

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za šport

Kineziologija

**SREDSTVA IN METODE, KI NAJBOLJ VPLIVAJO NA POVEČANJE
MAKSIMALNE PORABE KISIKA PRI TEKAČIH**

Diplomsko delo

MENTOR:

prof. dr. Branko Škof

RECENZENT:

prof. dr. Milan Čoh

AVTOR:

Mario Dugonik

Ljubljana, 2015

Zahvala

Hvala vsem, ki ste mi tekom študija pomagali širiti obzorja in spremeniti pogled na kakšno stvar.

Hvala tistim, ki ste mi predajali znanje.

Najlepša hvala pa tistim, s katerimi smo se skupaj smejali ter ustvarjali nepozabne trenutke.

Hvala staršem za finančno pomoč tekom študija.

Hvala mentorju za pomoč pri izdelavi tega dela.

Katarina, hvala.

Bodite v cvetju!

Ključne besede: VO₂max, vzdržljivost, intenzivnost, trening

SREDSTVA IN METODE, KI NAJBOLJ VPLIVAJO NA POVEČANJE MAKSIMALNE PORABE KISIKA PRI TEKAČIH

Mario Dugonik

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2015

Kineziologija

IZVLEČEK

Namen dela je bil na osnovi znanstvenih podatkov in raziskav ugotoviti, katere metode in katera sredstva so za razvoj maksimalne porabe kisika najučinkovitejša. Prikazati smo želeli tudi kriterije oz. parametre, ki nam v največji meri pomagajo pri načrtovanju vadbe za razvoj maksimalne aerobne sposobnosti.

Opravili smo pregled mnogih znanstvenih raziskav. Ugotovitve so pokazale, da se mnenja raziskovalcev o učinkovitosti metod in intenzivnosti treninga razlikujejo. Nekateri kot najprimernejše prikazujejo manj intenzivne metode, drugi metode intenzivnosti VO₂max, tretji pa raziskujejo supramaksimalne metode. Kljub vsemu največ raziskav kot najprimernejše prikazujejo metode visokih intenzivnosti cone 3, to je med 90 in 100 % VO₂max ali nad pragom respiratorne kompenzacije. Najdlje so nivo maksimalne porabe kisika, VO₂max, testiranci vzdrževali v intervalnih metodah višjih intenzivnosti z aktivnim odmorom. Tudi vadba moči pravega tipa in obremenitve ima skupno gledano pozitiven vpliv na uspeh.

Key words: VO₂max, endurance, intensity, training

THE MOST EFFICIENT METHODS FOR INCREASING RUNNERS' MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION (VO₂MAX)

Mario Dugonik

University of Ljubljana, Faculty of Sport, 2015

Kinesiology

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the methods and means that are most efficient in developing the maximum oxygen consumption, which will be based on scientific data and research. It also intended to demonstrate the criteria or parameters that assist us the most when planning exercises for the maximization of aerobic capacity.

After reviewing several scientific studies, our findings have shown that researchers have varying views on the effectiveness of different methods and the intensity of the trainings. Some of them show a preference for less intensive methods, others favor intensities around VO₂max, and some focus on supramaximal methods. Despite various opinions, most researchers view methods of higher intensity of zone 3, which is between 90 % and 100 % VO₂max, or above the respiratory compensation threshold, as the most appropriate. VO₂max level research subjects withstood the longest in interval methods of higher intensities with an active break. A power exercise of an appropriate type and difficulty also influences a positive outcome.

Kazalo

1 Uvod	7
2 Cone fiziološkega napora in vzdržljivost	8
2.1 Cone fiziološkega napora	8
2.2 Vzdržljivost	11
3 Objektivni parametri za definiranje con fiziološkega napora in vadbe vzdržljivosti	13
3.1 Pragovi fiziološkega napora	13
3.2 Maksimalna poraba kisika ali VO ₂ max	16
3.3 Ekonomičnost teka	17
3.4 Maksimalna aerobna hitrost	18
3.5 Maksimalno stacionarno stanje laktata v krvi – MSSL	18
3.6 TLIM	19
3.7 Kritična hitrost	19
3.8 RQ – respiratorni kvocient	20
4 Maksimalna poraba kisika	22
4.1 Fiziološke in biokemijske značilnosti napora pri VO ₂ max	22
4.2 Pomen VO ₂ max za tekmovalno uspešnost	25
5 Pregled raziskav o vplivu različnih sredstev in metod na razvoj VO ₂ max	26
5.1 Obstaja pri treningu za razvoj VO ₂ max optimalna intenzivnost?	26
5.1.1 Trening pri nižji intenzivnosti	27
5.1.2 Trening pri višji intenzivnosti	29
5.1.3 Zelo visoka intenzivnost	33
5.2 Vaje za moč	34
6 Ugotovitve in lastno mnenje	38

7 Sklep	40
8 Viri	41

1 Uvod

Športna vadba je zgrajen proces športnega izpopolnjevanja, ki preko načrtovanega in sistematičnega delovanja pomaga športniku do čim boljšega nastopa v izbrani športni disciplini. V procesu športne vadbe imamo vedno opravka z nepredvidljivimi in dinamičnimi sistemi, ki se ves čas spreminjajo (Ušaj, 1996).

Načela procesa športne vadbe po Bompì (1993) so skupina izkušenj, ki so bila dognana v zgodovini razvoja športne vadbe. Načela lahko upoštevamo kot pravila, ki nam bi naj vsakič narekovala, kako se lotiti procesa športne vadbe.

Uspešnost v športu je odvisna od mnogih dejavnikov. Na nekatere lahko vplivamo, na druge ne. Enega največjih vplivov imajo ustrezna izbira metod in sredstev, pravilna obremenitev in zadosti počitka. V vzdržljivostnih športih je razvoj vzdržljivosti ena od najpomembnejših nalog.

Uspešnost v teh disciplinah se najpogosteje povezuje z maksimalno porabo kisika (VO_2max), intenzivnostjo pri aerobnem in anaerobnem pragu in ekonomičnostjo tehnike gibanja. Meja maksimalne porabe kisika je torej tisti omejitveni dejavnik, ki predstavlja nekakšno mejo, s kakšno intenzivnostjo bo telo še premagovalo napor aerobno (Ušaj, 1996).

Znanstveniki so skozi zgodovino raziskovali in iskali najboljša sredstva in metode s čim večjim vplivom na uspehe športnikov. Če so na začetku poznali trening v obliki dlje in hitreje, je nekje od začetka tridesetih let 20. stoletja, ko je Hill izumil koncept maksimalne porabe kisika in kisikovega deficita, finski tekač Pavo Nurmi začel z uporabo intervalnega treninga. Po 2. svetovni vojni je intervalni tek postal način treninga najuspešnejših dolgoprogašev (Zatopek, Pirie, Herman) (Billat, 2001). Znanstveniki v svojih raziskavah predstavljajo in primerjajo različne vadbene tipe. Njihova razdelitev po fizioloških conah napora pa se od enega do drugega raziskovalca razlikuje.

V nalogi želimo na osnovi znanstvenih podatkov in raziskav ugotoviti, katere metode in katera sredstva so za razvoj maksimalne aerobne sposobnosti najučinkovitejša. Ugotoviti in prikazati želimo tudi to, kateri kriteriji oz. parametri nam v največji meri pomagajo pri oblikovanju vadbenih sredstev za razvoj maksimalne aerobne sposobnosti.

2 Cone fiziološkega napora in vzdržljivost

2.1 Cone fiziološkega napora

Napor je odziv organizma na dano obremenitev (Ušaj, 1996). V metodiki športne vadbe vzdržljivostnih športnih disciplin je potrebna natančnejša delitev fiziološkega napora oz. vzdržljivosti, kot je delitev na aerobno in anaerobno, saj ima vsaka disciplina specifično fiziološko-biokemijsko ozadje. Zato obstajajo natančne klasifikacije (cone) fiziološkega napora in vzdržljivosti. Vsako intenzivnostno cono določajo specifični fiziološki procesi in odzivi, na katere poskušamo vplivati s treningom.

Bompa razdeli intenzivnost v 6 con: *Cona najnižje intenzivnosti*, ki jo predstavlja počasen tek, je povsem oksidativna cona 1. Predstavlja intenzivnost okrog ali celo pod 50% VO₂max. Energija se pridobiva z aerobnimi energijskimi procesi v počasnih mišičnih vlaknih, katerim goriva so glukoza, glicerol in proste maščobne kisline, s skupnim imenom eksogena goriva. Po Ušaju (1990) ob tej intenzivnosti v telesu poteka beta oksidacija maščob; izbira maščob kot goriva je bolj ekonomična, saj so na eno enoto energetske močnejša od ogljikovih hidratov. Kateholamini sproščajo glicerol in maščobne kisline v kri; inzulin pomaga pri večjem transportu glukoze iz krvi v mišično celico. Pretok krvi je dovolj velik in pri tej intenzivnosti omogoča dolgotrajen napor. Končni produkt aerobnih procesov je tvorba ogljikovega dioksida in vode.

Druga cona je po intenzivnosti *nizko zmerna*, njen večinski delež je prav tako aerobni (*aerobic threshold training*). Predstavlja intenzivnost med 50 in 70 % VO₂max (okrog laktatnega/aerobnega praga – *aerobic threshold training*). Dobava energije do celic je v tej coni glavni omejitveni dejavnik. Trajanje dejavnosti je omejeno na 120 minut pri vsebnosti laktata med 2 in 3 mmol/l (Bompa, 2009).

Če intenzivnosti povečamo na okrog 80-85 % VO₂max se nahajamo v coni 3 (cona anaerobnega praga – *anaerobic threshold training*), ki je definirana kot *zmerna*. Je prva cona, kjer se kot energijski sistem začne vključevati glikolitični. Uporablja se jo na tekmah, kjer napor traja od 30 minut do ene ure pri vsebnosti laktata v krvi od 4–6 mmol/l. Poleg tvorbe laktata, poteka tudi poraba le-tega, najpogosteje s strani manj obremenjenih mišic, srca in jeter. Glavna značilnost te cone je ravno uravnotežena tvorba in poraba laktata – ohranja se STEADY STATE stanje (Bompa 2009).

S povečevanjem intenzivnosti se poveča tudi število aktivnih hitrih oksidativnih vlaken. Zaradi tega, in večje intenzivnosti glikolize v teh vlaknih, se delež energije iz anaerobnih laktatnih procesov povečuje in tako pridemo do naslednje cone. 4. cona (*maximum oxygen consumption training*) ima *zmerno visoko* stopnjo intenzivnosti in je že anaerobna.

Vzdržujemo jo lahko med 3 in 10 minutami; naprimer tek na 1500 in 3000m (Bompa, 2009). Prihaja do rušenja stacionarnega stanja vsebnosti laktata v krvi in acidobaznega ravnovesja. Kompenziranje metabolične acidoze s strani respiratornega sistema je neuspešno.

Naslednja cona je cona 5 (*lactate acid tolerance training*). Je 95% anaerobna in že v veliki meri odvisna tudi od fosfatnega energijskega sistema; stopnja intenzivnosti je definirana kot *visoka*. Acidoza narašča premo sorazmerno s trajanjem. Uporablja se za hitre ponovitve trajanja med 15 in 90 sekundami. Velik vpliv ima na živčni sistem (Bompa, 2009).

Cona 6 (*phosphate system training*) je *cona največje intenzivnosti* v trajanju od 4 do 15 sekund in največkrat v obliki raznih metov, skokov ali nalogov uteži. Je izključno anaerobna alaktatna in največkrat omejena ravno z mišičnimi zalogami kreatin-fosfata (Bompa, 2009).

Jack Daniels je trener in znanstvenik, ki za parameter določanja con intenzivnosti uporablja srčni utrip. Tako omenja pet con:

- a) *tempo počasnih/dolгих tekov* (60–79 % FSmax oz. 59–74 % VO₂max);
- b) *tempo maratona* (80–85 % FSmax oz. 75–84 % VO₂max);
- c) *tempo anaerobnega praga* (88–92 % FSmax oz. 83–88 % VO₂max);
- d) *intervalni tempo* (97–100 % FSmax oz. 95–100 % VO₂max);
- e) *tempo ponovitev*, ki so v bistvu krajši in hitrejši intervali (100 % FSmax in 105–120 % VO₂max).

Drugo klasifikacijo con napora navajata avtorja Martin in Coe, ki omenjata štiri osnovne ravni treninga glede na vrednosti maksimalne porabe kisika:

- a) *aerobic conditioning*, ki ga definirata kot dolge teke intenzivnosti (55–75 % VO₂max);
- b) *anaerobic conditioning* z intenzivnostjo med 75 % in 90 % VO₂max – območje tempo tekov in tekov steady-state stanja;
- c) *aerobic capacity* (90–100 % VO₂max) – cona intervalnih tekov in fartlekov, kjer tempo ponavadi ni ohranjen dlje kot 10 minut in primarno vpliva na glikolitični sistem;
- d) *anaerobic capacity* (100–110 % VO₂max) – cona intervalov višjih hitrosti, ponavadi v trajanju od 30 do 120 sekund; vpliva na fosfatni in hitri glikolitični energijski sistem (Martin & Coe, 1996).

Finski znanstvenik Hirvonen trening prav tako razdeli v štiri cone, a je prva cona razdeljena na dva dela, tako da jih je v bistvu pet. Trening, ki vpliva na oksidacijo maščob in aerobni prag, imenuje *bazična vzdržljivost*; višja intenzivnost, ki vpliva na oksidacijo ogljikovih

hidratov in anaerobni prag, je *tempo vzdržljivosti*. Naslednjo cono, ki vpliva na razvoj $VO_2\max$ in puferskih kapacitet, je poimenoval *največja aerobna moč*. Trening tolerance na acidozo za povečanje anaerobne kapacitete in anaerobne laktatne energije imenuje *hitrostna vzdržljivost*. Najbolj intenziven trening pa je trening za razvoj hitrosti, anaerobne moči in anaerobne alaktatne energije – *vzdržljivost v maksimalni hitrosti*.

Vedno pogostejše je uporabljena novejša razdelitev v tri cone glede na stopnjo ventilacije. Španski raziskovalec Esteve Lanao pri svojih študijah napor razdeli v tri stopnje po parametru privzema kisika:

- a) cona 1 – pod ventilacijskim pragom, definirana tudi kot *nizka intenzivnost* (do 70 % $FS_{\max}$);
- b) cona 2 – med ventilacijskim pragom in pragom respiratorne kompenzacije, znana kot *zmerna intenzivnost* (med 70 in 90 % maksimalne srčne frekvence);
- c) cona 3 – nad pragom respiratorne kompenzacije – *visoka intenzivnost* (nad 90 % $FS_{\max}$) (Esteve Lanao, 2007).

Janssen osnovne tri cone, ki jih imenuje *aerobna*, *vzdržljivostna* in *anaerobna cona*, razširi v šest con, tako da ima vsaka glavna dve »podconi«. Stopnje napora so deljene glede na intenzivnost doseženega anaerobnega pragu. Sedma cona v tej delitvi je *cona najnižje intenzivnosti*, popolnoma aerobna cona, ki je namenjena regeneraciji. Cone si sledijo tako:

- a) *prva aerobna cona* intenzivnosti med 70 % in 80 % anaerobnega praga; imenovana tudi ekstenzivna dolgotrajna metoda;
- b) *druga aerobna cona* z intenzivnostjo od 80 % do 90 % anaerobnega praga;
- c) *prva vzdržljivostna cona* intenzivnosti od 90 % do 100 % anaerobnega praga; imenovana tudi intenzivna dolgotrajna metoda;
- d) *druga vzdržljivostna cona* z intenzivnostjo med 100 % in 110 % anaerobnega praga;
- e) *prva anaerobna cona*, ki jo definira kot cono anaerobne glikolize in lahko traja do treh minut;
- f) *druga anaerobna cona ali cona sprinta*, ki je fosfatna in jo lahko vzdržujemo do 10 sekund (Janssen, 2001).

