

Mitja Ferlež

TRENING VZDRŽLJIVOSTI PRI KOLESARJIH

Izvleček

Najnovejše raziskave prinašajo spoznanje, da večja dostava kisika v organizem športnika med športnim naporom izboljšuje kolesarski vzdržljivostni nastop. Logična posledica te ugotovitve je vprašanje, kako doseči povečano dostavo kisika v organizem športnika med športnim naporom in kako to doseči s kroničnim trenajnim procesom vzdržljivosti.

Ključne besede: kolesarstvo, vzdržljivost, VO₂max.



ENDURANCE TRAINING OF CYCLISTS

Abstract

The most recent studies have led to the finding that a bigger delivery of oxygen in the body during sport exercise improves a cyclist's performance in terms of endurance. The logical consequence of this finding is the question of how to increase the delivery of oxygen into the athlete's body during sport exercise and how to achieve this in the process of chronic endurance training.

Key words: cycling, endurance, VO₂max

Koncept maksimalne porabe kisika (VO_{2max}) je zasnoval Hill v letih 1923–1924 (Bassett, 2000). Kmalu zatem je postalo jasno, da dosegajo vrhunski vzdržljivostni športniki visoke vrednosti VO_{2max} in da so te vrednosti zelo povezane z uspešnim vzdržljivostnim nastopom. Pozneje se izkaže, da se povezanost zmanjšuje z zmanjševanjem heterogenosti nastopajočih, kar je zaradi nenehne selekcije običajno za skupine bolj treniranih športnikov, in dokaže, da so glavne tri determinante vrhunškega vzdržljivostnega nastopa: VO_{2max} , višina laktatnega praga in ekonomičnost (Midgley, 2007). Kljub pomembnosti vseh treh se bomo v nadaljevanju osredotočili le na VO_{2max} , vendar ne samo zato, ker je prvi pogoj uspešnosti na vrhunski ravni, temveč še posebej zato, ker nove raziskave prinašajo spoznanje, da dostopnost kisika omejuje njegovo porabo v organizmu športnika in da večja dostava kisika izboljšuje kolesarski vzdržljivostni nastop (Tucker, 2007). Logična posledica te ugotovitve je vprašanje, kako doseči povečano dostavo kisika v organizem športnika med športnim naporom z namenom izboljšanja njegovega športnega nastopa in kako to doseči s kroničnim trenažnim procesom vzdržljivosti. Vse to z namenom, da opozorimo na dokazano učinkovite optimizacije vadbe v kolesarski športni praksi.

■ Večja dostava kisika izboljšuje vzdržljivostni nastop

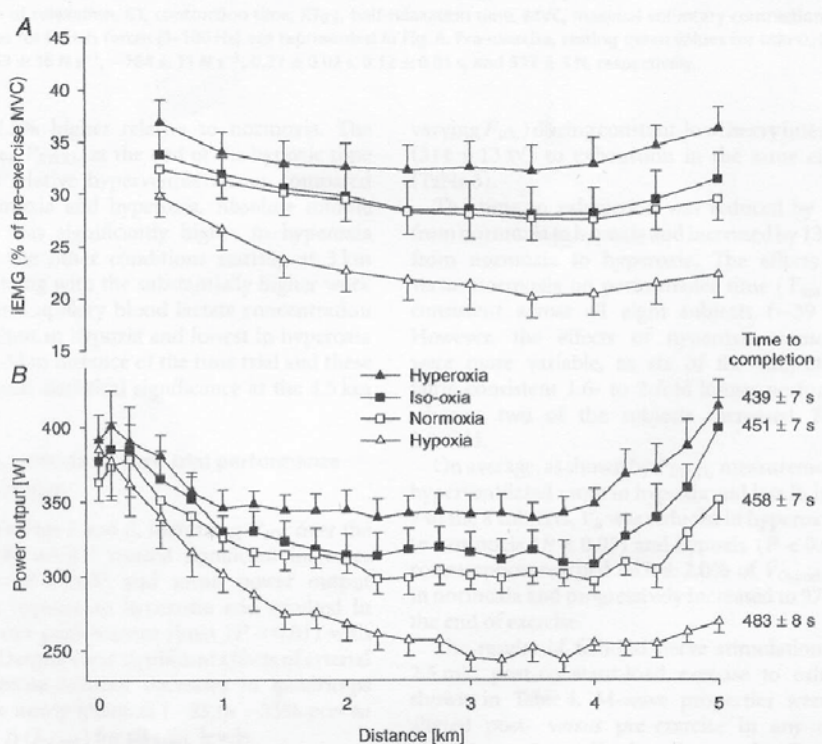
Da lahko z povečanjem dostave slabo topnega kisika po krvnem obtoku z manipulacijo skupne mase hemoglobina močno izboljšamo vzdržljivostni nastop, je znano od sedemdesetih let prejšnjega stoletja (Ekblom, 1972). Šele leta 2007 pa prvič poročajo, da dvig hematokrita s 44,7 na 49,5 % ob uporabi agresivne terapije z rekombinantnim eritropoetinom v štirih tednih pri netreniranih posameznikih brez dodatnega treninga povzroči dvig VO_{2max} za 12,6 %, merjeno med kolesarjenjem, in podaljša čas kolesarjenja do utrujenosti pri submaksimalnem vzdržljivostnem nastopu (intenzivnost 80 % VO_{2max}) za 54 % (Thomson, 2007). Ta raziskava prvič pokaže, kako močan submaksimalni stimulus, najpomembnejši za športni vzdržljivostni nastop, predstavlja manipulacija krvne koncentracije hemoglobina. Čeprav raziskava ni narejena

na vrhunskih športnikih, je znano, da je štirinajst najboljših španskih mladih kolesarjev (20 let) v obdobju ene sezone (od novembra do junija) ob nespremenjeni krvni sliki uspelo VO_{2max} dvigniti za 8,2 %, izraženo relativno s 73,1 na 80,5 ml/kg/min (Zapico, 2007). Maksimalna moč na stopnjenem testu pa se je povečala za 4,4 %, ob tem da je znano, da je napredek v maksimalni kolesarjevi moči pri treniranih kolesarjih odgovoren za krajšanje povprečnega časa 40-kilometrskega kronometra (Laursen, 2003; Westgarth-Taylor, 1997).

Meritve maksimalne moči na stopnjenem testu pri treniranih kolesarjih najbolje napovedujejo rezultate kolesarskega kronometra od 14 do 40 kilometrov (Zavorsky, 2007; Anton, 2007). Za takšen napredek mladih kolesarjev je bilo potrebnih 471 vadbenih ur na kolesu. Čeprav je pozitivni učinek dviga hemoglobina in hematokrita na VO_{2max} in vzdržljivostni nastop dobro poznan (Joyner, 2003), pa do leta 2007 ni bilo jasno, preko katerih mehanizmov povečani hematokrit vodi v izboljšanje vzdržljivostnega nastopa (Imagawa, 2007). Tega leta poročajo, da vdihovanje zraka, obogatenga s kisikom

(40 namesto običajnih 21 %), ob nespremenjenem hemoglobinu, frekvenci srčnega utripa in občutka napora poveča EMG-aktivnost nožnih mišic in razvoj povprečne kolesarske moči z 277 na 292 W in takoj skrajša kolesarski kronometrski nastop na 20 kilometrov za 5 % (Tucker, 2007). Tako prvič jasno pokažejo, da je dostopnost kisika ključni dejavnik, ki preko še ne povsem jasnih mehanizmov občutno spremeni stopnjo mišične aktivacije med športnim naporom in s tem določi rezultat vzdržljivostne tekme.

Obstaja tudi povezanost med odmerkom prejetega kisika, akutno aktivacijo nožnih mišic in hitrostjo kolesarjenja (slika 1) (Amann, 2006). Več kot ga je v vdihani plinski mišici, hitreje kolesar kolesari. Velja tudi obrnjeno. Ne nazadnje v letu 2009 poročajo o tem, da so miši, ki so skozi usta zaužile alosterični modulator hemoglobina, ki zmanjšuje afiniteto kisika do hemoglobina, in so trenutno še v fazi razvoja, ob dihanju običajnega zraka za 34 % povečale VO_{2max} (Biolo, 2009). Vse to govori, da večja dostava kisika obremenjenim mišicam in možganom preko še ne povsem jasnih mehanizmov izboljšuje vzdržljivostni nastop.



