



PUŠ PROJEKT: Oblikovanje strokovno utemeljenih vadbenih priporočil z uporabo podatkov iz pametnih nosljivih naprav

Inštitut za patološko fiziologijo, asist. - razisk. dr. Maja Derlink, univ. dipl. biol. – pedagoška mentorica

Start fit d.o.o., mag. kin. Žan Bašić – delovni mentor

Sodelujoči študentje na projektu: Tit Bajc, Ana Breclj, Ula Dobovičnik, Maja Glogovšek, Filip Kordelič, Katarina Lasković, Tim Pečnik, Nejc Podgoršek, Vid Renner

Namen projekta

Glavni namen projekta je bil povezati znanstvena spoznanja o vplivu nefarmakoloških pristopov na avtonomni živčni sistem z neposrednimi praktičnimi izkušnjami strokovnjakov s področja športne znanosti pri načrtovanju in izvajanju učinkovitih vadbenih procesov ter ohranjanju in izboljševanju avtonomne regulacije. Projekt je bil usmerjen v razvoj preventivnih in dolgoročno vzdržnih pristopov k telesni dejavnosti, ki bi lahko prispevali k ohranjanju zdravja, telesne zmogljivosti in kakovosti življenja.

Ozadje problema

Kljub vse boljši ozaveščenosti o pomenu zdravega načina življenja poročila kažejo, da sta telesna neaktivnost in čezmerna telesna masa še vedno pomembna dejavnika tveganja za razvoj kroničnih nenalezljivih bolezni [1]. Srčno-žilne bolezni ostajajo vodilni vzrok umrljivosti in predstavljajo približno tretjino vseh smrti globalno [2]. Med najpomembnejšimi dejavniki njihovega razvoja je povišan krvni tlak, na katerega lahko pomembno vplivajo življenjski slog, telesna dejavnost in telesna sestava [3].

V sodobni družbi, kjer prevladuje sedeč način življenja, postaja razumevanje trenažnih principov in razvoj trajnostnih pristopov k ohranjanju telesne kondicije ključnega pomena za javno zdravje. Pri tem je pomembno zavedanje, da je na številne negativne fiziološke spremembe, povezane s telesno neaktivnostjo in sedečim življenjskim slogom, mogoče vplivati ter jih z redno in ustrezno prilagojeno telesno dejavnostjo vsaj deloma zmanjšati ali celo obrniti.

Redna telesna vadba ima pozitivne učinke na srčno-žilno zdravje in delovanje avtonomnega živčnega sistema [4]. Sistematični pregledi kažejo izboljšanje več kazalnikov HRV po redni vadbi, pri čemer so učinki odvisni tudi od vrste vadbe, trajanja intervencije in značilnosti posameznika. Grässler et al. obravnavajo učinke različnih vadbenih intervencij na HRV in srčno-žilne dejavnike tveganja.

Avtonomna funkcija je tesno povezana s srčno-žilnim zdravjem. Motena avtonomna regulacija in zmanjšana vagalna modulacija sta povezani z večjim srčno-žilnim tveganjem, zmanjšana HRV pa tudi z večjo obolevnostjo in umrljivostjo [5, 6]. Jarczok et al. so v sistematičnem pregledu in metaanalizi pokazali povezavo med nižjo HRV in večjim tveganjem za umrljivost.

Kot neinvaziven biološki označevalec delovanja avtonomnega živčevja se pogosto uporablja variabilnost srčne frekvence (HRV; angl. *heart rate variability*) [5]. Ta predstavlja nihanje časovnih intervalov med zaporednimi utripi srca in odraža kompleksno povezavo med avtonomnim živčnim

sistemom in srčno-žilno regulacijo. HRV se uporablja na področjih klinične kardiologije, spremljanja stresa in športne zmogljivosti ter jo je mogoče spremljati z EKG in nekaterimi nosljivimi napravami.

Višja HRV je praviloma povezana z boljšo avtonomno prilagodljivostjo, medtem ko je zmanjšana HRV povezana z večjim tveganjem za neugodne zdravstvene izide in umrljivost [5, 6].

