

Akutni vpliv pasivnega segrevanja na telesno obremenitev

PUŠ A

1. Pregled literature in priprava raziskave

Pasivna izpostavitve toploti se v športu uporablja predvsem kot metoda okrevanja, za aklimatizacijo na vročino in kot dopolnilo vzdržljivostnemu treningu. V zadnjih letih se povečuje zanimanje tudi za infrardečo sauno (IRS), pri kateri je temperatura okolja praviloma nižja kot v tradicionalni finski savni, toplota pa se prenaša predvsem z infrardečim sevanjem. Akutni fiziološki odziv vključuje zvišanje temperature kože, povečanje kožnega pretoka krvi, porast srčne frekvence in prerazporeditev krvnega volumna proti koži. Ti odzivi predstavljajo dodaten kardiovaskularni in termoregulacijski dražljaj, ki bi teoretično lahko vplival na zmogljivost pri naslednji vadbeni obremenitvi.

Največ raziskav je IRS uporabilo po telesni vadbi. Mero in sod. (2015) so pri fizično aktivnih moških primerjali 30-minutno far-infrared savno pri približno 35–50 °C z okrevanjem brez savne po vadbi moči ali maksimalni vzdržljivosti vadbi. Po vadbi moči niso ugotovili pomembnih razlik v okrevanju maksimalne izometrične sile, po maksimalni vzdržljivosti obremenitvi pa je bila višina countermovement jumpa med zgodnjim okrevanjem nekoliko večja po IRS. Rezultati so nakazali možnost ugodnega nevro-mišičnega učinka, vendar niso neposredno odgovorili na vprašanje, ali samostojna IRS izpostavitve vpliva na performance več ur pozneje.

Bolj neposredne podatke o časovnem zamiku je prinesla študija Ahokas in sod. (2023). Šestnajst košarkarjev je po kompleksni vadbi moči opravilo 20 min IRS pri 43 ± 5 °C ali pasivno okrevanje; sprint, CMJ in izometrična sila so bili ponovno ocenjeni 14 ur pozneje. IRS je zmanjšala upad CMJ in mišično bolečino ter izboljšala zaznано okrevanje, ni pa izboljšala 20-m sprinta ali maksimalne izometrične sile. Med samo IRS sta bila srčna frekvenca višja in HRV nižji, vendar nočni HR in HRV nista bila drugačna kot po pasivnem okrevanju. To kaže, da akutni avtonomni stres po IRS lahko hitro izzveni in ne povzroči nujno slabšega okrevanja naslednje jutro.

Podatki iz tradicionalne savne opozarjajo, da je učinek odvisen od intenzivnosti toplotnega dražljaja. Rissanen in sod. (2020) so pokazali, da tradicionalna savna pri 70 °C predstavlja merljiv nevro-mišični in hemodinamski stres; v pogojih, kjer je bila savna uporabljena sama ali po različnih vadbenih obremenitvah, so fiziološke spremembe spremljali vse do 24 ur. Druge raziskave so pokazale tudi možnost slabšega naslednjednevnega performance po intenzivnem post-exercise savnanju, zlasti kadar je dodaten toplotni stres velik ali okrevanje nepopolno.

Najnovejši sistematični pregled Ahokas in sod. (2025) je vključil 14 študij pasivnega gretja po vadbi. Akutni učinki na performance so bili heterogeni: nekatere študije so pokazale korist, druge odsotnost učinka, ena pa poslabšanje. Posebej pomembno je, da sta bili med akutnimi raziskavami le dve študiji IRS in da so bile skoraj vse intervencije izvedene po predhodni vadbi. Avtorji zato poudarjajo potrebo po standardiziranih protokolih, natančnem poročanju fiziološkega odziva na gretje in boljši opredelitvi časovnega odnosa med toplotno izpostavitvijo in performance testom.