Italijanska raziskovalca in trenerja, Enrico Arcelli in Renato Canova, omenjata razdelitve glede na hitrost. Prikazujeta šest različnih con s konkretno podanimi okvirnimi hitrostmi tako za elitnega tekača kot tudi za tekača srednjega (regionalnega) nivoja.

- a) *hitrost A* definirata kot hitrost s tempom približno 4'45"/km pri elitnih tekačih in 5'15"/km pri tekačih regionalnega nivoja; lahko jo enačimo z nizko intenzivnostjo;
- b) *hitrost B* – 4'00"/km ter 4'30"/km – glede na prvo hitrost se fiziološki procesi ne spremenijo kaj dosti;
- c) *hitrost C* – blizu hitrosti aerobnega praga – za elitnega tekača približno 3'05"/km in približno 3'25"/km za tekača srednjega kova;
- d) *hitrost D* – blizu anaerobnega praga – elitni tekači tempo 2'53"/km, ostali približno 3'10"/km;
- e) *hitrost E* – blizu tempa tekme – 2'38"/km za elitne tekače in 2'55"/km za tekače regionalnega nivoja; vključevanje anaerobnega laktatnega sistema;
- f) *hitrost F* – tempo tekme na 1500 m – elitni tekači okrog 2'22"/km in 2'37"/km za tekače regionalnega nivoja; vključevanje hitrih glikolitičnih vlaken (Arcelli, 2001).

2.2 Vzdržljivost

Vzdržljivost je odvisna od funkcionalne sposobnosti organizma (torej od učinkovitosti presnovnih procesov in hitrosti odpravljanja stranskih produktov presnovnih procesov), od ekonomičnosti trošenja ustvarjene energije, morfoloških dejavnikov, psiholoških dejavnikov ter dejavnikov okolja.

V teoriji obstajajo različni kriteriji, ki delijo vzdržljivost glede na topološki vidik, vidik načrtovanja vadbe in energijski oziroma fiziološko-biokemijski vidik. Tako ločimo aerobno in anaerobno vzdržljivost; prva je poimenovana tudi srčno-žilna, druga pa mišična (Škof, 2007).

Ušaj (1996) razdeli vzdržljivost na dolgotrajno, superdolgotrajno in hitrostno:

a) dolgotrajna vzdržljivost

- je psihomotorična sposobnost, ki definira napore v trajanju med tremi minutami in eno uro. Biološka osnova le-te so aerobni energijski procesi. Osnova teh procesov je kisik in poleg njega primerna goriva – glikogen, glukoza, proste maščobne kisline in glicerol (Astrand, 1986), katerih količina je v telesu zadostna. Več je goriva, večja je aerobna kapaciteta. Poleg kapacitete ali trajanja pa je za daljšo obremenitev pomembna tudi moč – kako hitro se porabljen energija sproti obnavlja. Ravno zato imajo aerobni energijski procesi zgornjo mejo intenzivnosti napora, ki je definirana z največjo porabo kisika. Omejitveni dejavniki dolgotrajne vzdržljivosti so: mišice, v katerih prevladujejo rdeča mišična vlakna; delovanje srčno-žilnega sistema, ki mora mišicam dobaviti kar največ kisika; poraba kisika, ki določa zgornjo mejo intenzivnosti, do katere bo telo napor premagovalo s pomočjo aerobnih energijskih procesov; kopičenje presnovnih produktov (ogljikov dioksid in voda pri aerobnih

procesih in mlečna kislina pri anaerobnih procesih); zaloga goriv glikogena; ekonomičnost gibanja ter okolje (Ušaj, 1996);

b) superdolgotrajna vzdržljivost

- podobna dolgotrajni vzdržljivosti. Je izključno aerobna; traja lahko tudi več dni. Cilj je hranjenje glikogenskih zalog oziroma racionalna hitrost porabe. Velik vpliv ima ustrezna motivacija in vztrajnost (Ušaj, 1996).

c) hitrostna vzdržljivost

- po Astrandu (1986) je to sposobnost premagovanja največjega napora v trajanju do dveh minut. Kljub temu, da so ji podlaga anaerobni energijski procesi in gorivo glikogen ter da se vadbena količina in intenzivnost razlikujeta od treninga za razvoj dolgotrajne vzdržljivosti, se v raziskavah, ki dokazujejo vpliv na največje povečanje $VO_2\max$, zelo pogosto uporabljajo tudi treningi, specifični za razvoj hitrostne vzdržljivosti. Je tudi eden izmed omejitvenih dejavnikov dolgotrajne vzdržljivosti, ta pa eden izmed le-teh hitrostne vzdržljivosti. Omejitveni dejavniki hitrostne vzdržljivosti so: kopičenje laktata in metabolična acidoza; zmanjšanje zalog kreatin-fosfata; porušena koordinacija, ki je prva izmed faz utrujanja; najvišja hitrost gibanja; vzdržljivost, ki je pomembna tudi ob malo daljših bolj intenzivnih naporih ter občutek za hitrost (Ušaj, 1996).

3 Objektivni parametri za definiranje con fiziološkega napora in vadbe vzdržljivosti

Fiziološki dejavniki uspeha v tekih na dolge razdalje so bili dobro dokumentirani in za glavne so določili maksimalno porabo kisika, laktatni prag in ekonomičnost teka. Predstavljale bi naj več kot 70 % variance uspeha (di Prampero, 1986). Zaradi tega se morajo trenerji pri pripravi planov za tekače osredotočiti predvsem na izboljšanje le-teh. Kljub temu se danes še ne ve, katere metode treniranja so najbolj učinkovite. Objektivni parametri nam pomagajo objektivno spremljati stopnjo napora in s tem pomoč pri samem načrtovanju vadbenih enot in spoznavanju učinkovitosti metod in sredstev.

V znanstveni literaturi in praksi športnega treniranja so danes za definiranje con fiziološkega napora najpogosteje uporabljeni sledeči kriteriji.

3.1 Pragovi fiziološkega napora

Pragove fiziološkega napora definiramo na osnovi frekvence srca, dinamike metaboličnih parametrov – kopičenje laktata v krvi, pH krvi in respiratornega količnika – in ventilacijskih parametrov.

Pri branju tuje strokovne literature lahko hitro opazimo, da so pojmi v zvezi s pragovi še danes med različnimi avtorji smatrani različno. Poleg različnih imen, ki pomenijo enake vrednosti v grafih in predstavljajo zmešnjavo, lahko zasledimo še pojme, ki jih nekateri enačijo z drugimi pojmi, drugi avtorji pa jih smatrajo kot različne.

V zadnjih 50. letih so laktatni pragovi in krivulja krvnega laktata postali pomemben del diagnostike uspeha v vzdržljivostnih športih. Laktat je snov, ki se nabira v krvi. Večja je intenzivnost in s tem obremenitev za telo, več je tudi laktata. Če je intenzivnost večja, telo porablja več ogljikovih hidratov, laktat pa je eden izmed končnih produktov presnove. Laktat ni odpadek, temveč energetsko razmeroma bogata spojina, ki jo lahko uporabljajo možgani, jetra in tudi ledvice. Izmeriti ga je relativno enostavno – z odmerkom krvi iz konice prsta ali ušesne mečice. Laktatni prag je pokazatelj sprememb na fiziološki ravni (Faude, 2009).

Leta 1979 je Kinderman s sodelavci predstavil model aerobno-anaerobnega prehoda v krivulji koncentracije laktata v odvisnosti z obremenitvijo. Model vsebuje dve točki, značilni za stopnjujoč test. Prva je značilna za nizko intenzivnost, ob kateri se vsebnost laktata v krvi malo dvigne nad tisto iz mirovanja in se imenuje *aerobni prag* (okoli 2 mmol/L). Je zgornja meja, kjer je prisotna samo aerobna presnova. Je nekje med 75 in 80 % FSmax in okrog 70 % VO₂max. Intenzivnost enaka tej se uporablja za izboljšanje splošne kondicije pri srčno-žilnih

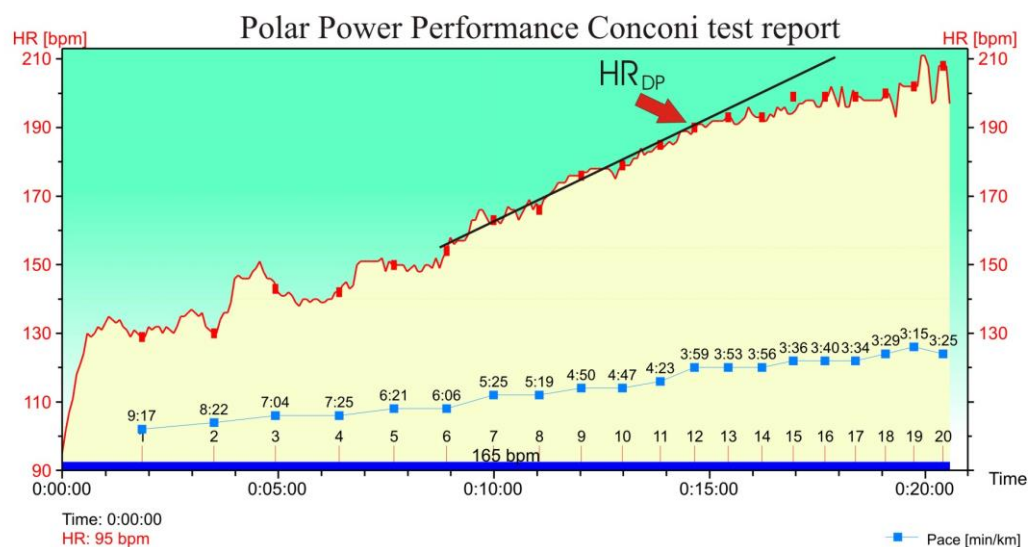
bolnikih, za rekreativce ter tudi za regeneracijske teke bolje pripravljenih tekačev. S povečanjem obremenitve se tudi koncentracija laktata povečuje. Dokler je telo še sposobno vzdrževati ravnovesje med proizvodnjo in odpravljanjem laktata, se nahaja v prehodni aerobno-anaerobni coni. Pri vsebnosti laktata 4 mmol/L v krvi se doseže anaerobni prag – točka, kjer se laktat začne kopičiti hitreje, saj postaja produkcija hitrejša od porabe. Nekateri mu pravijo tudi OBLA (Faude, 2009).

OBLA je intenzivnost vadbe, ki ustreza 4 mmol/L koncentracije laktata v krvi ter predstavlja najvišjo točko, kjer je koncentracija laktata še v dinamičnem ravnovesju in ustreza prehodu v večjo obremenitev (Santos-Cocejero, 2013). OBLA se zdi nekaterim znanstvenikom koristna, drugim pa malo manj in se je raje izogibajo. Problem bi naj bil v njeni »absolutnosti«. Predpostavimo, da je koncentracija laktata v krvi ob lahkem teku pri tekaču 2,5 mmol/L. Dosega 4 mmol/L pri istem tekaču pomeni verjetno nekaj drugega kot pri drugem, ki je začel na stopnji 0,5 mmol/L – tekla sta drug ob drugem.

V člankih zelo pogosto zasledimo parameter vLT, ki pomeni hitrost, ob kateri posameznik doseže laktatni prag. Vendar je ta termin marsikdaj zavajajoč in ga nekateri znanstveniki (Billat, Koralzstein) enačijo s hitrostjo ob anaerobnem pragu (tudi vLAT).

Skozi zgodovino so različni znanstveniki uporabljali različna poimenovanja za enake pragove. Za aerobni prag tako zasledimo poimenovanja laktatni prag, OPLA (Onset of Plasma Lactate Accumulation) in prvi ventilacijski prag; za anaerobni prag pa laktatna točka obrata, OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) in drugi ventilacijski prag (Faude, 2013).

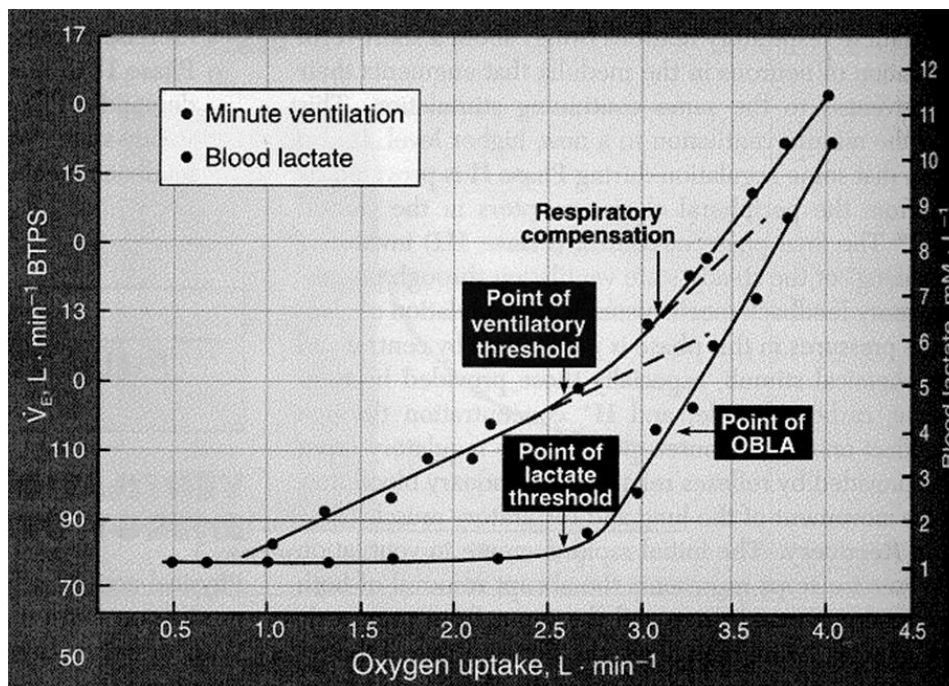
Poznamo torej več kriterijev za določitev pragov. Poleg merjenja laktata poznamo tudi metode, kjer nam pomaga srčna frekvenca. Tako s pomočjo Conconijevega testa določamo prag defleksije srca, kjer ob postopnem povečevanju intenzivnosti do maksimalne merimo frekvenco srca. Tekoč ob neprekinjenem merjenju frekvence srca povečuje svojo hitrost iz začetne, ki je med 10 in 12 km/h, za 0,5 km/h na vsakih 200 m. Na vsakih 200 m mora dati merilniku vedeti, da gre za novo stopnjo. Dovolj je 12 do 16 200-metrskih odsekov progresivnega naraščanja hitrosti (Arcelli, 2001). Ko te vrednosti vnesemo v diagram, dobimo krivuljo. Krivulja je najprej strmejša, nato položnejša – točko spremembe označujemo za točko defleksije srca in bi naj bila malo nad točko, ki jo določa anaerobni prag (Ušaj, 1996).