Uporaba HRV je dobro uveljavljena tudi v športnem okolju, kjer se uporablja za spremljanje odziva na vadbeno obremenitev, regeneracije in prilagajanje vadbenega procesa [7]. V praksi se pogosto spremljajo jutranje meritve in spremembe glede na individualno izhodiščno stanje, na podlagi katerih se lahko prilagaja intenzivnost načrtovane vadbe.

Uporaba HRV se širi tudi zunaj tekmovalnega športa, k čemur prispevata večja dostopnost pametnih nosljivih naprav in možnost spremljanja fizioloških podatkov v vsakdanjem okolju [5, 8]. V raziskovalnem in kliničnem okolju se HRV uporablja za ocenjevanje avtonomne in srčno-žilne funkcije, nosljive naprave pa omogočajo vse pogostejše spremljanje fizioloških kazalnikov zunaj laboratorija [5].

Raziskave kažejo tudi, da lahko uporaba nosljivih naprav za spremljanje telesne dejavnosti spodbuja večjo telesno aktivnost [8]. Ferguson et al. so v pregledu 39 sistematičnih pregledov in metaanaliz, ki so skupaj zajeli 163.992 udeležencev, ugotovili povečanje telesne dejavnosti pri uporabi sledilnikov aktivnosti.

Cilji projekta

Pomemben cilj projekta je bilo aktivno vključevanje študentov v vse faze raziskovalnega in aplikativnega dela. Študenti so skozi sodelovanje na projektu:

- krepili sposobnost iskanja, razumevanja in kritičnega vrednotenja znanstvene literature ter se vključili v celoten raziskovalni proces;
- nadgradili razumevanje fizioloških odzivov na telesno dejavnost ter pridobili znanja o prednostih in omejitvah različnih vadbenih pristopov;
- pridobili praktične izkušnje z različnimi metodami fiziološkega in funkcionalnega testiranja ter spremljanja telesne dejavnosti;
- se usposabljali za zbiranje, urejanje, obdelavo in analizo podatkov, vključno s statistično analizo in interpretacijo rezultatov;
- razvijali kompetence za individualno delo z udeleženci, vključno z učinkovito komunikacijo, motiviranjem, spremljanjem napredka in prilagajanjem aktivnosti posamezniku;
- se seznanili z delovanjem partnerja iz delovnega okolja ter s praktičnimi izzivi in aktualnimi potrebami na področju individualnega načrtovanja in vodenja vadbe;
- razvijali sposobnost interdisciplinarnega sodelovanja in povezovanja znanj medicine, fiziologije, kineziologije, fizioterapije, psihologije in statistike;
- sodelovali pri pripravi in predstavitvi rezultatov projekta strokovni in širši javnosti.

Osrednji cilj projekta pa je bilo oblikovanje vadbenega programa za širšo populacijo, ki je združeval strokovno načrtovano telesno vadbo z možnostjo individualnega prilagajanja obremenitve na podlagi spremljanja HRV. S sodelovanjem študentov, pedagoških mentorjev in strokovnjakov iz delovnega okolja smo povezovali raziskovalne metode s praktičnimi izkušnjami pri načrtovanju in izvajanju vadbe.

Zasnova in potek dela

Predhodna raven telesne aktivnosti ni bila pogoj za vključitev v projekt. Pred začetkom vadbenega programa smo pri udeležencih zbrali osnovne demografske in antropometrične podatke ter ocenili njihovo dosedanje raven telesne aktivnosti. Program smo začeli s 27 zainteresiranimi polnoletnimi posamezniki, s katerimi smo izvedli zmogljivostne teste. Udeleženci so predstavljali heterogeno skupino študentov in zaposlenih z različnimi ravni telesne aktivnosti. Trenažni program je začelo izvajati 15 prostovoljcev ($33,7 \pm 10,9$ let), od tega 7 žensk in 8 moških. Program je dokončalo 11 udeležencev.