Slika 1: Povečevanje mišične aktivacije in kolesarjeve moči s povečevanjem količine kisika v vdihavani plinski mešanici med simuliranim kronometrom na pet kilometrov, peljanih na valjih (Amann, 2006). Hipoksija (15 % kisika v plinski mešanici), normoksija (21 %), izo-oksija (28 %), hiperoksija (100 %).

■ Kako do več kisika?

Matematično VO_2 izrazimo kot (Brooks, 1996):

$$VO_2 = UV * FSU * a-vO_2$$

UV – utripni volumen

FSU – frekvenca srčnega utripa

a- vO_2 – arterijsko-venska razlika za kisik

Ob FSU porabo kisika določata še UV in a- vO_2 . V primeru kroničnega vzdržljivostnega treninga se značilno povečujeta UV_{max} srca in a- vO_{2max} , medtem ko FSU_{max} ostaja enaka oziroma se z naraščanjem kronološke starosti niža. Prav tako se med tekmovalno sezono, ob odsotnosti višinskih priprav, bistveno ne spreminja skupna masa hemoglobina (do 3 % pri kolesarkah) (Garvican, 2010). Zato domnevajo, da se povečevanje VO_{2max} ob izvajanju kroničnega vzdržljivostnega treninga pri mladih dogaja zlasti na račun povečevanja minutnega utripnega volumna srca, v največji meri na račun povečevanja maksimalnega utripnega volumna levega ventrikla (Midgley, 2006). Da srce doživi značilne morfološke spremembe ob izvajanju kroničnega vzdržljivostnega treninga, je dobro znano. Kljub temu pa ta spoznanja temeljijo predvsem na primerjavi bolj treniranih športnikov z manj treniranimi.

Manj pa je podatkov, pridobljenih s spremljanjem istih vadečih v daljšem časovnem obdobju. Leta 2007 poročajo, da je kronična intenzivna vadba povzročila značilne morfološke in funkcijske spremembe srca pri večji skupini mladih športnic in športnikov (N = 64), starih 19 let, že v 90 dneh vadbe. Še več, skupina, ki je izvajala intenziven vzdržljivostni veslaški trening, je doživela značilno različne morfološke in funkcijske spremembe srčne mišice kot skupina, ki je izvajala intenzivno vadbo moči (Baggish, 2007). Ta študija podaja trdne dokaze, da ima športni trening vzročno vlogo v razvoju specifičnih treninških prilagoditev strukture in funkcije srčne mišice. Da so te prilagoditve fiziološke in ne znak bolezni, pa je Tung domneval že leta 1934, ko je odkril, da ima 45 % od 46 mladih kitajskih vlačilcev rikš, ki so to težko vzdržljivostno delo do takrat opravljali v povprečju osem let po 3 ure ali več na dan, povečano srce (Cheng, 2005). Leta 2010 na večjem vzorcu (N = 51) potrjuje, da se srca mladih tekmovalnih kolesarjev morfološko in funkcionalno značilno razlikujejo

od src netreniranih sovrstnikov (Kuchynka, 2010). Ne nazadnje na pomembnost maksimalnega utripnega volumna s stališča VO_{2max} opozori študija, ki potrjuje, da imajo 20 let stari zdravi moški, ki dosežajo izjemno visoke vrednosti VO_{2max} (5 l/min, kar glede na telesno težo pomeni vrednost 65,3 ml/kg/min), brez zgodovine sistematičnega vzdržljivostnega treninga, v primerjavi s kontrolno skupino enako netreniranih moških (VO_{2max} 3,2 l/min oz. 46,2 ml/min/kg, kar ustreza ugotovljenim normnim vrednostim VO_{2max} za netrenirane sovrstnike (45–50 ml/min/kg)), značilno večji maksimalni utripni volumen srca (149 ml nasproti 102 ml), ki zmore med maksimalno obremenitvijo prečrpati 28,9 l krvi v minuti nasproti 20 l/min, ki jo lahko prečrpa srce "povprečnega" sovrstnika. Ob tem se značilno ne razlikujejo v a- vO_{2max} , hematokritu in hemoglobinu (Martino, 2002). Ne nazadnje ti izjemno redki in nedvomno vzdržljivo "talentirani" posamezniki dosežajo še večji skupni volumen krvi.

Od kod izvirajo te razlike, ni znano. Znano pa je, da jih ne moremo pripisati dolgoletnemu vzdržljivostnemu treningu, torej lahko izvirajo le iz naravne danosti – njihove dedne zasnove. Tako raziskave človeškega genoma do leta 2008 že dokazujejo, da je s športnim fenotipom povezanih vsaj 214 kromosomskih in 18 mitohondrijskih genov od približno 25.000 humanih genov (Bray, 2009). Najnovejše raziskave potrjujejo, da je skupni volumen srca močan neodvisni napovedovalec VO_{2max} pri obeh spolih ($R^2 = 0,74$) (Steding, 2010) (slika 2).

Potrjeno je, da se največji napredki v VO_{2max} zaradi kroničnega vzdržljivostnega treninga pri moških dokazano zgodijo v obdobju intenzivne rasti, to je med 15. in 17. letom starosti, vrh te sposobnosti pa se doseže med 21. in 23. letom (Sc-

humacher, 2006). Po tem času se zdi, da se napredek pri odzivnih posameznikih iz sezone v sezono zmanjšuje oz. pri nekaterih kljub treningu že doživi plato (Rusko, 1992). Leta 2009 poročajo, da so ponavljajoče se meritve elitne skupine najboljših kolesarjev na svetu (ocenjenih s stališča uspehov na največjih športnih tekmovanjih) v istem obdobju sezone pokazale, da ta skupina v petih letih izjemno zahtevnega vzdržljivostnega treninga in tekmovanj od starosti 22,6 let dalje ni doživela značilnega napredka v VO_{2max} , je pa napredovala v ekonomičnosti. Ob tem, da so večji napredek v tem kazalcu doživeli kolesarji z nižjim izhodiščnim VO_{2max} (Santalla, 2009). Do podobnih ugotovitev se pripeljale tudi nekaj letne zaporedne meritve športnega nastopa in VO_{2max} pri istih vrhunskih tekačih, ki so pokazale napredovanje v športnem nastopu kljub odsotnosti napredka v VO_{2max} (Arresse, 2005).

Podobno je pri tekačih na smučeh ugotovil tudi Rusko – da se VO_{2max} in relativni volumen srca po 20. letu starosti povečujeta le še pri najuspešnejših tekmovalcih, in sicer skupaj s povečevanjem količine in intenzivnosti treninga (Rusko, 2002), kar je v skladu z domnevo, da imajo ti posamezniki poseben genotip in odzivnost na trening, ki se razlikujeta od večine drugih športnikov (Midgley, 2006).

Zakaj v VO_{2max} ob izvajanju rednega ekstremnega vzdržljivostnega treninga ni mogoče več bistveno napredovati po 20–23. letu starosti, ni znano. A novi eksperimenti na živalskih modelih so že podali nekaj novih spoznanj, ki jih strne dr. Ekblom, švedski prvak v orientacijskem teku leta 1964, ki je že leta 1969 poročal, da se njegov VO_{2max} kljub rednemu vzdržljivostnemu treningu od leta 1960 do 1968 ni povečal (Ekblom, 1969).

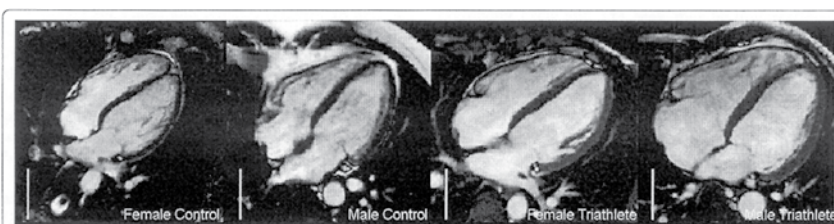


Figure 4 Long axis images of the heart in a female control, male control, female triathlete and male triathlete. This figure illustrates the increase in cardiac dimensions with endurance training. Note that the female triathlete (height 1.80 m, weight 70 kg) has a larger heart than the male control subject (1.81 m, 80 kg).

