

Vpliv lokalne vibracije zapestja na prekrvljenost kože, kožno oksigenacijo in lokalno hitrost prevajanja živčnega impulza pri mladih zdravih ljudeh

Local vibration of the wrist affects arm skin blood flow, skin oxygenation and local nerve conductance in young healthy people

Jan Grum¹, Nejka Potočnik²

IZVLEČEK

Uvod: Ena od možnosti za preprečevanje težav zaradi prisilne lege roke pri uporabi računalniške miške je uporaba lokalne vibracije zapestja. Proučevali smo vpliv vibracij na kazalnike prekrvljenosti in oksigenacije kože ter na prevodnost motorične veje medianega živca. **Metode:** Vključili smo 18 zdravih mladih preiskovancev. Med delom z računalniško miško smo vibrirali delovno roko pod zapestjem ter med vibracijami spremljali kožni pretok krvi na vibrirani in kontrolni roki ter kožno temperaturo in oksigenacijo kože na vibrirani roki proksimalno in distalno od zapestja. Pred vibracijami in po koncu smo izmerili hitrost prevajanja po motorični veji medialnega živca. **Rezultati:** Kožni pretok krvi na podlakti kontrolne roke se je med vibracijo statistično pomembno povečal ($7,76 \pm 0,73$ v mirovanju, $9,29 \pm 0,9$ in $9,69 \pm 1,04$ med vibracijo s frekvenco 64Hz ter 82Hz; vse v perfuzijskih enotah). Oksigenacija kože se je statistično pomembno povečala tako distalno kot proksimalno od mesta vibracij in čas potovanja dražljaja po medianem živcu se je skrajšal, a ne statistično značilno. **Zaključek:** Vibracija zapestja med uporabo računalniške miške poveča kožni pretok krvi in žilno prevodnost na kontrolni roki ter oksigenacijo kože vibrirne roke tako distalno kot proksimalno od mesta vibracije.

Ključne besede: lokalna vibracija, kožni pretok krvi, žilna prevodnost, oksigenacija kože, sindrom zapestnega prehoda.

ABSTRACT

Background: A promising tool to minimize the effect of computer mouse work on carpal tunnel symptoms development is local vibration. We investigated the effect of local vibration of the wrist on cutaneous perfusion and oxygenation as well as on motor nerve conductance of the median nerve in healthy adults. **Methods:** In 18 young healthy subjects, during computer mouse work, skin blood flow was assessed in vibrated working arm and compared to the control, non-vibrated arm. Skin temperature and tissue oxygenation distally and proximally to the wrist as well as motor nerve conductance of the median nerve of vibrated arm before and after the vibration session were additionally measured. **Results:** Skin blood flow increased significantly in the forearm of the control arm (7.76 ± 0.73 at rest, 9.29 ± 0.9 and 9.69 ± 1.04 during vibration of two vibration frequencies, values in perfusion units). Tissue oxygenation increased significantly distally as well as proximally to the vibrated site. Motor nerve conduction increased after vibrations, however, not significantly. **Conclusion:** Local vibration increased skin blood flow in the control arm and tissue oxygenation both, distally and proximally to the vibration site on the vibrated arm.

Key words: local vibration, skin blood flow, vascular conductance, cutaneous oxygenation, carpal tunnel syndrome.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

² Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Inštitut za fiziologijo, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: doc. dr. Nejka Potočnik, dr. med.; e-pošta: nejka.potocnik@mf.uni-lj.si

Prispelo: 3.11.2022

Sprejeto: 25.11.2022

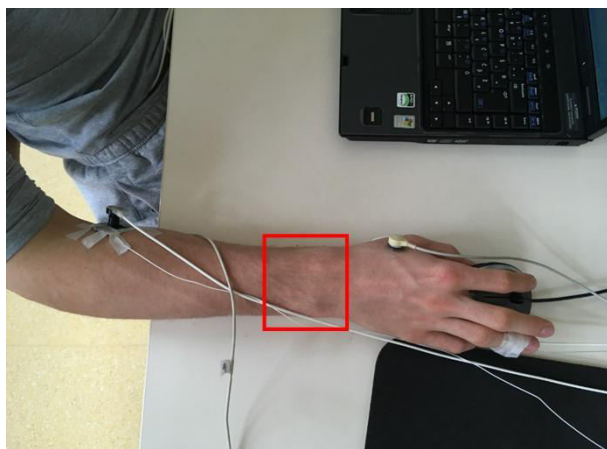
UVOD

Naše telo je nenehno podvrženo vibracijam, ki jih sprejema iz okolice, na primer ob uporabi industrijskih strojev ali prevoznih sredstev. Vibracije so lahko sistemske ali lokalne, pri katerih vibracijam izpostavimo le del telesa, na primer ud. Lokalne vibracije sprožijo tkivni odziv, kot je povečana prekrvljenost vibriranega tkiva (1-4) ali pa, predvsem kadar gre za kronične vibracije določenih frekvenc in amplitud, tudi vnetni odgovor (5). Pozitivne učinke vibracij lahko izkoriščamo v terapevtske namene (3, 6).

Lokalne vibracije se terapevtsko uporabljajo med drugim tudi za odpravljanje sprememb, ki so povezane s sindromom zapestnega prehoda. Ta se večinoma pojavlja pri ljudeh, ki pri delu uporabljajo prisilno držo roke, še zlasti z dorzalno fleksijo v zapestju, na primer pri delu z računalniško miško.