Telesno aktivnost in sedeče vedenje smo ocenili z Mednarodnim vprašalnikom telesne dejavnosti IPAQ (dolga različica) [9]. Med 14 udeleženci z razpoložljivimi podatki je bilo 7 (50 %) uvrščenih v kategorijo zmerne in 7 (50 %) v kategorijo visoke telesne dejavnosti. Nobeden ni bil uvrščen v kategorijo nizke telesne dejavnosti. Mediana skupne telesne dejavnosti je znašala 2494 MET-min/teden (IQR: 1708–5673).

Za začetno oceno telesne pripravljenosti in fiziološkega stanja smo izvedli teste telesne pripravljenosti, ortostatski test ter kardiopulmonalni obremenitveni test (CPET) na kolesu za oceno aerobne zmogljivosti (VO_{2peak}). Na podlagi rezultatov začetnega testiranja smo vnaprej pripravljen vadbeni program prilagodili vsakemu udeležencu glede na njegovo telesno pripravljenost in dosežene rezultate. Tako smo ohranili enotno osnovno strukturo programa, hkrati pa individualno prilagodili zahtevnost in obremenitev vadbe. Udeleženci so prilagojene vadbene programe izvajali od 6 do 12 tednov in z dnevnikom beležili izvedeno telesno dejavnost. Pomemben del izvedbe je predstavljala tudi komunikacija z udeleženci, spremljanje njihovega odziva na vadbo in motiviranje za vztrajanje v programu. Po zaključku vadbenega obdobja smo meritve ponovili ter primerjali stanje pred in po vadbenem programu, s poudarkom na spremembah telesne pripravljenosti in delovanja avtonomnega živčnega sistema.

Testi telesne pripravljenosti

Namen testiranja je bil pridobiti objektivne podatke o različnih komponentah telesne pripravljenosti, ki so predstavljali izhodišče za prilagajanje vadbenega programa posamezniku ter omogočili spremljanje sprememb po zaključenem obdobju vadbe. Pripravili smo osnovni testni protokol, ki ga je bilo mogoče izvesti brez posebne vadbene opreme in je omogočal oceno telesne pripravljenosti tudi v običajnem okolju. Vključeval je skok v daljino z mesta, sklece, sonožni sed ob steni in avstralske zgibe (angl. *Australian pull-up*). S testi smo ocenjevali predvsem eksplozivno moč spodnjih okončin ter mišično moč in vzdržljivost zgornjega in spodnjega dela telesa. Za telesno bolj pripravljene udeležence smo pripravili tudi zahtevnejši testni protokol (Priloga: Protokol testiranja telesne pripravljenosti v fitnesu), ki se je izvajal v fitnesu z uporabo trenažerjev in druge vadbene opreme. Za vse teste smo pripravili natančna navodila in slikovne prikaze pravilne izvedbe, s čimer smo želeli zagotoviti standardizirano izvedbo ter čim boljšo primerljivost rezultatov začetnega in končnega testiranja.

Priprava in izvajanje individualiziranih vadbenih programov

Na podlagi začetne ocene telesne pripravljenosti smo za udeležence pripravili individualizirane vadbene programe, prilagojene njihovem izhodiščnemu stanju (Priloga: Primer vadbenega programa). Programi so vključevali vadbo za moč, aerobno vadbo nižje intenzivnosti ter visoko intenzivno intervalno vadbo (HIIT). Za vsakega udeleženca smo pripravili natančna navodila za izvajanje posameznih vadbenih enot, priporočeni urnik vadbe ter dnevnik za beleženje izvedenih aktivnosti. Udeleženci so tako lahko

sistematično spremljali izvedbo programa, morebitna odstopanja od načrtovane vadbe ter svoj napredek skozi vadbeno obdobje. Posebnost dela vadbenih programov je predstavljalo HRV-vodeno prilagajanje intenzivnosti vadbe. Udeleženci so izvajali redne jutranje meritve HRV in vrednosti vpisovali v pripravljeno tabelo. Na podlagi spremljanja individualnih vrednosti HRV so prejeli eno od treh dnevnih priporočil: »normalna vadba«, »zmanjšana intenziteta« ali »počitek«. Glede na priporočilo so na dan načrtovane vadbe izvedli običajni program, prilagojeno različico z zmanjšano intenzivnostjo ali vadbo izpustili. Na ta način smo želeli poleg vnaprej načrtovane individualizacije vadbenega programa preveriti tudi možnost sprotnega prilagajanja vadbene obremenitve glede na fiziološko stanje in regeneracijo posameznika.

