

UPORABA SODOBNIH TEHNOLOGIJ V ŠPORTU



Foto: Rok Vertič



Anton Ušaj

Tehnologija merjenja, digitalizacija in informacijsko-komunikacijska tehnologija v fiziologiji športnega napora

Application of measurement, digitalisation, information and communication technology in sport and exercise physiology

Abstract

Developments in science and technology have made it possible for problems related to the observation of changes during physical exercise, which are analogue, to be solved by using digitalization of measurements. The first step in this process is the detection of changes by appropriate sensors. Indeed, changes that occur before, during and after exercise can be detected by placing sensors apart from sportsmen body or on the skin. Some analyses are only possible if samples of body tissue are taken and then analysed in the laboratory. The collection of data and its conversion into digital values is done with the help of analogue-digital converters or by input via a keyboard. The digital values are then processed mathematically and logically using computer software. The construction of a suitable database or system of databases is necessary. This is not the end of the work on solving physiological problems, but the real beginning.

Key words: exercise tests, performance characteristics, changes in organism, physiological models

Izvleček

Napredek znanosti in tehnike je omogočil, da težave pri opazovanju sprememb, ki so analogne (zvezne), vsaj deloma presežemo z digitalizacijo. Ta najprej narekuje uporabo ustreznih zaznaval (senzorji) in uporabo analogno-digitalnih pretvornikov. Ko pridobimo digitalne vrednosti, jih nato v računalnikih obdelujemo z uporabo informacijskih tehnologij in pridobimo modele. V fiziologiji napora, posebej športnega, želimo najprej zaznati spremembe, ki se dogajajo pred naporom, med njim in po njem. Vrednosti kazalnikov pridobimo tako, da so zaznavala odmaknjena od športnikovega telesa, so položena ali pritrjena na kožo, so v njegovem organizmu ali pa odvezujemo vzorce tkiv in jih opazujemo z merilnimi napravami. Zaznavala so povezana z analogno-digitalnimi pretvorniki, kar omogoča avtomatično digitalizacijo. Nekatere vrednosti pa se pridobijo drugače, samo pred naporom in po njem. Torej se digitalizacija izvaja z ročnim vnašanjem podatkov v računalnik prek tipkovnice. S podatki je mogoče opravljati različne računske, logične in druge operacije z uporabo informacijske tehnologije. Pri tem je treba rešiti problem smiselnega urejanja velikega števila različnih podatkov v eno ali več podatkovnih baz. S tem pa se v fiziologiji napora razlaga pojavov šele začne.

Ključne besede: obremenilni testi, kazalniki zmogljivosti, spremembe v organizmu, fiziološki modeli

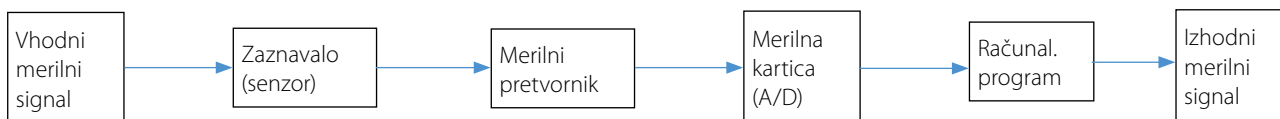
Merjenje, digitalizacija, informacijska in komunikacijska tehnologija

Tehnologija merjenja

Vhodne signale, ki v fiziologiji športnega napora predstavljajo spremembe v delovanju organizma, je treba najprej zaznati in nato izmeriti. Za to uporabljamo merilne sisteme (Slika 1).

1. **Zaznavanje signalov.** Signali so po pravilu analogni in kažejo spremembe v organizmu športnika. Pomembno je odkriti

najpomembnejšo značilnost neke spremembe in jo najprej definirati s primerno fizikalno količino, na primer silo, hitrostjo, barvo (valovno dolžino svetlobe), temperaturo, tlakom, električno napetostjo ali jakostjo, magnetnim poljem, sevanjem ... Če želimo te veličine izmeriti, moramo uporabiti primerna zaznavala (senzorje), ki spremenijo svojo značilnost v skladu z vrednostjo merilnega signala, torej s spremembo nekega pojava. Poleg primerne občutljivosti zaznavala si želimo njegovo čim večjo specifičnost (selektivnost). Šumi v meritvah, ki so po-



Slika 1. Merilni sistem. Sestavlja ga zaporedje dejavnosti in zato tudi sestavnih delov, ki vhodni merilni signal s pomočjo zaznavala, pretvornikov in računalniškega programa pretvorijo v izhodni merilni signal, ki ga merilec odčita na merilni skali ali zapisu (analogni podatek) ali kot število ali graf na monitorju (digitalni podatek).

sledica signalov iz drugih izvorov, kot je merjena veličina, niso zaželeni. Zato se jim želimo izogniti že na začetku merjenja, kar pa ni mogoče v celoti. Merilni pogreški, ki izvirajo iz zaznaval (senzorjev), so lahko posledica sprememb v zaznavalu, ki nastanejo med merjenjem ali pa v merilnem objektu, na primer v organu, celici ..., ko že sama namestitvev senzorja lahko povzroči spremembo, zaradi katere so rezultati merjenja napačni (na primer merjenje elektrokemijskih potencialov prek celične membrane). Med najpogostejše pogreške te kategorije v fiziologiji športa spadajo meritve vrednosti v mirovanju, submaksimalni obremenitvi ali pri največjem naporu. V mirovanju se že zaradi blage anksioznosti, ki se pojavi zaradi »pomembnosti« preiskave, pri posamezniku spremenijo številni odzivi organizma (povečano sproščanje kateholaminov, večji tlak krvi, večja frekvenca srca ...), ki se sicer v mirovanju ne bi pojavili. Med dolgotrajnim naporom pri submaksimalni intenzivnosti se redno pojavlja problem »lezenja« vrednosti pri tistih meritvah, pri katerih pričakujemo stacionarno stanje pojava. Značilno je povečanje frekvenca srca, ventilacije, včasih tudi privzema kisika, ki izvirajo iz povečane temperature v organizmu. Posebno je to izraženo pri opazovanju »maksimalnih« vrednosti številnih meritev pri največjem naporu. To pa je običajno, toda različno, če ga opravljamo pri vsakodnevnih vadbi ali na »pravem« tekovanju. Pri večini merjenj lahko opazimo merilne pogreške dinamičnega izvora. Gre za to, da je opazovanje že tako dinamičnega sistema, kot je organizem, med naporom podvrženo dinamskim značilnostim senzorjev, kar povzroča dodaten vir pogreškov in šumov v meritvah. Najpogostejše uporabljena merilna zaznavala (senzorji) v fiziologiji športnega napora so uporabljena pri (Kralj, 1983):

- Merjenju časa. Čas je osnovna veličina v vseh fizikalnih merilnih sistemih. Merimo ga z urami zelo natančno.
- Merjenju pomikov. To je pomembno, saj zajema pot in tudi čas. Posebno pa postanejo pomembna, ko s pomikom lahko izmerimo spremembe v temperaturi, sili, tlaku ... Za to uporabljamo uporovni potenciometer (premik v senzorju premakne drsnik upora in s tem tudi velikost upora), merilne trakove (z raztezanjem se spreminja upor traku), ki so lahko kovinski (merjenje sili) ali elastični (merjenje večjih raztezkov), induktivne odjemnike (spremembe indukcije v tuljavi).
- Merjenju sile. To najpogostejše opravimo z merilnimi trakovi (z raztezanjem se spreminja upor traku), ki so največkrat kovinski.
- Merjenju tlaka. Običajno se za merjenje krvnega tlaka uporabljajo sfigmomanometri. Klasični princip merjenja uporablja izenačenje tlaka v manšeti in tlaka živorebrnega stolpca v merilni napravi. Lahko gre za ukrivljeno kovinsko pero, ki se ob povečanju tlaka želi raztegniti, pomik pa je proporcionalen s tlakom v manšeti. Gre za analogna instrumenta, ki ju s primernim vzorčenjem v analogno-digitalnem pretvorniku spremenimo v digitalne

merilne naprave. Danes lahko uporabljamo tudi piezoelektrični odjemnik. Pri tem merjenju se ob povečanju tlaka deformira kristal, ki se zaradi svoje piezoelektrične lastnosti polarizira, kar lahko izmerimo.

- Merjenju pretoka. To je običajno povezano s pretokom krvi v žilah. Pogosto se pretok meri z ultrazvokom, ki izkorišča Dopplerjev učinek odbitega zvoka od delcev v krvi, ki potujejo mimo zaznavala. Na podobnem principu temelji tudi merjenje pretoka z lasersko svetlobo, ki pa se uporablja večinoma za merjenje hitrosti plinov: merimo čas potovanja delcev med dvema vzporednima laserskima žarkoma ali pa spremembe frekvence laserske svetlobe, ki se sipa na delcih. Pogosto se za merjenje pretoka krvi uporablja razlika v temperaturi dveh kovinskih žic, od katerih se ena greje s konstantno temperaturo, na drugi pa se meri razlika v temperaturi. Ta je odvisna od pretoka med dvema žicama. Venska pletizmografija temelji na razliki v volumnu na odseku ekstremitete (noga, roka), ki jo povzroča razlika v tlaku dveh manšet. Ta mora biti tak, da s proksimalno manšeto zapremo venski pretok, z distalno pa venski in arterijski pretok. Nastale volumnske spremembe ustrezno izmerimo.
 - Merjenju temperature. To lahko izvajamo s termoelektričnimi senzorji (merjenje temperature poteka s pomočjo električne napetosti, ki jo povzroča zanka iz dveh žic iz različnih, za temperaturo občutljivih materialov), termoproporovnimi senzorji, tudi iz polprevodniških materialov (upornost senzorja se zaradi različne temperature spremeni) in infrardečimi senzorji (vsako telo oddaja infrardeče sevanje, ki ga je mogoče meriti).
 - Pri svetlobnih odjemnikih (fotocelicah) se uporabljajo materiali (kadmij ali cezij), ki jim svetloba izbija elektrone. Njihov tok je proporcionalen z jakostjo svetlobe.
 - Pri merjenju vsebnosti (koncentraciji) izkoriščamo spremembe električne prevodnosti različnih raztopin, različne toplotne prevodnosti, hitrost širjenja zvoka in druge. Zelo znani sta paramagnetno merjenje vsebnosti kisika (O_2) in infrardeče zaznavanje CO_2 .
2. **Filtriranje in ojačanje signalov (merilni pretvorniki)** (Kralj, 1983; Enderle in Bronzino, 2012). Merilna zaznavala dobivajo hkrati specifične signale pojava, ki ga merimo, in druge signale (motilne signale ali šume), ki izvirajo iz drugih izvorov. Tako dobimo kompleksen signal, ki omejuje kvaliteto izmerjenega želenega signala. Torej je treba, kolikor je mogoče, izločiti šume, da bi lahko opazovali ciljni signal kar najbolj natančno. Filtriranje signalov v nizkofrekvenčnem ali visokofrekvenčnem območju nam omogoča, da to v čim večji možni meri tudi dosežemo. Da pa bi dobili kar največ informacij iz izmerjenih signalov, te običajno dodatno obdelamo z nekaterimi matematičnimi metodami: frekvenčna analiza, Fourierova transformacija, avtokorelacijske metode ... Izmerjene signale je treba po pravilu ojačati.

Pri tem je na voljo več vrst ojačevalnikov, ki imajo to možnost, da lahko jakost ojačanja izbiramo z zaporedno vezavo posameznih ojačitvenih stopenj. Pri tem pa ne gre za enostaven izziv, saj se pri ojačitvah ojači osnovni signal in tudi šumi.

3. **Pretvarjanje iz analognih v digitalne signale (digitalizacija).** Digitalizacija v ožjem smislu pomeni spreminjanje analognih signalov v digitalne. Digitalizacija merjenja prispeva k lažjemu vrednotenju pojavov tudi pri športnem naporu, saj gre predvsem za dinamične pojave, ki se pojavljajo kot periodični in kot aperiodični. Drugi način digitalizacije pa je digitalizacija različnih meritev hkrati, ki jih pri fiziologiji športnega napora pogosto uporabljamo. Več meritev poteka na različnih merilnih napravah hkrati. Pri tem je vzorčenje lahko zelo različno, saj se merilne veličine spreminjajo z različnimi frekvencami.
4. **Izhodni merilni signal.** Ta signal je zadnja faza merjenja. Gre za številčni ali grafični prikaz analogno izmerjenih veličin (osciloskop) ali digitalno vzorčenih veličin (računalnik) merjenja. Digitalni signal je mogoče takoj nadalje obdelovati.

Informacijska tehnologija

Posega na predvsem dve področji: analizo podatkov in shranjevanje podatkov v podatkovne baze. Začne se že pri digitalizaciji merjenja, ko je treba digitalne podatke oblikovati tako, da jih je z določeno programsko opremo mogoče takoj uporabiti ali pa da jih je mogoče najprej ustrezno prilagoditi za nadaljnjo analizo. Naprave, ki so v uporabi v Laboratoriju za biodinamiko (pa tudi drugod) na Fakulteti za šport, omogočajo pridobivanje dveh vrst podatkov: a) tiste, ki jih proizvajalec merilne opreme sam ponudi za digitalne prikaze meritev in standardne analize, b) tiste izmerjene podatke, ki jih proizvajalec omogoča spremeniti v tekstovne datoteke, te pa nato uporabnik sam pretvori na način, ki mu najbolj ustreza. Velikokrat je mogoče podatke izvoziti v format, ki ga uporablja Excel. To je priročno za nadaljnjo obdelavo v programih, kot sta Mathematica in Matlab (Grafikon 1). Podatke, ki jih pridobivamo z občasnim merjenjem med naporom na ločenih analizatorjih od tistih, kjer se podatki ves čas vzorčijo, je treba vnašati v računalniške programe s tipkanjem. Torej je pogosto v uporabi tudi ta »najstarejša oblika« digitalizacije. Tak primer so merjenja vsebnosti laktata, acido-baznega statusa, elektrolitskega statusa in vsebnosti glukoze v krvi, ki jih je mogoče pridobivati občasno med naporom, v različnih intervalih.

Komunikacijska tehnologija

To tehnologijo izkoriščamo takrat, ko kombiniramo podatke različnih meritev znotraj Laboratorija za biodinamiko, in takrat, ko so mesta meritev izven laboratorijev, v katerih se podatki analizirajo. Sicer pa se komunikacijska tehnologija uveljavlja predvsem v smeri, ko se različne meritve med naporom pri enem posamezniku ali pa pri različnih športnikih prenaša brezžično od oddajnika, ki ga športnik nosi s seboj, do sprejemnika, kjer opazovalec lahko spremlja neposredno (on-line) dogajanje med naporom, hkrati pa se podatki shranjujejo v spomin na sprejemniški računalniku. V preteklosti se je ta ideja prvič uresničila s prenosi frekvenc srca, nato s prenosi signalov EMG in GPS, prenašanjem kazalnikov dihanja in izmenjave plinov. Poseben vidik je globalna dostopnost meritev, ki pa je bolj povezana s praktičnim delom trenerjev in strokovnih timov, ti pa z raziskovanjem fizioloških pojavov nimajo veliko skupnega. Gre namreč za podatke, ki jih izmerijo pri vadbi v

nekem tujem vadbenem centru in jih pošljejo po internetni povezavi domačemu centru. Tam se podatki analizirajo, ugotovitve in nasveti po pošljejo po isti poti vadečemu in njegovemu trenerju.

■ Obremenjevanje športnika je prvi pogoj za proučevanje sprememb v njegovem organizmu med naporom

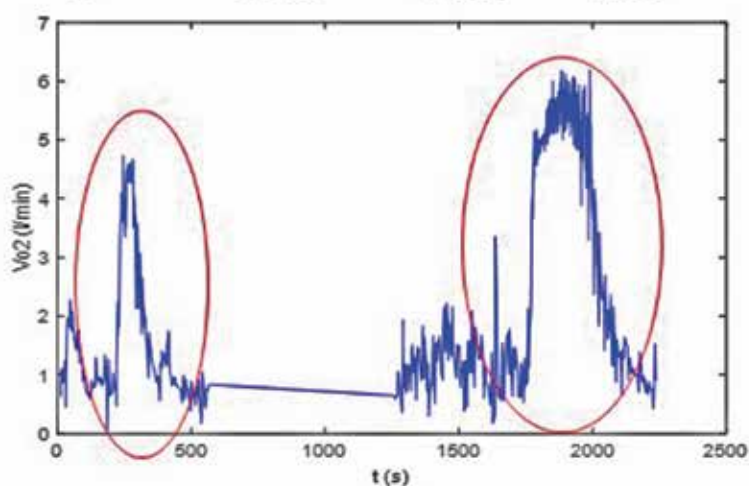
Naloga fiziologije športnega napora je poskusiti razložiti vzroke za nastanek nekega pojava med športnim naporom, njegovo delovanje (mehanizem) in posledice ter ugotoviti vlogo različnih organov in povezav med njimi pri tem. Številni pojavi se lahko zgodijo le kot posledica dogajanja pred naporom, nekateri se zgodijo samo med naporom. Vedno pa sta pomembna njihovo zaporedje in časovni potek, ki ju v veliki meri določajo značilnosti obremenitve na eni strani in značilnosti delovanja organizma na drugi. Kot vemo, je napor sprememba v organizmu ali odziv organizma na obremenitev. Torej je najprej treba poznati obremenitev, nato pa značilnosti napora (Maud in Forster, 1995; Usaj, 2011; Usaj, 2014).

Standardizirana obremenitev

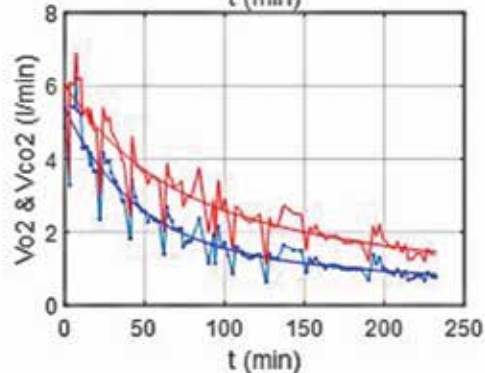
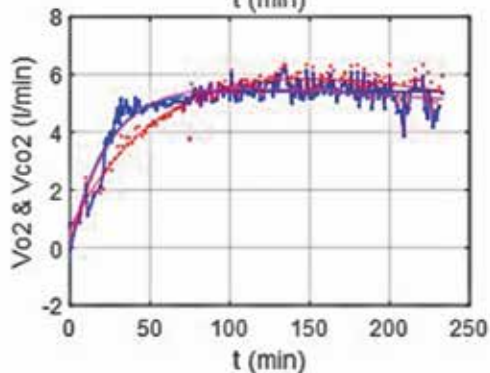
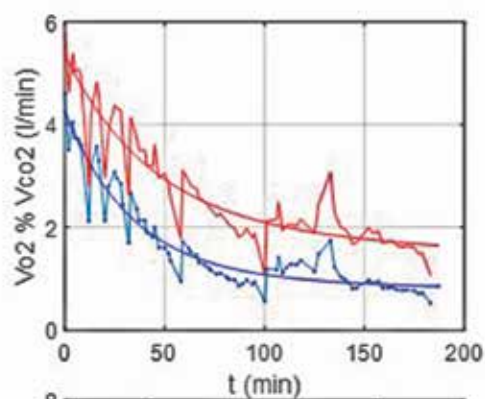
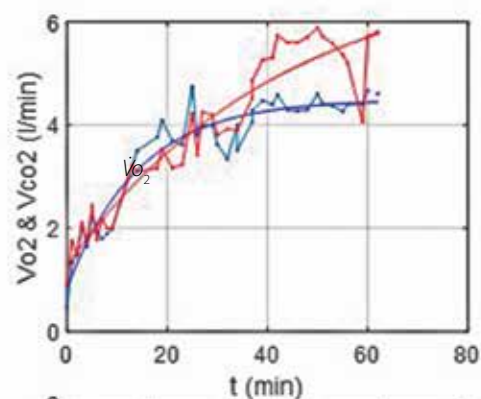
Obremenitev je definirana s svojo intenzivnostjo in količino, ki pa ju opisujemo na različne načine. Značilnosti sta enakovredni, čeprav pri opazovanju sprememb pri športniku intenzivnost pogostejši dobi večjo pozornost. Vzrok za to je značilnost večine tekmovalnih, v katerih je predpisana količina (razdalja ali trajanje), cilj tekmovalja pa je premagati nalogo čim intenzivneje (z večjo močjo, hitrostjo, silo, pospeškom ...).

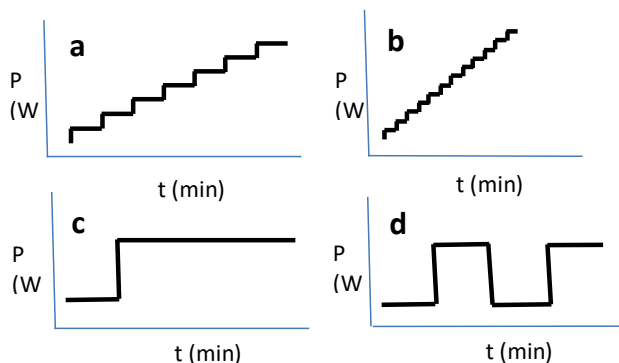
Opazovanje športnika v cikličnih načinih gibanja se lahko začne v mirovanju (običajno kot izhodišče opazovanja) in se nadaljuje pri vnaprej določenih zmernih obremenitvah ali pri največjem naporu. Časovni potek obremenitve je lahko različen, najpogostejši pa gre za **stacionarne obremenitve z zmerno intenzivnostjo** (Maud in Forster, 1995), ki trajajo različno dolgo (Grafikon 2). Drugi način uporablja več stopenj obremenitve, ki se povečuje v enakih intervalih. Gre za **večstopenjski obremenitveni test** (Maud in Forster, 1995; Usaj, 2011; Usaj, 2014), pri katerem intenzivnost narašča od najlažje do tiste, ki jo posameznik še zmore v predpisanem času (Grafikon 2). Posamezna stopnja traja od 3 do 5 min. Posebna oblika tega testa je **"ramp test"** (Maud in Forster, 1995, Grafikon 2), pri katerem so intervali, v katerih se poveča intenzivnost, kratki, od 30 s do 2 min. Opazovanje športnika pri tekmovalnem naporu ne poteka med stacionarno obremenitvijo, temveč med spreminjanjem intenzivnosti, ki je lahko del prej načrtovane taktike ali pa je spontana odločitev športnika v danem trenutku. Za to uporabljamo simulatorje dejanske obremenitve, kot so kolesarski simulatorji ali tekaške preproge, ki omogočajo vnaprejšnje programiranje sprememb obremenitev, ki se jim mora športnik potem prilagoditi. Pri teh ergometrih običajno spreminjamo moč, hitrost, naklon ... Za to pa lahko uporabljamo kar tekmovalno površino (atletski ali kolesarski stadion, bazen ...), kjer športnik simulira tekmovalni nastop ali pa samo del tega nastopa. Pri tem je, v nasprotju z uradnim tekmovaljem, mogoče izvesti meritve, obremenitev pa za kratek čas tudi prekiniti, denimo za zbiranje vzorcev, običajno krvi. Znan je primer, ko so švedskim alpskim smučarjem po takšni simulaciji tekmovalja odvzemali vzorce mišic kar na smučiču.

Time	Vo2	Vo2/kg	Vco2
13	0.6370	7.6000	1.0250
15	1.0900	13	1.1310
18	1.1090	13.2000	1.2400
21	0.8660	10.3000	1.0350
23	1.0040	12	1.0390
27	1.0820	12.9000	1.1230
28	1.2430	14.8000	1.1300
30	0.9630	11.5000	0.9100
31	0.4470	5.3000	0.4610
34	1.4860	17.7000	1.1790
36	1.7830	21.2000	1.4400
38	1.9710	23.5000	1.4910
41	1.8670	22.2000	1.4510
43	1.8350	21.8000	1.4030



Grafikon 1. Primer analize podatkov izmerjenih veličin (v zgornji preglednici je samo del podatkov, pridobljenih iz merilnega sistema) izmenjave plinov ($\dot{V}O_2$ in $\dot{V}CO_2$), do njihove analize in grafičnega prikaza. Primer analize kaže spreminjanje privzema kisika ($\dot{V}O_2$) in tvorbe CO_2 ($\dot{V}CO_2$) med nenadnim dvakratnim povečanjem obremenitve (najprej manj kot minuto, nato pa 4 minute) pri visoki intenzivnosti. Pri tem algoritmu omogoča natančno analizo časovnega poteka sprememb obeh veličin s pomočjo eksponentnih krivulj. Model nadomesti spremenljive izmerjene vrednosti. Računalniški program se izvaja v jeziku Matlab. Opaziti je razliko med $\dot{V}CO_2$ (rdeča barva) in $\dot{V}O_2$ (modra barva), kar pomeni, da se pri tem naporu tvori več CO_2 ($\dot{V}CO_2$), kot pa se privzame O_2 ($\dot{V}O_2$). Razliko imenujemo presežek CO_2 .





Grafikon 2. Različni načini obremenjevanja športnika z uporabo ergometrov: a) klasični večstopenjski test, v katerem se obremenitev povečuje z enakomernim prirastkom vsakih 3–5 min, b) hitri (ramp) način obremenjevanja, kjer je interval prirastka vsakih 30 s do 2 min, c) enostopenjski obremenitveni test z nenadnim povečanjem obremenitve, d) izmenično spreminjanje obremenitve. Tako je mogoče dobiti različne slike istega posameznika v različnih načinih obremenjevanja.

Za raziskovanje odziva organizma je zelo pomembno, da je obremenitev natančno definirana vnaprej (pri submaksimalnih naporih). Za to se uporabljajo ergometri, na primer tekoče (tekalne) preproge in cikloergometri (Slika 2). Obremenitev na cikloergometru je definirana z zavoro. Ta je običajno mehanska ali pa elektromehanska. Obremenitev na tekoči preprogi je definirana z opravljenim delom (sproščeno energijo), ta pa je odvisna od hitrosti teka, naklona teka, mase tekača.



Slika 2. Nekateri tipični ergometri, ki se uporabljajo v fiziologiji športnega napora: a) tekoča preproga, b) cikloergometer, c) veslaški ergometer in d) kajaški ergometer

Opazovanje obremenitve med simulacijo tekmovalnega napora na športnem terenu

Tekmovalni napor je po pravilu največji napor. Za opazovanje dogajanja pri tem naporu je zato najprej nujno poznati obremenitev. Ta se med takim naporom spreminja glede na počutje športnika, taktiko njegovega nastopa in nepredvidene dogodke, ki jih povzročajo sotekmovalci. Pri večini cikličnih športnih panog lahko vsaj v grobem spoznamo obremenitev s časovnim potekom spremembe hitrosti med tekmo. Te podatke lahko uporabimo pri poznejši simulaciji tekmovalnega napora, da bi ugotovili spremembe in odzive organizma (Slika 2, Grafikon 3, Slika 3, Grafikon 4 in Slika 4). Če poznamo tekmovalno hitrost, jo lahko s sodobnimi GPS-napravami (urami) natančno simuliramo s »trening tekmami«, saj lahko športnik nenehno nadzoruje ciljne podatke. Pred pomembnimi tekmovanji je smiselno opraviti več takih simulacij, ki omogočajo bolj natančno načrtovati tekmovalni nastop.

Opazovanje izoliranih gibov

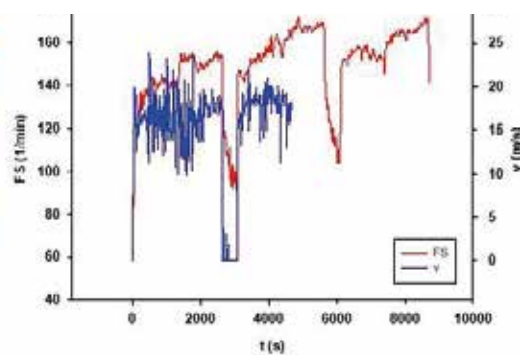
Športnika lahko opazujemo tudi pri **posameznem gibu ali seriji ponavljajočega se giba**, če želimo ugotoviti na primer zmogljivost posamezne mišice ali mišične skupine ali opazovati dogajanje v mišici. Za to se uporabljajo drugačni načini obremenjevanja, običajno pa gre za uporabo izometričnih ali izokinetičnih dinamometrov (Grafikon 5 in Grafikon 6). Pri teh ergometrih običajno



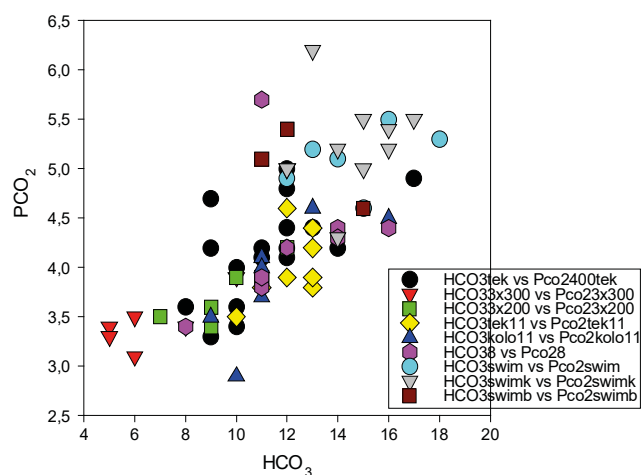
Slika 3. Mirko Vindiš pred Ol v Seulu (1988) na testiranju v Novi Gorici (levo) in Andraž Vehovar na testiranju na Zbiljskem jezeru pred Ol v Atlanti (1996). Oba sta uporabila prenosne naprave za merjenje izmenjave plinov in frekvence srca. Oboje je bilo mogoče spremljati ob robu stadiona ali na obali jezera.

Grafikon 3. Simulacija maratonskega nastopa 30 km pri treniranem maratoncu (Rateče, 2016). Tek se je vsakih 10 km prekinil zaradi odvzema vzorcev krvi in pitja. Opaziti je ohranjanje hitrosti pri 16–17 km/h, frekvenca srca ves čas narašča od 150 do 170 1/min, vsebnost glukoze se ves čas znižuje od 4,5 do 3,2 mmol/l (hipoglikemija), kljub napitku, telesna masa se zniža za približno 3 kg, volumen plazme se zniža za okrog 17 %. Simulacija pokaže neustrezen način vnašanja napitka.

Razdalja (km)	TM (kg)	[LA] (mmol/l)	[Glu] (mmol/l)
0	72	1,4	4,5
10	71	0,9	3,6
20	70	1,7	3,5
30	69	1,6	3,2



Slika 4. Merjenje izmenjave plinov med plavanjem (levo) in takoj po njem (desno), ko je mogoče tudi odvzem vzorcev krvi za opazovanje sprememb vsebnosti laktata ([LA]) in acido-baznega ter elektrolitskega statusa v krvi (desno).

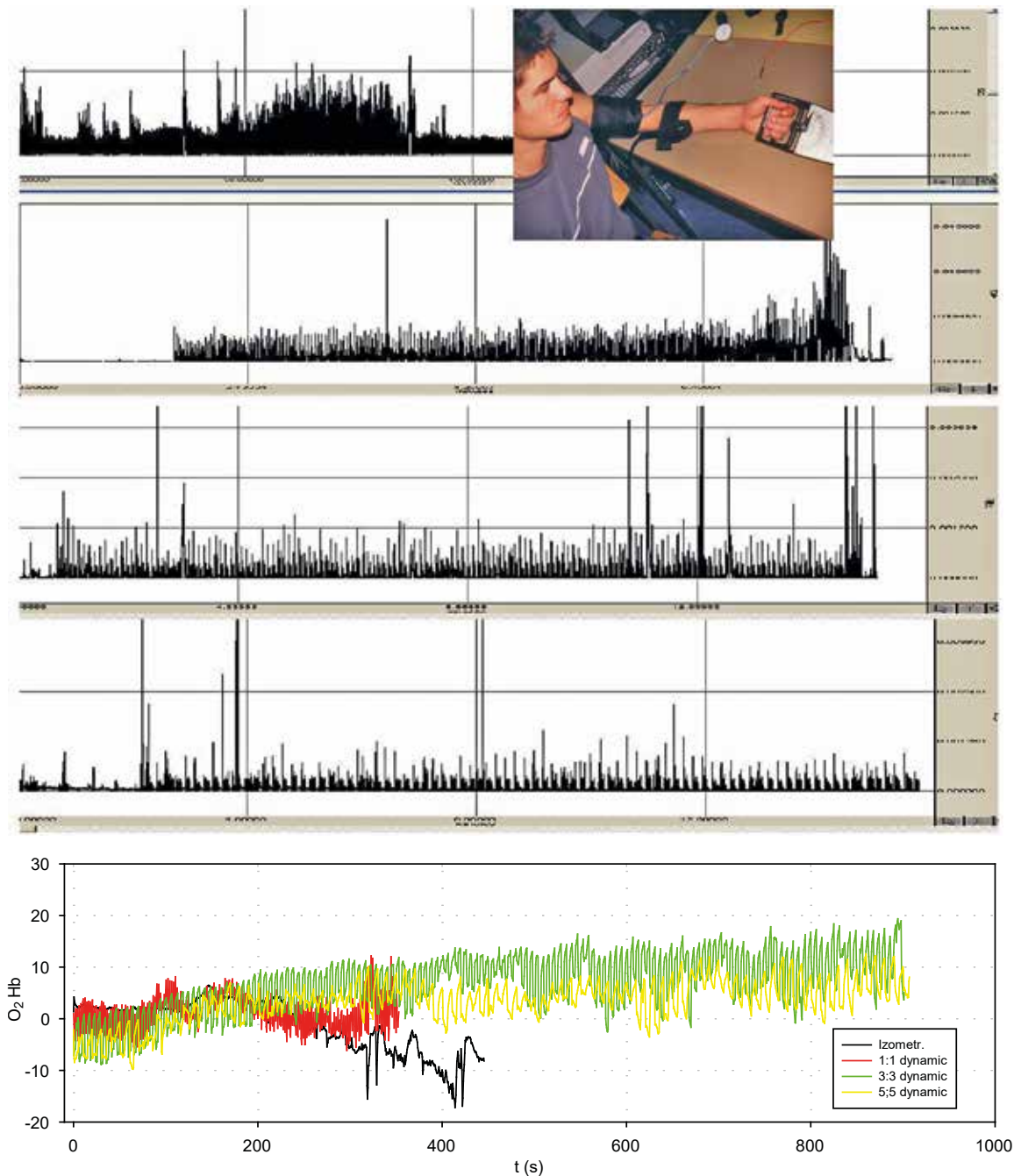


Grafikon 4. Razlika v delnem tlaku CO₂ (Pco₂) ob koncu največjega napora. Plavalci (sivi trikotniki in rjavi kvadrati) se izraženo razlikujejo od drugih, po višjih vrednostih.

spreminjamo moč, silo ali navor ... pri vnaprej izbrani kotni hitrosti. Seveda se pri tovrstnih opazovanjih lahko uporabijo tudi bolj zapleteni gibi, kot so skok, zamah, udarec ..., ki pa predstavljajo večji biomehanski izziv pri opazovanju naloge, predvsem pa pri definiciji, kaj je rezultat pri tej nalogi.

Drugi dražljaji

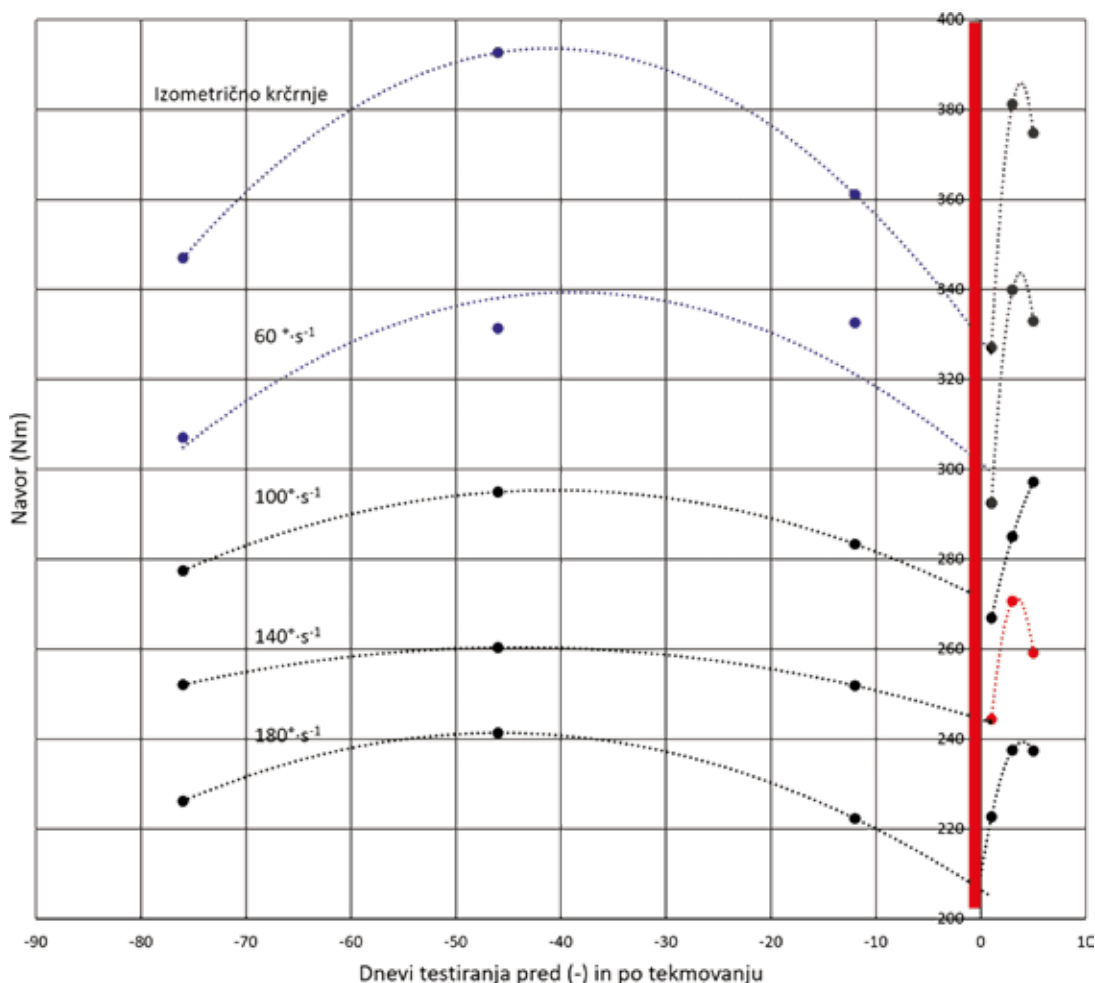
Obremenitev pa ni edini zunanji dražljaj, ki ga uporabljamo v Laboratoriju za biodinamiko. Najpomembnejši stresor, katerega



Grafikon 5. Opazovanje izometričnega in dinamičnega krčenja pri 15 kp (30 % največje izometrične sile) različnih oblik: 1 : 1, 3 : 3 in 5 : 5 (trajanje krčenja : trajanje sprostitve v sekundah), v zapestju (zgoraj). Na grafikonu (zgoraj) so prikazane sledi elektromiografskih signalov, spodaj pa sledi oksigeniranega hemoglobina (O_2Hb). Trajanje izometričnega krčenja (poskus je izveden dvakrat, z vmesnim odmorom) in dinamičnega krčenja je vsaj še enkrat krajše (ni razvidno iz grafikona, saj so razdelki trajanja (x-osi) različni). Iskanje povezav med trajanjem krčenja in značilnostmi O_2Hb poteka intenzivno v tem trenutku.

učinke opazujemo, je sistematična vadba vzdržljivosti, bodisi v pogojih športne vadbe ali pa v nadzorovanih poskusnih pogojih. Poleg tega pogosto uporabljamo tudi realne ali simulirane pogoje hipoksičnega okolja (povišana nadmorska višina) za opazovanje učinkov »višinske vzdržljivostne vadbe« (Rogla 2010–2012) ali pa za opazovanje učinkov bivanja in plezanja na alpinističnih odpravah v visoka gorstva (Gašerbrum 2001, Ama Dablam 2006, Elbrus 2014 – Slika 5).

Tehnologijo opazovanja predstavlja načeloma trifazni postopek. V prvi fazi pri športnikih, ki še niso prilagojeni na »višinsko vzdržljivostno vadbo«, opazujemo razliko v odzivu na obremenitev v normoksičnih in hipoksičnih pogojih. Hipoksične pogoje izzovemo: a) z vdihavanjem mešanice medicinskih plinov O_2 (15–18 %), CO_2 (0,04 %) in N_2 (preostanek prostornine) (Slika 5), kar imenujemo normobarična hipoksija, b) z uporabo »hipoksičnih prostorov«, kjer se v prostoru ohranja plinska mešanica prej omenjene sestave, c) v



Grafikon 6. Izometrično in izokinetično iztegovanje v kolenu pri različnih kotnih hitrostih v kolenskem sklepu. Prikazan je rezultat poskusa, v katerem je preiskovanec najprej tri mesece treniral (negativne vrednosti dni testiranja pred tekmo), kar predstavlja izhodišče, nato pa je opravil tekmovanje v ekstremno vzdržljivostnem teku in nazadnje še dnevna opazovanja (časovni potek) vračanja navorov do ponovnih izhodiščnih vrednosti. Rezultati kažejo, da se navor povrne v izhodiščne vrednosti po 5–7 dnevih, medtem ko se je tekaška zmogljivost povrnila do izhodiščnih hitrosti šele po mesecu dni.



Slika 5. Opazovanje izmenjave plinov, dihanja, oksigenacije krvi, mišic in možganov ter presnove ogljikovih hidratov in maščob pred alpinistično odpravo. Poskus je opravljen v normoksičnih in hipoksičnih pogojih.

»hipoksičnih komorah«, kjer se hipoksija doseže z redukcijo tlaka v zraku (hipobarična hipoksija), in d) z naravno hipoksijo z bivanjem in vadbo na povišanih nadmorskih legah. Poseben je še pristop pri opazovanju v ekstremnih hipoksičnih pogojih, ki jih premagujejo alpinisti na visokogorskih odpravah. Tam je mogoče opazovati spremembe v baznih taborih na višinah okrog 5000–6000 m nadmorske višine. Poseben vidik opazovanja so »višinski laboratoriji« v planinskih kočah ali posebnih stavbah v visokogorju Alp (Slika 6, zgoraj) ali Himalaje (Slika 6, spodaj).

■ Opazovanje pomembnejših funkcij organizma med naporom

Številne meritve niso mogoče brez predhodnega odvzema bioloških vzorcev

Sestava krvi se med naporom dramatično spreminja. Del sprememb je povezan s pretokom krvi skozi različne preseke ožilja, s



Slika 6. Planinska postojanka Rifugio Torino (pod Mont Blanc, 3400 m), »višinski laboratorij« poskusa učinka dejanske in normobarične hipoksije na prezgodaj rojene moške (2020–2023) (zgoraj), in Piramida (Himalaja, 5000 m), raziskovalna postaja italijanskih raziskovalcev.

prerazporeditvijo vode iz krvi v mišice, s prenosom snovi iz krvi v organe in pa s prenosom snovi iz organov v kri. To daje krvi in njenim sestavinam značaj tipičnega dinamskega sistema, kar preprosteje pomeni velik izziv za razumevanje dogajanja, še večji pa za kvantitativno analizo. Delno rešitev problema je odvzem vzorcev.

Odvzem vzorcev krvi med naporom nasploh poteka na dva načina: a) odvzem mikrovzorcev in b) odvzem večjih vzorcev. Mikrovzorci krvi se odvzema iz ušesne mečice, ki pa mora biti pred tem ustrezno prekrvljena (Slika 7, zgoraj). Kri se zbira v steklene kapilarne cevke, ki so na notranji strani prevlečene s heparinom. Ta se v vzorcu raztopi in preprečuje strjevanje krvi. Če se meritev opravi takoj, vzorca ni treba obdelovati. Če pa bo vzorec izmerjen po uri ali dveh, ga je treba zapreti, še prej pa v cevko spraviti del kovinske žice, s katero s pomočjo magneta kri večkrat premešamo. Tak vzorec je treba do meritve shraniti v ledeni vodi. Večje vzorce se običajno odvzame z venskimi katetri (Slika 7, na sredini). Pri tem je treba pri nekaterih meritvah zagotoviti, da je venska kri čim bolj arterializirana. Pri odvzemu na podlakti zato celotno podlaket grejemo z grelni manšeto. Podoben način shranjevanja krvi se izvede tudi z večjimi vzorci, ki so v siringah, posebej izdelanih za te meritve. Tudi te je treba hraniti največ uro ali dve, zaprte v ledeni vodi.

Najbolj invaziven poseg, povezan z naporom, je igelna mišična biopsija (Slika 7 spodaj). Je precej invaziven poseg, toda ob uporabi sodobnih, dokaj tenkih biopsijskih igel je sprejemljiv za uporabo v raziskavah. Omogoča, da ob odvzemu pred naporom lahko sledi nov odvzem med naporom ali po njem, seveda ob visoko strokovnih posegih. Posegi so po vnaprejšnji pripravi lahko tudi zelo hitri. Problem majhnih vzorcev pa poveča variabilnost rezultatov, saj je mišica precej nehomogena struktura.

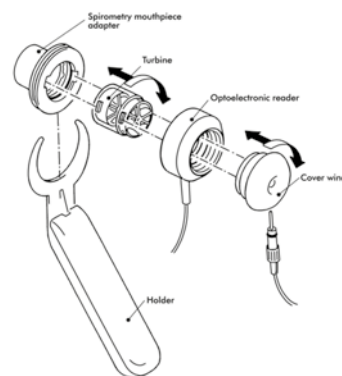


Slika 7. Odvzem mikrovzorca krvi iz ušesne mečice (zgoraj) in s pomočjo katetra (večji vzorci) (na sredini). Odvzem vzorca mišice (igelna biopsija) iz m. quadriceps femoris (vastus lateralis) (spodaj).

Ventilacija in izmenjava plinov

Skupina kazalnikov – ventilacija ($\dot{V}_E$), privzem kisika ($\dot{V}O_2$) in tvorba CO_2 ($\dot{V}CO_2$) – odraža tako delovanje pljuč kot presnovo med naporom. Pri submaksimalnem naporu je mogoče dobro oceniti presnovni energijski ekvivalent, pri maksimalnem naporu pa je ta ocena nekoliko manj natančna, tudi če jo dopolnimo z dodatnimi kazalniki. Tovrstne meritve potekajo z merjenjem zraka v ustih. Prvi senzor je v posebej izoblikovani šobi, v kateri je senzor za pretok (Slika 8, levo). Ta je lahko izdelan kot turbina (Slika 8, na sredini in desno) (Cosmed, Rim, Italija) ali pa deluje na principu razlike v temperaturi in tlakah (Sensor Medics Yorba Linda Kalifornija). Frekvenca vrtenja turbine ter tudi razlika v tlaku in temperaturi je pri danem preseku šobe sorazmerna s pretokom zraka (Bernoullijev zakon).

Šoba za merjenje pretoka zraka je narejena tako, da sta nanjo pritrjeni dve cevki. Ena je povezana s črpalko zraka, druga meri spremembe tlaka v zraku, ki potuje skozi šobo. Zrak, ki se stalno črpa



Slika 8. Šoba za merjenje pretoka predihanega zraka, levo, izkorišča značilnosti Venturijeve cevi (Sensor Medics Yorba Linda Kalifornija). Klasičen način merjenja ventilacije prikazuje desna slika, ki kaže ohišje s turbino. Ta se med dihanjem vrti s proporcionalno kotno hitrostjo, kot znaša pretok zraka (Cosmed K4 ali 5, Rim, Italija).

iz šobe, potuje do senzorjev za O_2 in CO_2 (Slika 9). O_2 je mogoče izmeriti na več načinov. Klasična metoda izkorišča paramagnetne značilnosti O_2 (Kralj, 1993; Enderle in Branzino, 2012). Plinska mešanica z O_2 različno vpliva na magnetno polje, odvisno od vsebnosti O_2 . Če mešanico v komori segrejemo z vročo platinasto žico, nastane »magnetni veter«, ki je premo sorazmeren z vsebnostjo O_2 . To tudi lahko izmerimo. Danes so pogostejše uporabljeni senzorji O_2 (Slika 9, desno) kot elektrode (Cosmed K4 in 5) ali kot posebni senzorji (Sensor Medics Yorba Linda Kalifornija ali Biopac). Merjenje CO_2 v izdihanem zraku poteka na temelju značilnosti specifične absorpcijske valovne dolžine infrardeče svetlobe (Kralj, 1983). Pri tem se plin, ki vsebuje CO_2 , segreje proporcionalno z vsebnostjo CO_2 , kar je mogoče izmeriti. Danes so pogostejše v uporabi elektrode, občutljive na P_{CO_2} . Električni tok, ki se sproži v tokokrogu elektrode, je proporcionalen s P_{CO_2} in ga je mogoče izmeriti. Prednost takega merjenja je v visoki odzivnosti elektrod P_{CO_2} .

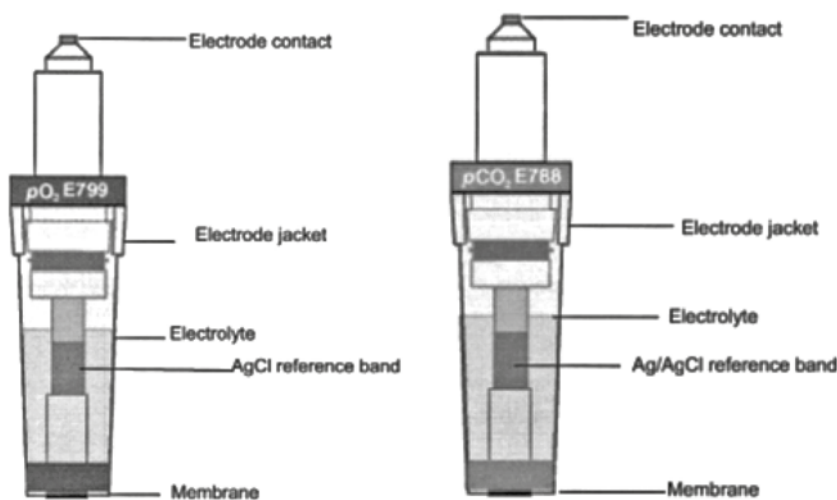
Izmerjene vrednosti računalniški procesor spremeni v digitalne vrednosti (digitalizira) tako, da jih ne vzorči z določeno frekvenco, ampak uporabi meritve obeh plinov v zadnjem delu vsakokratne-

ga izdiha (metoda breath-by-breath) (Slika 10). Ta zrak najboljše izraža vrednosti v krvi, te pa vrednosti v obremenjenih mišicah. Seveda to velja le, ko so obremenjene velike skeletne mišice, na primer pri teku, hoji, plavanju, smučarskem teku, veslanju, kolesarjenju. Tak način merjenja ni primeren za opazovanje izmenjave plinov posameznih mišic. Meritev je zaključena s prikazovanjem vrednosti.

Naprave je treba umerjati na začetku vsakodnevne meritve (prostornine in pretoki zraka) in pred meritvijo, po vsaki prekinitvi (testu) (senzorji za O_2 in CO_2). Vsak proizvajalec predvideva poseben protokol umerjanja.

Delovanje srca in ožilja

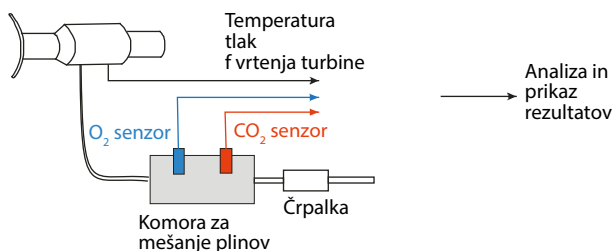
Delovanje srca običajno opazujemo prek njegove frekvence, z uporabo »pulzmetrov«, ki delujejo na osnovi električnih signalov, ki se ritmično prožijo med delovanjem srca, ali sprememb optičnih značilnosti (pulzne spremembe) krvi, ki potuje po žilah in jih je mogoče zaznati s presvetlitvijo z infrardečo svetlobo. V laboratoriju se merjenje frekvence srca dopolni z elektrokardiogramom (EKG), ki med naporom omogoča izračun tudi drugih pomembnih kazal-



Slika 9. Tehnologija zaznavanja O_2 in CO_2 v izdihanem zraku. Levo sta elektrodi P_{O_2} in P_{CO_2} , desno je posebno zaznavalo O_2 , ki je vgrajeno v Senzor Medics Vectra (Yorba Linda, ZDA).



Ustnik z Venturijevo šobo
za merjenje ventilacije



Slika 10. Shema merjenja privzema O_2 ($\dot{V}_O_2$) in tvorbe CO_2 ($\dot{V}_{CO_2}$).

nikov, kot sta utripni volumen srca in minutni volumen srca. Za to, da bi lahko opazovali EKG, potrebujemo primeren način odvzema signala. Ta je mogoč z uporabo makroelektrod (velika površina elektrode), postavljenih na značilna mesta na telesu, odvisno od tega, koliko in katere odvoje EKG želimo posneti. Elektrode so kovinske, kvaliteto spoja s kožo pa izboljšamo z elektrodno pasto, ki jo nanesemo na mesto spoja. Pri merjenju EKG med naporom je zelo pomembno zmanjšati številne vire šumov, na primer šume, ki izvirajo iz električne aktivnosti obremenjenih mišic (okončine in dihalne mišice), prav tako pa šumi izvirajo iz mehanskih motenj (gibanje) in drugih električnih motenj. Frekvenco srca lahko merimo na različne načine: v mirovanju jo lahko spremljamo tako, da preštejemo utripe v minuti. Lahko pa opazujemo časovne intervale med posameznimi utripi in jih primerjamo med seboj. Dobimo »variabilnost srca«. Z analizo jakosti frekvenčnega spektra (hitra Fourierova transformacija – FFT) pa lahko ocenimo jakost spektra frekvence srca pri višjih in nižjih frekvencah. Spremembe v obeh območjih so povezane z učinki simpatičnega ali parasimpatičnega živčevja. Ker je učinkov na te pojave še več, je razlaga še pomanjkljiva, posebno pri naporu.

