

Gašper Turnšek¹,
Simon Iskra¹, Armin Paravlič^{1,2}

Akutni učinki zmerno in visoko intenzivne aerobne vadbe na centralni in periferni krvni tlak pri zdravih normotenzivnih posameznikih – pilotna študija

Izvleček

Srčno-žilne bolezni so vodilni vzrok smrti po svetu, pri čemer je arterijska hipertenzija eden ključnih dejavnikov tveganja. Redna telesna vadba, zlasti vzdržljivostna, je učinkovita pri preprečevanju in obvladovanju povišanega krvnega tlaka. Namen raziskave je bil proučiti akutni vpliv dveh pogosto uporabljenih vzdržljivostnih vadbenih modalitet, in sicer kontinuirane vadbe zmerne intenzivnosti (MICT) in visoko intenzivne intervalne vadbe (HIIT), na centralni aortni pulzni tlak (AOPP) in periferni srednji arterijski tlak (MAP) pri zdravih normotenzivnih posameznikih ter ugotoviti morebitne razlike v odzivu glede na spol. V raziskavo je bilo vključenih 18 preiskovancev (devet moških in devet žensk), ki so opravili naključno dodeljeni vadbeni enoti. MAP in AOPP sta bila izmerjena v mirovanju in takoj po vadbi. Rezultati niso pokazali statistično značilnih sprememb krvnega tlaka med vadbenima pogojev, prav tako tudi ne razlik med spoloma. Analiza interindividualnih odzivov pa je pokazala, da je po HIIT večji delež odzivnikov z akutnim znižanjem krvnega tlaka kot po MICT. Ugotovitve potrjujejo, da se centralni in periferni krvni tlak pri zdravih posameznikih v zgodnjem obdobju po vadbi hitro normalizirata, kar potrjuje varnost obeh pristopov. Hkrati rezultati podpirajo potrebo po individualizaciji vadbenega režima.

Ključne besede: visoko intenzivna intervalna vadba, zmerno intenzivna kontinuirana vadba, srednji arterijski tlak, aortni pulzni tlak, individualni odzivi.



foto: osebni arhiv

Acute effects of moderate- and high-intensity aerobic exercise on central and peripheral blood pressure in healthy normotensive individuals – a pilot study

Abstract

Cardiovascular diseases are the leading cause of death globally, with arterial hypertension being one of the key risk factors. Regular physical activity, particularly endurance exercise, is effective in preventing and managing elevated blood pressure. This study aimed to examine the acute effects of two commonly used endurance exercise modalities, namely moderate-intensity continuous training (MICT) and high-intensity interval training (HIIT), on central aortic pulse pressure (AOPP) and peripheral mean arterial pressure (MAP) in healthy normotensive individuals, as well as to identify potential sex-related differences in response. Eighteen participants (9 men, 9 women) were randomly assigned to the exercise protocols. MAP and AOPP were measured at rest and immediately after exercise. The results showed no statistically significant changes in blood pressure between exercise conditions, nor any sex-related differences. However, inter-individual response analysis revealed a higher proportion of responders with acute blood pressure reduction following HIIT compared to MICT. These findings suggest that central and peripheral blood pressure in healthy individuals rapidly normalize in the early recovery phase, regardless of exercise modality, confirming the safety of both approaches. Moreover, the results support the need for personalized exercise prescription, as individuals may respond differently to specific training modalities.

Keywords: high-intensity interval training, moderate-intensity continuous training, mean arterial pressure, aortic pulse pressure, individual responses.

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport

² Znanstveno-raziskovalno središče Koper, Inštitut za kineziološke raziskave

■ UVOD

Najpogostejša skupina bolezni na svetovni ravni, ki povzroči približno tretjino vseh smrti (GBD, 2021) ter je odgovorna za 35 % smrti pri ženskah in 31 % pri moških, hkrati pa pomembno prispeva k izgubi zdravih let življenja in velikim izdatkom zdravstvenih sistemov (Mensah idr., 2019, 2023; Roth idr., 2020), so srčno-žilne bolezni. Najpomembnejši, a hkrati obvladljiv dejavnik tveganja za te bolezni in smrtnost po vsem svetu je arterijska hipertenzija oziroma povišan arterijski krvni tlak (Forouzanfar idr., 2016). K povišanju tega so v zadnjih desetletjih izrazito pripomogli demografske spremembe, staranje prebivalstva in vedenjski dejavniki, kot so nezdrava prehrana, čezmerno uživanje alkohola, čezmerna telesna masa in telesna nedejavnost (Halder, 2013). Najučinkovitejši način za upočasnitev ali preprečitev nastanka arterijske hipertenzije je sprememba življenjskega sloga s poudarkom na redni telesni vadbi (Collier in Landram, 2012). Ena najučinkovitejših modalitet telesne vadbe pri izboljšanju zdravja srca in ožilja je vzdržljivostna vadba (Patel idr., 2017).