Person		Date	27.4.2005	Heart rate average	165 bpm	Limits 1	140 - 155
Exercise	05042701 (3)	Time	12:24:07	Heart rate max	211 bpm		
Sport	Running	Duration	0:20:37.6	Distance	4.0 km		
Note	Deflection velocity 13,69 km/h		Deflection HR 189 bpm		Selection 0:00:00 - 0:20:35 (0:20:35.0)		

Slika 1: Prikaz Coconijevega testa s Polarjevim merilnikom srčne frekvence. Točko defleksije srca označuje puščica (Vir: zdtriatlon.com.hr/2011/03/29/346)

Fiziološke meje lahko določimo tudi na osnovi sprememb dinamike respiratornih funkcij, najpogosteje je to ventilacija. Ventilacijski prag je opredeljen kot točka med progresivno obremenitvijo, pri kateri se začne pljučna ventilacija povečevati v sorazmerju s povečanjem porabe kisika (Powers s sod., 1985). V več raziskavah je bil poročan kot pomemben dejavnik sposobnosti za vzdržljivostne teke med 5000 m in maratonom (Kumagai, 1982; Peronnet, 1987). Ventilacijski prag je določen po kriteriju naraščanja VE/VO_2 in $P_{et}O_2$ ob stagniranju parametra VE/VCO_2 . Prag respiratorne kompenzacije ali drugi ventilacijski prag je določen z naraščanjem parametrov VE/VO_2 in VE/VCO_2 ter padanjem parametra $P_{et}O_2$ (Lucia, 2000). VE/VO_2 je ventilacijski ekvivalent za kisik, VE/VCO_2 pa ventilacijski ekvivalent za ogljikov dioksid. Pri merjenju sta nam v pomoč dve metodi: ventilacijska krivulja in V-slope metoda. Pri V-slope metodi je ventilacijski prag definiran s točko, kjer postane poraba ogljikovega dioksida večja od porabe kisika. Na ventilacijski krivulji (Slika 2) pa s točko, ko se začne dihanje povečevati nelinearno. Poznamo prvi ventilacijski prag, ki določa začetek strmejšega naraščanja vrednosti minutnega volumna izdihanega zraka in drugi ventilacijski prag, poznan tudi kot prag respiratorne kompenzacije, kjer začne na grafu odvisnosti minutnega volumna od intenzivnosti obremenitve ta volumen drugič strmeje naraščati (Ušaj, 1990).



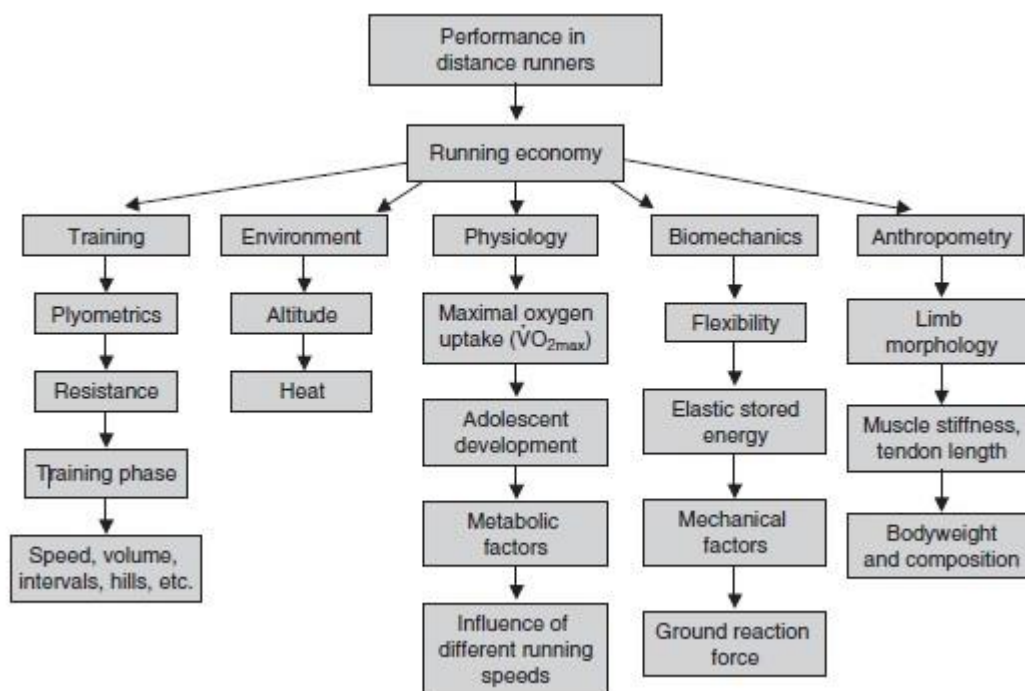
Slika 2: Graf določanja laktatnega in ventilacijskega praga ter točke, definirane kot OBLA (Vir: Cheatman, 2013)

3.2 Maksimalna poraba kisika ali $\dot{V}O_{2\max}$

Ker predstavlja glavno temo diplomske naloge, je obširneje predstavljena v naslednjem poglavju.

3.3 Ekonomičnost teka

Ekonomičnost teka je nič drugega kot poraba energije ob določeni hitrosti. Tisti z boljšo bodo ob enaki hitrosti teka porabili manj energije. Ponavadi se meri na tekaški preprogi z merjenjem porabe kisika in respiratornega količnika. Na ekonomičnost teka vplivajo fiziološki in biomehanski dejavniki, antropometrične značilnosti, način treninga ter okolje, v katerem treniramo. Na spodnji sliki so prikazani razširjeni dejavniki, ki vplivajo na ekonomičnost teka.



Slika 3: Dejavniki, ki vplivajo na ekonomičnost teka (Vir: Midgley, 2007)

Ob predpostavki, da imamo dva vrhunška tekača s podobnim VO₂max, je ekonomičnost teka boljši napovedovalec uspeha kot vrednosti same maksimalne porabe kisika (Saunders, 2004). Obstaja prepričanje, da tekač s časom treninga osvoji svojo najbolj ekonomično tekaško tehniko. Veliko let treninga in s tem veliko kilometrov seveda vpliva na ekonomičnost teka. Mayhew (1977) je ugotovil veliko povezanost ($r = 0.62$) med leti treniranja in ekonomičnostjo teka pri dobro treniranih tekačih. Kljub temu, da bi potemtakem pričakovali, da starejši tekači tečejo bolj ekonomično, je v raziskavi Pate RR (1992) ugotovil, da ekonomičnost teka ni povezana s starostjo tekačev med 20. in 60. letom. V raziskavah, kjer so delali z metodami visoko intenzivnega treninga, so ugotovili nejasne oziroma dvomljive povezave tega treninga z ekonomičnostjo teka. Slawinski s sod. (2001), Billat s sod. (1999) in drugi, ki so v raziskavi uporabljali intervalni trening visoke intenzivnosti med 93 in 106 % VO₂max, so ugotovili bistveno izboljšanje ekonomičnosti teka. Di Prampero (1986) je s sodelavci izjavil, da 5 % povečanje ekonomičnosti teka izboljša dolgoprogaški nastop za 3,8

%.

Conley (1984) je preučeval fiziološke odzive takratnega ameriškega rekorderja v teku na miljo, Steva Scotta, in ugotovil, da je ob 6-mesečnem programu treninga izboljšal svoj VO_2max za 3,8 % (iz 74,4 na 77,2 mL/kg/min) ter ekonomičnost teka (merjeno na hitrosti 16 km/h) za 6,6 % (iz 48,5 na 45,3 mL/kg/min). Torej, bolj ekonomičen tekač je sposoben teči na nižjem procentu VO_2max in z nižjo koncentracijo laktata pri določeni hitrosti. Weston s sod. (1999) je preučeval ekonomičnost teka pri osmih kenijskih dolgoprogaših in jih primerjal z »belimi« tekači. Kenijci so imeli kljub 13 % slabši vrednosti VO_2max na 10 km podoben čas kot beli tekači. Ekonomičnost teka je bila 5 % boljša pri Kenijcih. Franch s sod. (1998) je primerjal intervalni trening intenzivnosti na 94 %, 106 % in 132 % VO_2max in ugotovil izboljšanje ekonomičnosti teka ob prvi in drugi intenzivnosti, medtem ko najvišja supramaksimalna intenzivnost ni bila učinkovita. Za povečanje maksimalne porabe kisika je kot najbolj učinkovito navedel intenzivnost 106 % VO_2max . Pozitiven vpliv treninga moči in pliometrije na ekonomičnost teka zaznamo pri več avtorjih (Paavolainen, 1999; Spurrs, 2003; Turner, 2003; v Midgley, 2007). Omenjeni avtorji so prikazali, da bi naj takšen način treninga povzročal večjo mehansko učinkovitost zaradi povečane mišične moči, boljše rekrutacije mišičnih enot ter večje togosti mišice, kar vpliva na samo ekonomičnost.

Torej – visoko intenzivni trening intervalov, neprekinjen tek z intenzivnostjo vOBLA (Sjodin, 1982) in trening moči/pliometrije imajo pozitiven vpliv na izboljšanje ekonomičnosti teka. Če povzamemo, da tekač ekonomičnost samo po sebi razvija že ob vseh treningih, je najbolj logičen rezultat raziskave Jonesa in Carterja (2000), ki sta ugotovila, da je tekač tipično najbolj ekonomičen ob hitrostih, ki jih največ trenira.

Zgoraj naštetе študije dokazujejo, da se ob izboljšanju tehnike teka izboljša tudi rezultat.

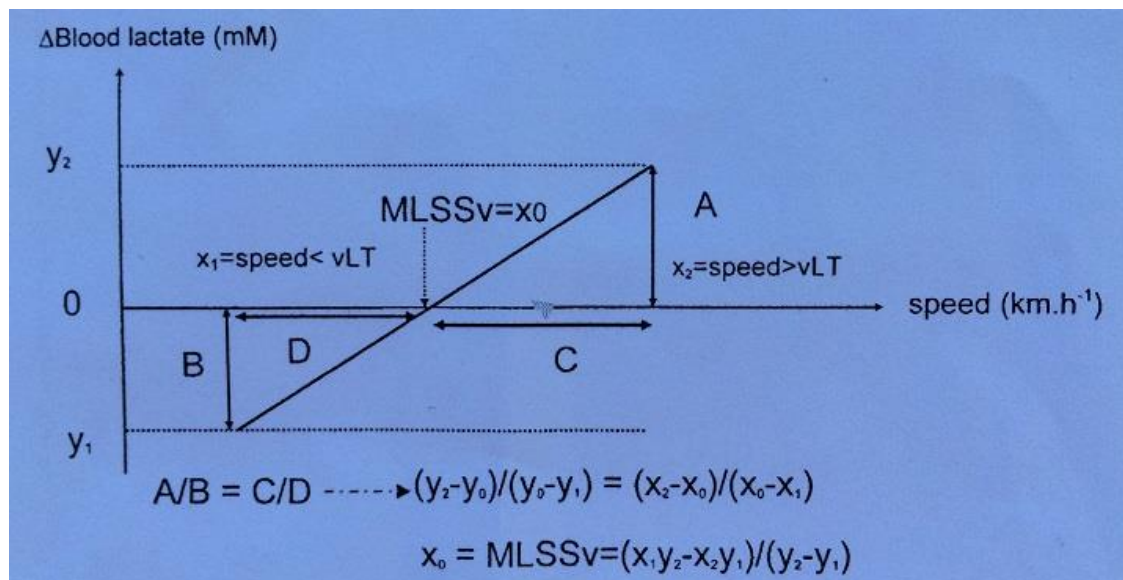
3.4 Maksimalna aerobna hitrost

Maksimalna aerobna hitrost (MAS – maximal aerobic speed) je definirana kot minimalna hitrost, ki je potrebna, da se doseže VO_2max (Morgan, 1989; Billat, 2000). Pomenila bi naj hitrost, s katero zelo dobro trenirani tekači odtečejo tekme med 1500 m in 3000 m. Čas do izčrpanja na tej intenzivnosti bi naj bil med tremi in devetimi minutami (Lacour, 1990). $v\text{VO}_2\text{max}$ je pogosto uporabljen sinonim za maksimalno aerobno hitrost.

3.5 Maksimalno stacionarno stanje laktata v krvi – MSSL

Najvišja dolgotrajna obremenitev, kjer se ravnovesje med proizvodnjo in odplakovanjem laktata še ohranja, se imenuje točka maksimalnega laktatnega ravnovesja (ang. maximal

lactate steady state – MLSS). Z drugimi besedami je to najvišja intenzivnost vadbe, ob kateri še ohranjamo stabilno vsebnost laktata v krvi. Dokazano je bilo, da se lahko konstanta vsebnosti laktata na točki MLSS pri posameznikih zelo razlikuje (celo od 2 do 10 mmol/L) (Faude, 2013).



Slika 4: Določanje hitrosti maksimalnega stacionarnega stanja iz sprememb v vsebnosti laktata v krvi v odvisnosti od hitrosti. Opravljena sta bila dva 20-minutna teka, eden 5% pod v_{LT} , drug 5% nad v_{LT} . (Vir: Billat in sod., 2004)

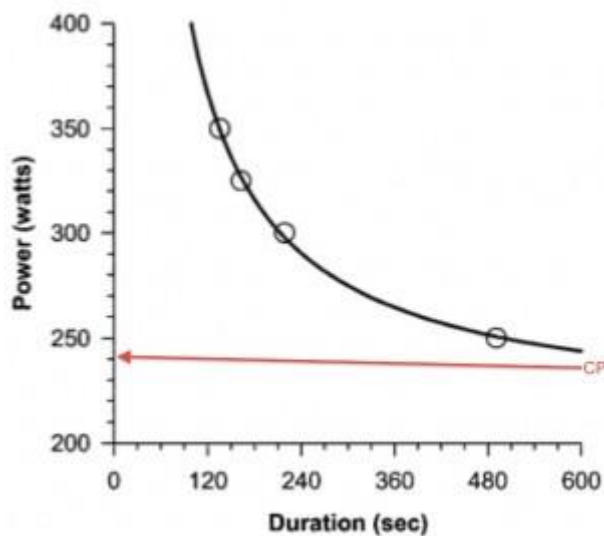
3.6 TLIM

Je čas, ki ga posameznik vzdrži v neprekinjeni obremenitvi ob določeni intenzivnosti. Tako poznamo tlim test z intenzivnostjo npr. 100 % VO_2max (tlim VO_2max) in pomeni čas, ki ga posameznik vzdrži pri intenzivnosti maksimalne porabe kisika (Billat, 2000). Čas do izčrpanosti s hitrostjo MAS (tlimMAS) se lahko med tekači, ki imajo tudi enake vrednosti VO_2max zelo razlikuje.