Kljub temu, da je merjenje frekvence srca najpogostejša fiziološka meritev pri športnem naporu, pa žal ne daje veliko informacije o naporu. Zanimivo je, da se z vadbo veliko bolj spreminja frekvenca v mirovanju in nizko intenzivnih obremenitvah. Bolj ko opazujemo

frekvenco pri najvišjih obremenitvah, manj sprememb opazimo. Najmanj ali nič se spreminja največja srčna frekvenca. Uporabnost te meritve se pokaže le v odvisnosti od intenzivnosti same obremenitve: koliko znaša na primer hitrost teka pri izbrani frekvenci srca ali obrnjeno.

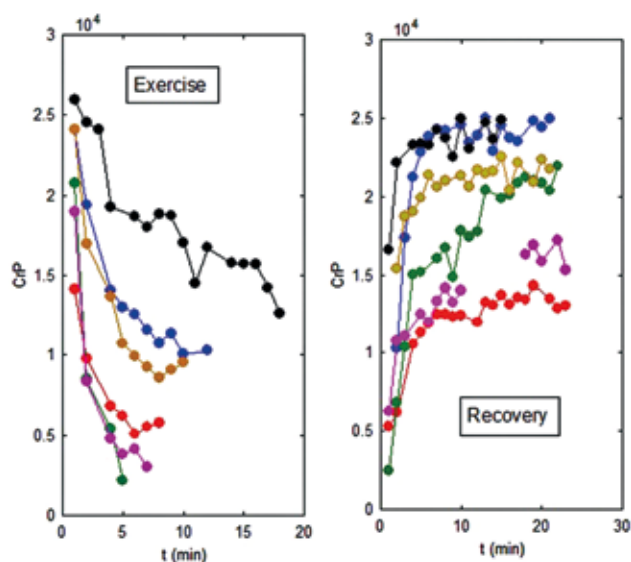
Presnova mišic med naporom

Presnova mišic se običajno opazuje neinvazivno, z magnetno resonančno spektroskopijo (MRS) (Slika 11, Grafikon 7) in slikanjem (Enderle in Brenzino, 2021; Usaj, Sepe in Serša, 2017), njena oksigenacija je ocenjena z bližnjo infrardečo spektroskopijo (NIRS) (Ewel, 1997; Nearly, 2004) (Slika 12), lahko pa presnovo opazujemo invazivno z merjenjem substratov, produktov encimov v biopsijskem vzorcu mišice, in z razlikami v vsebnosti snovi med arterijsko in venosko krvjo določene mišice. Napor mišice pa lahko ocenjujemo prek značilnosti njene električne aktivnosti (EMG), včasih s tenziomiografijo (TMG). Posredno lahko opazujemo presnovo v mišici med dolgotrajnim naporom tudi prek izmenjave plinov, če se napor premaga z veliko mišično maso (tek, kolesarjenje, plavanje ...).

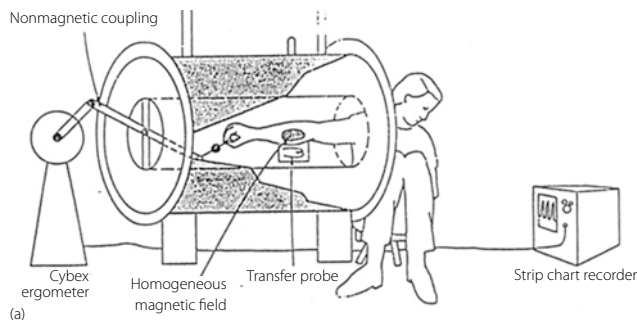
Predstavljeni meritvi spadata v skupino neinvazivnih meritev. Prispevata lahko pomemben vir podatkov za razumevanje presnove v mišicah. Vseeno pa brez invazivnega jemanja vzorcev mišic (mišična igelna biopsija) ne gre (Slika 7, spodaj). Zgradba mišice, sestava mišičnih vlaken, vsebnost goriv in presnovnih produktov, dejavnost encimov in potek kemijskih reakcij je mogoče izmeriti samo v biopsijskem vzorcu, ki se ga po odvzemu iz mišice obdela tako, da je primeren za biokemijske in ali histokemijske analize. Za prve se tkivo običajno zmelje, scentrifugira in obdela z reagenti. Meritve potekajo običajno z različnimi svetlobnimi spektrometri, masnimi spektrometri in drugimi merilnimi sistemi. Za histokemijske analize je treba vzorec najprej očistiti morebitnega vezivnega in maščobnega tkiva, nato globoko zamrzniti v tekočem dušiku. Sledi običajno rezanje rezin v kriostatu in opazovanje z visokozmogljivimi mikroskopi, vse do ločljivosti atomov.

Spremembe v krvi

Kri je najpomembnejši prenašalec snovi v organizmu. Med naporom prinaša obremenjenim mišicam kisik, glukozo in maščobne kisline, odnaša pa presnovne produkte, kot so ogljikov dioksid, protoni, laktat, toplota in drugi. Pri tem se vsebnost različnih snovi v krvi spreminja. To lahko pomeni motnjo, na katero se organizem odzove, saj želi ohraniti stacionarno notranje okolje, v katerem najbolj deluje. Pri tem sta dva procesa uravnavanja med naporom



Grafikon 7. Spreminjanje relativnih vrednosti kreatin fosfata (CrP) v podlaktičnih mišicah med izometričnim krčenjem do utrujenosti (levo) in v odmoru (desno). Poskus je izveden na šestih preiskovancih (Usaj, spletna stran).



Slika 11. Merjenje presnove visokoenergijskih fosfatov in pH v mišici poteka z magnetno resonančno spektroskopijo (MRS) v superprevodnem magnetu z vzburjenjem spina jeder fosforja (P). Ta se dogaja s pomočjo radijskih valov za P specifične frekvence.



Slika 12. Oksigenacijo mišice opazujemo z uporabo bližnjega infrardečega spektroskopa (NIRO 200, Hamamatsu, Japonska). Ta s pomočjo laserske svetlobe iz vira valovne dolžine 760 in 720 nm prodre v tkivo in se deloma odbije v senzor (optoda), kjer se na osnovi Beer-Lambertovega zakona analizira v O_2Hb (oksigeniran hemoglobin) in HHb (deoksigeniran hemoglobin). Slika prikazuje položaj senzorja med meritvijo in merilno napravo.

posebno pomembna. Gre za uravnavanje delnih tlakov plinov O_2 in CO_2 ter uravnavanje acido-baznega in elektrolitskega ravnovesja v krvi. Za to se uporabljajo plinski in elektrolitski analizatorji krvi (Slika 12).

Meritve v krvi temeljijo na merjenju pH krvi (Adams, 1979). Kopičenje protonov (ionov H^+) je mogoče izmeriti z razliko v električnem toku med referenčno, kalomelsko elektrodo in stekleno pH-elektrodo, v kateri je tudi vzorec krvi (Slika 14). Da bi lahko izmerili nako-pičene protone, je treba v merilnem okolju zagotoviti stalno temperaturo $37^\circ C$ in zmanjšati električne motnje iz okolja. Pomemben

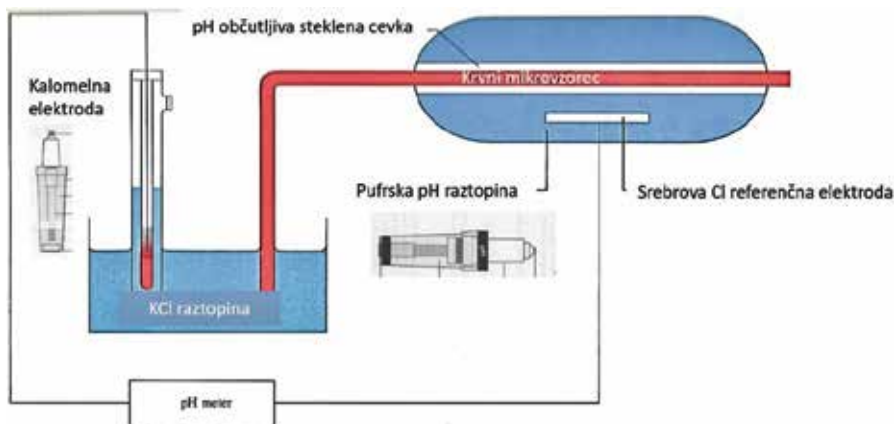


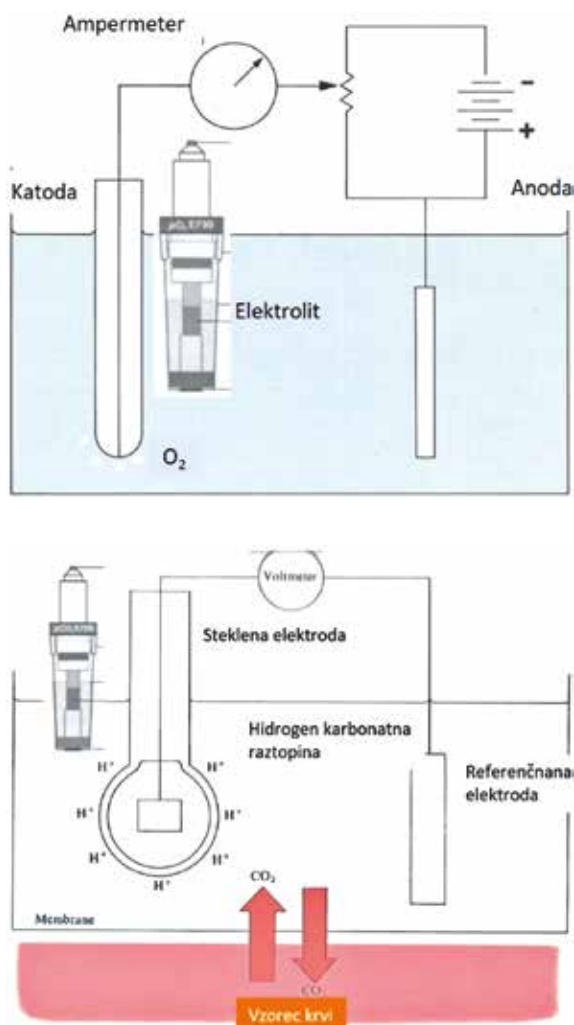
Slika 13. Različni modeli plinskih in elektrolitskih analizatorjev krvi. Od leve so prenosni plinski analizator krvi ABL 80, elektrolitski analizator EML 105, kombinirani analizator ABL80FLEX in acido-bazni analizator ABL 5.

del sistema za merjenje je pH-elektroda, ki spremeni svoj tok ob prehodu ionov H^+ iz vzorca krvi skozi porozno membrano. Podo-ben princip merjenja se uporablja tudi pri merjenju delnega tlaka kisika (P_{O_2}) (Adams, 1979) in ogljikovega dioksida (P_{CO_2}) (Adams, 1979). Pri merjenju P_{O_2} se uporablja za kisik občutljiva kisikova elektroda (Slika 15, zgoraj). Pri merjenju P_{CO_2} (Slika 15, spodaj) pa v elektrodo najprej difundira CO_2 , ki v hidrogenkarbonatni raztopini (HCO_3^-) sproži reakcijo tvorbe ogljikove kisline (H_2CO_3). Pri tem se sprostijo ioni H^+ , ki spremenijo pH raztopine. Po principu pH-elektrode se poveča električni tok, ki je soracionalen z vsebnostjo ionov H^+ , ta pa s P_{CO_2} v elektrodi.

Merjenje vsebnosti laktata ($[LA]$) v krvi je verjetno najpogostejša meritev v krvi v športni praksi, toda ne v fiziologiji napa nasploh. $[LA]$ je mogoče izmeriti na različne načine. Klasična fotometrijska metoda uporablja princip obarvanja raztopine z vzorcem krvi, ki je soracionalno z vsebnostjo laktata. Leva slika (Slika 16) prikazuje fotometer LP20 (dr. Lange, Nemčija) s kivetami. V teh je raztopina, v katero se izpipetira vzorec krvi. Monokromatska svetloba presvetli vzorec skozi ustrezen barvni filter vsakih 30 s in meri spremembo s svetlobnim senzorjem. Ko se spreminjanje izmerjene svetlobe ustali, lahko odčitamo $[LA]$. Na tem analizatorju je mogoče meriti tudi druge veličine (glukoza, hemoglobin, eritrocite, hematokrit) po enakem principu. Accusport (Slika 16 na sredini) je tudi kombinirani analizator, ki uporablja enak princip merjenja $[LA]$ in $[GLU]$, le da se obarva majhno območje na merilnem lističu. Tretji analizator (Slika 16, desno) je edini specifičen samo za $[LA]$. Njegovi merilni lističi delujejo po principu, da se v lističu ob stiku s krvjo sproži električni tok, soracionalen z $[LA]$, ki ga nato izmeri analizator Lactate Pro 2 (Arkray, Japonska).

Slika 14. Shematski prikaz merjenja pH krvi. Temelji na razlikah v električnem toku, ki ga proizvaja referenčna (kalomel) elektroda in merilna pH-elektroda. Sprememba toka nastane zaradi različne vsebnosti ionov H^+ .





Slika 15. Shema merjenja P_{O_2} (delnega tlaka kisika) (zgoraj) in P_{CO_2} (delnega tlaka CO_2) (spodaj). V shemah merjenja so v povečani velikosti prikazane originalne oblike pripadajočih elektrod.

Spremembe presnove ogljikovih hidratov in maščob med dolgotrajnim naporom

Presnovo ogljikovih hidratov in maščob je mogoče proučevati vsaj na dva pomembna načina: kalorimetrijsko (posredno) in s pomočjo stabilnih izotopov (neposredno). Posredno merjenje presnove maščob in ogljikovih hidratov je mogoče le pri submaksimalnem, stacionarnem naporu. Ta metoda izkorišča značilnost omenjenih presnov, da se aerobna razgradnja ogljikovih hidratov in maščob zaključi z $\dot{V}O_2$ in $\dot{V}CO_2$. Ker presnova maščob pomeni večji $\dot{V}O_2$ v primerjavi z ogljikovimi hidrati, lahko izračunamo energijski delež enega in drugega goriva tudi med prej omenjenim naporom, ne pa tudi pri največjem naporu.

Presnovo ogljikovih hidratov in maščob je mogoče opazovati tudi neposredno: označimo jih tako, da sledimo njihovi presnovi od zaužitja do končne razgradnje na O_2 in CO_2 . Za opazovanje presnove ogljikovih hidratov je tako primerna označitev s stabilnim izotopom ogljika ^{13}C . Tako dobimo ^{13}C -glukozo, ki jo zaužijemo v napitkih ali pa jo v laboratorijskih pogojih prejmemo z infuzijo, načeloma v arterijo. Ker je končni produkt presnove glukoze CO_2 , lahko izmerimo, koliko je celotnega CO_2 prišlo iz glikogena v mišicah (ta ni označen s ^{13}C , temveč ^{12}C in je običajno v organizmu) in koliko iz napitka. Ta je označen kot $^{13}CO_2$. Obe vrsti CO_2 je mogoče diferencirati z meritvami v masnih spektrometrih, če med poskusom po primernem postopku odvezemo vzorce izdihanega zraka. Podoben princip je uporabljen tudi pri merjenju razgradnje maščob, ki pa so v tem primeru označene drugače.

■ Opravljena meritev je šele začetek na poti k razumevanju nekega pojava med naporom. Najprej je potrebna analiza podatkov.

Dinamičnost začetne spremembe pri enostopenjskem nenadnem povečanju obremenitve

Dinamičnost začetnega spreminjanja po začetnem nenadnem povečanju obremenitve iz mirovanja je del klasičnih študij iz osemdesetih let prejšnjega stoletja in se še danes intenzivno proučuje, saj v določenih pogojih izraža presnovo v mitohondrijih obremenjenih mišic. Največja pozornost je bila pri tem namenjena $\dot{V}O_2$. Ta se



Slika 16. Prenosni analizatorji mikrovzorcev krvi: dr. Lange LP20, ki uporablja kivete in klasično fotometrijsko tehnologijo, Accusport, ki uporablja merilne lističe, na katerih poteka reakcija, in Lactate Pro 2 (Arkay, Japonska), ki edini omogoča samo eno meritev (specifičen za vsebnost laktata) na merilnih lističih.

je namreč pri nizko intenzivni obremenitvi povečala tako, da jo je bilo mogoče opisati z eksponentno funkcijo (Enačba 1).

$$\dot{V}O_{2(t)} = \dot{V}O_{2(0)} + \dot{V}O_{2(\text{end})} \cdot (1 - e^{-c \cdot t}) \quad (\text{Enačba 1})$$

V tej je $\dot{V}O_{2(t)}$ $\dot{V}O_2$ v trenutku t , $\dot{V}O_{2(0)}$ $\dot{V}O_2$ na začetku obremenitve, $\dot{V}O_{2(\text{end})}$ $\dot{V}O_2$ na koncu, c je eksponent, t je časovna konstanta in t je čas. Torej se $\dot{V}O_2$ poveča najprej hitro, pozneje pa počasneje, dokler ne doseže končne vrednosti (govorimo o enofazni spremembi $\dot{V}O_2$) (Grafikon 8, levo). Če se intenzivnost obremenitve poveča nad vrednosti, ki jih določa laktatni prag ali prag izmenjave plinov, se iz ene eksponentne krivulje (prva faza) v prvem delu razvije dodatna eksponentna krivulja (druga faza), ki doseže višjo končno vrednost, kot bi jo, če bi pojav lahko opisali le z eno krivuljo (Grafikon 8, desno).

Stacionarno stanje

Med stacionarno obremenitvijo pričakujemo, da se bo začetna sprememba ali odziv športnikovega organizma ustalil na neki stacionarni ravni, ki se bo ohranjala do konca obremenitve. Tak primer je dolgotrajni napor različne intenzivnosti. Značilna je sprememba vsebnosti laktata, ki v območju 3–6 mmol/l lahko doseže stacionarne vrednosti, pri nižjih ali višjih intenzivnostih pa ne. Ta pojav razlikuje bolj vzdržljive od manj vzdržljivih. Če stacionarno spreminjanje nekega kazalnika ponazorimo s premico:

$$[LA]_t = [LA]_0 + b \cdot t \quad (\text{Enačba 2})$$

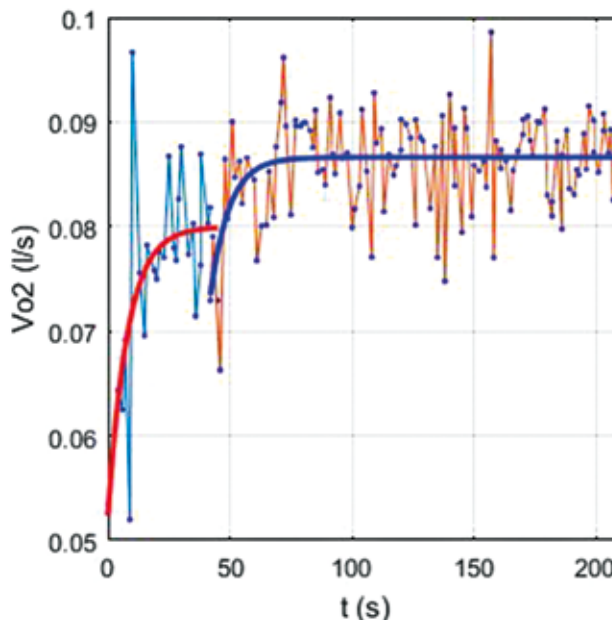
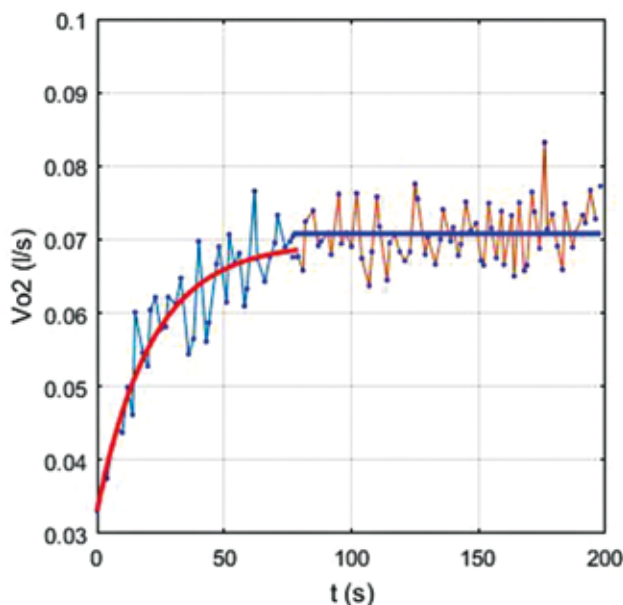
pri čemer je $[LA]_t$ vrednost vsebnosti laktata skozi trajanje (t) obremenitve, $[LA]_0$ je izhodiščna vsebnost ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$), b pa prirastek laktata ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), ki v tem primeru znaša 0, potem štejeemo, da je opazovana sprememba ali odziv organizma v stacionarnem stanju, seveda z vidika $[LA]$. Seveda je ta odziv v času le redko stacionaren, zato je treba vsakokrat preveriti, ali stacionarnost sploh obstaja. Torej, z uporabo regresijske metode najmanjših kvadratov lahko izračunamo vrednosti obeh koeficientov v Enačbi 2. Dejansko spreminjanje različnih kazalnikov ni nikoli idealno premo sorazmerno. Torej odstopanja med izmerjenimi vrednostmi in izračunano premico (rezidualne vrednosti) predstavljajo negotovost

merjenja (napako). Ko to napako izračunamo, je pomembno, da ugotovimo njen izvor. Ta je namreč lahko posledica negotovosti merilnega postopka ali merilne naprave, lahko pa je posledica pomembnega fiziološkega pojava. Tega so prepoznali v hkratni tvorbi in porabi laktata v mišici in v organizmu med dolgotrajnim naporom, kot dinamski sistem drugega reda (Grafikon 9).

Predstavljena simulacija je narejena tako, da se izogne začetnim spremembam, ki predstavljajo neskladje v časovnem poteku tvorbe in porabe laktata. Medtem ko se tvorba laktata lahko hitro razvije, pa poraba sledi spremembam privzema kisika ($\dot{V}O_2$). Laktat se lahko razgradi le v aerobnih procesih. Pri športnem naporu zmerne intenzivnosti to traja tudi do 5 minut. Po tem času se tvorba in poraba laktata ustalita, koeficienti prirastkov so stalni (konstante), zato so spremembe premočrtne. Če je tvorba manjša od porabe, se $[LA]$ zmanjšuje (Grafikon 9, levo). Stacionarno stanje za $[LA]$ se doseže samo, če sta prirastka enaka, pa čeprav je vsebnost obeh različna (Grafikon 9, na sredini). $[LA]$ se ves čas enakomerno povečuje, če je prirastek tvorbe večji od prirastka porabe (Grafikon 9, desno).

Predstavljena simulacija je narejena tako, da se izogne začetnim spremembam, ki predstavljajo neskladje v časovnem poteku tvorbe in porabe laktata. Medtem ko se tvorba laktata lahko hitro razvije, pa poraba sledi spremembam privzema kisika ($\dot{V}O_2$). Laktat se lahko razgradi le v aerobnih procesih. Pri športnem naporu zmerne intenzivnosti to traja tudi do 5 minut. Po tem času se tvorba in poraba laktata ustalita, koeficienti prirastkov so stalni (konstante), zato so spremembe premočrtne. Če je tvorba manjša od porabe, se $[LA]$ zmanjšuje (Grafikon 9, levo). Stacionarno stanje za $[LA]$ se doseže samo, če sta prirastka enaka, pa čeprav je vsebnost obeh različna (Grafikon 9, na sredini). $[LA]$ se ves čas enakomerno povečuje, če je prirastek tvorbe večji od prirastka porabe (Grafikon 9, desno).

Stacionarno stanje pri športnem naporu ima nekaj posebnosti, ki jih moramo upoštevati:



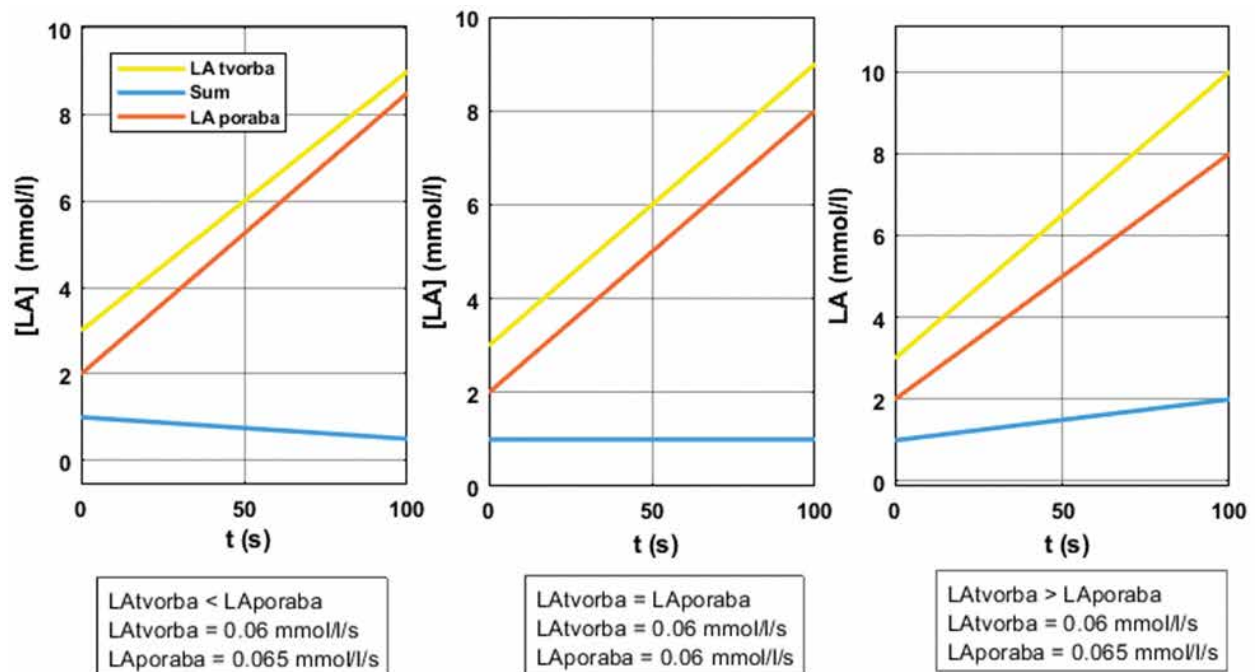
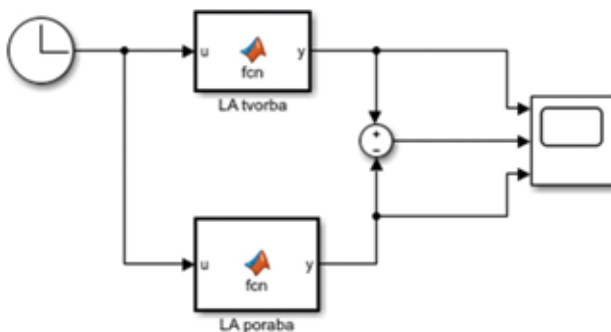
Grafikon 8. Pri zmerni intenzivnosti obremenitve je časovni potek $\dot{V}O_2$ mogoče opisati z eksponentno krivuljo (Grafikon 8, levo; Enačba 1). Če sledimo spremembam pri nadaljnjem povečanju intenzivnosti obremenitve, se amplituda obeh faz povečuje (Grafikon 8, desno). Pojavi se lahko tudi dodatno »lezenje« $\dot{V}O_2$, ko se ravni, končni del krivulje zaključi s premočrtnim povečanjem vrednosti. Ta pojav ni narisano na diagramu.

- Pojav stacionarnega stanja lahko opazimo šele nekaj minut po začetku obremenitve.
- Stacionarno stanje ni pojav, ki bi se ohranjal v nedogled. Vedno je vezan na določen interval, potem pa se spremeni v nestacionarnih spremembah.

Nestacionarne spremembe med naporom

- Nadzorovano enakomerno povečevanje intenzivnosti obremenitve (večstopenjski obremenitveni test)

Enakomerno (nestacionarno) povečevanje obremenitve v večstopenjskem obremenitvenem testu povzroča nepričakovane spremembe v ventilaciji ($\dot{V}_E$) in tvorbi CO_2 ($\dot{V}_{\text{CO}_2}$). Pojavita se »praga« v obeh spremembah (VT in GET) (Grafikon 10, na sredini). Podobno je pojav »pragov« mogoče zaznati tudi pri kazalnikih oksigenacije v mišicah (O_2Hb in HHb). Pojavita se O_2HbT in HHbT (Grafikon 10, spodaj). Analiza podatkov zahteva izračunavanje odstopanj od modelnih vrednosti, ki so na grafikonih zgoraj prikazane kot rdeče in rumene točke, ki odstopajo od vrednosti 0. Gre za rezidualne vrednosti (odstopanja ali napake), ki se med računanjem modela morajo v čim večji možni meri približati vrednostim 0.



Grafikon 9. Zgornji del predstavlja blokovni diagram učinka hkratne tvorbe in porabe laktata na njegovo vsebnost v krvi, ki je prostor s stalno prostornino, približno 5–6 litrov. Spodnji grafikon pa predstavljajo simulacijo sprememb v tvorbi in porabi laktata na njegovo vsebnost. Lahko ugotovimo, da že majhne spremembe enega in drugega pomembno vplivajo na pojav stacionarnega stanja za laktat (LAss).

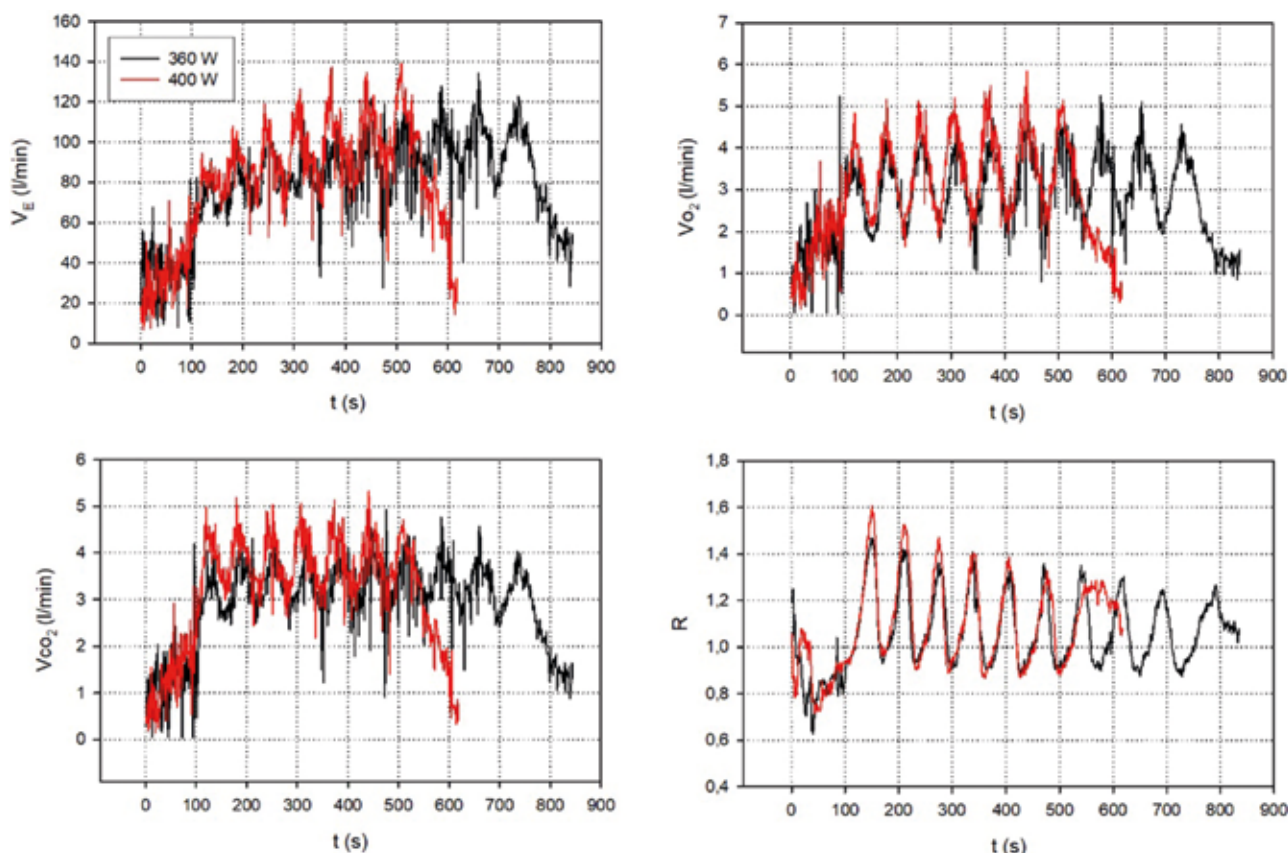
Proučevanje, kako se posamezni kazalniki spreminjajo v odvisnosti od obremenitve (Grafikona 10 in 11), omogoča opazovanje skupine pojavov, ki se običajno začnejo s spremembo vzdraženja dodatnih motoričnih enot istega tipa ali s postopnim prehodom na povečano vzdraženje vlaken drugih tipov, spremembo v aerobnih in anaerobnih energijskih procesih in spremembo v homeostatskih odzivih organizma. Dovolj natančno opazovanje vseh hkrati pokaže razlike med različno vzdržljivimi (Maud in Forster, 1995; Usaj, 2014).

Intenzivnost obremenitev se spreminja s stalno periodo

Pri vseh vrstah intervalne vadbe se izmenjujeta napor in odmor v enakih intervalih in pri enaki intenzivnosti. Kljub tej navidezni enostavnosti se pri poskusu merjenja sprememb in odzivov športnikovega organizma srečamo z nekaterimi težavami najprej pri merjenju, nato pri vzorčenju izmerjenih vrednosti, na koncu pa še pri analizi podatkov.

Intervalno vadbo, pri kateri se obremenitev izmenjuje z odmori (Grafikon 11), je treba opazovati tako, da se nenehno meri vrednosti med naporom in odmorom, s frekvencami vzorčenja, ki so bodisi enake vsakemu izdihu ali pa vsaj 5-krat večje, kot je frekvenca sprememb obremenitve. Pri merjenju dihalnih kazalnikov to običajno ni težava, če je meritev opravljena na osnovi meritev breath-by-breath. Če pa je meritev povprečena na 5 ali 10 s, je pri povprečenju na 10 s lahko to že težava. To je pomembno preverjati, ko uporabimo različne naprave za merjenje frekvence srca. Razlogi za takšne zahteve so razvidni iz diagramov na Grafikonu 11. Videti je, kako se dinamičnost sprememb povečuje do 5. ponovitve, potem pa je vsaj približno stacionarna.

Intenzivnost obremenitev se spreminja s spremenljivo periodo (aperiodično spreminjanje)



Grafikon 11. Sledi sprememb $\dot{V}_E$, $\dot{V}_{O_2}$, $\dot{V}_{CO_2}$, in R med intervalno obremenitvijo, v kateri se 10 ponovitev z maksimalno in supramaksimalno obremenitvijo poskuša ponoviti 10-krat, z minuto odmora. Pri 40 W večji obremenitvi (rdeča črta), kot je maksimalna (črna črta), to ni več mogoče.

Športne igre so značilne po tem, da je dejavnost vsakega posameznika zelo različna, pojavlja pa se v zelo različnih intervalih (aperiodično spreminjanje). Opazovanje takih obremenitev je sicer možno, če uporabimo prenosne naprave z dovolj veliko frekvenco vzorčenja. Toda število tovrstnih merilnih naprav je majhno. V uporabi so GPS-naprave, pospeškometri, merilniki frekvence srca in naprave za merjenje izmenjave plinov in dihanja. Potem pa se nabor naprav v glavnem neha. Tako zapletenega napora vsekakor ne moremo dovolj dobro razumeti, čeprav obremenitev še lahko dokaj dobro opišemo, tudi s filmskimi posnetki. Velikokrat se namreč zgodi, da je odziv organizma z vidika številnih procesov prepočasen, da bi ga zaznali ob tako hitrih izmenjavah napora in odmora.

Zaključek

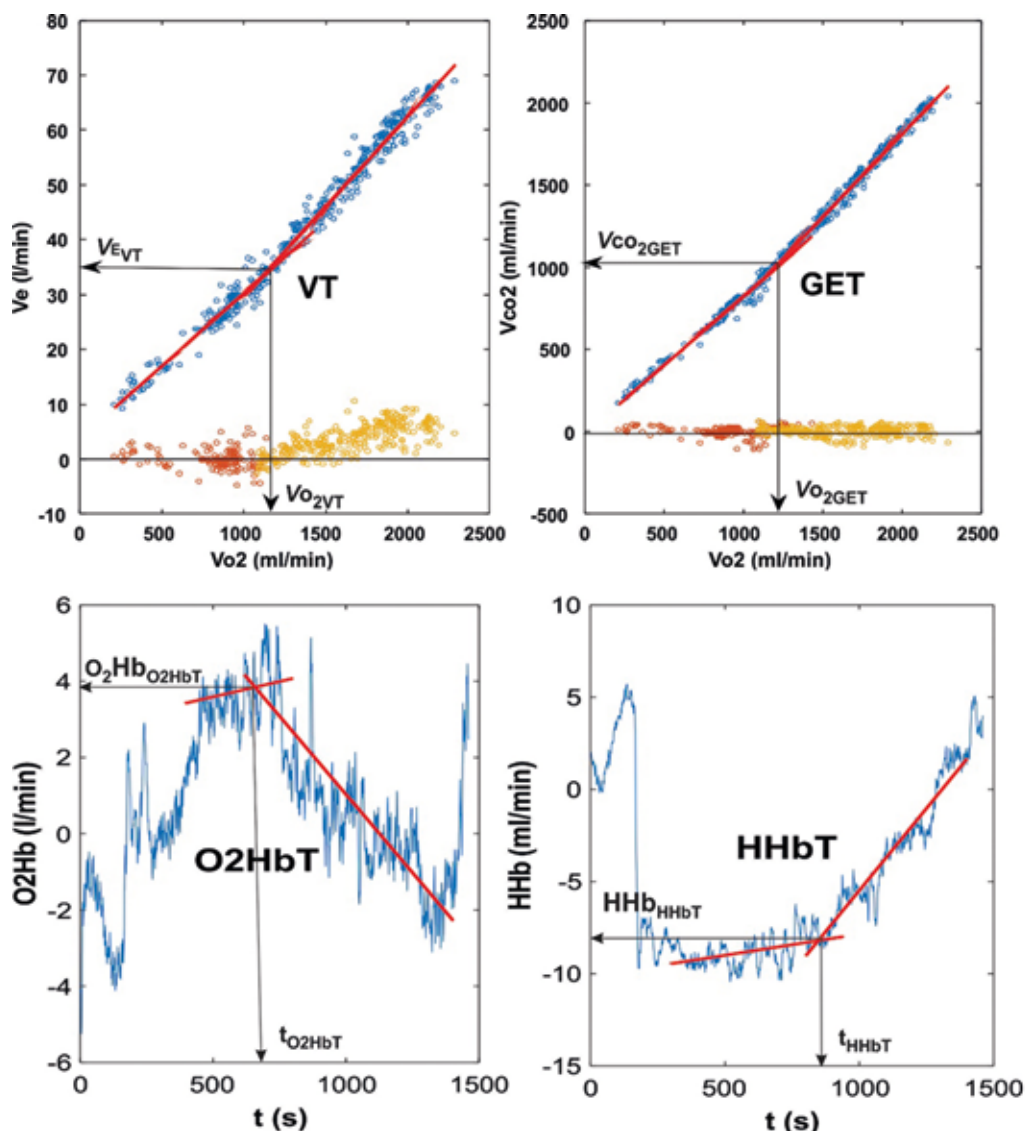
Izmeriti človekovo zmogljivost ni prav enostavna naloga, saj nismo nikoli prepričani, ali ne bi »šlo še malo več«. Gibalni testi, v katerih premagujemo napor, kažejo, kako posameznik (športnik) premika svoje telo v prostoru in času ob predpisani vadbeni nalogi. Dolžina meta, trajanje teka ali plavanja ali pa višina skoka so veličine, ki naj bi opisale zmogljivost posameznika. V športu je to res, zato govorimo o strokovnih rezultatih. V znanosti pa to ne drži. Samo pomislimo, ali je to res, če primerjamo dva, ki enako hitro tečeta. Po športni zmogljivosti sta tudi enako zmogljiva. Toda če imata različni telesni masi, bo pri enaki hitrosti težji moral sprostiti več energije. Torej bo z vidika sproščene mehanske energije razlika več kot očitna. To je zelo pomembno, če napor pri neki obremenitvi

želimo razumeti z vidika opazovanja sprememb in odzivov v organizmu. Fiziologija napora želi razložiti taka dogajanja, zato potrebuje čim več meritev in kvantitativnih podatkov. To lahko naredi le z uporabo različnih merilnih sistemov. Te pa je treba dobro poznati, da bi lahko take naprave primerno uporabili, njihove rezultate primerno analizirali in jih na koncu tudi razumeli. Torej je skrajni čas, da se problemov merjenja, digitalizacije, analize in interpretacije izmerjenih podatkov, pa tudi izdelovanja modelov in njihove uporabe lotimo resno.

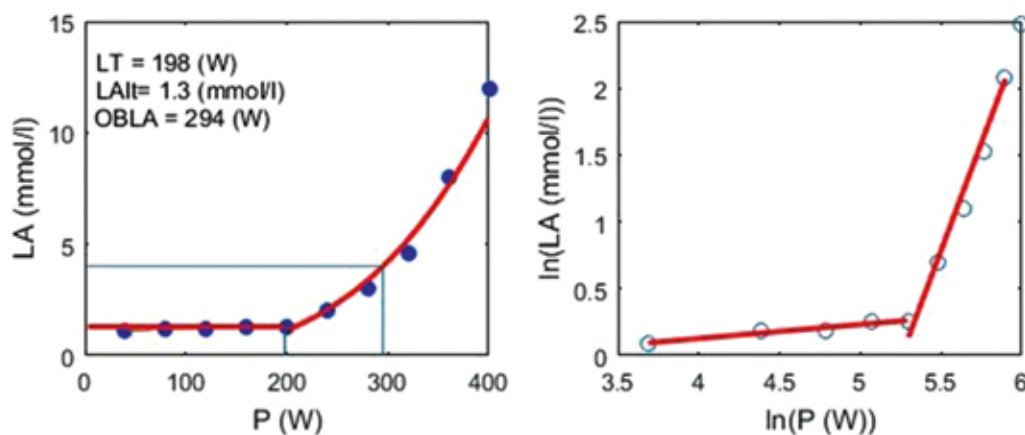
Literatura

- Adams, A. P., & Hahn, C. E. (1979). *The principles and practice of blood-gas analysis*. London: Franklin Scientific Projects.
- Elwell, C. E. (1995). *A practical users guide to near infrared spectroscopy*. London: UCL Reprographics.
- Enderle, J., & Bronzino, J. (2012). *Biomedical engineering*. Academic Press, Burlington, MA, USA.
- Kralj, A. (1983). *Osnove medicinske elektrotehnike*. Ljubljana: Univerzum.
- Maud, P. J., & Foster, C. (1995). *Physiological assesment of human fitness*. Champaign, ILL, USA: Human Kinetics.
- Neary, P. J. (2004). Application of near infrared spectroscopy to exercise sports science. *Canadian J Appl Physiol*, 488-503.
- Skorg, D. A., Holler, F. J., Nieman, T. A. (1998). *Principles of instrumental analysis*. Hartcourt Brace & Company, 1998.
- Ušaj, A., Starc, V. Blood pH and lactate kinetics in the assessment of running endurance. *International journal of sports medicine*, 1996, let. 17, št. 1, str. 34–40.
- Usaj, A. (2014). Vzdržljivost pri teku. *Šport*, 153–166.

Grafikon 10. Spremembe $\dot{V}_E$ in $\dot{V}_{CO_2}$ med večstopenjskim obremenitvenim testom (zgoraj) in spremembe O_2Hb in HHb kažejo »prage«.



Grafikon 11. Grafikon kaže modelne značilnosti dveh krivulj [LA], ki kažeta laktatni prag (LT). Izračunana je še moč po kriteriju OBLA, ki kaže višje vrednosti. Analiza tega pojava uporablja drugačen algoritem, kot je v uporabi pri določanju drugih »pragov«.



10. Ušaj, A. (2011). Raziskovalno in strokovno delo v Laboratoriju za biodinamiko. *Šport*, 149–156.
11. Ušaj, A., Sepe, A., & Serša, I. (2017). Razlike v trajanju dinamičnega krčenja mišic z uporabo dveh intervalov krčenja in sproščanja. *Šport*, 170173.
12. Usaj, A., laboratorijzabiodinamiko.eu; spletna stran

prof. dr. Anton Ušaj
Laboratorij za biodinamiko
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
anton.usaj@fsp.uni-lj.si



Bojan Jošt,
Janez Vodičar, Matej Supej

Diagnostika specialne odrivne moči smučarjev skakalcev z uporabo nove tenziometrijske naprave

Diagnostics of special take-off power of ski jumpers using a new force plate

Izvleček

Namen pričujoče raziskovalne študije je bil prikazati možnosti diagnosticiranja potenciala specialne odrivne moči smučarjev skakalcev. Ta je še zlasti pomembna za uspešno realizacijo faze odskoka. Na splošno pomeni višji potencial odrivne sile tudi boljši tekmovalni dosežek smučarjev skakalcev, zato se namenja tej sposobnosti znatno pozornost v procesu treniranja. Pri tem pogosto skakalci razvijajo odrivno moč z imitacijskimi vajami odskoka. S tenziometrijsko ploščo se danes lahko izmeri potencial odrivne moči na skakalnici in v laboratorijskih pogojih. Razviti so različni modeli strukture odrivne moči in različne metode njenega diagnosticiranja. Na Fakulteti za šport je bila razvita specialna tenziometrijska naprava, ki omogoča meritve impulza odrivne sile pri različnih naklonih odrivne površine. Na napravi se lahko izmeri odrivni impulz v pravokotni smeri na podlago (na prstih in peti leve in desne noge) in vzporedni smeri s podlago (na strani leve in desne noge). S tem so dane možnosti neposredne primerjave strukture odrivnega impulza pri imitaciji odskoka v laboratorijskih pogojih in odrivnim impulzom pri odskoku na skakalnici. Eksperimentalne meritve na vzorcu štirih skakalk in treh skakalcev so pokazale specifično strukturo odrivne moči odskoka pri dveh različnih imitacije odskoka v skakalnih čevljih. Pri imitaciji odskoka z lovljenjem so merjenci dosegli primerljiv potencial odrivne moči s tistim na skakalnici, vendar pa je bila odrivna moč razvita pri večjem odrivnem času (od 0,4 do 0,6 sek.), kot je odrivni čas na odskočišču skakalnice (od 0,15 do 0,3 sek.). Pri imitaciji odskoka z lovljenjem je glavni del odrivnega impulza predstavljala pravokotna komponenta na podlago (več kot 80 % celotne odrivne sile), pri čemer je bila ta komponenta pretežno razvita na sprednjem delu stopala. Povsem nova specialna merilna naprava tako omogoča bolj poglobljen vpogled v strukturo odrivne moči smučarjev skakalcev, kar bo lahko bistveno izboljšalo kvaliteto vadbenega procesa smučarjev skakalcev.

Ključne besede: smučarski skoki, tehnologija, tenziometrija

Abstract

The aim of this research study was to demonstrate the possibilities for diagnosing the potential of ski jumpers' special take-off power. The latter is particularly important for a successful realisation of the take-off phase. In general, a higher take-off force potential of ski jumpers means better competitive results, which is why this ability receives considerable attention in the training process. Ski jumpers often develop their take-off power by performing imitated take-off exercises. Using a force plate, the potential of take-off power can today be measured both on a ski jump hill and in laboratory conditions. Different models of the structure of take-off power have been developed, along with different diagnostics methods. A special force plate was developed by the Faculty of Sport, enabling measurement of the impulse of take-off force with different inclinations of the take-off surface. The device enables measurement of take-off impulse perpendicularly to the surface (on the toes and the heel of the left and right foot) and parallelly to the surface (on the sides of the left and right foot). This facilitates direct comparison of the structure of the take-off impulse in the imitated take-off in laboratory conditions and on a ski jump hill. Experimental measurements, using a sample of 4 female and 3 male ski jumpers, revealed a specific structure of take-off power in two versions of imitated take-off in ski-jumping boots. In imitated take-offs with catching, the subjects achieved a comparable potential of take-off power to those recorded on a ski jump hill. However, the take-off power developed with longer take-off time (from 0.4 to 0.6 sec) compared to the ski jump hill (from 0.15 to 0.3 sec). In imitated take-off with catching, the main part of the take-off impulse represented the perpendicular component to the surface (more than 80% of the total take-off force), whereby this component developed mainly in the front part of the foot. This completely new measurement device thus enables in-depth analysis of the structure of ski jumpers' take-off power, all of which can substantially improve the quality of their training process.

Key words: ski jumping, technology, tensiometry

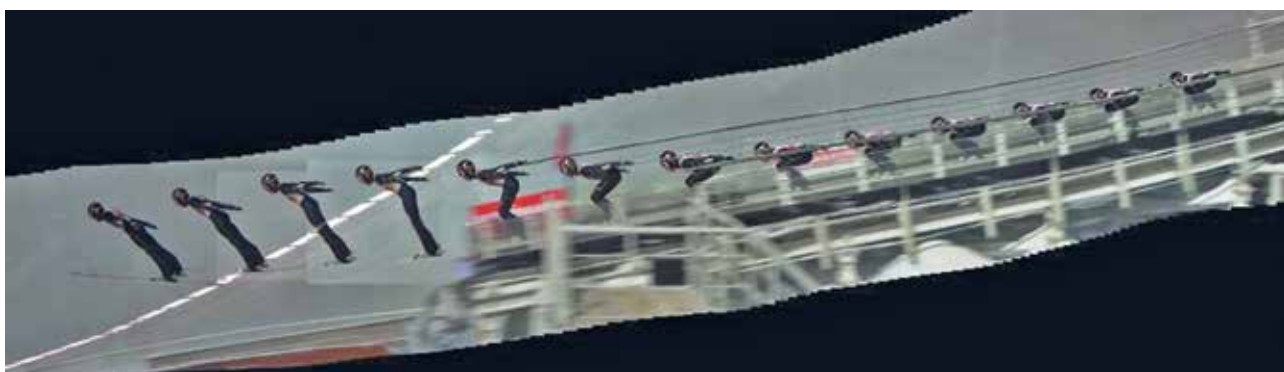
Uvod

V smučarskih skokih se razvoju odzivne moči pri odskoku nameinja veliko strokovne in tudi znanstvenoraziskovalne pozornosti. Z razvojem najnovejše merilne tehnologije se lahko izmeri impulz odzivne sile v oporni fazi odskoka v realnih situacijskih pogojih. Skakalec izvede odziv med odskokom na ravnem delu odskočišča skakalnice (odzivni mizi). Naklon odskočišča je odvisen od predpisa FIS in konstrukcije skakalnice in se giblje v razmerju od 6 do 12 stopinj glede na vodoravno ravnino. V zadnjem času se za srednje in večje skakalnice uporablja naklon odskočne mize 10 kotnih stopinj. Odskok smučarja skakalca je najzahtevnejša gibalna faza, ki se v oporni fazi odskoka odvije v kratkem času (0,15–0,35 sek.) in na

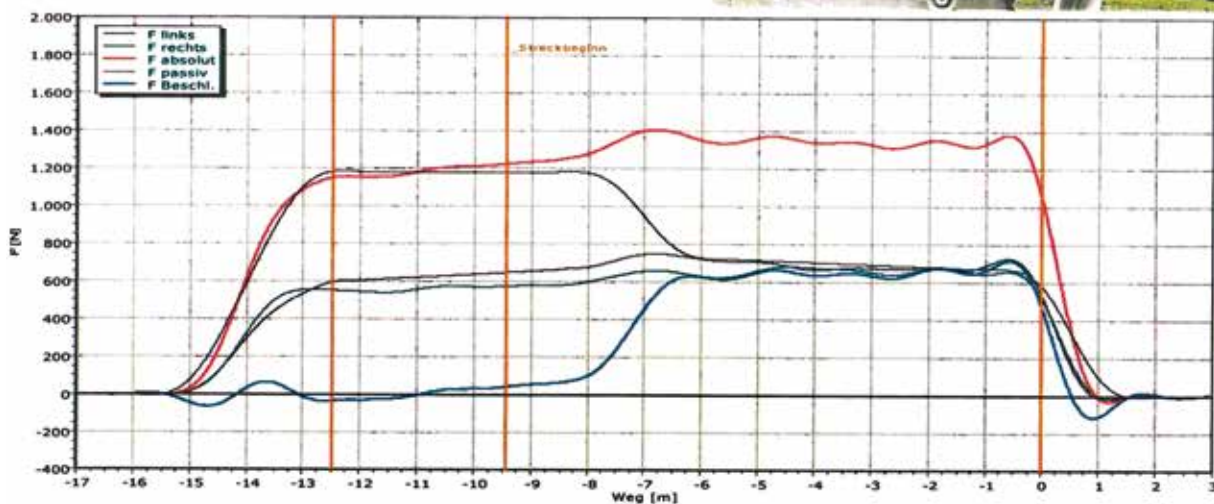
kratki razdalji (3–8 m). Skakalec začne odziv iz faze počepa (Slika 1), pri čemer razvije največ sile v kolenskem in kolčnem sklepu.

