

Validnost in uporabnost sodobnih tehnologij za neinvazivno določanje ter napovedovanje fizioloških pragov na testu maksimalne aerobne vzdržljivosti pri vrhunskih športnikih

Predlog raziskovalnega projekta je bil sestavljen iz dveh delov, ki nam bodo pomagali odgovoriti na naslednja znanstveno-strokovna vprašanja:

1. Ali lahko s pomočjo kontraktilnih lastnosti mišic, maksimalne moči spodnjih okončin, in kinetike okrevanja O₂Hb, HHb, TSI po ishemičnem dražljaju napovedujemo rezultate, dosežene na testu maksimalne aerobne vzdržljivosti?
2. Ali so parametri pridobljeni s pomočjo NIRS-a (O₂Hb, HHb, TSI) dovolj zanesljivi za določanje fizioloških pragov med testom maksimalne aerobne vzdržljivosti vrhunskih športnikov?
3. Ali se zanesljivost parametrov O₂Hb, HHb, TSI pri določanju trenažnih pragov razlikuje glede na spol in stanje treniranosti?

Kako bi ustrezno odgovorili na zastavljena vprašanja ter uresničili cilje projekta smo:

- v prvi fazi opravili testne meritve in preverjali ustreznost vseh protokolov;
- v drugi fazi projekta smo zaprosili Komisijo za etična vprašanja na področju športa na Fakulteti za šport za etično presojo raziskave;
- v tretji fazi projekta smo začeli z rekrutacijo preiskovancev (Slika 1. Vabilo za sodelovanje v raziskavi) in meritvami;



UNIVERZA
V LJUBLJANI

VABILO K SODELOVANJU V RAZISKAVI



Fundacija za šport

Validnost in uporabnost sodobnih tehnologij za neinvazivno določanje ter napovedovanje fizioloških pragov na testu maksimalne aerobne vzdržljivosti pri vrhunskih športnikih

POGOJI:

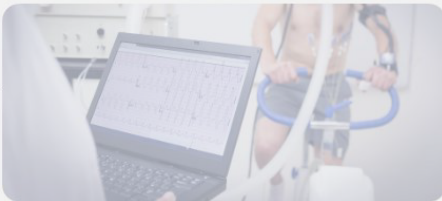
- Starost 20-35 let
- Rekreativni trening kolesarstva
- >2/3x na teden aerobnega treninga

PROTOKOL:

- merjenje telesne sestave
- spirometrija
- Tenziomiografija
- Tenziometrija
- Obremenitveni test na kolesu*

*med obremenitvenim testom merjenje ventilatornih spremenljivk (VO_{2max}), ventilatorni pragovi, srčnega utripa in oksigenacije mišic)

Vse meritve so neinvazivne in ne predstavljajo tveganja ali bistvene dodatne obremenitve za posameznika. Vse meritve so del osnovne baterije testov, ki jih izvajajo športniki različnih panog na UL FŠ.




KAJ DOBIM:

- Analiza maksimalnega privzema kisika (VO_{2max})
- Izračun trenažnih con in ventilatornih pragov
- Razmerje hitrih/počasnih mišičnih vlaken
- Analiza eksplozivne moči
- Svetovanje glede trenažnega procesa in strukturiranja treningov glede na rezultate obremenitvenega testiranja

SODELOVANJE:

- armin.paravlic@fsp.uni-lj.si
- simon.iskra@fsp.uni-lj.si
- Telefon : +386 70 439 447

Slika 1. Vabilo za sodelovanje v raziskavi, za del rekreativnih športnikov

Metode dela:

Vzorčili smo polnoletne športnike obeh spolov iz različnih športnih panog, ki so bili prepoznani kot športniki olimpijskega, nacionalnega in/ali perspektivnega razreda. Poleg tega, da bi primerjali validnost NIRS-a pri bolj in manj treniranih športnikih, smo v raziskavo povabili tudi rekreativne športnike. Vsi športniki so testirani v laboratorijih Inštituta za šport (Fakulteta za šport Univerze v Ljubljani). Prikaz merjenja športnikov je predstavljen na Sliki 2.