Pripomočki za samomasažo so v zadnjem času zelo priljubljeni, eden izmed njih je pripomoček za lokalno mehansko vibracijo, ki ga namestimo med uporabo miške pod zapestje (slika 1). Deluje pri dveh frekvencah: 64 Hz in 82 Hz z amplitudo 0,006 mm.

Lokalna mehanska vibracija ima tako lokalni kot sistemski vpliv na telo. Lokalno spremeni oksigenacijo in prekrvljenost vibriranega tkiva, tkivno temperaturo in hitrosti prevajanja po živcih, ki so v vibriranem predelu. Pri sistemskem odzivu lahko opazimo spremembe arterijskega krvnega



Slika 1: Namestitve senzorjev na delovno roko, ki dela z računalniško miško, z rdečim okvirjem je nakazano mesto lokalne vibracije.

tlaka, frekvence srčnega utripa in vpliva na metabolizem, torej na porabo kisika in na nastajanje ogljikovega dioksida.

Namen naše raziskave je bil ugotoviti, kako kratkotrajna lokalna vibracija zapestja pri delu z računalniško miško vpliva na lokalne in sistemske fiziološke parametre pri mladih zdravih preiskovancih. Ob akutnem vibriranju roke v dorzofleksiji smo merili spremembo temperature, prekrvljenosti in oksigenacije kože vibriranega dela ter spremembo hitrosti prevajanja živčnega signala po motorični veji medianega živca. Spremljali smo tudi arterijski krvni tlak in prekrvljenost kontrolne roke, da bi ugotovili, če lokalna uporaba sproži tudi sistemski odgovor telesa.

METODE

Raziskavo je odobrila Komisija za medicinsko etiko Republike Slovenije (odobritev št. 0120-241/2019/8 z dne 8. 7. 2019). V raziskavo smo vključili 18 zdravih preiskovancev, starih od 18 do 30 let, ki niso poročali o prisotnosti nevroloških ali drugih resnih sistemskih boleznih. Preiskovanci so se za sodelovanje v raziskavi odločili prostovoljno. Izbrali smo jih naključno med prijatelji in študenti, ki so izpolnjevali pogoje raziskave. Od vseh smo pridobili pisno soglasje o sodelovanju v raziskavi in jih seznanili, da sodelujejo prostovoljno in imajo zato možnost brezpogojne enostranske prekinitve sodelovanja. Pred začetkom raziskave smo vse preiskovance seznanili z namenom in potekom preiskave.

Pri raziskavi smo uporabljali vibracijsko podlogo za zapestje, ki omogoča vibracije z dvema frekvencama, in sicer 64 Hz in 82 Hz. Napravo smo postavili na mizo, potem pa nanjo položili roko preiskovanca tako, da je njegova podlaket počivala na napravi. Z roko je preiskovanec držal računalniško miško in tako vzdrževal dorzofleksijo roke, ki je znašala približno 15°.

Kožni pretok in temperaturo smo merili hkrati, saj smo imeli senzorje na isti sondi. Za merjenje pretoka smo uporabljali laser-doplersko metodo (PeriFlux System 5000: PF 5001 main control unit, PF 2010 LDPM in PF 2020 Temp Unit, Perimed, Stockholm, Švedska). Tako izmerjeni kožni pretok (LDP – laser-doplerski pretok) smo predstavili v perfuzijskih enotah (PU), kožno temperaturo (Tk)

pa v °C. Žilno prevodnost (CVC – cutaneous vascular conductance) smo izračunali kot razmerje med kožnim pretokom in srednjim arterijskim krvnim tlakom (SAKT) (Finapres 2300, Ohmeda, ZDA) ter izrazili v PU/mmHg.

Oksigenacijo tkiva smo spremljali z merjenjem prekokožnega tlaka kisika ($tcpO_2$ – transcutaneous partial O_2 pressure) (TCM30, Kobenhavn, Danska) na notranjem delu podlakti ter na dlani vibrirane roke in jo izrazili v mmHg.

Z metodo EMG (Lab Tutor, eEMG, AdInstruments, USA) smo merili prevodnost živca n. medianus, ki smo ga električno dražili na podlakti, in sicer od 2 do 4 cm nad zapestjem nad potekom živca ter spremljali premik eminence tenarja.

Vsi preiskovanci so na meritve prihajali dopoldne, prosili smo jih, da 2 uri pred meritvami niso pili kave, čaja in alkohola ter niso kadili. Po prihodu v laboratorij so 30 minut počivali, da so se umirili. Med tem smo jim namestili merilne senzorje. Merilni protokol je bil sestavljen iz treh korakov po 5 minut: 1. mirovanje (PRED), 2. vibracija z nižjo frekvenco (64Hz) in 3. vibracija z višjo frekvenco (82Hz). Med vibriranjem zapestja so preiskovanci uporabljali računalniško miško za igranje spletne igrice. Pred prvim korakom in po koncu vibracij smo preiskovancem izmerili hitrost prevajanja električnega signala po motorični veji medialnega živca. Pred in med vibracijami smo spremljali LDP, Tk in $tcpO_2$ distalno (na prstu oziroma dlani) ter proksimalno (na podlakti delovne roke) od mesta vibracij. Za spremljanje systemskega odgovora smo merili LDP tudi na prstu in notranji strani podlakti kontrolne roke ter SAKT.