Med odzivom skakalec razvije odzivno silo, ki lahko doseže maksimalno velikost preko dvakratne telesne teže skakalca. Pomemben je celoten impulz odzivne sile (Slika 2), ki v razmerju s telesno težo in težo opreme predstavlja odzivno hitrost skakalca ob prehodu roba odzivne mize.

Velikost in oblika odzivnega impulza se lahko dosežeta na veliko različnih načinov tehnike gibanja skakalca pri odskoku in različnih režimov živčno-mišičnega delovanja (Virmavirta in Komi, 2001). Med tekmovalno uspešnostjo in vertikalno hitrostjo odskoka obstaja značilna korelacija, ne pa njuna funkcionalna matematič-



Slika 1: Potek odskoka vrhunskega skakalca (R. K.), zmagovalca svetovnega pokala v sezoni 2018/2019



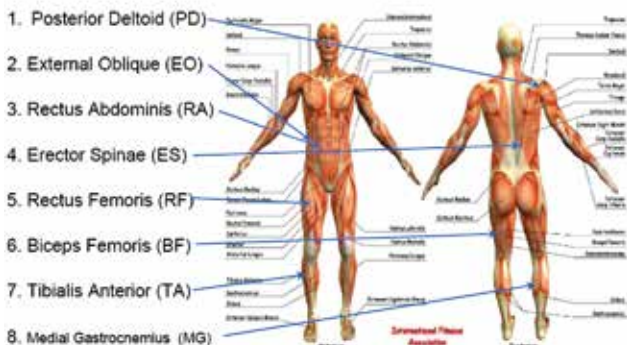
Slika 2: Posnetek impulza odzivne sile pri odzivu vrhunskega smučarja skakalca P. P., telesna teža skupaj z opremo 76,1 kg, datum meritev 22. 9. 2013, Klingenthal K 125 m

na odvisnost. Nekateri skakalci dosegajo veliko hitrost odskoka, a na koncu niso vrhunsko tekmovalno uspešni. Tehnika gibanja skakalca med odskokom je tako povsem optimizirana za vsakega skakalca posebej in mora biti predvsem usmerjena na značilnosti leta posameznega skakalca. Pri vsakem skakalcu je treba razviti ustrezno količino potencialne odzivne moči, ki služi uspešnemu prehodu skakalca v fazo leta. Pri tem mu odzivna moč omogoča ustrezen dvig krivulje leta in vzpostavitev optimalnega položaja za let. Doseganje ustreznega potenciala odzivne moči je tako podrejeno razvoju optimalne tehnike odskoka smučarja skakalca in temu se mora podrediti tudi razvoj potencialne odzivne moči ter tistih dejavnikov, ki to moč določajo. Med njimi imajo pomembno vlogo živčno-mišični dejavniki, ki oblikujejo temelje strukture odzivne moči (Werchoshanski in Tatjan, 1975).

Največjo silo pri odzivu v oporni fazi odskoka generirajo iztegovalke nog v koljenih in bokih, ki se zoperstavljajo sili teže telesa (Sasaki, Tsunoda, Uchida, Hoshino in Ono, 1997; Virnavirta in Komi, 1989). Mišice, ki delujejo v predelu skočnega sklepa, so hkrati dejavne tako v skupini sinergistov kot tudi antagonistov in predvsem zagotavljajo ustrezen položaj goleni med odzivom. Eksperimentalne meritve mišičnega delovanja pod vodstvom Kazutoshi Kudoja na skakalnici v Innsbrucku leta 2009 so pokazale strukturo potencialnega mišičnega naprežanja izbranih mišic (Slika 3), ki hipotetično prispevajo pomemben delež sile pri odzivu smučarja skakalca in/ali vplivajo na uspešnost prehoda v fazo leta.

EMG recordings

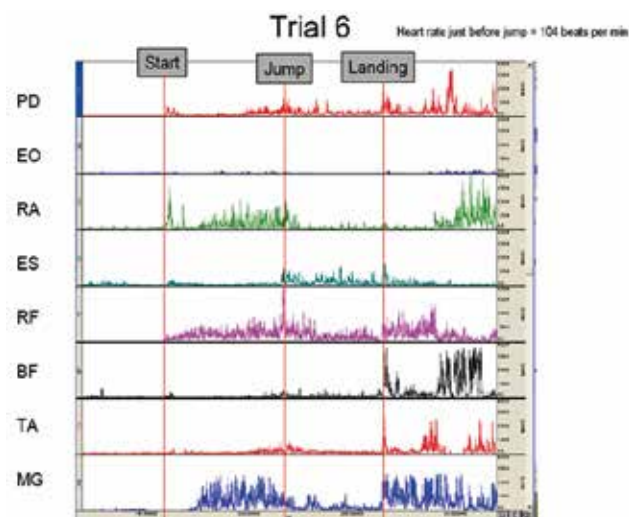
EMG activities were recorded from the following muscles.



Slika 3: Izbor mišic pri izvedbi eksperimentalnih meritev pri izvedbi smučarskega skoka

Na Sliki 4 je prikazano spremljanje EMG-meritev pri šestem skoku, ki ga je na testiranju na skakalnici v Innsbrucku izvedel vrhunski slovenski skakalec.

V fazi odskoka dominirajo iztegovalke kolenskega in kolčnega sklepa, ki seveda v enotni in celoviti kinetični verigi sinergistično delujejo z drugimi mišicami. Pri vadbi skakalcev se specialno mišično delovanje lahko doseže le pri situacijskem treningu na skakalnici. Pri tem se specialna situacijska vadba lahko izvaja na skakalnicah različne velikosti od HS 8 m do HS 145 m. Specialna vadba na skakalnici dopušča le omejeno število skokov in s tem tudi omejen vpliv na mišice, ki vplivajo na uspešnost tehnike odskoka smučarjev skakalcev. Zaradi tega se poleg situacijske vadbe na skakalnici uporabljajo tudi specialna vadbena sredstva, ki so povezana z imitacijo tehnike izbrane faze smučarskega skoka. Pri odskoku se tako veliko vadbene časa namenja razvoju specialne odzivne moči

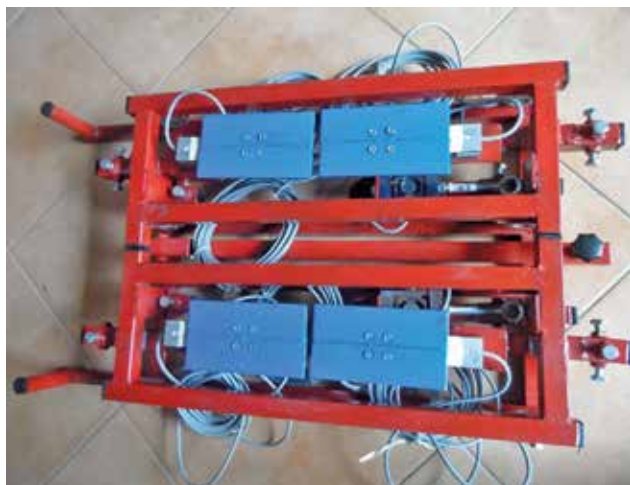


Slika 4: EMG aktivnosti mišic pri izvedbi smučarskega skoka vrhunškega slovenskega skakalca (R. K.) (vodja meritev: Kazutoshi Kudo)

smučarja skakalca. Specialne gibalne naloge za razvoj odzivne moči smučarjev skakalcev terjajo stalen kakovostni nadzor vadbe, ki zagotavlja doseganje načrtovanih ciljev, povezanih z razvojem tehnike smučarskega skoka. Za razvoj specialnih gibalnih nalog se tako uporabljajo vse bolj izpopolnjene vadbene naprave in pripomočki, ki jih odlikuje sodobna tehnologija na področju treniranja smučarjev skakalcev. Prve specialne gibalne naloge za razvoj odzivne moči skakalcev in z njimi povezane naprave so se začele razvijati pred več kot 50 leti. V začetku so bile to preproste vadbene naprave, s katerimi so skakalci izvajali enostavnejše vaje imitacije odskoka smučarja skakalca na mestu in v gibanju pri manjši hitrosti brez posebej izvedenih vadbeneh naprav (npr. odskoki na vozičku). Pred 33 leti se je začel razvoj specialnih gibalnih naprav (Jošt, 1988; Jošt, 1998) za razvoj odzivne moči, pri čemer so se začele izvajati tudi meritve izbranih spremenljivk odzivne moči smučarjev skakalcev. Najpogostejše se odzivna moč smučarjev skakalcev meri v laboratorijskih pogojih pri ničelni hitrosti osnovnega gibanja, kjer skakalec izvede odziv iz skakalnega počepa. Z instrumentom za merjenje mehanskih značilnosti vertikalnega skoka se potem izračunajo spremenljivke: čas odskoka, hitrost odskoka, višina odskoka, pospešek odskoka v celotni fazi odziva, pospešek odskoka v prvi polovici odziva, pospešek odskoka v drugi polovici odziva.

Glavna težava pri spremljanju strukture specialne odzivne moči smučarjev skakalcev je v izboru takih gibalnih nalog, ki imajo čim večjo povezanost z realnim mišičnim delovanjem pri izvedbi odskoka na skakalnici. Seveda imajo imitacijske vaje odskoka lahko tudi drugačen namen. Z njimi se lahko poleg specialne moči razvija tudi specialno koordinacijo, gibljivost, hitrost, ravnotežje in vzdržljivost smučarjev skakalcev. Te pa so bistvene sestavine potencialne tekmovalne uspešnosti smučarjev skakalcev v osnovnem motoričnem prostoru (Jošt, 2010). Lahko pa imitacijske vaje služijo tudi utrjevanju tehničnih, taktičnih in tekmovalnih občutkov in imajo blagodejen psihološki učinek pri percepciji ustrezne gibalne tehnike. Pri razvoju specialne odzivne moči je treba usmeriti vadbo na tiste mišice oziroma mišične skupine, ki prispevajo levji delež k razvoju tistega dela velikosti impulza odzivne sile, ki dejansko omogoča uspešno realizacijo tehnike odskoka smučarja skakalca. Zagotavljanje ustreznega razvoja odzivne moči tako po Komiju in Virnavirti (2000) predstavlja eno od temeljnih zakonitosti special-

ne motorične priprave smučarjev skakalcev. Z razvojem ustrezne merilne tehnologije se ustvarjajo vse boljše možnosti za realizacijo navedene zakonitosti vadbenega procesa. Pri tem pa mora biti glavno izhodišče oblikovanja odrivne moči usklajeno z razvojem optimalne tehnike smučarskega skoka za vsakega skakalca posebej. Temu mora biti podrejen tudi proces razvoja specialnih živčno-mišičnih struktur, ki oblikujejo optimalno tehniko smučarskega skoka. Tako je nujen čim bolj natančen vpogled v posebno strukturo živčno-mišičnega delovanja na skakalnici in potem oblikovanje podobnega modela živčno-mišičnega delovanja pri izvedbi imitacije odskoka smučarjev skakalcev. S primerjavo rezultatov meritev odrivne moči v situacijskih pogojih na skakalnici in potem še pri pogojih izvedbe imitacije se lahko potem po Kettererju, Golhoferju in Lauberju (2020) oblikuje kakovosten vadbeni program, ki bo zagotovil čim bolj učinkoviti razvoj dejansko vključenih mišic pri izvedbi realnega odskoka na skakalnici. V vadbeni praksi se trenerji še vedno odločajo predvsem za intuitivni pristop, ki temelji na subjektivni predstavi poteka odskoka skakalcev in subjektivnih gibalnih občutkih. Taka vadba je sicer pomembna in dragocena, lahko pa zaradi morebitne napačne vadbene zasnove povzroči, da se razvoj potencialne odrivne moči na določeni točki prehitro ustavi in skakalec ne doseže tistega praga potencialne odrivne moči, ki bi ga sicer lahko dosegel z optimalnim izborom najbolj kakovostnih specialnih gibalnih nalog. V tem smislu je predmet pričujoče raziskovalne študije usmerjen na prikaz uporabe moderne merilne tehnologije, ki že lahko omogoči dokaj objektivni vpogled v strukturo potencialne odrivne moči pri izvedbi najpogostejše oblike imitacije odskoka smučarjev skakalcev. Za to je bila razvita posebna vadbena-merilna naprava (Slika 5), ki omogoča vadbo imitacije odriva smučarjev skakalcev pri ničelni osnovni hitrosti gibanja in hkrati omogoča večplasten vpogled v strukturo realizacije potencialne odrivne moči.



Slika 5: Merilna tenziometrijska naprava za ugotavljanje strukture odrivne moči smučarjev skakalcev

Razvoj merilne naprave je potekal več let in je posledica dolgotrajnega ekspertnega prizadevanja za izboljšanje vadbenega procesa pri razvoju potencialne odrivne moči smučarjev skakalcev. Na napravi lahko skakalci izvajajo imitacijo odskoka v športnih copatih (Slika 6), skakalnih čevljih ali/in kratkih smučeh dolžine približno 70 cm.

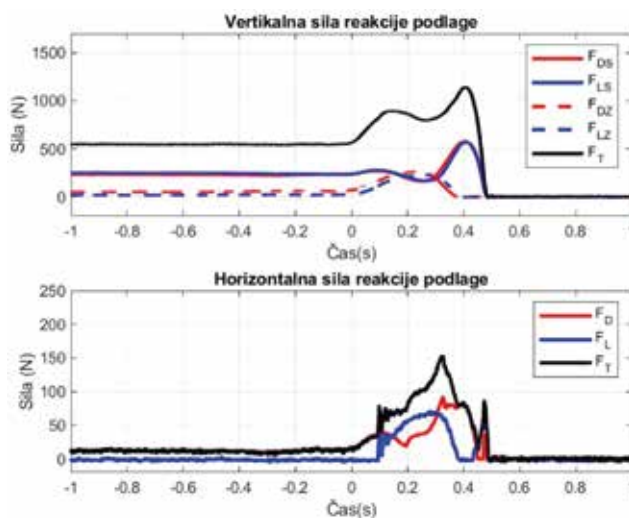
Naprava je bila razvita in izdelana na Fakulteti za šport in omogoča merjenje odrivne sile pri odskoku v štirih neodvisnih točkah v pra-



Slika 6: Imitacija odskoka na novi merilni napravi

vokotni smeri na podlago, pri čemer prevladuje vertikalna komponenta odrivne sile na podlago, in dveh točkah v vzporedni smeri na podlago, kjer prevladuje horizontalna komponenta odrivne sile. Na merilni napravi se merijo naslednje komponente odrivne sile:

- F_T – celotna skupna odrivna sila v prevladujoči vertikalni smeri
- F_{DS} – odrivna sila na stopalu desno spredaj v prevladujoči vertikalni smeri
- F_{LS} – odrivna sila na stopalu levo spredaj v prevladujoči vertikalni smeri
- F_{DZ} – odrivna sila na stopalu desno zadaj v prevladujoči vertikalni smeri
- F_{LZ} – odrivna sila na stopalu levo zadaj v prevladujoči vertikalni smeri
- F_T – celotna skupna odrivna sila v prevladujoči vodoravni smeri



Slika 7: Grafični prikaz impulza odrivne sile

- F_D – odzivna sila na levi nogi v prevladujoči vodoravni smeri
- F_L – odzivna sila na levi nogi v prevladujoči vodoravni smeri

Na vsaki merilni točki se s pomočjo računalnika opiše krivulja impulza odzivne sile in potem tudi določijo vrednosti odzivne sile v izbranih časovnih točkah odziva (Slika 7):

Dosedanje merilne naprave so merile praviloma vertikalno komponento odzivnega impulza. Na tej napravi je tako mogoče hkrati meriti prevladujočo vertikalno in horizontalno komponento odzivne sile. S tem se lahko ugotovi velikost obeh ključnih komponent odzivne sile skakalca pri odskoku, ki kažeta na potencialni vertikalni in horizontalni pomik skupnega težišča telesa skakalca. To omogoča tudi lažje ugotavljanje rotacije gibanja skakalca pri odskoku.

Velikost izražanja obeh komponent odzivne sile je odvisna od pogojev in okoliščin izvedbe imitacije odskoka skakalca na napravi. Merilna naprava omogoča tudi spreminjanje pogojev za realizacijo imitacije odskoka. Med temi pogoji je tudi naklon odzivne podlage, ki se na merilni napravi lahko spreminja in doseže ali celo preseže realne nagibne kote na skakalnici (med 8 in 12 kotnih stopinj).

Metode raziskovanja

V raziskavo se bili vključeni mlajši smučarji skakalci ($n = 3$) in skakalke ($n = 4$), stari od 16 do 20 let. Vsi merjenci so bili vključeni v redni sistem treniranja in tekmovanja. Vsi so bili že vključeni v mednarodni tekmovalni sistem. Med njimi je bila tudi zmagovalka svetovnega pokala v smučarskih skokih za sezono 2020/2021. Vsi merjenci so tako že osvojili visoko raven tehnike smučarskega skoka v celoti in tudi v njenih posameznih fazah. V prvi fazi meritev so bili merjenci dne 19. 4. 2018 testirani na klasični tenziometrijski deski, kjer je bila izvedena diagnostika vertikalnega odskoka v športnih copatih in skakalnih čevljih. Vsak merjenec je izvedel tri ponovitve vertikalnega odskoka iz zaletnega položaja skakalca. V drugi fazi eksperimentalnih meritev je bila izvedena imitacija odskoka na novi tenziometrijski napravi, kjer je bil uporabljen referenčni kot 10 kotnih stopinj, ki se danes vse pogosteje uporablja kot dejanski nagib odzivne mize na skakalnici. Vsak merjenec je izvedel dva odskoka pri dveh različnih variantah imitacije odskoka v skakalnih čevljih:

- Varianta A: Imitacija odskoka s pomikom skupnega težišča telesa v horizontalni smeri za 30 cm. Imitacijska vaja v večji meri ustreza približno realnega pomika skupnega težišča v smeri naprej v oporni fazi odskoka skakalcev na skakalnici.
- Varianta B: Imitacija odskoka z lovljenjem. Gre za precej pogosto obliko imitacije odskoka, ki jo uporabljajo skakalci in skakalke vseh starosti in kakovostnih kategorij. S to vajo naj bi se pri skakalcih razvijal občutek za prehod v let ob hkratnem razvoju odzivne moči pri odskoku.

Rezultati in razprava

Analiza vertikalnega odskoka na standardni tenziometrijski plošči

V Tabelah 1 in 2 so prikazani rezultati vertikalnega skoka, izvedenega iz skakalnega počepa najprej v športnih copatih in nato še v skakalnih čevljih.

Fantje so imeli v povprečju precej večjo višino vertikalnega skoka kot dekleta ne glede na vrsto izvedbo odskoka. Tako pri dekletih kot pri fantih je bil ugotovljen bistveno višji odskok pri odskoku v športnih copatih. Pri dekletih je razlika znašala 20,9 %, pri fantih pa 13,3 %. Enako seveda tudi za vertikalno hitrost odskoka, ki se matematično preračuna iz višine odskoka skakalca.

Pri obeh skupinah se je znižal čas odskoka pri izvedbi odskoka v skakalnih čevljih, pri čemer ta razlika ni bila tako izrazita kot pri doseženi višini vertikalnega skoka. Na splošno so bili časi odziva pri dekletih nekoliko večji kot pri fantih. Pri vseh pa so bili časi vertikalnih odskokov v povprečju precej večji (od 0,39 sek. do 0,42 sek.), kot so sicer časi odziva v oporni fazi odskoka na skakalnici (med 0,15 sek. in 0,25 sek.).

Vrhunski skakalci lahko pri odskoku na skakalnici dosežejo vertikalno hitrost odskoka od 2,5 m/s do 3,5 m/s (Jošt, 2009). V okviru teh vrednosti so tudi vrednosti vertikalne hitrosti odziva, dosežene pri eksperimentalni izvedbi vertikalnega skoka, vendar pri znatno daljšem odzivnem času, kot znaša pri odskoku v oporni fazi na skakalnici. V večkratnem raziskovalnem spremljanju je Vaverka (1987) ugotovil, da se na skakalnici realizira v povprečju zgolj 72 % potencialne odzivne moči smučarjev skakalcev, ki jo skakalci dosežejo

Tabela 1

Osnovna statistika – vertikalni odskok pri dekletih ($n = 4$)

Dekleta ($n = 4$)	Športni copati				Skakalni čevlji			
	Min	Max	Mean	S. D	Min	Max	Mean	S. D
Višina skoka (cm)	38,87	43,41	41,2	2,46	30,5	34,0	32,0	1,48
Čas odskoka (s)	0,411	0,453	0,426	0,019	0,388	0,443	0,404	0,025
Hitrost odskoka (m/s)	2,76	2,92	2,84	,08	2,45	2,59	2,50	,05
Povprečni pospešek (m/s ²)	6,10	7,09	6,67	,41	5,61	6,48	6,21	,40
Maksimalna sila 1. del (N)	590	810	672,5	102,1	550	730	630	74,0
Maksimalna sila 2. del (N)	970	1210	1110	100,9	920	1140	1042	101,0
Razmerje impulzov sile 2/1	1,10	1,72	1,41	0,25	1,18	1,46	1,35	0,12
Povprečna sila 1. del (N)	432	592	507,2	70,4	436	563	491	53,4
Povprečna sila 2. del (N)	633	796	708	76,3	583	727	661	59,1
Telesna teža (kg)	47,0	59,7	54,1	5,3	48,4	60,6	55,3	5,1

Tabela 2

Osnovna statistika – vertikalni odskok pri fantih ($n = 3$)

Fantje ($n=3$)	Športni copati				Skakalni čevlji			
	Min	Max	Mean	S. D	Min	Max	Mean	S. D
Višina skoka (cm)	50,8	54,5	53,0	1,9	44,1	47,4	45,9	1,66
Čas odskoka (s)	0,379	0,432	0,406	0,026	0,361	0,417	0,397	0,031
Hitrost odskoka (m/s)	3,16	3,27	3,22	0,05	2,94	3,05	3,00	0,05
Povprečni pospešek (m/s^2)	7,52	8,63	7,95	0,59	7,11	8,34	7,58	0,66
Maksimalna sila 1. del (N)	680	920	840,0	138,5	760	920	856,6	85,0
Maksimalna sila 2. del (N)	1170	1320	1253,3	76,3	1200	1300	1246,6	50,3
Razmerje impulzov sile 2/1	1,15	1,49	1,31	0,17	1,18	1,52	1,36	0,16
Povprečna sila 1. del (N)	544	714	639,0	86,7	545	661	619,3	64,5
Povprečna sila 2. del (N)	762	925	833,3	83,3	775	917	841,0	71,4
Telesna teža (kg)	56,4	73,8	64,3	8,8	57,5	75,4	65,6	9,6

pri izvedbi vertikalnega odskoka v laboratorijskih pogojih. Takšna razmerja vertikalne višine odskoka odpirajo vprašanje smiselnosti razvoja odrivne moči smučarjev skakalcev, saj bi lahko sklepali, da skakalci s potencialno odrivno močjo, izmerjeno v laboratorijskih pogojih, hitro dosežejo prag odrivne moči, ki jim bo zagotovil vrhunske dosežke v smučarskih skokih. Takšno sklepanje je lahko zmotno, saj je korelacija med vertikalno hitrostjo odskoka na skakalnici in vertikalno hitrostjo odskoka v laboratorijskih pogojih po Vaverki (1987) visoka in značilna. Na vzorcu resnično najboljših skakalcev na svetu je hipotetično variabilnost v odrivni moči dokaj nizka in to prav gotovo zmanjšuje pomembnost koeficientov korelacije, ne pa pomembnosti odrivne moči smučarjev skakalcev.

Analiza imitacije odskoka na novi specialni tenziometrijski napravi

Pri izvedbi imitacije odskoka v skakalnih čevljih na posebni merilni napravi so merjenci najprej izvedli imitacijo odskoka z minimalnim pomikom skupnega težišča v smeri naprej za 30 cm. Omenjeni pomik kaže nekakšen približek optimalnega pomika skupnega težišča v smeri naprej do roba odskočišča pri realnem odskoku na skakalnici. Pri drugem odskoku so merjenci izvedli imitacijo odskoka z lovljenjem trenerja. Gre za najpogostejšo in najbolj priljubljeno obliko imitacije odskoka, saj skakalec lahko preide v fazo leta in tako vsaj hipotetično ustvarja gibalno predstavo in občutke za izvedbo počepa-odskoka in prehoda v let. Rezultati imitacije odskoka na novi tenziometrijski napravi so prikazani v Tabelah 3 in 4.

Pri fantih in dekletih je bil čas odriva pri odskoku s pomikom 30 cm dokaj podoben času odriva pri vertikalnem odskoku in tako precej večji od realnega časa odriva na skakalnici. Nekoliko nižji čas odriva je bil dosežen pri imitaciji odskoka z lovljenjem. Čas odriva pa je bil še vedno bistveno večji od časa odriva na skakalnici. Prevladujoča vertikalna komponenta odriva se je pri imitaciji odskoka z lovljenjem nekoliko znižala glede na hitrost odskoka pri vertikalnem odrivu. Razlike so bile v povprečju nekoliko večje pri fantih kot pri dekletih. Razlog za ta trend se delno skriva v naklonu odrivne površine, ki je bila pri imitaciji odskoka z lovljenjem 10 kotnih stopinj. Pri odrivu se tako, glede na absolutni koordinatni sistem gibanja (vertikalno-horizontalno), avtomatsko generirata dve odrivni komponenti – vertikalna in horizontalna. Pri imitaciji odskoka z lovljenjem mora skakalec prenesti skupno težišče izra-

zito v smeri naprej ob hkratni vzdolžni rotaciji telesa. To pa seveda terja določeno povečanje odrivnega impulza v horizontalni komponenti izražanja odrivne sile. Ta komponenta je na napravi neposredno izmerljiva le pri naklonu odrivne površine 0 kotnih stopinj. Pri naklonu merilne naprave 10 kotnih stopinj je lahko določljiva matematično. Imitacija odskoka z lovljenjem je za skakalca lažja pri naklonu 10 kotnih stopinj, ker že sam naklon odrivne površine omogoča pomik težišča v smeri naprej. To se je pokazalo tudi pri velikosti komponente odrivne sile, delujoče vzporedno s podlago. Ta je bila glede na prevladujočo pravokotno komponento odrivne sile glede na podlago praktično zanemarljiva. Na nek način je bila situacija pri odskoku na napravi dokaj ugodna, saj skakalci niso generirali opazno povečane horizontalno usmerjene komponente odrivne sile. Na skakalnici so skakalci pri odskoku soočeni z nizkim koeficientom trenja in to jim onemogoča, da bi lahko pri odrivu pomikali težišče sistema skakalec-smuči v smeri naprej s pomočjo sile trenja. Odlična drsnost zaletne smučine jim ne omogoča tvorjenja komponente oporne sile na podlago, ki bi povzročila silo reakcije v smeri drsenja. Pri odskoku z lovljenjem je močno prevladoval impulz vertikalne odrivne sile na sprednjem delu stopal tako z vidika trajanja kot tudi velikosti odrivne sile. To se pokaže v položaju stopal ob zapustitvi oporne faze odriva (Slika 8).



Slika 8. Položaj stopal ob zapustitvi oporne faze odriva pri imitaciji odskoka z lovljenjem

Tabela 3

Osnovna statistika: fantje (n = 3), skakalni čevlji, 10 stopinj

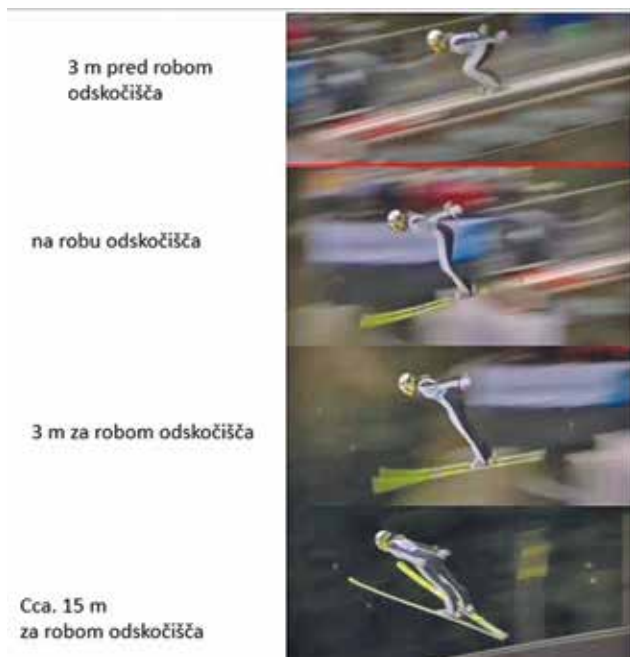
Fantje (N = 3)	Imitacija s pomikom 30 cm				Imitacija z lovljenjem			
Ime spremenljivke	Min	Max	Mean	S. D	Min	Max	Mean	S.D
Čas odskoka (sek/100)	,38	,45	,42	,042	,36	,43	,39	,036
Čas Fmax (sek/100)	,33	,41	,37	,042	,31	,38	,34	,037
Čas Fmax L (sek/100)	,33	,39	,37	,036	,30	,38	,34	,040
Čas Fmax D (sek/100)	,33	,41	,37	,042	,31	,39	,35	,039
Čas Fmax SPR (sek/100)	,33	,41	,37	,044	,31	,39	,35	,040
Čas Fmax ZAD (sek/100)	,13	,18	,15	,027	,13	,17	,14	,021
Čas Fmax SPR L (sek/100)	,33	,40	,37	,040	,31	,38	,34	,037
Čas Fmax SPR D (sek/100)	,33	,41	,38	,045	,31	,39	,35	,042
Čas Fmax ZAD L (sek/100)	,13	,19	,15	,032	,09	,18	,13	,048
Čas Fmax ZAD D (sek/100)	,14	,15	,14	,001	,12	,16	,13	,022
Cas odriva HOR L (sek/100)	,30	,40	,35	,051	,29	,35	,32	,032
Čas odriva HOR D (sek/100)	,30	,44	,36	,069	,30	,41	,35	,053
Maksimalna sila odriva (N)	1215,7	1590,9	1374,4	194,1	1222,6	1532,5	1355,5	159,5
Maksimalna sila odriva L (N)	602,7	764,4	677,9	81,4	608,5	772,7	685,2	82,6
Maksimalna sila odriva D (N)	614,5	827,8	698,0	113,9	616,5	764,0	672,7	79,7
Maksimalna sila odriva SPR (N)	1214,1	1446,4	1325,5	116,4	1221,3	1476,7	1331,7	131,1
Maksimalna sila odriva ZAD (N)	198,0	435,1	316,9	118,5	650,1	869,4	771,8	111,6
Maksimalna sila SPR L (N)	602,6	741,2	670,9	69,3	609,6	773,7	686,6	82,5
Maksimalna sila SPR D (N)	612,4	709,7	657,4	49,0	613,8	715,0	653,5	53,9
Maksimalna sila ZAD L (N)	77,6	183,3	135,8	53,6	264,7	404,9	327,3	71,3
Maksimalna sila ZAD D (N)	126,1	255,7	186,3	65,2	401,3	507,4	463,3	55,2
Telesna teža (kg)	557,5	728,6	635,7	86,4	556,4	728,1	634,7	86,8
Relativna max. sila odriva (N/kg)	2,12	2,18	2,16	,035	2,10	2,20	2,13	,05
Relativna max. sila L (N/kg)	1,05	1,08	1,06	,016	1,06	1,09	1,08	,01
Relativna max. sila D (N/kg)	1,05	1,14	1,09	,043	1,03	1,11	1,06	,04
Relativna max. sila SPR (N/kg)	1,99	2,18	2,09	,098	2,03	2,19	2,10	,08
Relativna max. sila ZAD (N/kg)	,32	,60	,49	,153	1,17	1,28	1,21	,06
Relativna max. sila SPR L (N/kg)	1,02	1,08	1,05	,035	1,06	1,10	1,08	,01
Relativna max. sila SPR D (N/kg)	,97	1,10	1,03	,062	,98	1,10	1,03	,06
Relativna max. sila ZAD L (N/kg)	,13	,26	,21	,076	,48	,56	,51	,04
Relativna max. sila ZAD D (N/kg)	,20	,35	,29	,077	,66	,82	,73	,07
Sunek sile VERT (Ns)	150,1	205,5	173,7	28,6	156,9	200,6	174,7	22,9
Sunek sile VERT L (Ns)	173,5	264,8	219,0	45,6	175,3	263,2	214,0	44,9
Sunek sile VERT D (Ns)	188,2	264,4	228,1	38,2	181,1	250,0	216,2	34,4
Sunek sile VERT Z L (Ns)	-1,18	-,36	-,70	,425	4,9	11,0	7,0	3,4
Sunek sile VERT Z D (Ns)	,03	,14	,09	,055	,3	21,2	12,4	10,8
Sunek sile VERT SPRL (Ns)	112,4	205,5	143,7	53,4	126,5	191,0	153,7	33,3
Sunek sile VERT SPR L (Ns)	134,4	264,2	187,7	67,9	144,2	251,0	190,8	54,6
Sunek sile VERT SPR D (Ns)	149,5	263,6	196,9	59,4	149,4	235,7	192,6	43,1
Sunek sile HOR L (Ns)	-,88	-,27	-,57	,306	5,0	11,0	7,1	3,3
Sunek sile HOR D (Ns)	,02	,13	,08	,059	,2	17,6	10,6	9,1
Rel. sunek sile VER (Ns/kg)	2,62	2,77	2,67	,081	2,64	2,77	2,70	,06
Rel. sunek sile VER L (Ns/kg)	3,05	3,57	3,35	,269	3,09	3,55	3,28	,23
Rel. sunek sile VER D (Ns/kg)	3,31	3,66	3,517	,180	3,19	3,45	3,33	,12
Rel. sunek sile VER ZAD L (Ns/kg)	-,02	-,01	-,010	,006	,08	,15	,10	,03
Rel. sunek sile VER ZAD D (Ns/kg)	,00	,00	,001	,000	,01	,34	,18	,16
Rel. sunek sile VER SPR (Ns/kg)	1,79	2,77	2,17	,51	2,23	2,57	2,35	,18
Rel. sunek sile VER SPR L (Ns/kg)	2,36	3,56	2,84	,63	2,54	3,38	2,91	,42
Rel. sunek sile VER SPR D (Ns/kg)	2,63	3,55	2,99	,48	2,64	3,18	2,95	,28
Rel. sunek sile HOR L (Ns/kg)	-,01	,00	-,008	,00	,08	,15	,10	,03
Rel. sunek sile HOR D (Ns/kg)	,00	,00	,001	,00	,00	,28	,15	,13

Tabela 4

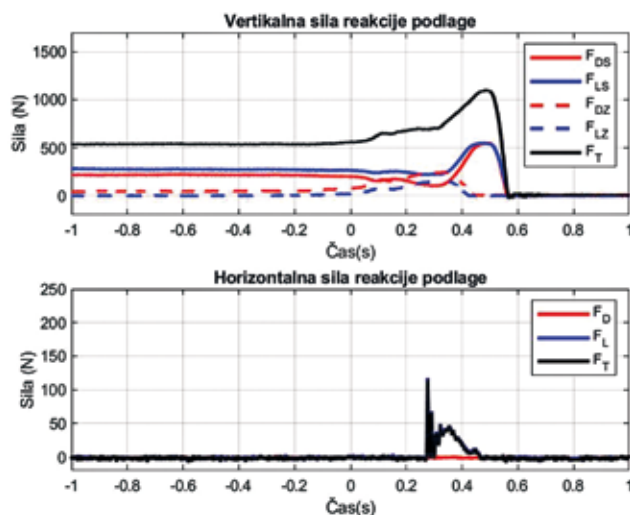
Osnovna statistika: dekleta (n = 4), skakalni čevlji, 10 stopinj

Dekleta (N = 4)	Imitacija s pomikom 30 cm				Imitacija z lovljenjem			
	Min	Max	Mean	S. D	Min	Max	Mean	S.D
Ime spremenljivke								
Čas odskoka (sek/100)	,45	,50	,48	,019	,48	,54	,51	,024
Čas Fmax (sek/100)	,37	,44	,41	,030	,43	,48	,45	,021
Čas Fmax L (sek/100))	,38	,44	,41	,030	,43	,47	,45	,017
Čas Fmax D (sek/100)	,37	,44	,41	,029	,44	,49	,45	,020
Čas Fmax SPR (sek/100)	,39	,44	,41	,025	,45	,49	,46	,016
Čas Fmax ZAD (sek/100)	,16	,26	,22	,046	,21	,34	,26	,059
Čas Fmax SPR L (sek/100)	,39	,44	,41	,024	,43	,48	,45	,020
Čas Fmax SPR D (sek/100)	,37	,44	,41	,030	,45	,49	,46	,018
Čas Fmax ZAD L (sek/100)	,18	,32	,24	,071	,27	,34	,29	,031
Čas Fmax ZAD D (sek/100)	,16	,26	,21	,043	,21	,33	,25	,056
Cas odrida HOR L (sek/100)	,35	,41	,38	,026	,39	,42	,41	,015
Čas odrida HOR D (sek/100)	,38	,42	,40	,015	,42	,46	,43	,018
Maksimalna sila odrida (N)	945,2	1160,5	1066,4	90,6	947,5	1199,6	1101,3	110,6
Maksimalna sila odrida L (N)	459,6	595,1	541,5	60,8	463,1	602,4	547,6	60,5
Maksimalna sila odrida D (N)	488,9	567,9	529,4	33,2	488,2	599,6	556,6	49,2
Maksimalna sila odrida SPR (N)	944,3	1151,2	1057,7	89,2	916,7	1199,1	1092,9	124,8
Maksimalna sila odrida ZAD (N)	166,0	392,4	300,8	97,4	397,90	543,00	455,9	61,6
Maksimalna sila SPR L (N)	461,9	596,3	541,2	61,6	463,51	603,50	548,8	61,1
Maksimalna sila SPR D (N)	484,2	559,9	519,7	31,0	463,46	598,19	548,3	60,0
Maksimalan sila ZAD L (N)	69,2	168,3	131,9	43,5	153,38	217,45	184,8	26,1
Maksimalna sila ZAD D (N)	99,8	241,9	176,8	58,5	246,81	331,67	277,9	37,7
Telesna teža (kg)	469,4	592,4	537,9	51,2	470,57	589,51	538,1	49,8
Relativna max. sila odrida (N/kg)	1,92	2,05	1,98	,05	2,01	2,09	2,04	,033
Relativna max. sila L (N/kg)	,96	1,08	1,00	,05	,98	1,04	1,01	,023
Relativna max. sila D (N/kg)	,96	1,04	,98	,03	1,02	1,05	1,03	,015
Relativna max. sila SPR (N/kg)	1,87	2,05	1,96	,07	1,95	2,09	2,02	,059
Relativna max. sila ZAD (N/kg)	,35	,66	,54	,13	,74	,98	,85	,130
Relativna max. sila SPR L (N/kg)	,95	1,09	1,00	,05	,98	1,05	1,01	,025
Relativna max. sila SPR D (N/kg)	,94	1,03	,96	,04	,98	1,05	1,01	,026
Relativna max. sila ZAD L (N/kg)	,15	,30	,24	,06	,28	,39	,34	,056
Relativna max. sila ZAD D (N/kg)	,21	,41	,32	,08	,44	,60	,51	,083
Sunek sile VERT (Ns)	107,9	131,6	122,5	10,5	104,0	134,6	122,0	13,2
Sunek sile VERT L (Ns)	166,7	213,3	190,6	22,9	176,4	223,5	205,5	21,7
Sunek sile VERT D (Ns)	172,1	197,5	188,2	11,1	173,8	221,7	205,2	21,4
Sunek sile VERT Z L (Ns)	-1,05	-,34	-,75	,31	,5	7,0	3,6	2,8
Sunek sile VERT Z D (Ns)	-,48	4,13	,83	2,2	-,4	9,9	3,3	4,5
Sunek sile VERT SPRL (Ns)	77,3	115,9	98,8	17,8	73,4	98,6	87,2	12,1
Sunek sile VERT SPR L (Ns)	133,9	180,6	162,4	21,4	160,1	170,6	167,2	4,8
Sunek sile VERT SPR D (Ns)	136,9	174,3	160,8	17,2	158,8	181,0	167,3	9,5
Sunek sile HOR L (Ns)	-,89	-,24	-,62	,28	,5	6,8	3,5	2,8
Sunek sile HOR D (Ns)	-,42	,86	,53	,55	-,3	6,2	2,1	2,9
Rel. sunek sile VER (Ns/kg)	2,18	2,29	2,23	,04	2,14	2,38	2,22	,10
Rel. sunek sile VER L (Ns/kg)	3,12	3,90	3,48	,31	3,56	4,02	3,74	,19
Rel. sunek sile VER D (Ns/kg)	3,27	3,60	3,44	,14	3,50	3,93	3,74	,21
Rel. sunek sile VER ZAD L (Ns/kg)	-,02	-,01	-,01	,006	,01	,12	,065	,05
Rel. sunek sile VER ZAD D (Ns/kg)	-,01	,07	,01	,036	-,01	,18	,061	,08
Rel. sunek sile VER SPR (Ns/kg)	1,62	2,06	1,79	,199	1,34	2,06	1,61	,34
Rel. sunek sile VER SPR L (Ns/kg)	2,80	3,24	2,95	,205	2,83	3,52	3,07	,32
Rel. sunek sile VER SPR D (Ns/kg)	2,85	3,10	2,93	,113	2,64	3,45	3,07	,34
Rel. sunek sile HOR L (Ns/kg)	-,02	,00	-,01	,005	,01	,12	,06	,04
Rel. sunek sile HOR D (Ns/kg)	-,01	,05	,01	,026	-,01	,11	,04	,05

Iztegovanje skočnega sklepa pri imitaciji odskoka z lovljenjem je povsem v nasprotju s potekom iztegnitve skočnega sklepa pri odskoku na skakalnici (Slika 9).



Slika 9. Potek odskoka merjenke v situacijskih pogojih na skakalnici. Pri imitaciji odskoka z lovljenjem se zaradi iztegovanja skočnega sklepa ustvari dominanten del odzivne sile na sprednjem delu stopala ob zaključku odziva (Slika 10).



Slika 10. Potek krivulje odzivnega impulza pri imitaciji odskoka smučarke skakalke z lovljenjem

V zaključnem delu odziva se pri imitaciji odskoka z lovljenjem močno aktivirajo iztegovalke skočnega sklepa, ki so pri realnem odskoku na skakalnici z vidika tvorjenja sile odziva skoraj povsem inhibirane in tako ne sodelujejo pri ustvarjanju odzivne sile. Skupaj z antagonisti skočnega sklepa skrbijo za stabilizacijo položaja skakalca med odskokom in v brezoporni fazi odskoka pomagajo pri vzpostavitvi optimalnega položaja telesa in smuči za fazo leta.

V biomehanskem smislu je prav gotovo izvedba odskoka z lovljenjem bistveno drugačna od izvedbe odskoka na skakalnici. Če smo

dokaj natančni, bi lahko rekli, da med obema vrstama odskoka praktično ni nobene biomehanske podobnosti. Pri imitaciji odskoka z lovljenjem mora skakalec preiti v fazo leta z močnim pomikom težišča telesa v smeri naprej, da ga trener lahko ulovi. Na skakalnici je hitrost skakalca v horizontalni smeri tako velika, da ni nikakršne možnosti za tovrstno lovljenje. Obstajajo pa vaje imitacije odskoka pri majhni osnovni hitrosti gibanja, kjer je tovrstno lovljenje možno in skakalec lahko odziva pretežno v vertikalni smeri odskoka. Te vaje naj bi bile bolj podobne odskoku na skakalnici in so morda tudi bolj primerne za vadbo (Lorenzetti, Ammann, Windmüller, Häberle, Müller, Gross, Plüss, Plüss, Schödlin in Hübner, 2017). Dokaj priljubljena je med skakalci imitacija odskoka na vozičku z lovljenjem pri majhni hitrosti. Norveški raziskovalci Ettema, Hooiveld, Braaten in Bobbert (2015) so ugotovili, da pri tovrstni imitaciji bolj učinkujejo iztegovalke kolenskega sklepa, ki prispevajo k večji kotni hitrosti gibanja telesa v tem sklepu.

Na podlagi dosedanjega strokovnega in znanstvenoteoretičnega pristopa veljajo smučarski skoki za dokaj zapleteno tehnično gibanje, ki se po Virnavirti in Komiju (1989) izvajajo v kompleksnem biomehanskem okolju in zahtevnih psiholoških okoliščinah. Te pa niso otežene zgolj zaradi tekmovalne napetosti, ampak tudi zaradi narave smučarskih skokov. Napake pri izvedbi skoka lahko privedejo do padcev in ti lahko povzročijo težje poškodbe. Še zlasti je to prisotno pri skokih v oteženih razmerah in na največjih skakalnicah oziroma letalnica. Večina strokovnjakov predlaga čim večjo količino specialne vadbe smučarskih skokov na skakalnici. Vendar pa ti strokovnjaki hkrati poudarjajo pomen specialne in osnovne motorične priprave skakalcev. Umetnost uspešne vadbe se skriva v optimalnem izboru posameznih sestavin vadbenega procesa in seveda doslednega vztrajanja na poti ciljno usmerjenega vadbenega procesa. Najuspešnejši trenerji si postavijo dolgoročno usmerjene cilje vadbenega procesa in potem ob pomoči različnih strokovnjakov in predvsem z uporabo znanstvenih meritev (testiranje) vztrajajo pri izvedbi tega procesa. In taka zasnova prej ali slej privede do vrhunskih dosežkov, seveda ob predpostavki, da so športniki dovolj talentirani za razvoj na raven vrhunske tekmovalne uspešnosti. Pri vadbi trenerji vse pogosteje uporabljajo nove tehnologije vadbenega procesa. V smučarskih skokih je to še posebno pomembno pri razvoju specialnih gibalnih sposobnosti skakalcev. Pri razvoju specialnih gibalnih sposobnosti se v vadbenem procesu uporabljajo številne specifične gibalne naloge, ki se izvajajo na posebnih vadbenih napravah. Te pa so vse bolj podprte z merilnimi instrumenti, s katerimi je omogočeno spremljanje izbranih biomehanskih dejavnikov gibanja. Pri razvoju odzivne moči skakalcev se v vadbenem procesu uporabljajo gibalne naloge, s katerimi se nekako posnema oblika tehnike gibanja skakalca pri odskoku. Seveda so te gibalne naloge na eni strani dokaj enostavne (npr. vertikalni odskok iz skakalnega počepa na mestu) in na drugi strani dokaj otežene (npr. imitacija odskoka smučarjev skakalcev s kratkimi smučmi na mali skakalnici HS 20 m). Vmes se lahko razvrsti številne vaje za imitacijo odskoka, ki se lahko izvajajo na mestu ali pri določeni osnovni hitrosti gibanja, pri čemer so lahko okoliščine izvajanja posamezne gibalne naloge enostavne ali pa otežene in kompleksne. Najboljši skakalci naj bi bili sposobni kvalitetno izvesti imitacijo odskoka pri najzahtevnejših pogojih gibanja. Vsaka specialna vaja imitacije odskoka je lahko dragocena, če je umeščena v celovito strategijo razvoja specialnih gibalnih sposobnosti. Doseganje visoke učinkovitosti vadbe znotraj te strategije pa se vsakokrat na novo kaže kot poseben strokovni izziv. Nikoli nismo in ne moremo doseči končne kvalitete vadbenega procesa, ker

se ta vedno pokaže pri vsakem skakalcu in v vsakem trenutku v neki novi podobi in smislu. Vedno pa so trenerji in skakalci ujeti v spoštovanje osnovnega načela oziroma zakonitosti, da se mora vadbeni proces prilagoditi optimalni tehniki in njenim biomehanskim zakonom, in ne obrnjen. Manifestacija odzivne moči je na primer lahko dokaj odvisna od aerodinamičnih pogojev na skakalnici (Virmavirta, Kivekäs in Komi, 2001). Nemogoče je, da se bodo biomehanski zakoni tehnike skoka prilagodili subjektivnemu stanju pripravljenosti posameznega skakalca. Žal se lahko zaradi tega napačnega pristopa kaj hitro izgubijo številni talenti in vrhunsko tekmovalno nadarjeni skakalci. V strokovni praksi se včasih trenerji prehitro zadovoljijo z ustaljeno metodiko razvoja odzivne moči ali pa prehitro poenostavijo metode tega razvoja. To pa največkrat ne prinaša uspešnega razvoja odzivne moči. Z izvedbo vertikalnega skoka v laboratorijskih pogojih lahko pridobimo dragocene podatke o izbranih dejavnikih, ki določajo čas in višino odskoka. Vprašanje pa je, kaj nam ti podatki lahko povedo o resničnem biomehanskem in živčno-mišičnem oziroma gibalnem ozadju dejavnikov, ki realno determinirajo uspešnost odskoka smučarjev skakalcev na skakalnici. Pri izvedbi našega eksperimenta smo lahko pri vertikalnem odskoku ugotovili, da je višina odskoka nekako primerljiva z višino odskoka vrhunskih skakalcev in skakalk na skakalnici, čas odskoka pa ne. Pri laboratorijskih pogojih vertikalnega skoka je ta čas značilno večji od tistega na skakalnici. Vzrok za to se skriva v posebnostih izvedbe odskoka na eni strani – na skakalnici in drugi strani – v laboratoriju. Odrivna moč smučarjev skakalcev po Virmavirti in Komiju (1993) pomembno biomehansko določa značilnosti poteka odskoka smučarjev skakalcev po zapustitvi oporne faze odrida. Visok potencial odzivne moči omogoča skakalcu dvig krivulje leta v prvi vzletni fazi ob hkratnem hitrejšem prehodu skakalca v ugoden aerodinamični položaj za fazo leta. Odrivno moč smučarjev skakalcev je tako nujno treba razvijati, pri čemer pa se odpira vprašanje konceptualne usmerjenosti vadbene procesa pri vsakem skakalcu posebej. Odskok smučarjev skakalcev se izvede v zapletenih mehanskih okoliščinah, pri veliki osnovni hitrosti gibanja in izrazitem kompleksnem inercialnem delovanju fizikalnih sil in njihovih momentov (sila teže, sila trenja, sila aerodinamičnega upora, sila aerodinamičnega vzgona). V ta sistem delujočih sil in njihovih momentov se po Vaverki (1987) vključuje tudi odridna sila, ki povzroča silo reakcije podlage in nasploh določa uspešnost odskoka posameznega skakalca. Potek gibanja skakalca med odskokom zahteva visoko tehniko gibanja, ki pa je odvisna od številnih dejavnikov psihosomatičnega statusa skakalca in kompleksnega delovanja vseh relevantnih specialnih motoričnih sposobnosti (koordinacije, ravnotežja, točnosti, gibljivosti, hitrosti in navsezadnje v posameznih primerih tudi od vzdržljivosti). Izvedba odskoka smučarjev skakalcev v laboratorijskih pogojih je prav gotovo bistveno drugačna kot pri izvedbi odskoka v situacijskih pogojih. Večje ko je odstopanje posamezne izvedbe odskoka skakalca, manjša je povezana med dejavniki, ki pogojujejo uspešnost odskoka v enem in drugem primeru. Zaradi tega se logično in racionalno teži k oblikovanju načela oziroma zakonitosti vadbene procesa, ki terja zadostno mero razvoja odzivne moči smučarjev skakalcev v okoliščinah in pogojih, ki so dokaj podobni tistim na skakalnici, oziroma da se razvije takšen potencial odzivne moči smučarjev skakalcev, ki bo učinkoval v pogojih situacijske izvedbe odskoka na skakalnici. K temu spoznanju so nekako prišli nekateri raziskovalci odzivne moči smučarjev skakalcev (Vaverka, 1987; Virmavirta in Komi, 1994; Schwameder, Müller, Raschner in Brunner, 1996; Ettema, Hooiveld, Braaten in Bobbert, 2015; Ketterer, Gollhofer in Lauber, 2020).

■ Zaključek

Diagnosticiranje strukture odzivne moči smučarjev skakalcev se lahko danes izvaja na skakalnici in še prav posebej v laboratorijskih pogojih, ko skakalci izvajajo odskok z imitacijskimi vajami. Merilna tehnologija je nujna spremljevalka ekspertnega spremljanja, načrtovanja in programiranja procesa razvoja specialne odzivne moči smučarjev skakalcev. Nova merilna naprava za diagnostiko izbranih komponent odzivne moči pri izvedbi odskoka smučarjev skakalcev v laboratorijskih pogojih omogoča bolj poglobljen večplasten vpogled v strukturo odzivne moči smučarjev skakalcev. Eksperimentalne meritve na vzorcu sedmih mladih skakalcev in skakalk so pokazale specifičnost strukture odzivne moči pri izvedbi imitacije odskoka in razlike, ki nastajajo med to strukturo in dejansko strukturo odzivne moči pri izvedbi odskoka na skakalnici. Čas odrida se je pri vseh treh izvedbah imitacije odskoka bistveno povečal glede na dejanski čas izvedbe odskoka na skakalnici. Pri tem se je pri imitaciji odskoka v skakalnih čevljih dosegla višina odskoka, ki je primerljiva z višino odskoka skakalcev na skakalnici. Struktura odzivne moči pri izvedbi imitacije odskoka z lovljenjem v skakalnih čevljih je bistveno drugačna od tiste na skakalnici. Pri imitaciji odskoka z lovljenjem se glavni del odzivnega impulza generira v sprednjem delu stopal. Na skakalnici so iztegovalke skočnega sklepa inhibirane in ne tvorijo znatne odzivne sile. Odrivni impulz pri imitaciji z lovljenjem povzroča dominantno izražanje prevladujoče vertikalne komponente odrida, kar je skladno z odridom v situacijskih pogojih na skakalnici. Pri kotu nagiba odzivne površine 10 kotnih stopinj na merilni napravi se že vzpostavijo podobni mehanizmi regulacije vertikalne in horizontalne komponente odzivne sile kot na skakalnici. Skakalec lahko pri tem kotu izvede imitacijo odskoka z lovljenjem, ne da bi pri tem pretirano povečeval vrednost horizontalne komponente odzivne sile. Na skakalnici bi povečevanje te komponente lahko prispevalo k nenadzorovanemu povečanju rotacijske komponente odskoka, ki bi posledično lahko ogrozilo uspešen prehod skakalca v fazo leta. Izvedba imitacije odskoka z lovljenjem s skakalnimi čevlji pri naklonu odzivne površine 10 kotnih stopinj je tako precej bolj različna, kot če se ta oblika priljubljene imitacije odskoka izvaja v športnih copatih na horizontalni podlagi.

