhunskih sportista.



Slika 3.3. Izvođenje ergospirometrijskog testa

Ergospirometrijom se meri aerobna sposobnost organizma koja predstavlja njegovu mogućnost da aerobnim metaboličkim procesima stvara energiju za fizički rad. Količina kiseonika koja se utroši za stvaranje energije pri maksimalnom radu predstavlja maksimalnu potrošnju kiseonika VO_2max kao meru aerobne sposobnosti. VO_2max je pokazatelj funkcionalne sposobnosti svih sistema koji učestvuju u prenosu kiseonika od njegovog preuzimanja iz spoljašnjeg vazduha, prenosa iz pluća u krvotok, prenos putem krvi do mišića, preuzimanje i korišćenje kiseonika u mišićima. Na aerobnu sposobnost najviše utiče sposobnost srca da pri radu različitog intenziteta, povećanjem broja otkucaja, doprema aktivnim mišićima adekvatnu količinu kiseonika. Funkcionalno oštećenje bilo koje karike u navedenom nizu dovodi do smanjenja aerobne sposobnosti.

Važni parametri fizičke forme koji se precizno mere tokom ergospirometrijskog testa, kao što smo već naveli, su maksimalna potrošnja kiseonika ($VO_{2\text{max}}$) i ventilacioni prag (V_{anp}). Na osnovu datih parametara vrši se:

- Procena zdravstvenog statusa (kardiovaskularnog, pulmonalnog i metaboličkog sistema)
- Utvrđivanje apsolutne ili relativne kontraidikacije za bavljenje fizičkom aktivnošću
- Procena funkcionalnih sposobnosti
- Određivanje individualnih pulsnih trenažnih zona
- Određivanje vrste, intenziteta i obima treninga za što efikasnije postizanje željenih ciljeva
- Praćenje efekata treninga
- Rano prepoznavanje talentovane dece i pravilno usmeravanje u odgovarajući sport

Ergospirometrija se zasniva na principu tzv. spirometrije otvorenog kruga-zapremina udahnutog kiseonika se meri upotrebom turbine, a na izdisajnoj strani određuju se frakcije gasova i utvrđuju koncentracija kiseonika i ugljen-dioksida. Upotrebom Fikove jednačine dobijamo vrednost potrošnje kiseonika za vreme vežbanja. Protokol po kome će se izvršiti testiranje zavisi od zdravstvenog stanja ispitanika, godišta, fizičke spremnosti i cilja testiranja. Test se sprovodi direktnim merenjem potrošnje kiseonika progresivnim kontinuiranim testom na pokretnoj traci (sistem Quark CPET, COSMED) i prosečnog je trajanja od 8 do 12 minuta.

3.4. Sprave i protokoli testova za procenu energetskih kapaciteta

Veličina energetskih kapaciteta (aerobnog i anaerobnog) razlikuje se kako između atletičara različitih trkačkih disciplina tako i između trkača iste discipline. Dva trkača, čak iste discipline, međusobno se mogu razlikovati u telesnoj građi, fiziološkom i psihološkom stanju kao i u tehnički izvođenja nekog oblika lokomocije. Razvoj pojedinih kapaciteta zahteva specifične trenažne operatore i specifične intervale rada i oporavka, koje određujemo i uz pomoć preciznih podataka o trenutnom stanju funkcionalnih parametara. Za postizanje optimalnog stanja treniranosti potrebno je pratiti i primenjivati dostignuća savremene sportske nauke a time i specifičnu dijagnostiku treniranosti sportiste.

Dijagnostika u sportu podrazumeva utvrđivanje nivoa treniranosti, sposobnosti i osobine sportiste koje su bitne za uspeh u sportu. Dijagnostikom funkcionalnih sposobnosti, pomoću integrativnih kardiopulmonalnih testova opterećenja u precizno kontrolisanim uslovima te merenjem izmene gasova, odnosno ergospirometrijskih parametara, mogu se precizno odrediti sposobnosti kardiovaskularnog i disajnog sistema.

U medicinskoj praksi dugi niz godina u upotrebi su brojne metode i protokoli za merenje aerobnog kapaciteta i radne sposobnosti. Razvojem sportske nauke neki od tih testova našli su primenu i u sportu i sportskoj medicini, odnosno u laboratorijama za funkcionalnu dijagnostiku. U sportovima gde je uspeh u manjoj ili višoj meri, određen sposobnošću transportnog sistema za kiseonik, najčešće se koriste maksimalni progresivni testovi opterećenja.

Kao sprave za dozirano opterećenje najčešće se koriste bicikl-ergometri i pokretna traka za trčanje, kao i specifični ergometri (veslanje, kajak, skijačko trčanje i slično) koji nam pouzdano reprodukuju dinamički stereotip kretanja specifičan za pojedini sport.

Bicikl-ergometar (slika 3.4.1.) u laboratorijskom testiranju omogućava precizno doziranje opterećenja (u Watt-ima) i procenu mehaničke efikasnosti rada, mogućnost dodatnih invazivnih i neinvazivnih pretraga a i manji je rizik povrede (zbog sedećeg položaja ispitanika), što je posebno značajno kod ispitanika starije dobi i rekreativaca. Međutim zbog manjeg udela aktivne mišićne mase, često lokalna a ne opšta mišićna izdržljivost limitira doseg u testu.

Pokretna traka (slika 3.4.2.) ima prednost u odnosu na bicikl-ergometar i druge ergometre s obzirom da omogućava prirodne oblike lokomocije – hodanje i trčanje. Takođe izmerene maksimalne vrednosti prijema kiseonika, u odnosu na bicikl-ergometar, veće su za oko 5-15%.



Slika 3.4.1.



Slika 3.4.2.

Uz razlike u odabiru ergometara, laboratorije se razlikuju i po principu primenjenih testova (u zavisnosti od tradicije, edukacije, tehničke opremljenosti laboratorija, specifičnostima i potrebama ispitanika itd.). Ne postoji jedinstven, standardni test za direktno merenje aerobnog kapaciteta. Različiti autori preporučuju različite dužine trajanja pojedinog stepena opterećenja, kao i porasta intenziteta i nagiba pokretnе trake. Zbog toga je komparacija rezultata iz različitih laboratorija često ograničena ili pak nemoguća.

Bruce je 1956. godine opisao prvi princip za sprovоđenje ergospirometrijskog testa na pokretnoj traci za trčanje, čime je započeo razvoj nove metodologije testiranja. Protokol po Bruce-u je i do današnjeg vremena ostao najprimenjiviji protokol opterećenja na pokretnoj traci, a standardizovala ga je Svetska zdravstvena organizacija. Potom su razvijeni brojni protokoli opterećenja na pokretnoj traci, koji se koriste za direktno merenje ili indirektnu procenu maksimalne potrošnje kiseonika.

Različiti autori navode kao optimalno ukupno trajanje testa od 8-12 minuta, pritom su bolji tzv. „ramp“ protokoli koji koriste manji i jednoličan porast intenziteta između pojedinih nivoa opterećenja. Testovi sa znatno bržim porastom opterećenja i kraćim ukupnim trajanjem od preporučenog ne daju maksimalne vrednosti VO_2 , predpostavlja se usled mišićne limitiranosti zbog velikog napora. Sa druge strane, u testovima dugog trajanja, dobijene su manje vrednosti $\text{VO}_{2\text{max}}$ koje se objašnjavaju povećanjem temperature tela, većom dehidratacijom, bolovima ili pojava nelagodnosti u mišićima, gubitkom motivacije kao i različitim energetskim zahtevima.

