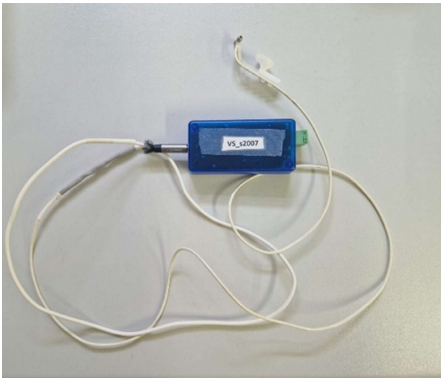


Fiziološki odziv na telesno vadbo v pogojih nižje telesne temperature – REZULTATI

PUŠ A

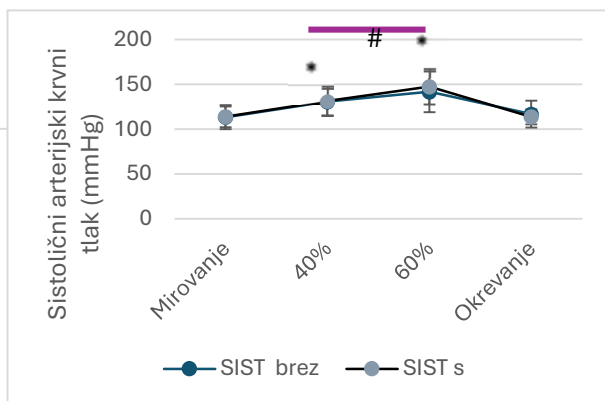
V raziskavi smo uporabljali Nemos elektrode in stimulator, ki je bil izdelan v raziskovalne namene (Jan Slapšak) na Nevrološki kliniki, Univerzitetni klinični center, Ljubljana. Ta stimulator je bil uporabljen v več študijah (van Midden et al., 2023; van Midden et al., 2024; Atanackov et al., 2025).



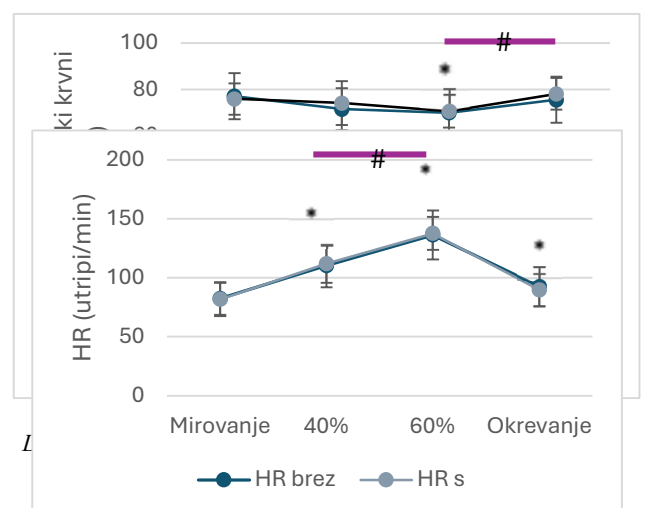
Slika 1: Prikaz transkutani stimulator, ki smo ga uporabljali v raziskavi

Rezultati (Slike 2-4) so pokazali pričakovano in statistično značilno naraščanje vseh fizioloških parametrov z intenzivnostjo obremenitve (glavni učinek faze; $p < 0,001$ za porabo kisika, srčno frekvenco, in sistolični krvni tlak ter diastolični krvni tlak), kar odraža pričakovan fiziološki odziv organizma na naraščajoč napor. Glavni učinek taVNS pa ni bil statistično značilen pri nobenem od merjenih parametrov (poraba kisika $p = 0,472$; srčna frekvenca $p = 0,981$; sistolični krvni tlak $p = 0,721$; diastolični krvni tlak $p = 0,278$), prav tako ni bila značilna interakcija med stimulacijo in fazo obremenitve pri nobenem od parametrov.

Tudi pri hitrosti okrevanja srčne frekvenca v prvi minuti (HRR1) razlika med pogojema ni dosegla praga statistične značilnosti (34,3 proti 32,1 utripa/min brez oziroma s taVNS; $p = 0,309$) (Slika 5). Subjektivna zaznava napora pri obremenitvi 60 % $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ je ob stimulaciji pokazala rahlo znižanje (11,3 proti 11,8 na Borgovi lestvici; $p = 0,098$), pri obremenitvi 40 % $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ pa rahlo zvišanje (8,7 proti 8,1; $p = 0,190$) – v obeh primerih brez statistične značilnosti (Slika 6).

