

Tartu Ülikool
Sotsiaalteaduste valdkond
Psühholoogia instituut

Märten Aardevälja
Töömälu sooritus ja selle mõjutamine haptilise stimulatsiooniga
Uurimistö

Juhendajad: Kairi Kreegipuu, Kadi Tulver

Läbiv pealkiri: Töömälu ja haptiline stimulatsioon

Tartu 2022

Lühikokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida haptilise stimulatsiooni mõju töömälule. Haptilise stimulatsiooni võimalikke kasutusvaldkondade on vähe uuritud, kuid puuetundlikkuse abil info saamine ja edastamine ümbruskonna kohta, õppimise jaoks ja kognitiivsete funktsioonide parandamiseks võib olla üks läbimurdeid inimkonna tehnoloogilisel arengul. Uuriti 60 uuringus osalenu katseisiku töömälu mahtu mõõtvaid ülesannete sooritust ning selle erinevust kontrolltingimuses ning tingimuses, kus haptiline randmeseade edastas elektrilist stiimulit. Eksperimentaaltingimuses oli tähtede järjestuse meenutamise sooritus statistiliselt oluliselt parem, kuid 2-tagasi ülesande soorituses haptilise stiimuli peamõju ei esinenud. Haptilise stimulatsiooni kasutamine töömälu soorituse parandamisel vajab edasist uurimist, kuid käesoleva töö tulemused kinnitavad selle potentsiaali.

Märksõnad: haptiline stimulatsioon, töömälu, töömälu sooritus, tähelepanu

Abstract

The purpose of the present study was to research how haptic stimulation affects working memory. Possible uses of haptic stimulation has little existing research, although using haptic signals to send and receive information about the environment, to learn and improve cognitive function could be one of the breakthroughs in the technological advancement of mankind. 60 participants' performance and their differences between control and experimental conditions, in which a haptic wrist device produced electric stimuli. Recall of the order of letters was statistically significantly improved in the experimental condition but the main effect of haptic stimuli did not emerge in a 2-back task. Usage of haptic stimuli in improving working memory performance requires further research, although present results confirm its potential.

Key words: haptic stimulation, working memory, working memory performance, attention

Töömälu sooritus ja selle mõjutamine haptilise stimulatsiooniga

Sissejuhatus

Haptika

Puuetundlikkus ja informatsiooni saamine haptilisel teel on inimeste igapäevaelu osa. Loomulikult teel suhestutakse objektidega neid katsudes, et uurida nende erinevaid omadusi. Ka tehnoloogia arendamisel on võetud kasutusele haptilisel teel edastatavaid signaale, nagu näiteks telefoni vibreerimine sõnumi saamisel. Wang ja kolleegid (2019) toovad välja erinevaid võimalusi, kuidas haptilist kanalit kasutades saab inimeste elu parandada. Võimalikud kasutusvaldkonnad sisaldavad vigastustest, nagu ajukahjustus, taastumist; vaimsete häirete, nagu aktiivsus- ja tähelepanuhäire, sümptomite leevendamist; aga ka käelise koordineerimise paranemist ning näiteks autojuhtimisel reaktsiooniaja lühendamist (Wang et al, 2019). Arengud haptilise süsteemi laialdasemaks kasutamiseks toimuvad aktiivselt. Näiteks uurisid Park ja Cha (2019), kuidas muuta haptilisi signaale edastavad seadmed efektiivsemaks ja edastatavaid signaale loomulikumaks (Park & Cha, 2019). Haptilisel teel edastatavate signaalide üheks eeliseks on see, et need ei hõiva nägemist ja kuulmist ning seega ei pea segama keskendumist primaarsetele ülesannetele.

Mitmekülgsed kasutusvõimalused annavad võimalusi mitmekülgseteks rakendusteks. Haptilised retseptorid on nahal üle keha, mistõttu on avanenud erinevaid metodoloogiaid ja võimalusi haptilise stimulatsiooni kaudu tähelepanu ja kognitsiooni mõjutada (Wang et al, 2019). Wang ja kolleegid (2019) pakuvad välja, et haptilise stimulatsiooni kasutamise järgi võiks jaotada treeningülesanded kas aferentseteks või eferentseteks ning seejärel aferentsed omakorda kas passiivseks või aktiivseks. Eferentsete ülesannete sisuks on treeningul selgeks saamine, kuidas ja kui tugevalt oma lihaseid kasutada, võimalik, et ka teatud objekte manipuleerides, et ülesanne hästi välja tuleks (Wang et al 2019). Aktiivsete aferentsete ülesannete sisu seisneb keha liigutamises või sihtobjektidega kontakti loomises ning tegevuse käigus haptiliste signaalide eristamises (Wang et al, 2019). Passiivsete aferentsete ülesannete sisu seisneb rohkem haptiliste stiimulite tähelepanemises, tunnetamises ning üksteisega eristamises keha paigalolekus (Wang et al, 2019).

Haptilise stimulatsiooni kasutamisel on välja mõeldud erinevaid meetodeid ja võimalusi ning saadud positiivseid tulemusi, kuid eelnevatest uurimustest ei ole põhjapanevalt välja selgitatud haptilise stimulatsiooni täpseid mõjusid ning võimalikke kasutegureid. Seda, millised mõjud

on haptilisel stimulatsioonil lühiajaliselt tähelepanule, on uurinud Zhang ja kolleegid (2016). T.O.V.A (*Test of Variables of Attention*) abil näitasid nad, et pärast 16-minutilist haptilist stimulatsiooni käelabadele esines eksperimentaalgrupis kiirem reageerimisaeg ja väiksem vigade arv (Zhang et al, 2016).