Časovni načrt raziskovalnega protokola je na voljo spodaj:

- Prihod v laboratorij med 8. in 9. uro dopoldan
- Razlaga protokola raziskave (3 min);
- Meritve osnovne antropometrije (telesna višina, telesna masa) in telesna sestava (3-8 min);
- Počitek leže na terapevtski mizi 10 min (8-18 min);
- TMG meritve mišic stegna I (TMG- vastus lateralis [VL], rectus femoris [RF]) dominantne noge (18-25min);
- Merjenje oksidativne kapacitete mišic VL in RF s pomočjo NIRS-a (25-45 min)
- Standardiziran postopek ogrevanja (45-55 min);
- Merjenje maksimalne moči spodnjih okončin s pomočjo skoka z nasprotnim gibanjem (55-60min)
- Merjenje aerobne vzdržljivosti in RCP, VT2 bomo izvedli z uporabo večstopenjskega testa na kolesu in indirektnega merjenja izmenjave plinov (Quark CPET, Cosmed, Italija). Skozi celoten potek protokola smo merili srčni utrip, minutni volumen srca ter oksigenacijo agonističnih mišic oz. VL in RF (60-90 min).



Slika 2. Prikaz merjenja športnikov



S pomočjo sofinanciranja [Fundacije za šport](#) smo lahko v celoti realizirali naše osnovne raziskovalne cilje. Ugotovili smo, da ima NIRS metodologija velik potencial za določanje trenajnih pragov posameznikov. Poleg tega smo ugotovili, da lahko s pomočjo demografskih značilnosti posameznika, TSI ter meritev eksplozivne moči in kontraktilnih lastnosti mišice vastus lateralis pojasnimo 60 % variance doseženega rezultata na VO2max testu. Nismo pa uspeli preveriti razlik med spremenljivkami, pridobljenimi s pomočjo NIRS tehnologije med spoloma, kar je pojasnjeno spodaj.

V prihodnje si bomo prizadevali ugotoviti, ali NIRS tehnologija omogoča spremljanje metabolnih procesov, ki nakazujejo na začetek utrujenosti med različnimi vadbenimi metodami, kot so kontinuirana zmerno intenzivna vadba ali visoko intenzivna intervalna vadba. S tem bi lahko izboljšali spremljanje trenajnega procesa športnikov in bolj natančno določili trenajne spremenljivke, kot so količina, intenzivnost in pavze med različnimi ponovitvami (v primeru intervalne vadbe).

Verjamemo, da bomo na podlagi novih dognanj prispevali k izboljšanju športne prakse trenerjev in športnikov z uporabo NIRS tehnologije za izboljšanje športne zmogljivosti. Z novimi študijami v prihodnosti pa si prizadevamo podati bolj natančna navodila za uporabo te mobilne tehnologije v vsakdanji praksi športnikov.

V izvedbi raziskovalnega projekta ni bilo večjih sprememb. Zaradi težav pri zajemanju podatkov s pomočjo NIRS tehnologije smo iz študije izločili ženske preiskovanke. Težava je namreč v odstotku maščevja, ki predstavlja omejitveni dejavnik za kakovostno zajemanje signala z NIRS tehnologijo. Zaradi tega nismo mogli primerjati razlik v TSI med spoloma.

Rezultati študije

V študijo je bilo vključeno 27 športnikov moškega spola. Aktivni športniki so se ukvarjali pretežno s kolesarjenjem ($n = 14$), medtem ko so se ostali, rekreativni športniki, ukvarjali z različnimi individualnimi, pretežno vzdržljivostnimi športi kot so tek, triatlon in kolesarstvo, ali ekipnimi športi kot so nogomet in košarka ($n = 13$). Osnovne značilnosti preiskovancev so prikazane v preglednici 1.

Preglednica 1. Osnovne demografske in morfološke značilnosti športnikov

	Minimum	Maksimum	Povprečje	Standardni odklon
Starost (leta)	15.0	29.0	21.1	4.2
Telesna teža (kg)	168.5	189.0	179.4	4.7
Telesna masa (cm)	64.0	90.3	73.3	7.0
Indeks telesne mase (kg/m ²)	19.5	26.8	22.8	1.8
Procent telesne maščobe (%)	4.2	18.3	10.8	3.4
Masa skeletnih mišic (kg)	46.3	55.3	51.0	2.1
VO ₂ max (ml/min/kg)	52.0	77.7	64.0	6.3
Izkušnje s treningom (leta)	7.0	20.0	12.5	8.1

Rezultate študije bomo predstavili glede na zastavljena raziskovalna vprašanja in to:

Raziskovalno vprašanje 1: Ali lahko s pomočjo kontraktilnih lastnosti mišic, maksimalne moči spodnjih okončin, in kinetike okrevanja O₂Hb, HHb, TSI po ishemičnem dražljaju napovedujemo rezultate, dosežene na testu maksimalne aerobne vzdržljivosti?