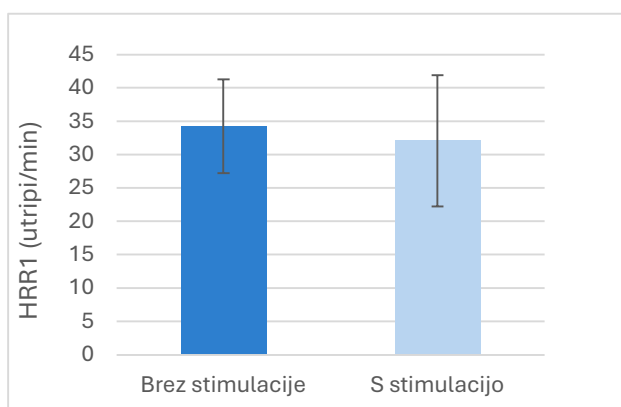


Slika 1: Sistolični (SIST) in diastolični arterijski krvni tlak (DIST) brez in s stimulacijo skozi faze obremenitve



Slika 3: Poraba kisika ($\dot{V}O_2$) brez in s stimulacijo skozi faze obremenitve

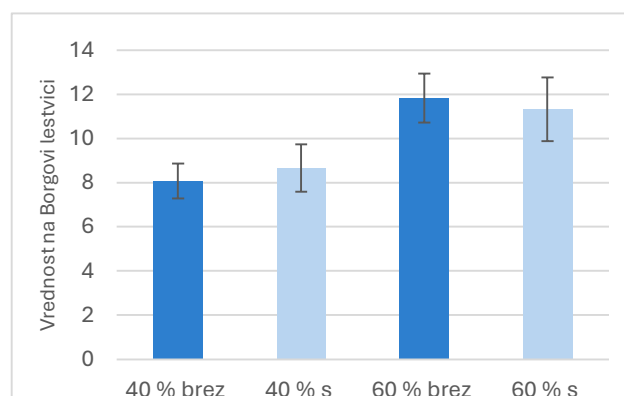
Legenda: * $p < 0,05$ vs. mirovanje; # $p < 0,05$ med 40% in 60%



Slika 5: Stolpični graf primerjava HRR1 brez in s stimulacijo

Slika 4: Srčna frekvenca brez in s stimulacijo skozi faze obremenitve

Legenda: * $p < 0,05$ vs. mirovanje; # $p < 0,05$ med 40% in 60%



Slika 6: Stolpični graf primerjave subjektivne zaznave napora po Borgovi lestvici pri 40 % in 60 % obremenitvi brez in s stimulacijo

Primerjava z drugimi raziskavami

Zanimanje za taVNS v športu izhaja iz dosledne ugotovitve, da lahko v mirovanju zmanjša srčno frekvenco, poveča variabilnost srčne frekvenca ter zniža koncentracijo adrenalina in noradrenalina v krvi (Clancy idr., 2014). Vprašanje je, ali se ti učinki ohranijo tudi med telesno obremenitvijo, ko je simpatik že močno aktiviran, in v obdobju okrevanja po njej.

Med raziskavami, ki so preučevale učinek med vadbo, je raziskava Hatik in sodelavcev (2023) na kolesarskem ergometru pri zdravih mladih preiskovancih pokazala, da taVNS ni spremenila prevožene razdalje niti ni negativno vplivala na arterijski krvni tlak, kar potrjuje varnost metode med telesnim naporom. Raziskava Yoshida in sodelavcev (2025) je pri maksimalnem obremenitvenem testiranju ugotovila, da taVNS statistično značilno zniža srčno frekvenco pri najvišjih obremenitvah, ne pa tudi pri nizkih in zmernih. Podobno so Ackland in sodelavci (2025) v randomizirani raziskavi ugotovili, da redna, ponavljajoča se uporaba taVNS poveča maksimalno porabo kisika in telesno zmogljivost, kar nakazuje, da so učinki morda bolj izraziti pri dolgotrajni uporabi kot pri enkratni stimulaciji.