Töömälu

Võimalik, et inimeste kognitiivset sooritust arigielus saab parandada läbi töömälu soorituse parandamise, kuna töömälu ülesannete sooritus ennustab hästi selliste erinevate kognitiivsete ülesannete sooritust, mida inimesed igapäevaselt rakendavad (Engle, 2002). Conway ja kolleegid (2005) defineerivad töömälu kui mitmekomponendilist süsteemi, mis vastutab aktiivse informatsiooni talletamise eest töötlemise käigus ja/või segajate olemasolul. Broadway ja Engle (2010) näevad seda kui süsteemi, kus saadakse keerulise kognitsiooni toetamiseks ligipääs eesmärgiga seotud informatsioonile.

Engle (2002) kirjeldab, et infot kordamata suudavad inimesed ajutiselt talletada informatsiooni umbes 20 sekundit. Ta näitab aga, et individuaalsed erinevused töömälu mahus muutuvad märgatavaks alles mitmenda ülesande jooksul, kui katseisikute töömälu juba eelnevalt hõivatud on olnud, mitte eelnevalt segamata olekus (Engle, 2002). Kuigi lühimälu mahtu mõistetakse kui piiratud arvu infokilde, mida lühiajaliselt suudetakse talletada, väidab Engle (2002), et töömälu mahu individuaalsetes erinevustes mängib olulist rolli lisaks ka see, kui efektiivselt suudab inimene kontrollida oma tähelepanu, et säilitada informatsiooni aktiivses olekus. Tema väitel sõltub töömälu maht paremast tähelepanu kontrollimise võimest, mitte suuremast mälumahust (Engle, 2002). Ka Broadway ja Engle (2010) toovad välja, et töömälu toimimises on tähelepanuprotsessid äärmiselt olulised.

Töömälu mõõtmiseks on erinevaid viise. Conway ja kolleegid (2005) toovad välja, et kolm populaarseimat töömälu mahu mõõtmise vahendit on loendamis-, operatsiooni- ja lugemismahu ülesanded, kuid mainivad ka tagurpidi-mahu ning n-tagasi ülesannet kui häid viise töömälu mahu mõõtmiseks. Jooksva mälumahu ülesanded, nagu näiteks n-tagasi ülesanded (Broadway & Engle, 2010; Conway et al, 2005), näitavad stabiilselt töömälu mahtu erinevates tingimustes (Broadway & Engle, 2010).

Töö eesmärk

Kuigi Zhang ja kolleegid (2016) on uurinud, kuidas mõjub haptiline stimulatsioon tähelepanule, pole piisavalt uuritud teiste kognitiivsete protsesside, nagu töömälu, võimalikku muutust haptilise stimulatsiooni tagajärjel. Käesoleva uurimistöö eesmärk on teha just seda, laiendades nii eksisteerivaid teadmisi haptilise stimulatsiooni mõjude kohta. Uurimisküsimuseks on seega, kuidas mõjutab haptiline stimulatsioon töömälu sooritust. Püstitati hüpotees, et haptilise stimulatsiooni mõju parandab töömälu sooritust. Antud hüpoteesile annab aluse Zhang ja kolleegide (2016) tulemus. Kuna Zhang kolleegidega (2016) suutsid haptilise stimulatsiooni ajal katseisikute tähelepanu tõsta ning on näidatud, et töömälu sõltub ka tähelepanust (Broadway & Engle, 2010; Engle, 2002), võib töömälu sooritus paraneda ka haptilise stimulatsiooni mõjul tähelepanule. Veel üks põhjendus, miks see nii võib olla, tuleb Jones'i ja kolleegide tööst (2011). Nemed on uurinud ajataju muutumist ja sellega seotud kognitiivse soorituse paranemist rütmiliselt esitatavate auditoorsete stiimulite tagajärjel (Jones et al, 2011). Seega võib mõjutada kognitiivseid protsesse ka haptiliselt esitatav rütmiline stimulatsioon läbi ajataju subjektiivse muutumise, kuigi ajataju muutumist haptilise stimulatsiooni tulemusel käesolevas uurimistöös ei uurita.

Väsimus ja ebamugavus võivad olla olulised töömälu mõjutajad. Näiteks võib väsimus kahandada töömälu mahtu (Clarkson et al, 2011). Samas olukorrast tingitud ebamugavus, mis võib haptiliste seadmete kandmisel tekkida, võib ülesandelt tähelepanu kõrvale juhtida. Seega oli käesoleva uurimistöö katsetes oluline koguda infot selle kohta, mis tasemel olid parasjagu katseisikute väsimus- ja ebamugavustunded. Engle (2002) näitab, et eelnevaid ülesandeid tehes võib töömälu maht proaktiivse sekkumise tõttu inimestel erineva kiirusega kahaneda, mistõttu on tarvis ka ülesannete järjekordi katse käigus muuta.

Meetod

Valim

Uuringus osales 60 täiskasvanut, kellest 41 olid naised ja 19 mehed. Katseisikute vanus oli vahemikus 18 ja 52 aastat ($M=29.2$, $SD=10.2$). Katseisikuks võeti inimesed, kes olid enda hinnangul hea tervise juures, sealhulgas ei olnud neil diagnoositud migreeni, epilepsiat, krampe, insulti, ajuverejooksu, kõrgvererõhutõbe, südamerikkeid ega psüühilisi häireid. Samuti ei tohtinud katseisikud katse eel olla tarvitanud ravimeid, erandiks rasestumisvastased pillid. Lisaks ei võetud katseisikuks naisi, kes olid lapseootel või oma rasedusestaatuses ebakindlad.