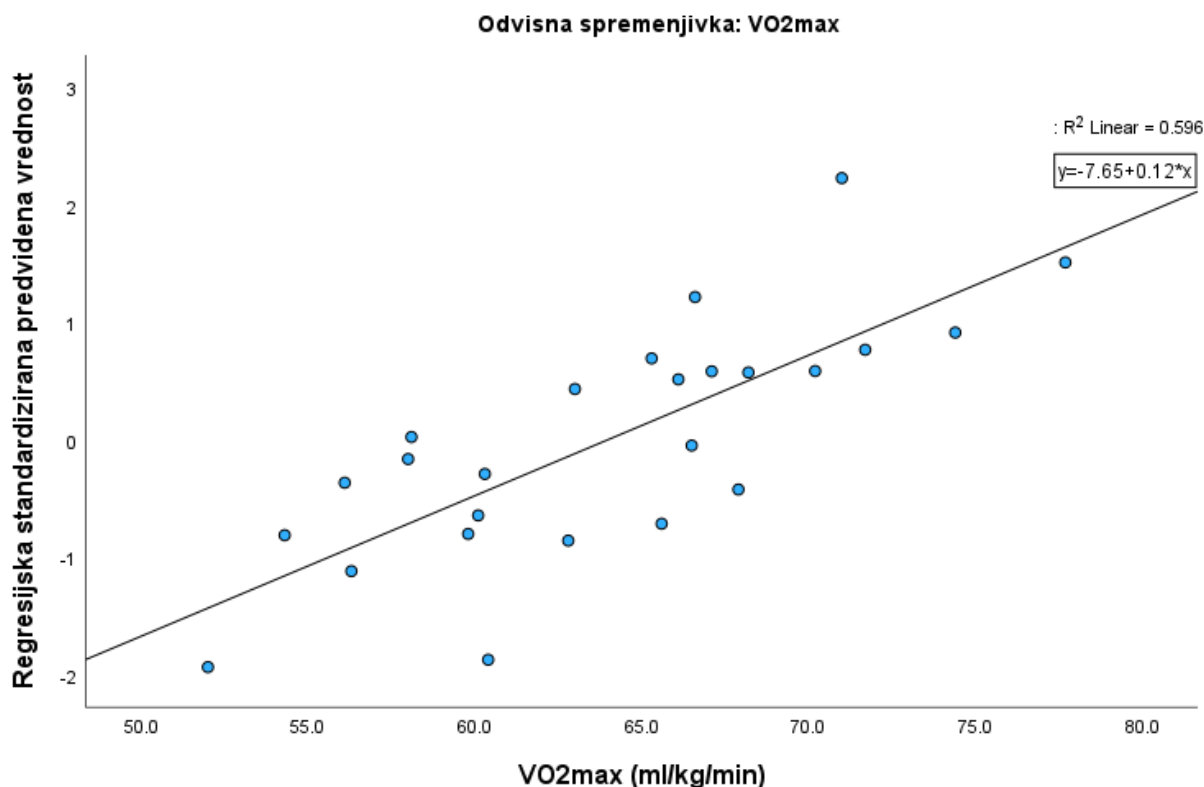
V Preglednici 2 so predstavljeni rezultati linearne regresijske analize, s pomočjo katere smo ugotovili, da lahko napovemo 60 % variance doseženega rezultata VO₂max s pomočjo naslednjih spremenljivk: teže posameznika, odstotka maščobne mase, minimalne vrednosti saturacije mišice VL med CPET testom, hitrosti mišice VL pred CPET testom ter višine skoka z nasprotnim gibanjem.

Preglednica 2. Model napovedovanja vrednosti VO₂max doseženih na testu

Model 1	Standardizirani koeficienti				Korelacije		
	Standardna napaka	Beta	t	Sig.	Ničelni red	Parcialna	Delež
(Konstanta)	182.747		.907	.377			
Telesna teža (kg)	.169	-.447	-2.364	.030	-.552	-.497	-.364
Procent telesne maščobe (%)	2.042	-.231	-.222	.827	-.297	-.054	-.034
Masa skeletnih mišic (kg)	3.391	-.203	-.195	.848	.220	-.047	-.030
VLTSImin	.190	-.401	-1.672	.113	-.425	-.376	-.258
VL Vc	30.030	-.468	-2.614	.018	-.255	-.535	-.403

<i>Višina skoka CMJ</i>	32.509	-.217	-.909	.376	-.199	-.215	-.140
<i>Relativna maksimalna sila -CMJ</i>	.052	.108	.524	.607	-.071	.126	.081
<i>CMJ – skok z nasprotnim gibanjem; VL – vastus lateralis; TSI – indeks saturacija tkiva kisikom</i>							

Slika 3. prikazuje grafični prikaz pojasnjene variance modela 1.