■ Literatura

1. Ettema, G., Hooiveld, J., Braaten, S. in Bobbert, M. (2015). How do elite ski jumpers handle the dynamic conditions in imitation jumps? *Journal of Sport Sciences*, DOI: 10.1080/02640414.2015.1088660
2. Jošt, B. (1988). Trenažerji za specialno motorično pripravo smučarjev skakalcev. *Telesna kultura*, 36 (1-2), 15–20.
3. Jošt, B. (1998). Vadbena naprava za razvoj specialne odzivne moči smučarjev skakalcev. *Šport*, 46 (1), 5–8.
4. Jošt, B. (2009). Teorija in metodika smučarskih skokov. Ljubljana: Fakulteta za šport.
5. Jošt, B. (2010). The hierarchical structure of selected morphological and motor variables in ski jumping. *Human movement*, 11(2), 124–131.
6. Ketterer, J., Gollhofer, A. in Lauber, B. (2020). Biomechanical agreement between different imitations jumps and hill jumps in ski jumping. *Scand J Med Sci Sports*, 00:1–9.
7. Komi, P. V. in Virmavirta, M. (2000). Determinants of successful ski-jumping performance. V Vladimir M. Zatsiorsky (ur.), *Biomechanics in sport*, Chapter 17 (str. 349–362). Oxford (UK); Malden, (MA) USA: Blackwell science, 2000.

8. Lorenzetti, S., Ammann, F., Windmüller, S., Häberle, R., Müller, S., Gross, M., Plüss, M., Plüss, S., Schödler, B. in Hübner, K. (2017). Conditioning exercises in ski jumping: biomechanical relationship of squat jumps, imitation jumps and hill jumps. *Sport Biomechanics*, 3141: 1–12.
9. Sasaki, T., Tsunoda, K., Uchida, E., Hoshino, H. in Ono, M. (1997). Joint Power Production in Take-Off Action during Ski-jumping. In: (Müller, E., Schwameder, H., Kornaxl, E., Raschner, C., eds.). *Proceedings of the first International Congress on Skiing and Science St. Christoph a. Arlberg*. Austria, January 7–13, 1996; 49–60.
10. Schwameder, H., Müller, E., Raschner, C. in Brunner, C. F. (1996) Aspects of technique-specific strength training in ski-jumping. V E. Müller, H. Schwameder, C. Raschner, S. Lindinger in E. Kornaxl (ur.). *Science and Skiing I (Proceedings book of the First International Congress on Skiing and Science, St. Christoph a. Arlberg, Austria, January 7–13, 1996)* (str. 309–319). Hamburg: Dr. Kovač.
11. Vaverka, F. (1987). *Biomechanika skoku na lyžich*. Olomouc: Univerzita Palackého.
12. Virmavirta, M. in Komi, P. V. (1989). The take off forces in ski jumping. *International journal of Sport Biomechanics*, 5, 248–257.
13. Virmavirta, M. in Komi, P. V. (1993). Measurement of take-off forces in ski jumping – part I. *Skandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 3(4), 229–236.
14. Virmavirta, M. in Komi, P. V. (1994). Take-off analysis of a champion ski jumper. *Coaching and Sport Science Journal*, 1, 23–27.
15. Virmavirta, M. in Komi, P. V. (2001). Factors influencing the »explosiveness« of ski jumping take-off. V E. Müller, H. Schwameder, C. Raschner, S. Lindinger in E. Kornaxl (ur.). *Science and Skiing II (Proceedings book of the Second International Congress on Skiing and Science, St. Christoph a. Arlberg, Austria, January 9–15, 2000)* (str. 14–29). Hamburg: dr. Kovač.
16. Virmavirta, M., Kivekäs, J. in Komi, P. V. (2001). Take-off aerodynamics in ski jumping. *Journal of Biomechanics*, 34(4), 465–470.
17. Werchoshanskij, I. V. in Tatjan, W. W. (1975). Komponenten und funktionelle Struktur der Explosivkraft des Menschen. *Leistungssport*, 5(1), 25–31.

prof. dr. Bojan Jošt
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
bojan.jost@fsp.uni-lj.si



Goran Vučković

Dartfish – predstavitev kompleksnega in zmogljivega programskega orodja za kvalitativno analizo športnega nastopa

Dartfish – presentation of a complex and high-performance software tool for a qualitative analysis of sports performance

Abstract

Over the past decade, sports analytics has developed tremendously. This is due to the increasing need for detailed analyses and, consequently, the findings about sports performance which coaches and athletes use for appropriate planning and implementing of the training process from all aspects of the competitive or result-oriented development. Moreover, the development of analytics is strongly influenced by the growth and particularly capacity of the information technology which is indispensable for a thorough analytical approach. There are numerous different computer-software tools available on the market which can be used for performance analysis in sport in different ways. Computer programs differ in terms of complexity and thus also ability to perform simple or very complex and advanced analyses. One such complex and highly capable solution is presented in the article, namely the Dartfish 10 Pro S computer program.

Key words: Sport analytics, quantitative analysis, Dartfish

Izvleček

Športna analitika je v zadnjem desetletju doživela izjemen razvoj. K temu je pripomogla vse izrazitejša potreba po detajlnih analizah in posledično ugotovitvah o športnem nastopu, ki jih trenerji in športniki uporabljajo za ustrezno načrtovanje in izvajanje trenažnega procesa z vseh vidikov tekmovalnega oziroma rezultatskega razvoja. Poleg tega na razvoj analitičnega razvoja močno vpliva vse večja rast in predvsem zmogljivost informacijske tehnologije, brez katere si temeljitega analitičnega pristopa ne moremo predstavljati. Na trgu je mogoče zaslediti veliko različne računalniške programske opreme, s katero lahko z različnimi postopki analiziramo športni nastop. Računalniški programi se med seboj razlikujejo po kompleksnosti in posledično zmožnosti izvajanja enostavnih ali pa zelo zahtevnih in naprednih analiz. Ena od kompleksnejših in zmogljivejših rešitev je predstavljena v članku, in sicer računalniški program Dartfish 10 Pro S.

Ključne besede: športna analitika, kvalitativna analiza, Dartfish

■ Uvod

V zadnjih dvajsetih letih je na področju športne analitike zaslediti velikanski razvoj, ki ga je mogoče opredeliti z različnih vidikov. Prvi in najpomembnejši je vsekakor vse večje zavedanje, da v izjemni športni konkurenci vrhunskega rezultata skoraj ni mogoče doseči brez analize športnika in ekipe, in sicer na ravni gibalnih spretnosti in sposobnosti, posledično tehničnih značilnosti in taktičnega znanja ter izkušenj. Prav tako je enako smiselno in nujno analizirati tekmeča oziroma nasprotno ekipo. Drugi vidik predstavlja izjemen razvoj računalniške tehnologije. Ta je omogočil razvoj naprednih metodoloških algoritmov za pridobivanje številnih kazalnikov o nastopu posameznega športnika ali ekipe. Pri tem je treba izpostaviti veliko hitrost pridobivanja podatkov, ki so čedalje natančnejši in zanesljivejši. Medijski vidik prav tako pomembno vpliva na

vsesplošno rast športne analitike. Velike in bogate medijske hiše si prizadevajo pridobiti čim več uporabnih podatkov z igrišča, ki jih nato v obliki rezultatov predstavijo kot zanimive in poučne zgodbe v svojih poročanjih. Naslednji vidik bi lahko poimenovali interes občinstva ali gledalcev, ki želijo neposredno po dogodku dobiti zanesljivo informacijo o tem, ali je žoga prešla vratarjevo črto po strelu v nogometu, koliko je igralec pretekel v določenem času in ali se je recimo žoga po servisu dotaknila črte v tenisu.

Ne glede na omenjeno je športno analitiko v osnovi mogoče razdeliti na kvantitativno in kvalitativno. Kvantitativna analitika temelji na velikem številu podatkov, ki si sledijo v logičnem zaporedju (največkrat časovnem). Ti podatki so največkrat vezani na položaj športnika v/na športnem prizorišču, iz katerega je potem mogoče določiti gibanje, na podlagi tega pa pot in hitrost gibanja posameznega športnika. Če se tem podatkom dodajo informacije o

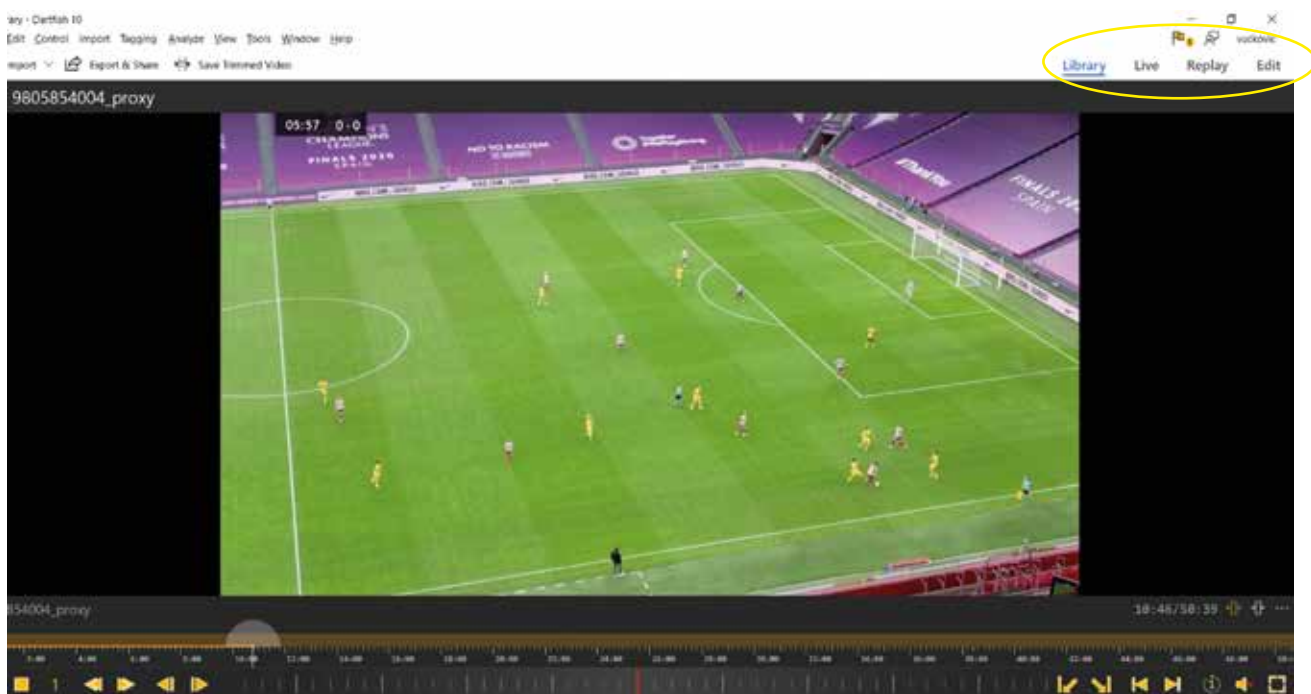
različnih tehnično-taktičnih aktivnostih športnikov, je iz tovrstnih podatkov mogoče kreirati številne rezultate, te pa uporabiti za reševanje zelo kompleksnih neznank. Pridobivanje podatkov v tem primeru temelji na različnih metodoloških rešitvah, ki so se prav z razvojem IT v zadnjem obdobju močno spreminjale in prehajale od ročnega beleženja prek kombinacije ročnega in avtomatičnega (računalniškega) pridobivanja podatkov do povsem samodejnih možnosti pridobivanja podatkov. Kot rečeno, so prvi sistemi temeljili na ročnem beleženju aktivnosti, pri čemer so uporabili video-posnetke, pridobljene iz različnega števila kamer in za preučevanje obremenitev športnikov v hokeju na travi (Spencer, Lawrence, Rechichi, Bishop, Dawson, in Goodman, 2004), košarki (McInnes, Carlson, Jones, in McKenna, 1995), nogometu (Ali in Farrally, 1991) itd. Tehnološki razvoj je pozneje omogočal pridobivanje večjega dela podatkov samodejno, pri čemer so bili komercialni sistemi usmerjeni predvsem v analiziranje aktivnosti igralcev v nogometu. Najbolj znana sistema sta bila Prozone (Di Salvo, Collins, McNeill, in Cardinale, 2006) in Amisco (Setterwall, 2003). Nekako v istem obdobju je bil na Univerzi v Ljubljani (Fakulteta za elektrotehniko in Fakulteta za šport) razvit sistem, ki je omogočal avtomatično sledenje gibanja igralcev in je temeljil na metodah procesiranja slik oziroma računalniškega vida (Perš, Bon, Kovačič, Šibila in Dežman, 2002). Ustvarjalci so sistem poimenovali SAGIT, sistem pa je bil sprva uporabljen v rokometu (Bon, 2001) in košarki (Vučković in Dežman, 2001). Z razvojem procesnih zmožnosti se je v naslednjih letih sistem nadgrajeval in bil uporabljen v skvošu (Murray, James, Perš, Mandeljc in Vučković, 2018), tenisu (Martinez-Gallego, Guzman, James, Perš, Ramon-Llin in Vučković, 2013), padelu (Ramón-Llin, Guzmán, Llana, Martinez-Gallego, James in Vučković, 2019) in plesu (Prosen, James, Dimitriou, Perš, in Vučković, 2013). Zadnjo generacijo sistemov za kvantitativno analiziranje športnih aktivnosti predstavljajo povsem avtomatične možnosti generiranja različnih podatkov. Med bolj znane sisteme sodijo Hawk-Eye (Kovalchik in Reid, 2018), Catapult (Alexander, Hopkinson, Wundersitz, Serpell, Mara in Ball, 2016) in StatSports (Taberner, O'Keefe, Flower, Phillips,

Close, Cohen, idr., 2020). Ti sistemi omogočajo procesiranje izjemnih količin podatkov, ki se največkrat avtomatično generirajo v obliki končnih rezultatov, bodisi v obliki tabel ali grafov. Prednost teh sistemov je vsekakor dejstvo, da končni uporabniki pridejo do rezultatov praktično takoj po športnem nastopu. Pomanjkljivost pa je oblika rezultatov, ki je vnaprej determinirana v znani obliki in uporabnikom ne omogoča možnosti osebnega pristopa pri pridobivanju končnih rezultatov. Ti so možni ob analiziranju surovih podatkov, kar pa zahteva veliko časa, saj so postopki analiziranja in pridobivanja končnih rezultatov lahko precej zamudni. Tak pristop je zato bolj uveljavljen pri raziskovalnem delu in manj v strokovnem delu.

Zato je v športni praksi, ki jo zaznamujejo športni analitiki (lahko gre za profesionalne analitike ali pa to delo opravljajo trenerji), kvalitativna analitika neprimerno bolj pogosta rešitev za ugotavljanje uspešnosti oziroma neuspešnosti tekmovalnega nastopa. Kvalitativna analitika namreč temelji na videoposnetku, ki kot tak dejansko predstavlja rezultat kakršnekoli analize. Na trgu so na voljo številne možnosti oziroma sistemi (računalniški programi) za kvalitativno analiziranje športne dejavnosti. Med seboj se razlikujejo predvsem v kompleksnosti zasnove, ki omogoča več ali manj možnosti za analiziranje. Nekateri sistemi so zgrajeni in usmerjeni za analitične potrebe točno določene športne igre ali panoge, drugi ponujajo univerzalne rešitve, ki jih je mogoče prilagoditi različnim potrebam. Med najboljše ponudnike na trgu kvalitativne analitike v športu sodi Dartfish (Fribourg, Švica).

■ Dartfish

Dartfish sodi med univerzalne programske sisteme, ki omogočajo analiziranje športnega nastopa na različne načine. V svoji ponudbi imajo številne programske različice, v članku pa bo nekoliko podrobneje predstavljena verzija programa Dartfish 10 Pro S. Ta verzija programa je v osnovi sestavljena iz štirih modulov, ki so prikazani v desnem zgornjem robu zaslona (Slika 1, označeno z rumeno barvo).



Slika 1. Prikaz modula »Library«

S klikom na enega od navedenih modulov se izbrani modul odpre v novem pojavnem oknu. Na Sliki 1 je prikazan modul »Knjižnica«. Modul je namenjen osnovnemu pregledovanju videoposnetkov. Posnetke je mogoče pregledovati v različnih hitrostih predvajanja naprej in nazaj oziroma po posamezni sliki, mogoče je izbrati pogled čez celoten zaslon in zelo enostavno originalni videoposnetek izrezati na poljubno število delov, ki jih nato shranimo kot nov videoposnetek.

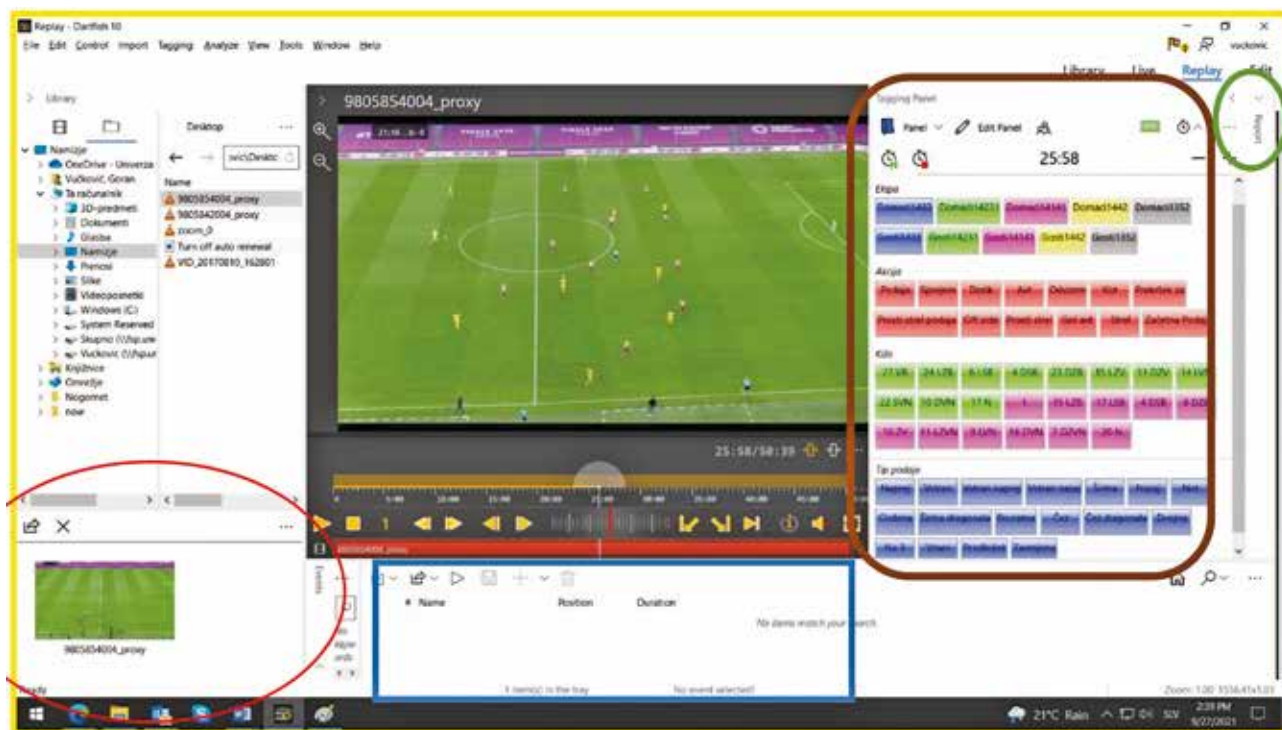
Modul »Live« omogoča neposredno analiziranje med tekmovalnim nastopom oziroma treningom. Tak pristop zahteva nekaj dodatne strojne opreme, s katero je videoposnetek mogoče neposredno prenašati na računalnik in sproti izvajati analizo. To zahteva usposobljenega analitika, ki hitro in zanesljivo analizira nastop ter vnaša potrebno informacijo v sistem. Zato morajo biti analitični pristopi v tem primeru nekoliko enostavnejši, saj je pri kompleksnih analizah treba klikniti na preveliko število tipk za določen vnos, kar lahko vodi v slabšo pozornost in posledično izgubo pomembnih informacij. Pomembna prednost takih analiz je vsekakor takojšnja povratna informacija. Ta je v nekaterih športnih panogah zelo pomembna bodisi z vidika doseženega rezultata (streljanje, lokostrelstvo) bodisi tehnične izvedbe kompleksnih gibalnih akcij (gimnastika, atletika) oziroma je pri določenih športnih igrah (nogomet, košarka, rokomet, hokej na ledu itd.) smiselno prikazati in analizirati določene dogodke med polčasi, četrtinami, tretjinami ali drugačnim daljšim premorom.

Ne glede na vrsto in kompleksnost analitičnega pristopa je pred izvajanjem analize treba odgovoriti na najmanj dve vprašanji, in sicer: kaj želimo analizirati in kako bomo to naredili. Odgovore na ta vprašanja je treba v obliki programske sintakse kreirati v modulu »Replay« (Slika 2).

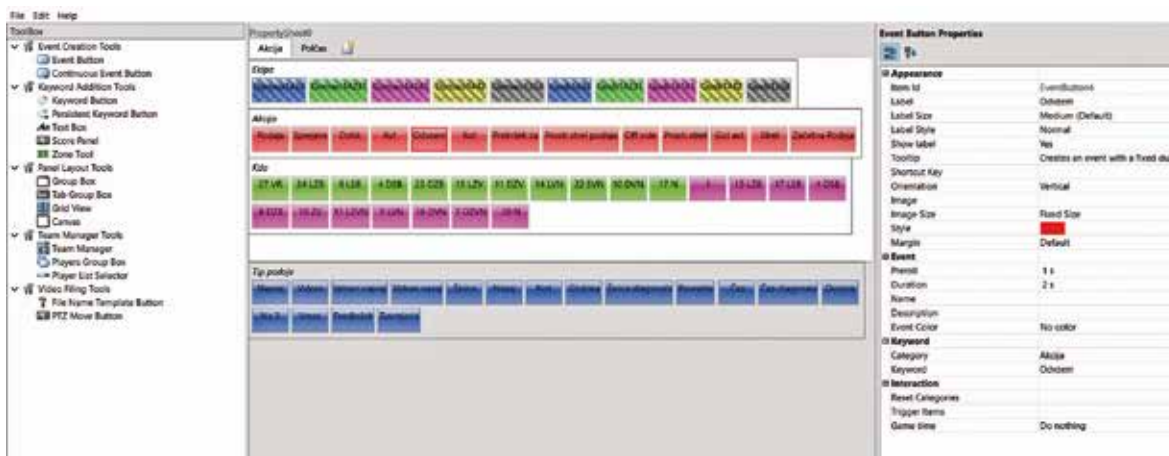
Modul »Replay« je sestavljen iz različnih podoken. Na levi strani so v obliki raziskovalca prikazani direktoriji z mapami in datoteka-

mi, ki jih program zaznava in predvaja. V središču je podokno, v katerem se predvaja videoposnetek. Pri tem je treba omeniti, da v modulu ne moremo izvajati nikakršnih opravil, če je podokno za videoposnetek prazno. Levo spodaj (obkroženo z rdečo na Sliki 2) je podokno z vsemi videoposnetki, ki jih želimo pregledovati v določenem projektu. Število posnetkov ni omejeno, kar pomeni, da je določene analize mogoče izvajati na osnovi večjega števila videoposnetkov (recimo tekem). Najpomembnejši del omenjenega modula je analitična struktura, ki jo je treba zastaviti pred začetkom analiziranja. Ta struktura se v programu imenuje »Panel«. Ko je »Panel« ustvarjen in zaključen, je njegov videz prikazan na desni strani zaslona (označeno z rjavo na Sliki 2). Panel se ustvari v ločenem podoknu, ki je prikazan na Sliki 3.

Podokno za pripravo in kreacijo »Panela« je sestavljeno iz treh delov. Na levi strani je nabor orodij, ki jih lahko uporabimo pri ustvarjanju »panela«. Na vrhu tega dela so oznake za dogodke (»Event Button in Continuous Event Button«), ki jih želimo beležiti ob analiziranju. Ti dogodki predstavljajo posamezne videoposnetke (videozapis), ki se nato sistematično prikazujejo v spodnjem delu zaslona v modulu »Replay« (obkroženo z modrim pravokotnikom na Sliki 2). Razlika med omenjenimi dogodki (videozapisi) je predvsem v času trajanja videozapisa. Pri »Event Button« je ta konstanten. Njegov čas trajanja določimo v odvisnosti od vsebine videozapisa. Če nas zanima posamezna športna akcija, recimo strel na gol pri nogometu, met na koš ali začetni udarec v tenisu, bo ta čas kratek in predvsem konstanten. Če ob tem želimo prikazati tudi rezultat omenjenih akcij ali celo ugotoviti, kako se je določena akcija zgodila, je ta čas treba sproti vnašati. To lahko naredimo kar v okencu, kjer je ta čas zapisan (stolpec »Duration« na Sliki 2 v modro obkroženem delu). »Continuous Event Button« bomo uporabili v primeru časovno variabilnih videozapisih. Takšni so recimo posamezne točke (aktivne faze) v igrah z loparji ali napadalne in obrambne akcije v košarki, rokometu in drugih športnih igrah, kjer



Slika 2. Prikaz modula »Replay«

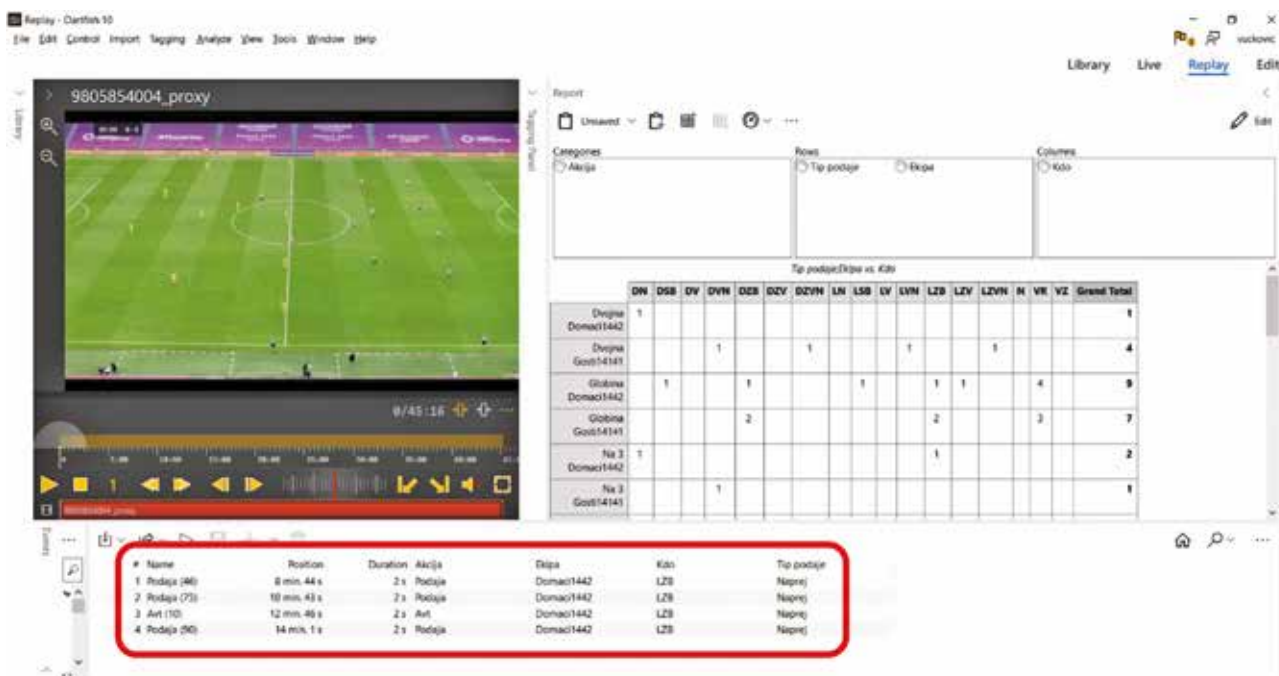


Slika 3. Podokno za ustvarjanje analitične strukture (Panel)

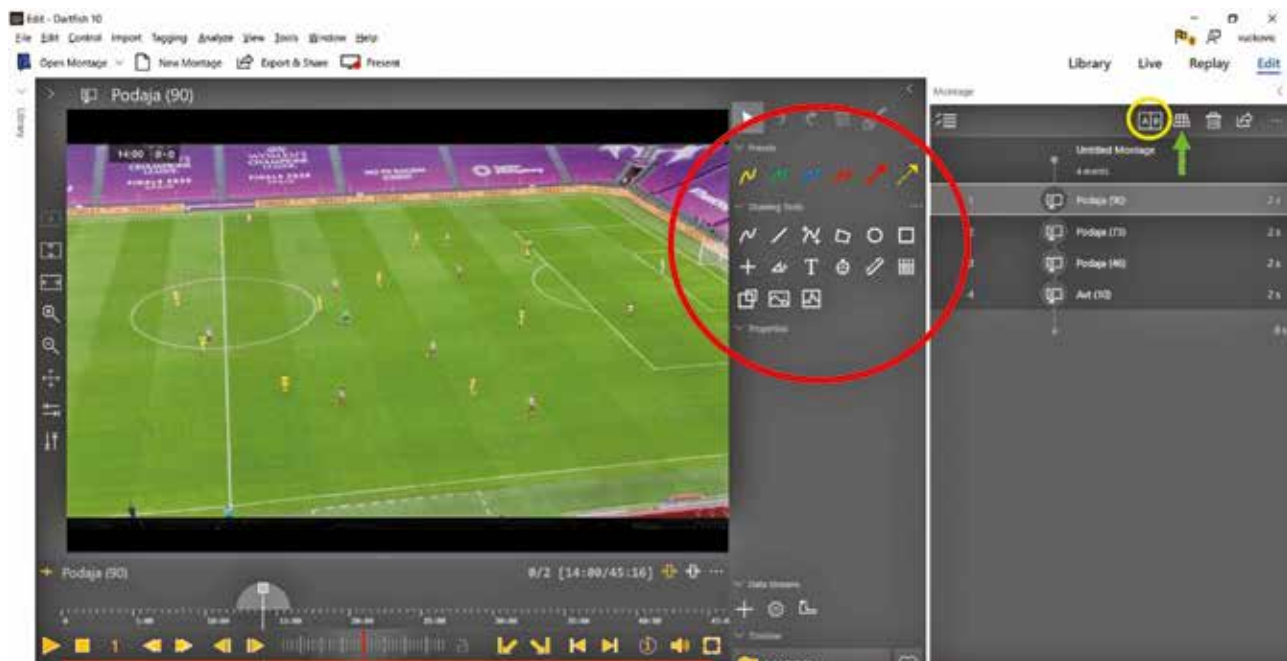
se ta čas nenehno spreminja. V tem primeru označimo začetek in konec akcije oziroma zastavimo »Panel« na način, ko analizirano dogajanje prehaja iz ene faze v drugo (lahko tudi več faz). Tak primer bi lahko bil posest žoge ali drugega športnega rekvizita v različnih igrah, ko faze prehajajo med seboj in zato ni treba označiti začetka in konca posamezne faze. Druge informacije, ki jih želimo dodeliti posameznim dogodkom, označimo z gumbi »Keyword Button«. Teh podinformacij je lahko neomejeno in gre bolj za razmislek o smiselnosti drobljenja informacij. Poleg tega kaže omeniti še »Persistent Keyword Button«. S tem opredelimo določeno informacijo daljšega časovnega obdobja, kot so polčasi, tretjine, nizi itd. V naboru orodij je sicer še veliko dodatnih možnosti, ki pa z vidika pomembne predstavitve ne predstavljajo ključnih informacij in njihova razlaga vsekakor presega okvire članka. V sredini podokna »Panel« je prikaz izbranih orodij in njihovih povezav. Povezave med gumbi so v kompleksnih zasnovah smiselne in zaželeno. Veliko število gumbov povzroči prostorsko obsežen del zaslona, zato je pri analiziranju treba iskati gumbke v množici teh ali celo s premikanjem drsnika priti do zelenih gumbov. Rešitev je v po-

vezovanju dogodkov s podinformacijami, na podlagi katere se na zaslonu prikažejo le tisti gumbi, ki imajo neposredno povezavo s predhodno označbo. Te povezave, kot tudi vse druge lastnosti posameznih dogodkov in njihovih podinformacij, se kreira v desnem delu podokna »Panel«. Ko zaključimo kreacijo »Panela«, ga je treba shraniti in potem ga enostavno odpremo v modulu »Replay«. Zelo pomembna je možnost sprotnega popravljanja »Panela«, kajti včasih je težko predvideti vse možne dogodke in pripadajoče podinformacije. Iz tega izhaja tudi dejstvo, da je »Panel« mogoče ustvarjati sproti s pregledovanjem videoposnetka in trenutnih zapazanj analitika ali trenerja.

Modul »Replay« je mogoče uporabiti tudi za predstavitev, ko se določene ugotovitve delijo s posameznimi športniki ali ekipo. Prvi pomisleki so usmerjeni v veliko število vrstic, ki se nabirajo v seznamu dogodkov (modro označen del na Sliki 2), in temu primeren problem pri iskanju točno določenih dogodkov. Vendar so pri Dartfishu to težavo sistemsko odlično rešili. V zgornjem desnem delu zaslona po opravljeni analizi zapremo pogovorno okno »Tagging Panel« in kliknemo na jeziček pogovornega okna »Report« (zeleni



Slika 4. Pogovorno okno »Report«



Slika 5. Prikaz modula »Edit«

krog na Sliki 2). Odpre se pogovorno okno, ki omogoča prikaz rezultatov našega analiziranja (Slika 4).

Vse analizirane spremenljivke (bodisi dogodki bodisi njihove podinformacije) je mogoče prikazati v obliki tabel. Pri tem lahko posamezne spremenljivke poljubno vnašamo med vrstice in stolpce, njihovo število pa ni omejeno le na eno spremenljivko. Rezultati v tabelah so lahko prikazani kot število posameznih dogodkov, njihov delež v celoti ali samo glede na stolpec oziroma vrstico in kot čas ter delež časa. Tabele je mogoče kopirati v obliki surovih podatkov v Microsoft Excel ali pa v obliki slik in jih nato uporabiti v različnih predstavitvah. Še pomembneje pa je omeniti, da se s pomikom kurzorja računalniške miške na vrednost v celici ta obarva z modro. S klikom na vrednost se v podoknu dogodkov (obkroženo rdeče na Sliki 4) prikažejo samo izbrani dogodki. Tako lahko v veliki množici dogodkov (zelo podrobne analize lahko štejejo nekaj tisoč videozapisov) zelo hitro poiščemo in prikažemo točno določene videozapise.

Zaradi zahtev uporabnikov po drugačnih (naprednejših) zmožnostih prikazovanja ugotovljenih rezultatov in analiziranih videozapisov so pri Dartfishu v tej programski različici razvili še zadnji modul, ki so ga poimenovali »Edit«. Modul omogoča različne možnosti prikazovanja rezultatov (videozapisov) in dodatnega analiziranja teh. Ena od rešitev je prikaz videozapisov v obliki videomontaže. V modulu »Replay« označimo (izberemo) tiste videozapise, ki jih želimo uvrstiti v montažo. Ko odpremo modul »Edit«, se nam izbrani videozapisi prikažejo na desni strani zaslona (Slika 5).

Montažo videozapisov lahko dopolnjujemo z različnimi informacijami, kar končnemu izdelku doda vse tisto, kar želimo deliti s športniki ali igralci ekipe. Znotraj vsakega videozapisa lahko uporabimo enostavna orodja za pisanje besedila ali označevanje določenih igralnih okoliščin v določenem (izbranem) času (obkroženo z rdečo na Sliki 5). Program omogoča tudi tehnološko naprednejše možnosti prikazovanja določenih detajlov znotraj posameznega videozapisa. V tem primeru je treba klikniti na ikono, ki jo na Sliki 5 označuje zelena puščica. S tem odpremo podokno za tridimenzi-

onalno analiziranje videozapisa. To analiziranje temelji na prostorski kalibraciji igrišča, ki ga je treba opraviti za vsak časovni odsek analiziranega videozapisa. Sistem uporabnika vodi skozi uporabniško orodje, katerega uporaba je enostavna, če je le igrišče, ki ga kalibriramo, vidno v večjem delu zaslona. Po opravljeni kalibraciji lahko znotraj videozapisa igralce svetlobno označujemo, jim ob gibanju prikazujemo njihovo pot in hitrost gibanja, prikažemo razdaljo med igralci, površino igrišča med izbranimi igralci, igralce kloniramo v želji po prikazu neustreznih pozicij igralcev v igrišču ali na njem, označujemo igrišče z vodoravnimi ali navpičnimi črtami, označimo določen del igrišča itd. (Slika 6).

Ne glede na to, ali izvajamo dvodimenzionalno ali tridimenzionalno analizo, končno montažo shranimo in jo uporabnikom prikažemo v obliki celotnega videoposnetka (filma). Končni izdelek lahko do uporabnikov posredujemo prek spletnih zmožnosti, bodisi kanala YouTube, spletnega oblaka Dartfish ali Dartfish TV, ki je nekakšna platforma za sistemsko deljenje in uporabo vsega, kar je narejeno s sistemom Dartfish. Modul »Edit« omogoča tudi pregledovanje dveh videozapisov hkrati. S klikom na ikono (obkroženo rumeno na Sliki 5) se nam odpre podokno z dvema ločenima oknom, v katera prenesemo videozapisa. Po potrebi videozapisa časovno uskladimo (sinhroniziramo), ob pregledovanju pa lahko znova uporabimo vsa orodja za pisanje besedil ali risanje. Videozapisa lahko postavimo drugega ob drugem ali drugega pod drugim. Ta možnost pregledovanja in analiziranja športnega nastopa je pogosta v alpskem smučanju oziroma pri analiziranju gibalne izvedbe določenih tehničnih elementov v različnih športnih igrah ali panogah. Videozapisa je mogoče postaviti tudi drugega prek drugega in s tem športni nastop analizirati z vidika primerjave dveh športnikov v daljšem časovnem obdobju. Ti primeri so znani v alpskem smučanju, ko lahko vožnjo dveh smučarjev opazujemo v okviru enega videoposnetka in s tem neposredno uvidimo različne linije (tehniko in taktiko) smučanja in njihov vpliv na hitrost smučarja.



Slika 6. Prikaz 3D-analize

Zaključek

Za zaključek lahko poudarimo, da programski paket Dartfish 10 Pro S predstavlja celovito možnost kompleksnega in podrobnega analiziranja športnega nastopa. Sistem je kljub številnim zmožnostim zelo enostavno uporabljati. Številne zmožnosti namreč ne smemo zamenjevati s težavnostjo uporabe sistema. Osnovno logiko in posledično uporabnost sistema je mogoče usvojiti v le nekaj urah. Njegova prednosti in uporabnost pa je z vidika športne analitike skoraj neizmerljiva.

Literatura

1. Ali, A. in Farrally, M. (1991). A Computer-Video aided Time Motion Analysis Technique for Match Analysis. *J Sport Med Phys Fitness* 31, 82–88.
2. Alexander, J. P., Hopkinson, T. L., Wundersitz, D. W. T., Serpell, B. G., Mara, J. K. in Ball, N. B. (2016). Validity of a wearable accelerometer device to measure average acceleration values during high-speed running. *J Strength Cond Res*, 30(11), 3007–3013.
3. Bon, M. (2001): *Kvantificirano vrednotenje obremenitev in spremljanje frekvence srca igralcev rokometu med tekmo*. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
4. Di Salvo, V., Collins, A., McNeill, B. in Cardinale, M. (2006). Validation of Prozone: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*. 6(1), 108–119.
5. Kovalchik, S. in Reid, M. (2018). A shot taxonomy in the era of tracking data in professional tennis, *Journal of Sports Sciences*, DOI:10.1080/02640414.2018.1438094
6. Martinez-Gallego, R., Guzman, J. F., James, N., Perš, J., Ramon-Llin, J. in Vučković, G. (2013). Movement Characteristics of Elite Tennis Players on Hard Courts with Respect to the Direction of Ground Strokes. *J Sports Sci Med*, 12, 275–281.
7. McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J. in McKenna, M. J. (1995). The physiological load imposed on basketball players during competition. *Journal of Sports Sciences*. 13, pp. 387–397.
8. Murray, S., James, N., Perš, J., Mandelj, R. in Vučković, G. (2018). Using a situation awareness approach to determine decision-making behaviour in squash. *Journal of Sports Sciences*, 36(12), 1415–1422.
9. Perš, J., Bon, M., Kovačič, S., Šibila, M. in Dežman, B. (2002) Observation and analysis of large-scale human motion. *Human Movement Science*, 21(2), pp. 295–311.
10. Prosen, J., James, N., Dimitriou, L., Perš, J. in Vučković, G. (2013). A time-motion analysis of turns performed by highly ranked Viennese waltz dancers. *Journal of Human Kinetics*, 37, 55–62.
11. Ramón-Llin, J., Guzmán, J. F., Llana, S., Martínez-Gallego, R., James, N. in Vučković, G. (2019). The effect of the return of serve on the server pair's movement parameters and rally outcome in padel using cluster analysis. *Frontiers in Psychology*, vol. 10.
12. Setterwall D. (2003). Computerised video analysis of football – Technical and commercial possibilities for football coaching. Magistrsko delo, Stockholm: CID, NADA.
13. Spencer, M., Lawrence, S., Rechichi C., Bishop, D., Dawson, B. in Goodman, C. (2004). Time motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *Sports Sci*, 22, 843–850.
14. Taberner, M., O'Keefe, J., Flower, D., Phillips, J., Close, G., Cohen, D. D., Richter, C. in Carling, C. (2020). Interchangeability of position tracking technologies; can we merge the data? *Science and Medicine in Football*, 4:1, 76–81.
15. Vučković, G. in Dežman, B. (2001). Results of tracking a referee's movements during a basketball match with computer sight. V: Jürimae, T. (ur.). *Sport kinetics 2001 : human movement as a science in the new millennium : proceedings*, (Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis, Vol. 6 (Supplement)). Tartu: University of Tartu, (str. 274–277).
16. Vučković, G., Perš, J. in Dežman, B. (2006). Razvoj avtomatskega sledenja gibanj igralcev na tekмах in obdelave zbranih podatkov [Development of the automated tracking of players' movements during matches and processing of collected data]. *Šport*, 54 (4), pp. 27–30.

prof. dr. Goran Vučković
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
goran.vuckovic@fsp.uni-lj.si



Tine Sattler

Prospektivna analiza poškodb in spremljanje obremenitev v odbojki s tehnologijo My Vert

Prospective analysis of sports injury and load monitoring in volleyball team

Abstract

The master thesis focuses on the areas of injuries, the jump load for each playing position and their characteristic. The correlation between jumps and injuries. Our study involves twenty-two players of the Japanese volleyball team JT Thunders: two setters, two opposites, nine receivers and nine middle blockers. During each training session, all players used a MyVert device, which allowed us to obtain the exact number and frequency of jumps. The analysis has shown that the overall injury incidence in the club is low and that the injury incidence during the training sessions is higher comparing to matches. We have concluded that most of the injuries are located in the pelvis and coccyx area, a few in the collarbone area, some in the knee, elbow, ankle and thigh areas and the least neck and sternum areas. The players with biggest number of jumps during training sessions are setters, followed by middle blockers, receivers and opposites. During the matches, setters made biggest number of jumps followed by opposites, middle blockers and receivers. We determined the relationship between jumps and injuries with Spearman's correlation coefficient and the results showed that there is no real connection between jumps and injuries.

Key words: volleyball, injury analysis, JT Thunders team,

Izvleček

Namen naše raziskave je bil analizirati mesto poškodb ter število skokov glede na posamezna igralna mesta in njihove značilnosti. Nato smo želeli ugotoviti povezanost skokov s poškodbami. V raziskavo smo vključili 22 igralcev japonske odbojarske prvoligaške ekipe. Vsi igralci so na vsakem treningu nosili napravo MyVert, s katero smo zbrali podatke o številu in pogostosti skokov ter jo v poglavju Metode tudi podrobno opisali. Incidenca poškodb v klubu je nizka, višja je na treningih kot na tekmah. Največ poškodb je v predelu medenice oziroma trtice, malo manj je poškodb ključnice, sledijo poškodbe kolena, komolca, gležnja, stegna ter vratu in prsnice. Največ skokov glede na igralno mesto na treningih naredijo podajalci (17499), blokerji (8498), sprejemalci (7862) in korektorji (6666). Na tekmah pa podajalci (5033), korektorji (1979), blokerji (1566) in sprejemalci (1542). S Spearmanovim koeficientom smo izračunali povezanost skokov s poškodbami in ugotovili, da ta ni statistično značilna.

Ključne besede: odbojka, analiza poškodb, obremenitve, skoki, igralno mesto

2017/2018 season

■ Uvod

Ukvarjanje s športom je postalo eden od načinov življenja. Gre za zdravo preživljanje prostega časa in sprostitve, obenem pa šport razvija in ohranja motorične in mentalne sposobnosti tako otrok kot odraslih. Odbojka je med športnimi igrami najmlajša ter je med najbolj razširjenimi in najbolj množičnimi panogami na svetu (Reeser, Verhagen, Briner, Askeland in Bahr, 2006).

Po strukturi gibanja spada odbojka med polistrukturne aciklične športe, po številu igralcev, ki v igri sodelujejo, pa med ekipne športne igre. Na igrišču sta dve šesterici igralcev, ki sta ločeni z mrežo, zato v fazi napada ali obrambe načeloma ni medsebojnih stikov (Zadražnik in Marinko, 2004).

Glede na razvoj vrhunske odbojke so se igralci specializirali za določena igralna mesta: sprejemalec, podajalec, bloker, korektor in libero. Vsa igralna mesta zahtevajo visoko raven razvitosti motoričnih sposobnosti, ki pa so specifične za vsako igralno mesto. Posamezni tipi igralcev se med seboj razlikujejo tako v morfoloških kot v motoričnih sposobnostih (Sattler, 2010).

Pri odbojki in drugih profesionalnih športih je za najboljše rezultate treba dosegati najvišje meje človeških sposobnosti. Zmotno je prepričanje, da se poškodb v športu ne da zmanjšati. V ospredju morata biti ohranjanje zdravja in preventivna vadba s ciljem zmanjšanja števila poškodb. Kot v vsakem športu je tudi pri odbojki igralec izpostavljen številnim poškodbam zaradi specifičnih gibanj in posledično biomehanskih obremenitev lokomotornega sistema. Po definiciji je športna poškodba vsaka poškodba, ki nastane med določenim športom, zaradi katere mora športnik prenehati trenirati oziroma tekrovati ter se ne udeležiti vsaj enega treninga ali tekme (Sattler, 2010).

Športne poškodbe so del tako vrhunske odbojke kot tudi drugih ravni igranja odbojke. S profesionalnim delom z odbojkarji lahko preprečimo nastanek poškodb. Če pa se igralci poškodujejo, je pomembna popolna rehabilitacija (Sattler, 2010).

Delež poškodb v odbojki je nizek tako na vrhunski ravni kot tudi na šolski, nizek pa je tudi v primerjavi z drugimi šolskimi športi. V odbojki naj bi bilo le 17 % poškodb glede na vse druge športe z žogo, medtem ko je pri košarki in nogometu 32 % oziroma 24 % vseh poškodb (Knobloch idr., 2005). Ti podatki kažejo, da je odbojka razmeroma varen šport tako na vrhunski kot rekreativni ravni.

Skoki so sestavni del športa pri odbojki ter tudi pri drugih individualnih in ekipnih športih, kot so atletika, košarka, nogomet in rokomet. Razumevanje biomehanskih zakonitosti s koordinacijo telesa je praktično zelo uporabno (Fritz in Peikenkamp, 2010).

Pri odbojki so skoki izvedeni po gibanju, na primer skok v bloku sledi po križnih ali prisunskih korakih, skok pri servisu sledi po zaletnih korakih, napadalni udarec v skoku po zaletu in podaja, izvedena v skoku, po določenih korakih.

Ker igralci odbojke večinoma trenirajo skupaj s celotno ekipo v dvorani, je zelo težko izmeriti obremenitev vsakega igralca posebej, zato so nam različne naprave v veliko pomoč (Borges idr., 2017). Da bi bile obremenitve na treningih čim bolj podobne obremenitvam na tekmah, potrebujemo čim natančnejše meritve skokov posameznika, s katerimi lahko izračunamo zelene obremenitve. Dandanes to še ni popolnoma razvito, a je že na voljo tehnologija, ki omogoča spremljanje skokov vsakega posameznika. V raziskavi, ki so jo opravili avstralski znanstveniki (Charlton, Kennally-Dabrowski, Sheppard in Spratford, 2016), so bile predstavljene prednosti tehnologije z napravo MyVert za kakovostno in natančno spremljanje števila skokov med treningi ali tekmami. Sposobnost naprave MyVert so primerjali z videoanalizo za določanje natančnosti naprave. Uporaba in primerjava dveh naprav hkrati je pokazala zelo dobro povezanost ($r = 0,83-0,97$). V primerjavi z videoanalizo pa se je naprava MyVert pokazala kot zelo natančna (0,995–1,000). Tako so Myvert napravo priporočili za merjenje

vertikalnega premika in števila skokov v elitni odbojki mladinske kategorije.

Borges idr. (2017) so med seboj primerjali napravi Vertec in MyVert. Potrdili so zelo visoko povezanost med napravama za skoke v napadu in skoke v bloku. Tako navajajo, da je naprava zelo zanesljiva in uporabna in omogoča analize skokov.

Naprava MyVert je precej ugodnejša od preostalih podobnih naprav na trgu in dostopna vsem ekipam.

MyVert je komercialno dostopno orodje, ki lahko meri navpični premik in število skokov. Naprava nam omogoča, da z zbranimi podatki lažje izračunamo določeno obremenitev. Nedavno so že Skazalski, Whiteley, Hansen in Bahr (2018) želeli oceniti zanesljivost in veljavnost naprave MyVert. Pri štetju števila skokov so omenjeni avtorji študije primerjali podatke, ki jih je zbrala naprava MyVert, z videoanalizo dveh tekem in treh treningov. Skoke je izvajalo 14 igralcev profesionalne ekipe. Naprava MyVert je natančno preštela 99,3 % skokov, torej je priporočljiva za uporabo. So pa omenjeni avtorji navedli, da naprava ni priporočljiva za merjenje maksimalnih sposobnosti skakanja, saj je pri tem potrebna večja natančnost.

V eni izmed zadnjih raziskav so prav tako uporabili napravo MyVert za merjenje skakalnih sposobnosti v elitni odbojki. Drugače od preostalih raziskav, ki so se v glavnem ukvarjale z natančnostjo merjenja naprave MyVert, so se avtorji osredotočili na sile, ki nastanejo pri doskoku, in zanesljivost naprave pri merjenju nastanka sile pri doskoku. Za primerjavo so merjenci hkrati uporabljali še drugo napravo za merjenje pospeška (Shimmer). Rezultati so pokazali, da so pospeški z merjenjem naprave MyVert spremenljivi in nekoliko nižji v primerjavi z napravo Shimmer. Tako so zaključili, da je zanesljivost naprave MyVert za merjenje sil pri doskoku slabša v primerjavi z napravo Shimmer (Damji idr., 2021).

Metode

Preizkušanci

Vzorec preizkušancev sestavljajo igralci, ki so v sezoni 2017/2018 igrali v japonski odbojarski ekipi JT Thunders. Spremljali smo 22 igralcev. Beleženje skokov in poškodb je potekalo od 1. 8. 2017 do 30. 4. 2018.

Pripomočki

Pri zbiranju podatkov smo uporabili napravo MyVert, ki beleži več stvari:

- Število skokov, razmerje zadnjega in najvišjega skoka v odstotkih, najvišji skok, povprečno višino skokov in višino skokov na treningih in tekmah (Slika 1).
- Kategorizacijo sil pri doskokih v majhne, srednje in visoke (Slika 2).

Tabela 1
Razlike med različnimi napravami za testiranje navpičnih skokov

	Cena pod 175 USD	Hitra namestitvev	Meri na treningih in tekmah	Shranjuje podatke	Možnost deljenja na družbenih omrežjih
VERT	X	X	X	X	X
Vertec					
Tenziometrijska plošča		X		X	
Videosistem				X	



Slika 1. Prikaz funkcije skokov



Slika 2. Funkcija sile pri pristajanju



Slika 3. Funkcije različnih testov



Slika 4. Prikaz porabljene energije



Slika 5. Prikaz učinkovitosti teka



Slika 6. Prikaz moči in intenzivnosti

- Merjenje hitrosti, vertikalno eksplozivnost, vzdržljivost in učinkovitost gibanja. Prikazuje tri različne teste: vzdržljivost v skokih, skok v blok in skok za napad (Slika 3).
- Količino porabljene energije med gibanjem in skupno opravljenem delu (Slika 4).
- Izračuna silo vsake noge posebej in sledi učinkovitosti gibanja pri teku (Slika 5).
- Izračuna intenzivnost gibanja, maksimalno intenzivnost in eksplozivnost gibanja (Slika 6).