V literaturi so opisane različne oblike vzdržljivostne vadbe, ki se razlikujejo glede na intenzivnost, trajanje in način izvedbe. Če začnemo pri najnižjih intenzivnostih vadbe, poznamo nizko intenzivno kontinuirano vadbo (LICIT), ki poteka pod prvim fiziološkim pragom (laktatnim ali ventilatornim) in običajno traja od nekaj minut do več ur. Pogostejša oblika je zmerno intenzivna kontinuirana ali intervalna vadba (MICT oziroma HIIT), ki se izvaja med prvim in drugim fiziološkim pragom ter lahko traja od dveh do 60 minut. V zadnjih letih je v ospredje prišla visoko intenzivna intervalna vadba (HIIT), ki se izvaja pri 85–120 % maksimalnega privzema kisika ($VO_2\max$) v intervalih, dolgih od 30 sekund do 45–60 minut. Še intenzivnejša je sprint intervalna vadba (SIT), pri kateri posameznik izvaja napore pri maksimalni hitrosti v trajanju 20–30 sekund. Med najkrajše in najintenzivnejše oblike spada ponavljajoča se sprinterska vadba (RST), ki vključuje napore pri maksimalni hitrosti in je dolga le 5–10 sekund (Foster idr., 2025). Vse te različne oblike vadbe se uporabljajo glede na cilje, fiziološko zmogljivost, zdravstveno

stanje in specifične trenažne učinke, ki jih želimo doseči.

Pogosto pa se pojavljajo vprašanja o tem, kaj se med vadbo in po njej dogaja s krvnim tlakom ter ali se ta razlikuje glede na vadbeno modaliteto in lokacijo merjenja (periferija ali centralno). Merjenje arterijskega krvnega tlaka med vadbo se je uveljavilo kot zlati standard pri ugotavljanju tveganj za nastanek srčno-žilnih bolezni, saj čezmerno povišanje tlaka (predvsem sistoličnega) pomeni precejšnje obremenitve za srčno-žilni sistem, če ta ni v optimalnem stanju (Sabbahi idr., 2018). Velja pravilo, da je povprečni normalni dvig sistoličnega krvnega tlaka med progresivno vadbo okoli 10 mm Hg na vsak presnovni ekvivalent dejavnosti – MET (Fletcher idr., 2013). Med vadbo je prekomerni odziv sistoličnega krvnega tlaka opredeljen kot vrednost ≥ 210 mm Hg pri moških in ≥ 190 mm Hg pri ženskah, medtem ko je porast diastoličnega krvnega tlaka za več kot 10 mm Hg nad vrednostjo v mirovanju ali absolutno vrednostjo ≥ 90 mm Hg prav tako zunaj normalnih okvirov in lahko napoveduje večje tveganje za nastanek srčno-žilnih bolezni (Ha idr., 2002). Po vzdržljivostni vadbi, ne glede na stanje srčno-žilnega sistema, pride do t. i. hipotenzijskega učinka vadbe, ki pomeni znižanje arterijskega krvnega tlaka zaradi različnih fizioloških mehanizmov, ki jih sproži vadba (Kenney in Seals, 1993). Ta učinek se s časovnega vidika zelo razlikuje glede na posameznika, saj se lahko pojavi v obdobju do ure ure po vadbi in traja do 13 ur, ob tem pa pomeni učinkovito nefarmakološko znižanje krvnega tlaka, ki mu lahko rečemo tudi zdravljenje hipertenzije (Kajekar idr., 2002).

Različne modalitete in intenzivnosti vadbe povzročajo različen hemodinamski odziv (Zhang idr., 2018). V zadnjem obdobju je v ospredju vadba HIIT, ki naj bi bila učinkovitejša pri zniževanju krvnega tlaka in izboljšanju žilne funkcije kot MICT (Ramos idr., 2015). Kljub temu ostaja nejasno, kako HIIT in MICT akutno vplivata na spremembe perifernega srednjega arterijskega tlaka (MAP) in centralnega aortnega pulznega tlaka (AOPP) pri zdravih normotenzivnih posameznikih. MAP pomeni povprečno obremenitev žilne stene skozi srčni cikel in je ključen za

perfuzijo organov ter oceno tveganja za nastanek srčno-žilnih bolezni (Craig idr., 2021). AOPP pa odraža pulzatilno komponento centralnega tlaka, povezano z reflektiranim valom in togostjo arterij, kar se je izkazalo za še močnejši napovedni dejavnik srčno-žilnih dogodkov kot periferni tlak (O'Rourke in Frohlich, 1999; Sugawara idr., 2015). Na tem mestu se postavlja vprašanje, ali obstajajo razlike v odzivih glede na spol, saj so med spoloma razlike v hormonskem profilu in žilni strukturi, ki lahko vplivajo na hemodinamiko (Meyer idr., 2006). Zato je bil cilj naše raziskave (1) proučiti akutne spremembe centralnega (AOPP) in perifernega (MAP) krvnega tlaka po MICT in HIIT pri normotenzivnih posameznikih ter (2) ugotoviti, ali obstajajo razlike v odzivu glede na spol. Na podlagi literature smo postavili hipotezi, da bo HIIT povzročil izrazitejše zmanjšanje MAP in AOPP kot MICT ter da bodo pri odzivu perifernega MAP statistično pomembne razlike med spoloma.

■ METODE

Zasnova študije in preiskovanci

Študija je bila randomizirana s sedemdnevni časovnimi obdobji med obiski in je potekala med oktobrom 2024 in avgustom 2025. Preiskovance smo pridobili prek oglasov na internetnih portalih in plakatih. Raziskava je potekala v skladu s Helsinško deklaracijo in jo je odobrila Komisija Republike Slovenije za medicinsko etiko. Preiskovanci so pred začetkom raziskave podpisali pisno soglasje o prostovoljni udeležbi, poleg tega pa so od raziskave lahko odstopili kadar koli in brez navedenega razloga. Raziskava je bila objavljena in registrirana na clinicaltrials.gov (številka: NCT07048509).

Vključitvena in izključitvena merila

V raziskavo so bili vključeni vsi posamezniki, ki so ustrezali naslednjim merilom:

- starost od 20 do 50 let;
- zmerna telesna aktivnost (600–3000 MET) glede na vprašalnik GPAQ avtorjev Armstrong in Bull (2006);
- normalne vrednosti krvnega tlaka (< 120 mm Hg sistolični in < 80 mm Hg diastolični).

