



Simon Iskra,
Žan Granov

Nov model filtriranja podatkov kolesarskega treninga za spremljanje pretreniranosti

A new model for filtering training data in cycling for monitoring overtraining - a pilot study

Izvleček

V pilotni raziskavi je bil analiziran nov model za spremljanje pretreniranosti na podlagi spremljanja podatkov frekvence srčnega utripa in hitrosti vožnje navkreber pri dolgotrajnem vzdržljivostnem treningu kolesarjenja v realnem okolju. Z uporabo preverjenega matematičnega modela in obremenitvenih testiranj je bilo izvedeno filtriranje podatkov za zagotavljanje manjšega vpliva zunanjih dejavnikov na opazovane vrednosti. Rezultate smo primerjali z uveljavljenimi metodami spremljanja pretreniranosti. Ugotovljena je bila zmerna negativna korelacija med hitrostjo in intenzivnostjo ($r = ,522$, $p < ,005$). Podatki so bili z matematičnim modelom filtrirani na vožnjo navkreber in po ravnini. Ugotovljena je bila značilna razlika v povprečnem srčnem utripu na klanec med prvim ($M = 139,17$; $SD = 13,54$) in zadnjim treningom ($M = 134,23$; $SD = 11,4$) v preobremenitvenem mikrociklu ($t(21791) = 31,78$; $p < ,005$). Ugotovljena je bila tudi povezanost padca srčnega utripa med treningom in parametri krvne slike. Predlagani model kaže na zniževanje frekvence srčnega utripa z utrujenostjo, vendar bi bilo smiselno preveriti na bolj reprezentativnih vzorcih. Zniževanje srčne frekvence med vadbo v obdobju povečanega obsega treninga bi lahko uporabili skupaj z drugimi merami obremenitve za bolj natančno spremljanje in prilagajanje treninga med obdobji povečane trenajne obremenitve.

Glavne besede: kolesarstvo, spremljanje pretreniranosti, pretreniranost, srčni utrip, matematični model

Abstract

A new model for monitoring overtraining was analyzed based on monitoring heart rate data during uphill cycling in long-term endurance training in a real environment. Data filtering using a mathematical model was used to minimize the influence of external factors on observed values. The results were compared with established methods for monitoring overtraining. There was an observed moderate negative correlation between cycling velocity and intensity ($r = ,522$, $p < ,005$). Training data was filtered to extrapolate heart rate values during uphill and level ground cycling. A significant difference in average heart rate during uphill cycling between first ($M = 139,17$; $SD = 13,54$) and last training ($M = 134,23$; $SD = 11,4$) in overreached microcycle ($t(21791) = 31,78$; $p < ,005$) was observed. An association between heart rate drop during training and blood count parameters was also observed. The proposed model indicates a decrease in heart rate with fatigue, but to confirm this we need more representative samples. Filtered average heart rate values from training data could be used in conjunction with other load measures for more precise monitoring of fatigue and training volume adjustment during periods of increased training load.

Key words: Cycling, overtraining, load management, heart rate, mathematical model

Uvod

V kolesarstvu je spremljanje podatkov treninga zelo razširjeno tako med profesionalnimi kot rekreativnimi športniki. Športna družbeno omrežja, kot je *Strava*, so v zadnjih letih omogočila preprosto spremljanje podatkov s treninga in njihovo analizo za namene strukturiranja treninga. Spletna stran *Strava* je imela do leta 2020 skupno že več kot 50 milijonov uporabnikov, ki so naložili več kot

tri milijarde datotek (Strava, 2020). Podatki treningov se uporabljajo za spremljanje napredka, obremenitve in načrtovanje treningov. S primerno analizo teh podatkov bi lahko na preprost in dostopen način spremljali pretreniranost tako pri vrhunskih kot tudi rekreativnih športnikih.

V zadnjem času se v okviru takšnih aplikacij uporablja več različnih modelov za napoved športne forme in pretreniranosti na podlagi



podatkov o trenažni obremenitvi (Fister, Ljubič, Suganthan, Perc in Fister, 2015). Spremljanje takšnih parametrov je danes dobro uveljavljeno (Stagno, Thatcher in van Someren, 2007). Za ugotavljanje trenažne obremenitve se pogosto uporablja Training Stress Score (TSS), ki ga je razvil Coggan (2003). Temelji na meritvah merilca moči in se uporablja kot mera zunanje obremenitve. Merilci moči so trenutno razmeroma dragi v primerjavi z merilniki srčnega utripa, zato so tudi manj razširjeni, hkrati pa ne dajo podatkov o fiziološkem odzivu na zunanjo obremenitev. S tega vidika so mere obremenitve, ki temeljijo na srčnem utripu, bolj primerne za spremljanje pretreniranosti pri kolesarjih. Najpogostejše se za spremljanje obremenitve uporablja TRIMP, kjer se z uporabo povprečnega srčnega utripa, spola in trajanja treninga pridobi vrednost, ki predstavlja obremenitev treninga (Banister, 1991). Največja omejitev te metode je uporaba srednjih vrednosti za izračun obremenitve treninga, saj povprečen srčni utrip na treningu ne odseva nujno dejanskih zahtev treninga ali tekmovanja (Sanders, 2018). Zaradi tega so razvili tudi druge modifikacije originalnega TRIMP, ki za izračun obremenitve uporabljajo čas, preživet v različnih območjih srčnega utripa, utežen z različnimi arbitrarno določenimi faktorji (Edwards, 1993 in Lucia, 2003). Te mere so lahko uporabne za napovedovanje športne forme in pretreniranosti. Pri napovedovanju pretreniranosti se postavi vprašanje, ali so te mere dovolj zanesljive, saj je tak model močno občutljiv za hipno povečanje obremenitve, ki jo športniki večkrat izvajajo v okviru priprave na tekme, hkrati pa lahko nižja intenzivnost in moč pri športniku v fazi preobremenitvenega mikrocikla pokažeta nižjo skupno obremenitev v primerjavi z realno fiziološko obremenitvijo (Sanders, 2018). Tako lahko model kaže pretreniranost, ko športniki vstopijo v fazo povečanega treninga, ne glede na to, da so lahko ti v tej fazi spočiti ali pa ne. Za spremljanje zgodnje faze pretreniranosti je merjenje srčnega utripa lahko bolj primerno, poleg tega pa tudi finančno