Naprava MyVert (Slika 7) je ena izmed novejših naprav, s katero spremljamo in analiziramo skoke športnikov. Je enostavna za uporabo, saj jo igralec pripne na oblačilo ali pa si jo pripne kot pas. Omogoča vpogled v izmerjene podatke kjerkoli in kadarkoli, med treningom, po njem ali med analizo tekme.



Slika 7. Naprava MyVert in aplikacija myvert

Naprava vsebuje triosni merilnik pospeška, triosni žiroskop in triosni magnetometer. Prikazuje število skokov, višino skokov in silo pri pristanku (Damji idr., 2021).

Ti podatki so nam lahko v veliko pomoč pri načrtovanju preventivnega treninga in za preprečevanje poškodb, tako novih kot tudi obnavljanju starih poškodb.

Višina in število skokov sta v svetu športa prepotrebna podatka, saj se med pristankom sila teže podvoji ali pa znaša celo štirikratnik telesne teže (Charlton idr., 2016). Če nimamo sestavljenega primernega treninga preventive pred poškodbami, je velika verjetnost za poškodbe, saj športniki ves čas premagujejo velike sile med pristankom.



Slika 8. Nošenje naprave (MyVert, 2020)

Napravo MyVert so si igralci JT Thunders s posebnim trakom zapeli okrog pasu (Slika 8). Ves čas (skozi celotno odbojgarsko sezono, na vsakem treningu in tekmi) so jo imeli pritrjeno nase, da smo lahko beležili skoke.

Med aktivnostjo je naprava štela in beležila značilnosti, število in višino skokov. Vse to se je med izvajanjem sproti prenašalo na tablični računalnik, ki omogoča spremljanje tako velikega števila igralcev prek povezave bluetooth, ali pa so se vsi ti podatki prenesli hkrati po aktivnosti, odvisno od dela na tistem treningu (Slika 9).



Slika 9. Primer prikaza podatkov iz naprave na računalnik (MyVert, 2020)

Postopek

Merjenci so bili v trenažnem procesu opazovani, beležila se je karakteristika njihovih poškodb (tip poškodbe, anatomsko mesto poškodbe) in izračunala incidenca poškodb. Beležili smo število skokov ter ugotavljali povezanost števila skokov glede na igralno mesto in vpliv števila skokov na nastanek poškodb. Sproti smo beležili poškodbe in bolezni igralcev ter jih vnašali v tabelo programa Microsoft Excel. Ob koncu smo zbrali podatke, na podlagi katerih smo prišli do ugotovitev. Uporabljena je bila tudi naprava MyVert, ki meri višino doseženih skokov pri igralcih ter število skokov (Thiago, Borges, Moreira, Bacchi, Finotti, Ramos, Lopes in Aoki, 2017).

Epidemiološke podatke odbojkarjev smo statistično analizirali v programu Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, ZDA) in v programu IBM SPSS (SPSS Inc., Chicago, Illinois, ZDA). Opisne spremenljivke so predstavljene s frekvenčno porazdelitvijo (f in %), številske pa s povprečji (μ), standardnimi odkloni (SD) in standardnimi napakami povprečij (SN μ). Preverili smo tudi predpostavke za številske spremenljivke: normalnost porazdelitve s Shapiro-Wilkovim testom in homogenost varianc z Levenovim testom. Primerjavo med igralnimi mesti v številu skokov smo izvedli z enosmerno analizo variance, pri čemer smo dodatno uporabili še Tukeyjev test mnogoterih primerjav za primerjavo dveh igralnih položajev v številu skokov. Povezavo med številom skokov in poškodb smo izvedli s Spearmanovim korelacijskim koeficientom in jo predstavili na razsevnem grafikonu. Vse statistične primerjave in korelacije smo ovrednotili kot statistično značilne pri stopnji tveganja 5 %.

Rezultati in razprava

Beleženje poškodb

Podatke o poškodbah, boleznih, dnevni odsotnosti zaradi bolezni, številu ur treninga in tekem ter številu skokov na treningih in tekmah so v omenjenem obdobju vpisovali trenerji in njihovi pomočniki v posebne enotne obrazce (epidemiološki karton). Ta metodologija je bila uporabljena tudi v dosedanjih epidemioloških raziskavah o športnih poškodbah (Bahr, 1997; Verhagen, 2004). Poškodba je bila definirana kot vsak dogodek na treningu in/ali

tekmi, zaradi katerega je moral odbojkar prenehati trenirati/tekovati in se ne udeležiti naslednjega treninga/tekme. Poškodbe so bile zabeležene v enoten obrazec o poškodbah takoj ob njihovem nastanku oz. najpozneje teden dni po poškodbi. Epidemiološki kartoni o številu ur treningov in tekem ter o poškodbah so bili zbrani ob koncu vsakega meseca. Tak pristop je že bil uporabljen v dosedanjih raziskavah o športnih poškodbah (Verhagen, Van der Beek, Bouter, Bahr in Van Mechelen, 2004).

Tabela 2
Osnovni podatki o poškodbah oziroma boleznih

Vzrok	Poškodovani	Število dni odsotnosti
Bolezen	4	11 (dni)
Poškodba	/	40
Kronične	2	4
Akutne	22	36

V sezoni so bili bolni 4 igralci, skupno so bili odsotni 11 dni, kar je relativno malo. Iz Tabele 2 vidimo, da je 22 akutno poškodovanih igralcev skupaj utrpelo 36 akutnih poškodb (nekateri so bili poškodovani več kot enkrat). Kronično poškodovana sta bila 2 igralca, ki sta skupaj utrpela 4 kronične poškodbe (pri nekaterih se je poškodba ponovila).

Incidenca poškodb odbojkarjev

Ugotavljali smo, ali se odbojkarji v povprečju večkrat poškodujejo na treningih ali na tekmah, ter analizirali celotno povprečje poškodb v klubu.

Tabela 3
Incidenca poškodb odbojkarjev

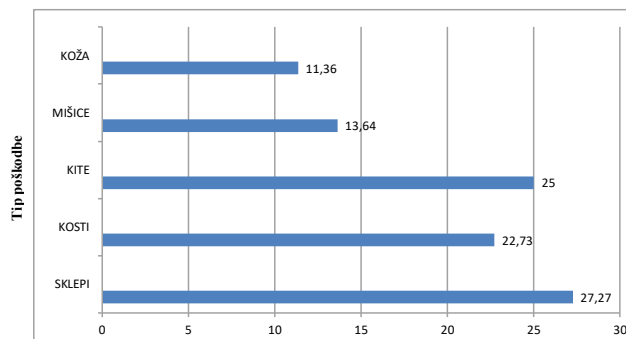
Čas poškodbe	Incidenca poškodb (št. poškodb/izpostavljenost)
Treningi	1,65 poškodbe/1000 ur
Tekme	3,04 poškodbe/1000 ur
Skupno	1,89 poškodbe/1000 ur

Največjo incidenco poškodb smo ugotovili na tekmah (3,04 poškodbe/1000 ur tekem), ki se je razlikovala od tiste na treningih (1,65 poškodbe/1000 ur treningov). Skupna incidenca vseh poškodb je 1,89 poškodbe/1000 ur treningov in tekem. Glede na prejšnje raziskave je ta incidenca povprečna, lahko bi rekli relativno nizka. Te ugotovitve se nanašajo na pojavnost poškodb na treningu in tudi na tekmi ter na treningih in tekmah skupaj. Vzroke za povprečno oz. nižjo incidenco lahko iščemo tudi v izobraževanju trenerjev oz. njihovi usposobljenosti in strokovnosti.

Anatomska analiza poškodb odbojkarjev

Poškodbe smo opredelili po anatomskem mestu, ki so jih beležili v skladu z navodili o športnih poškodbah (Fuller idr., 2006). Tak pristop izpolnjevanja epidemiološkega kartona omogoča lažjo opredelitev problema in izračun incidence poškodb. Poškodbe so bile glede na tip razdeljene na poškodbe kože (modrica, praska, ureznina ...), mišic (nateg, pretrganje), kit (nateg, pretrganje, raztrganje, obtolčenina), kosti (zlom, stresni zlom, obtolčenina kosti) in sklepov (izpah, zvin, poškodba vezi).

Z večfaktorsko analizo variance smo ugotavljali razlike v skupni incidenci poškodb (gležnja, kolena, stegna, hrbta, medenice, trtice, komolca, rame ..., pri tem pa smo navedli, ali je šlo za zvin, mišično pretrganino, hematoma, ureznino ...).



Slika 10. Akutne poškodbe glede na tip poškodbe

Odstotni delež posameznega tipa poškodbe (%)

Največ je poškodb sklepov, kar se ujema z rezultati drugih raziskav. Sledijo poškodbe kit in kosti, precej manj je bilo poškodb kože in mišic.

Tabela 4
Anatomsko mesto poškodb

	f	f (%)
Vrat, vratna hrbtenica	1	4,55
Rame, ključnica	5	22,73
Prsnica, rebra, zgornji del hrbta	1	4,55
Komolec	2	9,09
Spodnji del hrbta, medenica, trtica	6	27,27
Stegno	2	9,09
Koleno	3	13,64
Gleženj	2	9,09
Skupno	22	100,00
Število poškodb na igralca	1,5	

Na vzorcu smo ugotovili 22 poškodb (1,5 poškodbe na igralca), med katerimi je bilo največ poškodb spodnjega dela hrbta z medenico in trtico (27,27 %). Sledijo poškodbe v ramenskem sklepu in poškodbe ključnice (22,73 %) in kolena (13,64 %) ter gležnja in komolca (9,09 %). Najmanj poškodb je na anatomskih mestih od zgornjega dela hrbta navzgor, torej prsnice, reber in vratne hrbtenice (4,55 %).

Tabela 5
Poškodovano tkivo

	f	f (%)
Zvin, poškodba ligamenta	9	40,91
Mišična pretrganina, raztrganina, nateg, krči	6	27,27
Hematoma, udarnina, odrgnina	3	13,64
Lezija meniskusa, hrustanca	2	9,09
Ureznina	2	9,09
Skupno	22	100,00

Največ odbojkarjev si je zvilo ali poškodovalo ligament (40,91 %) in poškodovalo mišico (27,27 %), hematoma, udarnino ali odrgrnino je utrpelo 9,09 % odbojkarjev, le pri dveh odbojkarjih smo ugotovili lezijo meniskusa ali hrustanca in ureznine.

Z izsledki raziskave o anatomskem mestu poškodb lahko potrdimo dosedanje ugotovitve: največ je poškodb spodnjih udov. Tako kot nekatere študije (Agel, Palmieri-Smith, Dick, Wojtys in Marshall, 2007) lahko tudi mi trdimo, da je več kot polovica poškodb v odbojki povezana s poškodbami spodnjih ekstremitet (59,9 %). V večini raziskav sicer v primerjavi z našo najdemo nekoliko drugačen vrstni red najpogostejših poškodb. Druge študije navajajo, da je najpogostejši zvin gležnja, sledijo poškodbe kolena, prstov rok in spodnjega dela hrbta (križ). V nekaterih raziskavah je zvin gležnja izražen v več kot polovici vseh poškodb (Agel, Palmieri-Smith, Dick, Wojtys in Marshall, 2007).

Tabela 6

Mehanizem poškodb

Mehanizem	Delež
Kontakt	42,9
Brez kontakta	57,1
Skupno	100

Ugotovili smo, da se je 57,1 % vseh poškodb v klubu zgodilo brez kontakta in 42,9 % s kontaktom.

Število skokov glede na igralno mesto

Zanimalo nas je, kateri od odbojkarjev, glede na igralno mesto v ekipi, naredi največ skokov na treningih in tekmah skupaj in glede na treninge in tekme posebej.

Tabela 7

Razlike med igralnimi mesti v skupnem številu skokov

	N	min.	maks.	μ	SD	SN μ	Levenov test F (p)	F (ANOVA)	p (ANOVA)
bloker	4	6663	14039	10063	3034	1517			
sprejemalec	4	8596	9735	9404	541	270	F = 2,218		
korektor	2	5849	11440	8645	3953	2796	p = 0,164	16,769	0,001
podajalec	2	21750	23314	22532	1106	782			

Opomba. N – število merjencev, μ – povprečje, SD – standardni odklon, SN – standardna napaka povprečja, F – testna statistika, p – statistična značilnost, ANOVA – enosmerna analiza variance.

Tabela 8

Razlike v številu skokov glede na igralno mesto na treningih in tekmah

Skoki	Igralno mesto	N	min.	maks.	μ	SD	χ^2	p
Skoki na tekmi (število)	bloker	4	159	3231	1566	1364	4,673	0,197
	sprejemalec	4	879	1877	1542	453		
	korektor	2	161	3796	1979	2570		
	podajalec	2	3928	6138	5033	1563		
Skoki na treningih (število)	bloker	4	6504	10808	8498	1802	7,212	0,065
	sprejemalec	4	7717	8102	7862	177		
	korektor	2	5688	7644	6666	1383		
	podajalec	2	17176	17822	17499	457		

Opomba. N – število merjencev, μ – povprečje, SD – standardni odklon, χ^2 – testna statistika Kruskal-Wallisovega testa, p – statistična značilnost.

Analiza je pokazala, da so med igralnimi mesti statistično značilne razlike v številu skokov ($p < 0,001$).

Statistično značilno več skokov smo ugotovili pri podajalcih ($\mu = 22,532$) v primerjavi z blokerji ($\mu = 10,063$, $p = 0,001$), sprejemalci ($\mu = 9,404$, $p = 0,001$) in korektorji ($\mu = 8,645$, $p = 0,002$).

Število skokov na treningih in tekmah glede na igralno mesto

Beležili smo skoke posameznikov, jih nato združili v igralno mesto in izračunali število skokov na treningih in tekmah posebej.

Izsledki kažejo, da med igralnimi mesti ni statistično značilnih razlik v skupnem številu skokov na treningih ($p = 0,065$) in tekmah ($p = 0,197$).

Na tekmah so največ skokov v povprečju izvedli igralci na igralnem mestu podajalec ($\mu = 5033$, $SD = 1563$), najmanj pa na igralnih mestih sprejemalec ($\mu = 1542$, $SD = 453$) in bloker ($\mu = 1566$, $SD = 1364$). Korektor je v povprečju opravil $\mu = 1979$ in $SD = 2570$ skokov.

Na treningih podobno kot na tekmah največ skokov v povprečju naredijo podajalci ($\mu = 17499$, $SD = 457$), najmanj pa korektorji ($\mu = 6666$, $SD = 1383$) in sprejemalci ($\mu = 7862$, $SD = 177$). Na igralnem mestu bloker so v povprečju igralci opravili $\mu = 8498$ in $SD = 1802$ skokov.

Opazimo, da se vrednosti na treningih in tekmah v povprečju razlikujejo med seboj. Pri vseh igralnih mestih povprečno je število skokov višje na treningih kot na tekmah.

Pri tem je treba omeniti, da gre za rezultate le ene ekipe, v tem primeru japonske odbojkarske ekipe JT Thunders. V vsaki ekipi so igralci z različnimi sposobnostmi in vsak trener si izbere tiste igralce, ki dosegajo najboljše rezultate. V našo raziskavo smo vključili le

ekipo JT Thunders, menimo pa, da bi bili rezultati drugačni, če bi v raziskavo vključili katero drugo ekipo.

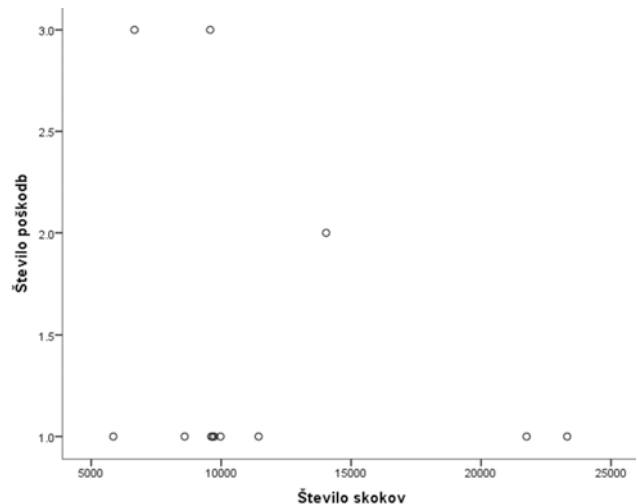
Podobno kot Skazalski, Whiteley in Bahr (2018) ugotavljamo, da podajalci naredijo največ skokov. Vemo pa, da je podajalec tisti, ki se pri vsakem organiziranem napadu zagotovo dotakne žoge. On je organizator v ekipi in poskuša v vsakem položaju podati žogo tako, da bodo osvojili točko. V moderni odbojki vsi igralci na igralnem mestu podajalec podajajo v skoku, zato ni nič nenavadnega, da največ skokov naredijo prav oni. Prav tako skačejo v blok in servirajo v skoku. Že Rojc (2016) je ugotovil, da podajalec večino skokov naredi zaradi podaje v skoku in da zato naredi največ skokov v ekipi.

Sattler, Hadžić, Dervišević in Marković (2015) so raziskovali izvedbo vertikalnega skoka, ki je zelo pomemben dejavnik za trenajni proces. V raziskavi je sodelovalo 253 odbojkarjev iz prve in druge slovenske lige, 140 žensk in 113 moških, kar je v primerjavi z našo raziskavo precej večji vzorec. Opazili so pomembne razlike pri uspešnosti višine vertikalnega skoka med moškimi korektorji, sprejemalci in podajalci, medtem ko pri ženskah teh razlik niso zaznali. V skoku so moški v primerjavi z ženskami precej večkrat uporabili zamah z rokami, kar je še povečalo razlike v višini skokov. Ti rezultati so dobra pomoč pri razvoju skakalnih zmogljivosti odbojkarjev in odbojkaric ter so koristni pri izbiri in profilu mladih odbojkarjev. Razlika med njihovo in našo raziskavo je v tem, da odbojkarji v njihovi raziskavi niso naredili skokov med odbojgarsko igro, medtem ko so v naši raziskavi skoke opravili med igro. Vemo pa, da je med igro veliko skokov, pri katerih zamaha z rokami ni mogoče narediti. Na podlagi te raziskave lahko sklenemo, da bi bilo priporočljivo, če bi v nadaljnjih raziskavah naprava za merjenje skokov med igro lahko zaznala, pri katerem odbojgarskem elementu je bil izveden določen skok. Tako bi ugotovili, kakšen skok je igralec sposoben razviti v določeni igralni situaciji.

Rojc (2016) je ugotovil, da se največ skokov v posameznem nizu opravi pri skokih v blokih. Tudi v naši raziskavi je bloker naredil veliko skokov, takoj za podajalcem na treningih in tekmah. Bloker svojo nalogo opravlja na sredini mreže in poskuša v blok skočiti vsakič, ko napada nasprotnik. Če želi blokirati nasprotnika, mora skočiti z visoko intenzivnostjo, da nasprotniku, ki napada, onemogoči doseči točko. Poleg obrambnih nalog v bloku ima bloker nalogo napada iz cone 3. Bloker poskuša v napadalnih akcijah skočiti vsakič, ko se napad organizira, in sicer ne glede na to, ali mu podajalec žogo poda ali ne. Če mu podajalec ne poda žoge, skuša s skokom olajšati delo svojim napadalcem, saj morajo nasprotni blokerji skočiti v blok in jim tako ne uspe sestaviti bloka proti napadu, ki je prejel podano žogo. To napadalcu omogoča lažje zbiranje točk.

Vpliv skokov na poškodbe

Zanimalo nas je, ali število skokov vpliva na poškodbe odbojkarjev in ali je ta povezanost nizka ali visoka.



Slika 10. Povezanost med številom skokov in številom poškodb

Na sliki 10 je prikazana korelacija med številom skokov in številom poškodb, ki je bila negativna, nizka in ni statistično značilna (Spearman $\rho = -0,258$, $p = 0,419$). To pomeni, da poškodbe naj ne bi bile povezane s številom skokov.

Povezavo med skoki in poškodbami pa sta zaznala I. A. Bahr in Bahr (2014). Ugotovila sta, da se poškodbe kolena povečujejo s številom ponovitev, torej s številom skokov, ne pa s trajanjem treninga. Vemo pa, da je število skokov v vadbeni enoti odvisno od vsebine, saj ta skokov ne vključuje vedno oziroma jih lahko vključuje zelo malo (pri treningu talne obrambe oziroma osnovnih tehničnih elementov brez skokov).

Eerkes (2012) je o poškodbah zapisal, da se je od leta 1980 število igralcev odbojke povečalo tako v dvorani kot na mivki, s tem se je povečalo tudi število poškodb. Poškodbe so povezane s ponavljajočimi se skoki in udarci. Gleženj je najpogostejše poškodovan sklep, sledijo kolena, ramenski obroč, spodnji del hrbta in prsti na rokah. Tako kot I. A. Bahr in Bahr ter Eerkes tudi mi ugotavljamo, da so poškodbe spodnjih udov povezane s ponavljajočimi se skoki na treningih in tekmah.

Zaključek

Na podlagi povprečnih vrednosti je bilo ugotovljeno:

1. incidenca poškodb je večja na tekmah kot na treningih,
2. največ skokov v klubu naredijo igralci na igralnem mestu podajalec,
3. največ skokov na tekmah naredijo podajalci in korektorji, na treningih pa podajalci in blokerji,
4. število skokov ne vpliva na nastanek poškodb.

Incidenca poškodb v klubu JT Thunders je povprečna oziroma relativno majhna, če izsledke naše raziskave primerjamo z izsledki drugih raziskav. Vzroke za precej nizko incidenco poškodb v klubu lahko iščemo v strokovnosti, usposobljenosti in izobraženosti trenerja in vodstva kluba.

Pojavile so se razlike v številu skokov na treningih in tekmah posebej glede na igralno mesto. Na tekmah so največ skokov izvedli podajalci, korektorji, blokerji in sprejemalci. Na treningih je bil

vrstni red nekoliko drugačen: podajalci, blokerji, sprejemalci in korektorji. Dodati moramo, da je v japonskem prvenstvu lahko v ekipi en tujec in ti so ponavadi na mestu korektorja. Ti korektorji spadajo med najboljše plačane igralce na svetu in so zato tudi med najboljšimi napadalci na svetu. Temu primerno prejemajo na tekmah tudi največ žog. Na treningih pa je seveda distribucija žog enakomerneje porazdeljena med igralnimi mesti.

Število opravljenih skokov ni povezano s številom poškodb, kar smo ugotovili s korelacijo med številom skokov in številom poškodb. Ta je bila negativna in statistično neznačilna.

Če bi želeli to analizo in ugotovitve posplošiti na vsa igralna mesta pri vseh ekipah oziroma na večjo populacijo odbojkarjev, bi morali v raziskavo vključiti večji vzorec odbojkarjev iz različnih klubov in držav.

Glede na naše ugotovitve lahko posplošimo, da bi glede na posamezno igralno mesto morali biti drugačni karakteristika treninga z žogo in telesna priprava igralcev. Vsako igralno mesto ima drugačno funkcijo: na primer podajalec večino časa podaja v skoku in ne napada, bloker največkrat skoči v blok, medtem ko je glavna naloga napadalcev (sprejemalcev in korektorjev), da napadajo žogo. Vrhunske ekipe po svetu imajo poleg trenerjev več pomočnikov, medtem ko ekipe z omejenimi finančnimi sredstvi in brez dodatnih strokovnjakov težko načrtujejo trening, kjer bi s spremljanjem obremenitev poskušali simulirati obremenitev na tekmah.

Z zbranimi podatki, ki jih odčita naprava MyVert in njej podobne, bi trenerjem lahko olajšali delo pri oblikovanju in načrtovanju treningov. Tako bi lahko natančneje poznali obremenitve svojih igralcev na treningih in tekmah, to pa je izhodišče za načrtovanje vsakega trenažnega procesa. Trenerji bi si s tem lahko pomagali tudi pri načrtovanju preventivne vadbe pred nastankom poškodb, saj bi lahko z analizo podatkov obremenjenosti pri skokih imeli več zdravih in nepoškodovanih igralcev. To je odločilno pri doseganju vrhunskih rezultatov.

Literatura

- Agel, J., Palmieri-Smith, R. M., Dick, R., Wojtyś, E. M. in Marshall, S. W. (2007).
- Descriptive epidemiology of collegiate women's volleyball injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003 - 2004. *J Athl Train*, 42(2), 295-302.
- Bahr, R. in Bahr, I. A. (1997). Incidence of acute volleyball injuries: a prospective cohort study of injury mechanisms and risk factors. *Scand J Med Sci Sports*, 7(3), 166-171.
- Bahr, I. A., Bahr, R. (2014). Jump frequency may contribute to risk of jumper's knee: a study of interindividual and sex differences in a total of 11,943 jumps video recorded during training and matches in young elite volleyball players. *Br J Sports Med*. 2014; 48(17):1322-1326. doi:10.1136/bjsports-2014-093593
- Bolković, T., Čuk, I., Kokole, J., Kovač, M. in Novak, D. (2002). Izrazoslovje v gimnastiki. Del 1, osnovni položaji in gibanja. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport, Inštitut za kineziologijo.
- Borges, T. O., Moreira, A., Bacchi, Finotti, R. L., Ramos, M., Lopes, C. R., Aoki, M. S. (2017). Validation of the Vert wearable jump monitor device in elite youth volleyball players. *Biology of Sport*, 34 (3), 239-242.
- Charlton, P. C., Keneally-Dabrowski, C., Sheppard, J. in Spratford, W. (2016). A simple method for quantifying jump loads in volleyball athletes. *J Sci Med Sport*. 20(3): 241-245.
- Damji, F., MacDonald, K., Hunt, M.A., Taunton, J., Scott, A. (2021). Using the Vert wearable device to monitor jumping loads in elite volleyball athletes. *Plos One*, 16(1).
- Eerkes, K. (2012). Volleyball injuries. *Curr Sports Med Rep*. 11(5): 251-256.
- Fritz, M. in Peikenkamp, K. (2010). Simulation of the complex counter-movement jumping by means of a simple four-degrees-of-freedom model. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 48 (4), 361-70.
- Fuller, C. W., Ekstrand, J., Junge, A., Andersen, T. E., Bahr, R., Dvorak, J. idr. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Br J Sports Med*, 40(3), 193-201.
- Knobloch, K., Rossner, D., Jagodzinski, M., Zeichen, J., Gossling, T., Martin-Schmitt, S. idr. (2005). [Prevention of school sport injuries – an analysis of ballsports with 2234 injuries]. *Sportverletz Sportschaden*, 19(2), 82-88.
- Reeser, J. C., Verhagen, E., Briner, W. W., Askeland, T. I. in Bahr, R. (2006). Strategies for the prevention of volleyball related injuries. *Br J Sports Med*, 40(7), 594-600; discussion 599-600.
- Rojc, J. (2016). Ugotavljanje obremenitev odbojkarjev na evropskem prvenstvu 2015. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
- Sattler, T. (2010). Notranji dejavniki tveganja športnih poškodb pri odbojki. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport (doktorska disertacija).
- Sattler, T., Hadžić, V., Dervišević, E. in Marković, G. (2015). Vertical jump performance of professional male and female volleyball players: effects of playing position and competition level. *J Strength Cond Res*. 2015 Jun;29(6):1486-93.
- Skazalski, C., Whiteley, R., Hansen, C., Bahr, R. (2018). A valid and reliable method to measure jump-specific training and competition load in elite volleyball players. *Scan J Med Sci Sports*, 28(5), 1578-1585.
- Skazalski, C., Whiteley, R., Bahr, R. (2018). High jump demands in professional volleyball-large variability exists between players and player positions. *Scand J Med Sci Sports*, 28(11):2293-2298.
- Verhagen, E. A., Van der Beek, A. J., Bouter, L. M., Bahr, R. M. in Van Mechelen, W. (2004). A one season prospective cohort study of volleyball injuries. *Br J Sports Med*, 38(4), 477-481.
- Zdražnik, M., Marinko, G., (2004). 50 odbojgarskih treningov. Ljubljana: Fakulteta za šport.

doc. dr. Tine Sattler
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
tine.sattler@fsp.uni-lj.si



Marko Marković

Predstavitev pametne žoge SportIQ za spremljanje in vrednotenje meta na koš

A presentation of the sportiq smart ball for monitoring and evaluating a shot at the basket

Izvleček

Uporaba košarkarske žoge SportIQ in priložene aplikacije omogoča enostavno in hitro pridobitev nekaterih najpomembnejših kinematičnih parametrov pri metu na koš. Meti na koš so najpomembnejša in najzahtevnejša veščina košarkarske igre, ki se ji pri trenažnem procesu posveča premalo pozornosti. Trendi sodobne vrhunske košarke gredo v smeri vse boljših telesnih (motoričnih) sposobnosti košarkarjev in vse večje preciznosti pri metih na koš. Z razvojem sodobnih tehnologij, kot je košarkarska žoga SIQ, je njihova uporaba v procesu treninga le še vprašanje časa. Glavna prednost omenjene tehnologije je v tem, da so podatki pridobljeni v realnem času, zato lahko igralci in igralka povratne informacije o metu upoštevajo (uporabijo) takoj, torej že pri naslednjem metu, s čimer lahko učinkovito vplivajo na tehnično izvedbo meta. Hkrati pa tehnologija omogoča podrobne statistične podatke o uspešnosti zadevanja, ki so lahko podpora trenerjem in osnova za načrtovanje trenažnega procesa in tempiranja t. i. strelske forme.

Ključne besede: košarka, diagnostika, met, tehnologija

Abstract

The use of the SportIQ basketball and the pertaining application enables a simple and fast generation of some of the most important kinematic parameters of a shot at the basket. Basketball shots are the most important and the most demanding skill in the game of basketball that do not receive enough attention in the training process. The trends in modern elite basketball are moving towards increasingly better physical (motor) abilities of basketball players and increasing precision in shooting at the basket. Given the development of such modern technologies, as the SIQ basketball is, their introduction in the training process is only a matter of time. The main advantage of this technology is that the data are obtained in real time, therefore players can consider (i.e. use) the feedback about their shot immediately, i.e. in the very next shot. Thus, they can influence the technical implementation of the shot effectively. At the same time, the technology enables detailed statistical data on the shooting performance, which can be a useful support and basis for coaches when planning the training process and timing the so-called shooting form.

Key words: basketball, diagnostics, shot, technology

Uvod

Razvoj sodobne računalniške tehnologije, kinematičnih metod in ekspertnega znanja je omogočil povsem nov pristop pri proučevanju športnikovega gibanja in gibanja športnih rekvizitov (Marković, Supej in Erčulj, 2013). Medtem ko je tehnologija za merjenje in vrednotenje gibalnih sposobnosti v individualnih in kolektivnih športih postala stalnica za kakovostno spremljanje in načrtovanje trenažnega procesa, je po drugi strani razvoj tehnologije za vrednotenje tehničnih sposobnosti t. i. *športne tehnike* še vedno v rokah znanstvenikov in inženirjev. V preteklosti je bilo spremljanje in vrednotenje tehničnega znanja igralcev izključno na ramenih strokovnjakov, ki so z različnimi kvalitativnimi metodami vrednotili raven tehničnega znanja igralcev in so se morali zadovoljiti s podporo strokovne literature in lastnega znanja. Drobni tehnični

detalji gibanja in njegove spremembe so lahko bistvenega pomena pri uspešnosti športnika oziroma njegovi formi, vendar pa jih tudi izkušen, izurjen in strokovno podkovan trener težko zazna in pravilno oceni s prostim očesom in v realnem času (Crowley, 2012). Zato se v zadnjem času tudi v košarkarskem trenažnem procesu vse pogostje odločamo za uporabo različnih tehnologij, ki nam lahko posredujejo natančne in objektivne informacije tudi glede meta na koš in omogočajo sprotno ali naknadno videoanalizo tehnike meta ali celo bolj poglobljeno kinematično analizo meta (Erčulj, Marković in Broder, 2014). Razvoj tehnologije v košarki gre vse bolj v smeri preučevanja sil, ki delujejo na košarkarsko žogo pri vodenju ali metih na koš. V preteklosti smo že lahko uporabljali eno od tovrstnih tehnologij, t. i. *smart basketball* ali »pametno košarkarsko žogo«, imenovano 94Fifty®, ki je pomenila novost ne samo v našem, ampak tudi v svetovnem prostoru. V nadaljevanju članka

bomo predstavili novo in izboljšano različico pametne košarkarske žoge finskega podjetja SportIQ, imenovano SIQ Basketball (Skills+IQ), hkrati pa predstavili koncept kvantitativnega spremljanja in vrednotenja nekaterih kinematičnih parametrov uspešnosti meta na koš, ki jih lahko uporabimo pri delu s posamezniki ali skupino košarkarjev oziroma košarkaric (Slika 1).



Slika 1. Sistem SIQ Basketball z mobilno aplikacijo in košarkarsko žogo

■ Idejna zasnova in sestava košarkarske žoge SportIQ

Z razvojem pametne tehnologije IOT (internet stvari) je opazen napredek tako v individualnih kot v moštvenih športih, kjer je tehnična dovršenost skupaj s preostalimi dejavniki izjemnega pomena (Marković, Supej in Erčulj, 2013). Posplošeno lahko rečemo, da o IoT govorimo, ko prek spleta ali mobilne aplikacije povežemo najrazličnejše predmete in naprave s ciljem medsebojne komunikacije. V praksi je IoT v uporabi že kar nekaj časa, na trgu je tako mogoče zaslediti »pametne« nadzorne sisteme, do katerih lahko dostopamo prek interneta, športne ročne ure in merilnike, ki nam omogočajo spremljanje naših športnih aktivnosti itd. Dodana vrednost IoT je predvsem v tem, da prek teh naprav (senzorjev) gradimo baze podatkov, ki jih hranimo in obdelujemo. S tem omogočamo napravam, da postanejo »pametne«, da se torej glede na izkušnje prilagajajo oziroma učijo in s tem izboljšujejo svojo namembnost (Hočevar, 2021). Košarkarska žoga podjetja SportIQ je pravzaprav prejemnik sil, s katerimi igralec ali igralka deluje na košarkarsko žogo pri metih na koš. Zasnova žoge SportIQ je bila precej zahtevna, vendar je inženirjem podjetja uspelo izdelati na zunaj zelo kakovostno košarkarsko žogo standardne teže in velikosti tako za ženske kot moške. Za mlade igralce in igralka pa so na voljo manjše žoge velikosti 5 in 6 (SportIQ, 2021). Snovalci košarkarske žoge SportIQ menijo, da bo v prihodnosti vsaka žoga digitalizirana in bo z njo mogoče igrati tudi uradne košarkarske tekme pod okriljem krovnih svetovne organizacije FIBA. Prav ta je namreč podjetju SportIQ za omenjeno žogo potrdila regularnost do leta 2023 (Haapaniemi, 2021).



Slika 2. Potrditev regularnosti za vsa tekmovanja pod okriljem FIBE do leta 2023 (SportIQ, 2021)

V žogi je patentiran vztrajnostni senzor za zaznavanje gibanja, povezuje ga nizkoenergijska povezava bluetooth, ki omogoča tako brezžično povezavo žoge z aplikacijo SIQ Basketball kot tudi prenos pridobljenih podatkov v omenjeno aplikacijo. Senzorji v notranjosti so programirani tako, da prepoznavajo sile, ki jih igralec ustvari na žogo in jih s prostim očesom ne moremo prepoznati in izmeriti (Crowley, 2012). Kombinacija procesiranja signalov z ultra nizko energijsko porabo nam omogoča do 500 ur nemotene uporabe brez polnjenja. Podjetje SportIQ vsem svojim rednim uporabnikom aplikacije vsakih 12 mesecev podari popolnoma novo žogo (SportIQ, 2021). Več o delovanju aplikacije si bomo ogledali v nadaljevanju članka.

■ Delovanje mobilne aplikacije SportIQ

Košarkarska žoga ima pri metu na koš ali vodenju svojo hitrost in silo. Tako je pri košarkarski žogi SIQ z notranjimi senzorji gibanja in natančno določenih algoritmov mogoče meriti vse parametre, ki so značilni za gibanje žoge pri **metu na koš**. Na Sliki 3 je prikaz že znanih parametrov doslednost metov, **izmetnega časa, izmetnega kota, hitrosti rotacije žoge, medtem ko so novost grafični prikaz razdalje in pozicije metov ter njihova doslednost**. Doslednost izvedbe določenih parametrov je izražena s standardnim odklonom od povprečja vseh omenjenih parametrov. Označena je s številkami od 4 do 10, pri čemer 4 pomeni zelo slaba, 10 pa zelo dobra doslednost. Večja je doslednost, manjša so odstopanja med posameznimi meti, torej lahko sklepamo, da sta gibanje in tehnična izvedba metov igralca ali igralka že precej izoblikovana. Doslednost izvedbe je pri košarki zelo pomembna, saj trenerji stremijo k temu, da se ohranja čim večja doslednost izvedbe v različnih okoliščinah košarkarske igre, kar pa še ne pomeni, da igralec met izvaja pravilno (Marković, 2014).

Razdaljo in točno lokacijo izvedbe metov aplikacija izračuna na osnovi predhodne kalibracije in izvedenih začetnih 100 metov iz petih različnih pozicij, ki so med seboj oddaljeni pod kotom 45°



Slika 3. Izpis podatkov, prikazanih na zaslonu aplikacije, medtem ko izvajamo met na koš (SportIQ, 2021)

(modul Around world). S to funkcijo aplikacija oblikuje lokacijski zemljevid metov, t. i. *heat map* (Slika 4). Podobno tehnologijo že nekaj časa uporabljajo v severnoameriški profesionalni ligi NBA.



Slika 4. S tehnologijo SIQ Basketball lahko analiziramo tudi lokacije uspešnih (oranžna), idealnih (rdeča) in neuspešnih metov (siva) (SportIQ, 2021)

Tako dobimo vrsto podatkov, ki nam omogočajo podrobno kinematično ter statistično analizo in spremljanje nekaterih izbranih posameznih ali med seboj povezanih tehničnih elementov košarske igre (Erčulj in Marković, 2013).

Medtem ko se tradicionalni trening košarke opira le na trenerjeve ugotovitve, je zdaj z uporabo tehnologije SportIQ mogoče dobiti takojšnje povratne informacije o kakovosti izvedbe določenih tehničnih elementov v realnem času. Vsi pridobljeni podatki, ki jih žoga zazna, se prek prej omenjene povezave bluetooth shranjujejo v mobilni aplikaciji, ki je prosto dostopna vsem uporabnikom in podpira operacijski sistem Android in IOS. Mobilna aplikacija nam omogoča pregled ključnih kinematičnih parametrov oziroma izbor določenega parametra za vadbo specifičnih elementov košarskega meta (npr. met po sprejemu z mesta; izmetni čas) (Slika 5). Tako dobi igralec na treningu takojšnjo povratno informacijo o kakovosti in doslednosti izvedbe posameznih metov, ki je lahko ob dodatni trenerjevi oceni igralcu v izjemno pomoč pri nadaljnjem učenju ali izpopolnjevanju meta na koš (Erčulj in Marković, 2013).



Slika 5. Štiri možnosti prikazovanja parametrov med vadbo metov, ko je mobilna naprava v ležečem položaju: število zadetih in izvedenih metov, izmetni čas, izmetni kot in hitrost rotacije (SportIQ, 2021)

Aplikacija SportIQ nam ponuja množico novosti glede na svojo predhodnico – žogo 94Fifty®. Za uporabnika najbolj zanimive funkcije so **avtomatično prepoznavanje strelca (t. i. shooter identification) ter zaznavanje zadetih in zgrešenih metov in njihova klasifikacija glede na tip meta**. Košarkarska žoga SIQ Basketball z uporabo algoritmov posnema vsak met igralca ali igralke pri metu na koš in tako na podlagi povprečja vseh parametrov ustvari t. i. **identifikacijo strelca**, ki omogoča prepoznavanje mehanike meta igralca oziroma igralke (za aktivacijo te funkcije je treba izvesti 500 metov), kljub temu, da z žogo vadi večja skupina. Ta funkcija nam omogoča, da brezskrbno vadimo, in statistika posameznih igralcev se avtomatično generira glede na uporabnika. Proizvajalci zagotavljajo, da aplikacija z algoritmi in senzorji v žogi z 99-odstotno gotovostjo zaznava, ali je bil met uspešen ali ne. Medtem ko je zaznavanje tipov meta (meti, izvedeni po podaji, vodenju ali prosti meti) trenutno na 95 odstotkih zanesljivosti. Vse omenjene mete po končani seriji uspešno shranjuje in analizira v aplikaciji, kot je prikazano na Sliki 6.

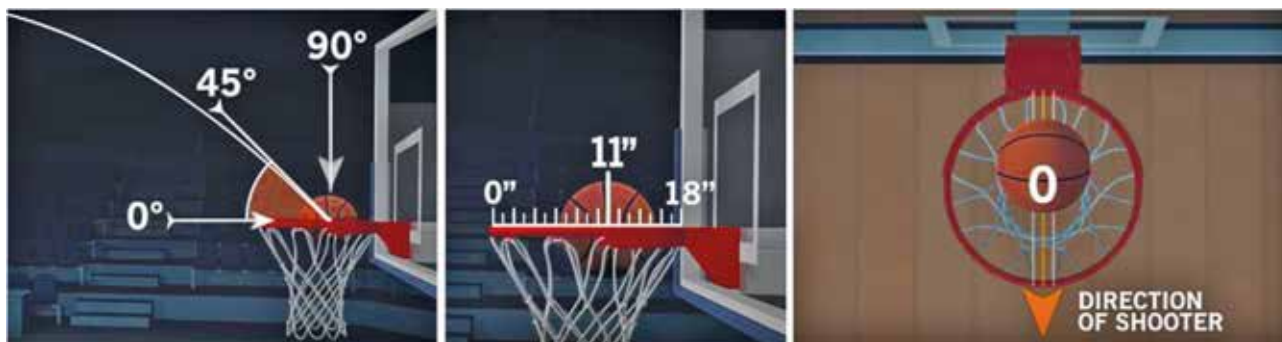
Haapaniemi (2021) je v svoji raziskavi potrdil hipotezo, da takojšnja povratna informacija v realnem času o uspešnosti zadevanja metov pozitivno vpliva na motivacijo igralcev za trening meta. Vsi izvedeni meti se v aplikaciji prikažejo v številkah in odstotkih. Za

trenerje pomembna novost pa je dodatna statistika, ki nam ponuja prikaz zapored zadetih oziroma zgrešenih metov ter metov, ki so bili izvedeni brez dotika obroča, t. i. **idealnih metov**. Prikaz idealnih vstopnih parametrov žoge pri metu na koš si lahko ogledate na Sliki 7. Splošno velja, da so vsi vrhunski »šuterji« sposobni zapored zadeti več »idealnih metov« iz različnih situacij in razdalj ter pod tekmovalnimi pogoji.

Takšna dodatna statistika znatno olajša analizo in vrednotenje košarkarske tehnike posameznika, saj je poleg odstotka zadetih metov, izmetnega časa, doslednosti izvedbe metov in vseh drugih parametrov prav število zapored zadetih metov pomembna statistična vrednost, ki nam prikaže končno učinkovitost strelca. Za boljšo uporabniško izkušnjo aplikacija omogoča tudi glasovno in vizualno povratno informacijo po vsakem metu. Študije Erčulja in Markovića (2013) navajajo, da je z merjenjem gibanja žoge ob metu ali vodenju takšna tehnologija v izjemno pomoč igralcem in trenerjem, da lahko objektivno vrednotijo in spremljajo ekipne ali lastne tehnične spretnosti pri metih na koš. Podatke v zvezi s parametri gibanja žoge, kot so sile, pospeški in vrtenja, je mogoče identificirati in zbrati v smiselne vzorce, ki jih lahko pozneje primerjamo z velikim številom drugih vzorcev, pridobljenih na podoben način od igralcev in igralke, ki imajo znane ravni usposobljenosti.



Slika 6. Povzetek različnih statističnih prikazov analize metov iz aplikacije SportIQ (SportIQ, 2021).



Slika 7. Prikaz idealnih vstopnih kotov pri metu na koš za lažje razumevanje pomembnosti t. i. idealnih metov (Erčulj in Zovko, 2021)

Tako lahko npr. primerjamo karakteristike dveh ali več igralcev ali moštev ter ugotavljamo prednosti ter slabosti v tehničnem znanju glede na izbrane parametre košarkarskega meta (Marković, 2014). Zato je omenjena tehnologija lahko odlična osnova za sistematično spremljanje in vrednotenje tehničnega znanja posameznika ali skupine igralcev.

■ Zaključek

Meti na koš so najpomembnejša in najzahtevnejša veščina košarkarske igre, ki se ji v času trenažnega procesa posveča premo pozornosti. Trendi sodobne vrhunske košarke gredo v smeri vse boljših telesnih (motoričnih) sposobnostih košarkarjev in vse večje preciznosti pri metih na koš (Drvarič, 2015). Z razvojem sodobnih tehnologij, kot je košarkarska žoga SIQ, je njihova uporaba v procesu treninga le še vprašanje časa. Glavna prednost omenjene tehnologije je v tem, da so podatki pridobljeni v realnem času, zato lahko igralci in igralke povratne informacije o metu upoštevajo (uporabijo) takoj, torej že pri naslednjem metu, s čimer lahko učinkovito vplivajo na tehnično izvedbo meta. Hkrati pa tehnologija omogoča podrobne statistične podatke o uspešnosti zadevanja, ki so lahko podpora trenerjem in osnova za načrtovanje trenažnega procesa in tempiranja t. i. strelske forme.

■ Literatura

1. Marković, M. (2014). *Kvalitativne in kvantitativne metode za analizo tehnike košarkarskega meta*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
2. Erčulj, F., Marković, M. in Broder, Ž. (2014). Uporaba tehnologije 94Fifty® pri ugotavljanju nekaterih kinematičnih parametrov meta na koš. *Šport*, 62(1–2), 57–62.
3. Erčulj, F., Marković, M., Štrumbelj, E. in Jakovljevič, S. (2014). Analiza vpliva kinematičnih parametrov meta na koš s pomočjo „pametne žoge“. *Šport*, 62(3–4), 134–140.
4. Miller, S. in Bartlett, R. (1996). The relationship between basketball shooting kinematics, distance and playing position. *Journal of Sport Sciences*, 14, 243–253.
5. Crowley, M. (2012). Monitoring of physical training events. United States Patent Application Publication, US 2012/0029666 A1.
6. Podmenik, N., Supej, M., Erčulj, F. (2011). Kako se tehnika meta na koš spreminja glede na oddaljenost od koša. *Šport*, 59 (3), 179–184.
7. Colby, J. in Witt, M. (2000). Defining Quality in Education. *Programme Division, Unicef*, 00(2). New York: Unicef.
8. Drvarič, J., (2016). Metodika učenja meta na koš in odpravljanje pomanjkljivosti ter napak. Pridobljeno iz ZKTS.
9. Haapaniemi, T. (2021). The effects of smart basketball on the motivation of the enthusiast and the fun of throwing when practicing alone. Master's Programme in Human-Technology Interaction. Faculty of Information Technology and Communications Master's thesis.
10. Hočevár, I. (2015). Poglobljamo naše znanje o »Internet of Things - IoT«. Pridobljeno 10. 10. 2021 s <https://www.stroka.si/Vsebine/Novice-in-objavila/poglobljamo-naše-znanje-o-internet-of-things-iot>
11. Ward, P., Williams, A. M. in Bennett, S. J. (2002). Visual search and biological motion perception in tennis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(1), 107–112.

Marko Marković, prof. šp. vzg.
m.marko12@gmail.com



Klemen Krejač,
Milan Žvan, Blaž Lešnik, Milan Čoh, Matej Supej

Uporaba novega L1 RTK GNSS sprejemnika na primeru alpskega smučanja

Izvleček

Vsakodnevne uporabe navigacijskih sistemov že skoraj ne opazimo več. Globalni satelitski navigacijski sistem (GNSS) je integriran v številne elektronske naprave, njegovo delovanje pa ni moteče. V športu je uporaba dobrodošla predvsem za spremljanje in analiziranje treningov in tekem ter s tem povezanega napredka. V evropskem prostoru sta najširše uporabljena sistema ameriški GPS in ruski GLONASS. Najučinkovitejša je hkratna uporaba obeh. Sprejemniki so z razvojem tehnologije vse manjši in vse lažji in s tem tudi manj moteči za uporabo. Pri meritvah alpskega smučanja smo uporabljali, novorazviti, enofrekvenčni »Real-Time-Kinematic« (L1 RTK) GNSS-sistem, ki v realnem času, s popravki iz referenčne postaje izboljšuje natančnost merilnega sprejemnika (rover). Iz tako pridobljenih podatkov lahko natančno analiziramo smučarjevo trajektorijo in hitrost. Tak sistem v praksi dosega visoko natančnost, praviloma med 3 in 8 cm v horizontalni ter 6 in 13 cm v vertikalni smeri.

Ključne besede: sprejemnik GNSS, L1 RTK, GNSS, GPS, GLONASS, natančnost, študija primera

Use of the new L1 RTK GNSS receiver in the case of alpine skiing

Abstract

Nowadays we hardly notice the daily use of navigation systems. The Global Navigation Satellite System (GNSS) is being integrated into many electronic devices and its operation is not distracting. In sports, it is popularly used especially for monitoring and analyzing training sessions and competitions. In the European area, the most widely used systems are the American GPS and the Russian GLONASS, and the most effective is the simultaneous use of both. As the technology develops, the receivers are becoming smaller and lighter, and therefore less intrusive in use. In the measurement of alpine skiing, we used the newly developed single-frequency »Real-Time Kinematic« (L1 RTK) GNSS system, which enhances the accuracy of the receiver (rover) in real time using corrections from the reference (base) station. Using the data obtained in this way, we can accurately analyse the trajectory and speed of the skier. Such a system achieves a high accuracy in practice, in most cases between 3 and 8 cm horizontally and between 6 and 13 cm vertically.

Key words: GNSS receiver, L1 RTK, GNSS, GPS, GLONASS, precision, case study

■ Uvod

Globalni satelitski navigacijski sistemi (GNSS) so dandanes nekaj vsakdanjega in se njihove uporabe niti ne zavedamo. Najdemo jih v urah, mobilnih telefonih, avtomobilih in v mnogo drugih elektronskih napravah. Uporaba je vse bolj preprosta in do uporabnikov prijazna. Sistemi GNSS so namenjeni določanju položaja na Zemlji. Položaj določajo s sateliti v zemeljski orbiti, sistem pa sestavljajo vesoljski, kontrolni in uporabniški segment (GNSS, 2021). Kako natančno bomo izmerili naš položaj na Zemlji, je odvisno od uporabe sprejemnika in metode, ki ju uporabljamo. Poznamo naslednje sisteme GNSS: GPS (ZDA), GLONASS (Rusija), Galileo (Evropa), Beidou (Kitajska), itd. Uporabljamo enega ali kombinacijo več sistemov, kar nam z večjim številom vidnih satelitov pomaga predvsem pri določanju položaja in njegovi natančnosti na urbanih

območjih, v bližini stavb, dreves in drugih ovir, ki zastirajo vidljivost satelitov.

Uporaba naprav za sledenje športnikom, ki temeljijo na GNSS, se hitro povečuje. Potrjevanje natančnosti GNSS je pomembno, da se omogoči kakovostna in zanesljiva analiza (Luteberget in Gilgien, 2020). »Real-Time-Kinematic« (RTK) GNSS-sistem je za študij alpskega smučanja zelo uporaben, saj omogoča zajem gibanja na celotni progi, oziroma po celotnem smučišču, hkrati pa je zajemanje več ponovitev razmeroma hitro in preprosto (Supej, 2010).

V naši raziskavi nas je v študiji primera zanimala uporabna vrednost in natančnost enofrekvenčnega L1 RTK GNSS-sprejemnika pri alpskem smučanju.

RTK-metoda določanja položaja je tehnika relativnega pozicioniranja, ki v realnem času meri položaj dveh anten oziroma spreje-



mnikov GNSS med seboj. Ena antena oziroma sprejemnik je nameščen na statični točki s stalnimi koordinatami in je znan kot bazna postaja. Druga antena in sprejemnik pa sta pri alpskem smučanju nameščena na smučarjevem hrbtu v višini ramen in jo imenujemo rover. Natančnost določanja položaja z RTK se zmanjšuje, ko se razdalja med bazno postajo in roverjem povečuje. L1 v tem primeru pomeni frekvenco signala, ki jo zajemata antena in sprejemnik.

Izmerki sistemov GNSS so običajno zapisani v obliki stavkov NMEA (National Marine Electronics Association). Namen protokola NMEA je uporabnikom opreme dati možnost mešanja in usklajevanja strojne in programske opreme. Podatki GNSS, oblikovani v NMEA, razvijalcem programske opreme olajšajo tudi pisanje programske opreme za najrazličnejše sprejemnike GNSS, namesto da bi morali pisati vmesnik po meri za vsak sprejemnik ločeno (Gakstatter, 2015).

Metode

Pri meritvah je bil uporabljen L1 RTK GNSS-sistem (jedro navigacijskega sistema je od proizvajalca Ublox), ki lahko svoje podatke v realnem času pošilja v tablice oziroma telefone Android. Sistem podatke zajema s frekvenco 5 Hz. Programsko okolje SentexGNSS v sistemu Android omogoča v telefonu zajem podatkov (datalogger) in izkoriščanje v tablici oziroma telefonu vgrajenih inercialnih senzorjev, ki se jih sinhronizirano zajema. Najpomembnejši so signali GNSS in tisti iz inercialnih senzorjev. Najprimernejši (čim manjša velikost oziroma teža, avtonomija baterije, berljivost na soncu itd.) za te potrebe so pametni telefoni z vgrajenimi ustreznimi inercialnimi senzorji, prenosom podatkov in najmanj zmožnostjo povezovanja z brezžično povezavo BT 4.0 LE.