Izključeni so bili v primeru:

- prekomernega krvnega tlaka oz. hipertenzije;
- jemanja zdravil za zniževanje tlaka ali uravnavanje lipidnega profila;
- kajenja;
- poškodbe spodnjih ekstremitet v zadnjih šestih mesecih, ki naj bi onemogočile maksimalno izvedbo maksimalnega testa aerobne kapacitete;
- kroničnih nenalezljivih bolezni;
- srčno-žilnih ali presnovnih bolezni, nosečnosti, izostanka menstrualnega cikla ali indeksa telesne mase $\geq 30 \text{ kg/m}^2$.

Opis obiskov in izvedba meritev

Raziskava je vključevala tri obiske vsakega preiskovanca:

- prvi obisk: izmerjena sta bila ambulatorni krvni tlak in telesna sestava, izpolnjen vprašalnik GPAQ, izveden kardio-pulmonarni obremenitveni test (CPET) ter izmerjene izhodiščne vrednosti MAP in AOPP;
- drugi in tretji obisk: preiskovanci so bili naključno razporejeni v skupino glede na izvedbo vadbe HIIT ali MICT. Pred vadbo in po njej so bile izmerjene vrednosti AOPP in MAP.

Randomizacija drugega in tretjega obiska je bila izvedena z uporabo funkcije RAND v programu Microsoft Excel (razmerje ena proti ena). Obiski so bili izvedeni v razmiku po sedem dni in ob isti uri v dnevu, da se zmanjša vpliv cirkadijalnih nihanj. Preiskovancem je bilo svetovano, naj se v dneh pred prvim obiskom in med celotnim trajanjem raziskave vzdržijo telesne vadbe ter uživanja alkohola in kofeina. Prav tako so bili napoteni, naj na obisk pridejo dobro spočiti in naj 2–3 ure pred meritvijo zaužijejo standardizirani obrok. Vse korake sta spremljala dva raziskovalca (GT in SI).

Telesna sestava

Meritve telesne sestave so bile izvedene z metodo bioimpedance (InBody 720, Biospace, Južna Koreja) po prihodu preiskovancev v laboratorij Inštituta za šport na Fakulteti za šport Univerze v Ljubljani. Poleg meritve telesne sestave je bila preiskovancem izmerjena telesna višina z merilom Seca 220.

Hemodinamika

Ambulatorni krvni tlak

Po meritvi telesne sestave so preiskovanci 10 minut mirno sedeli na stolu v tihem okolju, z iztegnjeno in supinirano nedominantno roko, naslonjeno na ravno površino v višini srca. Izvedene so bile tri zaporedne meritve krvnega tlaka s samodejnim nadlaktnim merilnikom (M7, Omron, Japonska) v enominutnih razmikih, pri čemer je bila za nadaljnjo analizo uporabljena povprečna vrednost zadnjih dveh meritev.

Analiza lastnosti hitrosti pulznega vala

Za merjenje karakteristik pulznega vala (PWA) v brahialni arteriji je bil uporabljen instrument Vicorder (programska oprema verzija 4; Skidmore Medical, Združeno kraljestvo). Naprava uporablja oscilometrično tehniko za zajem pulznega vala. Preiskovancu smo eno manšeto namestili okoli zapestja in eno okoli brahialne arterije. Obe manšeti sta se hkrati samodejno napihnili, pri čemer so bili pulzni valovi izmerjeni v intervalih po 3–5 sekund. Zaradi natančnosti pri interpretaciji je bil izveden zajem vsaj desetih pulznih valov, ki omogočajo zanemarljive napake pri interpretaciji. Programska oprema je omogočila izpis parametrov MAP in AOPP.

Stopnjevani obremenitveni test

Po petih minutah izhodiščnih meritev v sedečem položaju na sobnem cikloergometru (Excalibur Sport, Lode, Nizozemska) so preiskovanci opravili petminutno ogrevanje pri 1 W/kg. Nato je bil izveden test po stopnjevalnem protokolu, ki se je začel pri 60 W, obremenitev pa se je povečevala za 15 W/min vsako minuto. Preiskovanci so bili pozvani, naj ohranjajo kadenco 60–80 vrtljajev na minuto. Za pridobitev fizioloških parametrov so bili priklopljeni na plinski analizator CPET (COSMED, Italija). Naprava je zagotavljala zanesljive vrednosti porabe kisika (VO_2), produkcije ogljikovega dioksida (VCO_2) in pljučne ventilacije (VE) po posameznem vdihu. Srčni utrip je bil hkrati merjen z merilnikom srčnega utripa (Polar, model H10, Finska). Podatki so bili izmerjeni v petsekundnih intervalih. Preiskovanci so bili verbalno spodbujani, da so dosegli zahtevane fiziološke parametre, ki nakazujejo doseg $\text{VO}_{2\text{max}}$: respiratorni količnik (RQ) $\geq 1,10$ –1,15 ter

razmerje med minutno ventilacijo in minutnim privzemom kisika $\text{VE}/\text{VO}_2 > 30$ –35 (Midgley idr., 2007).