Protseduur

Katse sisuks oli erinevate ülesannete lahendamine. Ülesanded kategoriseeriti järgnevalt: tooni kestuse hindamise ülesanded (2 ülesannet), tähtede järjestuse meenutamine (2 ülesannet), reaktsiooniaja ülesanded (2 ülesannet), töömälu ülesanne ning tähelepanu ülesanne. Kokku võttis katses osalemine aega 2.5-3 tundi. Käesoleva uurimistöö raames vaadeldakse vaid töömälu ning tähtede järjestuse meenutamise ülesandeid, seega on just need detailsemalt kirjeldatud.

Töömälu ülesandeks oli 2-tagasi ülesanne, kus oli korraga ekraanil üks kaashäälik ühe sekundi jooksul, pärast mida oli 1,5-sekundiline paus, misjärel kuvati järgmine kaashäälik. Ülesandeks oli vajutada klaviatuuril paremat nooleklahvi, kui täht, mis ekraanil kuvatud oli, oli sama, mis üleelmine ning vasakut nooleklahvi, kui täht erines üleelmisest. Ülesanne ei oodanud katseisiku vastust, vaid liikus edasi täht sekundis.

Tähtede järjestuse meenutamise ülesannetes esitati ekraanile ühekaupa kaashäälikuid. Kaashäälikut kuvati ekraanil 1,25 sekundit ning paus kahe tähe vahel oli 0,5 sekundit. Esimeses ülesandes pidid katseisikud meenutama pärast esitust tähtede järjekorda õigetpidi, teises ülesandes aga tagurpidi, alustades viimasest esitatud tähest. Nende pakutud järjestust kuvati ekraanil ning soovi korral sai järjestust korrigeerida. Samuti ei olnud ajapiirangut järjekorra esitamise faasis. Mõlemas ülesandes alustati tasemega, kus esitati kolm järjestikust tähte. Iga taset esitati kaks korda. Kui katseisikud vastasid vähemalt ühel korral kahest tähtede järjekorra õigesti, liikus ülesanne edasi ja andis järjestuse, milles oli üks täht enam kui eelmisel tasemel. Enne järjestuse kuvamise alustamist tuli ekraanile kiri "x (näiteks: "3", "4", "5" jne) tähte." Ülesanne lõppes, kui kumbki antud tasemel esitatud järjestusest polnud õige.

Uuringu käigus täitsid kõik katseisikud nii eksperimentaal- kui ka kontrolltingimuse. Katseisikud jagati juhuslikult kahte gruppi, kus nad läbisid esmalt kas eksperimentaal- või kontrolltingimuse. Samuti oli ülesannetel kuus erinevat järjekorda. Igat järjekorda esitati katsete jooksul sama arv kordi. Üks katseisik läbis mõlemad katse tingimused sama ülesannete järjekorraga. Nii kontroll- kui eksperimentaaltingimuses kandsid katseisikud vasaku käe randme peal haptilist stimulatsiooni edastavat randmeseadet, mis kontrolltingimuses stimulatsiooni ei edastanud.

Sõltumatuks muutujaks antud uurimuses on haptiline stimulatsioon, mis eksisteerib vaid eksperimentaaltingimuses. Katse käigus kontrolliti katseruumis valgusastet ning tehnikat, millega katse läbi viidi, samuti sellega, kui privaatne oli katsekeskkond ülesannete ajal katseisikule. Kuna katses oli tasakaalus ülesannete järjekordade esinemine ning see, kas alustati kontroll- või eksperimentaaltingimusega, saab kontrolli all hoida järjekorra-, väsimus- ning õppimiseefekte. Pausi ajal kahe ülesandeseeria vahel küsiti ka taustandmeid, mille abil saab kontrollida, kas võimalik erisus tulemustes võib tekkida demograafilistest, käitumuslikest või tarbimisega seotud erinevustest katseisikute vahel. Sõltuvaks muutujaks antud katses on töömälu soorituse tase.

Haptiline randmeseade oli voolutugevusega 0,1mA ning maksimaalne väljundvool oli 4mA. Katse käigus kasutati tugevusi 0-150 volti ning igale katseisikule mõõdeti individuaalne lävi. Randmeseade edastas elektrilist impulssi 120Hz sagedusega 12 elektroodist, mis asetsesid üksteisega ühtlasel kaugusel ümber randme. Haptilist stimulatsiooni edastas seade ringjalt ümber käe, kuid sageduse tõttu voolu käe ümber vaheldumist tunda ei olnud. Monitor, millel ülesandeid kuvati, oli resolutsiooniga 1024x765 ning kaadrisagedusega 75Hz.

Esmalt allkirjastasid katseisikud informeeritud nõusoleku vormi. Seejärel kinnitati katseisiku käe peale haptiline randmeseade. Kui katseisik oli randmeseadme esmase stimulatsiooniga kohanenud, üritati leida sobiv tugevus katse läbiviimiseks. Selleks muudeti sammhaaval stimulatsiooni tugevust ning paluti katseisikul anda hinnang skaalal 0-3, kus 0 tähendas stimulatsiooni mitte tajumist, 1 kergest tajumist, 2 hästi tuntavat tajumist ning 3 ebamugavat või juba valulikku tajumist. Kui tegu oli eksperimentaaltingimusega, leiti üles vahemik 2.0-2.5, kus katseisik tajus stimulatsiooni tugevalt, kuid mitte ebamugavalt ning oli valmis selle stimulatsiooniga ülesandeseeriat läbima. Kontrolltingimuse puhul jäeti randmeseade subjektiivsele tugevusele 0 ning ka tegelikkuses ei edastanud see stimulatsiooni, kuid seadet ei lülitatud välja. Katseisikutele ei öeldud, et kell tegelikult stimulatsiooni ei edasta.