3.7 Kritična hitrost

To je hitrost nad MLSS, s katero se doseže VO_2max po določenem času. Primerljiva je hitrosti $\Delta 50_{LT}$, ki je definirana kot sredina med v_{LT} (tukaj smatran kot 4 mmol/l) in $v\text{VO}_2\text{max}$. Z intenzivnostjo kritične hitrosti dobro trenirani tekači odtečejo 10-kilometrsko tekmo na polno (Billat, 1999). Kritično hitrost lahko izračunamo na več načinov. Poznamo 2-

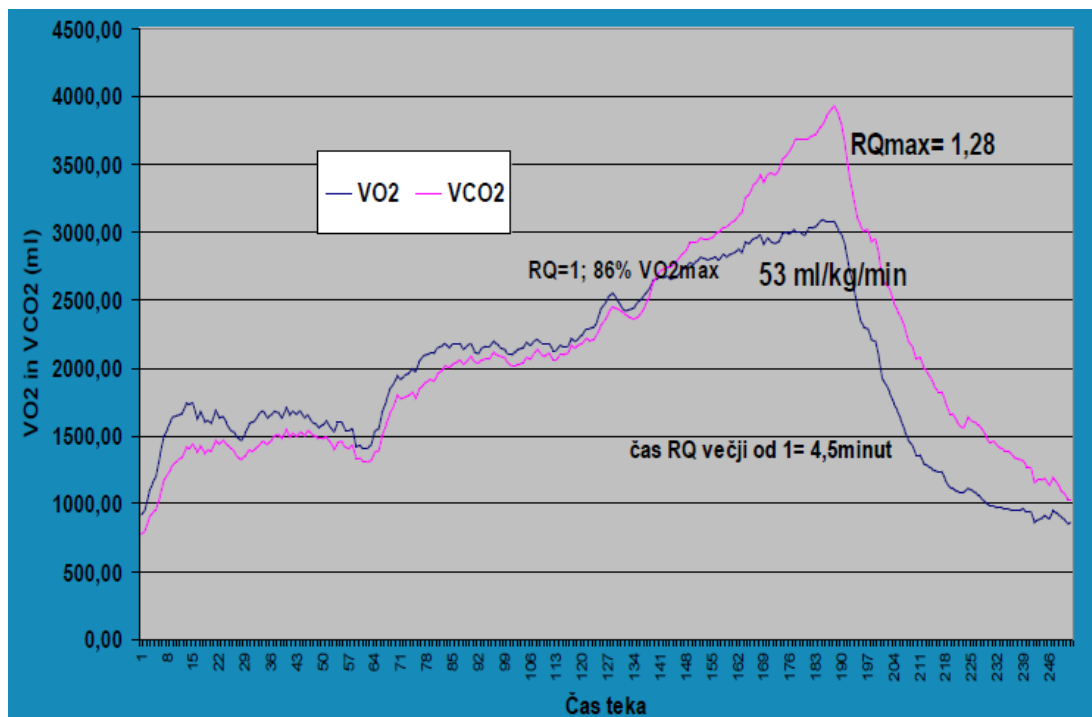
parametrski in 3-parametrski model; pri obeh dobimo vertikalno asimptoto grafa hitrosti (ali moči) v odvisnosti od časa (Slika 5). Billat jo v svoji raziskavi na primer izračuna iz tekačevega najboljšega rezultata na 3, 5 in 10 km v zadnji sezoni po enačbi Etemma : $D_{lim} = a + b * t_{lim}$. D_{lim} je pretečena razdalja do izčrpanja; a pomeni *anaerobic running capacity* - razdaljo, ki je pretečena samo z anaerobno presnovo; b je *kritična hitrost* in t_{lim} kot *čas do izčrpanja*. Naše telo je sposobno vzdrževati fiziološko stabilno stanje, dokler tečemo počasneje od naše kritične hitrosti. Četudi tečemo konstantno, a hitreje od naše kritične hitrosti, se bosta poraba kisika in koncentracija laktata postopno povečevala (Billat, 2000). Schwartz (2005) meni, da je to tempo, ki ga lahko vzdržujemo, približno 45 minut. Spodnji graf je namenjen športom, kjer namesto hitrosti uporabljajo moč.



Slika 5: Določevanje kritične moči. Če imamo na osi Y namesto moči hitrost (km/h), dobimo podoben graf (Vir: http://physfarm.com/new/?attachment_id=522)

3.8 RQ – respiratorni kvocient

Pokaže nam izmenjavo kisika in ogljikovega dioksida med obremenitvijo. Ob povečanem dihanju je povečano izločanje ogljikovega dioksida – v krvi je vsebnost nižja. Ob neenakomerno povečanem izločanju ogljikovega dioksida glede na VO_2 , pride do porasta RQ nad 1,00. RQ = 1 je omenjen tudi kot anaerobni prag.



Slika 6: Izmenjava ogljikovega dioksida in kisika med obremenitvijo (Škof, predavanja).

4 Maksimalna poraba kisika

Maksimalna poraba kisika, tudi $VO_2\text{max}$, je maksimalna vrednost privzema kisika iz zraka, transporta do mišičnih celic ter njegova uporaba v njih samih – maksimalna poraba kisika, ki jo je telo sposobno doseči med obremenitvijo (Hill, 1923); z drugimi besedami – koliko kisika je naše telo sposobno porabiti pri najvišji intenzivnosti.

$VO_2\text{max}$ velja za najboljšega pokazatelja aerobne kondicije posameznika in je najbolj pogosto merjena spremenljivka v športni fiziologiji. Tako se povečan $VO_2\text{max}$ tudi v znanstveni literaturi uporablja kot demonstracija učinka treninga. Celoten koncept $VO_2\text{max}$ se je začel z že zgoraj omenjenim Hillom, ki je leta 1923/24 s sodelavci prvič podal svoje raziskave in izoblikoval formulo o tej telesni sposobnosti. Ta je bila potrjena, sprejeta in kasneje razširjena s strani mnogih drugih znanstvenikov. Seveda se skozi zgodovino do sedaj z njegovimi dognanji niso strinjali 100-odstotno, marveč so trdili, da je koncept zastarel. Kljub temu še danes večina znanstvenikov zagovarja njegove ugotovitve in iz njih tudi izhaja (Basset, 2000).

4.1 Fiziološke in biokemijske značilnosti napora pri $VO_2\text{max}$

Označevanje fiziološkega odziva na naraščajočo vadbeno intenzivnost in ugotavljanje, kako lahko ti odzivi izzovejo fiziološke prilagoditve, povezane s povečanjem $VO_2\text{max}$, lahko zagotovijo fiziološke razloge za določeno intenzivnost vadbe. Midgley (2006) je napisal obsežen pregled izsledkov raziskav, ki se nanašajo na trening, ki vpliva na $VO_2\text{max}$ pri dolgoprogaših. Podrobno je predstavil tudi fiziološke spremenljivke, ki so povezane s povečanjem $VO_2\text{max}$ ter jih razdelil še v kratko-, srednje- in dolgoročne prilagoditve glede na čas adaptacije. V skladu z izpeljavo Fickove enačbe je izhajal, da je $VO_2\text{max}$ produkt minutnega volumna srca in največje razlike med arterijsko in vensko vsebnostjo kisika oziroma arterijsko-venska razlika kisika ($VO_2\text{max} = Q * (C_aO_2 - C_vO_2)$). Vsi fiziološki procesi, ki določajo ti dve spremenljivki, lahko potencialno omejujejo $VO_2\text{max}$. Prav tako bi bilo potemtakem razumljivo, da bi povečanje funkcionalne sposobnosti katere koli od teh struktur in procesov povečalo tudi $VO_2\text{max}$ (Midgley, 2006).

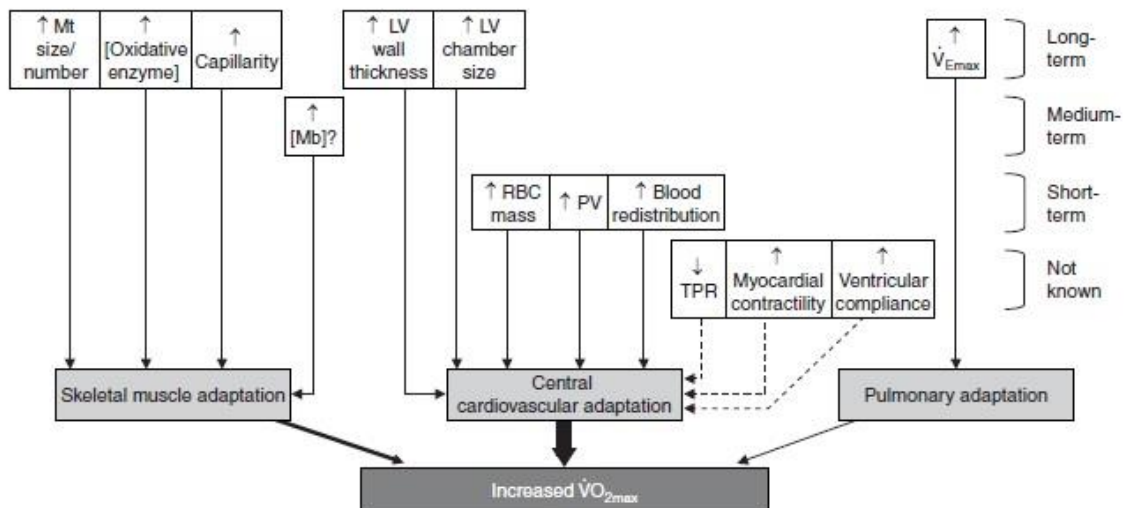


Fig. 1. Training-induced physiological adaptations associated with the enhancement of maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$). Short-, medium- and long-term adaptations typically have a maximum period of adaptability of days, months and years, respectively. The arrows with broken lines indicate the time course of those adaptations has presently not been elucidated. The width of the three shaded arrows at the bottom of the figure broadly represent the total contribution of those adaptations in the long-term enhancement of $\dot{V}O_{2max}$. Maximum period of adaptability for myoglobin concentration based on rat studies. LV = left ventricular; [Mb] = myoglobin concentration; Mt = mitochondrial; [Oxidative enzyme] = oxidative enzyme concentration; PV = plasma volume; RBC = red blood cell; TPR = total peripheral resistance; $\dot{V}Emax$ = maximal minute ventilation; ↑ indicates increase; ↓ indicates decrease; ? indicates presently unknown if training-induced increases occur in humans under normoxic conditions.

Slika 7: Fiziološke prilagoditve, povezane z izboljšavo $\dot{V}O_{2max}$ (Vir: Midgley, 2006)

Pot kisika iz atmosfere do mitohondrija je seveda sestavljena iz več korakov, ki so lahko potencialno tudi ovire na tej poti. To so fiziološki dejavniki, ki lahko omejujejo maksimalno porabo kisika in Basset (2000) je naštel štiri:

a) pljučna zmogljivost

- Pljuča na nizki nadmorski višini dobro opravljajo svoje delo saturacije (nasičenja) arterijske krvi s kisikom. Tudi med maksimalno vadbo znaša arterijska saturacija O_2 približno 95 % (Powers, 1989). Vrhunski športniki, v primerjavi z netreniranimi, lažje opravijo arterijsko O_2 -desaturacijo med maksimalno vadbo in imajo višji minutni volumen srca (40 proti 25 L/min). To pomeni, da rdeče krvne celice za pot do pljučnih kapilar potrebujejo manj časa. Tukaj lahko pride do problema, da pljuča nimajo dovolj časa za saturacijo krvi s kisikom, preden ta zapusti kapilare (Basset, 2000).

b) maksimalni minutni volumen srca

- Minutni volumen srca je skupna prostornina krvi, ki jo srce prečrpa iz ventriklov v minuti ali z drugimi besedami: produkt srčnega utripa in utripnega volumna. Med maksimalno obremenitvijo je skoraj ves v krvi razpoložljiv kisik na voljo aktivnim mišicam (Basset, 2000). Vsebnost O_2 arterijske krvi je okrog 200 mL/L; venske pa le nekeje med 20 in 30 mL O_2 na liter krvi. Glavni mehanizem za povečanje $\dot{V}O_{2max}$ s

treningom mora biti povečanje krvnega pretoka in s tem dostava kisika. Ocenjeno je, da bi naj bilo 70–85 % omejitev VO_2max povezanih z minutnim volumnom srca.

c) nasičenost krvi s kisikom

- Nasičenost krvi s kisikom z drugimi besedami pomeni, koliko O_2 se uspešno prenese do mišic – prek eritrocitov. Kisik se veže na hemoglobin, ki ji znotraj rdečih krvnih celic. Njihova naloga je prenos kisika iz pljuč proti ostalim delom telesa. Več je hemoglobina, več je prostih mest za molekule O_2 , ki se bodo lahko vezale in potovale do mišic. Na to temo je bilo v povezavi s krvnim dopingom opravljenih tudi več študij, ki so nasičenost krvi z eritrociti in posledično s hemoglobinom pokazali kot pomemben dejavnik uspeha (Basset, 2000).

d) lastnosti skeletnih mišic

- Če so prejšnji trije dejavniki glede na telo centralni, je ta, ki zadeva delovanje skeletne mišice, periferni. Honig (1992) je ugotovil, da na VO_2max na nivoju mišice vplivata transport kisika in mitohondrijski prevzem le-tega. V mišičnih vlaknih poteka v mitohondrijih zadnji korak elektronske transportne verige kisika; potekajo tudi oksidativni fosforilacijski procesi ali nastajanje ATP-ja po aerobni poti. V teoriji bi naj podvojeno število mitohondrijev podvojilo število mest za privzem O_2 v mišicah. Sicer pa Saltin (1977) ugotovil, da je 2,2-kratno povečanje mitohondrijskih encimov povečalo VO_2max za 20–40 %. To bi lahko bilo v skladu s stališčem, da je VO_2max , ki je izmerjen med dinamično vadbo za celotno telo (ne samo na področju mišice), omejen z dostavo kisika. Nekaj raziskav kaže na to, da lahko trening nizke intenzivnosti izzove majhne spremembe v mitohondrijskih encimih, a brez vpliva na VO_2max ; po drugi strani pa sta Holloszy in Coyle (po Basset, 2000) ob preučevanju tekačev, ki jih je v svoji raziskavi uporabil Costil, ugotovila, da je najnižja vrednost aktivnosti SDH (encima sukcinske dehidrogenaze) pri vrhunskih tekačih še vedno 2,5-krat večja od tiste pri netreniranih posameznikih. Povečanje mišičnih mitohondrijev lahko pomeni večje izkoriščanje kisika iz krvi aktivnih mišic, s čim vendarle prispevajo svoj delež pri povečanju VO_2max (Basset, 2000). Še zadnji dejavnik na področju mišice je gostota kapilar. Andersen in Henriksson (1977) sta pokazala, da gostota kapilar narašča s treningom. Tudi Saltin (1977) je ugotovil močno povezavo med številom kapilar na mišično vlakno v mišici *vastus lateralis* ter VO_2max (mL/kg/min).

Wagner, Hoppeler in Saltin (1991) so poskušali uskladiti različne poglede na omejitvene dejavnike VO_2max . Prišli so do sklepa, da je »katabolna zmogljivost miozinATP-aze takšna, da jo zmogljivost dihalnega sistema in njegova dostava kisika (aerobna energija) premaga«, ter da je VO_2max potrebno determinirati s strani sposobnosti dostave kisika do mitohondrijev

preko transportnega sistema namesto s strani lastnosti krčenja mišic. Zaključili so s trditvijo, da ni enega in edinega omejitvenega dejavnika ter da prav vsak korak na poti kisika prispeva svoj delež pri celostni omejitvi maksimalne porabe kisika. Na področju fiziologije športa se o omejitvenih dejavnikih VO_2max diskutira s sklicevanjem na ljudi brez metabolnih bolezni, med maksimalno obremenitvijo ter na morski gladini. Pod temi pogoji dokazi raziskav jasno kažejo, da je predvsem kardio-respiratorni sistem z nalogo transporta kisika do mišic tisti, ki omejuje VO_2max , in ne toliko sposobnost konzumacije O_2 mišičnih mitohondrijev.

4.2 Pomen VO_2max za tekmovalno uspešnost

Ali VO_2max določa zgornjo mejo uspeha v vzdržljivostnih športih ter ali je najboljši napovedovalec atletske sposobnosti? Basset predvideva, da je VO_2max neposredno povezan s stopnjo nastajanja ATP, ki se lahko vzdržuje med tekmo na daljše razdalje, četudi se teh ne teče z intenzivnostjo na 100 % VO_2max . Torej, za končanje maratona v času 2:15 minut mora imeti tekač porabo kisika skozi celotno tekmo nekje na 60 mL/kg/min. Teh 60 mL/kg/min bi tekač za ta čas potreboval tudi, če bi mu to predstavljalo 100 % VO_2max . Ker se na maratonu teče nekje z 80–85 % VO_2max , potrebuje tekač za takšen čas vrednosti VO_2max približno 70,5–75 mL/kg/min. Na ta način VO_2max določa zgornjo mejo za nastanek energije v vzdržljivostnih športih, vendar ne določa končne uspešnosti. Seveda pa se tekači razlikujejo v ekonomičnosti teka in v odstotkih VO_2max , ki so jih sposobni vzdrževati; oboje pa lahko ima velik vpliv na hitrost, ki se lahko vzdržuje skozi vzdržljivostni nastop (Basset, 2000).