Vadbeni protokoli

Preiskovanci so opravili naslednje preizkuse (s sedemdnevним razmikom med obiski): a) kontrolni obisk, sledil je stopnjevani obremenitveni test za določitev $\text{VO}_{2\text{max}}$ in predpis intenzivnosti vadbe na podlagi ventilacijskih pragov, b) akutno vadbeno enoto zmerne intenzivnosti in c) akutno intervalno vadbeno enoto visoke intenzivnosti. Preizkusa b) in c) sta bila dodeljena v naključnem vrstnem redu. Vse vadbene enote so bile izvedene na elektronsko obremenjenem cikloergometru. Intenzivnost vadbe je bila individualno prilagojena na podlagi rezultatov obremenitvenega testa. Intenzivnost in trajanje vadbenih enot sta bila prilagojena tako, da je bila energijska poraba med pogoji izenačena.

Preiskovanci so opravili pet minut ogrevanja nizke intenzivnosti (1 W/kg). Vadba zmerne intenzivnosti je bila izvedena kot 30 minut neprekinjenega kolesarjenja pri 65 % intenzivnosti na respiratorni kompenzacijski točki (RCP), ki se uporablja kot kazalnik maksimalnega presnovnega stacionarnega stanja med vadbo. Vadba visoke intenzivnosti je bila izvedena v obliki štirih ponovitev štiriminutnih intervalov pri 95–100 % RCP, s trminutnim pasivnim počitkom. Srčni utrip je bil uporabljen kot dodatni kazalnik zagotavljanja vadbe v ustreznem območju intenzivnosti (Coates idr., 2023) in spremljan z merilnikom srčnega utripa H10 Polar (Finska).

Klasifikacija odzivnikov (Os) in neodzivnikov (NOs)

Za klasifikacijo preiskovancev v Os in NOs smo izračunali tipično napako merjenja (TE) po metodi Hopkins (2000), ki je opredeljena kot standardni odklon razlik med ponovljenima izhodiščnima meritvama, deljen s $\sqrt{2}$. Prag, ki presega dvakratnik tipične napake merjenja ($2 \times \text{TE}$), je bil izbran zato, ker predstavlja spremembo, ki z veliko verjetnostjo presega tehnično ali biološko variabilnost ter tako odraža dejanski fiziološki odziv na vadbo (Hopkins, 2000). Na podlagi naših ponovljenih izhodiščnih meritev sta bili vrednosti TE 2,69 mm Hg za MAP in 3,82 mm Hg za AOPP. Odzivniki so bili

opredeljeni kot posamezniki, ki so dosegli zmanjšanje, večje od dvakratne TE ($\geq 5,38$ mm Hg za MAP in $\geq 7,64$ mm Hg za AOPP), medtem ko so bili posamezniki, katerih spremembe tega praga niso presegle, uvrščeni med NOs.

Statistična analiza

Statistična analiza je bila izvedena s programom IBM SPSS Statistics (IBM Corp., Armonk, New York). Opisna statistika je predstavljena v obliki povprečja (M) $\pm$ standardni odklon (SD) za parametrične spremenljivke in mediana (Me) z interkvartilnim razponom (IQR) za neparametrične spremenljivke. Normalnost porazdelitve smo preverili s Shapiro-Wilkovim testom, homogenost varianc med skupinama z Levenovim testom, ustreznost predpostavke sferičnosti pri analizi ponovljenih meritev pa z Mauchlyjevim testom sferičnosti. Če predpostavke parametrične analize niso bile izpolnjene, je bil za primerjavo med skupinama uporabljen Mann-Whitneyjev U-test, sicer pa je bil uporabljen neodvisni t-test. Za analizo vpliva časa (mirovanje, po MICT, po HIIT) je bila uporabljena analiza variance za ponovljene meritve (Repeated Measures ANOVA), pri čemer je bil čas (mirovanje, po MICT, po HIIT) znotrajsubjektni dejavnik, spol pa medsubjektni dejavnik. Za ugotovitev razlik med posameznimi časovnimi točkami so bile izvedene *post-hoc* parne primerjave z Bonferronijevim popravkom. Poleg inferenčne statistike je navedena tudi velikost učinkov (parcialni η^2). Meja statistične značilnosti je bila določena pri $p < 0,05$.

REZULTATI

V študijo je bilo vključenih 18 preiskovancev (devet moških in devet žensk), katerih osnovne značilnosti so predstavljene v Tabeli 1. Vsi preiskovanci so uspešno opravili vse predvidene obiske, pri čemer med potekom raziskave ni bilo zaznanih nezaželenih učinkov ali zapletov.

Med spoloma ni bilo razlik v starosti in indeksu telesne mase (BMI). Moški so imeli statistično značilno večjo telesno maso ($p < 0,001$) in višji VO_{2max} ($p < 0,001$), ženske pa višje vrednosti diastoličnega krvnega tlaka ($p = 0,005$). Poleg tega so imele ženske nekoliko nižje vrednosti sistoličnega krvnega tlaka ($p = 0,027$).

Povprečne vrednosti MAP in AOPP so v mirovanju ter po izvedbi MICT in HIIT prikazane v Tabeli 2. Analiza variance za ponovljene meritve (Tabela 3) ni pokazala statistično značilnih učinkov časa (primerjave med mirovanjem, po MICT in po HIIT) pri nobenem od parametrov, prav tako ni bilo zaznati interakcije čas $\times$ spol (različni odzivi moških in žensk glede na

čas meritev). Parne primerjave z Bonferronijevim popravkom (Tabela 4) so potrdile odsotnost razlik med posameznimi časovnimi točkami. Ti rezultati kažejo, da akutna HIIT in MICT ne povzročata pomembnih sprememb v centralnem in perifernem krvnem tlaku pri zdravih normotenzivnih posameznikih.