Slika 2: Srce, slikano po vzdolžni osi. Vzdržljivostna vadba povečuje skupni volumen srca. Na desni strani so slike srca treniranih atletov obeh spolov, na levi slike src zdravih netreniranih posameznikov obeh spolov enakih telesnih razsežnosti (kontrolna skupina) (Steding, 2010).

V razpravi vodilnih raziskovalcev fiziologije športnega napora v letu 2009 omeni (J Appl Physiol 2009; 106: 338–342), da je "zdravo srce ozko grlo VO₂max..." (str. 348) in "verjamem, da je utripni volumen srca omejen s perikardom. Eksperimenti na psih in prašičih namreč jasno kažejo, da se minutni utripni volumen srca med maksimalno obremenitvijo poveča, če prerežemo perikard" (str. 341). Ali bi se podobno zgodilo pri ljudeh zaradi očitnih razlogov, ni mogoče enostavno potrditi, zato to ostaja na ravni domneve. Doseganje ekstremno visokih vrednosti VO₂max s stališča športne uspešnosti se zdi čedalje pomembnejše. Tako je dr. Rusko že leta 1992 opisal sekularne spremembe v VO₂max, "demonstrirane s predstavljenimi vrednostmi v prvi in tretji izdaji knjige *Textbook of Work Physiology* avtorjev Astranda and Rodahla. Vrednosti VO₂max tako moških (s 83 na 84,5 ml/kg/min) kot ženskih (s 63 na 72 ml/kg/min) tekačev in tekačev na smučeh so se povečale, prav tako povprečne vrednosti tekačev in orientircev" (Rusko, 1992).

Danes je znano, da nekateri kolesarji, ki so tekmovali za višje uvrstitve na največjih etapnih dirkah v letih 1997–2003, dosegajo na stopnjevanem obremenitvenem testiranju (25W/min) v starosti 26,7 leta povprečne vrednosti VO₂max 5,3 l/min oz. 75,8 ml/kg/min in največjo moč 495 W (Earnest, 2009). Kolesar Lance Armstrong je v starosti 21 let, potem ko je postal svetovni kolesarski prvak na cestni dirki dolžine 270 kilometrov, kjer je premagal tudi Miguela Induraina, na obremenitvenem testiranju dosegal VO₂max 6,1 l/min oz. 81,2 ml/kg/min (Coyle, 2005). Ker pa se zdi, da tudi z ekstremnim vzdržljivostnim treningom ni mogoče VO₂max premakniti preko naravno postavljenih meja, se zaradi izjemnih zahtev vrhunškega športa nenehno iščejo tudi drugi načini izboljševanja vzdržljivostnega nastopa.

Ni naključje, da je bila Mednarodna kolesarska zveza (UCI), da bi zagotovila enake tekmovalne razmere vsem sodelujočim športnikom in zaščitila njihovo zdravje, nedavno prisiljena v uvedbo biološkega lista, katerega glavna novost je izdelava t. i. osebnega hematološkega in steroidnega profila, ki na daljši rok omogoča ugotavljanje morebitnih sprememb osnovnega profila ne glede na uporabljena sredstva (Lippi, 2007). Biološki list je trenutno najbolj ambiciozna oblika boja katere

koli športne zveze proti doping u v zgodovini (Lippi, 2007). Njegovo uspešnost so potrdile tudi objavljene povprečne vrednosti hematokrita in hemoglobina kolesarjev kolesarskega moštva CSC v sezoni 2006/2007, ki so bile "nižje od izmerjenih vrednosti elitnih kolesarjev, objavljenih v zadnjih desetih letih" (Mørkeberg, 2009). Ne nazadnje je bilo potrjeno, da se povprečna hitrost kolesarjev na največjih treh etapnih dirkah od leta 2004 zmanjšuje za 0,22 km/h na leto in posredno kaže na uspešnost boja proti doping u v tem času, medtem ko se je od leta 1990 do 2004 nenehno povečevala s hitrostjo 0,16 km/h na leto (Perneger, 2010). A izzivov v prihodnosti ne bo malo, saj bodo športniki najverjetneje začeli uporabljati nedovoljena sredstva in tehnike, kot so alosterični modulatorji hemoglobina, umetni nosilci hemoglobina (Lippi, 2010) in genski doping (Žiberna, 2007).

Manipulacije dostave kisika in s tem povečevanje VO₂max niso edini uspešen način umetne manipulacije vzdržljivostnega nastopa. Tako je znano, da je na vzdržljivostni nastop mogoče vplivati tudi z manipulacijo občutka bolečine. Nalokson – opioidni antagonist – poslabša rezultate stopnjevanega obremenitvenega testiranja, tudi VO₂max in največje kolesarske moči, kar kaže na pomembno vlogo sproščanja endogenih opiatov med maksimalnim naporom in s tem doseganjem maksimalne delovne učinkovitosti (Sgherza, 2002). Leta 2010 potrdijo, da peroralno zaužitje paracetamola pred naporom, lahko dostopnega analgetika in antipiretika, pri treniranih kolesarjih skrajša kronometriški nastop na 16,1 km v povprečju za 30 sekund (oz. 2 %) v primerjavi s kontrolno skupino (Mauger, 2010). Izboljšanje razlagajo z akutno zmanjšanim občutenjem bolečine, saj paracetamol nima stimulativnih učinkov kot npr. kofein, ki prav tako dokazano izboljšuje kronometriški nastop (Foad, 2008).

Da gre s stališča tekmovalnega nastopa za pomembne razlike, pokaže analiza rezultatov olimpijskega 40-kilometrskega kronometriškega nastopa iz Aten, kjer je bila razlika med prvim in drugim tekmovalcem le 0,52 % (Currell, 2008). Omenimo še, da se leta 2008 pojavijo špekulacije, da bi lahko uporaba določenih anhipertenzivnih zdravil povečevala VO₂max in imela ergogen učinek na vzdržljivostni

nastop (Wang, 2008). Te domneve na športnikih še niso potrdili.

■ Kako povečevati VO₂max s kroničnim vzdržljivostnim treningom?

Normalen trening prinaša normalne rezultate. Če se s to trditvijo strinjamo, potem moramo poznati odgovor na vprašanje, kaj je normalen trening in kaj želimo z njim doseči. Kljub velikim vložnim naporom raziskovalcev še dandanes ne vemo natančno, kako ustrezno kvantificirati akutno in kronično vadbeno obremenitev in opredeliti, kolikšna vadbeno obremenitev je potrebna za določene morfološke in metabolične spremembe, ali na osnovi vadbene obremenitve predvidevati končne izide vzdržljivostne vadbene rutine. Najnovejše raziskave pokažejo, da primerljiv napredek v vzdržljivostnem športnem nastopu pri različnih posameznikih ne izhaja iz identičnih fizioloških in metaboličnih sprememb in da nizko odzivni posamezniki s stališča VO₂max niso nujno nizko odzivni tudi v drugih telesnih adaptacijah, povzročenih z vzdržljivostnim treningom (Vollaard, 2009). Čeprav preučevanje vzdržljivosti ni enostavno (Palma, 2009), znanje o razvijanju vzdržljivosti pa je tako omejeno, da določeni raziskovalci menijo, da na podlagi trenutno dostopnih dokazov ni mogoče dati priporočil za trening vzdržljivosti (Midgley 2007), pa se bomo v nadaljevanju kljub temu seznanili z nekaterimi osnovnimi spoznanji športne znanosti, ki lahko z ustrezno kritično distanco služijo optimizaciji treninga vzdržljivosti.