Danas se pretežno koriste kontinuirani testovi opterećenja na bicikl-ergometru i na pokretnoj traci, gde se porast opterećenja postiže ili povećanjem brzine trake (Teylorov test mod.) ili povećanjem nagiba trake (Balke, UCLA test) ili se pak i brzina i nagib progresivno povećavaju (Bruce). Po pravilu se test izvodi do iscrpljenja ispitanika tzv. „do otkaza“, ukoliko nema kontraindikacija ili ograničavajućih faktora.

Problem koji se javlja prilikom laboratorijskog merenja i primene rezultata u trenažnom procesu je taj da pri trčanju na pokretnoj traci nema otpora vazduha, koji na otvorenom (atletskoj stazi) raste približno kao kubna funkcija brzine trčanja. Linearna funkcija može zadovoljavajuće dobro opisati odnos VO_2 i brzina pri brzinama trčanja do 18km/h. Zbog toga različiti autori preporučuju manje nagibe trake (1-2%) radi kompenzacije smanjenog opterećenja zbog nedostatka otpora vazduha. Vrednosti fizioloških parametara pri trčanju na pokretnoj traci u tom slučaju verno simuliraju opterećenje pri trčanju na otvorenom.

Na slici 3.4.3. prikazan nam je glavni deo sistema, tj. glavna jedinica koja se koristi za obradu i analizu podataka dobijenih prilikom izvođenja ergospirometrijskog testa.



Slika 3.4.3.

3.5. Parametri za procenu energetskih kapaciteta

Da bi se dobila objektivna potvrda da se aerobni sistem kompletno angažovao, postoje kriterijumi koji to i pokazuju. Za utvrđivanje postignutih stvarnih maksimalnih vrednosti u testu, koriste se različiti kriterijumi, kao što su: porast VO₂ do platoa (porast manje od 2 ml/kg/min ili < 5 %) s porastom opterećenja, frekvencija srca u okviru 10 otk/min ili 5 % u odnosu na predviđeni maksimum za dob, R (respiratorični koeficijent) >1.10 ili >1.15, VE/VO₂ (disajni ekvivalent) > 30, koncentracija mlečne kiseline u krvi >8 mmol/L, subjektivni osećaj iscrpljenosti 13 bodova – po modifikovanoj Borgovoj skali. Najviša potrošnja kiseonika zabeležena u testu VO_{2max}, tokom bilo kojeg intervala od 30 sekundi, označena je kao pik VO₂ (VO_{2max}).

Ventilacioni aerobni i anaerobni prag određuju se metodom V-slope (veći porast VCO₂ u odnosu na VO₂) te praćenjem promene VE/VO₂ i VE/VCO₂. Anaerobni prag se postiže pri intenzitetu od oko 80-90 % VO_{2max} (kod nesportista pri 65-70 % VO_{2max}, a kod treniranih osoba čak i pri 95 % VO_{2max}) zavisno od trenažnog ciklusa u koje se izvršilo merenje (pripremni, predtakmičarski ili takmičarski period), uz koncentraciju laktata u krvi od 3 do 5 mmol/L. Kada govorimo o anaerobnom pragu procenjenom u laboratorijskim uslovima na pokretnoj traci, jedan od najčešće praćenih parametara jeste brzina trčanja na nivou praga. Brzina pri anaerobnom pragu je proporcionalna maksimalnoj potrošnji kiseonika i dobar je pokazatelj nivoa treniranosti aerobnog kapaciteta.

Prilikom ovakvih testiranja treba omogućiti sportistima da aktiviraju onu mišićnu masu koju koriste u sportu kojim se bave, jer se jedino tada njihov energetski kapacitet u potpunosti procenjuje. Potpunije angažovanje specifične muskulature se postiže ako se prkači testiraju na pokretnoj traci, biciklisti na bicikl-ergometru, veslači na veslačkom ergometru, trkači na skijama na ergometru sa skijama itd. Visok nivo aerobnog kapaciteta je neophodan za sve sportove, posebno za sportove tipa izdržljivosti (zbog čega i određivanje VO_{2max} ima veliki značaj).

Tabela 3.5. Skala subjektivne procene opterećenja (SPO)(Borg, 1973)

Zone opterećenja	SPO	SPO Mod	Subjektivni osećaj
mirovanje	6	00	bez opterećenja
oporavak	7	0	vrlo, vrlo lagano
oporavak	8	1	
ekstenzivno	9	2	vrlo lagano
ekstenzivno	10	3	
ekstenzivno	11	4	lagano
intenzivno	12	5	
intenzivno	13	6	nešto teže
intenzivno	14	7	
prag	15	8	teško
prag	16	9	
anaerobno	17	10	vrlo teško
anaerobno	18	11	
snaga	19	12	vrlo, vrlo teško
snaga	20	13	maksimalno teško

3.6. Prikaz svih varijabli korišćenih u toku merenja

Od morfoloških mera prilikom merenja su korišćene mere visine tela i telesne mase, kao i mere kompozicije tela indeks telesne mase (BMI), procenat masti (PBF) i bezmasna masa (FFM).

Tabela 3.6. Varijable koje ćemo meriti prilikom ergospirometrijskog testiranja.

Tabela 3.6.

Naziv varijable	Merna jedinica
Maksimalna potrošnja kiseonika (VO_2max)	L/min
Relativna maksimalna potrošnja kiseonika (VO_2max^{rel})	ml/kg/min
Maksimalna frekvencija srca (HRmax)	otk/min
Minutna ventilacija (Q)	l/min
Maksimalni kiseonički puls (HRO₂)	mlO ₂
Maksimalna minutna ventilacija (VE_{max})	l/min
Maksimalni disajni volumen (VT)	l
Maksimalna frekvencija disanja (FD_{max})	l/min
Brzina trčanja pri VO_{2max} (v_{VO2max})	km/h
Maksimalna brzina trčanja (v_{max})	km/h
Intenzitet opterećenja (I_{opt})	km/h
Tempo trčanja (T)	min/km
Relativna potrošnja kiseonika (VO_2^{rel})	mlO ₂ /kg/min
Apsolutna potrošnja kiseonika (VO_2^{abs})	lO ₂ /min
Procenat od VO_{2max} (%VO_{2max})	%
Frekvencija srca (HR)	otk/min
Procenat od maksimalne frekvencije srca (%HRmax)	otk/min
Izdržaj u anaerobnoj zoni (t_{anae})	min
Visina tela (h)	cm
Masa tela (m)	kg
Procenat masti (%_{masti})	%
Bezmasna masa (m^{bm})	Kg
Respiratorični koeficijent (R)	
Ventilacioni koeficijent (VE)	
Ekspiratorna frakcija O₂ (FeO₂)	%
Ekspiratorna frakcija CO₂ (FeCO₂)	%

Indeks telesne mase (BMI) predstavlja odnos telesne mase i kvadrata visine tela. Potvrđena je velika korelacija sa procentom telesne masti. Takođe je poznata veza između vrednosti BMI i rizika od oboljevanja od kardiovaskularnih bolesti, šećerne bolesti i maligdnih oboljenja. Veliki značaj nam daju informacije koje dobijamo utvrđivanjem relacija između pojedinih morfoloških dimenzija. Kao normativi, koriste se određeni „idealni indeksi“ i standardi, od kojih su navedeni Brokov i Lorencov indeks:

- **Brokov indeks:** $h - 100 = m_N$, m_N -normalna masa
- **Lorencov indeks:** $[h - 100] - [(h - 150) \cdot 0.25] = m_I$, m_I -idealna masa

4. Opis merenja i rezultati

4.1. Opis aparature

MERNA OPREMA

U ovom radu korišćena je sledeća merna oprema:

- ✓ Sistem QUARK CPET koji se sastoji od sledećih delova:
 1. Quark jedinica
 2. Merač protoka vazduha
 3. Disajni ventil
 4. Dodatni spoljni senzori i uređaji
- ✓ Sistem za praćenje frekvencije srčanog ritma
- ✓ Pokretna traka za trčanje (COSMED, running machines)



Slika 4.1.1.