Podatke s senzorjev smo snemali hkrati s sistemom DATAQ (DATAQ instruments Inc., DI-720 series, Ohio, ZDA) s frekvenco zajema 500 Hz in jih analizirali s spremljajočo programsko opremo. Za vrednosti LDP, Tk, $tcpO_2$ in SAKT smo vzeli povprečje v zadnjih treh minutah posameznega koraka merilnega protokola. Vse izmerjene in analizirane vrednosti so predstavljene kot povprečne vrednosti s standardnim odklikom.

Normalnost porazdelitve podatkov smo preverili v programu Sigma Stat (version 2.03) s Shapiro-Wilkovim testom in jih v istem programu tudi

statistično obdelali. Določanje statistično značilnih razlik med posameznimi fazami smo dokazovali z uporabo faktorjske ANOVE za ponovljene meritve. V primeru značilne skupne razlike smo statistično značilnost med posameznimi pari meritev ovrednotili s parnim t-testom in uporabili Bonferronijevo korekcijo.

REZULTATI

V raziskavi je sodelovalo 18 preiskovancev (9 žensk in 9 moških), starih povprečno 22,5 (3,5) leta z indeksom telesne mase 23,0 (2,7) kg/m^2 . Pred začetkom raziskave smo vse preiskovance seznanili z namenom in potekom preiskave.

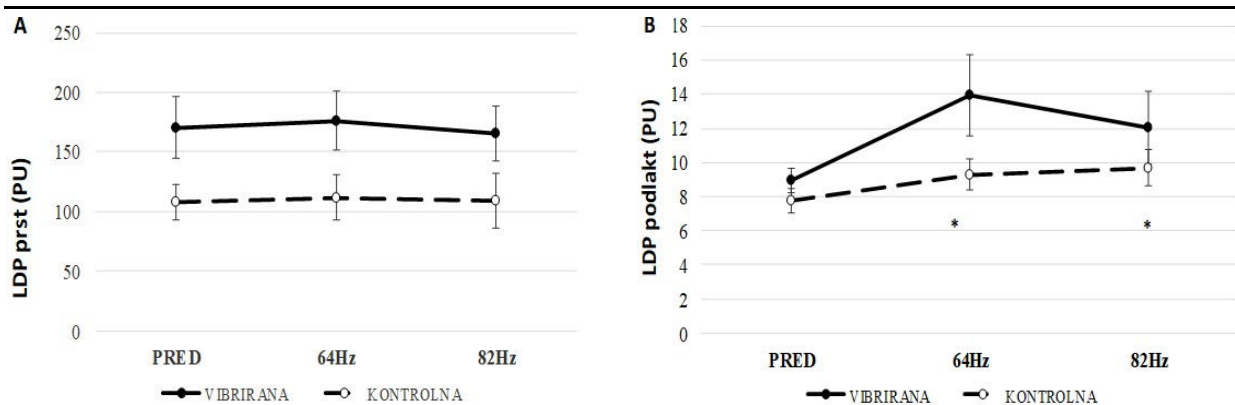
Kot je prikazano na sliki 2A, je bil kožni pretok krvi na blazinici prsta kontrolne roke po prvem intervalu 107,84 (15,2) PU, na vibrirani roki pa je bil večji, in sicer 170,48 (25,86) PU. Po drugem intervalu je bil kožni pretok na kontrolni roki 111,84 (18,68) PU, na vibrirani pa 176,26 (25,11) PU. Po zadnjem intervalu je bil kožni pretok na kontrolni roki 109,09 (23,04) PU, na vibrirani pa 165,6 (23,12) PU, značilnih razlik glede na vibracije ni bilo.

Slika 2B prikazuje kožni pretok krvi na podlahti, ki je v mirovanju znašal 7,76 (0,73) PU na kontrolni roki, na vibrirani roki pa 8,99 (0,71) PU. Pri nižji frekvenci vibracij se je kožni pretok na podlakti kontrolne roke statistično pomembno zvišal na 9,29 (0,9) PU ($p = 0,002$), na vibrirani roki pa se je povečal na 13,96 (2,39) PU, vendar ne statistično značilno. Pri višji vibracijski frekvenci se je kožni pretok na kontrolni roki še dodatno zvišal na 9,69 (1,04) PU ($p = 0,004$), kar je bilo še vedno statistično značilno glede na stanje pred uporabo vibracij, na vibrirani pa se je glede na nižjo frekvenco vibracij znižal na 12,01 (2,14) PU, vrednost ni bila statistično pomembno višji kot pred vibracijami.

Kot vidimo na sliki 3, pri spremembi v temperaturi kože ni prišlo do statistično pomembnih sprememb niti distalno niti proksimalno od mesta vibracij.

Srednji arterijski krvni tlak se med protokolom ni statistično pomembno spreminjal, kot kaže slika 4.