Iz tega izhaja jasna raziskovalna vrzel: trenutno ni dovolj podatkov o učinku samostojne IRS izpostavitve brez predhodne vadbe, izvedene 6–24 ur pred težko ali maksimalno aerobno obremenitvijo. Ni znano, ali lahko tak dražljaj naslednji dan spremeni VO₂peak, čas do izčrpanja, maksimalno moč, laktatni odziv, avtonomno regulacijo ali termoregulacijo. Prav tako ni jasno, ali morebitni učinek izhaja iz ugodnega predhodnega segrevanja in vazodilatacije ali iz preostalega termičnega, avtonomnega oziroma hidracijskega stresa.

2. Cilj raziskave in kaj bi bile hipoteze

Glavni cilj raziskave je ugotoviti, ali enkratna izpostavitve infrarde svetlobe 12–24 ur pred težko telesno obremenitvijo spremeni telesno zmogljivost ter kardiovaskularni, presnovni, avtonomni in termoregulacijski odziv na naslednjo vadbo pri zdravih telesno aktivnih odraslih.

Cilji:

- Primerjati maksimalno aerobno zmogljivost in toleranco na hudo obremenitev po IRS in po kontrolnem pasivnem počitku.
- Ugotoviti, ali IRS spremeni srčno frekvenco, porabo kisika, ventilacijo, laktat, zaznani napor in temperaturni odziv med naslednjo vadbo.
- Oceniti akutni in zakasneli odziv avtonomnega živčevja z meritvami HRV pred IRS, po IRS, med nočnim okrevanjem in pred vadbenim testom.
- Preveriti, ali je morebitna sprememba performance povezana s spremembo hidracijskega statusa, telesne temperature ali kožnega pretoka krvi.
- Opredeliti, ali IRS predstavlja koristno predkondicioniranje ali dodaten stres, ki lahko zmanjša pripravljenost na zahtevno vadbo naslednji dan.

Primarna hipoteza bi bila, da zmerna enkratna IRS izpostavitve, izvedena približno 18 ur pred testom in ob standardizirani rehidraciji, ne bo poslabšala maksimalne aerobne zmogljivosti. Zaradi možnega ugodnega učinka na periferno prekrvavitev, sprostitve mišic in subjektivno okrevanje pričakujemo nevtralen do rahlo ugoden učinek na time-to-exhaustion oziroma maksimalno doseženo moč. Nadalje pričakujemo, da bo IRS neposredno po izpostavitvi povečala srčno frekvenco in zmanjšala vagalno modulacijo, vendar se bosta HR in HRV do naslednjega jutra približala izhodiščnim vrednostim. Če bo hidracija ustrezno nadomeščena, ne pričakujemo pomembnega povečanja termičnega stresa med vadbo. Možno pa je, da bo pri posameznikih z večjim porastom telesne temperature ali večjo izgubo tekočine učinek na performance manj ugoden.

Raziskava bi bila zato usmerjena ne le v vprašanje, ali se performance spremeni, temveč tudi v razumevanje mehanizmov. Posebej pomembna bi bila povezava med spremembo performance in fiziološkimi označevalci: plazemskim oziroma hidracijskim statusom, temperaturo kože in jedra, HRV, srčno frekvenco, ventilacijskim odzivom ter kožnim pretokom krvi. Tak pristop bi omogočil razlikovanje med morebitnim predkondicioniranjem in preostalim fiziološkim stresom.

3. Predlagani raziskovalni protokol

Predlagana je randomizirana kontrolirana crossover raziskava. Vključili bi 10 zdravih, redno telesno aktivnih mladih odraslih, po možnosti z vsaj 3 urami organizirane vzdržljivostne ali kombinirane vadbe tedensko. Vsak preiskovanec bi opravil oba pogoja v naključnem vrstnem redu, med obiskoma pa bi bil najmanj 7-dnevni wash-out. Crossover zasnova je posebej primerna, saj so preiskovanci sami sebi kontrola in to zmanjša vpliv velikih medosebnih razlik v parametrih telesne vadbe kot so $\text{VO}_{2\text{peak}}$, ventilacijski pragi, VE/VCO_2 slope, VO_2/power , ter pri analizi avtonomnega odziva (heart rate recovery v 1.minuti po koncu testa, HRR1).