Enne katseruumi sisenemist paluti katseisikutel kõrvale panna käekell ja mobiiltelefon ning ette panna prillid või läätsed juhul, kui nad igapäevaselt neid kasutavad. Kui oldi katseruumi sisenetud, paluti katseisikul istet võtta. Mõõdeti, et silmad oleksid 80 cm kaugusel monitorist ning asetati neile sülle klaviatuur. Seejärel tutvustati katseisikutele ülesannete iseloomu ning nad said enne iga individuaalse ülesande algust ka uuesti juhiseid lugeda ning mõned harjutuskorrad läbida. Katseisikute vasak käsi, millel oli stimuleeriv randmeseade, oli katse käigus käetoetusel puhkeasendis. Katseisikutele pandi pähe välist heli summutavad kõrvaklapid. Öeldi, et soovitatav on need pähe jätta kogu seeria vältel. Katse ajaks jäeti katseisikud üksinda hämarasse katseruumi, vajadusel vastati katseisiku tekkinud küsimusele. Enne iga ülesande algust ja pärast viimase ülesande lõppu hindasid katseisikud, kui väsinud nad on skaalal 1-9 ning kui ebamugav neil on skaalal 1-9. Pärast mõlemat ülesandeseeria lõppu täitsid katseisikud ka toonikõrguste eristamise ülesande, mida antud uurimistöö raames ei käsitleta.

Pärast esimest ülesandeseeriat tulid katseisikud katseruumist välja ning tegid pausi. Pausi ajal ei võetud randmeseadet ära, kuid pärast eksperimentaaltingimust lülitati see pausi ajaks välja. Katseisikutel paluti sel ajal ära täita taustaküsimustik, mis koosnes demograafilistest küsimustest, nagu sugu, vanus ja haridus, tarbimiskäitumistest, nagu tubakatoodete, alkoholi, ergutavate jookide tarbimisest, ning üldisest käitumisest, nagu öise une kogus ja muusika või tantsimisega tegelemine. Enne teist ülesandeseeriat korraldati randmeseade stimulatsiooni tugevuse mõõtmist ning leiti sobiv tugevus järgmiseks ülesandeseeriaks. Teiseks seeriaks ettevalmistus käis samamoodi, ainult, et ei tutvustatud uuesti ülesannete sisu, vaid küsiti, kas esimesel korral oli kõik arusaadav ning ega küsimusi ülesannete kohta rohkem ei ole. Samuti küsiti ülesannete vahepeal ebamugavuse ning väsimuse kohta ja pärast ülesandeid tehti uuesti toonikõrguste eristamise ülesanne. Peale teist katseseeriat eemaldati katseisikutelt randmeseade. Selle tegevuse käigus küsiti ka kommentaare, väsimust ja kella tajumise kogemust. Katseisikute aega kompenseeriti kinkekaardiga, mille väärtus oli 10€.

Autori panus

Andmete kogumine toimus 2020. aasta sügisel, kus uurimistöö autor osales katses osalejate leidmisel ja viie katseisikuga katse läbiviimisel. Tema ülesanded olid peamiselt ülesannete sisu tutvustamine ning katseisiku katse käigu jälgimine teisest ruumist katseisiku ekraanil toimuva jälgimise näol lisaks paarile teisele ülesandele, mis käesoleva uurimistöö teemasse otseselt ei

puutu. Autor on tutvunud erialase teaduskirjandusega, teinud andmeanalüüsi ning kirjutanud uurimistöö.

Eetika

Antud uurimistöö läbiviimiseks oli kehtiv Eetikakomitee luba 301/T-10.