- Quark CPET (COSMED, Italia) (slika 4.1.1.) automatizovani, kompjuterizovani sistem koji omogućava kontinuirano („breath by breath“) prikupljanje, grafički prikaz, štampanje, skladištenje i analizu merenih ventilacijskih i metaboličkih parametara. Merni sistem se sastoji od respiracione maske za usta i nos (može biti različite veličine) (slika 4.1.2.) koja je spojena na bidirekcionalu turbinu sa optoelektričnim čitačem protoka vazduha. Od turbine uzorak vazduha odvodi se putem kapilarne cevi (odstranjuje vlagu ne menjajući koncentraciju gasova) do brzih analizatora O₂ i CO₂. Analizatori mere koncentraciju gasova (O₂ i CO₂), s preciznošću od ± 0.03 %. Nakon analogno-digitalne konverzije signala omogućeno je kontinuirano „on-line“, „breath-by-breath“ praćenje protoka kiseonika (VO₂), izdahnutog ugljen dioksida (VCO₂), frekvencije srčanog ritma, minutnog volumena disanja, koncentracije gasova u izdahnutom vazduhu, disajni volumen. Pre svakog merenja aparatura se baždari pomoću 3-litrene pumpe, dok se analizatori baždare sa mešavinom gasa poznate koncentracije (16 % O₂ i 5.20 % CO₂).



Slika 4.1.2.

- Sistem za praćenje frekvencije srčanog ritma (slika 4.1.3.) sastoji se iz tri dela: elastične trake koja sadrži predajnik, koja se pričvršćuje oko grudnog koša i USB prijemnik. Delovi treba da budu sklopljeni što je bliže moguće jedan drugom da bi komunikacioni signal bio što efikasniji.



Slika 4.1.3.

- Pokretna traka za trčanje je dužine 190cm i širine 65cm, sa mogućnošću preciznog podešavanja brzine od 1 do 25 km/h, sa pomakom od 0.1 km/h.

Na slici 4.1.4. prikazan je uređaj u celosti koji je korišćen za merenje.



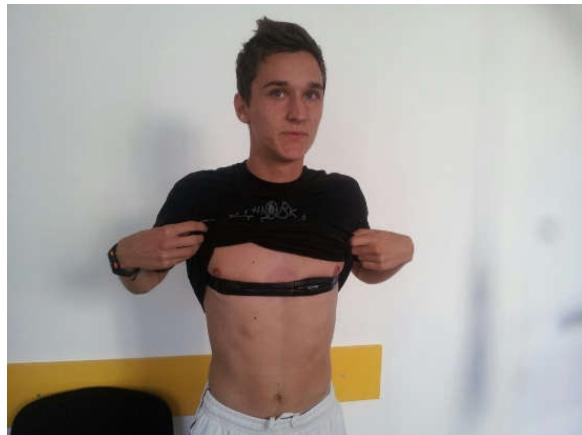
Slika 4.1.4.

4.2. Tok pregleda

Merenje je sprovedeno u laboratoriji za funkcionalnu dijagnostiku u Pokrajinskom zavodu za sport i medicinu u Novom Sadu, u jutarnjim satima.

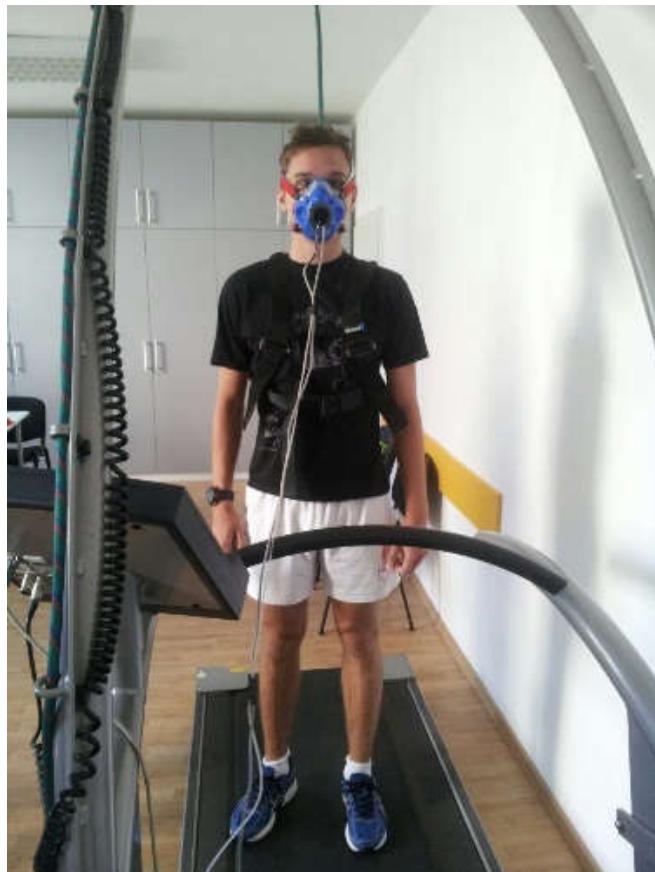
Pre laboratorijskih merenja, za ispitanika napravljena je anamneza i fizikalni pregled, morfološke mere i kompozicija tela (procenat masti i bezmasne mase). Rezultate kompozicije tela smo dobili korišćenjem aparata za analizu bioelektrične impedance (BIA), koji na osnovu instaliranog softvera izračunava procentualni sadržaj masi (i ostalih segmenata) u strukturi sastava tela.

Pre dolaska u laboratoriju ispitanik je prema ustaljenim navikama konzumirao lagani obrok 1.5 – 3 h. Pre ergospirometrijskih testova sa direktnim merenjem potrošnje kiseonika, ispitaniku je bio postavljen sistem za praćenje srčanog ritma (slika 4.2.1.), zatim respiraciona maska za usta i nos (slika 4.2.2.).



Slika 4.2.1.