Pasivno segrevanje	20 min infrardeče savne (IRS) pri približno 43–50 °C; sede; standardizirana količina tekočine pred in po izpostavitvi.
Kontrolni pogoj	20 min sedečega počitka v termonevtralnem prostoru ob enakem času dneva.
Čas do testa	Približno 24 h (npr. IRS ob 11.00, test naslednji dan ob 11.00); sprejemljiv okvir 12–24 h.
Vadbeni test	Stopnjevani test do izčrpanja na cikloergometru za $\text{VO}_{2\text{peak}}$, nato po še okrevanje po vadbi
Primarni izid	$\text{VO}_{2\text{peak}}$, ventilacijski pragovi, ventilacijski ekvivalenti, VE/VCO_2 slope, VO_2/power , HRR1
Fiziološke meritve	HR, HRV, VO_2 , VCO_2 , VE, RER, laktat, glukoza, RPE, temperatura kože in jedra, krvni tlak, telesna masa in po možnosti kožni pretok krvi.

Dan pred testom bi bili prehrana, vnos kofeina, alkohol, telesna aktivnost in količina zaužite tekočine standardizirani. Pred in po IRS bi izmerili telesno maso, krvni tlak, HR, HRV in temperaturo; izgubo telesne mase bi nadomestili z vnaprej določenim volumnom tekočine, s čimer bi poskušali ločiti učinek termičnega dražljaja od dehidracije. Udeleženci bi ponoči nosili merilnik HR/HRV, po možnosti tudi senzor temperature kože. Naslednje jutro bi pred vadbo ponovili meritve hidracije, HRV, temperature in subjektivne pripravljenosti.

Vadbeni del bi potekal v standardiziranih termonevtralnih pogojih. Pri CPET bi merili dihalne pline breath-by-breath, srčno frekvenco in RPE; kapilarni laktat in glukozo bi določili pred testom, neposredno po njem ter v zgodnjem okrevanju. Če je glavni cilj performance, bi bilo smiselno poleg CPET vključiti še ločen test pri hudi intenzivnosti, saj $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ni vedno dovolj občutljiv za majhne akutne spremembe pripravljenosti. Time-to-exhaustion ali standardiziran time-trial bi zato predstavljal primarni performance izid.

Za statistično analizo bi uporabili linearne mešane modele oziroma ponovljene meritve z dejavnikoma pogoj in čas. Poleg povprečnega učinka IRS bi analizirali tudi individualni odziv ter povezave med spremembo performance in spremembami telesne temperature, HRV, laktata, srčne frekvence, hidracijskega statusa in kožnega pretoka krvi.

4. Pričakovani rezultati in pomen

Na osnovi dosedanjih raziskav pričakujemo, da zmerna enkratna IRS izpostavitve ob ustrezni rehidraciji 12–24 ur pred vadbo ne bo izrazito zmanjšala maksimalne aerobne zmogljivosti. Ker so Ahokas in sod. po 14 urah pokazali boljše okrevanje eksplozivne zmogljivosti brez negativnega učinka na nočni avtonomni odziv, je mogoče pričakovati, da bo tudi pri aerobnem testu učinek IRS nevtralen ali pri delu preiskovancev rahlo ugoden. Vendar so podatki za aerobni performance po samostojni IRS trenutno prešibki, da bi bilo mogoče napovedati jasen ergogeni učinek.

Takoj po IRS pričakujemo porast srčne frekvence, zmanjšanje vagalne aktivnosti ter povečanje kožnega pretoka krvi in temperature kože. Do naslednjega dne naj bi se večina teh sprememb normalizirala. Če bo nadomeščanje tekočine ustrezno, ne pričakujemo pomembnega poslabšanja plazemskega volumna ali povečanja fiziološkega straina med vadbo. Če pa bi se pokazala višja srčna frekvenca pri enaki zunanji obremenitvi, večji RPE ali krajši time-to-exhaustion, bi to podpiralo hipotezo, da preostali termični oziroma avtonomni stres po IRS lahko vpliva na pripravljenost tudi po večurnem okrevanju.