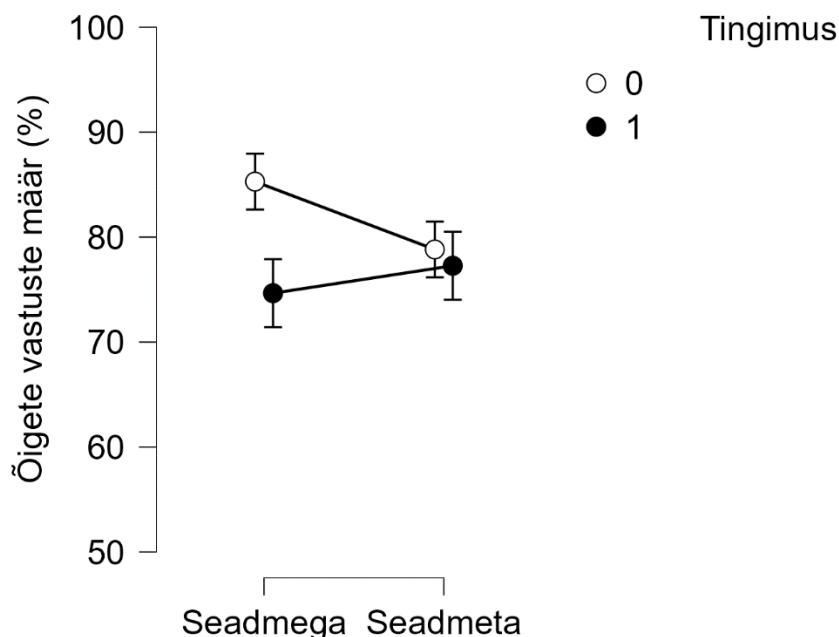
Statistiline analüüs

Statistiliseks analüüsiks kasutati JASP 0.16.0.0 versiooni. Esmalt kontrolliti andmete parameetrisust. Andmete parameetrisuse läveks valiti asümmetriakordaja ning järsakusaste väärtused -2 kuni 2. Kõikidel harjutustel olid tulemused nii seadmega kui seadmeta tingimusel parameetrilised. Asümmetriakordaja jäi vahemikku -1.71 kuni 1.01 ning järsakusaste vahemikku -0.61 kuni 1.92. Sooritati neli korduvmõõtmiste dispersioonanalüüsi – üks iga ülesande kohta, kus paarideks olid sama ülesande kontroll- ja eksperimentaaltingimus – mille abil üritati tuvastada, kas seadmega tehtud ülesannete sooritus erineb statistiliselt oluliselt seadmeta tehtud ülesannete sooritusest. Lisaks kahe tingimuse sooritustele lisati igasse korduvmõõtmiste dispersioonanalüüsi faktorina ka järjekorra (kas alustati kellaga või kellata tingimuses). Kahe kovariaadina sisestati subjektiivse ebamugavuse ja väsimuse hinnangu muutus seadmega tingimuses ülesande tegemisel. Ebamugavuse ja väsimuse kovariaadid saadi, lahutades seadmega tingimuse hinnangust seadmeta tingimuse hinnang pärast konkreetset ülesannet antud ebamugavuse või väsimuse hinnangust. Lisaks tehti korrelatsioonianalüüs, millega uuriti soorituste korrelatsiooni seadmeta ja seadmega tingimuse vahel samades ülesannetes. Analüüsides lähtuti 95% usalduspiiridest ning statistilise olulisuse nivoost $p < .05$.

Tulemused

2-tagasi ülesanne

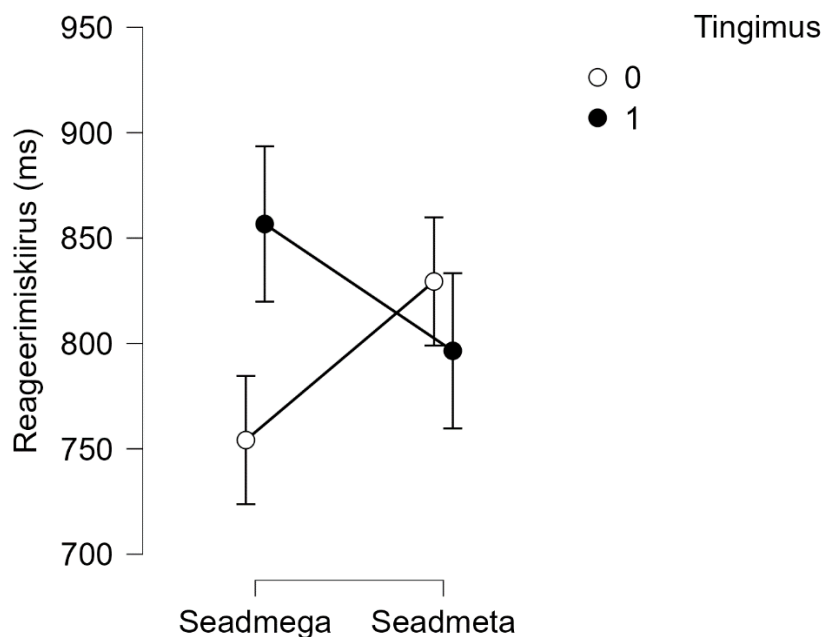
2-tagasi ülesandes jälgiti reaktsioonikiirust ning õigete vastuste osakaalu. Ilma seadmeta oli katseisikute õigete vastuste keskmine 76.87% (SD = 23.79) ning seadmega 79.97% (SD = 18.86). Korduvmõõtmiste dispersioonanalüüsiga leiti, et seadme kandmise peamõju ei ole statistiliselt oluline ($F(1, 54) = 0.87, p = 0.355, \eta^2 = .001$) õigete vastuste määra puhul. Järjekorra peamõju ei olnud samuti statistiliselt oluline ($F(1, 54) = .03, p = .864, \eta^2 < .001$). Statistiliselt oluline ei olnud ka ebamugavuse hinnangu peamõju ($F(1, 54) = 1.15, p = .7, \eta^2 = .002$). Selles analüüsis osutusid statistiliselt oluliseks väsimuse peamõju ($F(1, 54) = 4.2, p = .045, \eta^2 = .066$) ning seadme ja järjekorra koosmõju ($F(1, 54) = 10.96, p = .002, \eta^2 = .014$). Seadme ja järjekorra koosmõju puhul tuvastati Holmi post hoc testi abil statistiliselt oluline interaktsioon 0-tingimuses (katseisik alustas kontrolltingimuses) seadmega ja seadmeta soorituse vahel ($p = .009$). Ülejäänud väärtused jäid vahemikku $p = .595$ kuni $p = 1$. 2-tagasi ülesande tulemusi näeb joonistelt 1 ja 2.



Joonis 1. 2-tagasi ülesande õigete vastuste määr tingimuste kaupa. *Märkus:* 0 – tingimus, kus katseisikud alustasid kontrolltingimuses esimesena; 1 – tingimus, kus katseisikud alustasid eksperimentaaltingimuses esimesena.