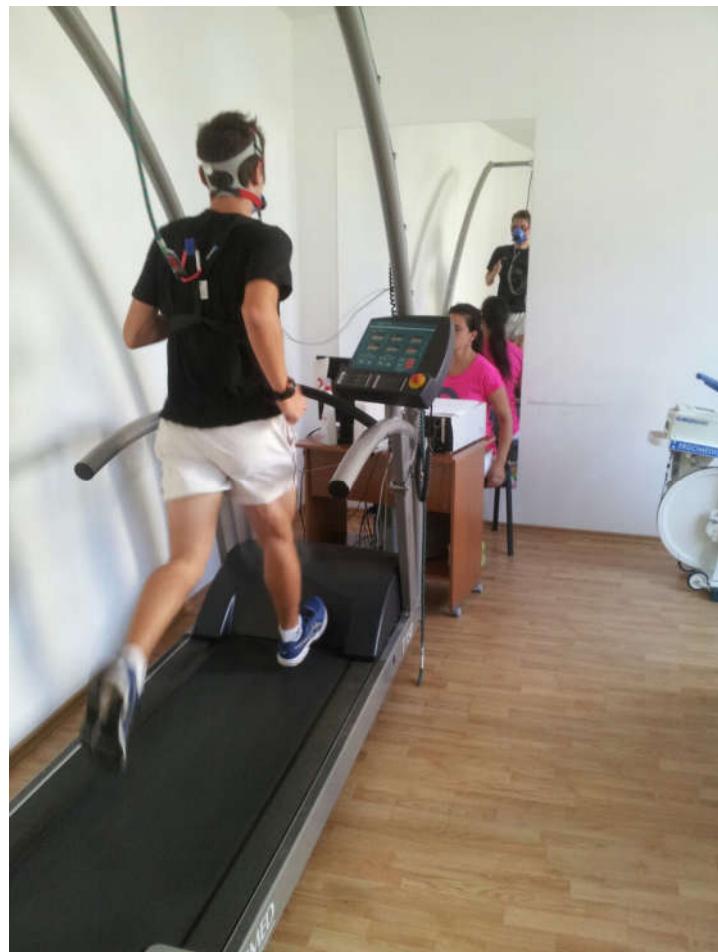
Uz ergospirometrijske parametre pratili su se i podaci o subjektivnoj proceni opterećenja prema modifikovanoj Borgovoj skali. Radi prilagođavanja na spravu za dozirano opterećenje, ispitanici koji nikada nisu hodali ili trčali na pokretnoj traci, pre početka merenja imali su priliku vežbati hod i trčanje na pokretnoj traci u trajanju od 15-20 minuta. Nakon pauze i istezanja od 10 minuta, sprovodi se određen protokol u zavisnosti od sportske grane kojom se ispitanik bavi.



Slika 4.2.2.

Protokol operećenja se započinje potpunim mirovanjem u prvoj minuti uz praćenje svih ventilacijskih i metaboličkih parametara. Inklinacija trake je konstantna i iznosi 1.5 %. Nakon faze mirovanja u trajanju od 1 minute, ispitanik započinje hodanje pri brzini od 3 km/h (koje traje 2 minute). Nakon toga se brzina trake povećava svakih 30 sekundi za 0.5 km/h. Ispitanik hoda prva četiri nivoa opterećenja (do 6 km/h), a pri brzini od 7 km/h započinje trčanje (slika 4.2.3.).

Po pravilu se test izvodi do iscrpljenja ispitanika, tako da u trenutku kada ne može da isprati tempo pokretne trake uhvati se rukama za držače i opkorači traku, ukoliko nema kontraindikacija ili ograničavajućih faktora. Nakon toga traka se zaustavlja i tada ispitanik u oporavku nastavlja da hoda 3 minuta pri brzini od 5 km/h, uz dalje praćenje ergospirometrijskih parametara.

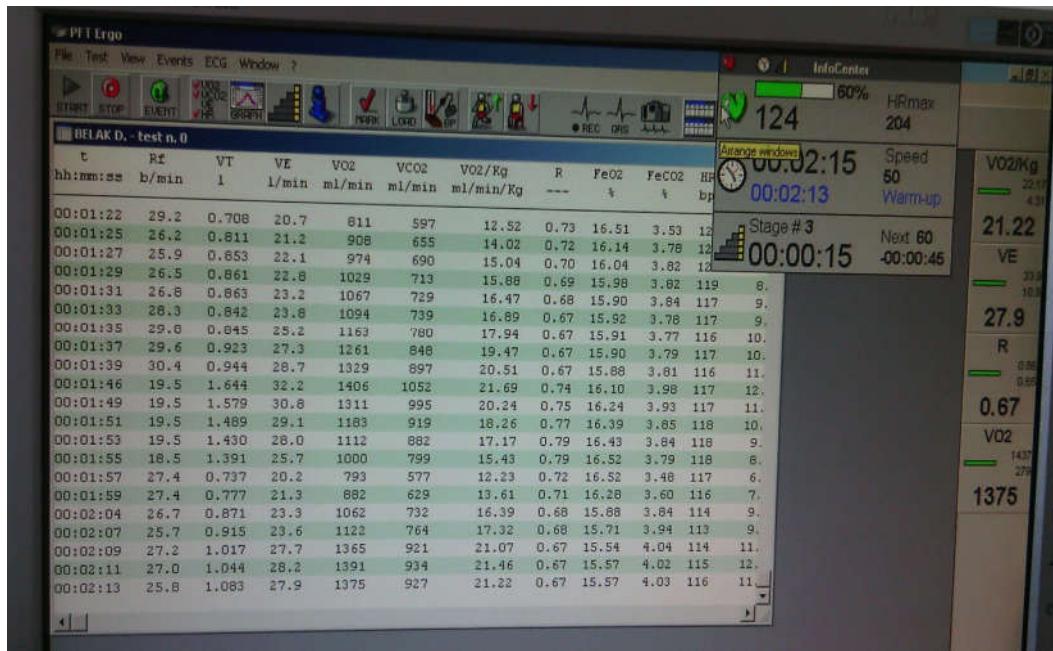


Slika 4.2.3.

4.3. Rezultati i diskusija

Nakon obavljenog merenje pristupilo se unosu, obradi podataka i analizi rezultata korišćenjem programa Windows 7.0. Programski paket poslužio je za računanje osnovnih parametara, testiranje i analizu rezultata kao i za tablični i grafički prikaz rezultata. Za neke dodatne proračune korišćen je Microsoft Office Excel 2003 program unutar Windows XP operacijskog sistema.

Na slici 4.3.1. prikazani su parametri koji se očitavaju u toku merenja. Na osnovu priloženih podataka pristupamo konačnoj analizi i obradi rezultata.



Slika 4.3.1.

REZULTATI

- U tabeli 4.3.1. prikazani su osnovni morfološki parametri ispitanika koji su od suštinskog značaja za dijagnostikovanje parametara koje ćemo odrediti nakon testiranja.

Tabela 4.3.1.

<i>Morfološke mere</i>	
Datum rođenja	25.08.1999.
Hronološka starost	17 godina
Sport	atletika
Disciplina	400 m
Sportski staž	6 godina
Datum merenja	15.08.2016.
Visina	172.1 cm
Masa	64.8 kg

- Tabeli 4.3.2. pokazuje kompoziciju tela ispitanika, odnosno, procenat masti (PBF), bezmasnu masu (FFM) i indeks telesne mase (BMI).

Tabela 4.3.2.