bolj dostopno v primerjavi z merjenjem moči (Jeukendrup in van Diemen, 1998).

Uporaba mer srčnega utripa za napovedovanje pretreniranosti je dobro raziskana. Za uporabo napovedi nefunkcionalne pretreniranosti lahko uporabimo tudi submaksimalni srčni utrip med vadbo, saj je ta znižan po dolgotrajnih povečanih obremenitvah, ne pa tudi kratkotrajnih povečanih obremenitvah. Lehman, Foster in Keul (1993) so postavili hipotezo, da se takšen padec srčnega utripa zgodi zaradi zmanjšane občutljivosti za kateholamine. V pregledu raziskav, ki so preučevale uporabnost mer srčnega utripa za napoved pretreniranosti, je bil ugotovljen majhen padec srčnega utripa ($SMD = -0,38$, $p = 0,006$) pri intervencijah, ki so trajale več kot dva tedna (Bosquet in Aubert, 2008). Submaksimalni srčni utrip med vadbo je lahko uporaben za napovedovanje dolgotrajne pretreniranosti, s primernim filtriranjem podatkov pa bi lahko zmanjšali variabilnost podatkov in tako lažje videli potencialne spremembe v submaksimalnem srčnem utripu.

Pretreniranosti se pogosteje pojavi pri vzdržljivostnih športih, ki terjajo velik obseg in višjo intenzivnost vadbe skozi daljše obdobje. To so npr. športi plavanja, kolesarjenja, maratoni in triatloni. Predvideva se, da približno 65 % tekačev na dolge razdalje v svoji športni karieri občuti simptome pretreniranosti (Bell & Ingle, 2013).

Poznamo dve kategoriji pretreniranosti: kratkotrajna in dolgotrajna. Pri kratkotrajni pretreniranosti je mogoče zaznati povečano aktivnost novih motoričnih enot (večja amplituda EMG-signalov). Potreba po kisiku za enako submaksimalno obremenitev se poveča, kar je opaziti pri porabi kisika, frekvenci srca in minutnemu volumnu izdihanega zraka. Športnik, ki je kratkotrajno pretreniran, občuti enako obremenitev kot večji napor (Ušaj, 2003). Za dolgotrajno pretreniranost pa je značilno porušeno ravnoesje v delovanju hormonskih žlez in vegetativnega živčnega sistema, ki lahko traja več mesecev kljub precejšnjemu zmanjšanju količine in intenzivnosti vadbe (Ušaj, 2003).

Kadar športniki in trenerji ne upoštevajo razmerja med obremenitvijo in odmorom, je zelo velika verjetnost za pojav pretreniranosti. Pretreniranost se razvija skozi različne faze utrujenosti in s pravilnim načrtovanjem počitkom lahko simptome pretreniranosti popolnoma odpravimo. Dva najpogostejša pojavi v fazah pretreniranosti sta preseganje, ki je predzadnja stopnja pretreniranosti in praviloma z ustreznim počitkom izgine po tednu ali dveh, medtem ko se zadnja faza pretreniranosti imenuje sindrom pretreniranosti in izgine šele po 6–12 mesecih (Bell & Ingle, 2013).

Avtorja Bell in Ingle (2013) menita, da pojem preseganje sovпада s pojmom kratkotrajne pretreniranosti, za katero je značilno, da akumulacija trenažnih in netrenažnih stresorjev povzroči upad športnikove zmogljivosti za nekaj dni do tednov in z ustreznim počitkom izginejo. Pojem pretreniranosti, kot zadnja faza pretreniranosti, pa je definiran s pretirano akumulacijo trenažnih in netrenažnih stresorjev, ki dolgotrajno zmanjšajo športnikovo zmogljivost in simptomi izginejo šele po nekaj mesecih.

Simptomi preseganja in pretreniranosti so mnogovrstni ter odvisni od fiziološkega in psihološkega značaja športnika. Primarni indikator, ki nakazuje na preseganje oz. na pretreniranost, je upad športnikove zmogljivosti, povečanje občutka napa in znižanje maksimalne srčne frekvence. Ocenjuje se tudi, da so pretrenirani športniki mentalno utrujeni, imajo povišan bazalni metabolizem in znižano telesno težo ter porušeno delovanje nevroendokrinega

sistema (Bell & Ingle, 2013). V Tabeli 1 so opisani znaki in simptomi pretreniranosti.