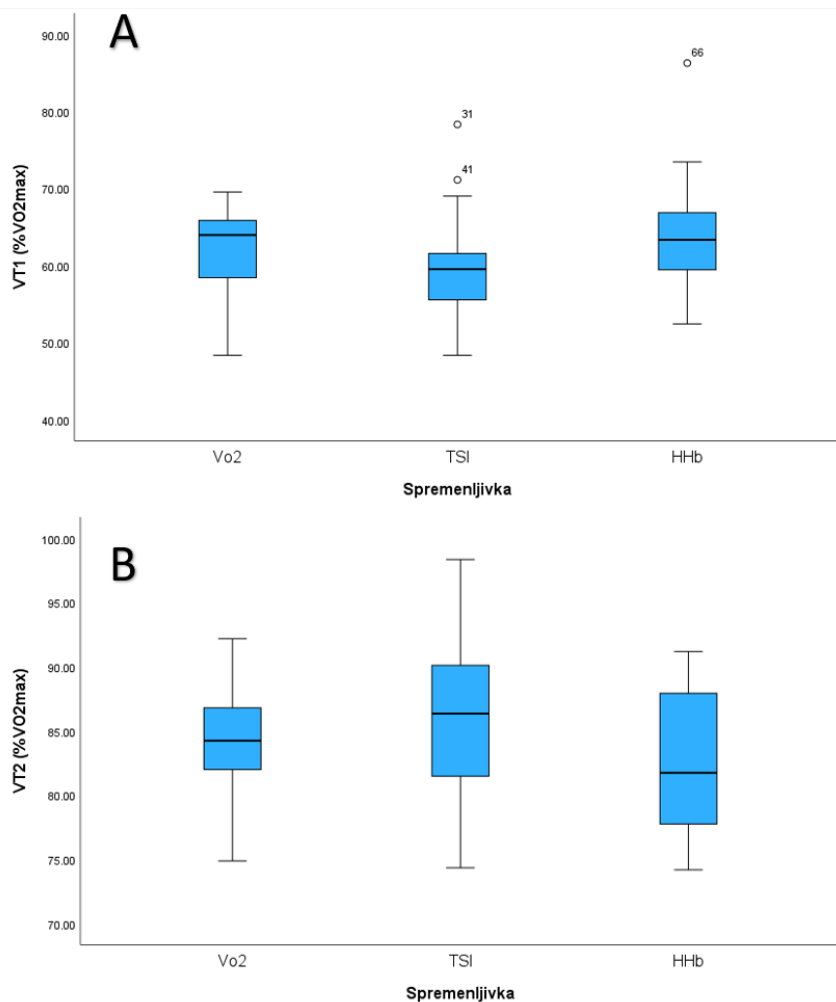
Slika 3. Grafični prikaz napovedovalnega modela VO2max doseženih na testu

Glede na zastavljeno hipotezo lahko ugotovimo, da smo uspeli razviti napovedni model, ki lahko pojasni skoraj 60 % variance vrednosti VO2max, doseženih na CPET testu.

Raziskovalno vprašanje 2: Ali so parametri pridobljeni s pomočjo NIRS-a (O2Hb, HHb, TSI) dovolj zanesljivi za določanje fizioloških pragov med testom maksimalne aerobne vzdržljivosti vrhunskih športnikov?

Rezultati univariatne analize variance (ang. One-way ANOVA) kažejo, da ni značilnih razlik med fiziološkimi pragi, pridobljenimi s pomočjo VO2 ali podatkov NIRS-a (VT1: $F = 1.382$, $p = 0.258$; VT2: $F = 1.989$, $p = 0.145$). Slika 4 prikazuje vrednosti ventilatornih pragov 1 in 2 glede na odstotek VO2max, izračunanih na podlagi:

- 1 – vrednosti VO2,
- 2 – vrednosti TSI, in
- 3 – vrednosti HHb.



Poleg tega smo ugotovili visoko stopnjo povezanosti med spremenljivkami iz katerih smo izračunali VT1 in VT2 (Preglednica 3).