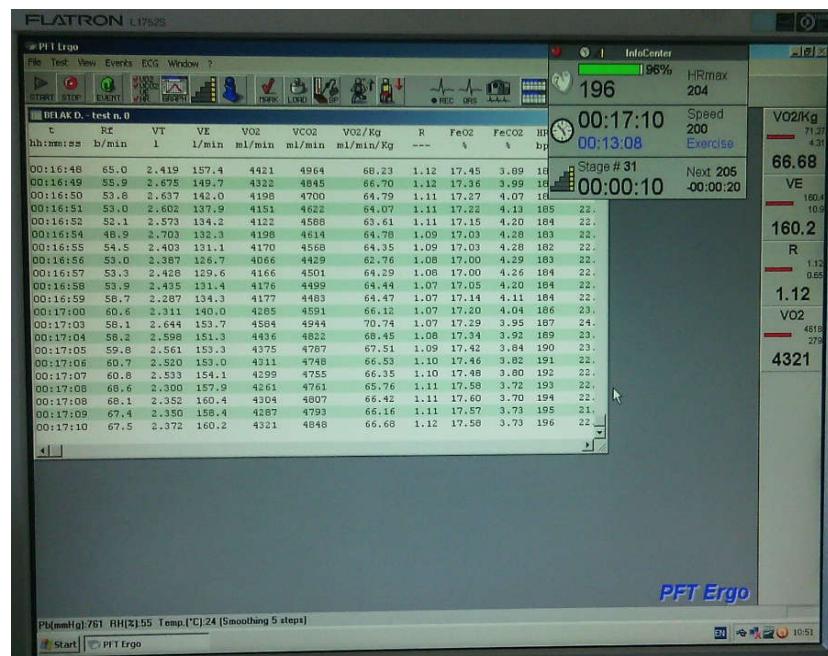
<i>Kompozicija tela</i>	
PBF	12.9 %
FFM	56.4 kg
BMI	21.9 kg/m ²

$$PBF = \frac{m^{bm}}{m} \cdot 100\%$$

$$FFM = (1.01 \cdot m) - 128 \left(\frac{m^2}{100 \cdot h^2} \right)$$

$$BMI = \frac{m}{h^2}$$

- Tabela 4.3.3. prikazuje ergospirometrijske parametre ispitanika koje smo dobili očitavanjem u toku merenja i analizom nakon izvođenja testa (slika 4.3.2.). Ispitanik se postepenim povećanjem opterećenja, dovodi do maksimalnog mogućeg opterećenja, pri kojem se odgovarajućim merenjem i analizama iz izdahnutog vazduha, određuje potrošnja kiseonika. Maksimalno opterećenje je postignuto kada su ostvarena najmanje dva od sledećih kriterijuma: 1) teorijska maksimalna vrednost pulsa, 2) plato u potrošnji kiseonika i pored povećanja opterećenja, 3) respiratori koefficijent (R) > 1 , i 4) subjektivan osećaj iscrpljenosti.



Slika 4.3.2.

- **Ergospirometrija** (step: $0.5 \text{ km} \cdot \text{min}^{-1}$ / 30 s, inkl.: 1.5%)

Tabela 4.3.3.

Br.	Naziv	Merna jedinica	Vrednost
1.	$VO_{2\text{max}}$	lO_2/min	4.30
2.	$VO_{2\text{max}}^{\text{rel}}$	$mlO_2/kg/min$	66.33
3.	HR_{max}	otk/min	195
4.	HRO_2	mlO_2	22
5.	VE_{max}	l/min	168.3
6.	VT	L	2.66
7.	FD_{max}	l/min	58.6
8.	$v_{VO2\text{max}}$	km/h	20.5
9.	v_{max}	km/h	20.5

Parametar koji instrument očitava konstantno u toku merenja je respiratorni koeficijent (R) koji se računa pomoću dve veličine koje instrument konstantno registruje.

$$R = \frac{VCO_2}{VO_2}$$

Teorijska maksimalna vrednost pulsa izračunava se na osnovu formule:

$$HR_{\max}^{\text{teo}} = 220 - A$$

Gde A predstavlja godine starosti.

Dobijena vrednost iznosi $HR_{\max}^{\text{teo}} = 203$ otk/min.

U tabeli 4.3.4. prikazani su rezultati parametara koji određuju ventilacioni anaerobni prag. Porast ventilacionog ekvivalenta za kiseonik (VE/VO_2) bez istovremenog povećanja ventilacionog ekvivalenta za ugljen dioksid (VE/VCO_2) označava se kao ventilacioni anaerobni prag. Vrednosti respiratornog koeficijenta (R) > 1.0, ukazuju na predominaciju anaerobnog metabolizma.

- ***Ventilacijski anaerobni prag***

Tabela 4.3.4.

Br.	Oznaka merene veličine	Merna jedinica	Vrednost
1.	I_{opt}	km/h	14.5
2.	T	min/km	4:05
3.	VO_2^{rel}	mlO ₂ /kg/min	55.69
4.	VO_2^{aps}	lO ₂ /min	3.61
5.	% $VO_2\max$	%	84
6.	HR	otk/min	173
7.	% $HR\max$	otk/min	89

Preračunavanje absolutnog VO_2 u relativni VO_2

$$VO_2^{\text{rel}} = \frac{VO_2^{\text{aps}}}{m}$$

Procena anaerobnog kapaciteta se najčešće opisuje različitim parametrima, kao što su: koncentracija mlečne kiseline u krvi, kiseonički dug i izdržaj u anaerobnoj zoni. Vreme boravka ispitanika u anaerobnoj zoni tokom merenja iznosi $t_{\text{anae}} = 6.5 \text{ min}$.

Nakon što ispitanik dostigne svoje maksimalno opterećenje pristupa se merenju frekvencije srca prilikom hodanja na pokretnoj traci u prva 3 minuta. Pri tome se prati vreme oporavka, koje predstavlja vreme nakon koga se funkcije organizma, čiji je osnovni pokazatelj frekvencija srca, normalizuju. Za datog ispitanika dobijene su sledeće vrednosti vremena oporavka:

1. min: 166 otk/min

2. min: 144 otk/min

3. min: 139 otk/min

DISKUSIJA

Na osnovu prikazanih rezultata merenja zaključuje se da je zdravstveni status ispitanika uredan. Kompozicija tela ukazuje na nizak procenat masti (12.9 %), u odnosu na bezmasnu masu (56.4 kg). Dobijene vrednosti su u granicama optimalnih vrednosti za uzrast i sportsku disciplinu.

Aerobni kapacitet ($\text{VO}_{2\text{max}} = 66.33 \text{ ml/kg}$, postignut pri brzini trčanja od 20.5 km/h), koji je utvrđen direktnim merenjem potrošnje kiseonika progresivnim kontinuiranim testom na pokretnoj traci. Rezultata je u rangu odličnih atletičara.

Anaerobni ventilacijski prag postignut je pri opterećenju od 14.5 km/h i potrošnji kiseonika od 55.69 ml/kg (84 % $\text{VO}_{2\text{max}}$), i frekvenciji srca od 173 otk/min (odgovara tempu od oko 4:08 min/km). Prikazani rezultati ukazuju na duži raspon u testu, od anaerobnog praga do maksimalnog opterećenja, što ukazuje na odličan anaerobni kapacitet tj. specifičnu izdržljivost.

Prema ergospirometrijskim parametrima mogu se odrediti pulsne zone. One predstavljaju zone trenažne srčane frekvence (zone treninga) i dele se na: regeneracijsku zonu, zona ekstenzivnog aerobnog treninga, zona intenzivnog aerobnog treninga i zona maksimalne potrošnje kiseonika. Vrednosti trenažne srčane frekvencije koju je ispitanik postigao u toku merenja prikazane su u tabeli 4.3.6.:

Tabela 4.3.6.

Zone intenziteta	Frekvencije srca
Regeneracijska zona	< 121 (< 8.5 km/h)
Zona ekstenzivnog aerobnog treninga	121 – 155 (< 11.5 km/h)
Zona intenzivnog aerobnog treninga – zona praga	155 – 173 (< 14.5 km/h)
Zona maksimalne potrošnje kiseonika	> 173

ZAKLJUČAK

U ovom radu je merena maksimalna potrošnja kiseonika kao jedan od parametara koji nam daje informaciju u kakvoj fizičkoj pripremljenosti se sportista trenutno nalazi, odnosno predstavlja nam meru aerobne odnosno anaerobne sposobnosti pojedinca.