Zanimiv je tudi podatek, ki opisuje vpliv treninga na zmožnost tekača, da ohranja obremenitev na določenem odstotku maksimalne porabe kisika čez dlje trajajočo vadbo. Astrand in Rodahl sta testirala trenirane in netrenirane posameznike. Oboji so opravili dva testa teka; pri prvem so morali teči 60 minut, pri drugem 120 minut. Trenirani so prvi test opravili s 87-odstotnim VO_2max , drugega pa s 83-odstotnim VO_2max . Druga skupina netreniranih pa prvega s 50-odstotnim VO_2max ter drugega le s 35-odstotnim VO_2max . To nam pokaže vpliv, ki ga ima odstotek VO_2max na dejansko porabo kisika, ki jo oseba lahko vzdržuje čez določeno razdaljo. V isti raziskavi lahko zasledimo tudi, kako se VO_2max in odstotki VO_2max spreminjajo skozi mesece treninga. VO_2max se povečuje samo prva dva meseca, odstotek VO_2max pa se je povečeval še naprej. Torej, na začetku bi naj na uspeh vplivala oba parametra, kasnejše spremembe v uspešnosti porabe kisika pa bi naj bile vzrok sprememb v odstotkih VO_2max (Basset, 2000).

5 Pregled raziskav o vplivu različnih sredstev in metod na razvoj VO₂max

Za namen opisa učinkov različnih intenzivnosti na vpliv povečanja maksimalne porabe kisika so bile zbrane številne raziskave. Kljub temu, da je bilo na tem področju opravljenega veliko raziskovalnega dela, se zaključki študij pogosto razlikujejo. Nekateri rezultati kažejo na to, da je VO₂max relativno stabilen dejavnik in se s treningom spreminja zelo malo ali celo stagnira, drugi pa kažejo na manjši ali večji vpliv treninga na ta parameter.

Sposobnost maksimalne porabe kisika tekači zaradi njene pomembne vloge pri doseganju kar najboljših rezultatov poizkušajo dvigniti na kar se da visoko raven. Poslužujejo se metod in sredstev, ki bi naj imele kar največji vpliv na izboljšanje maksimalne porabe kisika.

Če je Ekblom (1969), orientacijski tekač, poročal, da se mu maksimalna poraba kisika med letoma 1960 in 1968 ni spremenila, obstaja tudi možnost, da ima VO₂max svoj plato. Tudi Martin EE s sod. (1986) med 2,5-letno pripravo vrhunskih tekačev na olimpijske igre leta 1984 ni ugotovil sprememb v vrednostih VO₂max. Nekaj raziskav govori o »hitri« spremembi VO₂max, ki se pokaže v začetnih tednih treninga, nato pa kljub nadaljnji progresiji količine in intenzivnosti vrednosti VO₂max stagnirajo. Tako so pri Smith in Donnell (1984) skozi 36-tedenski program opazili naraščanje VO₂max le po prvih 24. tednih, v zadnjih 12. pa ni bilo sprememb. Vsi poznamo tudi Paulo Radcliffe, zdajšnjo svetovno maratonsko rekorderko, katere VO₂max vrednosti bi naj ostale enake kljub velikemu povečanju količine in intenzivnosti treninga. Nekateri govorijo, da ni dober pokazatelj uspeha v teku na dolge proge (potem takem bi naj bil za vsako povečanje VO₂max tudi čas teka hitrejši, pa ni čisto vedno tako) in poudarjajo vprašljivost testov za maksimalne vrednosti porabe (različne vrednosti na maksimalnem in supramaksimalnem testu; vrednosti tekača bodo ob teku drugačne, kot če bi test opravljal na kolesu). Treniranje na enakem odstotku VO₂max (prilagojen posamezniku) lahko med dvema tekačema predstavlja drugačne fiziološke odzive telesa in na podlagi tega ta parameter odsvetujejo za določevanje treninga.

Dvomit in vprašanj v načrtovanju treninga seveda nikoli ni preveč in jih tudi ne bo nikoli zmanjkalo. Možno je, da veliko dobro treniranih tekačev ne opravlja dovolj visoko intenzivnih treningov, da bi z njimi vplivali na izboljšanje VO₂max.

5.1 Obstaja pri treningu za razvoj VO₂max optimalna intenzivnost?

Nekateri avtorji so predlagali, da je intenzivnost najbolj pomembna spremenljivka v treningu za VO₂max (Midgley, 2006; po Fox, 1973 in Wenger, 1986). Tukaj prihaja tudi do glavnih

razlik pri ugotavljanju največjega vpliva na povišanje VO_2max . Pri treningu vzdržljivosti netreniranih ali slabo treniranih oseb lahko hitro opazimo zvišanje VO_2max , ki je lahko posledica treninga intenzivnosti na le 40–50 % VO_2max (Midgley, 2000). Tukaj ne moremo mimo dejstva, da je minimalna intenzivnost, ki vpliva na povišanje VO_2max , odvisna od posameznikovega začetnega VO_2max . Dobro trenirani dolgoprogaši z visokimi vrednostmi maksimalne porabe kisika morajo za dvig VO_2max trenirati z višjimi intenzivnostmi. Nekateri avtorji (Billat, 2001; Hill, 1997) predlagajo, da morajo zelo dobro trenirani tekači za dosego povečanja že tako visokega VO_2max tudi na treningih doseči in ohranjati svoj VO_2max . To je najpogostejše glavni problem oziroma cilj v študijah tudi raziskovalcem, ki primerjajo neprekinjene metode z intervalnimi, ob tem pa merijo skupni čas, preživet na stopnji njihovega VO_2max . Za ugotavljanje praga intenzivnosti vadbe, nad katerim se bo VO_2max povečal, sta stopnja dviga VO_2max in učinkovitost treninga glede na vložen čas pomembna dejavnika. Najpogostejše so v študijah med seboj primerjali različne intenzivnosti intervalnih metod z neprekinjenimi metodami.

5.1.1 Trening pri nižji intenzivnosti

Branch JD (2000) je v raziskavi z netreniranimi ženskami srednjih let ugotavljal, kakšen vpliv ima nizka in zmerno intenzivna vadba na njihovo kondicijo. Njihov VO_2max je bil nizek – 29,5 mL/kg/min. Razdeljene so bile v dve naključni skupini; ena skupina je vadila z nižjo intenzivnostjo (40 % VO_2max), druga pa z višjo (80 % VO_2max). Količina treninga je bila izmerjena v MET-ih in enaka. Opravile so 12-tedenski program s tremi do štirimi vadbami na teden. Rezultati so pokazali izboljšanje v obeh skupinah, zanimiva pa je bila razlika. Skupini višje intenzivnosti se je VO_2max povečal le za 4 % več (21 % izboljšanje) kot skupini z nižjo intenzivnostjo, ki je ob 40-odstotni intenzivnosti VO_2max beležila 17 % zvišanje VO_2max . S temi ugotovitvami lahko pridemo do zaključka, da je pri netreniranih osebah takšna intenzivnost morda malenkost manj učinkovita, a celostno gledano primernejša.

Poole DC (1985) je preučeval dve kontinuirani metodi in eno intervalno. 17 moških je bilo razvrščenih v tri skupine. Prva skupina je opravljala 55 minut kontinuiranega teka z intenzivnostjo 50 % VO_2max ; druga skupina 35 minut kontinuiranega teka z intenzivnostjo 70 % VO_2max in skupina tri intervalni trening 10x2 minuti z intenzivnostjo 105 % VO_2max . Trenirali so osem tednov in imeli tri treninge na teden. Rezultati so pokazali izboljšanje VO_2max pri vseh skupinah, brez večjih razlik. 55-minutni trening intenzivnosti 50 % VO_2max je na zvišanje maksimalne porabe kisika vplival učinkovito.

V povezavi s treningom nizke intenzivnosti je zanimiva tudi raziskava Španca Esteve-Lanaa. V študiji, ki je ocenjevala učinke povečanja oziroma zmanjšanja treningov nizke intenzivnosti pri dobro treniranih tekačih, je primerjal učinkovitost dveh različnih programov treninga.

Meritev vrednosti $VO_2\text{max}$ in primerjanja le-tega med skupinama po koncu programa ni bilo, a so rezultati kljub temu zanimivi. 20 dobro treniranih španskih tekačev so razdelili v dve (Z1 in Z2) skupini. Vsaka posebej sta pet mesecev trenirali po svojem programu. Razlika v planu je bila količina treninga pri posamezni intenzivnosti. Intenzivnosti so bile razdajene v tri cone: cona 1 – *nizka intenzivnost* (pod prvim ventilacijskim pragom); cona 2 – *zmerna intenzivnost* – 70–90 % FS_{max} (med ventilacijskim pragom in pragom respiratorne kompenzacije) ter cona 3 – *visoka intenzivnost* nad 90 % FS_{max} . Plan treninga Z1 je bil po conah razdeljen v razmerju 80/10/10; plan skupine Z2 pa 65/25/10. Skupna količina treninga je bila po programu TRIMP (training impulse) izračunana in v obeh skupinah enaka. Dnevne obremenitve so temeljile na času in ne na razdaljah – cona 1 več in počasneje, cona 2 manj in hitreje (za doseg enakih TRIMP točk). Na teden je bila povprečna kilometrina med 80 in 90 km, dva intervalna treninga visoke intenzivnosti ter eden ali dva treninga za moč. Ventilacijski in prag respiratorne kompenzacije so določili s stopnjevanim testom na preprogi. Skupaj je bilo analiziranih okrog 2000 treningov.

Trening za moč v prvem 3-tedenskem mezociklu je bil sestavljen iz izometričnih in dinamičnih vaj s telesno maso ter krožnih aerobnih treningov z lahkimi utežmi. Izvajali so tudi 3–4 serije vaj z utežmi na 15–25 RM. V pripravljalnem delu (od 10. tedna naprej) so izvajali več vaj za točno določeno mišično skupino (npr. počepi na eni nogi), ekscentrično-koncentrično ter več eksplozivnih vaj (3–8 ponovitev z obremenitvijo 15–25 RM). Izvajali so tudi pliometrijo. V specialnem pripravljalnem delu so izvajali vaje za moč predvsem skozi tek – dodana teža, kratki intervali po stopnicah, v klanec itn. Tekmovalni del je bil sestavljen iz osnovnih vaj v manj setih in ponovitvah z obremenitvijo (60 % 1 RM), koncentrično-ekscentrično. V tem delu so pazili na vzdrževanje moči.

Rezultati so pokazali, da je 5-mesečni program pri dobro treniranih tekačih bolje razdeliti po modelu, kjer kar 80 % skupne količine treningov predstavljajo treningi nizke intenzivnosti in le 8 % treningi v coni 3. Za 10,4-kilometrsko razdaljo so tekači skupine Z1 torej porabili manj časa. Glede na to, da sta obe skupini opravili enako treninga na coni 3, razlika pa je bila v coni 2 (Z1 – 10 % proti Z2 – 25 %), ugotovimo, da več treninga v 2. coni ne prinese veliko pozitivnih sprememb (Esteve-Lanao, 2006). Sklepamo lahko, da je nizko intenzivni trening bistveni del vsakega tekmovalnega programa vzdržljivostnega teka. Seiler in Kjerland (2006; v Esteve-Lanao, 2006) sta prav tako ugotovila, da bi naj vrhunski športniki večino časa trenirali na coni 1 (okrog 75 % skupne količine treninga) in na coni 3 (15 %) ter presenetljivo malo na coni 2. V praksi, kjer je glavno vprašanje trenerjev, ali teči manj in hitreje ali več in počasneje, ta študija kaže, da več treninga na zmerno visoki intenzivnosti (cona 2) ne razvije nujno tudi boljše pripravljenosti. Optimalna priprava mora biti sestavljena seveda iz obeh, a raziskava kaže, da najboljše razmerje vključuje več nizko intenzivne vadbe (Esteve-Lanao, 2006).

Tudi Billat s sodniki (2001) je poročala, da vrhunski francoski maratonci z osebnimi rekordi med 2:06 in 2:10 minut opravijo le 4 % treninga na tempu maratona, ki je približno enak anaerobnemu pragu oz. con 2. Treningi na in okrog intenzivnosti cone 2 skozi 5-mesečni program niso bili povezani z velikim povečanjem zmogljivosti pri dobro treniranih atletih – v primerjavi s tistimi, katerih treningi so bili osredotočeni na nizko intenzivni trening (skupaj z 10 % treninga visoke intenzivnosti). Z raziskavo niso hoteli izpodbiti klasičnega načela treningov, ki zagovarja več specifičnega treninga na con 3.

5.1.2 Trening pri višji intenzivnosti

Trening z intenzivnostjo na $VO_2\text{max}$ oziroma blizu te intenzivnosti je bil s strani mnogih znanstvenikov prav tako predlagan kot optimalen za dobro pripravljene tekače. Najpogosteje so preučevali, koliko skupnega časa so lahko testiranci vzdržali na oz. nad 95 % $VO_2\text{max}$. V večini primerov so primerjali neprekinjeno metodo z intervalnimi. Omejitev raziskav, ki temeljijo le na skupnem času, v katerem je športnik dosegal ali bil blizu njegovemu $VO_2\text{max}$ je, da je lahko bil ta dosežen zaradi drugih fizioloških odzivov, kot je na primer VO_2 počasna komponenta (Midgley, 2006).

Tako je raziskava Billatove (2002) pokazala statistično značilno povečanje $VO_2\text{max}$. Sodelovalo je pet moških in štiri ženske, vsi vrhunski tekači z vrednostmi $VO_2\text{max}$ 66,3 (+/- 9,2) mL/kg/min. V predtekmovalnem ciklu so osem tednov trenirali po pripravljenem planu. Imeli so dva intervalna treninga na teden, enega z intenzivnostjo, ki je enaka tempu na 3-kilometrski tekmi (v3000m) in drugega z intenzivnostjo, s katero pretečejo tekmo na 10 km (v10000m). Hitrosti v10000m ter v3000m so bile za vsakega posameznika izračunane glede na hitrost maratona. Enkrat tedensko so opravili krajše intervale s hitrostjo v3000m (20 x 400 m z aktivnim počitkom 45 sekund ali 5 x 1000 m z aktivno pavzo dve minuti) in daljše intervale s hitrostjo v10000m v obliki 3–4 x 2000 m z aktivnim dvominutnim odmorom. Tedenska razdalja vseh treningov v tem opazovanem ciklu je bila 180 km za moške in 155 km za ženske. Test je po osmih tednih pokazal dvig $VO_2\text{max}$ pri obeh spolih. Povprečna vrednost $VO_2\text{max}$ se je pri moških dvignila iz 69,8 mL/min/kg na 73,9 mL/min/kg, pri ženskah pa iz 62,6 mL/min/kg na 65,0 mL/min/kg.

V naslednjih raziskavah rezultati sicer niso bili statistično značilni, torej jih ne moremo posplošiti na celotno populacijo, so pa pokazali povečanje maksimalne porabe kisika za 2–5 % ob enaki intenzivnosti – med 90 in 100 % $VO_2\text{max}$. V drugi raziskavi je Billatova (1999) opravila študijo z osmimi srednje- in dolgoprogaši. Povprečna starost je bila 24 (+/- 3,2) let in povprečna vrednost $VO_2\text{max}$ 71,2 (+/- 5,0) mL/kg/min. Po planu so trenirali štiri tedne, v vsakem tednu so poleg ostalih treningov tekači opravili še intervalni trening z intenzivnostjo

100 % VO_2max . Sestavljalo ga je 5 x 1000 m na VO_2max in odmor 500 m intenzivnosti na 50 % vVO_2max . Imeli so šest treningov na teden. Poleg intervalnega teka je bil tek opravljen še na hitrosti OBLE (2 x 20 minut s petimi minutami aktivnega odmora v obliki teka na 40 % vVO_2max), drugi štirje pa z nižjo intenzivnostjo. VO_2max se je dvignil za 2,1 %.