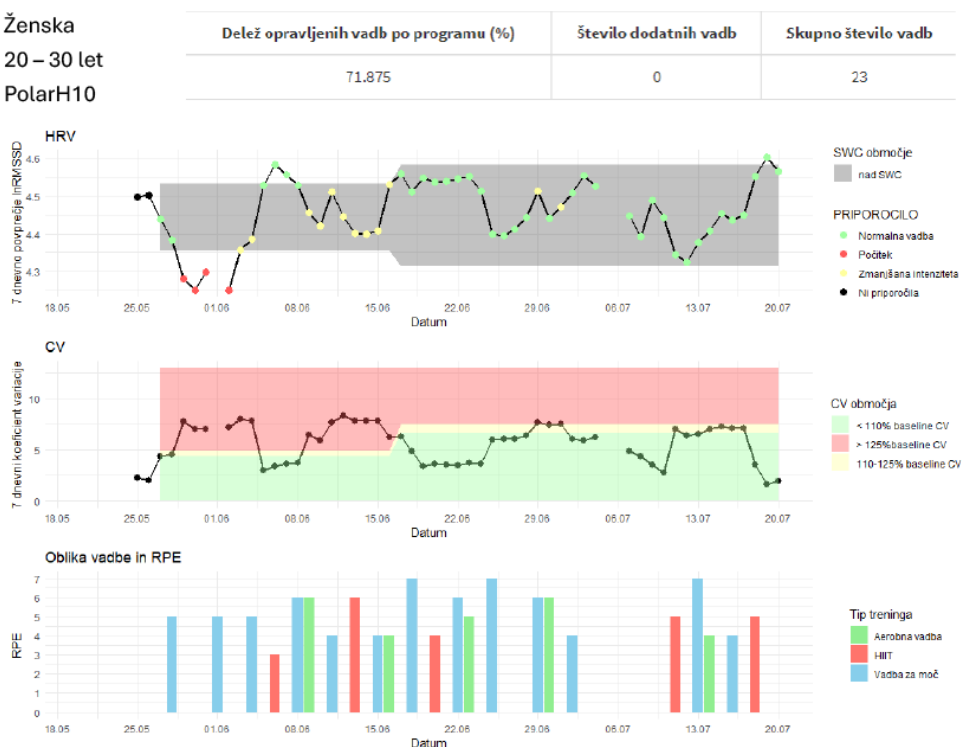
Spremljanje HRV in prilagajanje vadbe

Za spremljanje odziva posameznika na vadbo smo uporabljali lnRMSSD, kazalnik variabilnosti srčne frekvence (HRV), ki odraža predvsem parasimpatično modulacijo srčnega ritma. Ker se HRV med posamezniki močno razlikuje, rezultatov nismo primerjali z enotnimi »normalnimi« vrednostmi, ampak smo za vsakega udeleženca določili individualno izhodiščno območje. Dnevne meritve smo spremljali s pomočjo 7-dnevnega drsečega povprečja lnRMSSD [10]. Vrednosti znotraj individualnega območja so predstavljale običajno nihanje glede na izhodiščno stanje posameznika, znižanje pod določeno spodnjo mejo pa smo obravnavali kot možen znak slabše regeneracije oziroma povečane fiziološke obremenitve. Poleg povprečne vrednosti smo spremljali tudi 7-dnevni koeficient variacije (CV), ki prikazuje, kako stabilne so bile vrednosti lnRMSSD iz dneva v dan [11]. Večji CV je pomenil večjo dnevno variabilnost HRV. S kombinacijo ravni lnRMSSD in njegove variabilnosti smo spremljali individualni odziv na vadbo ter podatke uporabili kot pomoč pri odločanju o intenzivnosti vadbe. Po prvih štirih tednih smo individualne referenčne vrednosti ponovno izračunali in jih prilagodili novemu stanju posameznika. Pri priporočilu normalna vadba je udeleženec izvedel načrtovano vadbeno enoto. Pri priporočilu zmanjšana intenzivnost je vadbo izvedel z manjšo obremenitvijo, priporočilo počitek pa je pomenilo, da načrtovane vadbe tisti dan ni izvedel. HRV-vodenje tako ni nadomestilo osnovnega vadbenega programa, ampak ga je dopolnjevalo s sprotnim prilagajanjem obremenitve glede na individualni fiziološki odziv in regeneracijo posameznika. Beležili smo še RPE (angl. *Rating of Perceived Exertion*, lestvica 1 - 10), subjektivno oceno občutenega napora med vadbo.