Slika 5 prikazuje kožno žilno prevodnost med poskusom. Kot je razvidno iz slike 5A, statistično pomembnih razlik v žilni prevodnosti na blazinici



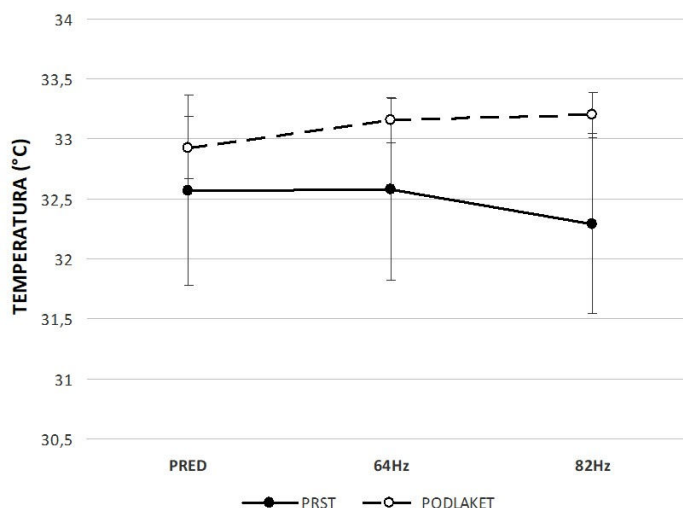
Slika 2: Spremembe v kožnem pretoku krvi na blazinici prsta (A) ter na podlakti (B) vibrirane in kontrolne roke pred uporabo lokalne vibracije (PRED), med uporabo pri nižji vibracijski frekvenci (64 Hz) in med uporabo pri višji vibracijski frekvenci (82 Hz). * predstavlja statistično pomembno razliko med vibracijami obeh frekvenc glede na PRED na kontrolni roki.

prsta ni bilo, opazne pa so bile značilne spremembe v žilni prevodnosti obeh podlakti, slika 5B. Žilna prevodnost na podlakti kontrolne roke je pred začetkom vibracij znašala 0,09 (0,04) PU/mmHg, na vibrirani roki pa 0,09 (0,03) PU/mmHg. Med vibracijami nižje frekvence se je prevodnost podlakti kontrolne roke statistično pomembno povečala ($p = 0,002$), na vibrirani roki pa je bila na pragu statistično pomembne razlike ($p = 0,05$) (slika 4B). Tudi med vibracijami višje frekvence je bila statistično pomembna razlika na kontrolni roki ($p = 0,004$), ne pa na vibrirani roki (slika 5B).

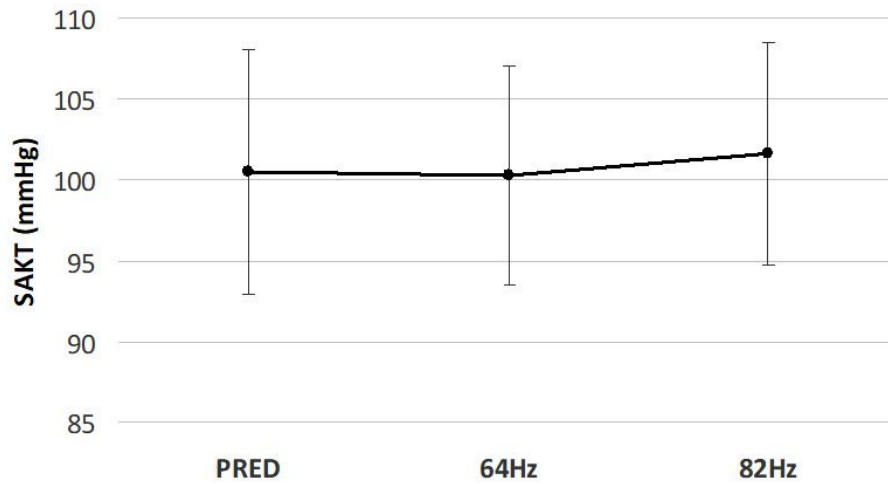
Oksigenacija kože tako distalno kot proksimalno od mesta vibracije se je statistično pomembno

spremenila. Kot je razvidno iz slike 6, je tcpO2 distalno od vibracijske naprave pred vibracijo znašal 41,2 (2,1) mmHg, proksimalno pa 39,5 (3,7) mmHg. Pri vibraciji z nižjo frekvenco je tcpO2 statistično pomembno narasel tako distalno ($p = 0,004$) kot tudi proksimalno ($p = 0,005$) od mesta vibracij, enako tudi pri višji frekvenci vibracij ($p = 0,003$ distalno in $p = 0,002$ proksimalno od mesta vibracij (slika 6A in B).

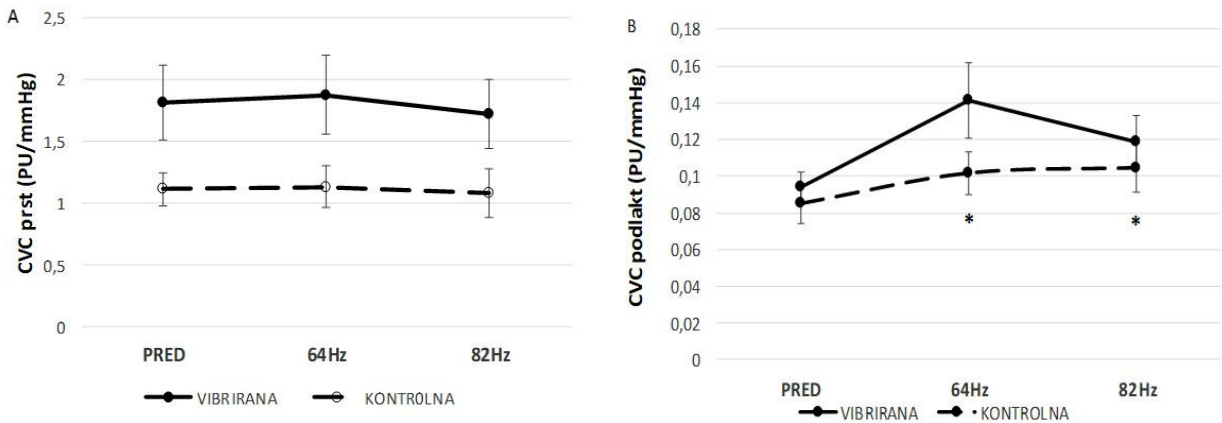
Čas prevajanja živčnega signala po motorični veji medianega živca se je skrajšal po končanem vibracijskem protokolu glede na kontrolno vrednost pred vibracijami ($p = 0,08$) (slika 7), a ne statistično pomembno.