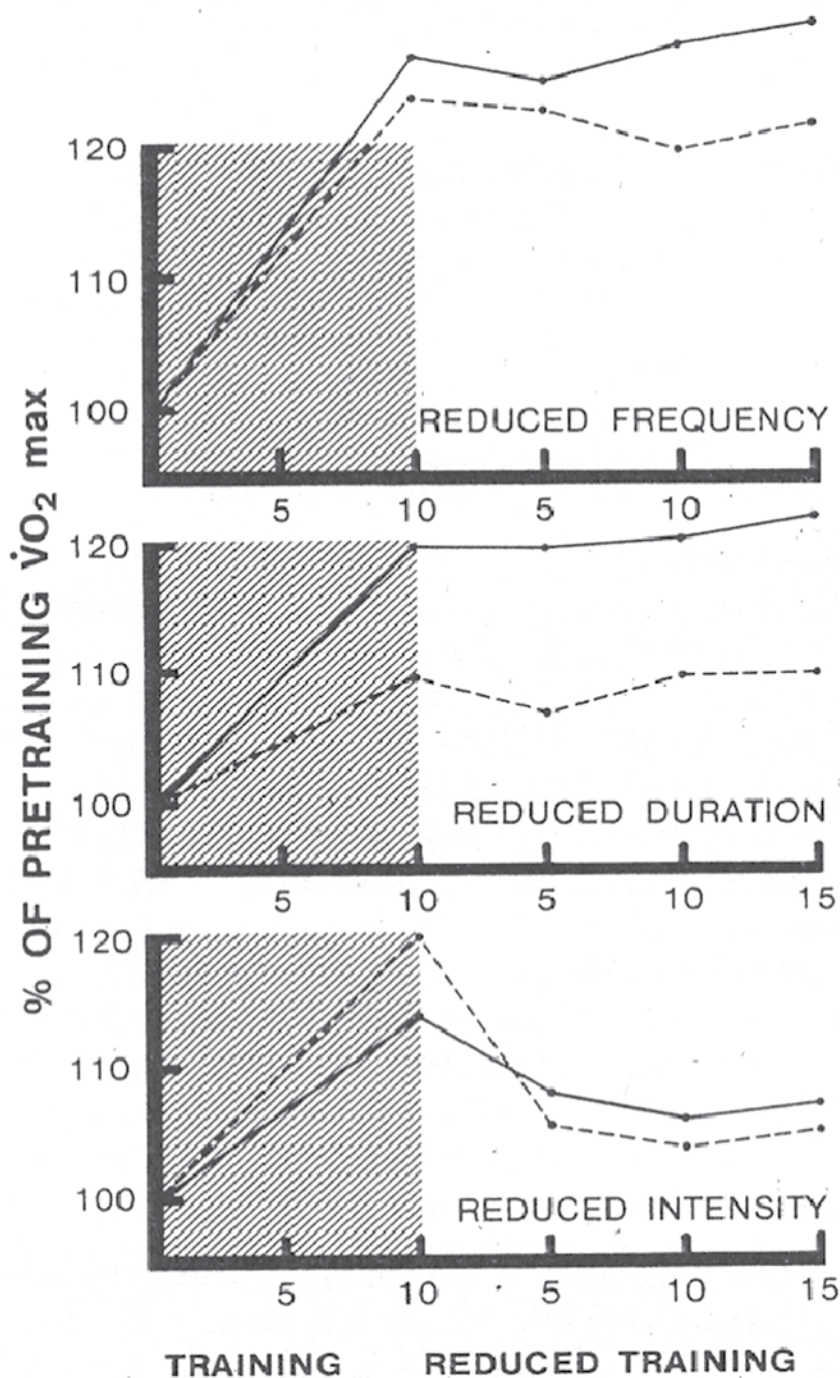
S stališča športne prakse je pomembno vprašanje, ali v resnici obstajajo bolj in manj učinkovite vadbene metode (Midgley, 2007)? Torej tiste, ki lahko človeško zmogljivost v enakem časovnem obdobju povečajo v večji meri kot druge, in ali je to ob prej navedenih omejitvah sploh mogoče izmeriti ter uporabiti za optimiziranje vadbene procesa? In kako lahko to ugotovimo, če vemo, da se različni posamezniki na enak tip vzdržljivostnega treninga dokazano odzivajo različno?

Vpliv genov na vzdržljivostni nastop izločimo tako, da namesto napredka posameznika merimo napredek skupine, v kateri so različni posamezniki, torej različni

no gensko ozadje. Če uspemo dokazati, da neka skupina kot celota v enakem časovnem obdobju napreduje v izbranih kazalcih vzdržljivosti (npr. v VO_{2max} – u ali športnem nastopu) v večji meri kot druga, smo dokazali, da je trening te skupine učinkovitejši od drugega. Predpostavljamo lahko, da bomo s predpisovanjem takšne vrste treninga določenemu po-

samezniku z največjo verjetnostjo pričakovali največji napredek v njegovi fizični zmogljivosti v okviru njegovega genskega potenciala, čeprav to ne pomeni, da se bo to v resnici tudi zgodilo. Še posebej zato, ker so raziskovalci nedavno dokazali, da neprekinjena vadbeni obremenitev na enaki individualno predpisani intenzivnosti (% VO_{2max}) vodi v različne

metabolične zahteve pri različnih posameznikih. To drži celo za posameznike, ki so si primerljivi s stališča VO_{2max} (Scharhag-Rosenberger, 2010). Kakorkoli že, take študije so že bile narejene in so pokazale, da res obstajajo vadbene metode, ki so v določenem časovnem obdobju dokazano učinkovitejše od drugih. V nadaljevanju se bomo tako seznanili z nekaterimi ugotovitvami, ki temeljijo na ugotovitvah intervencijskih študij.



Slika 3: Učinek 10-tedenskega intenzivnega vzdržljivostnega treninga in 15 tednov zmanjšane vadbene obremenitve za 1/3 (neprekinjena črta) in za 2/3 (črtkana črta) na VO_{2max} , merjen med kolesarjenjem (Hickson, 1985)

Jasno je, da lahko napredek v VO_{2max} pričakujemo le, če izvajamo kronični vzdržljivostni trening. Da lahko napredek izzovemo s spremembami v vseh treh dejavnostih vadbene obremenitve – s spreminjanjem intenzivnosti, količine in frekvence vadbe –, pa je znano že več kot 30 let (Midgley, 2006). A kaj naj povečamo? Vse troje naenkrat? Le dvoje? Za koliko? Da bomo lahko vsaj približno odgovorili na ta vprašanja, moramo najprej ugotoviti, ali je katera od treh sestavin vzdržljivostne vadbe pomembnejša od druge? Prav to je med drugimi zanimalo tudi raziskovalca Hicksona, ki je svoje ugotovitve objavil leta 1985 (Hickson, 1985). V seriji intervencijskih eksperimentov je skušal ugotoviti, katera od treh sestavin vadbe najpomembneje vpliva na ohranjanje maksimalne porabe kisika (VO_{2max}). Več skupin mladih netreniranih ljudi (27 let, izhodiščni $VO_{2max} \approx 40$ ml/kg/min) je najprej izpostavil izjemno intenzivni vzdržljivostni vadbi, kjer so morali šestkrat na teden in deset tednov zapored 40 minut izmenično kolesariti ali teči. Na kolesu so vedno izvajali težke petminutne intervale, med tekom pa so vsakič poskušali ves predpisani čas teči, kolikor hitro so zmogli. S takšnim zahtevnim treningom so v desetih tednih VO_{2max} izboljšali za 14 do 20 %, merjeno med kolesarjenjem (slika 3), oz. za 11 do 16 %, merjeno med tekom.

Po desetih tednih so začeli raziskovalci spreminjati samo intenzivnost, samo količino ali samo frekvenco njihove vzdržljivostne vadbe in so ob tem še 15 tednov zapored merili njihov VO_{2max} . Ugotovili so, da je tretjinsko zmanjšanje količine (s 40 na 26 min/trening) ali frekvence vadbe (s 6- na 4-krat na teden) v trajanju petnajstih tednov in ob ohranjanju drugih dveh sestavin vadbe povzročilo ohranjanje s predhodnim vzdržljivostnim treningom povečane maksimalne porabe kisika. Do velikega znižanja le-te pa je prišlo prej

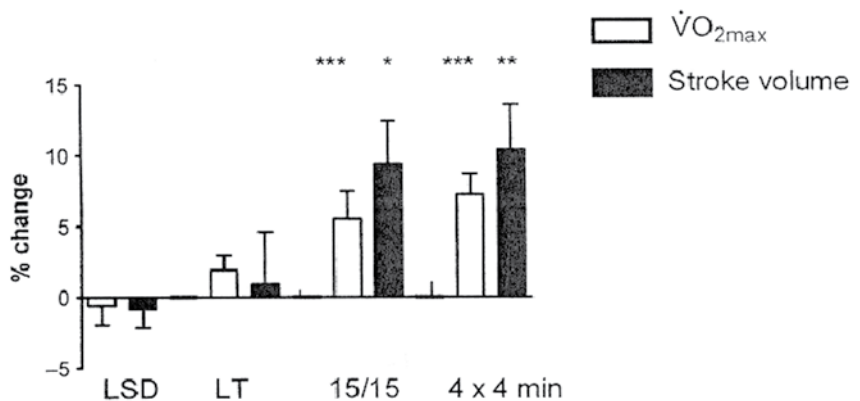
kot v petih tednih, če so za enako mero (1/3) znižali intenzivnost vadbe.