Rezultati naše raziskave se s tem vzorcem ujemajo: kaže se, da je akutni učinek taVNS na kardiovaskularne in presnovne parametre med vadbo najbolj izražen pri visokih, submaksimalnih in maksimalnih obremenitvah (Yoshida idr., 2025), medtem ko pri zmerno-intenzivni vadbi morda ni dovolj izrazit, da bi ga bilo mogoče zaznati na tako majhnem vzorcu preiskovancev. V isto smer kažejo tudi novejša raziskave, pri katerih je odziv na taVNS odvisen od izhodišnega ravnovesja AŽS – osebe z nižjo izhodiščno parasimpatično oziroma višjo simpatično aktivnostjo se na stimulacijo odzovejo izraziteje (Perčin idr., 2025a; Yokota idr., 2022), kar bi lahko pojasnilo tudi del variabilnosti med preiskovanci v naši raziskavi. Ista raziskovalna skupina je v neposredni primerjavi pokazala tudi, da je taVNS pri zdravih odraslih učinkovitejši od navidezne (sham)

stimulacije in stimulacije trigeminalnega živca pri zniževanju sistoličnega krvnega tlaka in zviševanju variabilnosti srčne frekvence (Perçin idr., 2025b).

Nekoliko drugačno sliko kaže obdobje po vadbi. Raziskava na 60 telesno neaktivnih mladih odraslih je pokazala, da 20-minutna taVNS po 30-minutni hoji pospeši padec sistoličnega in diastoličnega krvnega tlaka, poveča parasimpatični indeks ter hitreje zniža koncentracijo laktata v krvi in subjektivno utrujenost v primerjavi s pasivnim okrevanjem (Ertürk in Mutuş, 2026). To se ujema z ugotovitvami de Souza in sodelavcev (2020), da taVNS po vadbi pospeši parasimpatično reaktivacijo. Skupaj to nakazuje, da je taVNS morda bolj obetavna kot orodje za pospeševanje okrevanja po vadbi kot pa kot sredstvo za spreminjanje odziva med samo vadbo.

Pri interpretaciji vseh naštetih izsledkov velja upoštevati tudi pomembno metodološko opozorilo: raziskava na mladih nogometaših je pokazala, da že sama navidezna (sham) stimulacija vagusa – torej zgolj pričakovanje učinka – zmanjša subjektivno zaznano utrujenost po tekmi, čeprav ne vpliva na dejansko telesno zmogljivost ali variabilnost srčne frekvence (Pernigoni idr., 2025). To pomeni, da je del ugodnih učinkov, o katerih poročajo raziskovanci in uporabniki, lahko tudi posledica pričakovanj, zato so za zanesljive zaključke potrebne raziskave s slepim nadzorom oziroma navidezno stimulacijo, kakršno je uporabila tudi Bergantova (2026).

taVNS so preučevali tudi zunaj okvira klasične športne vadbe – pri vojaških rekrutih med 24-urnim naporom s pomanjkanjem spanca je stimulacija blažila upad pozornosti v zgodnjih jutranjih urah, ni pa vplivala na zmožnost zaviranja odzivov (Passi idr., 2026), kar kaže, da njen potencialni doseg presega kardiovaskularne parametre in sega tudi na področje kognitivne pripravljenosti med dolgotrajnim naporom – to je lahko zanimivo izhodišče za športe, kjer je poleg telesne pomembna tudi dolgotrajna miselna zbranost.

Morda najbolj neposredno podporo ničelnim rezultatom slovenske raziskave ponuja živa Bayesovska metaanaliza šestnajstih s slepim nadzorom (sham) izvedenih raziskav pri zdravih udeležencih, ki je našla močan dokaz za ničelno hipotezo: akutna taVNS v primerjavi z navidezno stimulacijo ne spremeni vagalno pogojene variabilnosti srčne frekvence (Wolf idr., 2021). Skupaj z ugotovitvami Bergant (2026) to postavlja pod vprašaj domnevo, da je variabilnost srčne frekvence zanesljiv in dosleden biološki označevalec akutnega učinka taVNS – najverjetneje je ta učinek precej bolj kontekstno odvisen (od intenzivnosti napora, časovne umestitve stimulacije in izhodiščnega stanja posameznika), kot so sprva domnevali.

Ker je razlike v populacijah, protokolih vadbe in parametrih stimulacije težko zaobjeti zgolj v besedilu, Preglednica 1 strnjeno prikazuje sedem osrednjih raziskav, omenjenih v tem članku.