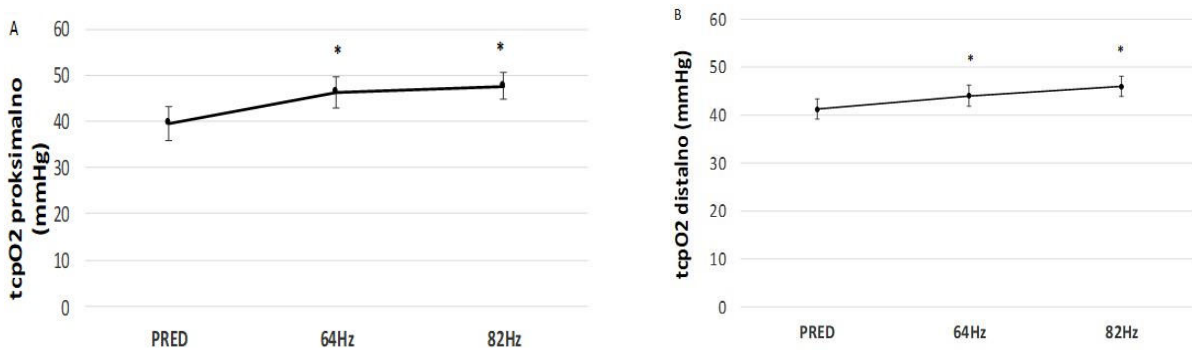
Slika 3: Spremembe v temperaturi kože na prstu in na podlakti vibrirane roke pred uporabo lokalne vibracije (PRED), med uporabo pri nižji vibracijski frekvenci (64 Hz) in med uporabo pri višji vibracijski frekvenci (82 Hz).



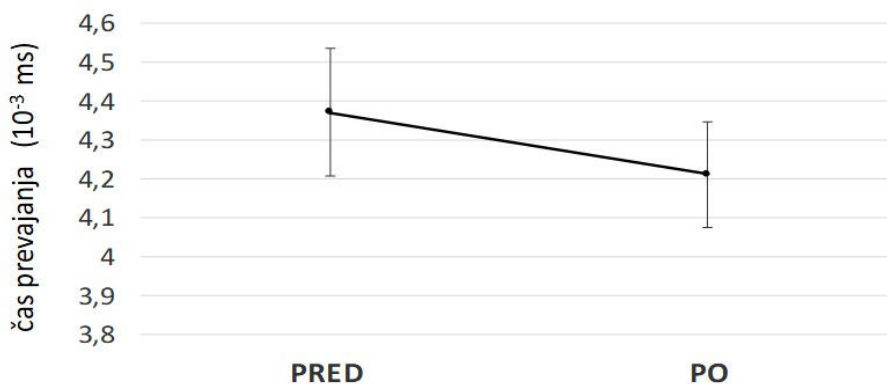
Slika 4: Spremembe v srednjem arterijskem krvnem tlaku (mmHg) pred uporabo lokalne vibracije (PRED), med uporabo pri nižji vibracijski frekvenci (64 Hz) in med uporabo pri višji vibracijski frekvenci (82 Hz); SAKT – srednji arterijski krvni tlak.



Slika 5: Spremembe v kožni žilni prevodnosti (CVC) na prstu (A) in na podlakti (B) delovne in kontrolne roke pred uporabo lokalne vibracije (PRED), med uporabo pri nižji vibracijski frekvenci (64 Hz) in med uporabo pri višji vibracijski frekvenci (82 Hz). * predstavlja statistično pomembno razliko med vibriranjem s 64 Hz ($p = 0,002$) in z 82 Hz ($p = 0,004$) glede na PRED na kontrolni roki.



Slika 6: Spremembe v oksigenaciji tkiva na vibrirani roki próksimalno (A) in distalno (B) od mesta vibracij pred uporabo lokalne vibracije (PRED), med uporabo pri nižji vibracijski frekvenci (64 Hz) in med uporabo pri višji vibracijski frekvenci (82 Hz). * predstavlja statistično pomembno razliko med vibracijami obeh frekvenc glede na PRED ($p < 0,01$).



Slika 7: Čas prevajanja živčnega signala od električnega draženja motorične veje medianega živca do premika eminence tenarja na vibrirani roki pred uporabo lokalne vibracije (PRED) in po njej (PO)

RAZPRAVA

Z raziskavo smo želeli ugotoviti, kako lokalna vibracija zapestja delovne roke med delom z računalniško miško vpliva na fiziološke kazalnike prekrvljenosti vibrirane in kontrolne roke ter na prevajanje po motorični veji n. medianusa. Glavne ugotovitve so, da se je tako kožni krvni pretok na podlakti vibrirane roke, kot tudi tisti na podlakti kontrolne roke povečal, vendar samo na kontrolni statistično pomembno. Prav tako se je statistično značilno povečala kožna žilna prevodnost na kontrolni roki, pa tudi na vibrirani, a ne statistično značilno. Oksigenacija kože na vibrirani roki se je statistično značilno izboljšala pri obeh frekvencah vibracij tako distalno kot proksimalno od mesta vibracij. Čas prevajanja po motorični veji n. medianusa je bil po koncu vibracij krajši kot pred njimi, a ne statistično pomembno. Fiziološki odzivi se med višjo in nižjo frekvenco vibracij niso značilno razlikovali.