Primeri individualnega spremljanja HRV skozi vadbeno obdobje

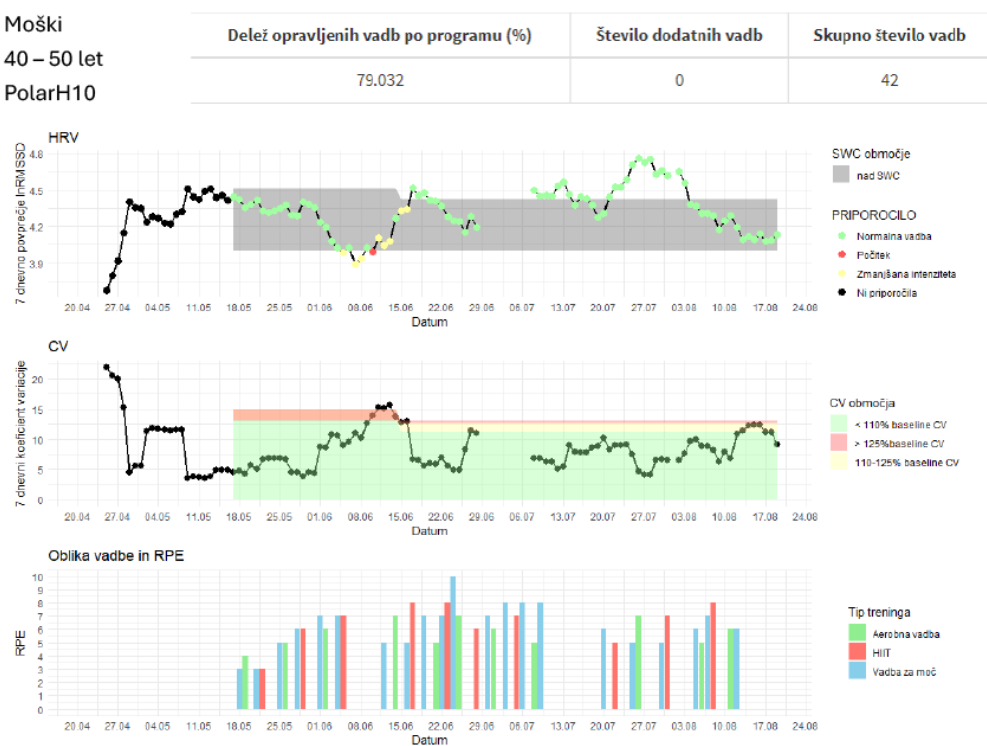
OPIS PROSTOVOLJCA

- Ženska
- 20 – 30 let
- PolarH10



OPIS PROSTOVOLJCA

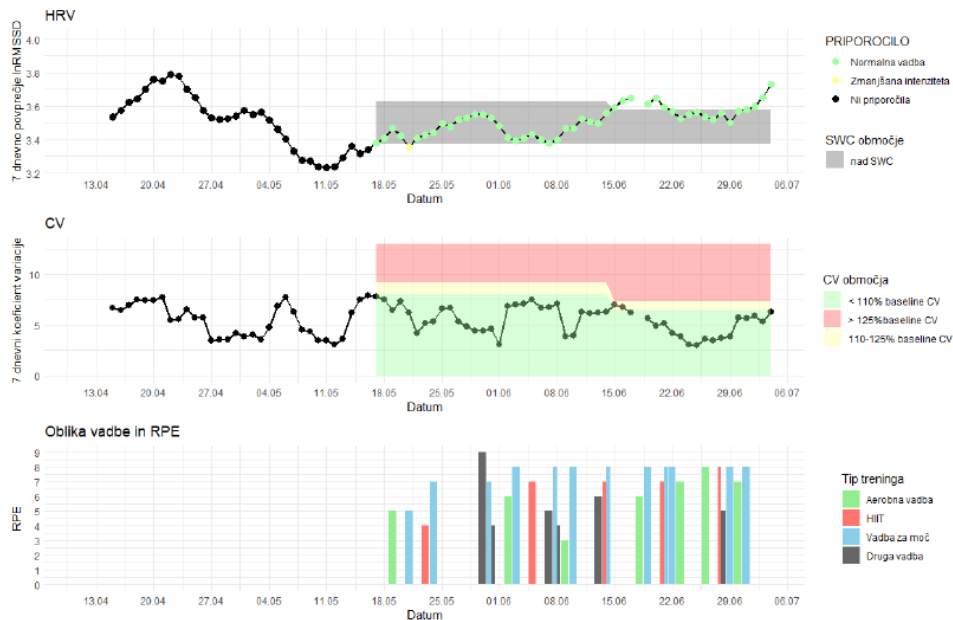
- Moški
- 40 – 50 let
- PolarH10



OPIS PROSTOVOLJCA

- Moški
- 50 – 60 let
- PolarH10