Raziskava	Populacija	Vadba / kontekst	Protokol taVNS	Ključni izsledki
Bergant (2026)	12 zdravih, 20–25 let	40 % in 60 % $\dot{V}O_2$ maks, navzkrižno, kolo	100 Hz, 300 μ s, 30 s ON-OFF, levo uho, med vadbo in okrevanjem	Brez zn. vpliva na $\dot{V}O_2$, HR, RR, RQ, HRR1 in Borg
Hatik idr. (2023)	zdravi mladi odrasli	kolesarski ergometer, 35 min, 25 W	eno-/dvostranska taVNS med vadbo	Brez razlik v razdalji ali RR – potrjena varnost med naporom
Yoshida idr. (2025)	zdravi odrasli	obremenitveni test do maksimuma	taVNS med testom	Zn. nižja HR le pri maksimalni obremenitvi, ne pri nizki/zmerni
Ackland idr. (2025)	zdravi prostovoljci	redna vadba, več tednov (kronična uporaba)	ponavljajoča se neinvazivna VNS	Povečana $\dot{V}O_2$ maks in telesna zmogljivost
Ertürk in Mutuş (2026)	60 telesno neaktivnih mladih	30-min hoja, taVNS takoj po vadbi	taVNS 20 min po vadbi, obojestransko	Hitrejši padec RR, višji parasimpat. indeks, nižji laktat in utrujenost
Perçin idr. (2025b)	78 zdravih odraslih (4 skupine)	mirovanje (brez vadbe)	taVNS proti taTNS in sham, 25 Hz	taVNS > sham/taTNS: nižji SIST, višji RMSSD
Wolf idr. (2021)	16 raziskav, zdravi udeleženci (živa metaanaliza)	pretežno mirovanje, s slepim nadzorom (sham)	akutna taVNS proti sham	Močan dokaz za ničelno hipotezo – brez vpliva na vagalno HRV

Iz preglednice je razvidno, da se ugotovitve med raziskavami ne razlikujejo naključno, temveč sledijo že omenjenemu vzorcu: raziskave, ki so taVNS izvajale med samo zmerno-intenzivno vadbo pri majhnih vzorcih (Bergant, 2026; deloma tudi Hatik idr., 2023), praviloma niso našle statistično značilnih učinkov, medtem ko raziskave pri maksimalnih obremenitvah (Yoshida idr., 2025), po kronični uporabi (Ackland idr., 2025) ali v mirovanju oziroma neposredno po vadbi (Ertürk in Mutuş, 2026; Perçin idr., 2025b) učinke pogosteje zaznajo. Vzorec torej ni protisloven, temveč nakazuje, da so pogoji – predvsem intenzivnost in časovna umestitev stimulacije glede na vadbo – najverjetneje pomembnejši od same prisotnosti ali odsotnosti taVNS.

Literatura

- Ackland, G. L., Patel, A. B. U., Miller, S., Gutierrez Del Arroyo, A., Thirugnanasambanthar, J., Ravindran, J. I., Schroth, J., Boot, J., Caton, L., Mein, C. A., Abbott, T. E. F., & Gourine, A. V. (2025). Non-invasive vagus nerve stimulation and exercise capacity in healthy volunteers: A randomized trial. *European Heart Journal*, 46(17), 1634–1644. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf037>
- Badran, B. W., Yu, A. B., Adair, D., Mappin, G., DeVries, W. H., Jenkins, D. D., George, M. S., & Bikson, M. (2019). Laboratory administration of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS): Technique, targeting, and considerations. *Journal of Visualized Experiments*, 143, e58984. <https://doi.org/10.3791/58984>
- Bergant, M. (2026). Vpliv aurikularne stimulacije vagusa na srčno-žilni in dihalni odziv na zmerno-intenzivno dvostopenjsko aerobno vadbo [Diplomsko delo, Zdravstvena fakulteta, Univerza v Ljubljani]. Repozitorij Univerze v Ljubljani. <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=243065&lang=slv>
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(5), 377–381.
- Butt, M. F., Albusoda, A., Farmer, A. D., & Aziz, Q. (2020). The anatomical basis for transcutaneous auricular vagus nerve stimulation. *Journal of Anatomy*, 236(4), 588–611. <https://doi.org/10.1111/joa.13122>
- Clancy, J. A., Mary, D. A., Witte, K. K., Greenwood, J. P., Deuchars, S. A., & Deuchars, J. (2014). Non-invasive vagus nerve stimulation in healthy humans reduces sympathetic nerve activity. *Brain Stimulation*, 7(6), 871–877. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.07.031>
- Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Snader, C. E., & Lauer, M. S. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *The New England Journal of Medicine*, 341(18), 1351–1357. <https://doi.org/10.1056/NEJM199910283411804>
- de Souza, P. M., Rosário, N. S. A., de Castro Pinto, K. M., Assunção, P. E., de Oliveira, F. L. P., Bearzoti, E., & Souza, G. G. L. (2020). Vagal flexibility during exercise: Impact of training, stress, anthropometric measures, and gender. *Rehabilitation Research and Practice*, 2020, 6387839. <https://doi.org/10.1155/2020/6387839>
- Ertürk, Ç., & Mutuş, R. (2026). Post-exercise auricular vagus nerve stimulation modulates autonomic and recovery responses in physically inactive young adults: A randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 16, Article 47143. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-47143-z>
- Hatik, S. H., Arslan, M., Demirbilek, Ö., & Özden, A. V. (2023). The effect of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation on cycling ergometry and recovery in healthy young individuals. *Brain and Behavior*, 13(12), e3332. <https://doi.org/10.1002/brb3.3332>
- Hilz, M. J. (2022). Transcutaneous vagus nerve stimulation: A brief introduction and overview. *Autonomic Neuroscience*, 243, 103038. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2022.103038>
- Kim, A. Y., Marduy, A., de Melo, P. S., Gianlorenco, A. C., Kim, C. K., Choi, H., Song, J. J., & Fregni, F. (2022). Safety of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS): A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 12, 22055. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25864-1>
- Ma, L., Wang, H. B., & Hashimoto, K. (2025). The vagus nerve: An old but new player in brain–body communication. *Brain, Behavior, and Immunity*, 124, 28–39. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39566667/>