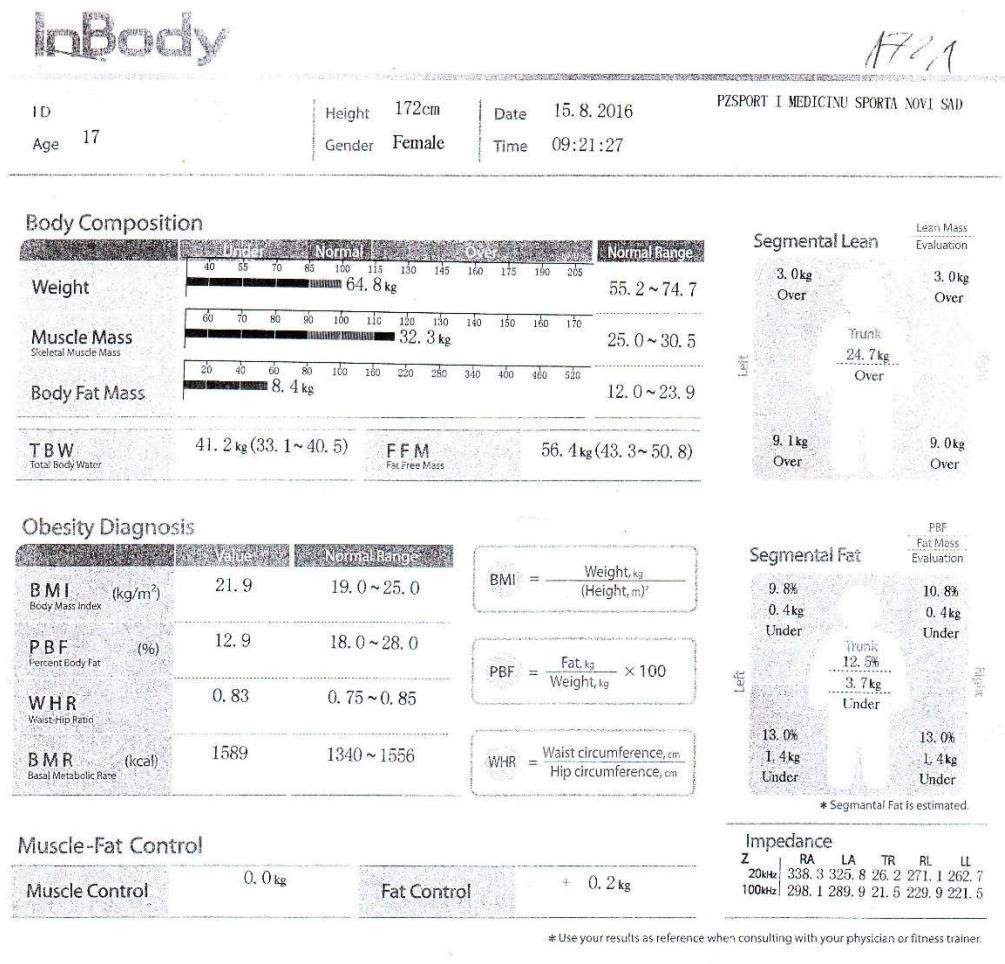
Merene parametre smo izmerili koristeći gasni analizator (sistem QUARK CPET) i pokretnu traku (COSMED) u Pokrajinskom zavodu za sport i medicinu u Novom Sadu.

Analizirajući rezultate koje smo dobili ustanovili smo fizičku spremnost u kojoj se ispitanik nalazi, koja je na nivou vrhunskog sportiste. Rezultati nam govore da ispitanik poseduje specifičnu izdržljivost, koja je osnovna karakteristika trkača na 400 metara.

Najnovija sportsko – dijagnostička aparatura je omogućila da se merenjem ventilacionih i metaboličkih parametara u kontrolisanim laboratorijskim uslovima, mogu precizno vrednovati sposobnosti kardiorespiratornog i mišićnog sistema, još u toku samog vršenja testa. Time su ovi testovi postali rutinski za rad, a ne samo privilegija visoko specijalizovanih laboratoriјa.

PRILOG

- ✓ Prva stranica izveštaja (Slika 4.3.1.)



Exercise Planner

Plan your weekly exercises from the followings and estimate your weight loss from those activities.

Energy expenditure of each activity(base weight: 64.8 kg / Duration:30min. / unit: kcal)						
Walking	Jogging	Bicycle	Swim	Mountain Climbing	Aerobic	
130	227	194	227	211	227	
Table tennis	Tennis	Football	Oriental Fencing	Gate ball	Badminton	
146	194	227	324	123	146	
Racket ball	Tae-kwon-do	Squash	Basketball	Rope Jumping	Golf	
324	324	324	194	227	114	
Push-ups (development of upper body)	Sit-ups (abdominal muscle training)	Weight training (bone prevention)	Dumbbell exercise (muscle strength)	Elastic band (muscle strength)	Squats (balance of lower body muscle)	

Calculation for expected total weight loss for a month (one month = 4 weeks)

$$\text{Total energy expenditure (kcal/week)} \times 4 \text{ weeks} \div 7700$$

• How to do

- Choose practicable and preferable activities from the left.
- Energy expenditure for each is calculated when it is done for 30 min.
- Choose exercises that you are going to do for 7 days.
- Calculate the total energy expenditure for a week.
- Estimate expected total weight loss for a month using the formula shown below.

• Recommended calorie intake per day

2000 kcal

Slika 4.3.1.

- ✓ Druga strana izveštaja (slika 4.3.2.)