Dolgotrajno pretreniranost običajno razdelimo na simpatično in parasimpatično pretreniranost, odvisno od odziva avtonomnega živčnega sistema. Nakazuje se, da v začetni fazi pretreniranosti, v fazi preseganja, prevladuje simpatični tip, medtem ko se parasimpatični tip pojavi šele po določenem obdobju pretreniranosti. Simpatični tip pretreniranosti se kaže s povečano razdražljivostjo športnika, nenadnim upadom telesne zmogljivosti in nenehno nemirnostjo. Pri parasimpatičnem tipu pretreniranosti, ki traja dlje časa, se pojavijo simptomi velike izčrpanosti, apatije, slabšega počutja in oslabiljenega imunskega in reproduktivnega sistema. Ta tip pretreniranosti je pogostejši pri vzdržljivostnih športih (Bell & Ingle, 2013).

Težava pri zaznavanju podatkov s srednjimi vrednostmi je, da je srčni utrip tudi med strukturiranim treningom variabilen ter odvisen od več zunanjih dejavnikov. Prav tako je hitrost tudi pri enakomerni obremenitvi močno odvisna od naklona terena, smeri in moči vetra, položaja na kolesu itd. Pri veliki količini podatkov z veliko različnimi parametri je priporočljivo, da podatke primerno filtriramo tako, da izberemo podatke, na katere najmanj vplivajo zunanji dejavniki (Prochazka idr., 2014). Charvatova, Prochazka, Vaseghi, Vyšata in Vališ (2016) so v raziskavi iskali povezave med fiziološkimi parametri in podatki GPS-satelitov med kolesarjenjem po realnem terenu. Pri 41 vožnjah po enakem, 11,48 km dolgem odseku ceste, večinoma navkreber, navajajo povezanost med srčnim utripom in naklonom ($r = 0,62$; $p < ,005$) in srčnim utripom ter hitrostjo ($r = -0,72$; $p < ,005$). Ugotovljeno je bilo, da se kolesarji na klanec v tej raziskavi vozijo pri višji intenzivnosti kot na ravnini. Klanec pa je za analizo primeren tudi zaradi manjše količine motečih vplivov. S primernim filtriranjem podatkov bi lahko učinkoviteje spremljali začetek pretreniranosti, saj bi tako izločili vpliv naključnih dejavnikov, kot so smer in moč vetra ter položaj na kolesu.

Matematični modeli za napoved moči pri kolesarjenju so v uporabi že več desetletij. Di Prampero (1979) je razvil model, s katerim je z uporabo različnih parametrov določil moč v realnem okolju. Pozneje so razvili dopolnjen matematičen model (Slika 1) z upoštevanjem naklona, koeficienta kotalnega upora, aerodinamičnega upora, smeri in hitrosti vetra, hitrosti in teže kolesarja ter učinkovitosti mehanskih delov, s katerim so z več kot 99-odstotno natančnostjo določili moč na določenem delu proge (Martin, Milliken, Cobb, McFadden in Coggan, 1998). Modele za moč so preverili tudi na teoretičnih variabilnih terenih (Atkinson, Peacock in Passfield, 2007), simulatorjih vožnje (Dahmen, Wolf in Saupe, 2012) in realnih terenih (Dahmen, Byshko, Saupe, Roeder in Mantler, 2011).

Z uporabo takšnega modela bi lahko v obratni smeri pri določeni obremenitvi za specifičnega kolesarja z veliko natančnostjo izračunali hitrost pri določenem naklonu terena. Tako bi lahko iz podatkov za hitrost pri enakomernem treningu posredno ugotovili, ali se je merjenec vozil navkreber, po ravnini ali v dolino. Dahmen, Wolf

in Saupe (2012) so simulirali naklon terena glede na dvig terena in razdaljo posameznih GPS-podatkov. Tako bi lahko s preprosto in finančno dostopno metodo filtrirali podatke ter izbrali le tiste, pri katerih se je merjenec vozil v okoliščinah, ki kar najbolj zmanjšajo vpliv zunanjih dejavnikov na hitrost. Problem takšnega načina izbire terena je v tem, da so podatki GPS iz komercialno dostopnih športnih računalnikov pogosto nenatančni in da se zato lahko pojavijo napake v izračunanem naklonu. Poleg tega je tak model občutljiv za veter ter pospeševanje in zaviranje, zato je za natančen izračun naklona potreben izpopolnjen pristop (Wolf in Saupe, 2017). Z uporabo podobne metode bi lahko tudi brez merilnika moči izolirali podatke na terenih z večjim naklonom.

Razmerje med hitrostjo in naklonom je skoraj linearno, saj z vsakim odstotkom naklona hitrost pri enaki obremenitvi (255 W, 71,9 kg) upade za 11 % (Martin, Milliken, Cobb, McFadden in Coggan, 1998). Hkrati se z večanjem naklona manjša tudi vpliv moči, potrebne za premagovanje aerodinamičnega upora in vetra. Pri naklonu 5 % se 80 % celotne moči uporabi za premagovanje naklona na terenu. Pri vožnji na klanec tako na hitrost kolesarja vpliva najmanj dejavnikov, saj je zaradi majhne hitrosti tudi kotalni upor manjši, zaradi majhnega deleža moči, potrebne za premagovanje aerodinamičnega upora, pa je tudi vloga vetra in položaja na kolesu manjša. Z grupiranjem podatkov bi lahko iz celotne zbirke podatkov izločili le tiste, ki predstavljajo vožnjo navkreber pri določenih pogojih, s tem bi pri nadaljnji analizi srčnega utripa in hitrosti izločili vpliv vetra ter položaja na kolesu. Tako bi bila možna analiza podatkov srčnega utripa, kjer bi analizirali le podatke pri vožnji navkreber ob določeni intenzivnosti. Tako bi lažje spremljali pretreniranost prek merjenja submaksimalnega srčnega utripa na dolgotrajnih treningih.