Laffite LP s sodelavci (2003) je s svojim treningom izzval še za 1,9 % višji dvig VO_2max , torej za 4,0 %. Sedem moških, prav tako srednje- in dolgoprogašev s povprečno starostjo 25 (+/- 11,9) let in izmerjenim VO_2max 61,0 (+/- 11,6) mL/kg/min so bili nadzorovani osem tednov. Trenirali so po planu, v katerem sta bila dva intervalna treninga na teden. Intenzivnost teh dveh intervalnih treningov je bila izračunana kot enaka srednji hitrosti med hitrostjo anaerobnega praga in vVO_2max , kar je pomenilo 93 % vVO_2max .

Smith TP s sod. (2003) je v raziskavi iskal optimalen visoko intenziven trening na tekoči preprogi z uporabo teka intenzivnosti na VO_2max . Sodelovalo je 27 tekačev in triatloncev povprečne starosti 25 (+/- 6,8) let z VO_2max vrednostmi 60,5 (+/- 9,8) mL/kg/min. Opravili so dva intervalna treninga z intenzivnostjo na njihovem vVO_2max na teden in tako štiri tedne. Poročal je o 5,0-odstotnem izboljšanju njihovih vrednosti maksimalne porabe kisika. Je pa res, da se njihov čas na 3000 m in 5000 m ni izboljšal.

Objavljenih je bilo tudi veliko drugih študij, ki zagovarjajo metodo s ponovitvami, kjer vsaka izmed njih traja med eno in osmimi minutami z intenzivnostjo 90–100 % vVO_2max . Veronique Billat je naprej raziskovala intervalno metodo 30"/30" in z njo hotela ugotoviti, koliko časa mora telo delovati na obremenitvi VO_2max , da bo učinek čim večji. Namen njene študije je bila primerjava časa, ki ga tekač preživi na VO_2max med intervalnim in neprekinjenim tekom. Pred to študijo so predvidevali, da bo neprekinjen tek z intenzivnostjo 91,3 % vVO_2max dopuščal atletom ostati dalj časa bližje VO_2max kot intervalni metodi (Billat, 2000). Sodelovalo je osem dolgoprogašev, opravili so tri teste.

Najprej so s stopnjevanim testom določili vrednosti za vLT^1 (določen s štirimi mmol/L, torej anaerobni prag), VO_2max – določen kot največji VO_2 v dveh zaporednih merjenjih na 15 sekund – in vVO_2max , ki je bila določena kot najnižja hitrost, s katero je tekač vsaj eno minuto vzdrževal VO_2max . Prva vadbena obremenitev je bila intervalna, kjer so izmenično tekli 30" na 100 % vVO_2max ter 30" na 50 % vVO_2max . Druga vadbena obremenitev pa je bil neprekinjen tek visoke intenzivnosti ($\text{vLT} + 50$ % razlike med vLT in vVO_2max , kar je prineslo hitrost na 16,9 +/- 1 km/h ter zgoraj omenjeno obremenitev 91,3 % vVO_2max).

Rezultati so pokazali, da so pri neprekinjeni metodi tekači v povprečju uspeli teči z zastavljeno hitrostjo 8 minut in 20 sekund. Pet tekačev od osmih je pri tem testu doseglo

¹ vLT je v tej raziskavi definirana kot hitrost anaerobnega praga, dosežena približno na 4 mmol/L.

svoj VO_2max – kljub temu, da je bil tek z intenzivnostjo 91,3 % vVO_2max – ter ga vzdrževalo povprečno 2'42". Pri testu intervalne metode so v povprečju opravili 19 ponovitev, kar je 9,5 minut hitrejših ponovitev. Sedem tekačev od osmih je doseglo VO_2max in ga v povprečju vzdrževalo za 7'51". To jim je predstavljalo 83 % vsega časa na tej obremenitvi. Študija je pokazala, da so imeli tekači ob ponavljajoči metodi 30"/30" na doseženem VO_2max kar 5 minut več (7'51" proti 2'42") kot tisti z neprekinjeno metodo. Koncentracija laktata se v obeh ob tem ni kaj veliko razlikovala (7,4 mmol/L proti 8,0 mmol/L). Tam, kjer so bili tekači dlje časa na nivoju maksimalne porabe kisika, bi naj bil tudi vpliv na to sposobnost seveda večji (Billat, 2000).

Pri intervalnem treningu je pet tekačev vsaj eno minuto teklo na obremenitvi VO_2max , ob tem pa imelo v krvi koncentracijo laktata manjšo/enako 4 mmol/L. Astrand s sodelavci (1960) je v študiji, kjer so preučevali kopičenje laktata med metodo s prekinitvami, poročal, da stopnjo obremenitve na VO_2max spremlja le visoka vrednost krvnega laktata. To je bila posledica uporabe daljših (2 +/- 3 min) intervalov s popolnim počitkom med ponovitvami. VO_2max niso dosegli tudi z izmenjavanjem 30" teka ter 30" popolnega počitka. Zaradi tega v tej študiji priporočajo uporabo aktivnega počitka. Aktiven počitek bo pri tekaču izzval in vzdrževal VO_2max , hkrati pa spodbudil odstranjevanje laktata, kljub temu, da bo ta ostal blizu svoje max steady state vrednosti (Billat, 2000).

VO_2 počasna komponenta bi morala tekačem dopuščati doseg maksimalne porabe kisika tudi ob submaksimalnih hitrostih do popolne izčrpanosti. Zato so v tej študiji pri neprekinjenem teku uporabili hitrost, ki bi po intenzivnosti morala doseči VO_2max . Intenzivnost vsakega tekača je bila na sredini med anaerobnim pragom in VO_2max ($\text{vLT} + 50$ % razlike med vLT in vVO_2max). Billat (1998) je v študiji pokazala, da je 14 zelo dobro treniranih dolgoprogašev na testu do izčrpanosti – ob hitrosti na 90 % vVO_2max , ki je pomenila 5-odstotni vVO_2max več od njihove kritične hitrosti – doseglo dinamično ravnovesje VO_2 , niso pa dosegli svojega VO_2max . Tukaj je torej razvidno, da vrhunski tekači ne izzovejo VO_2 počasne komponente ob takšnem treningu. Na podlagi te raziskave Billatove predlagajo, da neprekinjen visoko intenziven tek na 91,3 % vVO_2max ne spodbudi VO_2max pri tekačih, katerih le-ta je višji od 65mL/min/kg (Billat, 2000).

V raziskavi Demarie in sod. (2000) pa so ob enaki določitvi hitrosti – $\text{vLAT} + 50$ % razlike med vLAT in vVO_2max , dosegli so tudi zelo podobno intenzivnost (92 % vVO_2max) – poročali, da so zelo dobro trenirani tekači izzvali svoj VO_2max in ga vzdrževali vsaj tako dolgo ali celo dlje kot s hitrostjo 100 % vVO_2max (Demarie, 2000). Izzvali so ga tako v intervalnem kot tudi v neprekinjenem testu, pri čemer so ga v intervalnem teku vzdrževali dlje. Tudi Gaesser in Poole (1996) sta dokazala, da se ob dolgotrajnejšem naporu z intenzivnostjo višjo od kritične hitrosti VO_2 dviga, vse dokler ne doseže VO_2max .

Billat (2001) je primerjala učinkovitost treh različnih kratkih intervalnih treningov. V raziskavi so sodelovali izkušeni rekreativni tekači srednjih let, ki so zadnjih deset let uporabljali le

neprekinjeno metodo treninga z intenzivnostjo 50–80 % $vVO_2\text{max}$, in sicer povprečno štirikrat na teden. Predvidevali so, da lahko s to intervalno metodo stimulirajo in izboljšajo $VO_2\text{max}$ pri tej vrsti tekačev. Uporabila je izmenjavo 15 sekund hitrejših in 15 sekund počasnejših intervalov s hitrostjo enako kritični hitrosti. Kritična hitrost je bila izračunana po formuli Etemma². Opravili so stopnjevani test, s katerim so določili $VO_2\text{max}$, $vVO_2\text{max}$ in vLT ³. Temu so sledili trije intervalni tipi. Domnevali so, da bo interval z najmanjšo amplitudo najbolj učinkovit za vzdrževanje $VO_2\text{max}$ čim daljši čas. Amplituda je bila definirana kot razmerje med razliko v hitrosti bolj in manj intenzivnih intervalov, deljena s povprečno hitrostjo in pomnožena s 100⁴. Torej: intervalni treningi 15 sekund – 15 sekund: a) intenzivnost prvega intervala je bila 90 % $vVO_2\text{max}$ in drugega intervala 80 % $vVO_2\text{max}$, izmenično 15"/15"; povprečna hitrost, določena na 85 % $vVO_2\text{max}$ – amplituda je nizka $((90 - 80)/85) * 100 = 11 \%$; b) intenzivnost prvega intervala je bila 100-odstotni $vVO_2\text{max}$ in 70-odstotni $vVO_2\text{max}$, izmenično 15"/15" – amplituda je določena kot srednja $((100 - 70)/85) * 100 = 35 \%$; in c) intenzivnost prvega intervala je bila 110 % $vVO_2\text{max}$ in drugega intervala 60 % $vVO_2\text{max}$, kar je pomenilo visoko amplitudo med intervaloma (59 %). Razdalje so se v vsakem tipu treninga razlikovale glede na $vVO_2\text{max}$. Za prvi tip treninga – a (90–80 % $VO_2\text{max}$) je tekač, ki je imel $vVO_2\text{max} = 16\text{km/h}$ (4,44m/s) v intervalu 15" na 90 % moral preteči 60 metrov ($15 * 4,44 * 0,9 = 60\text{m}$), v drugih 15" na 80 % pa 53 metrov ($15 * 4,44 * 0,8 = 53$) (Billat, 2001).

V vseh treh tipih intervalnega testa so tekači dosegli svoj $FS\text{max}$ in $VO_2\text{max}$, ki je bil pridobljen v prvem testu. Test C (110 +/- 60-odstotni $vVO_2\text{max}$) drugače vpliva na fiziološke odzive kot test A in B. Čas do izčrpanosti oz. čas vzdrževanja $VO_2\text{max}$ je v testu C (7'24" +/- 2') dvakrat krajši kot pri testu A (14'21") in testu B (14'31"). Vrednosti laktata v krvi so pri A in B (9,2 mM in 9,8 mM) manjše kot v C (11,3 mM). Skupna razdalja, pretečena v intervalih visoke intenzivnosti, je bila v C-testu za pol krajša kot v ostalih dveh. Vsi tekači so v vseh treh treningih dosegli svoj $VO_2\text{max}$ (Billat, 2001).

Merilo uspešnosti je bil čim večji skupni čas, pretečen na $VO_2\text{max}$. Domnevali so, da bi lahko imel interval najmanjše amplitude največji učinek zato, ker ohrani $vVO_2\text{max}$ najdlje, tudi med »počitkom« je intenzivnost na 80 % $vVO_2\text{max}$. Ugotovili so, da sta imela pri tekačih srednjih let največji učinek na dosego in najdaljše vzdrževanje $VO_2\text{max}$ intervalni trening nižjih in srednjih amplitud (Billat, 2001).

Astrand in Rodahl (1986) sta v študiji, ki govori o menjavi 10" in 5" intervalov, poudarila, da so bile vrednosti porabe kisika in pljučne ventilacije zelo visoke tudi med počasnimi intervali.

² Formula je opisana v poglavju 3.7.

³ vLT tudi tukaj definirana kot hitrost anaerobnega praga na približno 4 mmol/L.

⁴ Enačba: $((\text{hitrejši interval} - \text{počasnejši interval}) / \text{povprečna hitrost}) * 100$.

Pri njihovi raziskavi so uporabili 100-odstotno amplitudo (100-odstotni $vVO_2\text{max}$ in čisti počitek). Če so tam ugotovili, da je trajanje vadbe in počitka kritično v zvezi z največjo obremenitvijo kisikovega transportnega sistema, lahko tukaj iz naše študije k glavnim dodamo še amplitudo.

Intervalni trening z intenzivnostjo okrog hitrosti $vVO_2\text{max}$ lahko poleg možnega izboljšanja $VO_2\text{max}$ izboljša tudi gostoto mitohondrijev ter stimulira hitrost odplakovanja laktata, ki je premo sorazmerna njegovemu kopičenju. Trening, ki bo povečeval koncentracijo laktata v krvi, bo hkrati povečeval tudi njegovo odstranitev iz nje. Zato se tudi pri intervalih naše študije priporoča aktiven odmor, saj ob tem, da spodbuja odstranitev laktata, vzdržuje nivo $VO_2\text{max}$. Predpostavimo lahko, da je intervalna vadba intenzivnosti 100 % pri hitrejši in 70 % $vVO_2\text{max}$ pri počasnejši ponovitvi bolj zaželena kot menjava intervalov 90/80 % $vVO_2\text{max}$, saj ob taki vadbi telo kardiovaskularno dosega svoj maksimum, tek pa se dogaja na višji hitrosti, kar vpliva še na večji mišični dražljaj in s tem mišično adaptacijo (Billat, 2001).

Raziskava Helgeruda (2007) je sicer primerjala dve kontinuirani metodi, ki bi ju po naši ureditvi v tej nalogi lahko vključili k poglavju nižjih intenzivnosti, a jo, ker pozitivnega vpliva na povečanje $VO_2\text{max}$ po koncu opazovanega ciklusa niso ugotovili, puščamo tukaj. So pa ugotovili učinkovitost obeh intervalnih metod višje intenzivnosti. Že hipoteza raziskovalcev je bila, da bo imel dolgi počasen tek intenzivnosti 70 % FS_{max} in 85 % FS_{max} manj vpliva na $VO_2\text{max}$ kot krajši (15s – 15s) ali daljši intervali (4 x 4 min s 3-minutno pavzo) intenzivnosti 90–95 % FS_{max} . 40 študentov je bilo naključno razdeljenih v štiri skupine, vsaka je osem tednov trenirala z določeno metodo in intenzivnostjo. Testirani so bili na tekoči preprogi z nagibom 5,3 %. Računanje $VO_2\text{max}$ je bilo izračunano po razmerju med odstotki FS_{max} in odstotki $VO_2\text{max}$ (70, 85 in 92,5 % FS_{max} = 60, 80 in 87,5 % $VO_2\text{max}$). Povprečna razdalja treninga je bila 5,9 kilometrov z vključenimi pavzami.

Visoko intenzivna aerobna vadba, ki sta jo izvajali skupina 15"/15" in 4 x 4 minute, je na $VO_2\text{max}$ vplivala veliko bolj kot vadba ostalih dveh skupin (5,5 % in 7,2 % glede na predhodni test), kjer izboljšanja $VO_2\text{max}$ glede na začetni trening ni bilo. Med 15"/15" in 4 x 4 min ni bilo velikih razlik. Ugotovili so, da je visoko intenzivna vzdržljivostna vadba v tem režimu treninga in obdobju dveh mesecev veliko boljša za izboljšanje $VO_2\text{max}$ kot srednje in nizko intenzivna. Glede na to, da je bilo pri skupini 15"/15" potrebno opraviti kar 47 ponovitev navora na 90–95 % FS_{max} – torej srce obremeniti (in »spustiti«) tolikokrat – je bolj »primerna« metoda 4 x 4 min z enako intenzivnostjo (Helgerud, 2007).

5.1.3 Zelo visoka intenzivnost

Ko se je v preteklosti v raziskavah kot uspešnejša metoda za povečevanje VO_2max uveljavila intervalna metoda, je raziskovalce seveda zanimalo, kakšna je zgornja meja intenzivnosti intervalov. Danes najdemo mnogo raziskav, ki preučujejo supramaksimalne intenzivnosti in njihov vpliv. Takšne intenzivnosti pomenijo hitrosti tudi do 150 % vVO_2max .