Tabela 1:
Opisna statistika

Parameter	Moški (n = 9)	Ženske (n = 9)	p-vrednost
Starost (leta)	30,6 $\pm$ 8,8	31,6 $\pm$ 11,5	0,847
Telesna masa (kg)	75,1 $\pm$ 6,9	61,4 $\pm$ 6,1	< 0,001
BMI (kg/m ²)	23,8 (1,8)*	22,6 (4)*	0,377
VO_{2max} (ml/kg/min)	56,5 $\pm$ 7,6	39,5 $\pm$ 7,4	< 0,001
Sistolični krvni tlak (mm Hg)	114,5 (4,5)*	110 (11)*	0,027
Diastolični krvni tlak (mm Hg)	67,2 $\pm$ 5,7	74,6 $\pm$ 3,7	0,005

Opomba: Vrednosti so predstavljene kot $M \pm SD$. Spremenljivke, označene z zvezdico (*), so prikazane kot Me in IQR. Statistično značilne razlike (p-vrednosti) so označene krepko.

Tabela 2:
Vrednosti MAP in AOPP, merjene v treh časovnih točkah

	Spol	Mirovanje	Po MICT	Po HIIT
MAP (mm Hg)	Moški (n = 9)	79,9 $\pm$ 8,3	81,3 $\pm$ 9,1	80,4 $\pm$ 9,2
	Ženske (n = 9)	84,1 $\pm$ 4,8	83,6 $\pm$ 5,6	83,0 $\pm$ 6,7
	Skupaj (n = 18)	82,0 $\pm$ 6,9	82,4 $\pm$ 7,4	81,7 $\pm$ 7,9
AOPP (mm Hg)	Moški (n = 9)	56,8 $\pm$ 5,0	55,2 $\pm$ 7,1	58,9 $\pm$ 6,0
	Ženske (n = 9)	52,6 $\pm$ 3,9	54,1 $\pm$ 6,4	52,4 $\pm$ 6,0
	Skupaj (n = 18)	54,7 $\pm$ 4,9	54,7 $\pm$ 6,6	55,7 $\pm$ 6,7

Opomba: Vrednosti so predstavljene kot $M \pm SD$.

Tabela 3:
Rezultati analize variance za ponovljene meritve

	Učinek	F	p-vrednost	Parcialni η^2
MAP	Čas	F = 0,15	0,860	0,009
	Čas $\times$ spol	F = 0,33	0,723	0,020
	spol	F = 0,89	0,359	0,053
AOPP	Čas	F = 0,37	0,693	0,023
	Čas $\times$ spol	F = 1,99	0,152	0,111
	spol	F = 2,99	0,103	0,157

Tabela 4:
Parne primerjave z Bonferronijevim popravkom

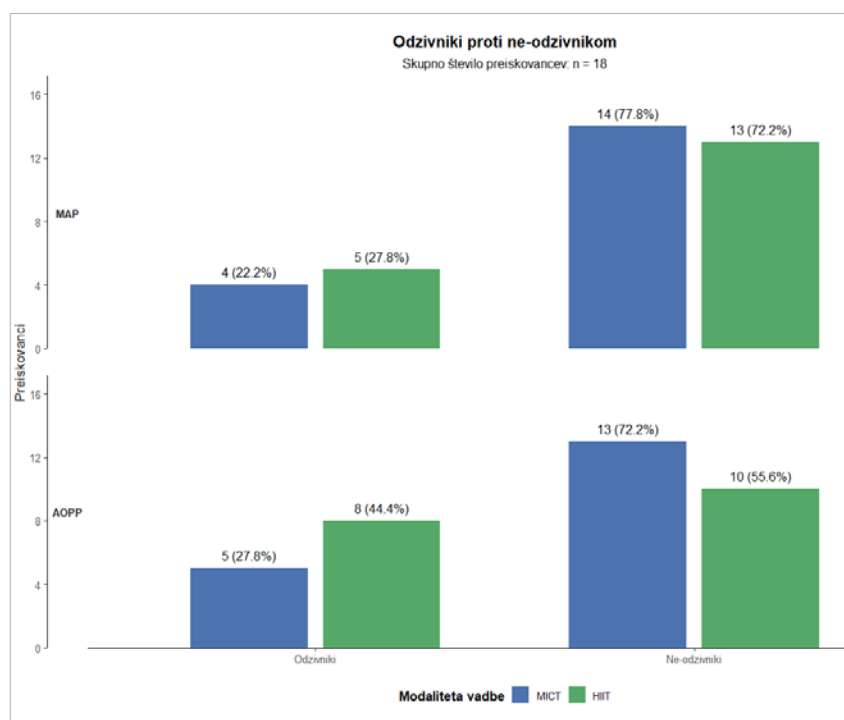
	Primerjave	Povprečna razlika (mm Hg)	p-vrednost
MAP	Mirovanje – po MICT	–0,44	1,000
	Mirovanje – po HIIT	–0,29	1,000
	Po MICT – po HIIT	0,72	1,000
AOPP	Mirovanje – po MICT	0,00	1,000
	Mirovanje – po HIIT	–1,00	1,000
	Po MICT – po HIIT	–1,00	1,000

Poleg analize povprečnih sprememb v MAP in AOPP so bili udeleženci razvrščeni tudi glede na interindividualni odziv na vadbo. Kot je prikazano na Sliki 1, je bilo med preiskovanci, ki so opravili MICT, 22,2 % odzivnikov glede na MAP in 27,8 % glede na AOPP, medtem ko je bil pri HIIT delež odzivnikov nekoliko večji (27,8 % za MAP in 44,4 % za AOPP). Večina udeležencev v obeh vadbenih modalitetah je bila uvrščena med neodzivnike, kar potrjuje tudi odsotnost statistično značilnih razlik pri analizi povprečnih skupinskih sprememb.