- Murray, A. R., Atkinson, L., Mahadi, M. K., Deuchars, S. A., & Deuchars, J. (2016). The strange case of the ear and the heart: The auricular vagus nerve and its influence on cardiac control. *Autonomic Neuroscience*, 199, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.06.004>
- Passi, T., Närviäinen, J., Lukander, K., Laarni, J., Lindholm, M., Pettersson, K., Mauno, S., & Pakarinen, S. (2026). The effect of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation on vigilance, cognition, and mood during military exercise with acute sleep deprivation. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 11, Article 730. <https://doi.org/10.1186/s41235-026-00730-0>
- Patel, A. B. U., Weber, V., Gourine, A. V., & Ackland, G. L. (2021). The potential for autonomic neuromodulation to reduce perioperative complications and pain: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 128(1), 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.08.037>
- Perçin, A., Ozden, A. V., Yenisehir, S., & Pehlivanoglu, B. E. (2025a). Does baseline autonomic nervous system activity affect the outcomes of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation? *Archives of Medical Research*, 57(3), 103324. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2025.103324>
- Perçin, A., Özden, A. V., Yenişehir, S., & Albayrak, H. E. (2025b). Autonomic effects of transcutaneous auricular vagus and trigeminal nerve stimulation: A randomized, sham-controlled, and single-blind study. *Neuromodulation*, 29(4), 588–596. <https://doi.org/10.1016/j.neurom.2025.09.312>
- Pernigoni, M., Alfieri, A. O., Kniubaitė, A., Kamandulis, S., Conte, D., & Lukonaitienė, I. (2025). The power of belief: Investigating the placebo effect in post-exercise recovery strategies for football players. *Healthcare*, 14(1), 4. <https://doi.org/10.3390/healthcare14010004>
- Van Midden, V., Simončič, U., Pirtošek, Z., & Kojović, M. (2024). The effect of taVNS at 25 Hz and 100 Hz on Parkinson's disease gait: A randomized motion sensor study. *Movement Disorders*, 39(8), 1375–1385. <https://doi.org/10.1002/mds.29826>
- Wang, Y., Li, S. Y., Wang, D., Wu, M. Z., He, J. K., Zhang, J. L., Zhao, B., Hou, L. W., Wang, J. Y., Wang, L., Wang, Y. F., Zhang, Y., Zhang, Z. X., & Rong, P. J. (2021). Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation: From concept to application. *Neuroscience Bulletin*, 37(6), 853–862. <https://doi.org/10.1007/s12264-020-00619-y>
- Wolf, V., Kühnel, A., Teckentrup, V., Koenig, J., & Kroemer, N. B. (2021). Does transcutaneous auricular vagus nerve stimulation affect vagally mediated heart rate variability? A living and interactive Bayesian meta-analysis. *Psychophysiology*, 58(11), e13933. <https://doi.org/10.1111/psyp.13933>
- Yokota, H., Edama, M., Hirabayashi, R., Sekine, C., Otsuru, N., Saito, K., Kojima, S., Miyaguchi, S., & Onishi, H. (2022). Effects of stimulus frequency, intensity, and sex on the autonomic response to transcutaneous vagus nerve stimulation. *Brain Sciences*, 12(8), 1038. <https://doi.org/10.3390/brainsci12081038>
- Yoshida, Y., Okayama, S., Fujihara, D., Taniyama, M., Yamada, A., Fukui, M., Doi, N., Takahashi, R., Tanabe, A., Ogaki, S., Hattori, S., Iwai, A., Nakamura, M., Doi, N., & Saito, Y. (2025). Effects of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation on hemodynamics and autonomic function during exercise stress tests in healthy volunteers. *Circulation Reports*, 7(5), 315–322. <https://doi.org/10.1253/circrep.CR-24-0136>