Tako je Gregory Dupont (2002) v študiji uporabil 15-sekundne intervale supramaksimalne intenzivnosti v kombinaciji s 15-sekundnim pasivnim odmorom ter ugotavljal njihov vpliv na VO_2max . Študija je bila zastavljena z namenom, da bi določili kritično hitrost pri intervalnih tekih, čas, porabljen na VO_2max in čas nad 90 % VO_2max . Sodelovalo je devet študentov športnikov, ki so opravili pet testov do izčrpanosti (tlim) različnih intenzivnosti: štiri teste s prekinjeno metodo na 110 %, 120 %, 130 % in 140 % MAS in en test neprekinjene metode na 100 % MAS.

Rezultati so pokazali, da so pri neprekinjenem teku ter intervalnih tekih z intenzivnostjo 110 % in 120 % MAS vsi merjenci dosegli svoj VO_2max . Glede na rezultate, kjer vidimo, da je pri intenzivnosti 130 % MAS le sedem in so pri 140 % MAS le štirje merjenci dosegli vrednosti svoje VO_2max , lahko sklepamo, da je bilo trajanje obremenitve za njih prekratko. Najvišjo vrednost VO_2max so izmerili ob intervalni metodi 120 % MAS; prav tako je bil skupen čas na nivoju VO_2max vzdržan najdlje – predstavljal je 58,2 % (202 ± 66 sekund) skupnega časa. Kot druga najuspešnejša intenzivnost se je izkazala tista na 110 % MAS. Najslabši rezultat je viden pri najbolj intenzivni metodi, kjer je bil čas na nivoju VO_2max vzdržan le 48 ± 59 sekund. Neprekinjena metoda na 100 % MAS pa je merila 32,1 % skupnega časa oziroma 116 ± 42 sekund (Dupont, 2002). Drugi merjen parameter je bil čas, porabljen med 90 in 100 % VO_2max . Glede na rezultate so ugotovili, da trening zelo visoke intenzivnosti za izboljšavo tega parametra ni primeren (Dupont, 2002).

5.2 Vaje za moč

Tudi o povezavi treninga moči in vzdržljivosti se mnenja zelo razlikujejo. Imamo različne dokaze tako o pozitivnih kot tudi negativnih vplivih vaj za moč na samo vzdržljivost. V sklopu naše naloge je na mestu vprašanje, ali lahko trening moči pozitivno vpliva na povečanje komponente VO_2max .

Danes je razvoj različnih komponent mišične moči vključen v različne vzdržljivostne športe. Visoka stopnja hitrosti in moči zahteva dobro mišično pripravljenost. Trening moči bi naj po raziskavah sodeč vplival na laktatni prag, ekonomičnost teka in tudi VO_2max . Tako bi naj bilo vsaj pri netreniranih osebah, medtem ko imamo pri že treniranih tekačih posledico treninga moči le izboljšavo ekonomičnosti gibanja.

Sale DS (1990) je poročal o možni hipertrofiji mišičnih vlaken, povezani s povečanim krčenjem kontraktilnih proteinov, in o možnem vplivu na maso; zmanjševale bi naj mitohondrijsko gostoto in aktivnost oksidativnih encimov, ki lahko ovirajo vzdržljivost. Različne rezultate raziskav je mogoče razmejiti z naslednjimi dejavniki: a) nezmožnost optimalne adaptacije mišic na dva različna dražljaja, b) mišična utrujenost zaradi predhodnega treninga, c) tip in specifika treninga moči in vzdržljivosti ter telesne pripravljenosti in starosti atletov, d) količina, pogostost in intenzivnost treninga lahko imajo vpliv na slabšo združljivost ter e) zaporedje treninga vzdržljivosti in moči v eni vadbeni enoti (Chtara, 2005).

Paavolainen (1999) je v raziskavi z 18 zelo dobrimi tekači krosa 32 % tekaškega treninga spremenil v eksplozivni trening za moč. Opravljali so različne oblike šprintov v razdaljah od 5 do 100 metrov, poskoke z in brez dodane teže, potisk z nogami ter ekstenzijo in fleksijo kolena. Treningi so trajali med 15 in 90 minut. Po 9-tedenskem programu se je rezultat na 5 km izboljšal. Za nas, ki hočemo ugotoviti vpliv treninga moči na sam parameter maksimalne porabe kisika, so rezultati večine raziskav (Hickson, 1988; Bishop, 1996), ki kažejo samo izboljšanje časa na določeno testno razdaljo (in ne merijo izboljšave VO_2max), vprašljivi.

Vprašanje je tudi, ali je bolje vaje za moč opraviti pred ali po treningu vzdržljivosti, kjer sta za eno vadbeno enoto predvidena oba. Uporabljali so že več možnih potekov: a) nekaj tedenska obdobja vaj za moč pred vzdržljivostnimi treningi oz. obratno, b) izmenično med dnevi v enem mikrociklu in c) izmenično na eni vadbeni enoti. Te je preučeval tudi Chtara (2005) in ugotovil, da sočasni trening vzdržljivosti in moči povzroča izboljšave v aerobne kapacitete in vzdržljivosti nasplo. Vadbena enota, ki vključuje trening vzdržljivosti in trening moči – v tem vrstnem redu – je bolj učinkovita za izboljšanje aerobne kapacitete in vzdržljivostne pripravljenosti tekačev, kot če je zaporedje treninga v eni vadbeni enoti obrnjeno; tako je tudi ob uporabi ločene metode za vsako gibalno sposobnost. Vzdržljivostni trening – intervalna metoda 100 in 60 % vVO_2max – je izboljšal aerobno moč. Dokaz je boljši rezultat na 4-kilometrskem testu. Ugotovil je tudi, da intervali izmenjajočih se visokih in zmernih intenzivnosti omogočajo vadbo visoke intenzivnosti dlje časa kot neprekinjena vadba. Trening vadbe za moč v obliki krožnega treninga kratkih intervalov se je izkazal za učinkovitega pri izboljšanju aerobne kapacitete – VO_2max , povišan za 8–10 %. Sodelovalo je 48 moških povprečne starosti 21 let in z vrednostjo VO_2max 50,6 mL/kg/min. Razdeljeni so bili v pet homogenih skupin glede na njihove vrednosti vVO_2max . Sodelovali so v različnih trening-programih, 12 tednov in z dvema vadbenima enotama na teden. Skupine so bile naslednje: E – vzdržljivostni tekaški trening, S – krožni trening za moč, E + S, S + E (prej omenjeni metodi v drugem zaporedju). Skupina C je bila kontrolna. Program treninga vaj za moč je bil sestavljen iz štirih ciklov po tri tedne. V prvih dveh je bil glavni namen izboljšanje vzdržljivosti v moči. Delali so vaje za trup ter zgornjo in spodnjo ekstremiteto. V 3. in 4. ciklu je bil poudarek na eksplozivnosti. Največ za mišice spodnje ekstremitete. Drop Jump (0,30–0,60 m), hopsanja, skoki čez ovire (0,50–0,70 m), hopsanja po eni nogi, skoki z eno nogo,

multi-skoki). Delali so krožni trening kratkih intervalov (30–30 s ali 40–20 s). Pavza med krogi je bila dve minuti, trening je skupaj z ogrevanjem trajal 30 minut.

Pri drugih raziskavah, kjer tega učinka vaj za moč niso dokazali, so bile vaje morda izvajane v (pre)kratkih serijah (pet ponovitev) s (pre)težkimi bremenmi (>80 % max) ali s (pre)dolgim (3-minutnim) počitkom. V tej raziskavi pa se je z obliko krožnega treninga visoko intenzivna obremenitev podaljšala na 15 minut ob zelo kratkih premorih. Skupina, katere trening je vključeval le vadbene enote krožnega treninga, je na testiranju dosegla najslabše rezultate v izboljšanju $VO_2\text{max}$ (Chtara, 2005).

Midgley (2007) v pregledu raziskav ni našel pozitivnih vplivov vaj za moč na sam $VO_2\text{max}$. Dodaten trening moči ali pliometrični trening naj ne bi vplivala na zvišanje samega $VO_2\text{max}$. Tudi Chtara (2005) poroča, da je s primerjanjem svoje raziskave z drugimi opazil bolj pozitivne rezultate izboljšanja $VO_2\text{max}$. Kot možne vzroke navaja manj ustrezne programe treninga (tip, intenzivnost, pogostost in trajanje), začetno raven sodelujočih ter njihov spol in starost.

Ronnestadt pa je svojem pregledu obdelal raziskave, ki so preučevale povezavo vzdržljivostnega treninga s treningom težjih bremen (s težo, ki dovoljuje med 1 RM in 15 RM) in eksplozivne moči. Vpliva raziskav na samo izboljšanje $VO_2\text{max}$ ni preučeval. Ugotovil je, da imata na tekaški rezultat pozitiven vpliv tako trening težjih bremen z maksimalno hitrostjo med koncentrično fazo kot tudi eksplozivni trening moči. Kot najverjetnejšo razlago za izboljšanje vzdržljivostne pripravljenosti navede poznejše aktiviranje hitrejših mišičnih enot, ki so energetske potratnejše, izboljšano živčno-mišično učinkovitost, izboljšano togost mišično-kitne povezave in pretvorbo hitrih mišičnih celic tipa II B v tip II A (Ronnestadt, 2014). O negativnih efekti dodajanja treninga moči k treningu vzdržljivosti ni poročal.

V poglavju moči lahko omenimo tudi tek v klanec. Je specifična oblika razvoja vzdržljivosti v moči, ki ima podoben učinek kot druga sredstva in prispeva tudi k višanju $VO_2\text{max}$. Ker tečemo proti gravitaciji, vzame več energije kot tek po ravnini in je poleg tega naporen še psihično. Vendar lahko tek v klanec poveča moč nog, pospeši frekvenco korakov, povečuje dolžino koraka, izboljša kardiovaskularni sistem in še najbolj vpliva na ekonomičnost teka. Če so vaje za moč v fitnessu dobre zaradi večjih bremen in vpliva na posamezne mišice, je tek v klanec dober zaradi same tekaške specifik in dodatno vpliva še na kite in ligamente.

Padulo s sodelavci (2013) je v svoji raziskavi, kjer je z dobrimi rekreativnimi maratonce (2h 40 min–2h 50 min) opravil teste v različne klančine, ugotovil veliko večje vrednosti $VO_2\text{max}$ ob teku v klanec. Pet minut so vsi z enako hitrostjo 15,0 km/h (70 % $VO_2\text{max}$) tekli po ravnem ter dveh klancih z 2- in 5-odstotnim naklonom. Ugotovil je, da je povprečen $VO_2\text{max}$ glede na tek po ravnini narastel za 10 % ob 2-odstotnem naklonu in za 19 % ob 7-odstotnem naklonu.

6 Ugotovitve in lastno mnenje

Po pregledu raziskav lahko ugotovimo, da so mnenja, kako kar najbolj vplivati na maksimalno porabo kisika, deljena. Nekatere raziskave kažejo, da določena vadbena sredstva nimajo vpliva na izboljšavo VO_2max . Študije smo razdelili glede na intenzivnost preučevanih sredstev.

Nizko intenzivna vadba se najpogosteje uporablja v neprekinjeni metodi treninga. Ugotovili smo, da ima lahko le trening z intenzivnostjo med 40 in 50-odstotnim VO_2max že pozitivne učinke. Le-ti so bili zaznani pri slabše- ali netreniranih osebah in obeh spolih. Pri začetnikih je uporaba nižjih intenzivnosti celostno gledano verjetno bolj priporočljiva, saj ti psihično še niso sposobni premagovati zelo velikih naporov ter si tako zmanjšajo možnost poškodb. To nam kažejo tudi rezultati raziskav (Poole, 1985; Branch, 2000), kjer so nizke intenzivnosti primerjali tudi z višjimi, tudi z eno intervalno, a so bile razlike med njimi zanemarljive. Tako pa ne trenirajo le rekreativni tekači začetniki. Esteve-Lanao (2006) je potrdil pomembnost treninga nižje intenzivnosti po svoji klasifikaciji fiziološkega napora v coni 1 – pod ventilacijskim pragom – in ga označil celo kot bistvenega za vsak program vzdržljivostnega teka, tudi teka vrhunskih tekačev (ob dodatku najvišje intenzivnosti). Tudi za najboljše francoske maratonce, s časi maratona do 2 uri in 10 minut, je bila podlaga v treningu nizko intenzivni tek ob 10-odstotnem deležu visoko intenzivnega teka (Billat, 2001). Seveda je pri takšnih tekačih na stvar potrebno gledati drugače. Ti uporabljajo tako nizke intenzivnosti v kombinaciji zelo velikih količin treninga in pri njih takšen trening ne dviguje maksimalne porabe kisika.

Kljub nekaterim pozitivnim učinkom nižjih intenzivnosti na povečanje VO_2max pa imamo veliko večji pregled raziskav, ki primerjajo in zagovarjajo treninge višjih intenzivnosti. Trening z intenzivnostjo na maksimalni porabi kisika se omenja kot optimalen za razvoj tega dejavnika uspeha pri bolje pripravljenih tekačih. Zasledili smo največ raziskav, kjer so testiranci sodelovali v večtedenskih (med 4 in 8 tednov) programih nadzorovanega treninga. Njihovemu že poznanemu načinu treninga so enkrat ali dvakrat tedensko dodali intervalni trening intenzivnosti med 90 in 100-odstotnim VO_2max . V štirih raziskavah (Billat, 1999; Billat, 2002; Smith TP, 2003; Laffite LP, 2003) smo opazili med 2,1- in 5,4-odstotni dvig maksimalne porabe kisika. Začetne vrednosti VO_2max sodelujočih so bile med 60,5 in 71,2 mL/kg/min.

Najpogosteje je bil v obliki testov do izčrpanosti preučevan skupni čas, ki so ga testiranci vzdrževalni na nivoju svojega VO_2max ali vsaj nad 95 % VO_2max , ter razlike rezultatov med kontinuiranimi in intervalnimi metodami. Elgerud (2007) je v obdobju dveh mesecev ugotovil, da je visoko intenzivnostna vzdržljivostna vadba v obliki intervalov 15"/15" veliko boljše za izboljšanje VO_2max kot srednje in nizko intenziven trening neprekinjene metode.

Tudi Billatova je večkrat raziskovala primerjave kontinuirane in intervalne metode z namenom ugotovitve, katera metoda bo tekače privedla do njihovih maksimalnih vrednosti porabe kisika in jih tam zadržala čim dlje. Opravljali so teste do izčrpanosti ob različnih intenzivnostih. Takšen test intervalne metode 30 sekund s 100-odstotnim vVO_2max in 30 sekund aktivnega počitka s 50-odstotnim vVO_2max je imel 2,5-krat boljše rezultate v primerjavi z neprekinjeno metodo intenzivnosti 91,3 % vVO_2max . Tudi v raziskavi intenzivnosti intervalov s 100-odstotnim VO_2max in aktivnega počitka s 60-odstotnim VO_2max so tekači dosegli 2-krat večjo razdaljo ob naporu na VO_2max – v primerjavi s testom kontinuirane metode. V raziskavi primerjave intervalov različnih amplitud (Billat, 2001) so rezultati pokazali intervale nizke in srednje amplitude kot učinkovitejše, saj so tekači dlje časa vzdrževali svoj nivo VO_2max . Morda je to posledica dela z rekreativci oziroma tekači, ki so bili do raziskave vešči le treniranja z neprekinjeno metodo.

Ne glede na to lahko vidimo, da so intenzivnosti na nivoju VO_2max za izboljšanje dejavnika VO_2max zelo učinkovite. Glede na obstoječe raziskave se priporočajo vsem srednje- in dolgoprogašem, ki hočejo dvigniti svoj VO_2max .