Metode

V raziskavi so bili uporabljeni treningi rekreativnega kolesarja (22 let, 70 kg, 179,5 cm, 72,1 VO_{2max}).

Za pridobitev podatkov je bil uporabljen kolesarski GPS-sprejemnik, model Polar M460 (Polar industries) in pas za merjenje srčnega utripa Polar H10 (Polar industries). Treningi so bili izvedeni na cestnem kolesu ($m = 7,8$ kg) v enaki opremlitvi. Podatki so bili pridobljeni s spletne strani Polar Flow (flow.polar.com) v obliki datoteke .csv in nato analizirani s programom Microsoft Excel (2020) in IBM SPSS Statistics (2020, 27.0). Merjenec je izvedel tudi test bazalnega metabolizma na Inštitutu za šport, Fakulteta za šport, z uporabo cikloergometra (Ergoline900-BP), merilnika porabe kisika in merilnika srčnega utripa.

Pridobljeni so bili treningi enega merjenja v 14-dnevnem mikrociklu normalnega treninga (NM) in 14-dnevne intervencije (PM) s 75 % zmanjšano energijsko razpoložljivostjo na račun povečane količine treninga. Pri normalnem mikrociklu je merjenec dobil navodilo, naj trenira tako, kot bi treniral po navadi. Pri PM je merjenec treniral glede na energijsko porabo, v 10 dneh pa je na dan treniral v povprečju štiri ure. Zaradi utrujenosti je merjenec PM končal po 10 dneh. Pred začetkom NM in pred začetkom intervencije ter takoj po intervenciji je merjenec izvedel stopničasti obremenitveni test z začetno obremenitvijo 100 W s povečevanjem obremenitve za 20 W vsako minuto do odpovedi, ki je bil uporabljen za določitev anaerobnega praga (AT). Anaerobni prag je bil določen kot prvi dvig privzema kisika v času. Po analizi obremenitvenega testa je bila analizirana intenzivnost opravljenih treningov, razmerje med obremenitvijo in srčnim utripom pa je bilo uporabljeno za pribli-

$$P_{NET} = P_{AT} + P_{RR} + P_{WB} + P_{FE} + P_{KE} =$$

$$P_{NET} = V_s V_G \frac{1}{2} \rho (C_D A + F_w) + V_G C_{RR} m_T g \cos[\tan^{-1}(G_R)] +$$

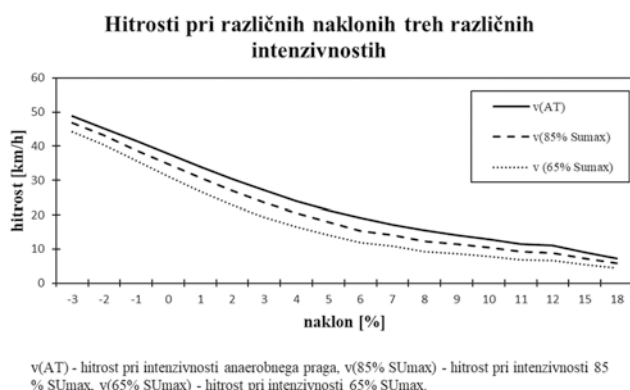
$$V_G (91 + 8.7 V_G) 10^{-1} + V_G m_T g \sin[\tan^{-1}(G_R)] +$$

$$\frac{1}{2} (m_T + I r^2) (V_{Gr}^2 - V_{Gr}^2) (t_1 - t_2)$$

Slika 1. Enačba za izračun skupne moči pri določenih pogojih (Martin, Milliken, Cobb, McFadden in Coggan, 1998)

žek obremenitve v matematičnem modelu. Merjenec je večino treninga (> 97 %) izvedel pod intenzivnostjo AT. Pred intervencijo in po njej je merjenec izvedel test bazalnega metabolizma, ki je bil uporabljen za referenčne vrednosti jutranjega srčnega utripa pred intervencijo in po končani intervenciji. Merjenec se je 12 ur pred testom moral vzdržati intenzivnega treninga, hrane, sladke pijače, kave in alkohola. Test je bil izveden pred 7. uro zjutraj. Pridobljenih je bilo šest kolesarskih treningov v NM in osem kolesarskih treningov v PM. V raziskavo so bili vključeni treningi, pri katerih je bilo vsaj 97 % treninga opravljenega pod intenzivnostjo AT. Na podlagi teh kriterijev je bilo za analizo izbranih pet treningov iz PM in šest treningov iz NM v skupni dolžini 36,6 ure. Iz podatkov so bile izločene vrednosti srčnega utripa in hitrosti, kjer je bil srčni utrip pod 70 u/min in nad 210 u/min in hitrost pod 5 km/h in nad 90 km/h, da so bili izločeni deli, kjer je merjenec stal, se ustavljal ali pospeševal iz stoječega položaja. Izločenih je bilo 143 enot.