Raziskava nam je dala nekaj pomembnih ugotovitev:

1. Lokalna vibracija nima le lokalnega, temveč tudi sistemski vpliv na pretok krvi v neakralni koži.
2. Lokalna vibracija roke izboljša oksigenacijo kože tako distalno kot proksimalno od vibriranega mesta.
3. Pri zdravih preiskovancih lokalna vibracija zapestja povzroči tendenco k hitrejšemu prevajanju živčnega signala po motorični veji n. medianusa, sprememba pa ni bila statistično pomembna ($p = 0,08$).

Rezultati naše raziskave potrjujejo vpliv lokalnih vibracij na prekrvljenost in lokalno živčno funkcijo tako kot druge dosedanje raziskave, ki so bile

opravljene večinoma na živalih (7-9) in le redko na ljudeh (6). Na živalskih modelih je bilo ugotovljeno izboljšanje okvarjenih živčnih pletežev (7), boljše celjenje ran pri miših s sladkorno boleznijo tipa 2 (9) in nespremenjen odziv velikih arterij v repu podgan (8) ob uporabi lokalnih vibracij. Pri ljudeh poročajo o izboljšanju simptomov multiple skleroze (6) in o izboljšanju prekrvljenosti podplata po uporabi lokalnih vibracij (10). Po drugi strani raziskave govorijo o negativnem vplivu lokalnih vibracij na kožni pretok na rokah, vendar vedno v povezavi z uporabo izometrične sile pri delu s težkimi vibajočimi orodji (11, 12). Vibracije celega telesa dokazano izboljšajo prekrvljenost kože v času vibracij neodvisno od frekvence vibracij (13).

Spremembe v kožnem pretoku distalno in proksimalno od mesta vibracij

To, da se kožni pretok distalno od mesta vibracij, torej na prstih rok, ni spremenil zaradi lokalne vibracije (slika 2A), utemeljujemo s tem, da je mikrožilje akralne kože anatomsko drugačno in tudi drugače oživčeno kot neakralna koža (14). V akralni koži so namreč prisotne arterio-venske anastomoze, skozi katere v termonevtralnem okolju teče večina krvi zaradi vzdrževanja konstantne telesne temperature, le manjši del krvi pa teče skozi kapilare, ki skrbijo za prehrano in oksigenacijo kože (14). Merjenje pretoka krvi v koži z laser-dopplersko metodo omogoča, da izmerimo celoten pretok krvi v kožo, ne moremo pa ločiti obeh prispevkov, toka skozi arterio-venske anastomoze in skozi prehranske kapilare. Ker je v termonevtralnih razmerah pretok krvi skozi arterio-venske anastomoze prevladujoč, lahko sklepamo, da lokalne vibracije ne spremenijo pretoka krvi

skozi arterio-venske anastomoze, temveč le tok krvi skozi prehranske kapilare, česar z uporabo laser-dopplerske metode ne moremo ločiti. To, da se kljub nespremenjenemu kožnemu pretoku distalno od mesta vibracij poveča oksigenacija kože (slika 6A), pa je verjetno posledica vpliva lokalnih vibracij na prehranske kapilare.

Neakralna koža, torej koža na podlakti proksimalno od mesta vibracij, ne vsebuje arterio-venskih anastomoz (14), temveč le kapilarne pleteže. Ker se je oksigenacija tega dela kože med vibracijami povečala (slika 6B), lahko sklepamo, da lokalne vibracije izboljšajo kapilarni pretok na tem delu kože. Rezultati naše raziskave kažejo, da se je pretok krvi na podlakti vibrirane roke med vibriranjem sicer povečal, vendar ne statistično pomembno (slika 2B). Povečanje ni bilo statistično pomembno zaradi velikega standardnega odklona pri meritvah LDP med vibracijami (slika 2B), kar je verjetno posledica vpliva stalnega premikanja laserske sonde zaradi vibracij. Merjenje LDP je na premike zelo občutljivo (2, 15), vendar zaradi merilnega protokola teh vibracijskih vplivov na izmerke nismo mogli izključiti. Da se kožni pretok na podlakti vibrirane roke vendarle pomembno poveča, lahko sklepamo iz povečane oksigenacije tega dela kože. O mehanizmu povečanega pretoka zaradi lokalne vibracije lahko na podlagi rezultatov naših meritev samo sklepamo. Lahko bi šlo za metabolni, miogeni ali živčni mehanizem regulacije kožnega krvnega pretoka. Metabolni mehanizem lahko izključimo, saj je ob vibracijah malo verjetno, da se spremenijo energetske potrebe vibriranega tkiva, kar deloma potrjuje tudi nespremenjena temperatura na mestih merjenja kožnega pretoka krvi, kar smo izmerili v naši raziskavi (slika 3). Tzen in sodelavci (16) so poročali o miogenem mehanizmu, ki naj bi bil odgovoren za povečanje kožnega pretoka krvi pri vibraciji celega telesa, kar so ugotovili z spektralno analizo kožnega krvnega pretoka. Nadaljnje analize naših podatkov bi bile potrebne, da bi ta mehanizem potrdili tudi kot pomemben pri odzivu na lokalne vibracije. Statistično povečan kožni krvni pretok v neakralni koži kontrolne roke je nedvomno posledica nevrogene regulacije kožnega pretoka.