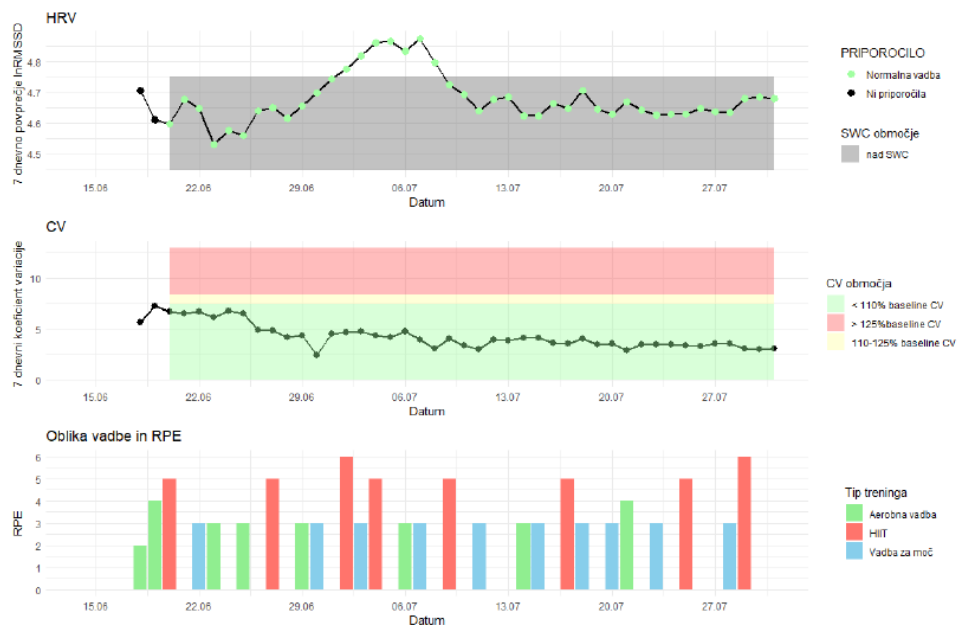
Delež opravljenih vadb po programu (%)	Število dodatnih vadb	Skupno število vadb
85.638	8	31



OPIS PROSTOVOLJCA

- Ženska
- 20 – 30 let
- Garmin Forerunner 955

Delež opravljenih vadb po programu (%)	Število dodatnih vadb	Skupno število vadb
80.208	5	27