 POKRAJINSKI ZAVOD ZA SPORT I MEDICINU SPORTA																																																				
<i>Izveštaj o zdravstvenom i funkcionalnom statusu</i>																																																				
<i>Ime i prezime:</i>																																																				
<i>Datum rođenja:</i>	25.08.1999.	<i>Hronološka starost:</i>	17g.	<i>Sport:</i>																																																
<i>disciplina: 400m</i>	<i>AK „Vojvodina“ Novi Sad</i>		<i>Sportski staž:</i>	6 god.																																																
<i>Datum merenja:</i>	15.08.2016.	<i>Redni br. merenja:</i>	1. put																																																	
<i>Visina:</i>	172.1 cm	<i>Masa:</i>	64.8 kg	<i>RR:</i> / mmHg																																																
<i>FS mir:</i>				/min																																																
<p>➤ <i>Zdravstveni status:</i></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2"><i>Kompozicija tela</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>% masti:</i></td> <td>12.9 %</td> </tr> <tr> <td><i>Bezmasna masa:</i></td> <td>56.4 kg</td> </tr> </tbody> </table>					<i>Kompozicija tela</i>		<i>% masti:</i>	12.9 %	<i>Bezmasna masa:</i>	56.4 kg																																										
<i>Kompozicija tela</i>																																																				
<i>% masti:</i>	12.9 %																																																			
<i>Bezmasna masa:</i>	56.4 kg																																																			
<p>➤ <i>Spiroergometrija</i> (step: 0.5 km·h⁻¹/30 sek, inkl.: 1.5%)</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th><i>Br.</i></th> <th><i>Naziv</i></th> <th><i>Mer. jedin</i></th> <th><i>08/2016</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.</td> <td><i>Max. potrošnja kiseonika</i></td> <td>lO₂/min</td> <td>4.30</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td><i>Rel. max. potrošnja kiseonika</i></td> <td>mlO₂/kg/min</td> <td>66.33</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td><i>Max. frekvencu srca</i></td> <td>otk/min</td> <td>195</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td><i>Max. kiseonički puls</i></td> <td>mlO₂</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td><i>Max. min. ventilacija</i></td> <td>l/min</td> <td>168.3</td> </tr> <tr> <td>6.</td> <td><i>Max. disajni volumen</i></td> <td>l</td> <td>2.66</td> </tr> <tr> <td>7.</td> <td><i>Max. frekvencu disanja</i></td> <td>l/min</td> <td>58.6</td> </tr> <tr> <td>8.</td> <td><i>Max. disajni ekvivalent</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9.</td> <td><i>Brzina trčanja pri VO_{2max}</i></td> <td>Km/h</td> <td>20.5</td> </tr> <tr> <td>10.</td> <td><i>Max. brzina trčanja</i></td> <td>Km/h</td> <td>20.5</td> </tr> <tr> <td>11.</td> <td><i>Max. koncentracija laktata</i></td> <td>mmol/l</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					<i>Br.</i>	<i>Naziv</i>	<i>Mer. jedin</i>	<i>08/2016</i>	1.	<i>Max. potrošnja kiseonika</i>	lO ₂ /min	4.30	2.	<i>Rel. max. potrošnja kiseonika</i>	mlO ₂ /kg/min	66.33	3.	<i>Max. frekvencu srca</i>	otk/min	195	4.	<i>Max. kiseonički puls</i>	mlO ₂	22	5.	<i>Max. min. ventilacija</i>	l/min	168.3	6.	<i>Max. disajni volumen</i>	l	2.66	7.	<i>Max. frekvencu disanja</i>	l/min	58.6	8.	<i>Max. disajni ekvivalent</i>			9.	<i>Brzina trčanja pri VO_{2max}</i>	Km/h	20.5	10.	<i>Max. brzina trčanja</i>	Km/h	20.5	11.	<i>Max. koncentracija laktata</i>	mmol/l	
<i>Br.</i>	<i>Naziv</i>	<i>Mer. jedin</i>	<i>08/2016</i>																																																	
1.	<i>Max. potrošnja kiseonika</i>	lO ₂ /min	4.30																																																	
2.	<i>Rel. max. potrošnja kiseonika</i>	mlO ₂ /kg/min	66.33																																																	
3.	<i>Max. frekvencu srca</i>	otk/min	195																																																	
4.	<i>Max. kiseonički puls</i>	mlO ₂	22																																																	
5.	<i>Max. min. ventilacija</i>	l/min	168.3																																																	
6.	<i>Max. disajni volumen</i>	l	2.66																																																	
7.	<i>Max. frekvencu disanja</i>	l/min	58.6																																																	
8.	<i>Max. disajni ekvivalent</i>																																																			
9.	<i>Brzina trčanja pri VO_{2max}</i>	Km/h	20.5																																																	
10.	<i>Max. brzina trčanja</i>	Km/h	20.5																																																	
11.	<i>Max. koncentracija laktata</i>	mmol/l																																																		
<p>➤ <i>Ventilacijski anaerobni prag</i></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th><i>Br.</i></th> <th><i>Naziv</i></th> <th><i>Mer. jedin</i></th> <th><i>08/2016</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.</td> <td><i>Intenzitet opterećenja</i></td> <td>km/h</td> <td>14.5</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td><i>Tempo trčanja</i></td> <td>min/km</td> <td>4:08</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td><i>Relativna potrošnja kiseonika</i></td> <td>mlO₂/kg/min</td> <td>55.69</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td><i>Apsolutna potroš. kiseonika</i></td> <td>lO₂/min</td> <td>3.61</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td><i>% od VO_{2max}</i></td> <td>%</td> <td>84</td> </tr> <tr> <td>6.</td> <td><i>Frekvencu srca</i></td> <td>otk/min</td> <td>173</td> </tr> <tr> <td>7.</td> <td><i>% od FSmax</i></td> <td>otk/min</td> <td>89</td> </tr> </tbody> </table>					<i>Br.</i>	<i>Naziv</i>	<i>Mer. jedin</i>	<i>08/2016</i>	1.	<i>Intenzitet opterećenja</i>	km/h	14.5	2.	<i>Tempo trčanja</i>	min/km	4:08	3.	<i>Relativna potrošnja kiseonika</i>	mlO ₂ /kg/min	55.69	4.	<i>Apsolutna potroš. kiseonika</i>	lO ₂ /min	3.61	5.	<i>% od VO_{2max}</i>	%	84	6.	<i>Frekvencu srca</i>	otk/min	173	7.	<i>% od FSmax</i>	otk/min	89																
<i>Br.</i>	<i>Naziv</i>	<i>Mer. jedin</i>	<i>08/2016</i>																																																	
1.	<i>Intenzitet opterećenja</i>	km/h	14.5																																																	
2.	<i>Tempo trčanja</i>	min/km	4:08																																																	
3.	<i>Relativna potrošnja kiseonika</i>	mlO ₂ /kg/min	55.69																																																	
4.	<i>Apsolutna potroš. kiseonika</i>	lO ₂ /min	3.61																																																	
5.	<i>% od VO_{2max}</i>	%	84																																																	
6.	<i>Frekvencu srca</i>	otk/min	173																																																	
7.	<i>% od FSmax</i>	otk/min	89																																																	
<p>➤ <i>Procena anaerobnog kapaciteta</i></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th><i>Br.</i></th> <th><i>Naziv</i></th> <th><i>Mer. jedin</i></th> <th><i>08/2016</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.</td> <td><i>Izdržaj u anaerobnoj zoni</i></td> <td>min</td> <td>6'30"</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$t_{an} = v_{max} - v_{app}$</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					<i>Br.</i>	<i>Naziv</i>	<i>Mer. jedin</i>	<i>08/2016</i>	1.	<i>Izdržaj u anaerobnoj zoni</i>	min	6'30"		$t_{an} = v_{max} - v_{app}$																																						
<i>Br.</i>	<i>Naziv</i>	<i>Mer. jedin</i>	<i>08/2016</i>																																																	
1.	<i>Izdržaj u anaerobnoj zoni</i>	min	6'30"																																																	
	$t_{an} = v_{max} - v_{app}$																																																			

1

Pokrajinski zavod za sport i medicinu sporta, Masarikova 25, 21000 Novi Sad; www.pzsport.rs
E-mail: info@pzsport.rs, Tel: ++38121 572 224, Fax: ++38121 572 277

Slika 4.3.2.

Treća strana izveštaja (slika 4.3.3.)



POKRAJINSKI ZAVOD ZA SPORT I MEDICINU SPORTA

ZAKLJUČAK:

Zdravstveni status: uredan nalaz. **Kompozicija tela** (procena izvršena upotrebom bioelektrične impedance) ukazuje na nizak procenat masti (12.9 %), u odnosu na bezmasnu masu (56.4 kg). Dobijene vrednosti su unutar optimalnih vrednosti za uzrast i sportsku disciplinu.

Aerobni kapacitet ($VO_{2\max} = 66.33 \text{ ml/kg}$, postignut pri brzini trčanja od 20.5 km/h), utvrđen direktnim merenjem potrošnje kiseonika progresivnim kontinuiranim testom na pokretnoj traci (sistem Quark CPET, COSMED). Rezultat je u rangu odličnih atletičara.