Posebej zanimiv rezultat bi bila sprememba kožnega pretoka krvi. Pasivno gretje povzroči izrazito vazodilatacijo kože, zato bi morebitna spremenjena vaskularna odzivnost naslednji dan lahko vplivala na prerazporeditev minutnega volumna med kožo in aktivno skeletno mišico. Če bi bil učinek še prisoten 12–24 ur po IRS, bi to predstavljalo možen mehanizem spremembe srčne frekvence, termoregulacije ali tolerance na hudo obremenitev. Nasprotno pa bi popolna normalizacija kožnega pretoka in HRV ob nespremenjenem performance pokazala, da je akutni termični stres IRS v tem časovnem oknu fiziološko že izzvenel.

Rezultati bi imeli neposredno praktično vrednost za športnike in trenerje. Infrared savna se pogosto uporablja zaradi občutka sprostitve in okrevanja, vendar priporočila glede uporabe večer pred tekmovanjem ali težkim treningom niso dobro podprta z eksperimentalnimi podatki. Če bi IRS 12–24 ur pred testom ohranila ali izboljšala performance brez povečanja termičnega in avtonomnega stresa, bi jo bilo mogoče obravnavati kot varno predtekmovalno strategijo pri ustrezni hidraciji. Če bi performance poslabšala, bi rezultati podprli priporočilo, da se ji v zadnjih 24 urah pred ključnim naporom izognemo.

Raziskava bi zapolnila pomembno vrzel med literaturo o post-exercise recovery in literaturo o kronični heat acclimation. Njena glavna prednost bi bila izolacija učinka samega termičnega dražljaja: IRS ne bi sledila predhodni vadbi, zato bi bilo mogoče neposredno določiti, ali pasivno gretje samo po sebi vpliva na zmogljivost naslednji dan. Takšen dizajn bi bil tudi dobra osnova za kasnejše raziskave pri športnikih različnih disciplin, ženskah, starejših oseb ali populacijah z drugačno termoregulacijo in mikrovaskularno funkcijo.

Literatura

1. Ahokas EK, et al. A post-exercise infrared sauna session improves recovery of neuromuscular performance and muscle soreness after resistance exercise training. *Biology of Sport*. 2023.
2. Ahokas EK, Hennessy RS, Hanstock HG, Kyröläinen H, Ihalainen JK, et al. Effects of Post-Exercise Heat Exposure on Acute Recovery and Training-Induced Performance Adaptations: A Systematic Review. *Sports Medicine - Open*. 2025;11:106.
3. Mero A, Tornberg J, Mäntyselkä M, Puurtinen R. Effects of far-infrared sauna bathing on recovery from strength and endurance training sessions in men. *SpringerPlus*. 2015;4:321. doi:10.1186/s40064-015-1093-5.
4. Rissanen JA, Häkkinen A, Laukkanen J, Kraemer WJ, Häkkinen K. Acute Neuromuscular and Hormonal Responses to Different Exercise Loadings Followed by a Sauna. *J Strength Cond Res*. 2020;34(2):313-322. doi:10.1519/JSC.0000000000003371.
5. Rissanen JA, Häkkinen K, Laukkanen JA, Häkkinen A. Acute Hemodynamic Responses to Combined Exercise and Sauna. *Int J Sports Med*. 2020;41(12):824-831. doi:10.1055/a-1186-1716.