Seadmeta oli reaktsiooniaja keskmine 811.24ms (SD = 179.39) ning seadmega 805.42ms (SD = 181.13). Reaktsioonikiiruse korduvmõõtmiste dispersioonanalüüsis ei leitud statistiliselt olulist seost seadme kandmise peamõju puhul ($F(1, 54) = .05, p = .82, \eta^2 < .001$). Statistilist

olulist ei leitud ka järjekorra ($F(1, 54) = .34, p = .56, \eta^2 = .005$), ebamugavuse ($F(1, 54) = 1.46, p = .232, \eta^2 = .022$) ega väsimuse ($F(1, 54) = .08, p = .781, \eta^2 = .001$) peamõjudes. Statistiliselt oluline seos esines seadme ja järjekorra koosmõju puhul ($F(1, 54) = 20.66, p < .001, \eta^2 = .043$). Holmi post hoc test näitas, et erinevus oli statistiliselt oluline kahes interaktsioonis: 0-tingimuses seadmega ja seadmeta soorituse vahel ($p = .003$) ning 1-tingimuses seadmeta ja seadmega soorituse vahel ($p = .016$). Ülejäänud väärtused jäid vahemikku $p = .147$ kuni $p = .971$. 2-tagasi ülesande tulemusi näeb joonistelt 1 ja 2.

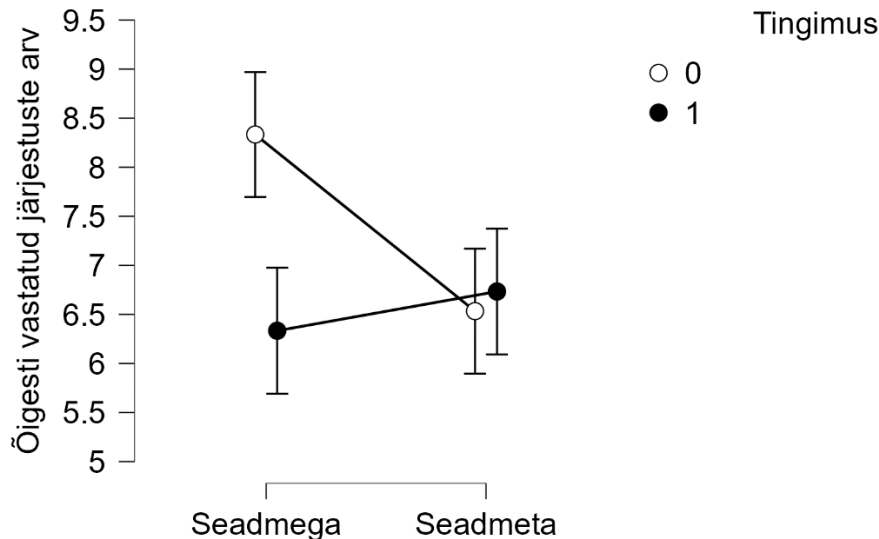


Joonis 2. 2-tagasi ülesande reageerimiskiirus tingimuste kaupa. Märkus: 0 – tingimus, kus katseisikud alustasid kontrolltingimuses esimesena; 1 – tingimus, kus katseisikud alustasid eksperimentaalingimuses esimesena.

Töömäluülesanded

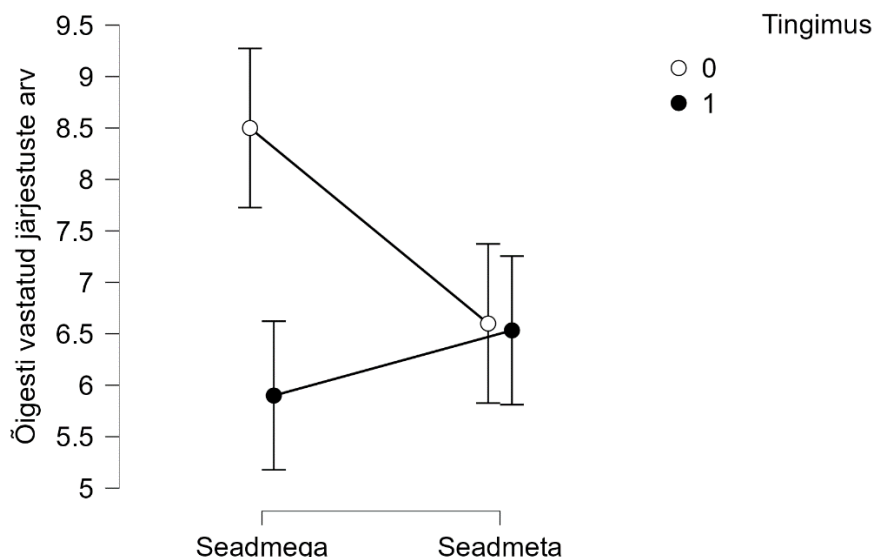
Tähtede järjestuse õigetpidi meenutamise ülesandes ilma seadmeta tingimuses oli keskmine õigesti vastatud järjestuste arv 6.63 ($SD = 2.81$), seadmega oli keskmine õigesti vastatud järjestuste arv 7.33 ($SD=3.3$). Seadme kandmise peamõju oli statistiliselt oluline ($F(1, 56) = 4.2, p = .045, \eta^2 = .011$). Järjekorra ($F(1, 56) = 1.51, p = .224, \eta^2 = .021$), ebamugavuse ($F(1, 56) = .95, p = .335, \eta^2 = .013$) ja väsimuse ($F(1, 56) = .01, p = .945, \eta^2 < .001$) peamõjud ei olnud statistiliselt olulised. Statistiliselt oluline oli seadme ja järjekorra koosmõju ($F(1, 56) = 11.01, p = .002, \eta^2 = .03$). Holmi post hoc test näitas, et statistiliselt oluline oli interaktsioon 0-tingimuses seadmeta ja seadmega soorituse vahel ($p = .001$). Ülejäänud väärtused jäid

vahemikku $p = .079$ kuni $p = 1$. Tähtede järjestuse õigetpidi meenutamise ülesande tulemused on joonisel 3.