Z matematičnim modelom je bila izračunana hipotetična hitrost, ki bi jo imel merjenec pri enakomerni obremenitvi med 65 in 85 % SU_{max} ob zanemarljivem vplivu vetra pri različnih naklonih (od -3 do 18 %). Koeficient zračnega upora (CdA) je bil izračunan z uporabo enačbe, ki upošteva težo merjenca (Heil, 2002). Koeficient kotalnega upora je bil izračunan glede na specifičen model gum (Vittoria Rubino Pro G2) ter primerjan z vrednostmi v literaturi (Martin, Milliken, Cobb, McFadden in Cogan, 1998). Z uporabo matematičnega modela in vstopnih spremenljivk so bili podatki za vsak trening razdeljeni in identificirani kot klanec (od 5 do 10 %) in ravnina (od -3 do 2 %). Glede na matematični model bi se merjenec pri intenzivnosti med 65 in 85 % HR_{max} na klancu z naklonom med 5 in 10 % vozil s hitrostjo med 17,9 km/h in 7,9 km/h, po ravnini oziroma terenu z naklonom med -3 in 2 % pa s hitrostjo med 47 km/h in 22,8 km/h (Graf 1). Te vrednosti so bile nato uporabljene kot filter, s katerim so bili podatki razdeljeni v skupino klanec in skupino ravnina. Preostali podatki so bili klasificirani kot preostalo in niso bili analizirani. Za validacijo pretreniranosti so bili uporabljene podatki o srčnem utripu v mirovanju ter krvna slika, pridobljena pred intervencijo in po končani intervenciji.



Slika 2. Model hitrosti pri konstantni obremenitvi za 71-kilogramskega kolesarja ob vetru 0 km/h

Skupni podatki so bili filtrirani in razdeljeni v skupne, podatke na klanec (klanec) in podatke z ravnine (ravnina). Pridobljeni podatki o treningih v PM so bili uporabljeni za prikaz razmerja med intenzivnostjo in hitrostjo. S t -testom za neodvisne vzorce je bila preverjena predpostavka, da je intenzivnost na klanec nižja kot na ravnini. Za ugotovitev povezanosti med hitrostjo in intenzivnostjo je bil uporabljen Pearsonov korelacijski koeficient. Z linearno regresijo je bilo preverjeno razmerje med intenzivnostjo in hitrostjo za sku-

pne podatke. Izvedena je bila analiza gibanja povprečnih filtriranih vrednosti srčnega utripa za različne terene med PM. Primerjano je bilo gibanje filtriranih srednjih vrednosti srčnega utripa med NM in PM. Gibanje srčnega utripa je bilo dodatno izračunano kot povprečje srednjih vrednosti na klanec med prvim in drugim tednom. Razlike so bile zaradi kršenih predpostavk merjene z Wilcoxonovim testom, dodatno so bile preverjene tudi razlike med prvim in zadnjim treningom tako v NM kot PM. Za objektivni pokazatelj pretreniranosti so bili podatki srčnega utripa primerjani z rezultati odvzema krvi in vrednostmi srčnega utripa v mirovanju.

Rezultati

Z matematičnim modelom so bile izračunane hitrosti pri treh intenzivnostih na različnih naklonih, na podlagi katerih so bili podatki filtrirani na podatke, ki predstavljajo vožnjo navkreber (klanec) in vožnjo po ravnini (ravnina). Analiziranih je bilo 131.855 parov podatkov, ki so bili s filtrom ustrezno porazdeljeni (Tabela 1).

Tabela 1

Prikaz števila vzorcev in povprečne vrednosti med NM in PM

	NM		PM	
	N	M(SD)	N	M(SD)
Klanec	6036	147,4(13,3)	4555	149,1(12,7)
Ravnina	56493	139,9(11)	45792	135,3(10,9)
Drugo	10851	142,6(14,1)	8128	137,9(17,4)
Skupaj	73380	140,9(11,9)	58475	136,7(12,7)

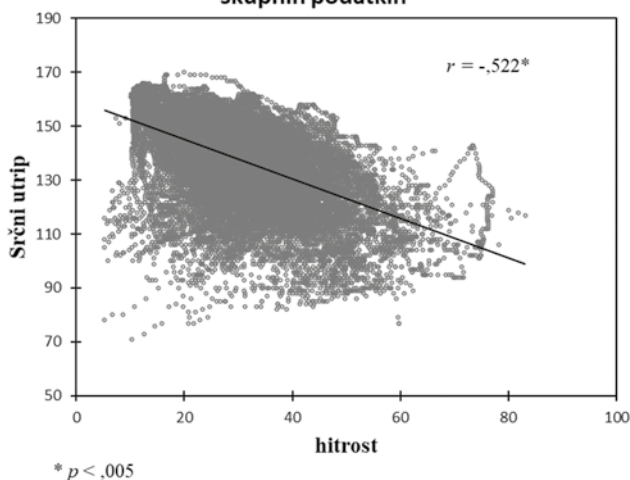
Podatki so predstavljeni kot skupno število enot in povprečna absolutna vrednost (M) s standardnim odklonom (SD) v obdobju normalnega mikrocikla (NM) in preobremenitvenega mikrocikla (PM).

Po filtriranju podatkov je bilo v kategorijo klanec v obeh obdobjih izbranih manj kot 10 odstotkov vseh podatkov o srčnem utripu, večina treninga se je sicer odvijala na ravnini. Razlike v srednjih vrednostih so bile testirane na podatkih iz preobremenitvenega mikrocikla. Mann-Whitneyjev test za neodvisne vzorce je pokazal značilno razliko med aritmetičnima sredinama na klancu in ravnini, $p < ,005$, kjer je bila aritmetična sredina srčnega utripa na klanec višja kot na ravnini. Linearna regresija je bila uporabljena za analizo napovedi srčnega utripa z vrednostjo hitrosti. Razsewni grafikon (Slika 3) je pokazal srednjo linearno povezanost med hitrostjo in srčnim utripom.