Akutni vpliv pasivnega segrevanja na telesno obremenitev

PUŠ A

Rezultati

Pasivno segrevanje 24 ur pred stopnjevano telesno obremenitvijo ni pomembno vplivalo na maksimalno aerobno zmogljivost. Relativni VO_2peak se je po intervenciji le minimalno zmanjšal z $38,06 \pm 6,16$ na $37,59 \pm 6,54$ $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($p = 0,343$), prav tako se ni pomembno spremenila maksimalna dosežena moč ($3,42 \pm 0,49$ proti $3,41 \pm 0,56$ W/kg ; $p = 0,488$) (Tabela 1). Tudi intenziteta pri prvem in drugem ventilacijskem pragu je ostala primerljiva. VT1 se je spremenil z $1,90 \pm 0,65$ na $1,91 \pm 0,60$ W/kg ($p = 0,465$), VT2 pa z $2,75 \pm 0,39$ na $2,80 \pm 0,41$ W/kg ($p = 0,259$) (Tabela 1).

Tabela 1: Odziv parametrov telesne obremenitve na vadbo pred in po pasivnem segrevanju

sauna	parameter	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	p
pred	$\text{VO}_2/\text{kg peak}$	38,0585	10	6,16352	1,94908	0,343
po		37,5911	10	6,54183	2,06871	
pred	Ppeak (W)	3,4215	10	0,49285	0,15585	0,488
po		3,4071	10	0,55811	0,17649	
pred	HRpeak (BPM)	203,0000	10	33,30000	11,10300	0,378
po		197,8220	10	36,19992	12,06000	
pred	HRR60 (BPM)	20,2222	10	5,91138	1,97046	0,103
po		18,4444	10	5,15051	1,71684	
pred	VT1 (W/kg)	1,9033	10	0,65180	0,20612	0,465
po		1,9121	10	0,60355	0,19086	
pred	VT2 (W/kg)	2,7534	10	0,39013	0,13004	0,259
po		2,8014	10	0,41226	0,13742	
pred	VE/ VCO_2 slope	23,2500	10	4,29554	1,35837	0,188
po		24,9100	10	5,99990	1,89733	
pred	VO_2/HR pri VT1	11,5778	10	2,42424	0,80808	* 0,029
po		12,4222	10	2,48182	0,82727	
pred	$\text{VO}_2/\text{HRpeak}$	15,1444	10	4,28285	1,42762	0,392
po		15,2333	10	4,16743	1,38914	
pred	VO_2/POWER	8,9511	10	0,60711	0,20237	0,266
po		9,1567	9	0,97940	0,32647	
pred	BORG	17,9000	10	0,87560	0,27689	0,363
po		17,7000	10	1,33749	0,42295	

*: statistično značilna razlika po intervenciji glede na kontrolno meritev

Predhodno pasivno segrevanje prav tako ni povzročilo statistično značilnih sprememb maksimalne srčne frekvenca, zaznanega napora ali večine kazalnikov kardiorespiratorne učinkovitosti. Maksimalna srčna frekvenca je bila po segrevanju numerično nekoliko nižja, vendar razlika ni bila statistično značilna (203 proti 197,8 utripov/min; $p = 0,378$) (Tabela 1). Tudi okrevanje srčne frekvenca v prvi minuti po naporu (HRR60) se ni pomembno spremenilo (20,2 proti 18,4 utripov/min; $p = 0,103$) (Tabela 1). Ventilacijska učinkovitost, ocenjena z naklonom VE/VCO_2 , je bila po intervenciji nekoliko višja (23,25 proti 24,91), vendar brez statistične značilnosti ($p = 0,188$) (Tabela 1). Ocena zaznanega napora po Borgovi lestvici je ostala praktično nespremenjena (17,9 proti 17,7; $p = 0,363$) (Tabela 1).

Edina statistično značilna sprememba je bila ugotovljena pri O_2 pulzu na prvem ventilacijskem pragu. VO_2/HR pri VT1 se je povečal z $11,58 \pm 2,42$ na $12,42 \pm 2,48$ ml/utrip, kar predstavlja približno 7,3-odstotno povečanje ($p = 0,029$) (Tabela 1). O_2 pulz pri maksimalni obremenitvi se ni pomembno spremenil (15,14 proti 15,23 ml/utrip; $p = 0,392$). Prav tako ni bilo statistično značilne spremembe razmerja $VO_2/mo\check{c}$ ($p = 0,266$) (Tabela 1).