Merjenci so nosili štartno številko z biomehansko merilno opremo, torej L1 RTK GNSS-rover. Ta visoko ločljiv in visoko natančen rover hkrati sledi ameriške satelite GPS in ruske GLONASS ob dobri

vidljivosti oziroma razpoložljivosti satelitov in določa položaj z nekajcentimetrsko natančnostjo. S povezavo »bluetooth« je povezan s pametnim telefonom (v primeru te študije Huawei P30 LITE), ki ima vgrajen triosni pospeškometer in triosni žiroskop. Vsi senzorji in oprema so zadoščali najvišjim standardom biomehanskih raziskav in niso povzročali nikakršnega škodljivega vpliva na zdravje ali počutje. Merilni instrumenti niso ovirali smučarjev pri izvajanju dejavnosti. Meritve so bile popolnoma anonimne. Poleg GNSS-sistema, ki so ga nosili merjenci, je bila na prelomnici smučišča postavljena tudi referenčna postaja (baza). Ta je bila ves čas z radijsko zvezo povezana z roverjem na merjencu. Prav ta bazna postaja omogoča RTK-korekcije in s tem višjo natančnost GNSS-sistema.

Omenjene meritve smo izvedli na smučišču Rogla, natančneje na progi Košuta. Merjenec je bil izbran naključno, večinoma je šlo za študente Fakultete za šport (Univerza v Ljubljani) in druge smučarje različnih starostnih in kakovostnih skupin. Merjenci so preizkušali različne pare smuči, ki so se razlikovale v stranskem loku in dolžini. Z merilnim sistemom smo izmerili položaj (trajektorijo smučanja), hitrost in pospeške. Z biomehanskim modeliranjem pa lahko izračunamo tudi druge biomehanske parametre. Z izbranimi spremenljivkami in omenjenimi podatki smo želeli preveriti natančnost L1 RTK GNSS-sistema v različnih pogojih.

Merjenec je pred začetkom vsakega spusta naredil tri globoke počepi, da smo lahko na podlagi vertikalnega premikanja antene v podatkih določili njegov štart. Smučalo se je poljubno od začetka do konca smučišča. Če je bilo varno, je bilo treba spust opraviti brez ustavljanja. Vsi spusti so posneti z videokamero, da lahko odstopanje podatkov preverimo s sliko. Videoposnetki so bili posneti tako, da so se videli trije počepi pred spustom, kar je omogočalo ročno sinhronizacijo podatkov za lažjo analizo. Pred spustom in po njem smo preverili opremo, da smo zagotovili delovanje telefona in navigacijskega sistema.

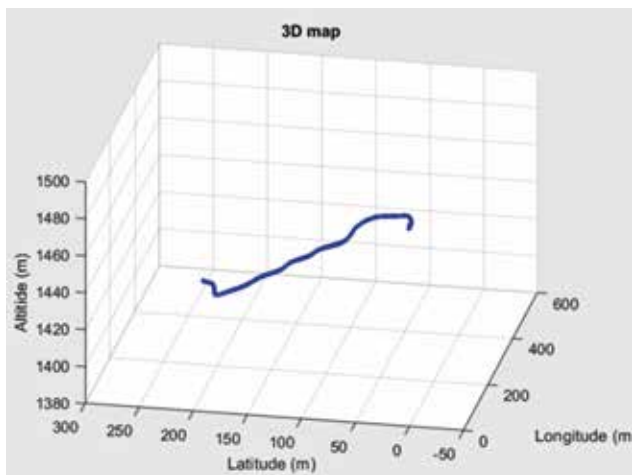
Surove podatke smo obdelali v programskem okolju MATLAB (verzija R2020a, The Math Works, Inc., Velika Britanija). V programu smo uporabili ustrezno zaporedje ukazov, ki nam je podatke, pridobljene neposredno iz sistema GNSS in telefona, združilo ter ustvarilo ustrezne grafe in izpise. V nadaljevanju smo pridobljene podatke uredili v programu Microsoft Excel (verzija 2019, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, ZDA), kjer smo preverili morebitne napake in ustrezno ujemanje.

Rezultati in razprava

Pri obdelavi podatkov, v programskem okolju MATLAB, smo lahko analizirali več zanimivih grafov. Najbolj zanimivi so grafi, ki prikazujejo natančnost L1 RTK GNSS-sistema, vidimo pa lahko tudi hitrosti in trajektorije smučarja.

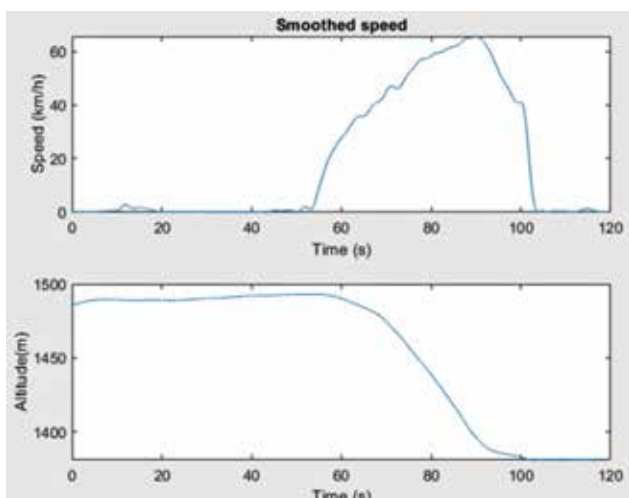
Na Sliki 1 je v 3D-modelu predstavljena trajektorija smučanja. Narisana je glede na spremembo položaja smučarja v času in razliko od izhodiščnega položaja. Imamo tri parametre: zemljepisno širino, zemljepisno dolžino in nadmorsko višino (os x, y in z). Vidimo, da je smučar smučal z daljšimi in bolj odprtimi zavoji.

Dodatno lahko na Sliki 2 vidimo, kako se, glede na čas, spreminjata nadmorska višina smučarja in njegova hitrost. V prvi minuti merjenja opazimo stalno vrednost, kar pomeni, da je smučar stal na mestu in čakal na znak za začetek smučanja. V cilju znova opazimo stalno vrednost, saj so smučarji čakali, da smo preverili navigacijski sistem. Iz grafa lahko razberemo, da je bila največja izmerjena hi-



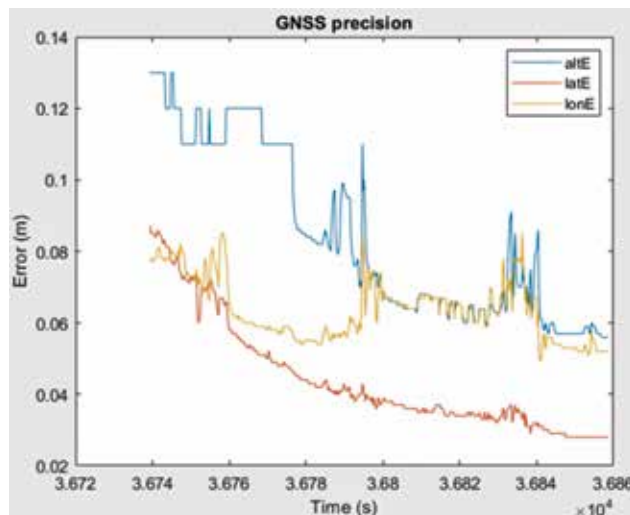
Slika 1. Sled smučanja v 3D-prostoru

trost dobrih 65 km/h. Smučar je stopnjeval hitrost, na koncu pa se je v kratkem času ustavil. Iz krivulje nadmorske višine vidimo, da je začel smučar na 1492 metrih nadmorske višine, končal pa na 1381 metrih nadmorske višine. Padec krivulje je v srednjem delu razmeroma enakomeren, hitrost se giblje med 55 in 65 km/h (razmeroma stalna), iz česar lahko sklepamo, da je tudi naklonina v tem delu razmeroma enakomerna.



Slika 2. Hitrost in nadmorska višina smučanja

Na Sliki 3 lahko, z vidika te študije, spremljamo enega najpomembnejših grafov, to je graf natančnosti sprejemnika GNSS oziroma signala. Graf prikazuje vrednosti, ki jih tak napreden L1 RTK GNSS-sprejemnik ob določitvi položaja generira samostojno. Na natančnost določanja položaja lahko vpliva več dejavnikov, eden pomembnejših je postavitve bazne postaje čim bolj na odprtem (brez okoliških dreves, stavb in podobnih objektov, ki bi motili sprejem signalov iz satelitov) in na kraj, ki omogoča vidno povezavo med bazo in roverjem (zagotavljanje dobre medsebojne radijske zveze). Pri analiziranem smučarju vidimo visoko natančnost, ki se je med meritvijo še povečevala. Na grafu lahko vidimo tri različne barvne krivulje, ki predstavljajo natančnost nadmorske višine, zemljepisne širine in zemljepisne dolžine. Vrednosti so se gibale okoli 6 cm, najboljša vrednost je bila celo manj kot 3 cm. Kot običajno je pri GNSS-sistemih nadmorska višina najslabše določena.



Slika 3. Natančnost GNSS-sprejemnika

Zaključek

Študija primera je bila izvedena uspešno. Pokazala nam je kaj z L1 RTK GNSS-sistemom neposredno izmerimo pri smučanju: trajektorijo gibanja, hitrost smučanja, nadmorsko višino in natančnost določanja položaja za vsako koordinatno os posebej. Mogoče pa je izračunati tudi druge parametre, kot so radij zavijanja, dolžine poti, približek velikosti sile reakcije podlage, itn. Iz prikazanega primera se lepo vidi, da se natančnost določanja položaja med smučanjem spreminja, kar je odvisno od številnih dejavnikov. V našem primeru se je horizontalna natančnost gibala med 3 in 8 cm, vertikalna pa med 6 in 13 cm. Paziti moramo, da meritve izvajamo na odprtem in da so zaradi boljše natančnosti radijske postaje med seboj vidne. Celoten sistem je kompakten in enostaven za uporabo, vendar potrebujemo ustrezno programsko opremo. Na telefonu lahko podatke spremljamo v realnem času, kar uporabo zelo olajša in omogoča takojšnjo analizo kakovosti zajemanja. Za dodatno analizo smučanja je podatke treba obdelati. Izvedli smo jo v programskem okolju MATLAB. Sistem vidimo kot zelo uporaben za analizo in spremljanje športov na prostem. Strojna oprema je majhna in lahka ter omogoča uporabo tudi v zelo dinamičnih športih in v daljšem časovnem obdobju.

Literatura

1. Gakstatter, E. (2015). *What Exactly Is GPS NMEA Data?*
2. GNSS. (2021). Pridobljeno s <https://gu-signal.si/gnss/>
3. Luteberget, L. S. in Gilgjen, M. (2020). Validation methods for global and local positioning-based athlete monitoring systems in team sports: a scoping review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000794. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000794>
4. Supej, M. (2010). 3D Measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system. *Journal of Sports Sciences*, 28(7), 759–769.

Klemen Krejač, mag. kin.
Raziskovalec na Fakulteti za šport
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
klemen.krejac@fsp.uni-lj.si



Igor Štirn,
Tea Košnjek

Uporaba aplikacije MyJump za merjenje odnosa sila-hitrost pri plavalcih

Izvleček

Profil sila-hitrost (F-v) opisuje odnos med hitrostjo krajšanja mišice in silo, ki jo pri tej hitrosti lahko razvije. Na podlagi kazalnikov individualnega trenutnega in optimalnega profila lahko ugotovimo primanjkljaj moči ali hitrosti in ustrezno prilagodimo vadbo. Namen raziskave je bil z uporabo aplikacije MyJump izmeriti profil F-v pri plavalcih in ugotoviti, ali so pridobljeni kazalniki povezani s testi, ki opredeljujejo učinkovitost nog pri plavanju: plavanje 25 m udarci kravl in odziv 5 m od stene bazena po obratu. Odnos sila-hitrost smo pri desetih plavalcih merili z izvajanjem skokov iz polčepa z dodatnimi bremenami (TT, TT + 20 %, TT + 40 % in TT + 60 %). Za merjenje skokov smo uporabili aplikacijo MyJump2 za pametni telefon (ali tablico), za merjenje časov plavalnih testov na podlagi podvodnih posnetkov pa kamero GoPro Hero in aplikacijo Coach's eye. Z uporabo pripravljene namenske Excelove tabele smo izdelali profil F-v za navpične skoke (90°) in za skoke pod kotom 30° ter izračunali največjo teoretično silo (F_0), največjo teoretično hitrost (v_0), največjo mehansko moč (P_{max}) in koeficient naklona krivulje oziroma profil (S_{Fv}). Statistično značilnih povezav med kazalniki izmerjenega profila in testi v vodi nismo ugotovili. Največja težava je bil majhen in heterogen vzorec merjencev, saj nismo mogli najti dovolj plavalcev, ki bi pravilno in varno izvedli skoke z dodatnimi bremenami. Uporaba informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT) se je izkazala za enostavno, o tem ali je profiliranje F-v veljavno in zanesljivo in s tem uporabno za usmerjanje vadbe moči, pa v športni znanosti še vedno razpravljajo.

Ključne besede: informacijsko komunikacijska tehnologija, plavanje, moč

Using the MyJump app for measuring the force-velocity profile in swimmers

Abstract

The force-velocity profile describes the relationship between the rate of muscle shortening and the force it can develop at that rate. Based on the parameters of the individual's current and optimal F-v profile, we can determine the strength or velocity deficit and adjust the strength training accordingly. The aim of the study was to use the MyJump application to measure the F-v profile in swimmers and determine whether the parameters obtained were related to tests that define leg work in swimming: swimming 25 m crawl and 5 m push-off from the pool wall after the turn. The force-velocity relationship was measured in ten swimmers by performing squat jumps with additional loads (TT, TT + 20%, TT + 40% and TT + 60%). We used the MyJump2 app for a smartphone (or tablet) to measure the jump height, and a GoPro Hero camera and Coach's Eye app to measure the swim test times using underwater footage. Using the prepared Excel spreadsheet, we created an F-v profile for vertical jumps (90°) and for jumps at an angle of 30° and calculated the maximum theoretical force (F_0), maximum theoretical velocity (v_0), maximum mechanical power (P_{max}), and curve slope coefficient or profile (S_{Fv}). We found no statistically significant relationships between the parameters of the measured profiles and the tests in water. The biggest problem was the small and heterogeneous sample of subjects, as we could not find enough swimmers to correctly and safely perform jumps with additional loads. The use of ICT technology proved to be straightforward. Whether F-v profiling is valid and reliable, and thus useful for targeting strength training, is still under debate in sports science.

Key words: information communication technology, swimming, strength, power

Uvod

Odnosa sila-hitrost (F-v) in moč-hitrost (P-v) predstavljata enega od temeljev mišične biomehanike. V osnovi gre za odnos med hitrostjo koncentričnega krajšanja mišice in silo, ki jo mišica pri tej hitrosti lahko razvije, ter njunim produktom, ki predstavlja mehansko

moč (P, »power«). Moč je sicer definirana kot velikost opravljenega dela v enoti časa (Enačba 1).

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv \quad \left[\frac{J}{s} \right] \left[\frac{Nm}{s} \right] [W]$$

Enačba 1

Večja hitrost krajšanja mišice pomeni manjšo sposobnost, da razvije silo, torej je odnos obratno sorazmeren. Ima obliko eksponentne krivulje, ki jo je na izolirani mišici prvi opisal Hill že leta 1938, zato jo imenujemo tudi Hillova krivulja. Razlogi za manjše razvijanje sile pri hitrejšem krajšanju mišice so vsaj trije (Strojnik, 2010.) Prvi je manjše število prečnih mostičev, ki se lahko vzpostavijo zaradi večjih hitrosti krajšanja mišice, saj se aktinske in miozinske niti gibljejo hitro in je torej manjša možnost, da se miozinske glavnice in aktivna mesta na aktinskih nitih ujamejo in povežejo. Tudi sila posameznega prečnega mostiča je pri večjih hitrostih krčenja manjša; aktinska in miozinska nitka se gibljeta, zato se prečni mostič zamakne in zaradi hitrosti gibanja izgublja del sile, s katero potiska. Tretji razlog predstavlja viskoznost mišice; aktinske in miozinske niti se gibljejo v celični tekočini, katere viskoznost predstavlja upor, slednji pa se z večjo hitrostjo premikanja miofilamentov povečuje.

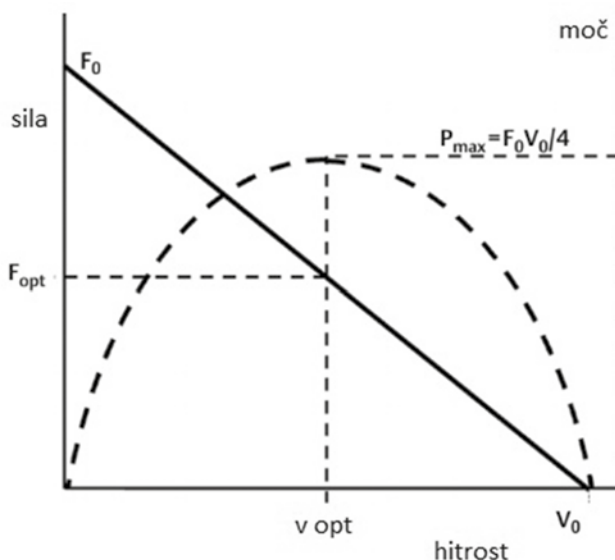
Medtem ko je krivulja odnosa $F-v$ izolirane mišice eksponentna, so številne poznejše raziskave pokazale, da je prim večsklepni gibanjih, bodisi celega telesa (npr. navpični skoki) ali posameznih telesnih segmentov (npr. noge pri potiskanju v zaprti kinetični verigi ali pri kolesarjenju), linearna (Slika 1) (Jarič 2015). Glavni razlog za to naj bi bil v tako imenovani večsklepni dinamiki (Bobert, 2012), ki opisuje, da se pri večjih hitrostih pri hkratnem iztegovanju sosednjih segmentov zmanjša (izgubi) večji delež mišičnih sil, ki jih sicer razvijejo posamezne mišice, tako da se rezultanta zunanjih sil, ki jih ustvarja večsklepno gibanje, občutno zmanjša.

Mehanske lastnosti pri linearnem odnosu (primer navpičnega skoka) opišemo z naslednjimi spremenljivkami (Slika 1) in ga imenujemo profil sila-hitrost (Jarič, 2015; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli in Morin, 2011):

- F_0 , teoretična maksimalna sila,
- P_{max} , največja mehanska moč, ki jo spodnje okončine lahko proizvedejo v eni iztegnitvi,
- v_0 , teoretična maksimalna hitrost, pri kateri se spodnje okončine lahko iztegnejo in
- a , koeficient naklona.

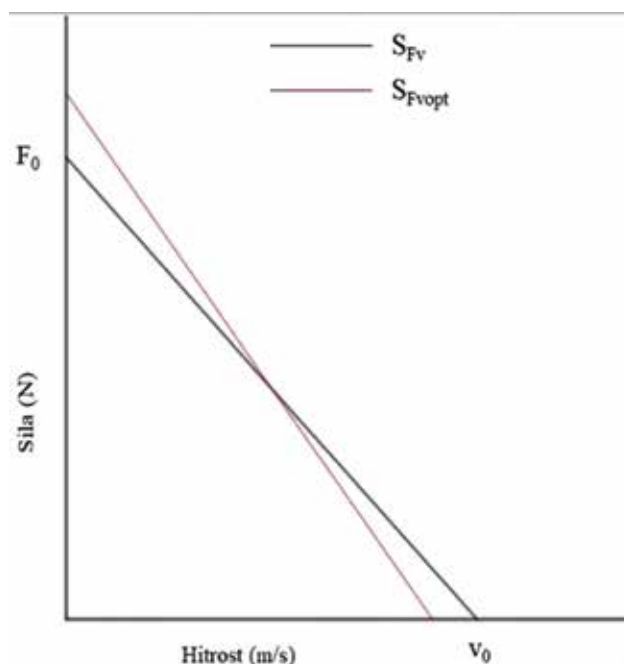
Grafično F_0 in v_0 predstavljata presečišče ordinatne in abscisne osi linearne krivulje $F-v$, P_{max} pa vrh parabole odnosa $P-v$. Največja moč je tako pri $F_0/2$ in $v_0/2$, torej je $P_{max} = \frac{F_0 v_0}{4}$.

Na podlagi prej predstavljene teorije so Samozino in sodelavci (2008) predlagali tako imenovano preprosto metodo za merjenje največje sile, hitrosti in mehanske moči pri skoku iz počepa. Preprostost se nanaša na izvedbo meritev, za katere niso potrebne drage in nedostopne naprave, kot je tenziometrijska plošča. Pokazali so, da je profil $F-v$ mogoče izdelati s pomočjo izmerjene mase, višine skoka in odzivne razdalje. Slednja (h_{po}) predstavlja navpično odzivno razdaljo in je izračunana iz višine kolčne osi v začetnem položaju (90° v kolku in kolenu) in višine oziroma dolžine popolnoma iztegnjene noge (v kolku, kolenu in gležnju). Potrebujemo torej tehtnico in meter, za merjenje višine skoka pa so omenjeni avtorji razvili aplikacijo za pametni telefon MyJump. Uporabnik s kamero posname odziv (stopala) in z uporabo počasnega posnetka določi trenutek, ko skakalec zapusti tla, in trenutek, ko se tal znova dotakne. Čas tako označenega časovnega intervala predstavlja čas leta, na podlagi katerega je mogoče izračunati višino skoka.



Slika 1. Linearen odnos sila-hitrost in parabola moč-hitrost (Jarič, 2015)

Profil $F-v$ za posameznika torej lahko bolj ali manj enostavno izmerimo in ga imenujemo trenutni (dejanski) profil. Samozino idr. so pokazali, da za vsakogar obstaja optimalni profil, ki predstavlja optimalno ravnotežje med F_0 in v_0 , katerih produkt nam da največjo mehansko moč (P_{max}) pri skoku z lastno telesno težo, kar naj bi pomenilo optimalno izvedbo skoka. To pomeni, da pri posameznikih z optimalnim profilom $F-v$ lastna telesna teža predstavlja tisto (optimalno) breme, pri katerem razvijejo največjo P_{max} . Nesorazmerje med trenutnim in optimalnim profilom oziroma odstopanje trenutnega profila od optimalnega kaže na primanjkljaj športnika na področju razvijanja velikih sil ali pa v območju razvijanja manjših



Slika 2. Prikaz krivulj trenutnega (S_{Fv}) in optimalnega (S_{Fvopt}) profila, ki kaže primanjkljaj v smeri največje sile. F_0 – največja teoretična sila trenutnega profila, v_0 – največja teoretična hitrost trenutnega profila.

sil pri večjih hitrostih. Slednje je mogoče uporabiti pri določanju trenajnih bremen oziroma usmeritvi treninga moči.

Na Sliki 2 lahko vidimo primerjavo med S_{Fv} in S_{Fvopt} . Črna črta predstavlja trenutni profil sila-hitrost (S_{Fv}), rdeča črta pa optimalni profil sila-hitrost (S_{Fvopt}). V tem primeru se vidi primanjkljaj v smeri sile.

Na podlagi predstavljene teorije in možnosti enostavnega merjenja profila F-v z uporabo moderne, preproste in prosto dosegljive IKT, smo zasnovali raziskavo ugotavljanja profila F-v pri plavalcih. Namen raziskave je bil z uporabo aplikacije MyJump izmeriti profil F-v pri plavalcih in ugotoviti, ali so kazalniki povezani z učinkovitostjo dela nog, natančneje odtravanja od stene pri obratih, in učinkovitostjo izvajanja udarcev kravl.

Metode dela

Merjenci. V raziskavo je bilo vključenih 10 slovenskih plavalcev (5 fantov in 5 deklet, starih 15–19 let), ki so tekmovali na državnih in mednarodnih tekmovanjih. Aktivno so bili vključeni v trenažni proces, tako v vodi kot na suhem. Vsi plavalci so bili dobro seznanjeni s postopkom meritev. Meritve smo izvedli v obdobju po glavnem tekmovanju, ko je bil obseg vadbe najmanjši. Od zadnje vadbe za moč je minilo vsaj 48 ur.

Postopki merjenja

Najprej smo izmerili antropometrijske spremenljivke: dolžino popolnoma iztegnjene desne noge (veliki trohanter–palec na nogi), telesno težo ter višino kolčne osi pri polčepu v začetnem položaju (kot 90° v kolku in kolenu, slednja sta bila izmerjena z goniometrom). Sledilo je ogrevanje, ki je bilo sestavljeno iz 6 min stopanja na klopco, 10 počepov z obremenitvijo 20 kg in 6 stopnjevanih skokov iz polčepa brez dodatne obremenitve. Za tem so merjenci opravili skoke iz polčepa s štirimi bremenmi (lastno težo (TT), TT + 20 %, TT + 40 % in TT + 60 % telesne teže). Natančnost dodatne obremenitve je bila na 1 kg. Pri vsaki obremenitvi sta bila opravljena dva skoka, v analizo je bil vključen višji skok.

Položaj izvedbe skoka iz polčepa je bil točno določen. Iz stoječega in popolnoma iztegnjenega položaja s stopali v širini bokov so se merjenci z zadnjico spustili do elastike, ki je označevala 90° v kolenskem sklepu. Na tem mestu so ohranili položaj 2 s, preden so lahko začeli koncentrični del giba. Dobili so navodilo, da skočijo maksimalno visoko. Pri skoku s telesno težo so bile roke v bokih, pri skokih z obremenitvijo so merjenci izvedli skok iz polčepa z drogom na hrbtu. Če je pri meritvi prišlo do skoka z nasprotnim gibanjem, je bila meritev ponovljena.

Kazalnike skokov smo merili z aplikacijo MyJump2, naloženo na Iphone 8. Telefon smo postavili na tla zraven nog testiranca. Z aplikacijo smo posneli skok in določili trenutek, ko so noge zapustile podlago, in trenutek, ko so se spet dotaknile tal. Tako smo dobili čas leta in izračunali višino posameznega skoka, ki smo jo uporabili za nadaljnjo obravnavo podatkov v Microsoft Excel.

Sledili sta meritvi v bazenu. Plavanje 25 m udarci kravl smo posneli s kamero GoPro Hero 6 (Black edition, 1080p/240 fps). S pomočjo posnetka smo izmerili čas 5 m in 25 m udarci kravl. Za nevtralizacijo rok so plavalci uporabljali plavalno desko Speedo. Natančen čas plavanja smo odčitali s pomočjo naslednje uporabne IKT-aplikacije Coach's eye.

Izračun profila sila-hitrost

Za določanje profila sta potrebna najmanj dva skoka z različnima bremenoma, vendar je zaradi točnejših rezultatov priporočljivo, da izvedemo vsaj 3 ali 4 skoke. Mi smo izmerili skoke iz polčepa s 4 različnimi bremenmi (TT, TT + 20 %, TT + 40 % in TT + 60 % telesne teže). Na podlagi r^2 , ki nam prikazuje linearnost profila, smo nadzorovali natančnost meritev (Slika 3 levo); če je bil r^2 manj kot 0,9, je bila verjetno ena od meritev nenatančna glede na ostale (npr. zaradi napačne izvedbe, npr. nasprotnega gibanja pred skokom iz polčepa). V tem primeru smo meritev ponovili.

Izračun dejanskega in optimalnega profila sila-hitrost smo izvedli z uporabo sprogramirane Excelove tabele (Slika 3), katere avtorja sta Morin in Samozino (2017). Z vnosom podatkov v tabelo avtomatično izračunamo oba profila. Podatki, ki jih pri tem potrebujemo, so telesna teža, dolžina desne noge ter višina kolčne osi v začetnem položaju, višina skoka in vrednost dodatne obremenitve, s katero je bil skok izveden. Veljavnost in zanesljivost uporabljenih izračunanih kazalnikov je bila potrjena v raziskavi Samozino, Morin, Hintzy in Belli (2008).

Iz vnesenih podatkov smo dobili graf (Slika 3, desno), ki prikazuje trenutni (neprekinjena) in dva optimalna profila. Namreč, avtorji so poleg skoka v navpični smeri (modre črta in podatkovne celice) za oceno učinkovitosti plavalnega startnega skoka izračunali še profil F-v za skok pri odzivnem kotu 30°, ki se ujema s kotom pri startnem skoku (rožnata črta in podatkovne celice). Rezultat pod 100 % je pomenil, da ima plavalec primanjkljaj na področju razvijanja največjih sil, rezultat nad 100 % pa, da je imel plavalec primanjkljaj pri razvijanju večjih hitrosti.

Statistična analiza

Statistično analizo smo izvedli z uporabo programskega paketa SPSS. Naredili smo osnovno statistično analizo, za ugotavljanje povezanosti kazalnikov smo uporabili Pearsonov koeficient korelacije.

Rezultati

Za vsakega posameznika smo izdelali trenutni profil F-v (S_{fv}) in izračunali odstopanje oziroma primanjkljaj glede na optimalni profil ($S_{fv opt}$). Slika 3 prikazuje primer tabele rezultatov za posameznika.

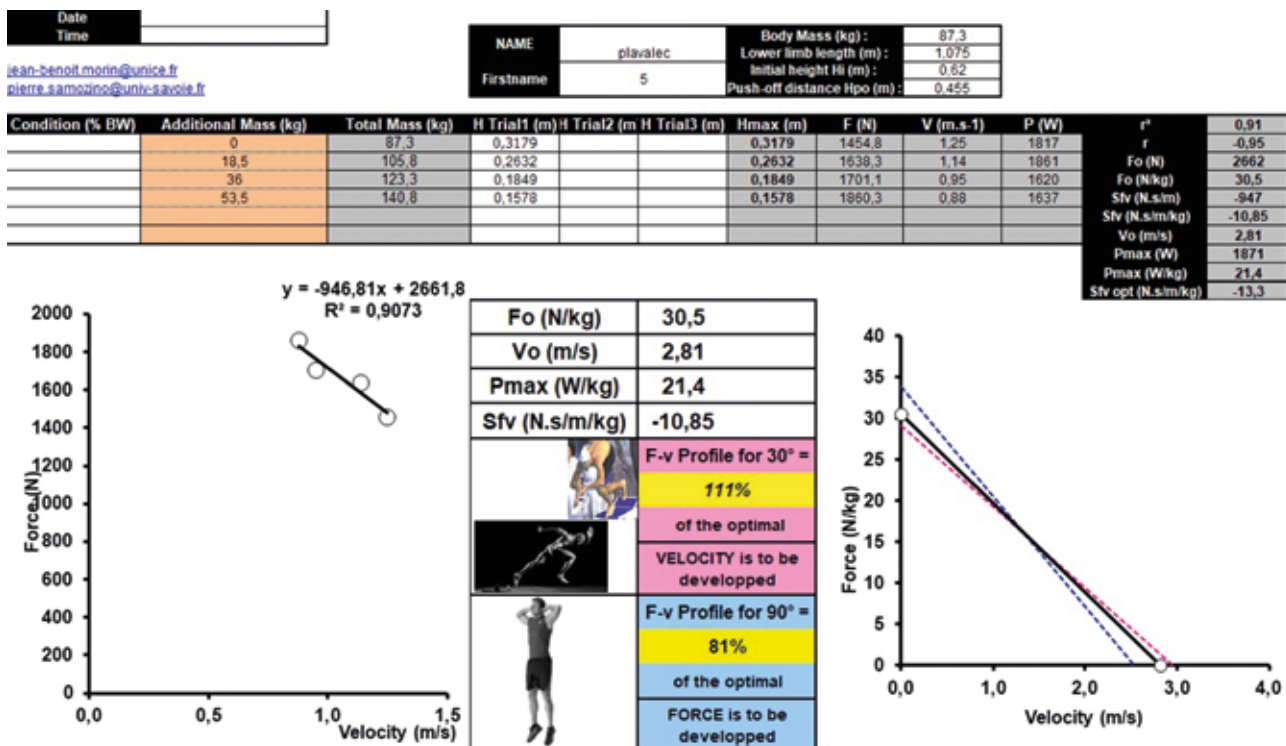
Pri konkretnem primeru (Plavalec 5) se je pokazal manjši primanjkljaj hitrosti pri profilu skokov pod kotom 30°, pri navpičnih skokih pa se kaže primanjkljaj v največji sili. Pri tem plavalcu smo glede na povprečne vrednosti merjene skupine zabeležili dobra časa tako plavanja udarcev 25 m kot odtriva 5 m.

Zbrani podatki testov v vodi in izračunanih profilov oziroma primanjkljajev so prikazani v Tabeli 1.

Rezultati analize povezanosti (Pearsonov koeficient povezanosti) med časi odtriva 5 m in plavanjem udarcev 25 m so pokazali, da povezav med kazalniki individualnih profilov in testi v vodi ni oziroma povezave niso pokazale statistične pomembnosti.

Razprava

Namen raziskave je bil izmeriti profil F-v pri navpičnem skoku iz polčepa pri slovenskih plavalcih in ugotoviti, ali so kazalniki profila povezani s hitrostjo plavanja udarcev kravl 25 m in časom odtriva 5



Slika 3. Primer originalne podatkovne tabele (Morin in Samozino, 2017)

Tabela 1

Rezultati meritev, < 100 % = primanjkljaj v smer sile; > 100 % = primanjkljaj v smer hitrosti

	5 m odziv (s)	25 m udarci kravl (s)	Primanjkljaj pri 90° skoku (%)	Primanjkljaj pri 30° skoku (%)
Plavalec 1	1,38	15,79	92	131
Plavalec 2	1,78	17,36	97	140
Plavalec 3	1,95	21,98	88	125
Plavalec 4	1,75	16,15	72	98
Plavalec 5	1,48	14,83	81	111
Plavalec 6	1,76	17,63	98	142
Plavalec 7	1,52	14,73	51	68
Plavalec 8	1,59	16,01	54	72
Plavalec 9	1,77	18,52	69	95
Plavalec 10	1,23	16,53	87	122
Povprečne vrednosti	1,621	16,95	78,9	110,4

m. Pri tem smo meritve izvedli z uporabo prosto dostopne in enostavne aplikacije MyJump2, h kateri spada tudi pripravljena Excelova tabela za računanje profilov F-v, plavalne teste pa s podvodno kamero GoPro Hero 6 in z aplikacijo Coach's eye. Povezanosti med kazalniki profila F-v za iztegovalke nog in delom nog med plavanjem, torej odzivom od stene na razdalji 5 m in plavanjem udarcev kravl, nismo našli. Predpostavke, da bodo plavalci, pri katerih bomo izmerili bolj hitrostno usmerjen profil, imeli boljše rezultate specialnih plavalnih testov, kjer uporabljajo noge, nam torej ni uspelo dokazati.

Najverjetnejši razlog je ta, da sta tako test odziv od stene 5 m kot plavanje udarcev kravl odvisna od več dejavnikov, ne samo od mehanskih lastnosti iztegovalk nog (Kapus, 2011). Zelo pomembna je tehnika, predvsem v povezavi s sposobnostjo drsenja s čim manj-

šim čelnim uporom. Drsenje je povezano s plovnostjo, na oboje vpliva tudi sestava plavalčevega telesa. Na učinkovitost izvajanja udarcev kravl pomembno vplivajo tudi nekatere antropometrijske lastnosti, posebno dolžina stopala, pa tudi gibljivost skočnega sklepa. Hkrati z relativno majhnim vzorcem merjenec, ki so si bili različni tudi glede na svojo najboljšo plavalno tehniko in razdaljo (disciplino), so to verjetno glavni razlogi, da povezav nismo našli.

Pri plavalcih odzivna moč pride v poštev pri startnem skoku in pri obratih. Vendar je v primerjavi z navpičnim skokom, ki se običajno izvaja pri merjenju profila F-v, smer odziva in s tem potiska nog bolj vodoravna, okrog 30°. Pri tem smeri potiskanja nog glede na horizontalo ne smemo mešati z odzivnim kotom težišča, ki je manjši, med 0 in največ 15°. Pri odzivanju od stene bazena pri obratu pa se plavalec tako kot pri navpičnem skoku sicer odziva pod kotom

90° glede na podlago, vendar pa je sila, ki jo mora pri tem premagati zaradi razbremenitve kot posledice vzgona, precej manjša. Z drugimi besedami lahko rečemo, da se odziv dogaja v območju manjših sil (v primerjavi z navpičnim skokom na kopnem) in posledično večjih hitrosti. Iz tega razloga je Samozino za plavalce izpeljal formulo, po kateri se FVP določa na način, da se upošteva (povprečni) kot odziva 30°. Za posameznike so bili FvP 90° in FvP 30° zelo različni, kot kaže primer na Sliki 3. Vendar povezav s specialnimi testi za noge (udarci kravl in odziv od stene po obratu) nismo našli ne pri enem ne pri drugem kotu, zato tudi ne moremo trditi, da je $F-vP_{30^\circ}$ za ocenjevanje učinkovitosti nog plavalcev bolj primeren kot običajni $F-vP_{90^\circ}$.

Profil F-v oziroma navpične skoke z dodatnimi bremenami smo uspešno izmerili, vendar niti tukaj ni šlo brez težav. Pri tem težav ni povzročala uporaba IKT, ampak preprosto dejstvo, da smo težko našli plavalce, ki bi bili sposobni opraviti test skokov z dodatnimi bremenami. Pri tem so bili razlog tako neznanje tehnike izvajanja počepa zadaj in skoka iz počepa z olimpijsko ročko kot tudi njihova moč; enostavno niso bili dovolj močni, da bi lahko tehnično pravilno in predvsem varno izvajali vajo z dodatnim bremenom velikosti 40 % in 60 % telesne teže. Večina plavalcev je bila namreč še zelo mladih in treninga moči z večjimi bremenami še ni izvajala v zadostnem obsegu. Številni ga v tej obliki tudi sicer ne izvajajo, saj njihovi trenerji ne verjamejo v učinkovitost takšnega treninga. Izkaže se, da vadbo z večjimi bremenami prakticirajo le telesno že formirani plavalci in še to bolj ali manj samo sprinterji, ki jih je pri nas zelo malo. Za te je namreč zelo pomemben že sam startni skok, medtem ko se pri daljših plavalnih razdaljah eventualna slaba izvedba starta lahko kompenzira s plavanjem.

Ideja merjenja profila F-v je sicer povezana z možnostmi usmerjanja vadbne moči. Oblika krivulje je odvisna od štirih med seboj odvisnih kazalnikov (F_0 , v_0 , a , in P_{max}), ki imajo svoj fiziološki pomen. S treningom lahko spreminjamo kazalnike. Vadba, usmerjena v spremembo dolžine mišičnih vlaken, vpliva na razvoj večje hitrosti, vadba z velikimi bremenami vpliva na kot penacije mišic ter posledično na povečanje sile, sprememba enega, drugega ali obeh kazalnikov pa seveda pomeni tudi spremembo moči (P). Trening z velikimi bremenami ima večji potencial za spremembo krivulje sila-hitrost v področju večjih sil, s treningom z majhnimi bremenami pa se bo krivulja sila-hitrost premaknila v področje majhnih sil in večjih hitrosti (Markovic in Jaric, 2007).

Naša raziskava je imela nekaj omejitev. Prva je seveda velikost vzorca in omejen izbor merjenec, ta je bil zaradi zahtevnosti meritev precej majhen. Morda bi našo hipotezo lahko dokazali pri večjem vzorcu telesno formiranih sprinterjev, ki imajo poleg tega še izkušnje iz vadbne z olimpijsko ročko oziroma s težjimi bremenami. Prav tako bi bilo verjetno bolj smiselno iskati povezave med izmerjenim profilom F-v in uspešnostjo plavalnega starta oziroma skoka s startnega bloka, kar bi lahko bil predmet naslednjih raziskav.

Glede uporabe IKT, natančnejše aplikacije MyJump2, lahko ugotovimo, da je enostavna in uporabna. Verjetno je ugotavljanje lastnosti profila F-v, ki ga z njo lahko izmerimo, bolj zanimivo za »kopenske« športe, kjer odzivna moč pride bolj do izraza, torej športe, pri katerih prevladujejo sprinti, pospeševanja, spremembe smeri in skoki.

Po drugi strani so najsodobnejše raziskave že zasejale nekaj dvoma o veljavnosti, zanesljivosti in posledično uporabnosti računanja profila F-v. Zanesljivost profila F-v je odvisna od vaje, s katero ga želimo izmeriti; pri navpičnih skokih, kjer so izmerjene točke blizu

F_0 in daleč od v_0 , je F_0 bolj zanesljiva kot v_0 , na kolesarskem ergometru, kjer so točke bližje v_0 in dlje od F_0 , pa je v_0 bolj zanesljiv kazalnik (Garcia-Ramos in Jarić, 2018). Tudi koeficient naklona (ki mu pravzaprav rečemo profil) ni dobro ponovljiv kazalnik, posebno če točke merjenja niso blizu mejnim vrednostim F_0 in v_0 , kot je to pri navpičnih skokih. Prav tako v najnovejših člankih Lindberg in sodelavci (2021) poročajo, da pri elitnih športnikih (hokejistih, nogometaših in rokometiših) niso našli razlik v napredku moči ali P_{max} ne glede na to, ali so upoštevali usmeritve treninga, ki so jih dobili s profiliranjem F-v, ali pa jih niso. Profiliranje F-v je torej enostavno izvedljivo, vprašanje, ali je tudi veljavno in zanesljivo oziroma uporabno pri načrtovanju treninga, pa očitno ostaja odprto.

Literatura

1. Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *Journal of Applied Physiology*, 2012; 112: 1975–1983.
2. Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*. London, 126B, 136–195.
3. Jaric, S. (2015). Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks. *International Journal of Sports Medicine*. 2015; 36(09): 699–704.
4. Kapus, V., Štrumbelj, B., Kapus, J., Jurak, G., Šajber, D., Vute, R., Čermak, V. (2011). *Plavanje, učenje: Slovenska šola plavanja za novo tisočletje*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
5. Lindberg, K., Solberg, P., Bjørnsen, T., Helland, C., Rønnestad, B., Thorsen Frank, M., Haugen, T., Østerås, S., Kristoffersen, M., Midttun, M., Sæland, F. in Paulsen, G. (2021). Force-velocity profiling in athletes: Reliability and agreement across methods. *PLoS one*, 16(2).
6. Lindberg, K., Solberg, P., Rønnestad, B. R., Frank, M. T., Larsen, T., Abusdal, G., Berntsen, S., Paulsen, G., Sveen, O., Seynnes, O. in Bjørnsen, T. (2021). Should we individualize training based on force-velocity profiling to improve physical performance in athletes? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 10.1111/sms.14044. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/sms.14044>
7. Markovic, G. in Jaric, S. (2007). Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(10), 1757–1764. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31811e35>
8. Morin, J.-B. in Samozino, P. (2017) A spreadsheet for Sprint acceleration Force-Velocity-Power profiling. Pridobljeno s <https://jbmorin.net/2017/12/13/a-spreadsheet-for-sprint-acceleration-force-velocity-power-profiling/>
9. Morin, J.-B. in Samozino, P. (2016). Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 11 (267–272).
10. Samozino, P., Morin, J. B., Hintzy, F. in Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of biomechanics*, 41(14), 2940–2945. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.07.028>
11. Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E. in Belli, A. (2011). Optimal Force-Velocity Profile in Ballistic Movements-Altius: Citius or Fortius? *Medicine and science in sports and exercise*, str. 313–322.
12. Strojnik, V. (2010). Kondicijska priprava: Vadba za moč, gibljivost in SMV – predavanja 2. letnik. Neobjavljeno delo.

Izr. prof. dr. Igor Štirin,
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
igor.stirin@fsp.uni-lj.si



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 opremi. 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-

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

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

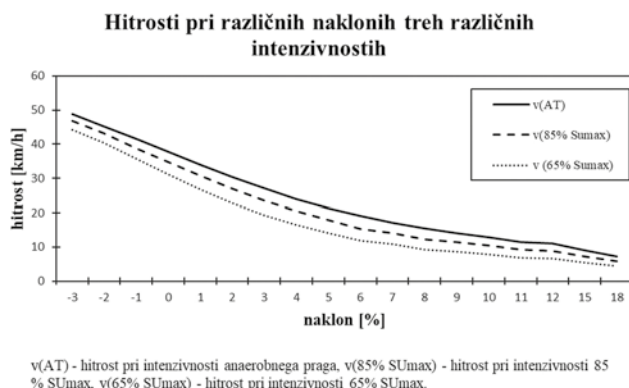
$$V_G (91 + 8.7 V_G) 10^{-1} + V_G m_T g \sin[\tan^{-1}(G_R)] +$$

$$1/2 (m_T + I \dot{\tau}^2) (V_{Gr}^2 - V_{Gr}^2) (\dot{t}_1 - \dot{t}_2)$$

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

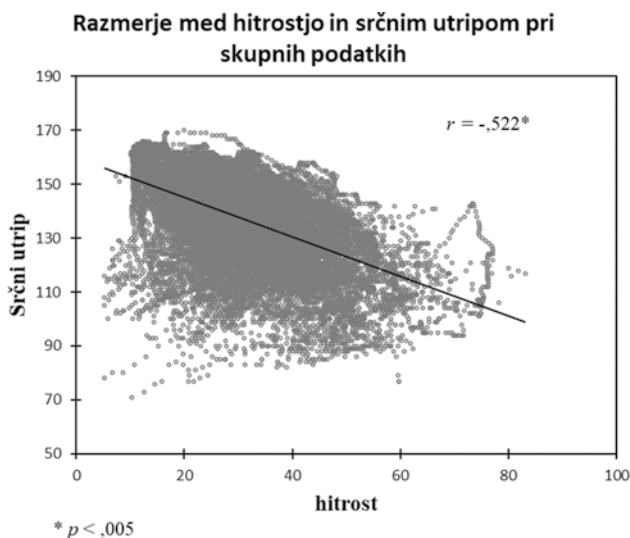
	NM		PM	
	N	M(SD)	N	M(SD)
Klanec	6036	147,4(13,3)	4555	149,1(12,7)
Ravnina	56493	139,9(11)	45792	135,3(10,9)
Drugo	10851	142,6(14,1)	8128	137,9(17,4)
Skupaj	73380	140,9(11,9)	58475	136,7(12,7)

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.

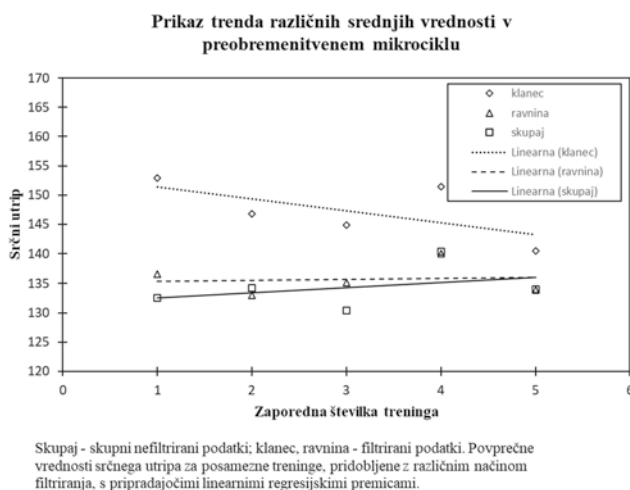
Z linearno regresijo je bila preverjena moč vpliva hitrosti na srčni utrip. Najdena je bila značilna regresijska enačba ($F(1,58473) = 21933, p < 0,005$), s prilagojeno vrednostjo $R^2,273$. S hitrostjo je bilo z linearnim modelom razložene 27,3 % celotne variance v podatkih. Srčni utrip je bil po enačbi 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



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.

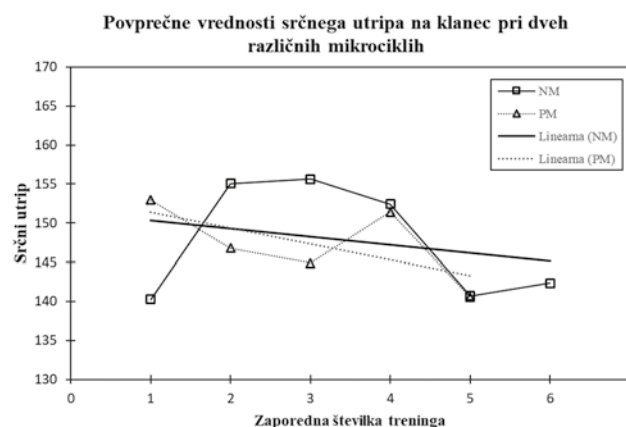
srčnega utripa pri kolesarjenju v realnem okolju, saj prikazujejo drugačen trend kot skupni podatki. T -test za neodvisne vzorce je bil uporabljen za primerjavo razlik v srednjih vrednostih skupnih podatkov za enega merjenca med prvim in zadnjim treningom. Ugotovljena je bila značilna razlika med prvim ($M = 139,17$; $SD = 13,54$) 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.



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.



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



Monika Pavlović,^{1,2,3}
Nina Ogrinc,^{1,4} Nejc Šarabon^{1,3,5}

Spletno orodje DancEpos – rešitve za prewencijo poškodb in izboljšanje umetniške uspešnosti v plesu

Online tool DancEpos - solutions to prevent dance injuries and improve artistic performance in dance

Izvleček

Spletno orodje DancEpos (www.dancepos.com) ponuja strokovne in inovativne e-rešitve za prewencijo mišično-skeletnih poškodb in izboljšanje plesne tehnike. Izobraževalne vsebine temeljijo na znanstvenih dokazih in so pripravljene specifično za plesalce. E-učbeniki DancEpos obsegajo tri glavne sklope: (1) splošno o poškodbah in osnove športne vadbe, (2) prewencija oziroma rehabilitacija po najpogostejših plesnih poškodbah in (3) izboljšanje plesne tehnike. Izobraževalna vsebina spletnega orodja je podana v tekstovni obliki e-učbenikov in hkrati podprta z več kot 100 slikami in 40 videoposnetki. Za posameznike, ki morda ne vedo natančno, s katero vsebino bi začeli, je na voljo kratek vprašalnik o zgodovini poškodb. Na podlagi rezultatov se samodejno ustvari poročilo z nekaj priporočenimi vajami glede na posameznikove odgovore. Poleg tega so navedena (pod)poglavja iz e-učbenika, kjer je dostopnih več informacij. Ustvarjalci spletnega orodja DancEpos si želimo, da bi vsebina dosegla čim več plesalcev različnih plesnih zvrsti in bi tako pripomogla k daljši in varnejši plesni karieri.

Ključne besede: ples, prewencija, poškodba, mišično-skeletne poškodbe

Abstract

The online tool DancEpos (www.dancepos.com) provides professional, innovative e-solutions to prevent dance injuries and improve artistic performance in dance. The learning content is created specifically for dancers based on scientific evidence. DancEpos' e-textbooks include three main sections: (1) General Injury and Athletic Training Basics, (2) Prevention/Rehabilitation of Common Dance Injuries, and (3) Improving Dance Technique. The educational content of the online tool is delivered in the text form of the e-textbooks while supported by more than 100 images and 40 videos. A brief injury history questionnaire is available for individuals who are unsure of which content to begin with. Based on the results, a report is automatically generated with some recommended exercises based on the individual's responses. In addition, (sub)chapters from the e-textbook are suggested where more information is available. The creators of the online tool DancEpos want the content to reach as many dancers of different dance genres as possible and thus contribute to a longer and safer dance career.

Key words: dance, prevention, injury, musculoskeletal injuries

■ Uvod

Pojavnost mišično-skeletnih poškodb pri plesalcih je kljub vse pogostejšemu ozaveščanju o primernem in zdravem načinu treniranja še vedno visoka (Jacobs, Hincapié in Cassidy, 2012). Zaradi poškodb plesalci pogosto dalj časa ne morejo vaditi, nastopati v

predstavah oziroma na tekmovanjih ali pa so poškodbe celo razlog za predčasno končanje že tako kratke plesne kariere. Mišično-skeletne poškodbe delimo na akutne in kronične poškodbe. Akutne poškodbe (zvini, zlomi, (na)trganine ipd.) se zgodijo ob enkratnem oziroma nenadnem dogodku med telesno aktivnostjo kot posledica prevelike sile v sklepu, kosti ali mišici (obrat, (do)skok, udarec, padec ipd.). Po drugi strani za nastanek kroničnih poškodb težko določimo enkratni dogodek, saj preobremenitve običajno trajajo daljše obdobje in se ponavljajo. Kronične poškodbe spremlja bolečina in vsaj začasno omejeno delovanje (poškodovanih) delov telesa, zato pomenijo veliko težavo pri številnih športnikih in plesalcih (Chéron, Le Scanff in Leboeuf-Yde, 2016; Jayanthi, LaBella, Fischer, Pasulka in Dugas, 2015).