Fiziološki odziv na telesno vadbo v pogojih nižje telesne temperature

PUŠ A

PREGLED LITERATURE IN PRIPRAVA RAZISKAVE

Raziskave na živalskih modelih kažejo, da stimulacija vagusnega živca lahko pomembno vpliva na termoregulacijo (Larsen idr., 2017; Chang, 2019). Pri podganah je bilo dokazano, da vagusna stimulacija povzroči znižanje temperature jedra in možganov, pri čemer je bil hipotermični odziv povezan tudi s periferno vazodilatacijo in povečanim oddajanjem toplote (Larsen idr., 2017). Čeprav primerljiv učinek transkutane aurikularne stimulacije vagusnega živca (taVNS) na telesno temperaturo pri človeku še ni jasno dokazan (Chang, 2019), taVNS predstavlja zanimiv in neinvaziven pristop za raziskovanje spremenjene termoregulacije. V okviru raziskav o vplivu telesne temperature na fiziološki odziv na telesno vadbo bomo zato poleg učinkov pasivnega gretja preučili tudi vpliv taVNS. Pasivno gretje bo uporabljeno kot model povečanja toplotne obremenitve, medtem ko bomo s taVNS raziskali možnost nasprotnega, potencialno hipotermičnega oziroma termoregulacijskega učinka. S primerjavo fizioloških odzivov na vadbo po obeh intervencijah bomo lahko ocenili, v kolikšni meri spremembe telesne temperature vplivajo na srčno-žilni, presnovni in termoregulacijski odziv na telesno vadbo.

taVNS je neinvazivna metoda draženja kože zunanjega ušesa, kjer aurikularna veja vagusnega živca (ABVN) poteka tik pod kožo in je dostopna od zunaj (Murray idr., 2016; Butt idr., 2020). Z blagimi električnimi impulzi lahko prek tega predela aktiviramo aferentna vlakna vagusa, kar lahko okrepi parasimpatično in zavre simpatično aktivnost (Hilz, 2022; Clancy idr., 2014). V zadnjih letih taVNS vse pogostejše preučujejo kot orodje za izboljšanje avtonomne regulacije, okrevanja po vadbi in telesne zmogljivosti, vendar so izsledki o njenem učinku med samo telesno obremenitvijo še vedno razmeroma redki in neenotni.

Zanimanje za to temo poganja tudi dejstvo, da hitrost okrevanja srčne frekvence po vadbi (HRR1) velja za enega od uveljavljenih pokazateljev delovanja vagusa in splošne telesne pripravljenosti, povezanega tudi s tveganjem za srčno-žilne dogodke (Cole idr., 1999).

Metode, ki jih bomo uporabili

V raziskavo bo vključenih 12 zdravih preiskovancev, starih od 20 do 25 let. V navzkrižnem protokolu bodo ob dveh ločenih obiskih opravili dvostopenjsko aerobno obremenitev na sobnem kolesu: 7-minutno obremenitev pri 40 % $\dot{V}O_{2\text{maks}}$, ki ji je sledila 7-minutna obremenitev pri 60 % $\dot{V}O_{2\text{maks}}$, meritve pa so se nadaljevale še v 10-minutnem obdobju okrevanja. Ob enem obisku bodo preiskovanci med celotnim protokolom prejeli taVNS, ob drugem pa ne, vrstni red obeh pogojev pa je bil naključen.

Za stimulacijo bomo uporabili elektrode Nemos®, nameščene na levo uho – stimulacija na levi strani velja za varnejšo izbiro glede tveganja za motnje srčnega ritma (Badran idr., 2019). Parametre stimulacije (frekvenca 100 Hz, širina impulza 300 μ s, 30-sekundni ON-OFF vlaki) bomo povzeli po raziskavi Van Midden in sodelavcev (2024). Jakost toka bo za vsakega preiskovanca določena individualno s postopkom titracije: jakost smo počasi zviševali, dokler oseba ni zaznala rahlega mravljinčenja (senzorični prag), nato pa smo se ustavili tik pod jakostjo, ki bi povzročila neprijeten občutek (prag bolečine).