Do zdaj po naši vednosti še nobena raziskava ni spremljala kožne oksigenacije v povezavi z lokalnimi vibracijami. Na podlagi teh rezultatov

lahko priporočamo uporabo lokalnih vibracij za izboljšanje celjenja ran (opekline, omrzline, diabetične rane, ulkusi). Nekatere raziskave ugotavljajo izboljšanje celjenje ran ob redni uporabi lokalnih vibracij in to pojasnjujejo s povečanim nastajanjem novih kapilar (angiogenezo) v povezavi z redno uporabo vibracij (17).

Kožna žilna prevodnost, to je razmerje med kožnim pretokom krvi in srednjim arterijskim tlakom, se z lokalnimi vibracijami spreminja enako kot kožni pretok krvi (sliki 5A in B), saj se srednji arterijski tlak med vibracijami ni spreminjal (slika 4).

Rezultati naše raziskave kažejo, da ima lokalna vibracija ene roke pomembne systemske učinke, saj smo ugotovili tudi povečan kožni pretok na neakralni koži kontralateralne roke (sliki 2B, 5B). Da lokalne spremembe v koži povzročijo tudi systemski odziv, je znano že dolgo (18). Vazokonstrikcija ob lokalnem hlajenju roke povzroči tudi vazokonstrikcijo kontrolne roke. Systemski odziv posreduje vegetativni živčni sistem, zlasti simpatik, ki se aktivira ali inhibira ob lokalnih spremembah. Raziskav, v katerih bi ocenjevali systemski odziv na lokalno vibracijo, nismo našli.

Presenetil nas je rezultat naše raziskave, da se je LDP statistično pomembno povečal le na kontrolni, ne pa tudi na vibrirani roki. Povprečne vrednosti LDP (slika 2B) so se sicer na vibrirani roki povečale celo bolj kot na kontrolni, vendar je bila razpršenost rezultatov na vibrirani roki precej večja kot na kontrolni in posledično se statistična značilnost ni izkazala. Velik merilni odklon LDP na vibrirani roki je verjetno posledica napake merjenja, saj je laserska sonda izredno občutljiva na premike, kot je opisano zgoraj.

Temperatura kože

V naši raziskavi nismo ugotovili statistično pomembnih sprememb v temperaturi kože vibrirane roke zaradi vibracij (slika 3), saj gre za pasivne in ne za aktivne premike dela telesa. Kožna temperatura in prekrvljenost kože sta namreč soodvisni. Lokalno spremenjena kožna temperatura povzroči spremembe v prekrvljenosti kože. Povečanje kožnega pretoka ob sočasnem povečanju kožne temperature bi tako pomenilo, da je povečanje LDP posledica lokalne temperaturne

spremembe in ne nujno vibracij. Ti rezultati sovpadajo z rezultati Tzena in sodelavcev, ki niso zaznali sprememb kožne temperature ob uporabi vibracij celega telesa (16).

Spremembe v hitrosti prevajanje motorične veje n. medianusa

Kot je razvidno iz slike 7, v naši raziskavi nismo izmerili statistično pomembnih sprememb v prevodnosti živca vibrirane roke, nakazala pa se je tendenca k hitrejšemu prevajanju. Najverjetneje do razlik ni prišlo, ker smo delali na mladih, zdravih preiskovancih, ki imajo že sicer dobro prevodnost živca n. medianus. Večina raziskav o vplivu vibracij na lokalno živčno funkcijo je bila opravljena na poškodovanih živcih ali živčnih pletežih. Tako sta bila ugotovljena pospešena reparacija brahialnega pleteža na miših (7) in izboljšanje simptomov multiple skleroze pri ljudeh (19).

Naša raziskava je po naši vednosti prva, ki ugotavlja pozitivne učinke vibracije zapestja delovne roke na prekrvljenost in oksigenacijo kože ter potencialne učinke na lokalno prevajanje živčnega impulza. Ugotovitve naše raziskave kažejo, da bi bilo smiselno uporabljati tak vibracijski pripomoček, saj bi lahko pripomogel k preprečevanju nastanka patologij, povezanih z dolgotrajnim prisilnim položajem roke. Da bi to potrdili, so potrebne nadaljnje raziskave, v katerih bi bili udeleženi preiskovanci, pri katerih se že izražajo omenjene težave. Prav tako bi bilo zanimivo spremljati učinke dolgotrajne uporabe vibracij pri delavcih, ki pri svojem delu redno uporabljajo računalniško miško. Ker glede na naše raziskave lokalne vibracije izboljšajo oksigenacijo kože, je to metodo smiselno uporabljati tudi za zdravljenje kroničnih ran, pri čemer pa bi mehanski premiki lahko ovirali celjenje. Tudi v tem primeru bi bilo treba izvesti dodatne raziskave.