Pomen rezultatov

Rezultati kažejo, da enkratna izpostavitve pasivnemu segrevanju 24 ur pred telesno obremenitvijo pri preiskovani skupini ne povzroči poslabšanja aerobne zmogljivosti, ventilacijskih pragov ali subjektivnega zaznavanja napora naslednji dan. To je pomembno, saj kaže, da je po 24-urnem obdobju okrevanja akutni termični stres očitno v veliki meri izzvenel in ne predstavlja pomembnega dodatnega bremena za izvedbo maksimalne telesne obremenitve.

Hkrati povečanje O_2 pulza pri VT1 nakazuje možnost subtilne prilagoditve kardiovaskularnega odziva pri submaksimalni intenzivnosti. O_2 pulz predstavlja razmerje med porabo kisika in srčno frekvenco ter se pogosto uporablja kot posredni kazalnik utripnega volumna in periferne ekstrakcije kisika. Višja vrednost pri primerljivi obremenitvi bi zato lahko nakazovala učinkovitejši centralni ali periferni transport kisika po predhodnem termičnem stresu. Ker pa se VO_2/HR pri maksimalni obremenitvi ni spremenil in ker je bil vzorec majhen, je treba ta rezultat interpretirati previdno ter ga potrditi v večji raziskavi.

Celotno gledano rezultati ne podpirajo hipoteze, da bi enkratno pasivno segrevanje 24 ur pred vadbo pomembno izboljšalo ali poslabšalo maksimalni performance. Možen učinek se kaže predvsem na ravni submaksimalnega kardiovaskularnega odziva, kar odpira vprašanje, ali lahko predhodni termični stres povzroči kratkotrajne spremembe v hemodinamiki, volumnu plazme, avtonomni regulaciji ali periferni ekstrakciji kisika, ki so zaznavne pri nižjih intenzivnostih, ne pa tudi pri maksimalni obremenitvi.

Rezultati raziskave imajo širši pomen tudi v kontekstu globalnega segrevanja in vse pogostejše izpostavljenosti prebivalstva povišanim temperaturam. Podnebne spremembe povečujejo pogostost, intenzivnost in trajanje vročinskih valov, pri čemer toplotni stres predstavlja pomembno dodatno fiziološko obremenitev, zlasti med telesno aktivnostjo. Svetovna zdravstvena organizacija poudarja, da lahko kombinacija okoljskega toplotnega stresa in presnovne toplote, ki nastaja med vadbo ali fizičnim delom, pomembno poveča kardiovaskularno in termoregulacijsko obremenitev ter zmanjša telesno zmogljivost. Naši rezultati kažejo, da enkratna izpostavitve pasivnemu segrevanju 24 ur pred intenzivno telesno obremenitvijo ne povzroči izrazitega poslabšanja aerobne zmogljivosti, kar nakazuje, da se pri zdravih posameznikih po ustreznem obdobju okrevanja akutni učinki termičnega stresa večinoma normalizirajo. Razumevanje časovnega poteka okrevanja po izpostavitvi vročini je pomembno za načrtovanje varne telesne aktivnosti, športnega treninga in fizičnega dela v vedno toplejšem okolju. Še posebej relevantno bo nadaljnje raziskovanje pri skupinah z zmanjšano termoregulacijsko rezervo, kot so starejši, osebe s srčno-žilnimi ali presnovnimi boleznimi ter posamezniki, ki so poklicno izpostavljeni vročini, saj so ti lahko na ponavljajoči se toplotni stres občutljivejši. Ker je Evropa med najhitreje segrevajočimi se regijami in se obdobja visokega toplotnega stresa podaljšujejo, imajo takšne raziskave neposreden pomen tudi za prihodnje javnozdravstvene in preventivne strategije.