¹ DancEpos, d. o. o., Kranj

² Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

³ Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju, Izola

⁴ Konservatorij za glasbo in balet Ljubljana

⁵ S2P, Znanost v prakso, d. o. o., Ljubljana



Vir: osebni arhiv avtorjev

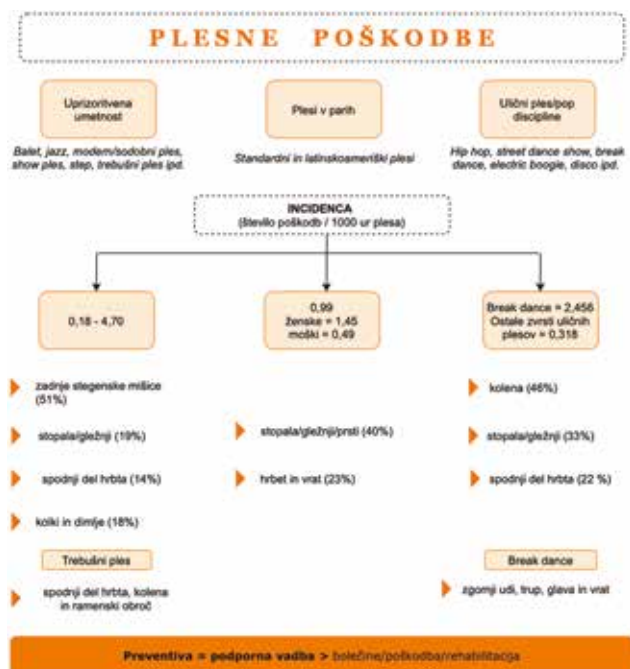
Do za poškodbo tveganega dogodka običajno privede kompleksno součinkovanje notranjih in zunanjih dejavnikov tveganja. Med notranje dejavnike uvrščamo starost, spol, telesno višino in maso, telesni tip, anamnezo, telesne nepravilnosti, psihološke dejavnike in utrujenost. Med zunanje dejavnike uvrščamo specifično plesno zvrst, del plesne sezone, plesni položaj, trenajni proces, plesno podlago in pogosto ponavljajoče se gibe med vadbo (Bahr in Krosshaug, 2005). Poleg omenjenih dejavnikov, ki vplivajo na nastanek poškodb, ima pomembno vlogo čas udeleustvovanja v plesu. Tega opisujemo s številom ur plesa na teden in se v povprečju zvišuje z leti. Denimo, pri osmih letih so plesalke iz centra za upri-

zoritvene umetnosti (Tel Aviv, Izrael) v povprečju plesno dejavne 2,5 ure na teden, pri šestnajstih letih ta čas obsega že 11,3 ure na teden (Steinberg idr., 2011). V navedeno študijo je bilo vključenih 1336 plesalk, kar delno že omogoča posplošitev rezultatov, a vseeno se lahko v tem oziru pojavijo odstopanja med posamezniki. Čeprav se poškodbe lahko pojavijo že v otroških letih (Adamova in Chirakovich, 2019), se možnost za njihov nastanek z leti povečuje. Pri večini plesalcev (61 %) se prva (resnejša) mišično-skeletna poškodba pojavi v obdobju med šestimi in enajstimi leti treniranja (Steinberg idr., 2011). Poleg teh dejavnikov na nastanek poškodb vpliva tudi plesna zvrst (Hincapié, Morton in Cassidy, 2008; Kuisis, Camacho, Krüger in Camacho, 2012; Tjukov, Engeroff, Vogt, Banzer in Niederer, 2020), s katero se posamezniki ukvarjajo (Slika 1), saj vsaka plesna zvrst zahteva od plesalca izvedbo specifičnih plesnih gibov.

Ob želji po zmanjšanju mišično-skeletnih poškodb pri plesalcih se je treba zavedati dejavnikov tveganja za njihov nastanek ter opredeliti in uresničevati preventivne ukrepe. Poškodbe je priporočljivo, boljše in lažje preprečiti kot reševati težave, do katerih pridejo, ko se zgodijo. Namen tega prispevka je predstaviti spletno orodje DancEpos (www.dancepos.com), ki ponuja izobraževalne vsebine, spodbuja prevencijo poškodb v plesu in ponuja (e)-rešitve v podporo plesni tehniki.

Spletno orodje DancEpos za prevencijo mišično-skeletnih poškodb pri plesalcih in v podporo plesni tehniki

Orodje DancEpos, ki temelji na znanstvenih dokazih, ponuja inovativne e-rešitve za prevencijo mišično-skeletnih poškodb pri plesalcih in v podporo izboljšanju plesne tehnike. Spletno orodje je primerno in na voljo za uporabo vsem posameznikom, ki so tako ali drugače vključeni v ples (plesalci, trenerji, v ples usmerjeni fizioterapevti, kineziologi in drugi strokovnjaki). Vsebina spletnega orodja je podana v tekstovni obliki e-učbenikov in hkrati podprta z več kot 100 slikami in 40 videoposnetki. E-učbeniki so razdeljeni na tri glavne sklope, ki obsegajo: (1) splošno o poškodbah in osnove športne vadbe (bronasto odličje), (2) prevencija oziroma



Slika 1. Mišično-skeletne poškodbe pri plesalcih različnih plesnih zvrsti (Hincapié idr., 2008; Horvat idr., 2016; Kuisis idr., 2012; Milner idr., 2019; Smith idr., 2016; Tjukov idr., 2020)

rehabilitacija najpogostejših plesnih poškodb (srebrno odličje) in (3) izboljšanje plesne tehnike (zlato odličje) (Slika 2). Čeprav lahko uporabniki spletnega orodja sami izbirajo, kateri/e sklop/e učbenika bodo usvajali, se vsebine med seboj nadgrajujejo. Podobno kot na plesnih tekmovanjih lahko po uspešno opravljenem kvizu za vsako poglavje uporabniki prejmejo »medalje«. Pogoji za pridobitev najvišjega odličja »diamanta« so uspešno opravljeni kvizi vseh treh poglavij (bron, srebro in zlato) in udeležba na vikend delavnici DancEpos, kjer je poudarek na praktičnih vsebinah oz. pravilni izvedbi vaj. Gre za celovit pristop k fizični pripravi plesalcev, od podajanja vsebine o osnovah športne vadbe in razumevanja mehanizmov mišično-skeletnih poškodb do vaj za preventivo oziroma rehabilitacijo po poškodbah in vaj v podporo izboljšanju plesne tehnike. E-vsebine so uporabnikom na voljo neodvisno od njihove lokacije ali časa. Tudi po uspešno zaključenem posameznem sklopu e-učbenika je ta posameznikom še vedno na voljo za osvežitev ali poglobitev pridobljenega znanja. Menimo, da lahko taka strokovna podpora učinkovito pomaga pri reševanju dejanskega praktičnega problema.



Slika 2. Vsebina e-učbenikov DancEpos

Za posameznike, ki morda niso popolnoma prepričani, s katero vsebino bi začeli, je na voljo kratek vprašalnik o zgodovini poškodb. Na podlagi rezultatov se samodejno ustvari poročilo z nekaj priporočenimi vajami glede na posameznikove odgovore. Poleg tega so navedena (pod)poglavja iz e-učbenika, kjer je dostopnih več informacij. Znanstveno podprti zapisi v e-učbenikih so za lažje razumevanje vsebine podkrepljeni s slikovnim gradivom. Denimo, na Sliki 3 je prikazan primer celovite gibalne funkcije plesalcev. To morajo uporabniki poleg drugih vsebin, ki spadajo k osnovam športne vadbe, usvojiti za pridobitev bronastega odličja.

Za pridobitev srebrnega odličja se morajo uporabniki seznaniti s pravilno izvedbo vaj za preventivo oziroma rehabilitacijo po najpogostejših poškodbah (zvin gležnja, boleče pokostnice, bolečina v spodnjem delu hrbta ipd.), spremlja jih slikovno in videografično. Zaradi specifične plesnih treningov nekatere telesne dele oziroma mišične skupine velikokrat nepravilno obremenjujemo. Zato je izjemno pomembno, da poleg primarnih mišic, ki so potrebne za dobro izvedbo plesno specifičnega giba, krepimo tudi pod-



Slika 3. Celovita gibalna funkcija (vir: osebni arhiv avtorjev)

porne mišice. Kot primer navedimo gleženj, ki je med plesalkami najpogostejše poškodovan (Novosel, Sekulić, Perić, Kondrič in Zaletel, 2019). Zaletel, Sekulić, Zenić, Esco, Šajber in Kondrič (2017) so ugotovili, da je poškodba gležnja zahtevala najdaljšo odsotnost s plesnega treninga v primerjavi z drugimi mišično-skeletnimi poškodbami. V spletnem orodju DancEpos lahko najdemo primerne pristope za preventivo oziroma rehabilitacijo poškodb po posameznih delih telesa. Slika 4 prikazuje primer za gleženj.



Slika 4. Primer sklopa vaj za preventivo oziroma rehabilitacijo po poškodbi gležnja (vir: osebni arhiv avtorjev)

Ples spada med uprizoritvene umetnosti in estetika je poleg dobre tehnične izvedbe ključna za uspeh. Dobro oziroma slabo izvedbo plesa je težko objektivno oceniti, saj ta ni pogojena z doseganjem določene hitrosti, razdalje ali zmage. Običajno dobro estetsko izvedbo giba določajo ekspresivnost, interpretacija in ritmična izvedba. Da bi dosegli estetsko učinkovit nastop, je sprva potrebna dobra tehnična izvedba in za doseg te si lahko poleg plesnega treninga pomagamo s podpornimi vajami za krepitev specifičnih mišic. Kot primer navedimo baletno specifični gib *développé à la seconde*, ki ga lahko zasledimo med vsako baletno vadbo in predstavo. Omenjeni baletni gib zahteva zunanjo rotacijo spodnjih okončin, pri čemer se teža telesa prenese na eno nogo, druga pa izvede upogib in odmik kolčnega sklepa (Grossman, 2017). Gre za gib, pri katerem se predvsem od baletnih plesalk pričakuje izvedba z veliko amplitudo (t. i. visoka izvedba). Pri visoki izvedbi giba sodelujejo predvsem črvenično-ledvena mišica in zunanji rotatorji kolčnega sklepa. Londonska Kraljeva baletna šola (angl. Royal Bal-



Vojko Vučković,
Majerič Matej

Analiza učinka spletnega oglaševanja na pridobivanje novih uporabnikov fitnes centra

Analysis of the impact of online advertising on the acquisition of new users of fitness center

Izvleček

Sodobni pristopi spletnega oglaševanja vključujejo izdelavo pristajalne spletne strani, pošiljanje oglasov po elektronski pošti in oglaševanje na družbenih omrežjih. Namen prispevka je bil predstaviti ta sredstva in analizirati njihov učinek na pridobivanje novih uporabnikov fitnes centra. Kot eksperiment smo pripravili oglaševalsko akcijo, katere cilj je bila prodaja dvomesečne fitnes karte po znižani ceni. Oglaševalska akcija je bila izvedena od 23. do 25. 11. 20218 in je vključevala izdelavo pristajalne spletne strani, pošiljanje oglasov po elektronski pošti in oglaševanje na družbenih omrežjih. Ugotovili smo, da je oglas, ki je bil poslan na 8655 elektronskih naslovov, odprlo 2138 naslovnikov oz. 24,7 % vseh prejemnikov elektronske pošte. Od teh je na povezovalno do pristajalne spletne strani kliknilo 233 ljudi oz. 2,7 % vseh. Ugotovili smo še, da je spletni oglas na Facebooku in Instagramu videlo 19.127 uporabnikov. Od tega je na spletni oglas do pristajalne spletne strani kliknilo 293 uporabnikov Facebooka in 52 uporabnikov Instagrama. To kaže, da se finančno bolj izplača oglaševanje na Facebooku. Končni rezultat oglaševalske akcije je bil, da je prek pristajalne spletne strani dvomesečno karto kupilo 17 ljudi. Akcija se je izkazala kot učinkovita, zato spletno oglaševanje priporočamo tudi drugim ponudnikom športnih storitev.

Ključne besede: spletno oglaševanje, novi uporabniki, akcija, karta, fitnes

Abstract

Modern approaches to online advertising include creating a landing website, advertising via e-mail, and advertising on social media. The purpose of this paper was to present these tools and analyze their impact on the acquisition of new users of the Fitness Center. As an experiment, we prepared an sale promotion of two-month fitness ticket at a reduced price. The advertising promotion was carried out from 23.11. to 25.11.20218 and included the creation of a landing website, advertising via e-mail and advertising on social networks. We found that the ad for sale promotion, which was sent to 8.655 e-mail addresses, was opened by 2138 recipients or 24.7% of all e-mail recipients. Of these, 233 (2.7%) of all users clicked on the web link to the landing website. We also found that the online ad on Facebook and Instagram was seen by 19127 users. Of these, 293 of Facebook users clicked on the online ad to the landing website. 52 users who clicked on ad were Instagram users. We confirmed that advertising on Facebook pays off more financially. The end result of the sale promotion was that 17 people bought a two-month ticket through the landing website. The campaign proved to be effective, so we also recommend online advertising to other sports service providers.

Keywords: online advertising, new users, sales promotion, fitness

Uvod

Tako kot v vseh drugih gospodarskih panogah je tudi v športu za prodajo storitev ali pridobivanje novih uporabnikov potrebno oglaševanje. Podjetja, ki želijo biti pri tem uspešna, morajo biti inovativna. V zadnjem času v vseh gospodarskih panogah prevladuje spletno oglaševanje (Statista, 2021). Spletno oglaševanje je že v letu 2018 obsegalo več kot 100 milijard dolarjev (PWC, 2019). Spletno oglaševanje mora vedno imeti cilj, ki ima merljiv učinek. Oglaševanje brez cilja in merjenja učinka pa je zapravljanje denarja. Cilji v spletnem oglaševanju so lahko različni (vzpostavljane blagovne znamke, zbiranje kontaktov in analiza uporabnikov, prodaja izdelkov in storitev ...). Sodobno spletno oglaševanje vključuje načrtno vzpostavitev privlačne spletne strani in pristajalnih spletnih strani ter njihovo optimizacijo, komunikacijo z uporabniki prek družbenih omrežij in trženje storitev s pošiljanjem oglasov na e-naslove uporabnikov (Smith, 2016).

Danes je mogoče postaviti različne spletne strani (spletne vizitke, statične spletne strani, interaktivne strani, različne portale, spletne trgovine ...). Pri tem je treba ustvariti konkurenčno prednost. To pomeni, da sta natančno določena namen vzpostavitve spletne strani in njena vsebina. Spletna stran mora biti preprosta za uporabo, vsebina pa kratka, pregledna, enostavna in razumljiva. Pomembno je tudi optimizirati spletno stran za ključne besede za spletne iskalnike (npr. Google). To pomeni, da bo pri iskanju uporabnika ali kupca po ključnih besedah v izbranem spletnem iskalniku določena spletna stran višje na seznamu prvih zadetkov.

Prodajo je v kratkem času in brez velikih finančnih stroškov mogoče povečati tudi z vzpostavitvijo pristajalne spletne strani. Takšna spletna stran je po mnenju nekaterih strokovnjakov pomembnejša kot sama spletna stran ponudnika storitev. Prav učinkovita pristajalna spletna stran pritegne pozornost oz. usmeri spletnega uporabnika na izbrani cilj oglaševalske akcije (pridobivanje uporabnikov, prodaja storitev ...) – in ne nasprotno, da se spletni obiskovalci vrnejo na iskanje na spletni iskalnik.

Pristajalna spletna stran mora biti oblikovno privlačna, vzpostavljena pa mora biti z upoštevanjem šestih pomembnih dejavnikov (Sillence, Briggs, Fishwick in Harris, 2004):

1. *Vsebina mora biti pregledna, zato naj bo oblikovana v enem stolpcu, saj več kot 50 % uporabnikov pregleduje spletne strani na pametnem telefonu.*
2. *Vsebovati mora pozitivno mnenje zadovoljnih uporabnikov, saj njihovi oceni zaupa kar 88 % potencialnih novih uporabnikov ali kupcev.*
3. *Vsebovati mora privlačne barve, a jih ne sme biti preveč. Manj barv je izbranih, bolj so vidne uporabljene. Najnovejše pristajalne spletne strani so celo črno-bele, razen obrazcev ali gumbov za nakup, ki so barvni.*
4. *Vsebovati mora malo enostavnih obrazcev za izpolnjevanje. Strokovnjaki menijo, da izpolnjevanje ne sme vzeti več kot osem sekund.*
5. *Vsebina mora biti osredotočena na en namen. Več ima uporabnik možnosti izbire, manj bo izbral.*
6. *Vsebina mora biti osredotočena na velike množice. To je zagotovilo za pridobivanje večjega števila uporabnikov ali kupcev.*

Spletna stran mora omogočati spremljanje in analiziranje njenih uporabnikov ter njihovo konverzijo iz obiskovalcev v uporabnike storitev ali kupce. Za to je na voljo več spletnih aplikacij, na primer Google analitika (*Google analytics*), *Kissmetrics* ... Obisk spletne strani se pospešuje z njeno optimizacijo (optimizacija SEO). Patel (2015) v zvezi s tem meni, da je najpomembnejša izbira ključnih besed, ki se večkrat ponovijo. S tem dosežemo osredotočeno uvrščanje ključnih besed kot prvih zadetkov v spletnem iskalniku. Drugi pomembnejši dejavnik je navzkrižno povezovanje (*angl. cross linking*), kar pomeni, da se morajo določene ključne besede in besedne zveze med seboj povezovati. S tem se poveča verjetnost, da bodo prikazane med prvimi zadetki iskanja. Navzkrižno povezovanje je lahko tudi uporaba sinonimov, ki preusmerijo del iskanj med določene zadetke na iskalniku. Za povečanje števila klikov na določeno spletno stran se uporablja tudi plačljivo oglaševanje. Za pridobivanje podatkov o potencialnih strankah se uporabljajo tako imenovani vodilni magneti (*angl. lead magnets*). Primeri takšnih

»pasti« za obiskovalce so popusti, elektronske knjige, sezname s kljukanjem, videoposnetki, brezplačni preizkusi, kvizi, testi ipd.

Na družbenih omrežjih uporabniki zbirajo in ustvarjajo vsebine, jih delijo med seboj ter sodelujejo in si pomagajo z informacijami (Cetin, 2016). Spletno oglaševanje na družbenih omrežjih strmo narašča. Facebook je npr. v letu 2020 pri tem imel za 31 % več prihodkov kot v letu 2020 (Hubspot, 2021). Zaradi učinkovitosti tovrstnega oglaševanja vse več športnih organizacij (podjetij, klubov ...) uporablja družbena omrežja za komunikacijo z uporabniki (Witkemper, Lim in Waldburger, 2012; Pronschinske, Groza in Walker, 2012; García-Fernández idr., 2017). Povpraševanje podjetij po spletnem oglaševanju na družbenih omrežjih raste, enako velja za fitnes storitve in izdelke. Številni menijo, da je Facebook najučinkovitejše trženjsko orodje (Kolbeck, 2018; García Fernández, Fernández Gavira, Durán Muñoz in Vélez Colón, 2015). Pomembno vlogo imajo tudi t. i. vplivneži na Instagramu, ki v fitnes industriji vplivajo na vzpostavljanje blagovne znamke (Baranow, 2019). Za pospeševanje oglaševanja na družbenih omrežjih se uporabljajo ključniki (*angl. hashtag* oz. #), ki so značilni za specifične skupine uporabnikov. Na družbenih omrežjih se namreč ljudje združujejo v skupine s podobnimi interesi. Za objave, ki se navezujejo na interese določene skupine, je značilno, da jih člani skupine med seboj delijo. To pa spet pomeni večjo izpostavljenost na spletnem iskalniku.

Trženje storitev prek oglaševanja po elektronski pošti je dolgo znana metoda za povečanje števila uporabnikov ali kupcev. Pri tem ločimo množično (masovno) oglaševanje in ciljno oglaševanje, ki je prilagojeno posamezniku. Masovno oglaševanje po elektronski pošti pomeni pošiljanje obvestil vsem uporabnikom. Ciljno oglaševanje, prilagojeno posamezniku, pa je pošiljanje vnaprej pripravljenega niza obvestil le njemu. Pri analizi učinkovitosti oglaševanja po elektronski pošti je pomembno, koliko poslanih elektronskih obvestil je bilo odprtih. Nekateri podatki kažejo, da takšna obvestila odpre v povprečju 21,33 % prejemnikov (Mailchimp, 2021).

V skladu z izhodišči sodobnega spletnega oglaševanja je bil namen prispevka analizirati oglaševalsko akcijo Črni petek in njen učinek na pridobivanje novih uporabnikov fitnes centra.

Metode

Udeleženci raziskave so bili potencialni uporabniki storitev fitnes centra, ki smo jih z obvestili po elektronski pošti in oglasi na družbenih omrežjih želeli preusmeriti na pristajalno spletno stran fitnes centra. Pri izdelavi te strani smo upoštevali strokovna navodila (Sillence, Briggs, Fishwick in Harris, 2004). Na tej strani smo od 23. do 25. 11. 2018 tržili prodajno akcijo Črni petek (*angl. Black Friday*), ki je vključevala prodajo fitnes karte za dva meseca po promocijski ceni 65 evrov (namesto 139 evrov). Za pošiljanje in analizo trženja po elektronski pošti smo uporabili Squalomail; za pripravo, objavo, testiranje in analiziranje oglasov na Facebooku in Instagramu smo uporabili Facebook Business Manager; za analizo obiska pristajalne spletne strani pa smo uporabili Google analytics.

Spletna stran za akcijo Črni petek je bila enostavna in pregledna. Postavljena je bila v vidno polje uporabnika. Ozadje je bilo svetlo, gumbi za nakup pa oranžni, kot je priporočeno (Sillence, Briggs, Fishwick in Harris, 2004). Na spletni strani pod vidnim poljem so bila pozitivna mnenja resničnih uporabnikov fitnes centra.

Slika 1 prikazuje pristajalno spletno stran za oglaševalsko akcijo Črni petek (*angl. Black Friday*).

Black Friday popusti

Akcija traja od 23. do 25. novembra 2018.

Za črni petek smo tudi v 4P fitnessu pripravili čisto posebno akcijo! 2-mesečna karta s kar 50% popustom.

Popust velja za:

	Redna cena	Black Friday cena
2-mesečna karta za fitness	130 €	65 €
2-mesečna karta za vodene vadbe	130 €	65 €
2-mesečna kombinirana karta (fitness in vodene vadbe)	136 €	68 €

Vpiši se

Nora akcijska cena sezone karte za savno

Akcija traja do konca novembra 2018.

Že smo zakorskali v hladnejše dni, kar dostikrat vpliva na naš imunski sistem. To se lahko kaže kot prehlad, astmatične težave, bronhitis ali kaj drugega. In ker v 4P fitnessu mislimo na vaše zdravje, smo pripravili sezonsko letno karto za savnanje po akcijski ceni.

Slika 1. Pristajalna spletna stran za oglaševalsko akcijo Črni petek

Za to akcijo smo pripravili tudi spletne oglase. Oglas, ki je vodil na pristajalno spletno stran, je bil poslan na 8655 elektronskih naslovov nekdanjih ali aktualnih uporabnikov fitness centra. V plačljivo oglaševanje od 23. do 25. 11. 2018 na družbenih omrežjih Facebook in Instagram smo investirali 50 evrov (po 25 evrov za vsakega).

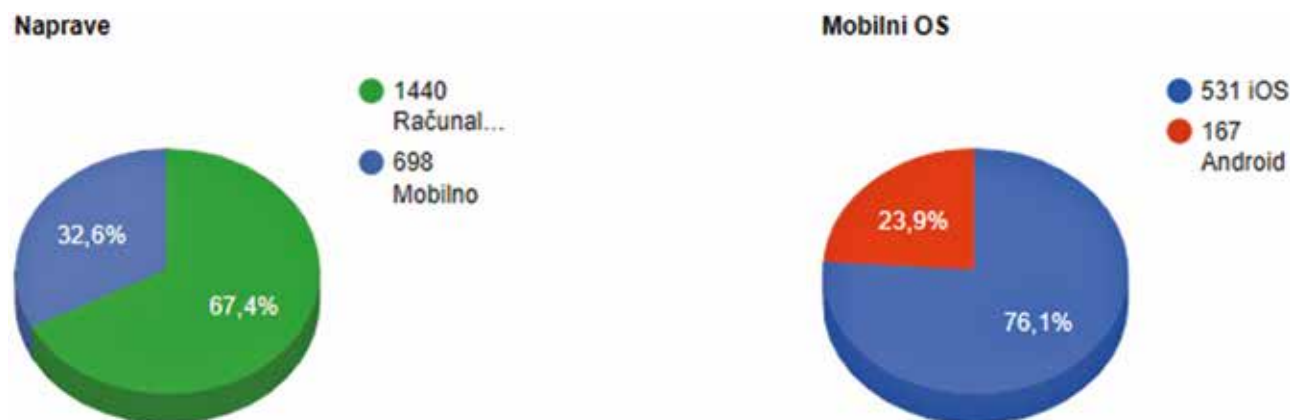
Rezultati in razprava

Analiza je pokazala, da je od 23. do 25. 11. 2018 do 23:59 ure poslano obvestilo po elektronski pošti odprlo 2138 oseb vseh naslovnikov. To je primerljivo z nekaterimi drugimi podatki (Mailchimp, 2021). V tem obvestilu je bil oglas za akcijo Črni petek s spletno povezavo do pristajalne spletne strani. Na ta oglas je kliknilo 233 oseb vseh naslovnikov.

Slika 2 prikazuje, da je od 2138 oseb vseh naslovnikov elektronsko pošto na računalniku odprlo 67,4 %, na pametnem telefonu pa 32,6 % naslovnikov. Od tega jih je 76,1 % uporabljalo iOS, 23,9 % pa Android.

Slika 3 prikazuje, da je spletni oglas na Facebooku in Instagramu videlo 19.127 potencialnih uporabnikov. Na našo povezavo do pristajalne spletne strani so kliknili 345-krat. Glede na vložek 50 evrov je bila cena oglaševanja na Facebooku in Instagramu 0,14 evra na klik.

Slika 4 prikazuje analizo učinkovitosti oglaševanja akcije Črni petek na Facebooku in Instagramu. Ugotovili smo, da je spletni oglas na Facebooku od 19.127 uporabnikov videlo 10.108 uporabnikov, na Instagramu pa 9019 oseb. Od 19.127 uporabnikov Facebooka in Instagrama je na spletni oglas do pristajalne spletne strani za ak-



Slika 2. Analiza oglaševanja akcije Črni petek po elektronski pošti z uporabo Squelomaila

✓	Ad Name	Ad Set	Results	Reach	Impressions	Cost per Result	Amount Spent	Ends	Relevance Score
✓	4P Black Friday	---	345 Link Clicks	19,127 People	27,973 Total	€0.14 Per Link Click	€50.00 Total Spent	Nov 25, 2018	5
	Results from 1 ad	---	345 Link Clicks	19,127 People	27,973 Total	€0.14 Per Link Click	€50.00 Total Spent		

Slika 3. Analiza oglaševanja akcije Črni petek na družbenih omrežjih z uporabo Facebook Business Managerja



Slika 4. Analiza učinkovitosti oglaševanja akcije Črni petek na Facebooku in Instagramu z uporabo Facebook Business Managerja



Slika 5. Analiza obiska na spletni strani fitnes centra med 7. 11. 2018 in 26. 11. 2018 z uporabo Google analytics

cijo Črni petek kliknilo 293 uporabnikov Facebooka in 52 uporabnikov Instagrama. To kaže, da bi se za tovrstne akcije v prihodnje finančno bolj izplačalo oglaševati na Facebooku. To je v skladu z ugotovitvami nekaterih avtorjev (Kolbeck, 2018; García Fernández, Fernández Gavira, Durán Muñoz in Vélez Colón, 2015), ki ocenjujejo, da je Facebook najučinkovitejše trženjsko orodje.

Slika 5 prikazuje analizo obiska na spletni strani fitnes centra med 7.11.2018 in 26.11.2018 z uporabo *Google analytics*. Ugotovili smo, da se je obisk na spletni strani povečal v času oglaševanja na Facebooku in Instagramu (od 23. do 25. 11. 2018). Najbolj se je obisk povečal 23. 11. 2018, ko smo poslali obvestila po elektronski pošti. S koncem oglaševanja na Facebooku in Instagramu se je obisk na spletni strani zmanjšal. Analiza obiska spletne strani z uporabo *Google analitike* (*Google analytics*) je pokazala, da je 23. 11. 2018 spletno stran obiskalo skupaj 457 uporabnikov.

Končni rezultat oglaševalske akcije Črni petek je bil, da je od 23. do 25. 11. 2018 prek pristajalne spletne strani dvomesečno karto za fitnes center v vrednosti 65 evrov kupilo 17 oseb. To kaže, da smo v tem času za fitnes center zaslužili 1105 evrov.

Zaključek

Analiza spletnega oglaševanja je pokazala, da je s sodobnimi pristopi trženja športnih storitev, ki vključujejo izdelavo pristajalne spletne strani, pošiljanje oglasov po elektronski pošti in oglaševa-

nje po družbenih omrežjih, mogoče pridobiti nove uporabnike. Od tega bi še posebej izpostavili učinkovitost oglaševanja na Facebooku in po elektronski pošti, ki sta bila finančno najmanjši strošek. Zato bi tovrstno oglaševanje predlagali tudi drugim ponudnikom storitev v športu. Pri naši oglaševalski akciji je treba upoštevati, da smo dvomesečne karte prodajali s popustom po ceni 65 evrov (namesto 139 evrov). Če popusta ne bi bilo, bi verjetno spletni nakup opravilo manj uporabnikov. Ocenjujemo, da spletno oglaševanje lahko pripomore k večjemu obisku spletne strani, vendar to ne zadostuje, ponudba mora biti dovolj zanimiva, da se uporabnik odloči za nakup. Predvidevamo, da bo v prihodnje spletno oglaševanje z uporabo družbenih omrežij postalo še pomembnejše pri pridobivanju novih uporabnikov. Zato so take analize nujne pri zagotavljanju uspešnih oglaševalskih akcij. Opraviti pa bi jih bilo smiselno večkrat in v daljšem časovnem obdobju.

Literatura

- Baranow, R. (2019). The impact of influencer marketing in the fitness industry on consumers' trust. Pridobljeno 1. 10. 2021 s https://www.modul.ac.at/uploads/files/Theses/Bachelor/Undergrad_2019/Thesis_1621022_BARANOW__Rebecca.pdf
- Cetin, S. (2016). *Slovar digitalnih izrazov: programmatic update* 2017. Ljubljana: Iprom.
- García-Fernández, J., Elasm-Eijaberi, A., Pérez-Tur, F., Triadó-Ivern, X. M., Herrera-Torres, L. in Aparicio-Chueca, P. (2017). Social networks in fi-

- tness centres: the impact of fan engagement on annual turnover. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(3), 1068–1077.
4. García Fernández, J., Fernández Gavira, J., Durán Muñoz, J. in Vélez Colón, L. (2015). La actividad en las redes sociales: Un estudio de caso en la industria del fitness. *Retos: nuevas tendencias en Educación Física, deporte y recreación*, 28, 44–49.
5. Hubspot, 2021. 63 Facebook Statistics to Know for 2021. Pridobljeno 11. 9. 2021 s <https://blog.hubspot.com/blog/tabid/6307/bid/6128/the-ultimate-list-100-facebook-statistics-infographics.aspx>
6. Kolbeck, C. (2018). The Four Social Media Apps That Rule Digital Fitness Marketing and How Best to Use Them. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 22(1), 42–43.
7. Mailchimp. (2021). Email Marketing Benchmarks. Pridobljeno 11. 9. 2021 s <https://mailchimp.com/resources/email-marketing-benchmarks/>
8. Patel, N. (2010). The Anatomy Of A Perfect Landing Page. Pridobljeno 1. 10. 2021 s <https://neilpatel.com/blog/landing-page-design-infographic/>
9. Pronschinske, M., Groza, M. D., Walker, M. (2012). Attracting Facebook ,fans': the importance of authenticity and engagement as a social networking strategy for professional sport teams. *Sport marketing quarterly*, 21(4), 221.
10. WC. (2019). IAB internet advertising revenue report. 2018 full results. Pridobljeno 27. 3. 2021 s <https://www.iab.si/showpdf?file=https://www.iab.si/files/default/baza-znanja/2018/Full-Year-2018-IAB-Internet-Advertising-Revenue-Report.pdf>
11. Sillence, E., Briggs, P., Fishwick, L. in Harris, P. (2004). Trust and mistrust of online health sites. V *Proceedings of the 2004 conference on Human factors in computing systems - CHI '04* (str. 663–670). Vienna.
12. Smith, C. (2016). *The Conversion Code*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
13. Statista. (2021). U.S. digital advertising industry - statistics & facts. Pridobljeno 1. 3. 2021 s <https://www.statista.com/topics/1176/online-advertising/>
14. Witkemper, C., Lim, C. H. in Waldburger, A. (2012). Social media and sports marketing: Examining the motivations and constraints of Twitter users. *Sport Marketing Quarterly*, 21(3), str. 63–70.

Vojko Vučković, prof. šp. vzg., mag. posl. ved.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport,
vuckovicvojko@gmail.com



Nina Verdel¹,
Tim Podlogar^{2,3}, Urša Ciuha⁴, Hans-Christer Holmberg⁵,
Tadej Debevec^{4,6}, Matej Supej^{1,6}

Pomen veljavnosti senzorjev v praksi: primer neinvazivnega senzorja za merjenje temperature telesnega jedra

The importance of sensors' validity in applied setting: an example of a non-invasive sensor for measuring core body temperature

Izvleček

Spremljanje temperature telesnega jedra (T_c) med treningi in tekmovanji, zlasti v vročem okolju, lahko pomaga izboljšati športnikovo zmogljivost in zmanjšati tveganje za vročinsko kap. Zato bi bil neinvazivni senzor, ki omogoča zanesljivo spremljanje T_c , zelo koristen pripomoček za športnike in trenerje. Eden takih neinvazivnih senzorjev je pred nedavnim prišel na trg (CORE, greenTEG, Rümlang, Švica), proizvajalec pa ni izvedel neodvisne validacijske študije naprave. V tem prispevku bodo predstavljeni rezultati prve validacijske študije senzorja CORE. Prva glavna ugotovitev je bila, da je zanesljivost senzorja CORE sprejemljiva. Pri testiranju veljavnosti se temperatura, ki jo je pokazal senzor CORE, ni dobro ujemala z rektalno temperaturo, saj se je približno 50 % vseh meritev razlikovalo za več kot vnaprej določenih 0,3 °C. Končna ugotovitev je, da pridobljeni rezultati ne potrjujejo trditve proizvajalca, da je senzor CORE veljaven senzor za merjenje telesne temperature jedra.

Ključne besede: zanesljivost, rektalna temperatura, senzor CORE, kolesarjenje

Abstract

Monitoring core body temperature (T_c) during training and competitions, especially in a hot environment, can help enhance an athlete's performance, as well as lower the risk for heat stroke. Accordingly, a noninvasive sensor that allows reliable monitoring of T_c would be highly beneficial in this context. One such novel non-invasive sensor was recently introduced onto the market (CORE, greenTEG, Rümlang, Switzerland), but, manufacturer did not perform a validation study of this device. In this paper the results of first validation study about the CORE sensor will be presented. The first major finding was that the reliability of the CORE sensor is acceptable. However, under both levels of heat load, the body temperature indicated by the CORE sensor did not agree well with rectal temperature, with approximately 50% of all paired measurements differing by more than the predefined threshold for validity of ≤ 0.3 °C. In conclusion, the results obtained do not support the manufacturer's claim that the CORE sensor provides a valid measure of core body temperature.

Key words: reliability, rectal temperature, CORE sensor, cycling

■ Uvod

Olimpijske igre Rio 2016, še posebej pa Tokio 2020 so bile zaznamovane z visokim temperaturnim stresom, saj so potekale pri visoki temperaturi zraka in visoki vlažnosti. Podobno se pričaku-

je tudi na svetovnem prvenstvu v nogometu leta 2022 v Katarju (Johnson, 2010; Ruddock idr., 2014) in kot posledica globalnega segrevanja še na številnih tekmovanjih v prihodnosti. Vadba v vro-

¹ Swedish Winter Sport Research Centre, Mid Sweden University, Švedska

² School of Sport, Exercise and Rehabilitation Sciences, University of Birmingham, Združeno kraljestvo

³ Human Performance Centre, Slovenija

⁴ Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko, Institut Jožef Stefan, Slovenija

⁵ Department of Health, Medicine, and Rehabilitation, Luleå University of Technology, Sweden

⁶ Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani, Slovenija

čini pa ni le neprijetna, temveč lahko poslabša športnikovo zmogljivost (American College of Sports Medicine idr., 2007), povzroči dvig temperature jedra telesa (T_c) in ne nazadnje poveča tveganje za potencialno življenjsko ogrožajočo vročinsko kap, povezano s T_c nad 40 °C (Knochel, 1974). Za obvladovanje vročinskega stresa med tekmovanji in treningom so bile razvite številne strategije, za najbolj učinkovito pa se je izkazala vročinska aklimacija oziroma aklimatizacija (v nadaljevanju samo aklimatizacija) (Muniz-Pardos idr., 2019). Zanj se priporoča, da se izvaja v toplem okolju, ki izzove visoko stopnjo znojenja, da traja približno 60–90 min ter da je T_c nad 38,5 °C (Garrett idr., 2009; Patterson idr., 2004) 60% RH. Spremljanje športnikove T_c je zato pomemben del trenažnega procesa. Pri tem je zelo pomembno, da športniki in trenerji uporabljajo veljavne in zanesljive naprave za merjenje T_c .

Zanesljiva in veljavna naprava za merjenje T_c v mirovanju in med vadbo je rektalni senzor. Kljub široki uporabi ima merjenje rektalne temperature (T_{rec}) več omejitev: a) dolgotrajno sedenje z vstavljenno rektalno sondo je lahko za športnike neprijetno, b) merjenje je večinoma omejeno na laboratorijsko okolje in c) zaradi gibanja telesa se senzor lahko premakne iz prvotnega položaja (Gosselin idr., 2019). Zato je merjenje T_{rec} med treningom ali tekmovanji neprijetno in redko uporabljeno. Kot alternativa rektalnemu merjenju temperature pri raziskavah in profesionalnem športu se v zadnjih desetletjih uporabljajo elektronske tablete (e-tablete). Številne študije kažejo, da so e-tablete veljavni senzori za T_c (Ganio idr., 2009; Gant idr., 2006; Gosselin idr., 2019). Kljub temu ima merjenje T_c z e-tabletami tudi več omejitev, med drugim je a) treba tableto zaužiti nekaj ur pred vadbo, b) lahko se kontaminira z zaužito hrano ali tekočino, c) poleg tega je tudi draga. Posledično spremljanje T_c z e-tabletami med treningi in tekmovanji ni razširjeno.

Neinvazivni senzor, ki bi omogočal spremljanje T_c med vsakim treningom ali tekmovanjem, bi prinesel pomembne koristi pri treningu aklimatizacije na vročino in pri preprečevanju nastanka vročinske kapi. Prvi tak senzor, CORE (greenTEG AG, Rümlang, Švica), je že dostopen na trgu (Core Body Temperature Monitoring, b. d.). Proizvajalec senzor oglašuje kot natančen senzor za merjenje T_c kljub temu, da prva objavljena validacijska študija temu ne pritruje (Verdel idr., 2021). Številni športniki so senzor že uporabljali na različnih velikih tekmovanjih, kot so olimpijske igre in Tour de France. Če se ne zavedajo, da senzor lahko podceni njihovo realno vrednost T_c , pa je to za njih lahko zelo nevarno, celo usodno.

■ Zanesljivost in veljavnost

Kot smo omenili že v uvodu, je pomembno, da so senzori, ki jih uporabljajo športniki, zanesljivi in veljavni. Zanesljiv senzor je senzor, ki nam bo ob ponovitvi meritve pod enakimi pogoji pokazal enako vrednost. To pomeni, da če gremo s kolesom dvakrat na Vršič iz Kranske Gore in nam naša merilna naprava (recimo ura) obakrat pokaže, da smo se povzpeli za 700 metrov, je naša ura zanesljiva. Ampak takšna ura ni veljavna, ker nam ni pokazala prave vrednosti. Veljavna ura bi morala pokazati 806 metrov vzpona. Zanesljiva in hkrati veljavna ura bi pri obeh vzponih pokazala 806 metrov.

■ Senzor core

Senzor CORE (Slika 1) je nosljiv senzor velikosti 4 cm x 5 cm x 0,8 cm. T_c določa na podlagi meritev temperature kože, toplotnega toka in srčnega utripa (ta je povezan prek protokola ANT+). T_c je potem določena s pomočjo umetne inteligence, katere algoritmi so nastali na podlagi predhodnih meritev z veljavnimi senzori. V skladu z navodili proizvajalca je treba senzor namestiti na trup oziroma prsni koš približno 20 cm pod pazduho. Običajno se namesti na trak za merjenje srčnega utripa. Proizvajalec ponuja dve različici tega sensorja: CORE in COREresearch, druga vzorči podatke vsako sekundo in jih lahko hrani tri dni in pol. Podatke, shranjene v napravi, lahko za nadaljnjo analizo prenesemo v aplikacijo CORE za Android ali iOS. Proizvajalec navaja natančnost naprave CORE kot $\pm 0,26$ °C.

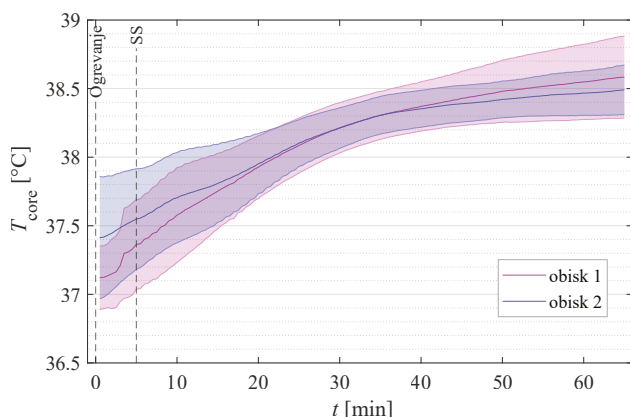


Slika 1. Senzor za merjenje temperature telesnega jedra »Core«

■ Zanesljivost in veljavnost sensorja core

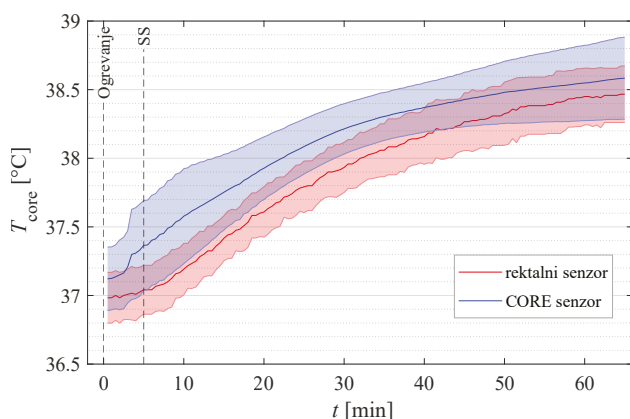
Študija, v kateri smo preverjali zanesljivost in veljavnost sensorja CORE, je bila sestavljena iz dveh ločenih raziskav.

V prvi raziskavi smo testirali zanesljivost in veljavnost sensorja CORE pri nizki do srednji toplotni obremenitvi (temperatura zraka v laboratoriju $19,1 \pm 0,5$ °C, relativna vlažnost 32 ± 5 %, ventilatorji izklopljeni). Za test zanesljivosti sensorja so udeleženci laboratorij obiskali dvakrat v razmiku enega tedna. Pri prvem in drugem obisku so izvedli enako vadbo pod enakimi pogoji: 5 minut ogrevanja, sledilo je 60 minut kolesarjenja pri konstantni obremenitvi (SS). Na Sliki 2 je prikazana povprečna vrednost in standardna deviacija T_c vseh udeležencev pri prvem (rožnata) in drugem (modro) obisku. Kot je razvidno, se je senzor CORE izkazal za sprejemljivo veljavnega. Po ogrevanju so bile razlike v T_c med prvem in drugim obiskom minimalne.



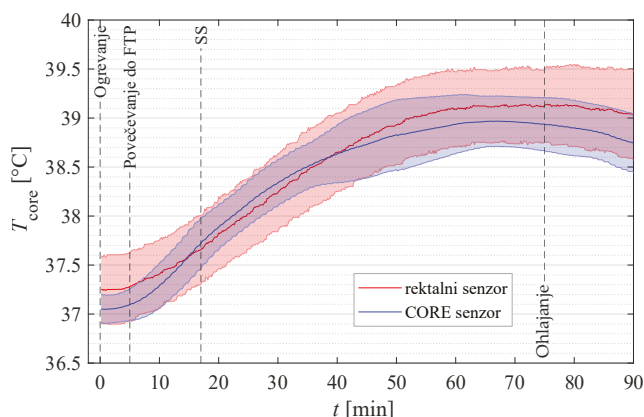
Slika 2. Povprečna temperatura telesnega jedra, določena s senzorjem CORE, med prvo (ružnata) in drugo (modro) raziskavo; senčeni območji predstavljata standardno deviacijo

V prvi raziskavi smo poleg zanesljivosti testirali tudi veljavnost senzorja CORE pri nizki do srednji toplotni obremenitvi. Za testiranje veljavnosti senzorja so bile vrednosti senzorja CORE primerjane z vrednostmi iz rektalnega senzorja (MSR, Seuzach, Switzerland). Kot je razvidno iz Slike 3, je senzor CORE precenil "pravo" vrednost, izmerjeno z rektalnim senzorjem. V študiji je bilo tudi določeno, da je še sprejemljiva razlika med rektalnim senzorjem in senzorjem CORE 0,3 °C, kot je bilo že prej definirano v literaturi. Torej, če je razlika med izmerjeno temperaturo s senzorjem CORE in rektalnim senzorjem manjša od 0,3 °C, lahko senzor označimo kot veljaven, v nasprotnem primeru pa kot neveljaven. Meritve so pokazale, da je bila razlika pri približno 50 % vseh meritev večja od 0,3 °C.



Slika 3. Povprečna temperatura telesnega jedra, določena z rektalnim senzorjem (rdeče) in senzorjem CORE (modro), pri nizki do srednji toplotni obremenitvi; senčeni območji predstavljata standardno deviacijo

V drugi raziskavi smo testirali veljavnost senzorja CORE pri srednji do visoki toplotni obremenitvi (temperatura zraka v laboratoriju $30,7 \pm 0,7$ °C, relativna vlažnost 39 ± 6 %, ventilatorji izklopljeni). V tej raziskavi je bil protokol naslednji: začetnemu petminutnemu ogrevanju je sledilo kolesarjenje s povečevanjem obremenitve do drugega ventilatornega praga, nato eno uro pri konstantni obremenitvi (SS) ter na koncu ohlajanje. Kot je razvidno iz Slike 4, je senzor CORE na začetku podcenil, nato precenil in potem znova podcenil T_c , ki je bila izmerjena z rektalnim senzorjem. Tudi v tem primeru so meritve pokazale, da je bila razlika pri približno 45 % vseh meritev večja od 0,3 °C.



Slika 4. Povprečna temperatura telesnega jedra, določena z rektalnim senzorjem (rdeče) in senzorjem CORE (modro), pri srednji do visoki toplotni obremenitvi; senčeni območji predstavljata standardno deviacijo

Zaključek

študija kaže, da so meritve temperature telesnega jedra s senzorjem CORE sprejemljivo zanesljive, saj se vrednost temperature pri ponovljenem poskusu ni bistveno razlikovala. Študija pa ne podpira trditve proizvajalca, da je senzor veljaven. Razlike med meritvami, pridobljenimi z rektalnim senzorjem in senzorjem CORE, so bile večje od vnaprej določenega sprejemljivega praga natančnosti 0,3 °C pri približno 50 % izvedenih meritev. Športniki in trenerji morajo biti previdni zlasti pri meritvah, ki izzovejo relativno visoko T_c (nad 39,5 °C), saj je pri teh temperaturah senzor neveljaven. Prav to zanimivo temperaturo območje T_c pa je povezano z zdravstvenimi težavami (vročinska kap), kar kaže na to, da je uporaba senzorja CORE v teh pogojih vprašljiva z varnostnega vidika, saj senzor pri večini meritev podceni T_c .

Financiranje

Raziskavo sta financirala program Evropske unije za raziskave in inovacije Obzorje 2020 v okviru projekta št. 824984 in Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) v okviru projekta J5-9350 in P5-0147.

Literatura

- American College of Sports Medicine, Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W., & Roberts, W. O. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 556–572. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31802fa199>
- Core Body Temperature Monitoring. (b. d.). *CORE body Temperature monitoring device launches in 2020*. <https://twitter.com/corebodytemp/status/1258035688991309826>
- Ganio, M. S., Brown, C. M., Casa, D. J., Becker, S. M., Yeargin, S. W., McDermott, B. P., Boots, L. M., Boyd, P. W., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2009). Validity and reliability of devices that assess body temperature during indoor exercise in the heat. *Journal of Athletic Training*, 44(2), 124–135. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.2.124>
- Gant, N., Atkinson, G., & Williams, C. (2006). The validity and reliability of intestinal temperature during intermittent running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(11), 1926–1931. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233800.69776.ef>

5. Garrett, A. T., Goossens, N. G., Rehner, N. J., Rehner, N. G., Patterson, M. J., & Cotter, J. D. (2009). Induction and decay of short-term heat acclimation. *European Journal of Applied Physiology*, 107(6), 659–670. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1182-7>
6. Gosselin, J., Béliveau, J., Hamel, M., Casa, D., Hosokawa, Y., Morais, J. A., & Goulet, E. D. B. (2019). Wireless measurement of rectal temperature during exercise: Comparing an ingestible thermometric telemetry pill used as a suppository against a conventional rectal probe. *Journal of Thermal Biology*, 83, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.05.010>
7. Johnson, J. (2010). Exercise in a hot environment: The skin circulation. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 Suppl 3, 29–39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01206.x>
8. Knochel, J. P. (1974). Environmental heat illness. An eclectic review. *Archives of Internal Medicine*, 133(5), 841–864.
9. Muniz-Pardos, B., Sutehall, S., Angeloudis, K., Shurlock, J., & Pitsiladis, Y. P. (2019). The Use of Technology to Protect the Health of Athletes During Sporting Competitions in the Heat. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1. <https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00038>
10. Patterson, M. J., Stocks, J. M., & Taylor, N. A. S. (2004). Sustained and generalized extracellular fluid expansion following heat acclimation. *The Journal of Physiology*, 559(Pt 1), 327–334. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.063289>
11. Ruddock, A. D., Tew, G. A., & Purvis, A. J. (2014). Reliability of Intestinal Temperature Using an Ingestible Telemetry Pill System During Exercise in a Hot Environment. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(3), 861–869. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182aa5dd0>
12. Verdel, N., Podlogar, T., Ciuha, U., Holmberg, H.-C., Debevec, T., & Supej, M. (2021). Reliability and Validity of the CORE Sensor to Assess Core Body Temperature during Cycling Exercise. *Sensors*, 21(17), 5932. <https://doi.org/10.3390/s21175932>

dr. Nina Verdel
Mid Sweden University
(Kunskapens väg, 831 25 Östersund, Sweden)
nina.verdel@miun.se



Matej Kodrin

Primeri uporabe IKT pri športnem plezanju

Izvleček

Informacijsko-komunikacijska tehnologija (IKT) je lahko uporaben pripomoček za posredovanje informacij, izboljšanje kakovosti demonstracije ali popestritev ure. V prispevku je predstavljen nekaj možnosti uporabe IKT pri vsebini športnega plezanja. Dejavnosti so lahko uporabne za učitelje pri pouku športa, izvajalce športnih programov ali trenerje športnega plezanja.

Ključne besede: športno plezanje, športna vzgoja, IKT

The uses of ICT in sport climbing

Abstract

Information and communication technology (ICT) can be a useful tool for providing information, improving the quality of the demonstration, or diversifying lessons. In this paper, some possibilities of using ICT in the content of sport climbing are presented. Activities can be useful for sports teachers, sports program providers or sport climbing coaches.

Key words: sport climbing, physical education, information and communication technologies

Uvod

Športno plezanje postaja v Sloveniji vse bolj priljubljeno, predvsem po zaslugi uspehov naših plezalcev in plezalk na tekmovanjih, ki jih lahko spremljamo v televizijskih prenosih. Tako se čedalje več ljudi odloči svoj prosti čas preživeti v številnih plezalnih centrih po državi ali v naravnih plezališčih. Prav tako je plezanje zelo dostopna športna panoga, saj za udejstvovanje ne potrebujemo veliko opreme, z njim pa se lahko ukvarja tako rekoč vsak (Schellander, 2019).

Plezanje je ena izmed naravnih oblik gibanja (Pistotnik idr., 2002), zato je otrokom posebno privlačno. V učnem načrtu osnovnošolskega programa športne vzgoje plezanje najdemo v vseh treh vzgojno-izobraževalnih obdobjih. V prvem vzgojno-izobraževalnem obdobju se učenec s plezanjem spozna v sklopih Naravne oblike gibanja in igre ter Gimnastična abeceda, kjer *pleza po različnih plezalih (zviralnik, žrd, letvenik ipd.)*. V drugem in tretjem vzgojno-izobraževalnem obdobju *pleza po različnih plezalih* v okviru vsebine Gimnastika z ritmično izraznostjo. Za doseg ciljev lahko športni pedagog uporabi druge športe, med katerimi je navedeno tudi plezanje (Program osnovna šola športna vzgoja. Učni načrt, 2011).

Motivacija učencev za premagovanje plezalskih problemov je po izkušnjah večja pri mlajših učencih. Starejši učenci potrebujejo več zunanje motivacije, veliko pa je odvisno tudi od njihovih gibalnih sposobnosti. Pri plezanju na visoki plezalni steni lahko z varovanjem od zgoraj učencem pri plezanju pomagamo, in sicer tako, da jih varujemo zelo na tesno ali pa jih celo malenkost povlečemo čez težji del. Na nizki plezalni steni, kjer se za varovanje uporabljajo

blazine, lahko težavnost prilagajamo le z izbiro smeri plezanja. Ta oblika športnega plezanja zahteva od učencev nekaj več moči.

Med večjimi težavami izvajanja vsebine športnega plezanja pri pouku je zagotavljanje frekventnosti in aktivnosti vseh otrok. V skupini z enim športnim pedagogom lahko na veliki plezalni steni z varovanjem pleza samo en učenec. Na nizki plezalni steni jih lahko hkrati pleza več, kar pa je seveda odvisno od velikosti plezalne stene ter njene nosilnosti. Prav s ciljem večje aktivnosti vseh učencev smo v vsebino začeli vključevati informacijsko-komunikacijsko tehnologijo.