Z linearno regresijo je bila preverjena moč vpliva hitrosti na srčni utrip. Najdena je bila značilna regresijska enačba ($F(1,58473) = 21933, p < 0,005$), s prilagojeno vrednostjo $R^2,273$. S hitrostjo je bilo z linearnim modelom razložene 27,3 % celotne variance v podatkih. Srčni utrip je bil po enačbi enak $160 - 0,737$ (hitrost) utripov na minuto (u/min), ko je hitrost merjena v kilometrih na uro (km/h). Srčni utrip se je znižal za 0,737 u/min za vsak km/h hitrosti.

Primerjava različnih načinov filtriranja za napovedovanje je bila izvedena s prikazom trendov spreminjanja srednjih vrednosti med PM (Slika 4). Zaradi majhnega vzorca in posledične kršitve predpostavk linearna regresija ni bila izvedena za ugotovitev povezanosti med srčnim utripom in številom treningov. Trend kaže upad vrednosti na klanec, medtem ko se nefiltrirane vrednosti (skupaj) in vrednosti SU na ravnini ne spreminjajo. Kaže, da bi filtrirani podatki na klancu lahko bili bolj merodajni za ugotavljanje sprememb

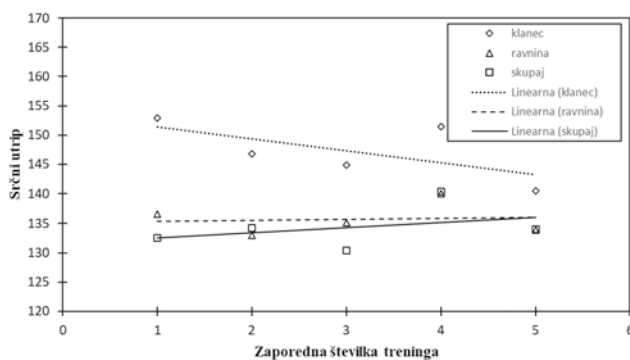
Razmerje med hitrostjo in srčnim utripom pri skupnih podatkih



Slika 3. Linearna regresija in prikaz razmerja med hitrostjo in srčnim utripom med PM
Opomba. Hitrost je prikazana v km/h, srčni utrip v u/min, r – Pearsonov korelacijski koeficient.

srčnega utripa pri kolesarjenju v realnem okolju, saj prikazujejo drugačen trend kot skupni podatki. T -test za neodvisne vzorce je bil uporabljen za primerjavo razlik v srednjih vrednostih skupnih podatkov za enega merjenca med prvim in zadnjim treningom. Ugotovljena je bila značilna razlika med prvim ($M = 139,17$; $SD = 13,54$) in zadnjim ($M = 134,23$; $SD = 11,4$) treningom; $t(21791) = 31,78$, $p < ,005$. Mann-Whitneyjev U -test je pokazal, da so bile vrednosti srčnega utripa na klanec manjše pri zadnjem ($Me = 152,96$) v primerjavi s prvim ($Me = 146$) treningom, $U = 241029$, $p < 0,005$. Kar kaže na nižji srčni utrip na klanec na zadnjem treningu v PM v primerjavi s prvim.

Prikaz trenda različnih srednjih vrednosti v preobremenitvenem mikrociklu



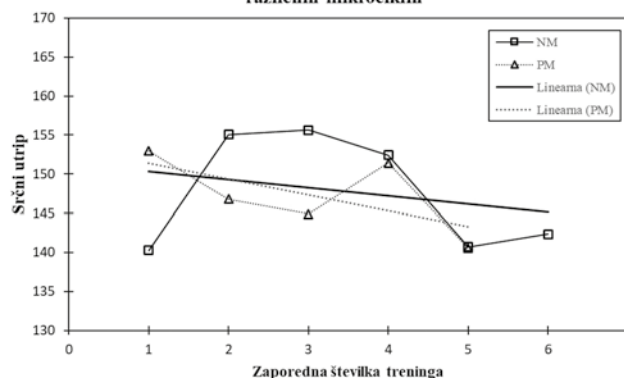
Skupaj - skupni nefiltrirani podatki; klanec, ravšina - filtrirani podatki. Povprečne vrednosti srčnega utripa za posamezne treninge, pridobljene z različnim načinom filtriranja, s pripadajočimi linearnimi regresijskimi premicami.

Slika 4. Trend srednjih vrednosti srčnega utripa, pridobljenih z različnimi načini filtriranja

Za primerjavo trenda spremembe srednjih vrednosti SU med NM in PM je bil prikazan trend gibanja srednjih vrednosti posameznega treninga in zaporedne številke treninga v posameznem mikrociklu. Zaradi kršenih predpostavk rezultati niso merodajni, viden pa je rahel trend upadanja srednjih vrednosti SU pri NM in PM (Slika 5). Rezultati ne kažejo jasnih razlik v padcu srčnega utripa med normalnim in preobremenitvenim mikrociklom. Za primerjavo med

prvim in zadnjim treningom v NM je bil izveden Mann-Whitneyjev U -test, ki je pokazal značilno razliko med prvim ($Me = 140,3$) in zadnjim ($Me = 142,4$) treningom v NM, $U = 881746$, $p < ,005$. Zaradi majhnega števila merjencev in očitne variabilnosti v časovnem trendu spreminjanja srčnega utripa ni mogoče sklepati na razlike v srednjih vrednostih srčnega utripa na klanec tudi pri NM. V prihodnosti pa bi lahko z večjim vzorcem bolj natančno spremljali trende premikanja srednjih vrednosti srčnega utripa.