Našli smo tudi raziskave, ki so preučevale supramaksimalno intenzivnost treninga v povezavi s povečanjem maksimalne porabe kisika. Dupont (2002) je tako primerjal 15" različnih supramaksimalnih intenzivnosti ob 15" pasivnega počitka. Najboljše rezultate na testu doseganja in vzdrževanja VO_2max so študenti, ki so sodelovali v študiji, dosegli z intenzivnostjo 120 % MAS. Zanimiv je podatek, da so pri najvišji testirani intenzivnosti 140 % MAS le štirje testiranci sploh dosegli svoj VO_2max . Sklepamo lahko, da je bila intenzivnost za njih prevelika in je niso vzdrževali dovolj časa, da bi uspeli priti do svoje maksimalne porabe kisika. Trening tako visoko intenzivnostne vadbe se priporoča izkušenejšim tekačem.

Velika polemika o vplivih na VO_2max in sami združljivosti z vzdržljivostjo se pojavlja v raziskavah, ki preučujejo vadbo za moč. Najdemo različne dokaze o pozitivnem in tudi negativnem vplivu. Sklepamo, da se problem ne pojavlja v treningu moči in kompatibilnosti, temveč v tipu treninga moči. Tako je možno, da trening za hipertrofijo negativno vpliva na vzdržljivost, ima pa kljub temu možne pozitivne učinke na ekonomičnost gibanja. Ne glede na vse prevladujejo pozitivni zaključki v dodajanju treninga moči k vzdržljivostnemu treningu. Večina raziskav uspešnost meri v izboljšanju časa na neki razdalji, kar pa je seveda odvisno od več dejavnikov. Dokazov o vplivu na VO_2max je malo. Kljub vsem pa se je kot najboljša kombinacija treninga moči in vzdržljivosti na eni vadbeni enoti izkazala ta, ko moč sledi vadbi vzdržljivosti (Chtara, 2005). Kot specifično obliko vadbe vzdržljivosti v moči se priporoča tudi tek v klanec. Vadba moči ima skupno gledano pozitiven vpliv na uspeh in jo priporočamo v pravi obliki, količini in frekvenci.

7 Sklep

Uspeh je v športu odvisen od mnogih dejavnikov. Eden glavnih je tudi ustrezna izbira metod in sredstev z namenom čim bolj vplivati na izboljšanje fizioloških odzivov. Glede na te fiziološke odzive poznamo tudi različne klasifikacije con fiziološkega napora. Vsako intenzivnostno cono določajo specifični fiziološki procesi in odzivi, na katere poskušamo vplivati s treningom. Pregledali smo več kvalifikacij različnih avtorjev. Dodatno smo opisali tudi objektivne parametre za definiranje teh con in poskušali pojasniti zmedo okrog njihovega poimenovanja.

Glavni namen naloge je bil na podlagi znanstvenih raziskav ugotoviti, katere metode in sredstva imajo največji vpliv na razvoj $VO_2\max$. Maksimalna poraba kisika je eden glavnih dejavnikov uspeha v vzdržljivostnih športnih disciplinah in velja za najboljšega pokazatelja aerobne kondicije posameznika. Pregled raziskav je pokazal različne zaključke o vplivu na $VO_2\max$. Zasledili smo raziskave, v katerih sredstva niso imela vpliva nanj. Druge poročajo, da je mogoče že z nizko intenzivnostjo vplivati na povečanje dejavnika $VO_2\max$, sicer bolj uspešno pri manj- in netreniranih osebah. Največ študij nam kaže, da ima največji vpliv na povečanje maksimalne porabe kisika tek intenzivnosti okrog 100 % $VO_2\max$. Največji učinek bi naj imelo vzdrževanje napora na $VO_2\max$ čim daljši čas. Zato so se kot najuspešnejši izkazali intervalni teki relativno kratkega trajanja ob aktivnem počitku. Tudi supramaksimalne intenzivnosti so se izkazale za dobre. Obdelali smo še nekaj raziskav in pregledov, ki so preučevali vaje za moč v povezavi z vzdržljivostjo, in opazili različna mnenja. Kljub poročanim negativnim in pozitivnim vplivom na samo vzdržljivost sklepamo, da ima dodatna vadba za moč pravega tipa celostno gledano pozitiven vpliv na uspeh.

Med pregledom raziskav so se nam pojavila vprašanja in dvomi o kredibilnosti raziskav. Marsikje se pojavi razmeroma kratko preučevano obdobje ob dodatnem nepoznavanju preteklih režimov treninga testirancev, kar pa bi lahko bilo pomembno, saj ima npr. trening intervalov visoke intenzivnosti popolnoma drugačen vpliv na nekoga, ki mu je takšna intenzivnost že poznana, kot na drugega, ki je do raziskave tekel le neprekinjene daljše in počasne teke. Število sodelujočih je bilo pogosto relativno majhno.

Vprašanje, katero sredstvo je najbolj primerno za dvig $VO_2\max$, zahteva zelo kompleksen odgovor, katerega 100-odstotne točnosti ne more podati nihče. Vsak športnik je individuum z drugačno morfološko zgradbo, zgodovino ukvarjanja s športom, motivacijo ... Eni so bolj anaerobni tipi, drugi bolj aerobni. Načrtovanje treninga za športnike tako drugačnih predispozicij mora biti različno. Trener in tekmovalec morata skupaj ugotoviti optimalen trening ter čim bolj vplivati na parametre, kjer so še rezerve. Okvir za izboljšavo se z boljšo pripravljenostjo manjša, kar pa pomeni, da je vsak pozitiven vpliv na rezultat pomemben.

8 Viri

Andersen, P., Henriksson, J. (1977). Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J. Physiol.* 270:677– 690.

Arcelli, E., Canova, R. (2001). *Trening za maraton – znanstveni pristup*. Prevod: Marija Paulus. Zagreb: Gopal.

Astrand, I., Astrand, P. O., Christensen, E. H., Hedman, R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand*; 48: 444–453.

Astrand, P. O., Rodahl, K. (1986). *Textbook of Work Physiology* (3rd ed.). New York: McGraw – Hill Book Company.

Bassett, D. R., JR., Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 32, No. 1, pp. 70–84.

Billat, V., Flechet, B., Petit, B et al. (1999). Interval training at $VO_2\text{max}$: Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc*; 31: 156–163.

Billat, V. (2001). Interval Training for Performance: A Scientific and Empirical Practice. *Sports Med*; 31 (1): 13–31.

Billat, V., Pettit, B., Koralsztein, J. P. (1996). Time to exhaustion at the velocity associated with $VO_2\text{max}$ as a new parameter to determine a rational basis for interval training in elite distance runners. *Sci. Motricite* 28: 13–20.

Billat, V., Demarle, A., Paiva, M. et al. (2002). Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners. *Int J Sports Med*; 23: 336–341.

Billat, V., Binsse, V., Petit, B., Koralsztein, J. P. (1998). High level runners are able to maintain a VO_2 steady-state below $VO_2\text{max}$ in an all-out run over their critical velocity. *Archives of Physiology and Biochemistry*, Vol. 106, No. 1, pp. 38–45.

Billat, V., Flechet, B., Petit, B. et al. (1999). Interval training at $VO_2\text{max}$: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc*; 31: 156–163.

Billat, V., Morton, R. H., Blondel, N., Berthoin, S., Bocquet, V., Koralsztein, J. P., Barstow, T. J. (2000). Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol.* Jun; 82 (3):178–87.

Billat, V., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P., Koralsztein, J. P. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables

subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol*; 81: 188–196.

Billat, V., Slawinski, J., Bocquet, V., Chassaing, P., Demarle, A., Koralsztejn, J. P. (2001). Very Short (15 ± 15 s) Interval-Training Around the Critical Velocity Allows Middle-Aged Runners to Maintain $\dot{V}O_{2\max}$ for 14 minutes. *Int J Sports Med*; 22: 201–208.

Billat, V., Sirvent, P., Lepretre, PM., Koralsztejn, JP. (2004). Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. *Pflugers Arch.* 2004 Mar;447(6):875-83. Epub 2004 Jan 23

Bishop, D., Jenkins, D., Mackinnon, L., McEniery, M., Carey, M. (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics; *Med Sci Sports Exerc.*;31 (6), 886–891.

Bompa, T., Haff, G. (2009). *Periodization: theory and methodology of training* – 5th ed., IL: Human Kinetics.

Branch, J. D. 1, Pate, R. R., Bourque, S. P. (2000). Moderate intensity exercise training improves cardiorespiratory fitness in women. *J Womens Health Gend Based Med.* Jan–Feb; 9 (1): 65–73.

Cheatham, Dr. (2013). *Determination of the Lactate and Ventilatory Thresholds. Review of Physiology, Methods of Detection and Application.*

Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G. P., Amri, M. (2005). Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br J Sports Med*; 39: 555–560.

Conley, D. L., Krahenbuhl, G. S., Burkett, L. N. et al. (1984). Following Steve Scott: physiological changes accompanying training. *Phys Sportsmed*; 12: 103–106.

Demarie, S., Koralsztejn, J. P., Billat, V. (2000). Time limit and time at $\dot{V}O_{2\max}$, during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness.* Jun; 40 (2): 96–102.

di Prampero P.E., Atchou G., Brückner J.C. (1986) The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol*; 55: 259-66

Dupont, G., Blondel. N., Lensele, G., Berthoin, S. (2002). Critical velocity and time spent at a high level of $\dot{V}O_2$ for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Can J Appl Physiol.* Apr; 27 (2): 103–115.

Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., Lucia, A. (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J. Strength Cond. Res*; 21 (3): 943–949.

Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. (2009). Lactate Threshold Concepts: How valid are they?. *Sports Med.*; 39 (6): 469–490. Doi: 10.2165/00007256-200939060-00003.

Franch J, Madsen K, Djurhuus MS, et al. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc*; 30: 1250-6

Gaesser, G. A., Poole, D. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev.*; 24: 35–71.

Helgerud, J., Hkyl, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjørth, N., Bach, R., Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 39, No. 4, pp. 665–671.

Hickson, R., Dvorak, B., Gorostiaga, E., Kurowski, T., Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance; *J. Appl. Physiol.*; 65 (5), 2285–2290.

Hill A. V., Lupton H. (1923). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med*; 16: 135-71

Hill, D. W., Rowell, A. L. (1997). Responses to exercise at the velocity associated with VO₂max. *Med Sci Sports Exerc.*; 29: 113–116.

Honig, C., R., Connett, Gayeski, T., E. (1992) O₂ transport and its interaction with metabolism: a systems view of aerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:47–53.

Jannsen, P. (2001). Lactate threshold training. *Human Kinetics*.

Jones A., M., Carter H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med*; 29: 373-86

Kumagai, S., Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuzaka, A., Hirakoba, K., Asano, K. (1982). Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 mile races. *Eur. J. Appl. Physiol.* 49: 13–23.

Lacour, J. R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthelemy, J. C., Dormois, D. (1990) The energetics of middle-distance running. *Eur J Appl Physiol* 60: 38–43.

Laffite, L. P., Mille-Hamard, L., Koralstein, J. P. et al. (2003). The effect of interval training on oxygen pulse and performance in suprathereshold runs. *Arch Physiol Biochem*; 111: 202–210.

Lucia, A., Hoyos, J., Perez, M. et al. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc.*; 32: 1777–1782.

MacDougall, D., Sale, D. (1981). Continuous vs interval training: a review for the athlete and the coach. *Can J Appl Sport Sci.*; 6: 93–97.

Martin, D., Coe, P. (1997). Better training for distance runners. Champaign, IL: Human Kinetics.

Mayhew J., L. (1977). Oxygen cost and energy expenditure of running in trained runners. *Br J Sports Med*; 11: 116-21

Midgley, A., McNaughton, L., Jones, A. (2007). Training to Enhance the Physiological Determinants of Long-Distance Running Performance. *Sports Med.*; 37 (10): 857–880; 0112-1642/07/0010-0857.

Midgley, A. W, Mcnaughton, L. R., Wilkinson, M. (2006). Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med.*; 36: 117–132.

Morgan, D. W., Baldini, F. D, Martin, P. E., Kohrt, W. M. (1989) Ten kilometer performance and predicted velocity at VO_2max among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 21: 78–83.

Paavolainen, L., Kakkinen, K., Hammalainen, I., Nummela, A., Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power: *J. Appl. Physiol.*; 86 (5), 1527–1533.

Padulo, J., Powell, D., Milia, R., Ardigò, L. P. (2013). A Paradigm of Uphill Running. *PLoS ONE* 8 (7): e69006. Doi:10.1371/journal.pone.0069006.

Pate R., R., Macera C., A., Bailey S., P., et al. (1992) Physiological, metric, and training correlates of running economy. *Med Sci Sports Exerc*; 24: 1128-33

Peronnet, F., Thibault, G., Rhodes, E. C. , McKenzie, D. (1987). Correlation between ventilatory threshold and endurance capability in marathon runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19: 610–615.

Powers, S. K., Beadle, R. E. (1985). Onset of hyperventilation during incremental exercise: A brief review. *Res. Q. Exerc. Sport* 56: 352–360.

Powers, S., K., Lawler, J., Dempsey, A., Dodd S., Landry G. (1989). Effects of incomplete pulmonary gas exchange of VO_2max . *J. Appl. Physiol.* 66:2491–2495.

Ramsbottom, R., Nute, M. G., Williams, C. (1987). Determinants of five kilometre running performance in active men and women. *British Journal of Sports Medicine*, 21 (2), 9–13.

Rønnestad B. R. 1, M. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sports*. Aug; 24 (4): 603–612.

Sale, D. S, MacDougall, J. D, Jacobs, I. et al. (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol*; 68: 260–70.

Saltin, B., Henriksson, J., Nygaard, E., Andersen P. (1977). Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301:3–29.

Santos-Concejero, J., Granados, C., Bidaurreazaga-Letona, I., Zabala-Lili, J., Irazusta, J., Gil, S. M. (2013). Universidad del País Vasco; Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación, nº 23, pp. 67–69.

Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med*; 34 (7): 465–485.

Slawinski, J., Demarle, A., Koralsztejn, J. P. et al. (2001). Effect of supra-lactate training on the relationship between mechanical stride descriptors and aerobic energy cost in trained runners. *Arch Physiol Biochem*; 109: 110–116.

Smith, D. A, O'Donnell, T. V. (1984). The time course during 36 weeks' endurance training of changes in VO_2max and anaerobic threshold as determined with a new computerized method. *Clin Sci (Lond)*. Aug; 67 (2): 229–236.

Smith, T. P, Coombes, J. S, Geraghty, D. P. (2003). Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal O_2 uptake and the time for which this can be maintained. *Eur J Appl Physiol*; 89: 337–343.

Škof, B. (2007). Šport po meri otrok in mladostnikov, Ljubljana, Fakulteta za šport.

Ušaj, A. (1996). Kratek pregled osnov športnega treniranja. Fakulteta za šport.

Ušaj, A. (2012). Temelji športne vadbe. Fakulteta za šport.

Ušaj, A., Starc, V. (1990). Poskus utemeljitve dveh konceptov anaerobnega praga pri testiranju vzdržljivosti tekačev. Doktorsko delo. Fakulteta za telesno kulturo.

Wagner, P., D., Hoppeler H., and Saltin, B. (1991). Determinants of maximal oxygen uptake. New York: Raven Press pp. 1585–1593.

Weston, A. R., Karamizrak, O., Smith, A., et al. (1999). African runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation, and higher oxidative enzyme-activity. *Journal of Applied Physiology*, 86, 915-923.

www.physfarm.com/new/?attachment_id=522

www.zdtriatlon.com.hr/2011/03/29/346/.