Informacijsko-komunikacijska tehnologija je širok pojem, ki vključuje vse vrste komunikacijskih naprav in obsega radio, televizijo, mobilno telefonijo, računalnik, medmrežje, programsko in strojno opremo ter še mnogo drugih sodobnih tehnologij (Kumar, 2008). Uporaba takih tehnologij je predvidena tudi v učnem načrtu za športno vzgojo v osnovnih šolah. Športni pedagog lahko pri svojem delu uporablja informacijsko-komunikacijsko tehnologijo z namenom lažje ponazoritve in utemeljitve učne vsebine, spodbudite učencev k razmišljanju in dejavnosti ter izboljšanja kakovosti demonstracije. IKT pomaga učencu pri pridobivanju znanja (Markun Puhan, 2016) ali pri razvijanju motoričnih sposobnosti.

Ciljev uporabe IKT pri športnem plezanju je več, in sicer:

- lažja ponazoritev učne vsebine,
- spodbuditev učencev k razmišljanju in dejavnosti,
- samorefleksija ob videoposnetku,
- kakovostnejša izvedba učnega procesa,
- pripomoček za razvijanje motoričnih sposobnosti.

■ Starostna opredelitev, velikost skupine in pripomočki

Uporaba IKT pri športnem plezanju je namenjena otrokom od prvega razreda osnovne šole in vse do srednje šole. Velikost skupin je omejena s standardi in normativi za športno plezanje.

Pri izvajanju aktivnosti potrebujemo prenosni računalnik in projektor ter več tabličnih računalnikov.

■ Primeri aktivnosti

V nadaljevanju je predstavljenih samo nekaj primerov uporabe IKT pri vsebini športnega plezanja.

a. Teoretični uvod v vsebino

Uvodno predavanje je namenjeno spoznavanju teorije in varnostnih napotkov ter tudi vizualni predstavitvi različnih disciplin športnega plezanja. Z uporabo računalnika in projektorja lahko prezentacijo prikažemo na velikem platnu. Tako si učenci lažje predstavljajo posamezno disciplino, kaj vse počnejo plezalci, kako deluje varovanje z vrvjo ob padcu itd.

b. Učenje z uporabo spleta

Dodatna dejavnost pri uvodnem predavanju je iskanje odgovorov po svetovnem spletu. Učence razdelimo po skupinah, pri čemer vsaka skupina prejme tablični računalnik. Njihova naloga je, da na spletu čim hitreje poiščejo odgovore na naša vprašanja. Taka oblika učenja ni nič novega, je pa uporabna pri skupinah, ki se šele spoznava z delom z računalnikom oziroma iskanjem po spletu.

c. Morski pes

Kot eno izmed iger za ogrevanje lahko uporabimo različico »glasbenih stolov«, prilagojeno za plezalno steno. Določeno število učencev se uleže na trebuh na blazine tako, da se s konicami prstov dotikajo plezalne stene. Ko na računalniku igra glasba, otroci na blazinah izvajajo plavalne tehnike, ko glasba utihne, pa morajo čim hitreje splezati na plezalno steno, a le tako visoko, da se z nogami ne dotikajo blazin. Igra je priljubljena predvsem pri učencih nižjih razredov osnovne šole.

d. Twister na steni

Za osnovo si pomagamo z igro twister. Na plezalni steni uporabimo oprimke štirih različnih barv (rdeča, modra, zelena, rumena), ki predstavljajo barve v igri. Na tabličnem računalniku poiščemo aplikacijo, ki naključno izbira barve in dele telesa. Primer take aplikacije je Twister Spinner (Slika 1), ki je na voljo za operacijski sistem Android in tudi za iOS.

Igro lahko izvajamo frontalno, pri čemer učitelj vodi določeno število učencev na steni, ti pa se morajo na ukaz z določenim udom premakniti na določeno barvo. Lahko pa jo izvedemo kot delo v paru, kjer eden od para pleza, drugi pa mu daje navodila. Učenci se ob padcu s plezalne stene zamenjajo.

e. Kviz o športnem plezanju

Pri frontalnem načinu učenci, ki niso na steni, čakajo na vrsto. Čakanje lahko popestrimo tako, da jim razdelimo tablične računalnike in na njih rešujejo kviz v za to ustvarjeni aplikaciji (Slika 2).



Slika 1. Naključna izbira barve in uda v aplikaciji Twister Spinner



Slika 2. Kviz Športno plezanje s 15 vprašanji

Druga možnost uporabe kviza je delo po skupinah. Vsaka skupina prejme tablični računalnik z aplikacijo kviza o športnem plezanju. Možnosti: število pravih odgovorov določi vrstni red plezanja otrok, za vsak pravi odgovor skupina prejme podatek o številu oprimkov, ki jih lahko prime med plezanjem, itd.

f. Snemanje z zamikom

Športno plezanje zahteva upoštevanje tehnike in koordinirano gibanje za ohranjanje ravnotežnega položaja. Popravljanje napak ob plezanju je lahko uspešnejše, če se učenci vidijo in tako dobijo povratno informacijo o svojem gibanju. Na tablični računalnik namestimo aplikacijo za snemanje z zamikom ter ga nastavimo tako, da snema del plezalne stene. Učenci se na steno podajajo v določenem zaporedju, pri čemer ohranjajo ustrezno razdaljo in ne motijo drug drugega.

g. Okvir (plezanje v pravokotniku)

Z uporabo projektorja in prenosnega računalnika na plezalno steno projiciramo posnetek, na katerem se naključno premika pravokotnik, kot je prikazano na Sliki 3. Uporabimo lahko program za oblikovanje ohranjevalnika zaslona, v katerem pripravimo različno velike pravokotnike z različno hitrostjo premikanja na belem ozadju. Naloga učenca je, da ostane v mejah okvirja, ob dveh prekrških je na vrsti naslednji.



Slika 3. Gibanje plezalca v pravokotniku

■ Zaključek

Živimo v sodobni družbi, kjer nas informacijsko-komunikacijska tehnologija spremlja na vsakem koraku. Današnje generacije otrok se s to tehnologijo srečajo razmeroma zgodaj in jim uporaba ne

pomeni težav. IKT dobiva svoje mesto tudi v šolskem prostoru, kjer lahko s pridomo izkoriščamo prednosti uporabe pri posredovanju znanja. Menimo, da naj bo IKT v uporabi le, kjer je nujno. Nikakor ne smemo dopustiti, da postanejo športne dejavnosti prenasršene s tehnologijo, saj nas ta dandanes že tako spremlja na vsakem koraku.

Glavno vodilo uporabe pri aktivnosti športnega plezanja naj bo, da se z uporabo ne pretirava. Naj IKT ne postane glavna dejavnost ure, ampak le dopolnilo. Vsekakor pa je smiselno dejavnosti in njihovo število prilagoditi vsaki skupini posebej.

■ Literatura

1. Kumar, R. (2008). *Convergence of ICT and education*. *Word Academy of Science, Engineering & Technology*. 40, 556–559. Pridobljeno s http://library.oum.edu.my/oumlib/sites/default/files/file_attachments/odl-resources/4353/convergence-ict.pdf
2. Markun Puhar, N. (2016). *Smernice za uporabo IKT pri predmetu šport/športna vzgoja*. Zavod Republike Slovenija za šolstvo. Pridobljeno s <https://www.zrss.si/strokovne-resitve/digitalna-bralnica>
3. Pistotnik, B., Pinter, S. in Dolenc, M. (2002). *Gibalna abeceda. Naravne oblike gibanja v športni praksi*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
4. Program osnovna šola športna vzgoja. Učni načrt. (2011). Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo. Pridobljeno s https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_sportna_vzgoja.pdf
5. Schellander, T. (3. 5. 2019). *Idealna zmes intelektualne, telesne in duhovne telovadbe*. *Žurnal24.si*. Pridobljeno s <https://www.zurnal24.si/popotnik/idealna-zmes-intelektualne-telesne-in-duhovne-telovadbe-326778>

Matej Kodrin, mag. prof. šp. vzg.
Center šolskih in obšolskih dejavnosti
matej.kodrin@csod.si



Matej Majerič,
Jernej Kapus

Učinek uporabe IKT pri predmetu Plavanje 2 na IKT-kompetence študentov in njihovo poučevanje

Izvleček

Informacijsko-komunikacijska tehnologija (IKT) se pri poučevanju uporablja vse pogostejše. Z raziskavo smo želeli ugotoviti, ali lahko s sistematično uporabo IKT pri poučevanju plavanja pri predmetu Plavanje 2 vplivamo na stališča študentov do uporabe IKT, njihove kompetence za uporabo IKT in mnenje o uporabi IKT pri poučevanju plavanja. V ta namen smo izvedli pedagoški eksperiment na vajah, v katerem je sodelovalo 51 študentov. Razdelili smo jih v dve skupini, eksperimentalno in kontrolno. Vaje so bile organizirane v obliki vrstniškega poučevanja, tj. učnih nastopov. Študenti eksperimentalne skupine so pri tem lahko uporabljali IKT, študenti v kontrolni skupini pa ne. Učinke uporabe IKT smo ugotavljali na podlagi anketnega vprašalnika, ki so ga študenti izpolnili dvakrat, pred programom in po njem. Na podlagi rezultatov pedagoškega eksperimenta lahko zaključimo, da je sistematična uporaba IKT pri vajah predmeta imela pomemben pozitiven učinek na stališča študentov do uporabe IKT, njihove kompetence za uporabo IKT in mnenje o uporabi IKT pri poučevanju plavanja. Študenti so z uporabo tega pristopa tehnologijo dobro spoznali, se jo naučili uporabljati in jo znali smiselno uvrstiti v poučevanje.

Ključne besede: informacije, tehnologija, plavanje, poučevanje

Uvod

Uporaba informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT), med katero v ožjem smislu štejemo uporabo namiznih in prenosnih računalnikov, tablic in pametnih telefonov ter drugih digitalnih naprav (npr. kamer, različnih merilnikov ...), v širšem pa uporabo vseh vrst računalniških programov, aplikacij in družbenih omrežij, postaja vse bolj aktualna tudi pri večini tematskih sklopov pouka športne vzgoje v osnovni in srednji šoli. Z vidika oplavljanja sodi plavanje med pomembnejše tematske sklope.

V korak s časom in prilagajanjem aktualni praksi želimo iti tudi na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za šport. Uporabo IKT namreč po-

The impact of ICT use in the Swimming 2 course on students' ICT competencies and their teaching

Abstract

The use of information and communication technology (ICT) is becoming increasingly important in teaching. The aim of the study was to determine the impact of the use of ICT in Swimming 2 course on students' self-assessment of ICT competencies and on students' understanding and attitudes towards the use of ICT in teaching. The study was conducted in the form of a pedagogical experiment in which 51 students participated. We divided them into an experimental and a control group. The practical exercises in Swimming 2 course were organized in the form of peer teaching, i.e. teaching performances. The students in the experimental group were able to use ICT, while the students in the control group were not. The effects of the use of ICT were determined by a questionnaire that the students completed twice, before and after the program. From the results of the pedagogical experiment, we can conclude that the systematic use of ICT in subject exercises has a significant effect on students' ICT competencies of students. Through the use in peer teaching swimming, students become well acquainted with ICT, learn to use it and know how to usefully incorporate it in teaching.

Key words: information, technologies, swimming, students

stopno vpeljujemo pri predmetih, kjer študenti dobijo teoretična in praktična znanja za organizacijo in varno vodenje programov začetnega in nadaljevalnega učenja plavanja. Za tako implementacijo je najprimernejši predmet Plavanje 2 na magistrski stopnji študijskega programa Športna vzgoja. Pri tem predmetu so vaje organizirane v obliki vrstniškega poučevanja, tj. učnih nastopov, pri katerih študenti postopno pridobivajo kompetence za poučevanje plavanja. Pojem kompetenc oziroma kompetentnosti je sicer večplasten in ima več vsebinskih pomenov (Tul, 2016). Kot izjemno kompleksen konstrukt je bil in je še predmet proučevanja različnih disciplin. Vsaka je namreč s svojega zornega kota oblikovala

svojo opredelitev, zato je za ta izraz možnih več različnih razlag (Cvetek, 2004; Svetlik, 2006; Štefanc, 2006). Za predmet in problem raziskave smo izbrali opredelitev, ki označuje kompetence kot skupen znanja, izkušnje in presojo, pri čemer je znanje nujna osnova za kompetence, izkušnje vplivajo na način ravnanja z znanjem, presoja pa je pogoj za neodvisno uporabo znanja (Weinert, 2001). Za opredelitev kompetenc za delo na področju izobraževanja je značilna delitev na splošne in specifične kompetence (Key Competences, 2002). Pri tem se slednje po metodologiji Tuning nanašajo na poučevanje posameznih predmetno specifičnih vsebin (González in Wagenaar, 2003). Specifična kompetenca je lahko torej učinkovita uporaba znanja v praktični situaciji – torej, če učitelj pozna teorijo, še ni rečeno, da je kompetenten, če tega ne zna praktično udeležiti (Kovač, Starc, Strel, Jurak, 2005). Med specifične kompetence za poučevanje gibanja spada tudi uporaba IKT.

Glede na navedena izhodišča smo v raziskavi želeli ugotoviti, ali lahko s sistematično uporabo IKT pri poučevanju plavanja pri predmetu Plavanje 2 vplivamo na stališča študentov do uporabe IKT, njihove kompetence za uporabo IKT in njihovo mnenje o uporabi IKT pri poučevanju plavanja.

Metode

Preiskovanci

Raziskavo smo izvedli v obliki pedagoškega eksperimenta, v katerem je sodelovalo 51 študentov magistrske stopnje programa Športna vzgoja Fakultete za šport, Univerze v Ljubljani (22 žensk in 29 moških; starost 23 let $\pm$ 1 leto). Vsi so že opravili predmet Plavanje 1 z osnovami reševanja iz vode in pridobili osnovno usposobljenost za delo na področju plavanja, torej naziv vaditelj plavanja. Nekateri študenti so si že pred začetkom obiskovanja predmeta Plavanje 2 v različnih šolah v naravi in na tečajih učenja plavanja otrok pridobili osnovne izkušnje za poučevanje plavanja.

Pred začetkom programa smo študente razdelili v eksperimentalno (28 študentov) in kontrolno (23 študentov) skupino. V vsaki od teh skupin smo jih razdelili v več manjših skupin po največ šest študentov. V teh skupinah smo za vsako uro vaj določili študenta v vlogi plavalnega učitelja in učenca v procesu učenja plavanja. Študent, ki je bil izbran za vlogo plavalnega učitelja, se je na uro, torej svoj učni nastop, ustrezno pripravil tako, da je napisal učno pripravo in nastop tudi izvedel. Preostali študenti v skupini so na uri sodelovali kot učenci, ki se učijo plavati. V to vlogo se jim ni bilo težko vživeti, saj je bilo praktično plavalno znanje, ki se jim je posredovalo (učenje plavalnih tehnik na nadaljevalni ravni, podvodnih obratov in šolskih štartnih skokov), veliki večini popolnoma novo ali vsaj gibalno še neosvojeno. V času programa je bil vsak študent vsaj štirikrat izbran za vlogo plavalnega učitelja, pri čemer se je njegova samostojnost pri pripravi in izvedbi učnega nastopa postopno povečevala.

Študenti plavalni učitelji v eksperimentalni skupini so pri pripravi in izvedbi učnega nastopa lahko uporabljali vse oblike IKT. Najpogostejše so bili to tablični računalniki in pametni telefoni, s katerimi so si ogledali in študentom učencem pokazali posnetke s spletnih strani Začetno učenje plavanja in Nadaljevalno učenje plavanja (Kapus, Šajber, Štirn, 2013). Na teh je namreč z več kot 600 posnetki predstavljenih 481 vaj metodičnih postopkov učenja plavanja.

Študenti plavalni učitelji v kontrolni skupini so se na uro lahko pripravili le z uporabo pisnih virov, najpogostejše s knjigo Plavanje, Učenje Venceslava Kapusa in sodelavcev (2002). Pri izvedbi ure so se lahko zanašali le na lastno razlago in demonstracijo gibanj.

Program so v skladu s pedagoškim eksperimentom uspešno izvedli.

Pripomočki

Ocene o IKT-kompetencah študentov in njihova mnenja o uporabi IKT pri poučevanju plavanja smo pridobili z anketnim vprašalnikom (Majerič in Kapus, 2018). V anketiranje pred izvedbo programa in po njej so bili vključeni vsi študenti.

Za raziskavo smo uporabili naslednje spremenljivke:

- Samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o uporabi IKT. Odgovoriti je bilo mogoče z oceno na petstopenjski lestvici od 1 (nikoli) do 5 (zelo pogosto).
- Samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o kompetencah o uporabi IKT. Odgovoriti je bilo mogoče z oceno na petstopenjski lestvici od 1 (se ne strinjam) do 5 (se strinjam).
- Samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o uporabi IKT pri poučevanju plavanja. Odgovoriti je bilo mogoče z oceno na petstopenjski lestvici od 1 (se ne strinjam) do 5 (se strinjam).

Analiza podatkov

Ker je bila večina podatkov ordinarnega tipa, smo učinek programa ugotavljali s Friedmanovim testom, pri čemer smo za naknadne primerjave uporabili Wilcoxonov test predznačenih rangov.

Za ugotavljanje razlik med skupinama po programu smo uporabili Mann-Whitneyjev test in Wilcoxonov test vsote rangov. Statistično značilna razlika je bila potrjena na ravni pet odstotnega statističnega tveganja ($p \leq 0,05$). Za statistično obdelavo podatkov smo uporabili statistični paket IBM SPSS Statistics ver. 20.0 (IBM Co., Armonk, NY, ZDA).

Rezultati in razprava

Preglednica 1 prikazuje samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o uporabi IKT. Ugotovili smo, da so študenti v eksperimentalni skupini, v primerjavi s študenti v kontrolni skupini, ob koncu programa statistično značilno višje ocenili naslednje trditve: »IKT sem do sedaj uporabil za iskanje informacij po spletu z iskalniki« ($p < 0,01$); »IKT sem do sedaj uporabil za ogled videoposnetkov« ($p < 0,01$); »IKT sem do sedaj uporabil za uporabo kamere« ($p < 0,01$). S tega vidika lahko trdimo, da so študenti v eksperimentalni skupini ob koncu programa IKT pogostejše uporabljali za iskanje informacij po spletu z iskalniki, pa tudi za ogled videoposnetkov; pogostejše so uporabljali tudi kamero ($p < 0,01$). To je bilo pričakovano (eksperimentalna skupina je pri poučevanju plavanja uporabljala IKT, kontrolna skupina pa ne) in kaže na to, da so študenti upoštevali predpisana navodila. To potrjuje, da je eksperiment potekal nadzorovano.

Preglednica 2 prikazuje samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o kompetencah o uporabi IKT. Ugotovili smo, da so študenti v eksperimentalni skupini, v primerjavi s študenti

Preglednica 1

Samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o uporabi IKT (vrednosti ocen so podane v medianah s kvartilnimi razmiki v oklepajih)

Trditve	Skupina	Pred programom	Po programu	Učinek programa	Razlika med skupinama po programu
IKT sem do sedaj uporabil za iskanje informacij po spletu z iskalniki.	ES	3 (2-3)	4 (3-5)	**	\$\$
	KS	3 (2-4)	2 (1-3)		
IKT sem do sedaj uporabil za družbena omrežja za sledenje posameznikov	ES	1 (1-2)	2 (1-2)		
	KS	2 (1-3)	1 (1-2)		
IKT sem do sedaj uporabil za ogled video posnetkov	ES	3 (2-4)	5 (4-5)	**	\$\$
	KS	3 (2-4)	2 (1-3)	*	
IKT sem do sedaj uporabil za uporabo kamere	ES	3 (2-4)	4 (4-5)	**	\$\$
	KS	2 (2-3)	1 (1-3)	*	

Opomba. ES – eksperimentalna skupina, KS – kontrolna skupina; lestvica od 1 (nikoli) do 5 (zelo pogosto); * – statistično pomemben učinek programa (Wilcoxonov test; $p < 0,05$), ** – statistično pomemben učinek programa (Wilcoxonov test; $p < 0,01$), \$\$ – statistično pomembna razlika med skupinama po programu (ANOVA; $p < 0,01$).

v kontrolni skupini, ob koncu programa statistično značilno ($p < 0,01$) višje ocenili skoraj vse trditve, razen trditve »Znam uporabljati videokamero za snemanje plavalnih tehnik«, kjer je bila statistična značilnost nekoliko nižja ($p < 0,05$). S tega vidika lahko sklepamo, da so študenti v eksperimentalni skupini, v primerjavi s študenti v kontrolni skupini, po koncu programa statistično značilno bolje poznali prednosti uporabe IKT pri učenju in poučevanju plavanja; bolje so znali uporabljati videokamero za snemanje plavalnih tehnik; prav tako so bolje znali organizirati poučevanje tako, da so vanj na primeren način vključili kamero in analizo posnetkov; in bolje so znali posredovati povratno informacijo o praktičnem znanju plavanja z analizo videoposnetkov. Pri tem so tudi bolje poznali razpoložljivo izobraževalno IKT, ki bi jo lahko uporabljali za poučevanje plavanja; na uri, ki so jo vodili (npr. ko so učili druge), pa so bolj smiselno znali vključevati IKT. To pomeni, da je program, s katerim smo študente v eksperimentalni skupini sistematično učili uporabljati IKT in jih spodbujali k njeni uporabi, imel pomemben

pozitiven učinek. Študenti so pri tem dobro spoznali uporabo IKT pri učenju in poučevanju plavanja. S tem pa so pridobili tudi IKT-kompetence.

Preglednica 3 prikazuje samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o uporabi IKT pri učenju plavanja. Ugotovili smo, da so bile razlike v samoocenah med študenti v eksperimentalni skupini in študenti v kontrolni skupini statistično značilne pri naslednjih trditvah: »Uporaba IKT omogoča boljše upoštevanje individualnih razlik med študenti« ($p < 0,01$); »Uporaba IKT je primerna za preverjanje znanja« ($p < 0,01$); »Uporaba IKT je primerna za ocenjevanje znanja« ($p < 0,01$); »Uporaba IKT je primerna za ocenjevanje znanja« ($p < 0,01$). Nekoliko manjše pa so bile razlike pri naslednjih spremenljivkah: »Vključevanje IKT v pedagoški proces pri učenju plavanja izboljša njegovo učinkovitost« ($p < 0,05$); »Uporaba IKT pri plavanju popestri pedagoški proces« ($p < 0,05$); »Uporaba IKT omogoči, da na učni uri lažje sledim vsebini« ($p < 0,05$); »Uporaba IKT je primerna za posredovanje novih učnih vsebin« (p

Preglednica 2

Samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o kompetencah o uporabi IKT (vrednosti ocen so podane v medianah s kvartilnimi razmiki v oklepajih)

Trditve	Skupina	Pred programom	Po programu	Učinek programa	Razlika med skupinama po programu
Poznam trenutno razpoložljivo izobraževalno IKT, ki bi jo lahko uporabljal za poučevanje plavanja.	ES	5 (3-5)	5 (4-5)	*	\$\$
	KS	3 (3-5)	4 (3-4)		
Poznam prednosti uporabe IKT pri učenju in poučevanju plavanja.	ES	4 (3-5)	5 (4-5)	**	\$\$
	KS	3 (3-4)	4 (3-4)	*	
Znam uporabljati videokamero za snemanje plavalnih tehnik.	ES	4 (3-5)	5 (4-5)	**	\$
	KS	4 (3-4)	4 (3-5)		
Znam organizirati poučevanje tako, da vanj na primeren način vključim kamero in analizo posnetkov.	ES	3 (2-3)	4 (4-5)	**	\$\$
	KS	3 (2-4)	3 (3-4)	*	
Znam posredovati povratno informacijo o praktičnem znanju plavanja z analizo videoposnetkov.	ES	3 (3-4)	4 (4-5)	**	\$\$
	KS	3 (2-4)	4 (3-4)	*	
Na uri, ki jo vodim (npr. ko učim druge), znam smiselno vključevati IKT.	ES	3 (2-3)	4 (4-5)	**	\$\$
	KS	3 (2-4)	3 (2-4)		

Opomba. ES – eksperimentalna skupina, KS – kontrolna skupina; lestvica od 1 (se ne strinjam) do 5 (se strinjam); * – statistično pomemben učinek programa (Wilcoxonov test; $p < 0,05$), ** – statistično pomemben učinek programa (Wilcoxonov test; $p < 0,01$), \$ – statistično pomembna razlika med skupinama po programu (ANOVA; $p < 0,05$), \$\$ – statistično pomembna razlika med skupinama po programu (ANOVA; $p < 0,01$).

Preglednica 3

Samoocene študentov pred izvedbo programa in po njej o uporabi IKT pri učenju plavanja (vrednosti ocen so podane v medianah s kvartilnimi razmiki v oklepajih)

Trditve	Skupina	Pred programom	Po programu	Učinek programa	Razlika med skupinama po programu
IKT uvaja inovativne učne pristope za učenje plavanja.	ES	4 (4-5)	5 (4-5)		
	KS	5 (4-5)	5 (4-5)		
Vključevanje IKT v pedagoški proces pri učenju plavanja izboljša njegovo učinkovitost.	ES	5 (4-5)	5 (4-5)	*	\$
	KS	5 (4-5)	4 (4-5)		
Uporaba IKT pri plavanju popestri pedagoški proces.	ES	5 (4-5)	5 (5-5)		\$
	KS	5 (4-5)	4 (4-5)		
Uporaba IKT omogoči, da na učni uri lažje sledim vsebini.	ES	4 (4-5)	4 (4-5)		\$
	KS	4 (3-5)	4 (3-4)	*	
Zaradi uporabe IKT na uri so prisotni manj pozorni na razlago vsebine.	ES	2 (2-3)	2 (1-3)		
	KS	3 (2-3)	3 (2-4)		
Uporaba IKT omogoča boljše upoštevanje individualnih razlik med študenti.	ES	4 (3-4)	4 (4-5)	*	\$\$
	KS	4 (3-4)	4 (3-4)		
IKT se lahko uporabi za obravnavo vsake učne vsebine.	ES	4 (3-4)	4 (3-5)		
	KS	3 (3-4)	3 (3-5)		
Uporaba IKT je primerna za predstavitve teoretične vsebine.	ES	4 (3-5)	4 (4-4)		
	KS	4 (2-4)	3 (3-4)		
Uporaba IKT je primerna za predstavitve praktične vsebine.	ES	5 (4-5)	5 (4-5)		
	KS	5 (4-5)	5 (4-5)		
Uporaba IKT je primerna za posredovanje novih učnih vsebin.	ES	5 (4-5)	5 (5-5)	*	\$
	KS	5 (4-5)	5 (4-5)		
Uporaba IKT je primerna za ugotavljanje predznaja iz posameznega vsebinskega sklopa.	ES	4 (4-5)	5 (4-5)		\$
	KS	4 (3-5)	4 (3-5)		
Uporaba IKT je primerna za utrjevanje učnih vsebin.	ES	4 (3-5)	4 (3-5)		
	KS	4 (4-5)	4 (3-4)	*	
Uporaba IKT je primerna za preverjanje znanja.	ES	4 (3-5)	5 (4-5)	*	\$\$
	KS	4 (3-4)	3 (2-4)		
Uporaba IKT je primerna za ocenjevanje znanja.	ES	4 (3-5)	5 (4-5)	**	\$\$
	KS	3 (3-4)	4 (3-5)		
Uporaba IKT je primerna za pripravo na učne ure (pisanje učne priprave).	ES	5 (4-5)	5 (5-5)		
	KS	4 (3-5)	5 (4-5)		
Uporaba IKT je primerna za motiviranje za učenje novih učnih vsebin.	ES	5 (4-5)	5 (4-5)		
	KS	5 (4-5)	4 (3-5)		
Uporaba IKT je brez veze.	ES	1 (1-1)	1 (1-1)		
	KS	1 (1-1)	1 (1-1)		

Opomba. ES – eksperimentalna skupina, KS – kontrolna skupina; lestvica od 1 (se ne strinjam) do 5 (se strinjam); * – statistično pomemben učinek programa (Wilcoxonov test; $p < 0,05$), ** – statistično pomemben učinek programa (Wilcoxonov test; $p < 0,01$), \$ – statistično pomembna razlika med skupinama po programu (ANOVA; $p < 0,05$), \$\$ – statistično pomembna razlika med skupinama po programu (ANOVA; $p < 0,01$).

$< 0,05$) in »Uporaba IKT je primerna za ugotavljanje predznaja iz posameznega vsebinskega sklopa« ($p < 0,05$).

Na podlagi tega lahko sklepamo, da so se stališča do uporabe IKT pri poučevanju plavanja pri študentih iz eksperimentalne skupine med programom spremenila. Zaradi pozitivnih izkušenj z uporabo IKT pri poučevanju plavanja (tako v vlogi učitelja kot tudi učenca) so bile njihove ocene pri končnem anketiranju pomembno višje.

Nasprotno pa študenti iz kontrolne skupine pozitivnih izkušenj niso dobili, zato se njihova stališča niso spremenila. Iz tega lahko sklepamo, da pridobivanje novih znanj in kompetenc vpliva na spremembo stališč. Z drugimi besedami, učitelj, ki bo pri poučevanju uporabljal IKT, bo pri tem pridobival nove izkušnje in znanja. Pri sebi bo videl smiselnost uporabe, zato bo k uporabi IKT spodbujal tudi svoje učence.



Vojko Vučković,
Rok Zajc

Pomen uporabe informacijskih tehnologij v športu v obdobju krize COVID-19

The importance of information technology in times of COVID-19 crisis in sport

Izvleček

V zadnjih letih se vse več športnih vsebin seli na splet. Tudi interakcije športnih klubov in športnikov z gledalci je vse več na spletu, posebno na družbenih omrežjih. Uporaba digitalnih orodij je postala ključna tudi v podjetništvu v športu, kjer se podjetja borijo za pozornost uporabnikov. Koronazaprte (»lockdown«) zaradi COVID-19 je ta proces še pospešilo. Kar nekaj slovenskih športnih podjetij se je hitro prilagodilo razmeram ter jih obrnilo sebi v prid. Predstavili smo nekaj prilagoditev športnih klubov ter tudi podjetij, ki se ukvarjajo s prodajo športnih izdelkov in storitev preko spleta ter opomnili na pomankanje tehničnega in strokovnega znanja na področju trženja v športu in digitalizacije.

Ključne besede: oglaševanje v športu, slika, video, vsebina oglasa

Abstract

In recent years, more and more sports content is moving online. Interactions of sports clubs and athletes with spectators are also moving online, especially on social networks. The use of digital tools has also become crucial in entrepreneurship in sports, where companies are fighting for users' attention. Lockdown due to COVID-19 has further accelerated this process. Quite a few Slovenian sports companies quickly adapted to the situation and turned it to their advantage. We presented some adaptations of sports clubs as well as companies engaged in the sale of sports products and services online and pointed out the lack of technical and professional knowledge in the field of sports marketing and digitalization.

Keywords: advertising in sport, photo, video, content

Digitalizacija in šport

Šport se že veliko let podaja na pot digitalizacije, obdobje COVID-19 je vse to le še pospešilo ter sprožilo hiter prenos vsebin na različne alternativne medije. Družbeni mediji so revolucionarno spremenili sledenje in gledanje športa ter popestrili vsebino športnim organizacijam. Prav tako so omogočili dvostransko komunikacijo športnikov ali športnih klubov z gledalci oziroma uporabniki platform.

Šport lahko zdaj spremljamo povsod, tudi po telefonu. Na primer kar dve tretjini občinstva televizijske mreže ESPN vsebine spremlja izključno na mobilnih napravah. Leta 2010 je bilo le približno 18 % poizvedb o velikih športnih dogodkih izvedenih prek pametnih telefonov, v zadnjih letih naj bi to število že močno preseglo 90 % in zdi se, da se bo trend nadaljeval (Weston, 2018).

Razvoj informacijskih tehnologij je torej spremenil vedenje ljudi in spremljanje športa. Zdaj lahko uporabniki komentirajo športne dogodke in jih analizirajo na mobilnih napravah, in to kjerkoli in kadarkoli. Med čakanjem na rdečo luč ali pa med odmorom za ko-

silo si želijo kratkih povzetkov na uporabniku prijaznih aplikacijah, ki jim najnovejšo statistiko ali druge podatke sporočijo v le nekaj sekundah. Komunikacija med navijači in športniki, predstavniki klubov ali drugimi navijači je dvosmerna in zelo hitra.

Raziskovalci se strinjajo, da preučevanje vključenosti sledilcev na novjših kanalih komunikacije, kot so družbena omrežja, postaja vse pomembnejše za športnike (Kunkel in Biscaia, 2020). Številne študije so pokazale, da družbena omrežja postajajo najpomembnejše orodje za grajenje blagovne znamke, ki so na voljo športnikom (Abeza, O'Reilly in Reid, 2013; Abeza, O'Reilly in Seguin, 2017; Filo, Lock in Karg, 2015) in športnim centrom (Kolbeck, 2018). Športniki uporabljajo družbena omrežja kot komunikacijski kanal za grajenje svoje ali sponzorjeve blagovne znamke (Geurin in Burch, 2017; Kunkel in Biscaia, 2020) in za grajenje odnosov s potrošniki (Abeza, O'Reilly in Reid, 2013; Geurin in Burch, 2017).

S tem, ko gledalci zahtevajo vse več in več vsebine na različnih platformah, pa se izraža tudi hitra prilagoditev dela v kolektivih lastnikov pravic, saj so potrebne velike spremembe na področju

trženja in integracije sponzorstev. Spremljanje športa se individualizira, kar je priložnost za D2C (direct-to-customer) OTT-platforme, ki so v času COVID-19 naredile velik korak naprej in omogočale gledalcem brezplačne vsebine prav zaradi želje po ohranjanju spremljanja športa na takšen način po koronskem času.

■ Vpliv krize zaradi COVID-19 na digitalizacijo športa

Marca 2020 so se športni dogodki praktično ustavili, saj so bile številne lige in druga tekmovanja po vsem svetu odpovedani zaradi pandemije COVID-19. Izguba zaradi izpada športnih dogodkov se v svetovnem merilu ocenjuje na 62 milijard ameriških dolarjev (53,9 milijarde evrov), kar pomeni 46 % pričakovanih prihodkov športne industrije v letu 2020 (Marketing Magazin, 2021). V času popolnega zaprtja, t. i. lockdowna, so športne organizacije, ekipe in športniki uporabljali družbena omrežja za to, da ostanejo povezani s svojimi navijači oziroma kupci (Mastromartino in sod., 2020; Sharpe in sod., 2020). Ker ni bilo športnih vsebin, so bili prisiljeni razviti inovativne metode za zadržanje kupcev oziroma navijačev.

Vnovično ovrednotenje učinkov ter optimizacija sponzorskih strategij glede na cilje blagovne znamke sta nujna, saj so se platforme za oglaševanje in znamčenje (branding) v času COVID-19 spremenile in omogočajo veliko več kot samo transparent in logotip sponzorja na športnih dogodkih.

Nove razmere zahtevajo kreativne rešitve in iskanje novih komunikacijskih kanalov, saj se tudi ob vračanju gledalcev na športne dogodke zanimanje za dodatne vsebine večja ter gledalca ohranja pred zaslonom, ta pa je iz dneva v dan manjši, a bolj interaktiven.

Zdi se, da so bile kljub težkim razmeram nekatere organizacije uspešne pri ohranjanju potrošnikov. Študija Mediacoma (2020) namreč kaže, da je bilo povpraševanje po medijskih vsebinah, povezanih s športom, vseskozi visoko in da so potrošniki na družbenih omrežjih preživeli dlje časa kot kdaj prej.

Raziskave iz prvega obdobja epidemije covida-19 nazorno kažejo na dobre primere prilagoditev–uporaba medijskih vsebin, ki nastajajo na spletnih portalih ter digitalnih medijih je v času COVID-19 obdobja zrasla za več kot 20%, največ ravno na družbenih omrežjih, ki so postala glavna komunikacija športnih klubov z navijači in končnimi uporabniki. Odziv največjih lastnikov pravic je bil bliskovito hitro prilagojen na novo realnost, saj je ustavitev športnih dogodkov pomenilo propad večjih sponzorskih pogodb in če so so športni subjekti zaspali, je to pomenilo velik upad finančnih sredstev. Najuspešnejše svetovne prilagoditve so bile NFL Virtual Draft, pritegnil je 35 % več gledalcev kot v prejšnjem letu, NFL #GoingPro challenge je na TikTok zabeležil 580 milijonov ogledov večinoma mlajših podpornikov, izjemno odmevna sta bila virtualna Formula 1 in ePremier League (Marketing Magazin, 2021). Šport se seli v virtualni svet, saj ciljna skupina želi veliko več in predvsem kratke in jedrnate vsebine, ki so težko dosegljive skozi tradicionalne medije, s tem pa šport dela velike korake nasproti interakciji mlajše ciljne skupine kar se odraža v gaming industriji ter pretočnih vsebinah.

Dolgoročno lahko pričakujemo, da se bodo trendi spremljanja športa prek različnih digitalnih platform krepili, kar bo prisililo lastnike pravic v prilagoditev in profesionalizem na ravni sponzorstev ter vsebinskega marketinga.

■ Nekaj primerov slovenskih podjetij, ki so se uspešno prilagodila z novimi informacijskimi tehnologijami

NK Mura je eden izmed klubov, ki so se zaradi prepovedi prodaje vstopnic znašli v finančnih težavah. Vendar uporaba novih informacijskih tehnologij ponuja številne priložnosti. Nogometni klub Mura je prodajal digitalne vstopnice v času, ko zaradi koronavirusa ni bilo mogoče imeti gledalcev na tekmah in so zaradi tega imeli izpad prihodkov. Ponudili so virtualne vstopnice v črno-belih gostilnah. Za tekmo proti Sežani so prodali 10.000 vstopnic po pet evrov, kar jim je pomagalo prebroditi finančno krizo.

RK Celje Pivovarna Laško je še en primer, kjer so zaradi pravil COVID-19 morali biti inovativni pri pridobivanju sponzorstev ter reševanju želja sponzorjev. Skupaj s podjetjem Mastercard so kot cilj sponzorstva določili povečanje števila transakcij na športnih prireditvah kluba, seveda brez stika. Pri RK Celje so pripravili inovativen predlog, kako bi z digitalno kampanjo na Instagramu in Facebooku ozaveščali ljudi o brezgotovinskem plačevanju v dvorani. Prvi kazalnik uspešnosti (KPI) je bil doseg (*reach*) na Instagramu in Facebooku, drugi KPI je bil konverzija – število transakcij s kartico na tekmah. V prvi fazi so zagotovili brezgotovinsko plačevanje s kartico na tekmah, pozneje pa so kot prvi slovenski klub razvili chatbota (virtualnega asistenta) za naročanje hrane in pijače do sedeža na tribuni med tekmo (osebna komunikacija z Jernejem Smislom, avgust 2021).

Primer športa, ki privlači mlajše gledalce, sta odbojka in njena različica na mivki. Odbojka postaja tudi najbolj spremljan ekipni ženski šport v številnih državah, med drugim v ZDA (NCSA, 2021; ESPN, 2021), ob tem pa se zanj vse bolj zanimajo tudi sponzorji. Zanimanje za odbojko ter odbojko na mivki raste tudi v Sloveniji, posebno med mlajšimi generacijami (osebna komunikacija z Nejcem Zemljakom, avgust 2021). Nov glavni sponzor odbojarske zveze je postala zavarovalnica Generali. Na začetku sodelovanja so zaradi optimizacije delovanja fotografirali celotno ekipo z različnimi rekviziti in si naredili fotomaterial na zalogo. Fotografirali so tudi vsakega posameznika, kar uporabljajo npr. za voščila za rojstni dan na družbenih omrežjih, saj so tovrstne objave dobro sprejete in imajo velik doseg. Potem so v okviru Lige prvakov v Riminiju s pomočjo agencije za športna sponzorstva Spontanzo dali zelo natančne informacije o tem, kakšne materiale naj posnamejo – nastali so štirje tematski videi. Zahtevali so, da je zraven tudi njihov piarovec, kar je relativno novo v slovenskem športu. Pred izbruhom COVID-19 je bila ustaljena praksa, da se je snemalna ekipa dogovorila za kraj in čas snemanja ter posnela materiale. Zdaj pa se zaradi izrednih razmer in izolacije ekipe pričakuje, da se marketinško-piarovska ekipa v okviru odbojarske zveze sama organizira in posname potreben material za sponzorja, ta ga obdeli in objavi. Torej na tekmovanju v tujini pod širšo sestavo ekipe ne spadajo samo maser, fizioterapevt in podobno, ampak tudi piarovec. Ekipe in sponzorji so se prilagodili tako na digitalizacijo kot tudi na nastalo situacijo v povezavi s COVID-19. Sponzor je z reprezentanti odbojke posnel tudi športne vzklake in navijanje, ki jih uporabljajo pri tekmovanjih drugih športnih sponzorirancev (rokometaši, smučarji, jadralci ...). Isti sponzor je leta 2020 začel izvajati še eno inovativno kampanjo. Enega izmed najbolj uporabljenih družbenih medijev, Facebook, so uporabili za oddajo z naslovom Šport 1 na 1 z voditeljem Vidom Kavtičnikom. V tej oddaji se Vid pogovarja z drugimi športniki, npr.

decembra se je s Tinetom Urnautom, junija z Mitjo Gasparinijem. Oddaja v povprečju doseže 20.000–40.000 ogledov (osebna komunikacija z Moniko Povšič, vodja oddelka za tržno komuniciranje in upravljanje s sponzorstvi, september 2021).

Miha Zajc

Nogometni kamp Mihe Zajca je odličen primer, kako v lokalnem okolju s pravilnim digitalnim nastopom povežemo sponzorje in dogodek v uspešno skupno zgodbo. Sponzorske aktivnosti so bile vključene v nagradna tekmovanja, izzive ter dopolnitev programa tako, da so nagovarjale tako mlajšo ciljno skupino kot tudi starše. Navzkrižno objavlanje (*crossposting*) med Nogometnim kampom, sponzorjem in Miho Zajcem je privedlo do odličnih rezultatov, ki so pripeljali do visoke vključenosti ciljne skupine ter dosega objav na družbenih medijih.

Končni rezultati enotedenskega kampa na območju severno-primorske regije so sponzorjem tega kampa omogočili več kot 200.000 prikazov ter več kot 24.000 interakcij na družbenih medijih.

Kriza zaradi COVID-19 ni vplivala le na profesionalni šport. Kot lahko razberemo iz Slike 1, se je število članov vadbenih centrov samo v Evropi zmanjšalo za 15,4 % (54,8 milijona članov), promet vadbenih centrov pa za 32,9 %. Veliko podjetij, ki ponujajo rekreativno vadbo, je šlo v stečaj. Nekatera podjetja so se uspešno prilagodila in našla nove metode komunikacije, pridobivanja in zadrževanja strank z uporabo informacijskih tehnologij. Tudi proračuni za oglaševanje so se prestrukturirali, vadbeni centri so začeli vlagati veliko več denarja v novejša kanale oglaševanja. Nekateri so uvedli vadbo prek spleta ali se lotili kake druge akcije za pridobivanje prihodka.

Toda ko govorimo o rekreativnem sektorju, ne moremo mimo dejstva, da je kriza zaradi COVID-19 pozitivno vplivala na prihodke tistih podjetij, ki so se znašla in uporabila prave prijeme. Na primer slovensko podjetje Kingsbox se je pred marcem 2020 ukvarjalo s prodajo športne opreme podjetjem, kot so nogometni klubi,

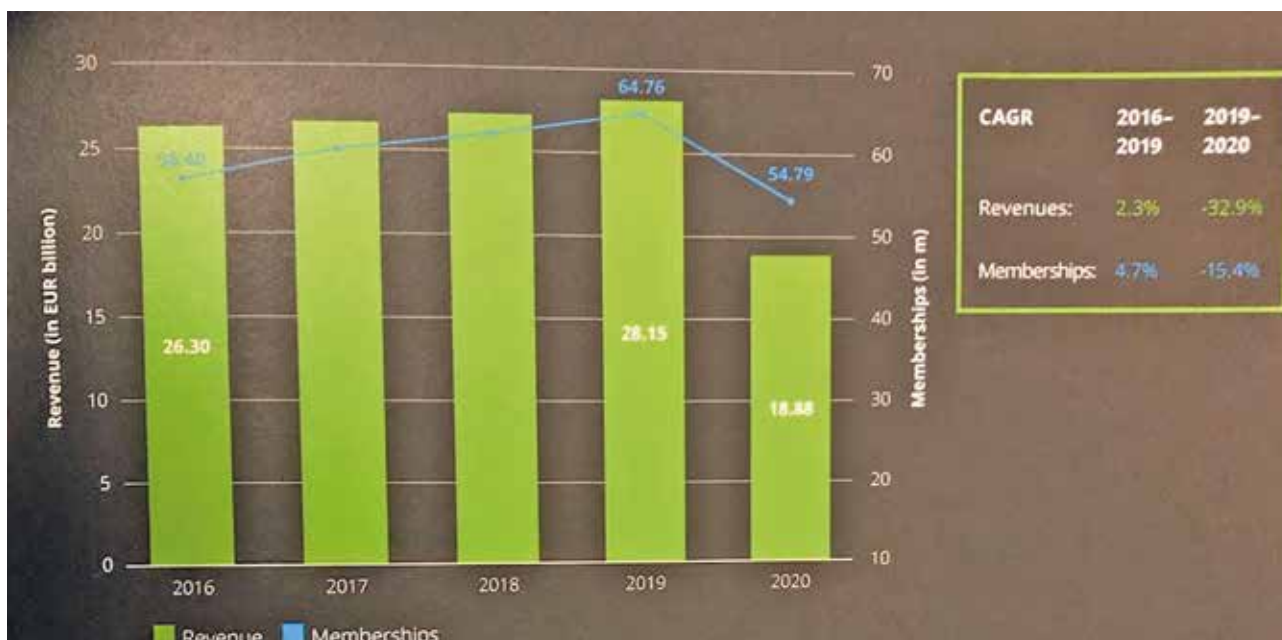
crossfit centri in fitness centri (B2B). V letu 2019 so ustvarili več kot 2,5 milijona evrov prihodkov. Ko se je Evropa začela zapirati, so jim v nekaj dneh vsi naročniki odpovedali naročila. Lastnika sta se znašla v nezavidljivem položaju, imela sta več kot 20 zaposlenih, vendar nobenega naročila, in nista vedela, kako dolgo bo to trajalo. Tako rekoč čez noč sta se odločila za spremembo poslovnega modela in začela prodajati opremo fizičnim osebam. Vendar kako priti do fizičnih oseb po najhitrejši možni poti? Kontaktirali so vplivneže, ki so ostali brez možnosti za trening v športnih centrih, ter jim podarili opremo pod pogojem, da jo vključijo v objave na družbenih omrežjih. Tako so dobili dovolj vsebine (User Generated Content) ter doseg, da so ne samo preživeli leto 2020, ampak več kot podvojili prihodek (pogovor z Luko Železnikom pri vajah iz Osnov managementa v športu na FŠ, maj 2021).

Popolna postava

Med slovenskimi podjetji, ki so s pravim pristopom na digitalnih komunikacijskih kanalih povečala prihodke, je tudi Popolna postava. Po spletu so prodali veliko več programov treninga, jedilnikov ter prehranskih dodatkov kot pred začetkom koronakrize. Od kanalov uporabljajo predvsem družbena omrežja ter trženje po elektronski pošti (pogovor s Miho Geršičem pri vajah iz Osnov managementa v športu na FŠ, maj 2021).

Peach booty plan

Nik, do pred nekaj leti študent Fakultete za šport, je v času, ko se je začelo popolno zaprtje države zaradi COVID-19, delal kot osebni trener. Že takrat, ko so se začeli pojavljati prvi razmisleki o morebitnem »lockdownu«, je vedel, da bo zaprtje osebno trenerstvo verjetno najbolj prizadelo. Takoj, ko so zaprli fitness centre, so se njegova predvidevanja uresničila. Zato sta z dekletom Evo skočila v akcijo in v prvem dnevu karantene že posnela trening za Youtube, ki je doživel nor uspeh. Posnet s telefonom, brez kakršnegakoli urejanja, ima ta video do danes že več kot 28.000 ogledov.



Slika 1. Upad števila članov in prometa vadbenih centrov v Evropi (Rutgers, Hollasch, Ludwig, Gaussellmann, Rump in Papenbrock, 2021)

To je bilo jasno znamenje, da se bosta selila na splet. Za teden dni se je zakopal v Youtube in se naučil osnov urejanja, v vmesnem času pa sta z dekletom že snemala material za njen prvi spletni program: Peach Booty Plan Home Workout 1.0. V nekaj tednih je bil program posnet, urejen in pripravljen za trg. Do danes je bilo prodanih več kot 5000 kopij tega programa, v tem času pa je nastalo tudi že 10 novih in izboljšanih programov. Njuno podjetje je v obdobju od marca 2020 do danes že krepko preseglo milijon evrov prihodkov, svoj čas trenutno namenjata samo še podjetju in ne delata več kot osebna trenerja (pogovor z Nikom Žujo in Evo Peternej pri vajah iz Osnov managementa v športu na FŠ, maj 2021).

■ Zaključek

Vsaka sprememba je priložnost, da se podjetniki naučijo kaj novega. Nov poslovni model, prehod z B2B na B2C, nov produkt, nov način komuniciranja s potrošniki ali nov kanal za prodajo ... Na vsakem izmed navedenih področij smo lahko inovativni. Res je, da je kriza zaradi COVID-19 pomenila velik udarec za svet športa, vendar je hkrati tudi odprla vrata nekaterim novim tehnologijam ter oblikam komuniciranja z gledalci in uporabniki športnih storitev. In tisti, ki bodo prvi usvojili inovativne načine komuniciranja, bodo v prihodnjih letih od tega največ iztržili.

Zadnje obdobje nas je naučilo hitrih sprememb in prilagajanja športa na več kanalov komunikacije ter predvsem razkrilo luknjo v strokovnosti in tehničnem znanju na področju trženja in tudi sponzorstev, ki je v Sloveniji ponekod še vedno na precej nizki ravni. Po eni strani se je veliko športnih podjetij znašlo v finančnih težavah, vendar so tudi takšna, ki so izkoristila situacijo in s spremembo poslovnega modela ali orodja komuniciranja še okrepila prodajo. Od takih primerov se lahko veliko naučimo. Prilagoditi se moramo na nova orodja in hitro ustvarjanje vsebine, saj sta tudi v športu pomembna ustvarjanje kakovostne vsebine in distribucija te vsebine po pravih komunikacijskih kanalih, da jo lahko ciljne skupine spremljajo z velikim čustvenim nabojem.

■ Literatura

1. Abeza, G., O'Reilly, N. in Reid, I. (2013). Relationship Marketing and Social Media in Sport. *International Journal of Sport Communication*, 6(2), 120–142. <https://doi.org/10.1123/IJSC.6.2.120>
2. Abeza, G., O'Reilly, N. in Seguin, B. (2017). Social Media in Relationship Marketing: *The Perspective of Professional Sport Managers in the MLB, NBA, NFL, and NHL*. 7(1), 80–109. <https://doi.org/10.1177/2167479517740343>
3. Abeza, G., Pegoraro, A., Naraine, M. L., Seguin, B. in O'Reilly, N. (2014): Activating a global sport sponsorship with social media: An analysis of TOP sponsors, Twitter, and the 2014 Olympic Games. *International Journal of Sport Management and Marketing*, vol. 15, št. 3–4, str. 184–213.
4. ESPN (2021): Why volleyball – not basketball – is winning the popular vote. Pridobljeno 18. 9. 2021 s https://www.espn.com/espnw/sports/story/_/id/18659764/why-young-athletes-flocking-volleyball-not-basketball-record-numbers
5. Geurin, A. N. in Burch, L. M. (2017). User-generated branding via social media: An examination of six running brands. *Sport Management Review*, 20(3), 273–284. <https://doi.org/10.1016/J.SMR.2016.09.001>
6. Kunkel, T. in Biscaia, R. (2020). *Sport Brands: Brand Relationships and Consumer Behavior*.
7. <https://doi.org/10.32731/SMQ.291.032020.01>
8. Marketing Magazin. (2021). Pridobljeno 1. 10. 2021 s <https://www.marketingmagazin.si/aktualno/sportna-sponzorstva-v-casu-pandemije-po-njej>
9. Mastromartino, B., Ross, W. J., Wear, H. in Naraine, M. L. (2020): Thinking outside the 'box': A discussion of sports fans, teams, and the environment in the context of COVID-19. *Sport in Society*, vol. 23, št. 11, str. 1707–1723.
10. Mediacom (2020): The future of the sports industry. Mediacom: Sports & Entertainment. <https://groupmp15170118135410.blob.core.windows.net/cmscontent/2020/06/The-impact-of-COVID-19-on-sport.pdf>
11. Meenaghan, T., McLoughlin, D. in McCormack, A. (2013): New challenges in sponsorship evaluation actors, new media, and the context of praxis. *Psychology and Marketing*, vol. 30, št. 5, str. 444–460.
12. NCSA (2021): High school sports. Pridobljeno 18. 9. 2021 s <https://www.ncsasports.org/articles-1/high-school-sports>
13. Rutgers, H., Hollasch, K., Ludwig, S., Gausselmann, S., Rump, C. in Papenbrock, J. (2021): EuropeActive European Health & Fitness Market Report 2021.
14. Sharpe, S., Mountfield, C. in Filo, K. (2020): The social media response from athletes and sport organizations to COVID-19: An altruistic tone. *International Journal of Sport Communication*, vol. 13, št. 3, str. 474–483.
15. Weston J. (2018): How digital is transforming sports sponsorship. WARC: An Ascential Company. <https://www.warc.com/newsandopinion/opinion/how-digital-is-transforming-sports-sponsorship/2700>

Vojko Vučković, prof. šp. vzg., mag. posl. ved
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
vuckovicvojko@gmail.com