Obremenitev bomo izvajali na sobnem kolesu, povezanim s presnovnim analizatorjem, s katerim so po metodi diha za dihom spremljali ventilacijo, porabo kisika in nastajanje ogljikovega dioksida ter iz teh vrednosti izračunali respiratorni količnik. Srčno frekvenco bomo spremljali s prsnim trakom s senzorjem na razteg, arterijski krvni tlak pa z brahialno manšeto, povezano z istim merilnim sistemom. Po vsaki stopnji obremenitve

bodo preiskovanci ocenili subjektivno zaznavo napora po Borgovi lestvici (Borg, 1982), po vadbi pa so izmerili tudi hitrost okrevanja srčne frekvence v prvi minuti (HRR1).

Podatke bomo statistično obdelali z dvofaktorsko analizo variance za ponovljene meritve (stimulacija × faza obremenitve) z Bonferronijevo korekcijo za naknadne primerjave; za primerjavo HRR1 med pogojem bomo uporabili parni t-test, za Borgovo lestvico pa zaradi njene ordinalne narave Wilcoxonov test.

Neželeni učinki taVNS so v literaturi praviloma blagi in lokalni – draženje kože ali mravljinčenje na mestu stimulacije – resnejši zapleti pa niso pogosti (Kim idr., 2022); kljub temu ostajajo izzivi, povezani z individualno variabilnostjo odziva in pomanjkanjem standardiziranih protokolov (Ma idr., 2025).

Literatura

- Ackland, G. L., Patel, A. B. U., Miller, S., Gutierrez Del Arroyo, A., Thirugnanasambanthar, J., Ravindran, J. I., Schroth, J., Boot, J., Caton, L., Mein, C. A., Abbott, T. E. F., & Gourine, A. V. (2025). Non-invasive vagus nerve stimulation and exercise capacity in healthy volunteers: A randomized trial. *European Heart Journal*, 46(17), 1634–1644. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf037>
- Badran, B. W., Yu, A. B., Adair, D., Mappin, G., DeVries, W. H., Jenkins, D. D., George, M. S., & Bikson, M. (2019). Laboratory administration of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS): Technique, targeting, and considerations. *Journal of Visualized Experiments*, 143, e58984. <https://doi.org/10.3791/58984>
- Bergant, M. (2026). Vpliv aurikularne stimulacije vagusa na srčno-žilni in dihalni odziv na zmerno-intenzivno dvostopenjsko aerobno vadbo [Diplomsko delo, Zdravstvena fakulteta, Univerza v Ljubljani]. Repozitorij Univerze v Ljubljani. <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=243065&lang=slv>
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(5), 377–381.
- Butt, M. F., Albusoda, A., Farmer, A. D., & Aziz, Q. (2020). The anatomical basis for transcutaneous auricular vagus nerve stimulation. *Journal of Anatomy*, 236(4), 588–611. <https://doi.org/10.1111/joa.13122>
- Chang RB. Body thermal responses and the vagus nerve. *Neurosci Lett*. 2019 Apr 17;698:209-216. doi: 10.1016/j.neulet.2019.01.013. Epub 2019 Jan 8. PMID: 30634012; PMCID: PMC7061531. Clancy, J. A., Mary, D. A., Witte, K. K., Greenwood, J. P., Deuchars, S. A., & Deuchars, J. (2014). Non-invasive vagus nerve stimulation in healthy humans reduces sympathetic nerve activity. *Brain Stimulation*, 7(6), 871–877. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.07.031>
- Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Snader, C. E., & Lauer, M. S. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *The New England Journal of Medicine*, 341(18), 1351–1357. <https://doi.org/10.1056/NEJM199910283411804>
- de Souza, P. M., Rosário, N. S. A., de Castro Pinto, K. M., Assunção, P. E., de Oliveira, F. L. P., Bearzoti, E., & Souza, G. G. L. (2020). Vagal flexibility during exercise: Impact of training, stress, anthropometric measures, and gender. *Rehabilitation Research and Practice*, 2020, 6387839. <https://doi.org/10.1155/2020/6387839>
- Ertürk, Ç., & Mutuş, R. (2026). Post-exercise auricular vagus nerve stimulation modulates autonomic and recovery responses in physically inactive young adults: A randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 16, Article 47143. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-47143-z>
- Hatik, S. H., Arslan, M., Demirbilek, Ö., & Özden, A. V. (2023). The effect of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation on cycling ergometry and recovery in healthy young individuals. *Brain and Behavior*, 13(12), e3332. <https://doi.org/10.1002/brb3.3332>
- Hilz, M. J. (2022). Transcutaneous vagus nerve stimulation: A brief introduction and overview. *Autonomic Neuroscience*, 243, 103038. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2022.103038>
- Kim, A. Y., Marduy, A., de Melo, P. S., Gianlorenco, A. C., Kim, C. K., Choi, H., Song, J. J., & Fregni, F. (2022). Safety of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS): A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 12, 22055. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25864-1>
- Larsen LE, Lysebettens WV, Germonpré C, Carrette S, Daelemans S, Sprengers M, Thyron L, Wadman WJ, Carrette E, Delbeke J, Boon P, Vonck K, Raedt R. Clinical Vagus Nerve Stimulation Paradigms Induce Pronounced Brain