■ RAZPRAVA

Medtem ko se večina raziskav osredotoča predvsem na časovni okvir hipotenzije po vadbi in ugotavlja, da se največje znižanje krvnega tlaka pojavi šele 30–60 minut po vadbi oziroma ob daljšem 24-urnem spremljanju (McCarthy idr., 2023; Mohammed idr., 2020), smo se v študiji osredotočili na akutni odziv v neposrednem obdobju po obremenitvi. Namen raziskave je bil proučiti akutne učinke dveh najpogostejše uporabljenih vzdržljivostnih vadbenih modalitet MICT in HIIT na centralni (MAP) in periferni arterijski tlak (AOPP) pri zdravih normotenzivnih posameznikih.

Osrednja ugotovitev naše študije je, da se tako MAP kot AOPP takoj po vadbi pri zdravih normotenzivnih posameznikih vrnete na ravni v mirovanju, ne glede na vadbeno modaliteto. Na podlagi teh rezultatov sta bili obe hipotezi zavrženi, saj HIIT ni povzročil pričakovanega izrazitejšega zmanjšanja MAP in AOPP v primerjavi z MICT, prav tako niso bile ugotovljene statistično značilne razlike med spoloma. To pomeni, da kljub pričakovani, z naporom posredovani hipertenziji med gibanjem (Mohammed idr., 2020) v zgodnjih minutah po koncu napa ne ostajata povišan ne centralni ne periferni krvni tlak. Prvi so na pomen akutnega odziva po vadbi opozorili Craig idr. (2021), ki so pokazali, da se MAP ob prehodu iz mirovanja v obremenitev poveča po dinamiki prvega reda, z značilnim časovnim zamikom in nato hitro stabilizacijo na novi ravni. To pomeni, da je prehod iz obremenitve v okrevanje prav



Slika 1: Interindividualni odzivi MAP in AOPP pri preiskovancih na vadbeni modaliteti

tako časovno precej predvidljiv in da se MAP razmeroma hitro vrne proti vrednostim v mirovanju. To modeliranje MAP so opredelili kot obetavno diagnostično orodje za ocenjevanje zdravja srca in ožija, saj omogoča zaznavanje razlik med zdravimi in hipertenzivnimi posamezniki. Če to povežemo z našimi rezultati, kjer po vadbi nismo zaznali razlik v MAP glede na mirovanje, lahko sklepamo, da pri zdravih posameznikih tako MICT kot HIIT sprožita kratkotrajni porast krvnega tlaka, ki pa se med okrevanjem hitro normalizira. To potrjuje model avtorjev Craig idr. (2021), ki dodatno poudarja, da je prav časovni vidik sprememb (hitro vračanje k vrednostim v mirovanju) ključen za razumevanje akutnega odziva krvnega tlaka na vadbo pri zdravih posameznikih z normalnimi vrednostmi krvnega tlaka.

Akazawa idr. (2015) so poročali, da ena sama aerobna vadbeni enota pri ženskah v menopavzi ne povzroči akutnih sprememb aortnih pulznih parametrov, kar potrjuje, da neposredni hemodinamski odziv ni občutljiv za kratkotrajno obremenitev pri zdravi populaciji. Naši izsledki so v skladu s tem, saj po vadbi nismo zaznali akutnih sprememb vrednosti AOPP glede na modaliteto, prav tako

ni bilo razlik med spoloma. To kaže, da se zgodnji odziv periferne in centralnega tlaka po vadbi ne razlikuje med spoloma ali glede na izbrano obliko vadbe v primeru zdravih normotenzivnih posameznikov.

Metaanalize, ki se osredotočajo na kronične hipotenzijske učinke, dosledno kažejo, da HIIT v daljšem časovnem obdobju povzroči večje znižanje sistoličnega tlaka kot MICT (Ashor idr., 2014; Costa idr., 2018). Gre za kumulativni učinek ponavljajočih se vadbenih enot, ki se sčasoma izrazi v pomembnih prilagoditvah, medtem ko v akutnem obdobju, zlasti v prvih minutah po vadbi, teh razlik pogosto ni zaznati. Naši rezultati so v skladu s tem, saj odsotnost takojšnjih sprememb ne izključuje dolgoročnih koristi HIIT ali MICT, temveč potrjuje koncept, da se lahko majhne, akutno manj izrazite spremembe akumulirajo v kronične prilagoditve ter vodijo k izboljšani centralni in periferni hemodinamiki. Zato je tukaj vredno omeniti interindividualno variabilnost odzivov (Maturana idr., 2021). Tudi kadar na skupinski ravni takoj po vadbi ne vidimo razlik, posamezniki kažejo zelo različne odzive na centralni in periferni ravni. V našem primeru (Slika 1) je večje število odzivnikov na

akutno znižanje MAP in AOPP zaznati po vadbeni enoti HIIT v primerjavi z MICT. Vendar je to precej posplošeno, saj tudi vadbena enota MICT pri nekaterih posameznikih sproži hitrejši in večji učinek hipotenzije po vadbi. To podpira potrebo po personalizaciji vadbenega procesa, saj bodo nekateri imeli izrazitejši (in/ali hitrejši) odziv po HIIT, drugi po MICT. S tem pristopom se akutne koristi bolj verjetno pretvorijo v kronično znižanje centralnega in perifernega krvnega tlaka ter dolgoročno preprečevanje nastanka srčno-žilnih bolezni.