Če pa so vse dejavnike znižali za dve tretjini, je prišlo do bistvenega upada VO_{2max} ne le pri znižanju intenzivnosti vadbe (največji upad), temveč tudi pri skrajšanju časa posameznega treninga (na 13 minut). In to kljub ohranjanju drugih dveh dejavnikov konstantnih (6-krat na teden, visoka intenzivnost). Znižanje frekvence vadbe za dve tretjini (na 2-krat na teden), ob ohranjanju visoke intenzivnosti in količine vadbe, ni povzročilo bistvenega upada VO_{2max} v naslednjih petnajstih tednih. Ne nazadnje so tudi ugotovili, da je do upada VO_{2max} prišlo hitreje pri preiskovancih, ki so le kolesarili (zmanjšanje frekvence vadbe na račun teka), kot pri tistih, ki so le tekli. Kljub zanimivim odkritjem omenjenih študij, opravljenih na majhnih vzorcih, pa pozneje podobnih študij na večjih vzorcih ali pri bolj treniranih posameznikih, žal, niso naredili.

In čeprav nam te študije več povedo o vzdrževanju VO_{2max} kot o njenem povečevanju, je že naslednje leto analiza 59 trening študij, ki je preučevala vpliv treninga na napredek VO_{2max} , pokazala, da je napredek mogoče pričakovati, če vadeči, ne glede na svojo raven treniranosti, med treningom dosega intenzivnost v območju od 50 do 100 % VO_{2max} , ne glede na to, kolikokrat na teden vadi ali koliko časa traja posamezni trening, ter celo ne glede na to, kako dolgo že vadi (Midgley, 2006). Intenzivnost treninga, ki jo v športni praksi najpogosteje merimo s spremljanjem frekvence srčnega utripa, je torej s stališča napredka v vzdržljivosti pomembna, če že ne najpomembnejša sestavina vzdržljivostne vadbe (Midgley, 2007).

Nadaljnji korak so naredili raziskovalci, ki so štiri skupine mladih tekačev (25 let, izhodiščni $VO_{2max} = 58$ ml/min/kg), ki se med seboj niso razlikovale po treniranosti, izpostavili enaki vadbeni obremenitvi trikrat na teden nadaljnjih osem tednov (Helgerud, 2007). Enako vadbeno obremenitev so definirali z enako količino porabljenega kisika med eno vadbeno enoto. Opravili so tele štiri tipe treningov, ki se pri teh posameznikih med seboj niso razlikovali glede na količino izrabljenega kisika:

1. Počasen dolg tek, znan kot metoda LSD (long slow distance running). Izvajali so tek pri 70 % FSU_{max} (kar je zanje



Slika 4: % razlike v absolutnem VO_{2max} in absolutnem utripnem volumnu srca po osemtedenskem vadbenem obdobju

pomenilo, da so tekli pri 137 ± 7 utr/min) v trajanju 45 minut.

2. Tek na intenzivnosti laktatnega praga pri 85 % FSU_{max} (ali 171 ± 10 utr/min), ki je trajal 24 minut.
3. Kratki intervalni trening, pri katerem je ponovitev trajala 15 sekund pri intenzivnosti 90–95 % FSU_{max} ($180–190 \pm 6$ utr/min), odmor pa prav tako 15 sekund na 70 % FSU_{max} (140 ± 6 utr/min). Na vsakem treningu so opravili 47 petnajstsekundnih intervalov (skupaj ≈ 12 minut).
4. Dolgi intervalni trening, pri katerem so opravili štiri štiriminutne ponovitve pri intenzivnosti 90–95 % FSU_{max} ($180–190 \pm 5$ utr/min), vmesni odmori pa so trajali 3 minute pri intenzivnosti 70 % FSU_{max} (140 ± 6 utr/min) (skupaj 25 minut).

Po dveh mesecih vadbe so vse štiri skupine povabili na ponovno laboratorijsko testiranje. Ugotovili so, da sta le skupini štiri in nepričakovano tudi skupina tri značilno izboljšali maksimalno porabo kisika za 7,2 % (skupina 4) oz. za 5,5 % (skupina 3), medtem ko skupini 1 in 2 v tem času nista napredovali v tem kazalcu vzdržljivosti. V omenjenih skupinah je prišlo tudi do značilnega povečanja maksimalnega utripnega volumna (slika 4).

V vseh skupinah je prišlo do izboljšanja gospodarnosti in hitrosti teka na laktatnem pragu. Ugotovimo torej lahko, da so vsi štirje vadbeni režimi pozitivno vplivali na določene kazalce vzdržljivosti. Največji napredek v VO_{2max} sta doživeli skupini 4 in 3. To je pomembna ugotovitev, saj maksimalna poraba kisika (VO_{2max}) še vedno velja za najpomembnejšo deter-

minanto vzdržljivostnega nastopa med heterogeno skupino tekačev (Midgley, 2006) in kolesarjev (Faria, 2005), obenem pa velja za prvi pogoj uspešnosti na vrhunski ravni (Faria, 2005). Tako sta najbolj »optimalna« vadbena protokola tista, ki sta bila uporabljena pri četrti in tretji skupini in sta zajemala najintenzivnejše vadbene vsebine. Do podobnih ugotovitev so pozneje prišli tudi drugi raziskovalci (Gormley, 2008). Povečanje maksimalnega utripnega volumna srca (za 7,9 % oz. s 130,7 na 141 ml) in maksimalnega minutnega volumna srca (za 8,2 % oz. s 22 na 23,8 L/min) ob povečanju VO_{2max} (za 11,1 %) po 24. tedenski vadbeni intervenciji na rekreativnih tekačih v zrelih letih so nedavno potrdili tudi slovenski raziskovalci (Škof, Milič, 2009).

Z uporabo izjemno intenzivnega vzdržljivostnega treninga, ki se je izvajal šestkrat na teden deset tednov zapored, je bil dokazan eden največjih napredkov v VO_{2max} kot posledica vadbe, saj je povprečni napredek skupine v desetih tednih linearno naraščal iz tedna v teden in na koncu vadbe dosegel neverjetnih 44 % (Hickson, 1977). Druge študije so potrdile, da na učinek vadbe ne vpliva le vadbeno obremenitev (trening), temveč tudi trenutna kondicijska pripravljenost posameznika. Tako so ugotovili, da je intenzivnost treninga, ki že dosega vadbeni učinek, to je, da učinkovito povečuje VO_{2max} , drugačna, če smo bolj ali manj trenirani. Tako so dokazali, da netrenirani (običajno tudi pretežki) posamezniki lahko napredujejo v VO_{2max} že, če kontinuirano (3-krat na teden in več) vadijo pri intenzivnosti 40–50 % VO_{2max} (≈ 60 % FSU_{max}) (Midgley, 2006). Nasprotno pa lahko vrhunsko trenirani športniki napre-

dek v VO_{2max} pričakujejo le, če pri treningu dosegajo veliko višje intenzivnosti vadbe, to je 95–100 % VO_{2max} (Midgley, 2006). Vzroki, zakaj je tako, niso jasni.