Joonis 3. Tähtede järjestuse õigetpidi meenutamise ülesande tulemused tingimuste kaupa. *Märkus:* 0 – tingimus, kus katseisikud alustasid kontrolltingimuses esimesena; 1 – tingimus, kus katseisikud alustasid eksperimentaaltingimuses esimesena.

Tähtede järjestuse tagurpidi meenutamise ülesandes ilma seadmeta tingimuses oli keskmine õigesti vastatud järjestuste arv 6.57 (SD = 3.18), seadmega tingimuses oli keskmine õigesti vastatud järjestuste arv 7.2 (SD = 3.37). Seadme kandmise peamõju oli statistiliselt oluline ($F(1, 56) = 4.5, p = .038, \eta^2 = .014$). Järjekorra ($F(1, 56) = 3, p = .089, \eta^2 = .039$), ebamugavuse ($F(1, 56) = .88, p = .353, \eta^2 = .011$) ja väsimuse ($F(1, 56) = .02, p = .888, \eta^2 < .001$) peamõjud ei olnud statistiliselt olulised. Statistiliselt oluliseks osutus seadme kandmise ja järjekorra koosmõju ($F(1, 56) = 11.36, p = .001, \eta^2 = .036$). Holmi post hoc test tuvastas kaks statistiliselt olulist interaktsiooni: statistiliselt oluliselt erines 0-tingimuses seadmega ja seadmeta sooritus ($p = .003$) ning 0-tingimuses seadmega ja 1-tingimuses seadmega sooritus ($p = .015$). Ülejäänud väärtused jäid vahemikku $p = .099$ kuni $p = .957$. Tähtede järjestuse tagurpidi meenutamise ülesande tulemused on joonisel 4.



Joonis 4. Tähtede järjestuse tagurpidi meenutamise ülesande tulemused tingimuste kaupa. Märkus: 0 – tingimus, kus katseisikud alustasid kontrolltingimuses esimesena; 1 – tingimus, kus katseisikud alustasid eksperimentaaltingimuses esimesena.

Ülesannetevaheline korrelatsioon

Põhjusel, et kõik ülesanded mõõdavad mälu erinevaid funktsioone, tehti korrelatsioonianalüüs, et uurida seoseid ülesannete vahelise sooritusel erinevatel tingimustel. Esines keskmine kuni kõrge positiivne korrelatsioon ülesannete lahendamisel seadmeta ja seadmega tingimuse vahel ($r = .556$ kuni $r = .846$). Korrelatsioonimaatriks on tabelis 1.

Tabel 1. Korrelatsioonimaatriks ülesannete vahel.

Muutuja		2TA_0_Õ	2TA_0 RT	TMÕ_0	TMT_0
2TA_1_Õ	Pearson'i r	0.846 ***	-0.287 *	0.234	0.213
	p-väärtus	< .001	0.029	0.077	0.108
	Ülemine 95% usalduspiir	0.906	-0.031	0.464	0.447
	Alumine 95% usalduspiir	0.751	-0.508	-0.026	-0.048
2TA_1_RK	Pearson'i r	-0.158	0.692 ***	0.110	-0.030
	p-väärtus	0.237	< .001	0.410	0.820
	Ülemine 95% usalduspiir	0.105	0.806	0.358	0.230
	Alumine 95% usalduspiir	-0.400	0.528	-0.152	-0.287
TMÕ_1	Pearson'i r	0.334 **	-0.130	0.639 ***	0.504 ***
	p- väärtus	0.010	0.325	< .001	< .001
	Ülemine 95% usalduspiir	0.543	0.130	0.769	0.673
	Alumine 95% usalduspiir	0.085	-0.374	0.457	0.285
TMT_1	Pearson'i r	0.375 **	-0.193	0.476 ***	0.556 ***
	p- väärtus	0.003	0.142	< .001	< .001
	Ülemine 95% usalduspiir	0.575	0.066	0.653	0.711
	Alumine 95% usalduspiir	0.131	-0.428	0.251	0.349

Töömälu ja haptiline stimulatsioon

Märkus: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$; 2TA – 2-tagasi ülesanne, TMÕ – tähtede meenusus õigetpidi, TMT – tähtede meenusus tagurpidi, 0 – kontrolltingimus, 1-eksperimentaaltingimus.

Arutelu

Käesoleva uurimistöö eesmärk oli uurida haptilise stimulatsiooni mõju töömälule. Püstitati hüpoteesi, et haptiline stimulatsioon parandab töömälu sooritust. Hüpoteesi testiti kolme ülesande abil: tähtede järjestuse õiget- ja tagurpidi meenutamine ning 2-tagasi ülesanne, kus kasutati soorituse mõõtmiseks nii reaktsiooniaega kui õigete vastuste määra. 2-tagasi ülesandes ei tuvastatud kummagi mõõdikuga statistiliselt olulist seadme peamõju, kuid esines järjekorra koosmõju, kus katseisikute sooritus oli statistiliselt oluliselt parem, kui nad alustasid katset kontrolltingimuses. Mõlemas tähtede järjestuse meenutamise ülesandes osutus statistiliselt oluliselt paremaks tulemus seadme kandmisel ka peamõju näol. Ülesannetevahelised korrelatsioonid olid keskmiste kuni kõrgete positiivsete seostega.