Povprečne vrednosti srčnega utripa na klanec pri dveh različnih mikrociklih



NM - normalen mikrocikel, PM - preobremenitveni mikrocikel. Podatki so prikazani kot povprečne vrednosti vsakega posameznega treninga v obeh mikrociklih, s pripadajočimi linearnimi regresijskimi premicami.

Slika 5. Trend gibanja srednjih vrednosti srčnega utripa pri NM in PM

V Tabeli 3 so prikazane vrednosti srčnega utripa v mirovanju pred začetkom in po koncu vsakega mikrocikla. Prav tako so prikazane vrednosti krvnih parametrov, relevantnih za ugotovitev funkcionalne pretreniranosti pri vzdržljivostnih športnikih. Po koncu NM merjenec ni kazal znakov izven priporočenih vrednosti, SU_{mir} tudi ni kazal večjih odstopanj. Pri PM je merjenec kazal znižane vrednosti krvne slike, prav tako močno znižane vrednosti testosterona. SU je bil močno povišan, kar skupaj s hormonsko in krvno sliko nakazuje na znake pretreniranosti.

Tabela 3

Vrednosti različnih parametrov krvne slike pred NM in PM in po koncu

		NM		PM		
		PRED	PO	PRED	PO	
Hematološke preiskave	Hemoglobin	148	143	141	134*	g/L
	Hematokrit	0,436	0,417	0,413	0,39*	
	Eritrociti	4,95	4,68	4,69	4,43	10 ¹² /L
	Levkociti	4,79	4,56	4,6	4,54	10 ⁹ /L
	Železo	23	10,5	28,8	56,4*	μmol/L
	S-Feritin	54	37,13	54,5	74,01	μg/L
Imunološke preiskave	Testosteron	22,8	19,29	20,25	6,74*	nmol/L
Srčni utrip v mirovanju	SU _{mir}	54	57	55	69	u/min
Obremenitveno testiranje	Anaerobni prag	320	340	320	300	W
	Točka respiratorne kompenzacije	380	400	360	360	W

Izbrane vrednosti analize krvi pred začetkom (PRED) in po koncu (PO) obeh obdobj.
* vrednosti nad ali pod priporočenimi okvirji.

■ Diskusija

Z matematičnim modelom smo uspešno filtrirali podatke glede na konfiguracijo terena. Ugotovljeno je bilo, da je merjenec opravil večino časa treninga na ravnini. Vožnja na klanec je pomenila manj kot 10 % celotnega treninga. Frekvenca srčnega utripa je bila pri vožnji na klanec višja kot na ravnini, kar kaže na razliko v intenzivnosti pri vožnji na klanec v primerjavi z vožnjo po ravnini. To bi lahko delno razložili z uporabo matematičnega modela, ki pri večjih naklonih ob energijski porabi z vožnjo po ravnini predvideva relativno majhne in v praksi težko dosegljive hitrosti. To bi lahko dodatno razložili s subjektivnim zaznavanjem napora in posledično z različno intenzivnostjo pri različni konfiguraciji terena v skladu z literaturo.

Linearna regresija je potrdila matematični model, ki predvideva linearno spreminjanje hitrosti skupaj z naklonom, ki predpostavlja relativno enakomerne spremembe hitrosti z naklonom. Povezanost med hitrostjo in frekvenco srčnega utripa je bila nižja od podanih vrednosti v literaturi (Charvatova, Prochazka, Vyšata in Vališ, 2017), vendar so bili podatki v tej raziskavi pridobljeni iz realnega okolja s poljubno konfiguracijo terena, medtem ko so podatki v dosedanjih raziskavah pridobljeni na točno določenih terenih. Podana povezanost med frekvenco srčnega utripa in hitrostjo je glede na način pridobivanja podatkov in številnih faktorjev vpliva višja od pričakovanih. Z linearno regresijo je bilo razložene 27,3 % variance v podatkih, kar glede na številne dejavnike vpliva na hitrost predstavlja relativno dober model za napoved spremembe frekvenca srčnega utripa glede na hitrost in posredno z uporabo obremenitvenih testiranj tudi konfiguracijo terena. V prihodnje bi bile lahko izvedene tudi raziskave povezanosti hitrosti in srčnega utripa z dodatno uporabo merilnikov moči na večjih vzorcih za boljši vpogled v intenzivnost in izračun konfiguracije terena.

Primerjava gibanja vrednosti surovih in izbranih podatkov na različnih terenih med PM s 75 % manjšo energijsko razpoložljivostjo je pokazala trend znižanja srednjih vrednosti frekvenca srčnega utripa na klanec, medtem ko so bile vrednosti frekvenca srčnega utripa iz skupnih podatkov in ravnine konstantne. Trend upadanja podatkov frekvenca srčnega utripa na klanec kaže večjo primerenost filtriranih podatkov tega tipa za spremljanje pretreniranosti z analizo frekvenca srčnega utripa.