Anaerobni ventilacijski prag postignut je pri opterećenju od 14.5 km/h i potrošnji kiseonika od 55.69 ml/kg (84 % $VO_{2\max}$), te frekvenciji srca od $173/\text{min}$ (odgovara tempu od oko $4:08 \text{ min/km}$). Nešto duži raspon u testu, od anaerobnog praga do maksimalnog opterećenja, ukazuje na odličan anaerobni kapacitet/specifičnu izdržljivost.

Vreme oporavka: 1.min: 166

2.min: 144

3.min: 139

Prema spiroergometrijskim parametrima mogu se odrediti **pulsne zone**:

Zone intenziteta	Frekvencija srca
Regeneracijska zona:	<121 (< 8.5 km/h)
Zona ekstenzivnog aerobnog treninga:	121 – 155 (< 11.5 km/h)
Zona intenzivnog aer. treninga - zona praga:	155 – 173 (< 14.5 km/h)
Zona maksimalne potrošnje kiseonika:	>173

Merenje izvršio:
MSc Branko Đukić, prof.

Izveštaj obradio:
Prim.dr Biljana Savić, spec.sportske medicine

Novi Sad, 15.08.2016.

Pokrajinski zavod za sport i medicinu sporta, Masarikova 25, 21000 Novi Sad; www.pzsport.rs
E-mail: info@pzsport.rs, Tel: +38121 572 224, Fax: +38121 572 277

2

Slika 4.3.3.

LITERATURA

1. Arthur C. Guyton M.D., Medicinska fiziologija, jedanaesto izdanje, Beograd (2008.)
2. Astrand, P.O., Saltin, B., Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *Journal of Applied Physiology*, 16, 977-981, (1961.)
3. Bergh, U., Sjodin, B., Forsberg, A., The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans, *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 23(2), 205-211, (1991.)
4. Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Burnley M, Williams CA, Doust JH., Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison, *Journal of Applied Physiology*, 89, 899-907, (2000.)
5. Dr Nenad Sudarov, dr Franja Fratrić, Dijagnostika treniranosti sportista, Pokrajinski zavod za sport, Novi Sad (2010.)
6. Irving P. Herman, Physics of the Human Body, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2007.)
7. Malacko J., Rađo I., Tehnologija sporta i sportskog treninga, Sarajevo (2004.)
8. Slobodanka Stanković, Fizika ljudskog organizma, Novi Sad (2006.)
9. Tončev I., Atletika, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Novi Sad (1991.)
10. <https://www.kif.unizg.hr/images/50001062/Vucetic%20Vlatko%20-%20disertacija.pdf>
11. <http://www.kcs.ac.rs/index.php/sr/klinike/klinika-za-kardiologiju/kabinet-za-kardiometabolicku-neinvazivnu-funkcionalnu-dijagnostiku-ergospirometrija>
12. http://www.mfub.bg.ac.rs/global/pdf/nastavni/ias/medicinska_fiziologija/2010_2011/seminari/SEMINAR18Regulacijaaktivnostirespiracionogsistema.pdf
13. <https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0% B3%D0%B8%D1%98%D0%B0 %D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%B0%D1%9A%D0%B0 %D1%87%D0%BE%D0% B2%D0%B5%D0%BA%D0%B0>
14. <http://www.trcanje.rs/zdravlje/test-opterecenja/>
15. <http://newtechnologyba.com/medicina/bs/o-ergospirometriji/>
16. <http://www.vita-maxima.org/saznjite-vise/aerobna-sposobnost/>
17. <https://books.google.rs/books?id=fXtjAgAAQBAJ&pg=PA69&lpg=PA69&dq=respiratori+koeficijent&source=bl&ots=m4-r2zaUxW&sig=v-6yRBj5eGRi1iwccb7ig-2TGNs&hl=sr&sa=X&ved=0ahUKEwiZ7LSI7Z3PAhXFsxQKHVBuAcUQ6AEITTAI#v=onepage&q=respiratori%20koeficijent&f=false>

BIOGRAFIJA

Rođena sam 05.03.1986. godine u Novom Sadu. Pohađala sam osnovnu školu „Jovan Dučić“ u Petrovaradinu prva četiri razreda, a zatim od petog razreda pohađala sam osnovnu školu „Đorđe Natošević“ u Novom Sadu. Godine 2001. upisala sam Gimnaziju „Isidora Sekulić“ u Novom Sadu. Po završetku gimnazije, upisala sam Prirodno-matematički fakultet, na Univerzitetu u Novom Sadu. Odlučila sam se za fiziku, smer medicinska fizika. U toku studiranja postala sam majka dva sina, Stefana i Davida. U septembru 2016. godine položila sam sve ispite predviđene planom i programom.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada: Diplomski rad

VR

Autor: Jovana Vučić, 455/05

AU

Mentor: Dr Olivera Klisurić, redovan profesor

MN

Naslov rada: Procena maksimalne potrošnje kiseonika pomoću gasnog analizatora i trake za trčanje kao mera aerobne sposobnosti sportiste

NR

Jezik publikacije: srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda: srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja: Republika Srbija

ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina

UGP

Godina: 2016

GO

<i>Izdavač:</i>	Autorski reprint
IZ	
<i>Mesto i adresa:</i>	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
MA	
<i>Fizički opis rada:</i>	4 poglavlja/ 44 strane/ 33 slika/ 19 tabela
FO	
<i>Naučna oblast:</i>	FIZIKA
NO	
<i>Naučna disciplina:</i>	Medicinska fizika
ND	
<i>Predmetna odrednica/ ključne reči:</i>	Aerobni i anaerobni metabolizam, maksimalna potrošnja kiseonika, gasni analizator i pokretna traka
PO	
UDK	
<i>Čuva se:</i>	Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
ČU	
<i>Važna napomena:</i>	nema
VN	
<i>Izvod:</i>	U ovom radu je izvršeno merenje maksimalne potrošnje kiseonika pomoću gasnog analizatora i pokretnе trake za trčanje
IZ	

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP	
<i>Datum odbrane:</i>	27.09.2016.
DO	
<i>Članovi komisije:</i>	
KO	
<i>Predsednik:</i>	Dr Maja Stojanović, vanredni profesor
<i>član:</i>	Dr Olivera Klisurić, vanredni profesor, mentor
<i>član:</i>	Dr Dragan Doder, vanredni profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: Monograph publication

DT

Type of record: Textual printed material

TR

Content code: Final paper

CC

Author: Jovana Vucčić, 455/05

AU

Mentor/comentor: Dr Olivera Klisurić

MN

Title: Estimation of maximal oxygen uptake using the gas analyzer od the tredmill as a measure of aerobic fitness athletes

TI

Language of text: Serbian (Latin)

LT

Language of abstract: English

LA

Country of publication: Republic of Serbia

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2016

PY

Publisher: Author's reprint

PU

Publication place: Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

Physical description: 4 chapters/44 pages/31 pictures/19 tables/

PD

Scientific field: Physics

SF

Scientific discipline: Medical physics

SD

Subject/ Key words: The aerobic and anaerobic metabolism, maximal oxygen consumption, gas analyzer and running machine

SKW**UC**

Holding data: Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note: none

N

Abstract: In this work was peak oxygen consumption using a gas analyzer and treadmill for running

AB

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

DE

Thesis defend board: 27.09.2016.

DB

President: Dr Maja Stojanović, Associate Professor

Member: Dr Olivera Klisurić, Associate Professor

Member: Dr Dragan Doder, Associate Professor