Glavni omejitvi naše študije sta majhen vzorec in dejstvo, da smo meritve opravili samo v zgodnjem obdobju po vadbi, kar ne zajame poznejše maksimalne hipotenzije po vadbi. Poleg tega so bili vključeni le zdravi normotenzivni posamezniki, zato rezultatov ni mogoče neposredno posplošiti na preostalo populacijo. Pri opredelitvi odzivnikov in neodzivnikov smo uporabili prag tipične napake merjenja, kar je metodološko utemeljeno, a ni klinično potrjeno. Prav tako se zavedamo, da bi bilo zelo smiselno skozi celotno raziskavo nadzorovati njihov prehranski status, vendar smo se pri pilotni raziskavi usmerili le na akutni vpliv vadbe, prehranski status pa smo poskusili standardizirati na dneve meritve.

■ ZAKLJUČEK

Naši rezultati kažejo, da tako MICT kot HIIT pri zdravih normotenzivnih posameznikih neposredno po vadbi ne povzročita akutnih razlik v MAP in AOPP glede na spol. To potrjuje varnost obeh modalitet, saj se periferni in centralni krvni tlak v zgodnjem obdobju po vadbi hitro normalizirata na začetno raven v mirovanju. Kljub temu analiza odzivnikov in neodzivnikov kaže, da HIIT pri večjem deležu posameznikov sproži ugodnejši akutni odziv, kar podpira koncept individualiziranega predpisa vadbe.

■ LITERATURA

1. Akazawa, N., Ra, S. G., Sugawara, J., in Maeda, S. (2015). Influence of aerobic exercise training on post-exercise responses of aortic pulse pressure and augmentation pressure in postmenopausal women. *Frontiers in Physiology*, 6(OCT), 163106. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2015.00268/BIBTEX>
2. Armstrong, T., in Bull, F. (2006). Development of the World Health Organization Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *Journal of Public Health*, 14(2), 66–70. <https://doi.org/10.1007/S10389-006-0024-X>
3. Ashor, A. W., Lara, J., Siervo, M., Celis-Morales, C., in Mathers, J. C. (2014). Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS ONE*, 9(10). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0110034>
4. Coates, A. M., Joyner, M. J., Little, J. P., Jones, A. M., in Gibala, M. J. (2023). A Perspective on High-Intensity Interval Training for Performance and Health. *Sports Medicine* 2023 53:1, 53(1), 85–96. <https://doi.org/10.1007/S40279-023-01938-6>
5. Collier, S. R., in Landram, M. J. (2012). Treatment of prehypertension: lifestyle and/or medication. *Vascular Health and Risk Management*, 8(1), 613. <https://doi.org/10.2147/VHRM.S29138>
6. Costa, E. C., Hay, J. L., Kehler, D. S., Boreskie, K. F., Arora, R. C., Umpierre, D., Szwajcer, A., in Duhamel, T. A. (2018). Effects of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training On Blood Pressure in Adults with Pre- to Established Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Trials. *Sports Medicine*, 48(9), 2127–2142. <https://doi.org/10.1007/S40279-018-0944-Y>
7. Craig, J. C., Broxterman, R. M., Cerbie, J. F., Salle, D. T. La, Roundy, C. S., Jarrett, C. L., Richardson, R. S., in Trinity, J. D. (2021). The dynamic adjustment of mean arterial pressure during exercise: A potential tool for discerning cardiovascular health status. *Journal of Applied Physiology*, 130(5), 1544–1554. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00057.2021/ASSET/IMAGES/LARGE/JAPPLPHYSIOL.00057.2021.F004.JPEG>
8. Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., Coke, L. A., Fleg, J. L., Forman, D. E., Gerber, T. C., Gulati, M., Madan, K., Rhodes, J., Thompson, P. D., in Williams, M. A. (2013). Exercise standards for testing and training: A scientific statement from the American heart association. *Circulation*, 128(8), 873–934. <https://doi.org/10.1161/CIR.0B013E31829B5B44/FORMAT/EPUB>
9. Forouzanfar, M. H., Afshin, A., Alexander, L. T., Biryukov, S., Brauer, M., Cercy, K., Charlson, F. J., Cohen, A. J., Dandona, L., Estep, K., Ferrari, A. J., Frostad, J. J., Fullman, N., Godwin, W. W., Griswold, M., Hay, S. I., Kyu, H. H., Larson, H. J., Lim, S. S., ... Zhu, J. (2016). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, 388(10053), 1659–1724. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31679-8/ASSET/63CF9976-DC39-4894-A402-D1AF35340E07/MAIN.ASSETS/GR7G.JPG](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31679-8/ASSET/63CF9976-DC39-4894-A402-D1AF35340E07/MAIN.ASSETS/GR7G.JPG)
10. Foster, C., Casado, A., Bok, D., Hofmann, P., Bakken, M., Tjelta, A., Manso, J. G., Boulosa, D., in de Koning, J. J. (2025). History and perspectives on interval training in sport, health, and disease. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 50. <https://doi.org/10.1139/APNM-2023-0611>
11. *Global Burden of Disease Study 2021 (GBD 2021) United States Burden of Disease Forecasts 2022-2050 | GHDx*. (b. d.). Pridobljeno 13. avgust 2025, s <https://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/gbd-2021-us-bod-forecasts-2022-2050>
12. Ha, J. W., Juracan, E. M., Mahoney, D. W., Oh, J. K., Shub, C., Seward, J. B., in Pelliikka, P. A. (2002). Hypertensive response to exercise: A potential cause for new wall motion abnormality in the absence of coronary artery disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 39(2), 323–327. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(01\)01743-0](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(01)01743-0)
13. Haldar, R. N. (2013). Global Brief on Hypertension: Silent Killer, Global Public Health Crisis. *Indian Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 24(1), 2–2. <https://doi.org/10.5005/IJOPMR-24-1-2>
14. Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1–15. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001/FIGURES/TAB2>
15. Joseph, P., Leong, D., McKee, M., Anand, S. S., Schwalm, J. D., Teo, K., Mente, A., in Yusuf, S. (2017). Reducing the global burden of cardiovascular disease, part 1: The epidemiology and risk factors. *Circulation Research*, 121(6), 677–694. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESA-HA.117.308903>
16. Kajekar, R., Chen, C. Y., Mutoh, T., in Bonham, A. C. (2002). GABAA receptor activation at medullary sympathetic neurons contributes to postexercise hypotension. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 282(5 51-5). <https://doi.org/10.1152/AJPHEART.00725.2001>