■ Zaključek

Primerjava vrednosti filtrirane frekvenca srčnega utripa pri normalnem in PM kaže znižanje frekvenca srčnega utripa pri vožnji na klanec tako pri normalnem kot PM, saj so bile tako vrednosti na začetku in koncu, kot tudi v prvem in drugem tednu značilno nižje v drugem delu mikrocikla, kar lahko kaže na utrujenost. Vrednosti pri NM sicer kažejo veliko variabilnost, zato bi bilo smiselno na večjem vzorcu raziskati razlike v trendu premikanja srčne frekvenca v NM in PM. Kaže se večji trend upadanja frekvenca srčnega utripa pri PM, vendar dinamika gibanja teh vrednosti pri normalnem treningu še ni jasna. Pretreniranost je bila potrjena tudi s krvnimi slikami, kar lahko nakazuje na možnost uporabe analize filtriranih vrednosti frekvenca srčnega utripa in poleg uporabe vrednosti srčnega utripa v mirovanju za spremljanje sprememb v trenažnem procesu. V prihodnosti bi lahko izvedli primerjavo danega modela spremljanja pretreniranosti s spremljanjem z uporabo merilnika

moči in srčnega utripa v mirovanju. Veljavnost rezultatov bi lahko bila preverjena na večjem vzorcu.

■ Literatura

1. Atkinson, G., Paeacock, O., & Passfield, L. (2007). Variable versus constant power strategies during cycling time-trials: Prediction of time savings using an up-to-date mathematical model. *Journal of sports sciences*, 25(9), 1001-1009. doi:10.1080/02640410600944709
2. Banister, E. W. (1991). Modeling Elite Athletic Performance. V: MacDougall, J. D., Wenger, H. A. & Green, H. J. (ed.) *Physiological Testing of Elite Athletes*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
3. Bell, L. M., & Ingle, L. (2013). Psycho-physiological markers of overreaching and overtraining in endurance sports: a review of the evidence. *Medicina Sportiva*, 81-97.
4. Bosquet, L. in Aubert, A. E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *British journal of sports medicine*, 42: 709-714.
5. Charvatova, H., Prochazka, A., Vaseghi, S., Vyšata, O., & Vališ, M. (2017). GPS-based analysis of physical activities using positioning and heart rate cycling data. *Signal Image and Video Processing*, 11(2), 251-258. doi:10.1007/s11760-016-0928-z
6. Coggan, A. R. (2003). Training and racing using a power meter: an introduction. Level II Coaching Manual. Colorado Springs, CO: USA cycling.
7. Dahmen, T., Byshko, R., Saupe, D., Roeder, M., & Mantler, S. (2011). Validation of a model and a simulator for road cycling on real tracks. *Sports Engineering*, 14, 95-110. doi:10.1007/s12283-011-0076-1.
8. Dahmen, T., Wolf, S., & Saupe, D. (2012). Applications of mathematical models of road cycling. *IFAC Proceedings*, 45(2), 804-809. doi:10.3182/20120215-3-AT-3016.00142.
9. Di Prampero, P. E., Cortili, G., Mognoni, P., & Saibene, F. (1979). Equation of motion of a cyclist. *Journal of applied physiology*, 47(1), 201-206. doi:https://doi.org/10.1152/jappl.1979.47.1.201
10. Edwards, S. (1993). The Heart Rate Monitor Book, New York, Polar Electro Oy.
11. Fister, I. M., Ljubič, K., Suganthan, P. N., Perc, M., & Fister, I. (2015). Computational intelligence in sports: Challenges and opportunities within a new research domain. *Applied Mathematics and Computation*, 262, 178-186.
12. Heil, D. P. (2002). Body mass scaling of frontal area in competitive cyclists not using aero-handlebars. *European journal of applied physiology*, 87, 520-528. doi:10.1007/s00421-002-0662-9.
13. Jeukendrup, A., & Van Diemen, A. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 16(1), 91-99. doi:10.1080/026404198366722.
14. Lehman, M., Foster, C., Keul, J. (1993). Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Med Sci Sports Exerc*, 25: 854-862.
15. Lucia, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., & Chicharro, J. L. (2003). Tour de France versus Vuelta a Espana: which is harder? *Med Sci Sports Exerc*, 35: 872-878.
16. Martin, J. C., Milliken, D. L., Cobb, J. E., McFadden, K. L., & Coggan, A. R. (1998). Validation of a mathematical model for road cycling power. *Journal of applied biomechanics*, 14, 276-291.
17. Prochazka, A., Vaseghi, S., Yadollahi, M., Tupa, O., Mareš, J., Vyšata, & Oldrich. (2014). Remote physiological and GPS data processing in evaluation of physical activities. *Medical and biological engineering and computing*, 52(4), 301-308. doi:10.1007/s11517-013-1134-6.
18. Sanders, D. (2018). monitoring the training process in competitive road cyclists: „A critical evaluation of intensity and load measures and

- their ability to inform the training process". *Doktorska disertacija*. Liverpool Hope University
19. Stagno, K. M., Thatcher, R., & van Someren, K. A. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of sports sciences*, 6(25), 629–634. doi:<https://doi.org/10.1080/02640410600811817>
 20. Strava. (30. 11. 2020). *Strava Milestones: 50 Million Athletes and 3 Billion Activity Uploads*. Pridobljeno s Strava: <https://blog.strava.com/press/strava-milestones-50-million-athletes-and-3-billion-activity-uploads/>
 21. Ušaj, A. (2003). *Osnove športnega treniranja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.

Simon Iskra, dipl. kin.

Študent 2. letnika magistrskega študija kineziologije
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
simoniskra97@gmail.com