V primeru manj treniranih posameznikov se zdi povečevanje vadbene obremenitve treninga nujno. Govorimo o načelu rastoče obremenitve (Ušaj, 1996). Čeprav dinamika sprememb v pomembnih kazalcih kondicijske pripravljenosti, npr. VO_{2max} , kot posledica vadbene intervencije v daljšem časovnem obdobju, (še) ni dobro raziskana, pa so leta 2009 raziskovalci poročali o tem (Scharghag-Rosenberger, 2009), da so poprej neaktivne zdrave posameznike (7 moških in 11 žensk, povprečna starost 42 let, izhodiščni $VO_{2max} = 2,77$ l/min oz. 37,7 ml/min/kg), ki so začeli redno teči trikrat na teden po 45 minut pri intenzivnosti 60 % FSU_{max} , vsake 3 mesece izpostavili obremenitvenemu testiranju na tekoči preprogi. Vsake 3 mesece so izmerili njihovo trenutno kondicijsko pripravljenost, s primerjavo dobljenih podatkov pa so ugotovili dinamiko sprememb po enem letu vadbe. Posamezniki so v enem letu identičnega vzdržljivostnega treninga VO_{2max} povečali povprečno za 16 % (z 2,77 na 3,13 l/min), podrobnejša analiza vmesnih vrednosti VO_{2max} pa je pokazala, da po šestih mesecih redne identične vzdržljivostne tekaške vadbe pri teh posameznikih ni več prišlo do bistvenih izboljšanj VO_{2max} , zato raziskovalci svetujejo, da bi rekreativni tekači po šestih mesecih povečali vadbene dražljaj, če želijo še naprej dosegati napredek v kondicijski pripravljenosti, in tako potrdili načelo rastoče obremenitve.

Raziskovalci so ugotovili tudi velike individualne razlike v odzivu na povsem identičen vzdržljivostni trening, kar je v skladu z ugotovitvami drugih raziskovalcev, pridobljenih na velikih vzorcih (Bouchard, 1999). Glavni vzrok teh razlik so pripisali genetskim značilnostim posameznika, torej dednosti (Bouchard, 1999). Trenutna znanstveno utemeljena priporočila za športno vadbo torej so, da naj bi športnik, tudi rekreativni, v bazičnem obdobju treninga dosegal intenzivnosti znotraj območja 65 do 70 % VO_{2max} , nato pa naj bi sledil visoko intenzivni trening pri intenzivnosti okoli 85 % VO_{2max} . Le v primeru izredno dobro treniranega posameznika (!) naj bi temu obdobju sledilo kratko obdobje še intenzivnejših treningov (Midgley, 2006).

Do natančnejših ugotovitev, pa je pripeljal natančno zasnovan trening eksperiment na enako treniranih tekačih (izhodiščni $VO_{2max} \sim 70$ ml/kg/min, neznatna razlika v športnem rezultatu v krosu na 10,4 km), ki je pokazal, da je po petih mesecih vzdržljivostne vadbe v športnem nastopu bolj napredovala skupina, ki je opravila večjo količino nizko intenzivne vadbe (80,5 % vadbene časa pod ventilacijskim pragom (pod ~ 67 % VO_{2max})) v primerjavi z drugo skupino (66,8 % vadbene časa pod ventilacijskim pragom), ob tem da se skupini nista razlikovali v skupnem ali tedenskem treningu impulzu (TRIMP) ter sta v zadnjih treh tednih opravili identičen visoko intenziven vadbene protokol (Esteve-Lanao, 2007).

A tu se pojavijo težave. Ni namreč mogoče enako dolgo vztrajati pri različnih intenzivnostih. Ali drugače, vztrajati 40 minut pri 75 % FSU_{max} ni enako, kot vztrajati 40 minut pri 95 % FSU_{max} . Očitno je torej, da ko vadimo na višji intenzivnosti, lahko tam vztrajamo krajši čas. Je torej boljše vaditi na višji intenzivnosti krajši čas ali na nižji intenzivnosti daljši čas? Ali kot sta se vprašala že Astrand in Rodahl: »Pomembno, a nerešeno vprašanje je, kateri trening je najučinkovitejši: ohranjanje intenzivnosti pri 90 % VO_{2max} štiri-deset minut ali pri 100 % VO_{2max} šestnajst minut.« (Billat, 2001) Dr. Veronique Billat leta 2001 k temu dopiše: »Danes je to še vedno odprto vprašanje.« (Billat, 2001)

■ Učinkovitost vadbениh metod pri treniranih kolesarjih

Čeprav zdaj že vemo, da največje napredke v VO_{2max} izzove kronično izvajanje visoko intenzivnega vzdržljivostnega treninga, pa še ne vemo, kateri so optimalni protokoli za bolj trenirane posameznike. Še posebej zato, ker "optimalni" načini treninga s stališča VO_{2max} po mnenju nekaterih raziskovalcev morda niso nujno optimalni tudi s stališča napredka v drugih spremenljivkah vzdržljivostnega nastopa (Midgley, 2007). Tej domnevi nasprotujejo nove ugotovitve vadbениh intervencij na tekmovalnih kolesarjih, kjer je bilo dokazano, da visoko intenzivni trening že v šestih tednih izboljša gospodarnost kolesarjenja, medtem ko ga nizko intenzivni, količinsko obsežen

trening v enakem časovnem obdobju ne (Hopker, 2010).

Raziskovalci so problem merjenja učinkovitosti vadbene intervencije rešili tako, da so poleg meritev VO_{2max} in drugih spremenljivk vzdržljivostnega nastopa začeli izvajati tudi meritve izboljšanja športnega nastopa, kar je končni cilj vsake vadbe. Ker je bilo potrjeno, da dosega dnevna variabilnost doseženega rezultata na 40-kilometrskem kronometru, peljanem na valjih, pri dobro treniranih kolesarjih vrednost 1 % (Palmer, 1996), lahko vsak napredek, večji od 1 %, pripišemo izboljšani vzdržljivostni sposobnosti športnika. Podobno velja za kratek 20-kilometrski kronometer, kjer so pri treniranih kolesarjih s tremi ponovitvami kronometra v različnih dneh ugotovili, da se doseženi rezultat spreminja v območju 1,2 % (Zavorsky, 2007). Pri manj treniranih kolesarjih je bila spremenljivost rezultatov višja (4,8 %), kar kaže na to, da manj trenirani kolesarji dosegajo večjo dnevno spremenljivost tekmovalnega rezultata v tej športni disciplini, kar je treba upoštevati pri interpretaciji njihovega napredka v tekmovalnem rezultatu.

Ugotovili so tudi, da se spremenljivost rezultata pri manj treniranih kolesarjih z več ponovitvami testa zmanjšuje (Zavorsky, 2007), zato je poprejšnja seznanitev s postopkom testa nujna. Omenjene vrednosti veljajo le za kronometer, ki se pelje na valjih. Zanesljivost rezultatov kronometra, peljanih zunaj (na tekmi), je nižja, saj na rezultat značilno vplivajo številni slabo nadzorovani dejavniki, od aerodinamike kolesarja in kolesa, uporabljene kolesarske opreme do vremena. Z merjenjem napredka v rezultatu kronometra v določenem časovnem obdobju tako lahko uspešno preverjamo učinkovitost vadbe. Leta 1996 raziskovalci dokažejo, da visoko intenzivni intervalni trening, sestavljen iz 6 do 8 ponovitev, ki trajajo pet minut pri intenzivnosti 80 % P_{max} (kar predstavlja obremenitev ≈ 93 % FSU_{max}), ob aktivnih enominutnih odmorih, ki se ga izvaja dvakrat na teden tri tedne zapored, izzove močno izboljšanje tekmovalnega rezultata v 40-kilometrskem kronometru pri dobro treniranih kolesarjih, in sicer za 3,5 % (Lindsay, 1996). Ugotovitve te študije potrdijo leta 2009, ko izvedba osmih ponovitev štiriminutnih intervalov pri intenzivnosti 80 % P_{max} z 90-sekundnimi odmori dvakrat na teden, v dolžini štirih tednov zapored pri treniranih kolesarjih izzove povprečni napredek v rezultatu

Skupina	Št. ponovitev	Čas ponovitve (min)	Intenzivnost ponovitve (% P _{max})	Čas odmora (min)	% izboljšanja rezultata
1	12	0,5	175	4,5	2,4
2	12	1	100	4,0	/
3	12	2	90	3,0	/
4	8	4	85	1,5	2,8
5	4	8	80	1,0	/

40 km kronometra v višini 2,1–2,3 % ter povečanje največje kolesarske moči za 3,5–5 % (Swart, 2009).