and Body Hypothermia in Rats. *Int J Neural Syst.* 2017 Aug;27(5):1750016. doi: 10.1142/S0129065717500162. Epub 2016 Dec 22. PMID: 28178853. Ma, L., Wang, H. B., & Hashimoto, K. (2025). The vagus nerve: An old but new player in brain–body communication. *Brain, Behavior, and Immunity*, 124, 28–39. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39566667/>

- Murray, A. R., Atkinson, L., Mahadi, M. K., Deuchars, S. A., & Deuchars, J. (2016). The strange case of the ear and the heart: The auricular vagus nerve and its influence on cardiac control. *Autonomic Neuroscience*, 199, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.06.004>
- Passi, T., Närväinen, J., Lukander, K., Laarni, J., Lindholm, M., Pettersson, K., Mauno, S., & Pakarinen, S. (2026). The effect of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation on vigilance, cognition, and mood during military exercise with acute sleep deprivation. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 11, Article 730. <https://doi.org/10.1186/s41235-026-00730-0>
- Patel, A. B. U., Weber, V., Gourine, A. V., & Ackland, G. L. (2021). The potential for autonomic neuromodulation to reduce perioperative complications and pain: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 128(1), 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.08.037>
- Perçin, A., Ozden, A. V., Yenisehir, S., & Pehlivanoglu, B. E. (2025a). Does baseline autonomic nervous system activity affect the outcomes of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation? *Archives of Medical Research*, 57(3), 103324. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2025.103324>
- Perçin, A., Özden, A. V., Yenişehir, S., & Albayrak, H. E. (2025b). Autonomic effects of transcutaneous auricular vagus and trigeminal nerve stimulation: A randomized, sham-controlled, and single-blind study. *Neuromodulation*, 29(4), 588–596. <https://doi.org/10.1016/j.neurom.2025.09.312>
- Pernigoni, M., Alfieri, A. O., Kniubaitė, A., Kamandulis, S., Conte, D., & Lukonaitienė, I. (2025). The power of belief: Investigating the placebo effect in post-exercise recovery strategies for football players. *Healthcare*, 14(1), 4. <https://doi.org/10.3390/healthcare14010004>
- Van Midden, V., Simončič, U., Pirtošek, Z., & Kojović, M. (2024). The effect of taVNS at 25 Hz and 100 Hz on Parkinson's disease gait: A randomized motion sensor study. *Movement Disorders*, 39(8), 1375–1385. <https://doi.org/10.1002/mds.29826>
- Wang, Y., Li, S. Y., Wang, D., Wu, M. Z., He, J. K., Zhang, J. L., Zhao, B., Hou, L. W., Wang, J. Y., Wang, L., Wang, Y. F., Zhang, Y., Zhang, Z. X., & Rong, P. J. (2021). Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation: From concept to application. *Neuroscience Bulletin*, 37(6), 853–862. <https://doi.org/10.1007/s12264-020-00619-y>
- Wolf, V., Kühnel, A., Teckentrup, V., Koenig, J., & Kroemer, N. B. (2021). Does transcutaneous auricular vagus nerve stimulation affect vagally mediated heart rate variability? A living and interactive Bayesian meta-analysis. *Psychophysiology*, 58(11), e13933. <https://doi.org/10.1111/psyp.13933>
- Yokota, H., Edama, M., Hirabayashi, R., Sekine, C., Otsuru, N., Saito, K., Kojima, S., Miyaguchi, S., & Onishi, H. (2022). Effects of stimulus frequency, intensity, and sex on the autonomic response to transcutaneous vagus nerve stimulation. *Brain Sciences*, 12(8), 1038. <https://doi.org/10.3390/brainsci12081038>
- Yoshida, Y., Okayama, S., Fujihara, D., Taniyama, M., Yamada, A., Fukui, M., Doi, N., Takahashi, R., Tanabe, A., Ogaki, S., Hattori, S., Iwai, A., Nakamura, M., Doi, N., & Saito, Y. (2025). Effects of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation on hemodynamics and autonomic function during exercise stress tests in healthy volunteers. *Circulation Reports*, 7(5), 315–322. <https://doi.org/10.1253/circrep.CR-24-0136>