Zgornji graf prikazuje 7-dnevno drseče povprečje lnRMSSD. Posamezne točke so obarvane glede na priporočilo za vadbo, ki ga je udeleženec prejel za posamezen dan. Sivo območje predstavlja območje

najmanjše praktično pomembne spremembe (SWC; angl. *Smallest Worthwhile Change*), določeno na podlagi meritev lnRMSSD pred začetkom vadbenega programa. Po štirih tednih izvajanja programa smo območje ponovno izračunali in ga prilagodili aktualnemu stanju posameznika. Če se je 7-dnevno povprečje lnRMSSD nahajalo znotraj sivega območja, spremembe glede na individualno izhodiščno stanje nismo obravnavali kot pomembno oziroma neobičajno. Za prilagajanje vadbe je bila posebej pomembna spodnja meja tega območja. Če je 7-dnevno povprečje lnRMSSD padlo pod spodnjo mejo, smo glede na hkratno vrednost CV priporočili zmanjšano intenzivnost vadbe ali počitek.

Srednji graf prikazuje 7-dnevni koeficient variacije (CV). Zeleno območje predstavlja izhodiščno vrednost CV oziroma povečanje do 10 % glede na izhodišče. Rumeno območje predstavlja povečanje CV za več kot 10 % do 25 %, rdeče območje pa povečanje za več kot 25 % glede na izhodiščno vrednost. Na podlagi kombinacije obeh kazalnikov smo določili priporočilo za vadbo. Če je 7-dnevno povprečje lnRMSSD padlo pod spodnjo mejo SWC, smo ob CV v zelenem območju priporočili zmanjšano intenzivnost, ob CV v rumenem ali rdečem območju pa počitek. Zmanjšano intenzivnost smo priporočili tudi takrat, ko je bilo 7-dnevno povprečje lnRMSSD nad spodnjo mejo SWC, vendar je bil CV v rdečem območju, saj je večja dnevna variabilnost lahko nakazovala povečano fiziološko obremenitev ali slabšo regeneracijo.

Spodnji graf prikazuje izvedene vadbe in zaznani napor med vadbo. Barva stolpca označuje tip vadbe, njegova višina pa vrednost RPE. Višja vrednost RPE pomeni večji subjektivno zaznani napor. Pri udeležencih, ki RPE niso beležili redno, graf ne vključuje vseh izvedenih vadb in zato ne predstavlja nujno njihovega celotnega števila. V pripadajoči tabeli je zato navedeno tudi skupno število izvedenih vadb ter delež načrtovanih vadb, ki jih je posameznik dejansko izvedel.

Pri posameznikih lahko opazimo različne vzorce spreminjanja lnRMSSD in njegove dnevne variabilnosti, kar ponazarja pomen spremljanja sprememb glede na individualno izhodiščno stanje posameznika. Na podlagi teh sprememb je sistem udeležencem sproti podajal priporočila glede izvedbe in intenzivnosti načrtovane vadbe. Prikazani podatki so namenjeni ponazoritvi poteka individualnega spremljanja in jih na tej stopnji ne interpretiramo kot končne rezultate raziskave. Celovita statistična analiza še poteka, rezultati pa bodo predstavljeni v okviru načrtovane znanstvene objave. Z nadaljnjo analizo bomo preverili spremembe HRV in drugih kazalnikov telesne pripravljenosti pred in po vadbenem obdobju ter uporabnost HRV-vodenega prilagajanja vadbe. Zaradi majhnega števila udeležencev bo treba ugotovitve interpretirati previdno, vendar lahko projekt predstavlja izhodišče za nadaljnje raziskovanje pristopa, ki združuje individualizirane vadbene programe, strokovno vodenje ter podatke pametnih nosljivih naprav za spremljanje odziva in regeneracije posameznika.