Da bi raziskovalci preverili vpliv različnih intenzivnosti treninga na izboljšanje športnega nastopa, primerljivo trenirane kolesarje naključno razdelijo v pet skupin, ob tem da vsaka vadi pri različni intenzivnosti. Ker pri visokih intenzivnostih ni mogoče vztrajati enako dolgo kot pri nižjih, raziskovalci vadbe niso uspeli standardizirati po določenem zunanjem kriteriju. Zato so bile vadbe po posvetu s trenerji, kolesarji in raziskovalci zastavljene tako, da bi se jih dalo izvajati v športni praksi. Nato so dvakrat na teden, tri tedne zapored, ob običajnem nizko intenzivnem treningu izvajali predpisani intervalni trening. Pred in po tej vadbi so kolesarji izvedli 40-kilometrski kronometer na valjih, s katerim so preverjali uspešnost vadbe. Izvedli so tele tipe treningov in dosegli naslednji napredek v športnem rezultatu (Stepito, 1999):

Ta študija je dokazala, da vse vadbe niso povzročile napredka v tekmovalnem rezultatu in da ima največji učinek na skrajšanje nastopa v kronometru intervalna metoda, ki uporablja ponovitve dolžine štirih minut pri intenzivnosti 85 % največje moči (P_{max}), kar pomeni intenzivnost okoli ≈ 95 % FSU_{max} in je blizu tekmovalni intenzivnosti 40-kilometerskega kronometra, kar po mnenju raziskovalcev ustreza načelu specifičnosti vadbene obremenitve. Zanimivo pa napredek izzove tudi izjemno intenzivna – šprinterska – vadbena metoda, katere učinkovitost pozneje potrdijo tudi drugi raziskovalci (Burgomaster, 2005).

Z dodatnimi analizami ocenijo, da je optimalna dolžina intervalne ponovitve pri omenjeni intenzivnosti od 3 do 6 minut (Stepito, 1999). Pozneje, predvsem na osnovi raziskovalnega dela francoske raziskovalke dr. Veronique Billat, narejenega na vrhunskih tekačih, postane jasno, da je mogoče z individualizacijo intervalne obremenitve dosegati še večje vadbene

učinke (Billat, 2001). Raziskave tako pokažejo, da je smotno uporabiti protokol, ki bi upošteval posameznikov čas do utrujenosti pri kolesarjenju pri intenzivnosti, ki izzove posameznikov VO_{2max}. Moč, ki že izzove maksimalno porabo kisika, vendar je nekoliko nižja od največje moči (P_{max}), so poimenovali P_{VO2max}, čas, ki ga je kolesar sposoben preživeti na P_{VO2max}, pa T_{max}. Ugotovili so, da je optimalni čas ponovitve dolg 60 % T_{max} pri intenzivnosti P_{VO2max} (Laursen, 2002b), vmesni odmor pa traja toliko časa, da kolesarju frekvenca srčnega utripa pade na 65 % FSU_{max} (Laursen, 2002a). Ne traja dolgo, ko omenjeno metodo treninga preizkusijo na primerljivo treniranih kolesarjih (25 let, VO_{2max} = 64,5 ml/min/kg, 285 km/teden, 6 let vzd. treninga) kot prej omenjene študije. Leta 2002 tako poročajo o največjem skrajšanju časa 40-kilometerskega kronometra v povprečju za 5,1 do 5,8 % po štirih tednih težke intervalne vadbe, ki so jo izvajali dvakrat na teden ob običajnem nizko intenzivnem vzdržljivostnem treningu (Laursen, 2002a). Učinkovitost takšnega treninga pri enako dobro treniranih kolesarjih so ponovno potrdile tudi novejša raziskave (Laursen, 2005). Dokazale so, da ta, izredno zahtevni protokol intervalne vadbe tudi pri mladih (21 let) netreniranih študentih (VO_{2max} = 50,6 ml/min/kg) prinaša velik napredek v vzdržljivosti (Chtara, 2005). Če je torej visoko intenzivni trening tako učinkovit, zakaj ga ne bi izvajali kar največ? Na to vprašanje skuša dr. Billatova odgovoriti z raziskavo, narejeno na skupini dobro treniranih mladih tekačev (24 let, izhodiščni VO_{2max} = 71 ml/min/kg), ki so običajno tekli 6-krat na teden in ob tem pretekli 85–90 km/teden. V štirih tednih visoko intenzivnega treninga so razvili sindrome pretreniranja, če so namesto enega izredno zahtevnega intervalnega treninga na teden izvedli tri (Billat, 1999). Dodaten zadržek pa prinašajo še najnovejša dognanja na področju raziskovanja stanja pretreniranosti, ki nakazujejo, da ima oksidativni stres pomembno vlogo v patofiziologiji pretreniranosti. Ugotovljeno je bilo namreč, da

imajo pretrenirani športniki zmanjšano antioksidativno zaščito na oksidativni stres, ki ga izzove športna vadba (Tanska-nen, 2010).

Kolikokrat na teden torej izvajati težak vzdržljivostni trening? Odgovora na to vprašanje še nimamo, saj je odvisen vsaj od ravni treniranosti posameznika in od uporabljene vadbene obremenitve, še posebej pa od njene intenzivnosti. Intervencijske študije kažejo, da je intenzivna vadba, ki se izvaja dva- do trikrat na teden in nekaj tednov zapored, učinkovit vadbeni dražljaj s stališča VO_{2max} in športnega nastopa tudi pri dobro treniranih kolesarjih.

Literatura

- Amann, M., Eldridge, M. W., Lovering, A. T. in sod. Arterial oxygenation influences central motor output and exercise performance via effects on peripheral locomotor muscle fatigue in humans. *J Physiol* 2006, 575.3, 937–952.
- Anton, M. M., Izquierdo, M., Ibanez, J. in sod (2007). Flat and uphill climb time trial performance prediction in elite amateur cyclists. *Int J Sports Med*, 28, 306–313.
- Arrese AL, Ostariz ES, Casajus Mallen JA in sod (2005). The changes in running performance and maximal oxygen uptake after long-term training in elite athletes. *J Sports Med Phys Fitness*; 45: 435-440.
- Baggish, A. L., Wang, F., Weiner, R. B. in sod. (2008). Training – specific changes in cardiac structure and function: a prospective and longitudinal assessment of competitive athletes. *J Appl Physiol*, 104, 1121–1128.
- Bassett, D. R., Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 70–84.
- Billat, V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice – special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: Aerobic interval training. *Sport Med*, 31(1), 13–31.
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B. in sod (1999). Interval training at VO_{2max}: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc*, 31(1), 156–163.
- Biolo, A., Greferathm, R., Siwik, D. A. in sod. (2009). Enhanced exercise capacity in mice with severe heart failure treated with an allosteric effector of hemoglobin, myo-inositol trispyrophosphate. *Proc Natl Acad Sci USA*, 106(6), 1926–9.
- Bouchard, C., An, P., Rice, T. in sod. (1999). Familial aggregation of VO_{2max} response to exercise training: results from the GERITAGE family study. *J Appl Physiol*, 87(3), 1003–8.