ZAKLJUČEK

V raziskavi smo proučevali vpliv lokalne mehanske vibracije med uporabo računalniške miške, ko je zapestje v dorzofleksiji, na prekrvljenost kože vibrirane in kontrolne roke ter na hitrost prevajanja živčnega impulza po motorični veji medianega živca na zdravih mladih ljudeh. Ugotovili smo, da se na vibrirani roki poveča oksigenacija tkiva tako distalno kot proksimalno od mesta vibracije. Na podlakti kontrolne roke se povečata kožni pretok

krvi in kožna žilna prevodnost. Kožni pretok krvi in kožna žilna prevodnost se povečata tudi na podlakti vibrirane roke, a ne statistično pomembno, kar je najverjetneje posledica merilne metode, saj je laser-dopplersko merjenje občutljivo na premike. Lokalna vibracija ima poleg vplivov na prekrvljenost kože vibrirane roke torej tudi sistemske učinke. Lokalna vibracija poveča tudi hitrost prevajanja po motorični veji medianega živca, a ne statistično pomembno.

Naša raziskava ima tudi omejitve. Opazovali smo namreč samo učinke med vibracijo, ne pa tudi po njej. Posebej zanimivo bi bilo ugotoviti, koliko časa po prenehanju vibriranja se omenjeni koristni učinki ohranijo. Raziskava je bila opravljena na mladih zdravih ljudeh, z normalno žilno in živčno funkcijo. Teh rezultatov zato ne moremo brezpogojno prenesti na bolnike z žilnimi ali živčnimi spremembami kot na primer pri bolnikih s SZP, diabetikih in bolnikih z multiplo sklerozo.

LITERATURA

1. Tzen YT, Weinheimer-Haus EM, Corbiere TF, Koh TJ (2018). Increased skin blood flow during low intensity vibration in human participants: Analysis of control mechanisms using short-time Fourier transform. *PLoS One* 13(7): 1–16.
2. Maloney-Hinds C, Petrofsky JS, Zimmerman G (2008). The effect of 30 Hz vs. 50 Hz passive vibration and duration of vibration on skin blood flow in the arm. *Med Sci Monit* 14(3): 112–116.
3. Maloney-Hinds C, Petrofsky JS, Zimmerman G, Hessinger DA (2009). The role of nitric oxide in skin blood flow increases due to vibration in healthy adults and adults with type 2 diabetes. *Diabetes Technol Ther* 11(1): 39–43.
4. Ren W, Pu F, Luan H, Duan Y, Su H, Fan Y (2019). Effects of Local Vibration With Different Intermittent Durations on Skin Blood Flow Responses in Diabetic People. *Front Bioeng Biotechnol* 7: 1–8.
5. Pacurari M, Waugh S, Krajnak K (2019). Acute Vibration Induces Peripheral Nerve Sensitization in a Rat Tail Model: Possible Role of Oxidative Stress and Inflammation. *Neuroscience* 398: 263–72.
6. Saggini R, Ancona E (2017). The applied mechanical vibration as whole-body and focal vibration. In: Saggini R, ed. *The mechanical vibration: therapeutic effects and application*. Sharjah, UAE: Bentham Science Publishers, 25–88.
7. Mei RJ, Xu YY, Li Q (2010). Experimental study on mechanical vibration massage for treatment of

- brachial plexus injury in rats. *J Tradit Chinese Med* 30(3): 190–5.
8. Krajnak KM, Waugh S, Johnson C, Roger Miller G, Xu X, Warren C (2013). The effects of impact vibration on peripheral blood vessels and nerves. *Ind Health* 51(6): 572–80.
 9. Weinheimer-Haus EM, Judex S, Ennis WJ, Koh TJ (2014). Low-intensity vibration improves angiogenesis and wound healing in diabetic mice. *PLoS One* 9(3): 1–8.
 10. Zhu T, Wang Y, Wang X, Liao F, Liu Y, Jan YK (2020). Effect of Local Vibrations on Plantar Skin Blood Flow Responses During Weight-bearing Standing in Healthy Volunteers. *Wound Manag Prev* 66(8): 7–14.
 11. Bovenzi M, Griffin MJ, Ruffell CM (1995). Vascular responses to acute vibration in the fingers of normal subjects. *Cent Eur J Public Health* 3 (Suppl 1): 15–8.
 12. Arneklo-Nobin B, Johansen K, Sjoberg T (1987). The objective diagnosis of vibration-induced vascular injury. *Scand J Work Environ Health* 13(4): 337–42.
 13. Lohman EB, Petrofsky JS, Maloney-Hinds C, Betts-Schwab H, Thorpe D (2007). The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Med Sci Monit* 13(2): CR71–6.
 14. Potočnik N, Lenasi H (2016). The responses of glabrous and nonglabrous skin microcirculation to graded dynamic exercise and its recovery. *Clin Hemorheol Microcirc* 64(1): 65–75.
 15. Obeid AN, Barnett NJ, Dougherty G, Ward G (1990). A critical review of laser Doppler flowmetry. *J Med Eng Technol* 14(5): 178–81.
 16. Or M, Kimmel E (2009). Modeling linear vibration of cell nucleus in low intensity ultrasound field. *Ultrasound Med Biol* 35(6): 1015–25. /
 17. Cankar K, FINDERLE Ž, ŠTRUCL M (2000). Gender differences in cutaneous laser doppler flow response to local direct and contralateral cooling. *J Vasc Res* 37(3): 183–8.
 18. Zhang Y, Xu P, Deng Y, Duan W, Cui J, Ni C (2022). Effects of vibration training on motor and non-motor symptoms for patients with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Front Aging Neurosci* 14: 1–20.