Uporaba pametnih nosljivih naprav in spremljanje HRV

V okviru projekta smo z vprašalnikom raziskali uporabo pametnih nosljivih naprav, odnos uporabnikov do spremljanja lastnih fizioloških podatkov ter poznavanje HRV. Od vseh iz začetka vključenih prostovoljcev (n=27) je približno 60 % anketiranih uporabljalo nosljivo napravo, najpogosteje pametno uro. Med uporabniki jih je 80 % napravo uporabljalo vsak dan ali večkrat tedensko. Vsi so jo uporabljali za spremljanje telesne aktivnosti, približno 40 % za spremljanje spanja, 45 % za obvestila, le okoli 20 % pa za spremljanje HRV oziroma stresa. Približno polovica uporabnikov je ocenila, da je uporaba naprave povečala njihovo telesno aktivnost in jim omogočila boljše razumevanje lastnega zdravja.

Čeprav je večina uporabnikov poznala HRV in njegovo povezavo s stresom, jih je le 10 % HRV redno spremljalo ali uporabljalo pri vsakodnevni odločitvah, uravnavanju stresa in prilagajanju vedenja. Podatki tako nakazujejo razliko med dostopnostjo fizioloških podatkov in njihovo dejansko uporabo:

pametne naprave zbirajo vedno več informacij, vendar uporabniki teh podatkov še ne znajo ali ne želijo nujno vključevati v svoje odločitve. Med tistimi, ki nosljivih naprav niso uporabljali, so bili pomembni razlogi cena, odsotnost zaznane potrebe oziroma koristi ter zanašanje na lastne občutke namesto na podatke naprave. Dve tretjini neuporabnikov nista poznali pojma HRV. Kljub temu jih je kar sedem od desetih navedlo, da bi HRV uporabljali, če bi jim pomagal pri obvladovanju stresa. Rezultati kažejo, da potencial nosljivih naprav ni le v zbiranju vedno več podatkov, temveč predvsem v tem, kako te podatke pretvoriti v razumljive in uporabne informacije, ki posamezniku pomagajo pri spremljanju zdravja, regeneracije, stresa in telesne dejavnosti.

Literatura

1. World Health Organization Regional Office for Europe. *WHO European Regional Obesity Report 2022* [Internet]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2022. Dostopno na: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289057738>
2. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2025. Dostopno na: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
3. World Health Organization. Hypertension [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2025. Dostopno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>
4. Grässler B, Thielmann B, Böckelmann I, Hökelmann A. Effects of different training interventions on heart rate variability and cardiovascular health and risk factors in young and middle-aged adults: a systematic review. *Front Physiol.* 2021;12:657274. doi:10.3389/fphys.2021.657274.
5. Jarczok MN, Weimer K, Braun C, Williams DWP, Thayer JF, Gündel HO, et al. Heart rate variability in the prediction of mortality: a systematic review and meta-analysis of healthy and patient populations. *Neurosci Biobehav Rev.* 2022;143:104907. doi:10.1016/j.neubiorev.2022.104907.
6. Banerjee A. Understanding the shortcomings of heart rate variability as a tool for autonomic analysis. *Front Physiol.* 2026;17:1760160. doi:10.3389/fphys.2026.1760160.
7. Lundstrom CJ, Foreman NA, Biltz G. Practices and applications of heart rate variability monitoring in endurance athletes. *Int J Sports Med.* 2023;44(1):9–19. doi:10.1055/a-1864-9726.
8. Ferguson T, Olds T, Curtis R, Blake H, Crozier AJ, Dankiw K, et al. Effectiveness of wearable activity trackers to increase physical activity and improve health: a systematic review of systematic reviews and meta-analyses. *Lancet Digit Health.* 2022;4(8):e615–e626. doi:10.1016/S2589-7500(22)00111-X.
9. Marinšek M, Bedenik K, Tekavec J. Cross-cultural adaptation of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) for use in education. *Zdrav Vestn.* 2022;91(9–10):1–8. doi:10.6016/ZdravVestn.3286.
10. Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M. Evaluating training adaptation with heart-rate measures: a methodological comparison. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(6):688–91. doi:10.1123/ijsp.8.6.688.
11. Moore, J. Improving HRV data interpretation with the coefficient of variation [Internet]. *Elite HRV*; 2017 Apr 12. Dostopno na: <https://elitehrv.com/improving-hrv-data-interpretation-coefficient-variation>