17. Kenney, M. J., in Seals, D. R. (1993). Postexercise hypotension. Key features, mechanisms, and clinical significance. *Hypertension*, 22(5), 653–664. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.22.5.653>
18. Maturana, F. M., Schellhorn, P., Erz, G., Burgstahler, C., Widmann, M., Munz, B., Soares, R. N., Murias, J. M., Thiel, A., in Nieß, A. M. (2021). Individual cardiovascular responsiveness to work-matched exercise within the moderate- and severe-intensity domains. *European Journal of Applied Physiology*, 121(7), 2039–2059. <https://doi.org/10.1007/S00421-021-04676-7/METRICS>
19. McCarthy, S. F., Ferguson, E. J., Jarosz, C., Kenno, K. A., in Hazell, T. O. M. J. (2023). Similar Postexercise Hypotension after MICT, HIIT, and SIT Exercises in Middle-Age Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 55(1), 101–109. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003017>
20. Mensah, G. A., Fuster, V., Murray, C. J. L., Roth, G. A., Mensah, G. A., Abate, Y. H., Abbasian, M., Abd-Allah, F., Abdollahi, A., Abdollahi, M., Abdulah, D. M., Abdullahi, A., Abebe, A. M., Abedi, A., Abedi, A., Abiodun, O. O., Ali, H. A., Abu-Gharbieh, E., Abu-Rmeileh, N. M. E., ... Roth, G. A. (2023). Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks, 1990–2022. *Journal of the American College of Cardiology*, 82(25), 2350–2473. <https://doi.org/10.1016/J.JACC.2023.11.007>
21. Mensah, G. A., Roth, G. A., in Fuster, V. (2019). The Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors: 2020 and Beyond. *Journal of the American College of Cardiology*, 74(20), 2529–2532. <https://doi.org/10.1016/J.JACC.2019.10.009>
22. Meyer, M. R., Haas, E., in Barton, M. (2006). Gender differences of cardiovascular disease: New perspectives for estrogen receptor signaling. *Hypertension*, 47(6), 1019–1026. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000223064.62762.0B/ASSET/9216444A-5A62-48D7-AE2C-DF955A-2091BE/ASSETS/GRAPHIC/1FF5.JPEG>
23. Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Polman, R., in Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake: A brief critique and recommendations for future research. *Sports Medicine*, 37(12), 1019–1028. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737120-00002/FIGURES/1>
24. Mohammed, L. (Lina) M., Dhavale, M., Abdelal, M. K., Alam, A. B. M. N., Blazin, T., Prajapati, D., in Mostafa, J. A. (2020). Exercise-Induced Hypertension in Healthy Individuals and Athletes: Is it an Alarming Sign? *Cureus*, 12(12), e11988. <https://doi.org/10.7759/CUREUS.11988>
25. O'Rourke, M., in Frohlich, E. D. (1999). Pulse pressure: Is this a clinically useful risk factor? *Hypertension*, 34(3), 372–374. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.34.3.372/FORMAT/EPUB>
26. Patel, H., Alkhawam, H., Madanieh, R., Shah, N., Kosmas, C. E., in Vittorio, T. J. (2017). Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. *World Journal of Cardiology*, 9(2), 134. <https://doi.org/10.4330/WJC.V9.I2.134>
27. Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Tjonna, A. E., Beetham, K. S., in Coombes, J. S. (2015). The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(5), 679–692. <https://doi.org/10.1007/S40279-015-0321-Z>
28. Roth, G. A., Mensah, G. A., in Fuster, V. (2020). The Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks: A Compass for Global Action. *Journal of the American College of Cardiology*, 76(25), 2980–2981. <https://doi.org/10.1016/J.JACC.2020.11.021>
29. Sabbahi, A., Arena, R., Kaminsky, L. A., Myers, J., in Phillips, S. A. (2018). Peak blood pressure responses during maximum cardiopulmonary exercise testing: Reference standards from FRIEND (fitness registry and the importance of exercise: A national database). *Hypertension*, 71(2), 229–236. https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.117.10116/SUPPL_FILE/HYP_HYPE201710116_SUPP1.PDF
30. Sugawara, J., Komine, H., Miyazawa, T., Imai, T., in Ogoh, S. (2015). Influence of single bout of aerobic exercise on aortic pulse pressure. *European Journal of Applied Physiology*, 115(4), 739–746. <https://doi.org/10.1007/S00421-014-3061-0/TABLES/2>
31. Zhang, Y., Qi, L., Xu, L., Sun, X., Liu, W., Zhou, S., van de Vosse, F., in Greenwald, S. E. (2018). Effects of exercise modalities on central hemodynamics, arterial stiffness and cardiac function in cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS ONE*, 13(7), e0200829. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0200829>

Gašper Turnšek, mag. kin.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
gasper.turnsek@fsp.uni-lj.si