10. Bray, M. S., Hagberg, J. M., Perusse, L. in sod. (2009). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006–2007 update. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 34–72.
11. Brooks, G. A., Fahey, T. D., White, T. P. (1996). *Exercise Physiology*, second edition. Mayfield Publishing Company.
12. Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J. in sod. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol*, 98(6), 1985–90.
13. Cheng, T. O. (2005). What makes Lance Armstrong tick? He has a big ticker. *Am J Cardiol*, 96(11), 1613–4.
14. Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M. (2005). Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br J Sports Med*, 39(8), 555–60.
15. Coyle, E. F. (2005). Improved muscular efficiency displayed as tour de france champion matures. *J Appl Physiol*, 98(6), 2191–6.
16. Currell, K., Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Br J Sports Med*, 38(4), 297–316.
17. Earnest, C. P., Foster, C., Hoyos, J. in sod. (2009). Time trial exertion traits of cycling's grand tours. *Int J Sports Med*, 30, 240–244.
18. Esteve-Lanao J, Foster C, Seiler S in sod (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *S Strength Cond Res*; 21(3): 943-949.
19. Ekblom, B. (1969). Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiol Scand Suppl*, 328, 1–45.
20. Ekblom, B., Golbarg, A. N., Gullbring, B. (1972). Response to exercise after blood loss and re-infusion. *J Appl Physiol*, 33, 175–180.
21. Faria, E. W., Parker, D. L., Faria, I. E. (2005). The science of cycling – physiology and training – part 1. *Sports Med*, 35(4), 285–312.
22. Foad, A. J., Beedie, C. J., Coleman, D. A. (2008). Pharmacological and psychological effects of caffeine ingestion in 40-km cycling performance. *Med Sci Sports Exerc*, 40(1), 158–165.
23. Garvican, L. A., Martin, D. T., McDonald, W. in sod (2010). Seasonal variation of hemoglobin mass in internationally competitive female road cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 109(2), 221–31.
24. Gormley, S. E., Swain, D. P., High, R. in sod. (2008). Effect of intensity of aerobic training on VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*, 40(7), 1336–43.
25. Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E. in sod. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*, 9(4), 665–671.
26. Hickson, R. C., Bomze, H. A., Holloszy, J. O. (1977). Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *J Appl Physiol*, 42(3), 372–376.
27. Hickson, R. C., Foster, C., Pollock, M. L. in sod. (1985). Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. *J Appl Physiol*, 58(2), 492–499.
28. Hopker, J., Coleman, D., Passfield, L. in sod. (2010). The effect of training volume and intensity on competitive cyclists efficiency. *Appl Physiol Nutr Metab*, 35(1), 17–22.
29. Imagawa, S., Matsumoto, K., Horie, M. in sod. Does K – 11706 enhance performance and why? *Int J Sports Med* 2007, 28, 928–933.
30. Joyner, M. J. (2003). VO₂max, blood doping, and erythropoietin. *Br J Sports Med*, 37, 190–191.
31. Kuchynka, P., Palecek, T., Vilikus, Z. in sod. (2010). Cardiac structural and functional changes in competitive amateur cyclists. *Echocardiography*, 27(1), 11–6.
32. Laursen, P. B., Jenkins, D. G. (2002b). The scientific basis for high-intensity interval training – optimizing training programmes and maximizing performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med* 2002, 32(1), 53–73.
33. Laursen, P. B., Shing, C. M., Jenkins, D. G. (2003). Reproducibility of a laboratory-based 40-km cycle time trial on a stationary wind-trainer in highly trained cyclists. *Int J Sports Med*, 24, 481–485.
34. Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M. in sod. (2002a). Interval training optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, 34(11), 1801–1807.
35. Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M. in sod. (2005). Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res*, 19(3), 527–33.
36. Lindsay, F. H., Hawley, J. A., Myburgh, K. H. in sod. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc*, 28(11), 1427–1434.
37. Lippi, G. (2007). The international cycling union unveils new anti – doping program. How much is enough? *Int J Sports Med*, 28, 446–447.
38. Lippi, G., Franchini, M., Banfi, G. (2010). Red blood cell-mimicking synthetic biomaterial particles: the new frontier of blood doping? *Int J Sports Med*, 31, 75–76.
39. Martino, M., Gledhill, N., Jamnik, V. (2002). High VO₂max with no history of training is primarily due to high blood volume. *Med Sci Sports Exerc*, 34 (6), 966–971.
40. Mauger, A. R., Jones, A. M., Williams, C. A. (2010). Influence of acetaminophen on performance during time trial cycling. *J Appl Physiol*, 108, 98–104.
41. Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance – can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med*, 37(10), 857–880.
42. 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* 2006, 36 (2), 117–132.
43. Mørkeberg, J. S., Belhage, B., Damsgaard, R. (2009). Changes in blood values in elite cyclist. *Int J Sports Med*, 30(2), 130–8.
44. Palma, A., Costa Filho, P. N. (2009). The complexity of research on endurance training. *Int J Sports Med*, 30, 628.
45. Palmer, G. S., Dennis, S. C., Noakes, T. D. in sod. (1996). Assessment of the reproducibility of performance testing on an air-braked cycle ergometer. *Int J Sports Med*, 17, 293–298.
46. Perneger, T. V. (2010). Speed trends of major cycling races: does slower mean cleaner? *Int J Sports Med*, 31(4), 261–4.
47. Point Counterpoint: Maximal oxygen uptake is/is not limited by a central nervous system governor. *J Appl Physiol* 2009, 106, 338–342.
48. Rusko, H. K. (1992). Development of aerobic power in relation to age and training in cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, 24(9), 1040–1047.
49. Santalla, A., Naranjo, J., Terrados, N. (2009). Muscle efficiency improves over time in world-class cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, 41(5), 1096–101.
50. Scharhag-Rosenberger F, Meyer T, Gäbler N in sod (2010). Exercise at given percentages of VO₂max: Heterogeneous metabolic responses between individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*; 13: 74-79.
51. Scharhag - Rosenberger, F., Meyer, T., Walitzek, S. in sod. (2009). Time course of changes in endurance capacity: a 1-yr training study. *Med Sci Sports Exerc*, 41(5), 1130–1137.
52. Schumacher, Y. O., Mroz, R., Mueller, P. in sod. (2006). Success in elite cycling: A prospective and retrospective analysis of race results. *Journal of Sports Sciences*, 24(11), 1149–1156.
53. Sgherza, A. L., Axen, K., Fain, R. in sod. (2002). Effect of naloxone on perceived exertion and exercise capacity during maximal cycle ergometry. *J Appl Physiol*, 93, 2023–2028.
54. Steding, K. in sod. (2010). Relation between cardiac dimensions and peak oxygen uptake. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 12(8).
55. Stepto, N. G., Hawley, J. A., Dennis, S. in sod. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc*, 31(5), 736–741.
56. Swart, J., Lamberts, R. P., Derman, W. in sod. (2009). Effects of high-intensity training by heart rate or power in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res*, 23(2), 619–625.
57. Škof B, Milič R (2009). Vpliv šestmesečnega tekaškega programa na vzdržljivost in para-

- metre aerobne sposobnosti odraslih moških. Šport; 3-4: 83-87.
58. Tanskanen M, Atalay M, Uusitalo A (2010). Altered oxidative stress in overtrained athletes. *Journal of Sports Sciences*; 28(3): 309-317.
59. Thomson, J. J., Rentsch, R. L., Robach, P. in sod. (2007). Prolonged administration of recombinant human erythropoietin increases submaximal performance more than maximal aerobic capacity. *Eur J Appl Physiol*, 101, 481–486.
60. Tucker, R., Kayser, B., Rae, E. in sod. (2007). Hyperoxia improves 20 km cycling time trial performance by increasing muscle activation levels while perceived exertion stays the same. *Eur J Appl Physiol*, 101, 771–781.
61. Ušaj, A. (1996). *Kratek pregled osnov športnega treniranja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
62. Volvaard, N. B. J., Constantin - Teodosiu, D., Fredriksson, K. in sod. (2009). Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *J Appl Physiol*, 106, 1479–1486.
63. Wang, P., Fedoruk, M. N., Rupert, J. L. (2008). Keeping pace with ACE: are ace inhibitors and angiotensin II type 1 receptor antagonists potential doping agents? *Sports Med*, 38(12), 1065–79.
64. Westgarth - Taylor, C., Hawley, J. A., Rickard, S. in sod. (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 75, 298–304.
65. Zapico, A. G., Calderon, F. J., Benito, P. J. (2007). Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness*, 47, 191–6.
66. Zavorsky, G. S., Murias, J. M., Gow, J. in sod. (2007). Laboratory 20-km cycle time trial reproducibility. *Int J Sports Med*, 28, 743–748.
67. Žiberna, L., Žiberna, K., Štrukelj, B., Mlinarič - Raščan, I. (2007). Možnosti uporabe genskega dopinga in problemi njegove detekcije. *Farmaceutski vestnik*, 58, 139–144.