Käesoleva uurimuse tulemused ei toeta otseselt Zhangi ja kolleegide (2016) tööd. Kuigi Zhangi ja kolleegide (2016) töös näidati tulemuste paranemist läbi tähelepanu tõstmise, mõõdeti ülesande sooritust reaktsiooniaja ning vigade arvu vähenemise abil. Käesolevas töös ei õnnestunud peamõju näol näidata, et seadme kandmisega alaneb reaktsiooniaeg või tehtud vigade arv 2-tagasi ülesandes. Põhjuseid võib olla mitmeid. Esiteks on kaks seadet, millega uuringuid tehti, üksteisest erinevad oma kuju, kasutuse, kandekoha ning töömehhanismide poolest. Teiseks on ülesanded, mille jooksul reaktsioonikiirust ja vigade arvu mõõdeti, erinevad – käesolevas töös oli 2-tagasi ülesande näol tegu töömälu mahtu vajava ülesandega, kuid Zhangi ja kolleegide (2016) töös oli tegu eristus- ja reaktsiooniaja ülesandega.

Kõik kolm ülesannet vajasisid töömälu kasutamist, kuid tähtede järjestuse meenutamise sooritusel paranesid seadmega tingimuses statistiliselt oluliselt, kuid 2-tagasi ülesande tulemused on kahetised. Võimalik, et 2-tagasi ülesanne ei vajanud nii suurt pingutust ning esines lae-efekt. Võimalik on ka see, et ülesanded erinesid olemuslikult selliselt, et haptiline stimulatsioon aitas tähtede järjestuse meenutamise paremini. Käesolev töö ei keskendunud ka füsioloogistele põhjustele selles osas, miks tekkis erinevus just tähtede järjestuse meenutamise ülesannetes. Seega on võimalus, et haptilise stimulatsiooni poolt tekitati käesolevas uuringus sarnaselt Zhangi ja kolleegide (2016), kuid see võib ka toimuda läbi alternatiivsete ajuprotsesside.

Uuringu käigus saadi tulemused prototüüpse seade kasutamisega, mistõttu võivad edasised tulemused muutuda ka välja arendatud seadme omaduste muutudes. Seadme kasutamisel määrati ka individuaalne lävi. See tähendab, et eesmärk ei olnud sarnase objektiivse, vaid subjektiivse tajukogemuse saavutamine üle katseisikute eksperimentaaltingimuses. Käesoleva

Töömälu ja haptiline stimulatsioon

töö raames ei saa määrata, kas selline meetod tuli kasuks või kahjuks ning kindel ei saa ka olla, et tugev, kuid mitte ebamugav stimulatsioonitase oli optimaalne. On võimalik, et subjektiivsest tajukogemusest hoolimata on efektiivsem kõigile seadistada sama objektiivne voolutugevus.

Edasistes uuringutes, kus soovitakse uurida haptilise stimulatsiooni mõju mälu protsessidele, võiks üheks oluliseks eesmärgiks kaardistada, millisel meetodiga ja tugevusega nahale kantav haptiline stimulatsioon on efektiivseim. Samuti on tähtis mõista, kuidas mõjutab haptiline stimulatsioon ajuprotsesse nii lühemas perspektiivis kui pikaajase kasutamise järel. Käesolev töö on avardanud uurimisvaldkonda haptilise stimulatsiooni potentsiaalsete kasutusvõimaluste alal.

Kasutatud kirjandus

- Broadway, J. M., Engle, R. W. (2010). Validating running memory span: Measurement of working memory capacity and links with fluid intelligence. *Behavior Research Methods* 42, 563–570. DOI: [10.3758/BRM.42.2.563](https://doi.org/10.3758/BRM.42.2.563)
- Clarkson, J. J., Hirt, E. R., Chapman, D. A., Jia, L. (2011). The Impact of Illusory Fatigue on Executive Control: Do Perceptions of Depletion Impair Working Memory Capacity? *Social Psychological and Personality Science*, 2(3), 231–238. DOI: [10.1177/1948550610386628](https://doi.org/10.1177/1948550610386628)
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review* 12, 769–786. DOI: [10.3758/BF03196772](https://doi.org/10.3758/BF03196772)
- Engle, R. W. (2002). Working Memory Capacity as Executive Attention. *Current Directions in Psychological Science*, 11(1), 19–23. DOI: [10.1111/1467-8721.00160](https://doi.org/10.1111/1467-8721.00160)
- Jones, L. A., Allely, C. S., Wearden, J. H. (2011). Click trains and the rate of information processing: Does “speeding up” subjective time make other psychological processes run faster? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(2), 363-380. DOI: [10.1080/17470218.2010.502580](https://doi.org/10.1080/17470218.2010.502580)
- Park, G., Cha, H., & Choi, S. (2019). Haptic Enchanters: Attachable and Detachable Vibrotactile Modules and Their Advantages. *IEEE transactions on haptics*, 12(1), 43-55. DOI: [10.1109/TOH.2018.2859955](https://doi.org/10.1109/TOH.2018.2859955)
- Zhang, S., Wang, D., Afzal, N., Zhang, Y., & Wu, R. (2016). Rhythmic haptic stimuli improve short-term attention. *IEEE transactions on haptics*, 9(3), 437-442. DOI: [10.1109/TOH.2016.2531662](https://doi.org/10.1109/TOH.2016.2531662)
- Wang, D., Li, T., Afzal, N., Zhang, J., & Zhang, Y. (2019). Haptics-mediated approaches for enhancing sustained attention: framework and challenges. *Science China Information Sciences*, 62(11), 1-26. DOI: [10.1007/s11432-018-9931-1](https://doi.org/10.1007/s11432-018-9931-1)

Lisad

Avaldamise nõusolek

Käesolevaga kinnitan, et olen korrekselt viidanud kõigile oma töös kasutatud teiste autorite poolt loodud kirjalikele töödele, lausetele, mõtetele, ideedele või andmetele.

Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.

/Märten Aardevälja/