Preglednica 3. Povezanost med spremenljivkami VO2, TSI in HHB pri določanju ventilatornih pragov

	VT1 _{VO2}	VT1 _{VTsi}	VT1 _{VLHHb}
VT1 _{VO2}	1	.792**	.793**
		<.001	<.001
VT1 _{VTsi}	.792**	1	.649**
	<.001		0.004
VT2 _{VLHHb}	.793**	.649**	1
	<.001	0.004	
	VT2 _{VO2}	VT2 _{VTsi}	VT2 _{VLHHb}
VT2 _{VO2}	1	.806**	.864**
		<.001	<.001
VT2 _{VTsi}	.806**	1	.895**



	<.001		<.001
VT2V _{LHHb}	.864**	.895**	1
	<.001	<.001	

VT – ventilatorni pragi; VL – mišica vastus lateralis; VO2 – primitak kisika; TSI – indeks saturacije tkiva s kisikom; HHb – deoksigenirani haemoglobin; krepko označeno pomeni statistično značilna povezanost.

Raziskovalno vprašanje 3: Ali se zanesljivost parametrov O2Hb, HHb, TSI pri določanju trenažnih pragov razlikuje glede na spol in stanje treniranosti?

T-test neodvisnih vzorcev je pokazal značilne razlike med vrhunskimi športniki in rekreativnimi športniki v maksimalnih vrednostih VO2max (povprečna razlika: 10,44 ml/kg/min) ter v vrednostih VO2 pri doseganju VT1 (5,44 ml/kg/min) in VT2 (3,13 ml/kg/min). Drugi fiziološki dejavniki niso pokazali statistično značilnih razlik (Preglednica 4).

Preglednica 4. Razlike med vrhunskimi športniki in rekreativnimi športniki v demografskih in fizioloških spremenljivkah

Spremenljivke	Vo2max	Povprečje	Standardni odklon	P vrednost	Povprečna razlika
Starost	Rekreativec	23.35	4.37	0.006	4.29
	Športnik	19.06	2.93		
Indeks telesne mase	Rekreativec	23.73	1.86	0.007	1.83
	Športnik	21.90	1.36		
%TM	Rekreativec	12.05	3.30	0.081	2.31
	Športnik	9.74	3.30		
VO2max	Rekreativec	58.59	3.22	<.001	-10.44
	Športnik	69.03	3.61		
VLTSImax	Rekreativec	99.64	4.22	0.361	1.89
	Športnik	97.75	5.96		
VLTSImin	Rekreativec	72.13	7.58	0.081	5.46
	Športnik	66.67	7.72		
VT1 %VO2max	Rekreativec	59.05	5.23	0.005	-5.44
	Športnik	64.48	3.77		
VT2 %VO2max	Rekreativec	82.53	4.64	0.049	-3.13
	Športnik	85.67	3.16		
VT1 TSI VL %VO2max	Rekreativec	52.98	17.51	0.154	-8.12
	Športnik	61.10	7.60		
VT2 TSI VL %VO2max	Rekreativec	83.98	5.93	0.121	-3.63
	Športnik	87.61	5.58		
VT1 VL HHb1 %VO2max	Rekreativec	61.14	7.14	0.917	0.83
	Športnik	60.31	19.89		
VT2 VL HHb2 %VO2max	Rekreativec	81.87	6.13	0.485	-1.83
	Športnik	83.70	5.14		



VT – ventilatorni pragi; VL – mišica vastus lateralis; VO2 – primitak kisika; TSI – indeks saturacije tkiva s kisikom; HHb – deoksigenirani haemoglobin; krepko označeno pomeni statistično značilna povezanost.
--

Glede na rezultate lahko zaključimo, da so pragi, pridobljeni iz TSI in HHb, manj občutljivi za zaznavanje razlik med vrhunskimi in rekreativnimi športniki. Po drugi strani visoka stopnja povezanosti med pragi, pridobljenimi iz različnih fizioloških spremenljivk, nakazuje visoko stopnjo ujemanja in uporabnost teh metod v praksi za določanje fizioloških pragov ter načrtovanje trenažnega procesa.

Na koncu bi želeli izpostaviti, da so trije strokovno-znanstveni prispevki v pripravi in bodo kmalu poslani v recenzijo revij s faktorjem vpliva. O morebitnem sprejetju člankov v objavo vas bomo naknadno obvestili.

Vodja raziskave in priprava poročila: dr. Armin Paravlić

Ljubljana, 5. 12. 2024