

Tartu Ülikool
sotsiaalteaduste valdkond
psühholoogia instituut

Aneth Pokk

TÖÖMÄLU MAHU SEOSED REAKTSIOONIKIIRUSE JA REAKTSIOONI
PIDURDUSKIIRUSEGA VALIKREAKTSIOONI JA STOPP-SIGNAALI ÜLESANNETE
NÄITEL

Uurimistöo

Juhendajad: PhD Nele Pöldver, PhD Kairi Kreegipuu

Jooksev pealkiri: Töömälu mahu seosed reaktsioonikiiruse ja -pidurduskiirusega

Tartu 2021

Töömälu mahu seosed reaktsioonikiiruse ja reaktsiooni pidurduskiirusega valikreaktsiooni ja stopp-signaali ülesannete näitel

Kokkuvõte

Teoreetilised seosed täidesaatvate funktsioonide vahel on üpris põhjalikult kirjeldatud tugevate käitumisvastuste pidurdamise ja töömälu representatsioonidega läbi viidavate operatsioonide puhul. See uurimistöö otsis seoseid töömälu mahtu, reaktsioonikiirust ja reaktsiooni pidurduskiirust mõõtvate ülesannete vahel. Hüpoteeside testimiseks valiti teise suunilusega suuremast uuringust sobivaimad ülesanded: töömälu mõõtmiseks kasutati edaspidi ja tagurpidi tähestiimulitega töömälu mahu ülesandeid, reaktsiooniaeg ja pidurdusprotsesside kiirus saadi valikreaktsioonija ja stopp-signaali ülesannetest. Korrelatsioonianalüüsid viidi läbi 30 terve osaleja (keskmine vanus 27,3 aastat) andmetel. Tulemused ei näidanud sellistel tingimustel olulisi korrelatsioone töömälu mahu, valikreaktsioonija ja stopp-signaali ülesande reaktsiooniaegade vahel, mille üheks põhjuseks võib olla ülesannete liigne sarnasus ja väike valim.

Märksõnad: töömälu maht, reaktsioonikiirus, SSRT

Relations of Working Memory Capacity with Reaction Time and Response Inhibition
Reaction Time Based on the Choice Reaction Time and Stop Signal Task

Abstract

There is good number of theoretical implications regarding similarities between two executive functions: response inhibition and working memory operations. Goals of this study were to assess correlations between tasks of working memory capacity, reaction time and response inhibition reaction time. Three tasks from another larger study were chosen to test for these correlations. Selected tasks were as follows: forward and backward working memory span with letter stimuli, choice reaction time task, stop-signal task. Correlation analysis was conducted with data from 30 healthy subjects (mean age = 27.3 years). The results show no significant correlations between working memory span, choice reaction time and stop-signal reaction time tasks that can be explained by high similarity between tasks and small sample size.

Keywords: working memory span, reaction time, SSRT

SISSEJUHATUS

Täidesaatvad funktsioonid, nagu seda on operatsioonid töömälu representatsioonidega ja käitumisvastuste pidurdamine, on omavahel seotud konstruktid (Miyake et al., 2000). Seega võivad ka nende mõõtmiseks kasutatavad ülesanded produtseerida vähemalt mingil määral korreleeruvaid tulemusi. Töömälu mahu ja reaktsiooniülesannete seosteuring võib potentsiaalselt avada töömälu hõivatus mõjusid reaktsioonikiirusele ja -pidurduskiirusele. See omaks aga suurt praktilist väärtust, võimaldades hinnata ja vähendada töömälu hõivatuses tekkivaid ohtlike olukordi ja ebaõnnestunud pärssimisi kiiret reageerimist nõudvatel ametialadel.

Ülevaade kirjandusest

Täidesaatvad funktsioonid

Inimese tunnetust reguleerib hulk kognitiivseid allprotsesse, mis on omakorda moduleeritud laiemal otstarbega kontrollmehhanismide poolt (Miyake et al., 2000). Neid üldotstarbelisi kontrollmehhanisme nimetatakse täidesaatvateks funktsioonideks. Täidesaatvad funktsioonid võimaldavad meil mentaalsel tasandil ideedega mängida, kiusatustele vastu panna, võtta aega mõtlemiseks enne reageerimist, lahendada uudseid ülesandeid ja palju muud (Diamond, 2013). Kirjanduses enim kajastatud ja uuritud täidesaatvad funktsioonid on tugevate käitumisvastuste teadlik pidurdamine, operatsioonid töömälu representatsioonidega, ja kognitiivne paindlikkus ehk võimekus erinevate ülesannete ja käitumisviiside vahel liikuda (Hofmann et al., 2012; A. Miyake et al., 2000).

Täidesaatvate funktsioonide osa, mis tegeleb töömälu representatsioonide värskendamise ja monitooringuga on tihedalt seotud töömälu konstrukti endaga (Miyake et al., 2000). Nimetatud funktsioon monitoorib ja kodeerib sisendinfo olulisust lähtuvalt käesolevast ülesandest, võrreldes seda parasjagu töömälus olevaga, ning asendades ebaolulise informatsiooni asjakohasemaga (Morris & Jones, 1990). Veel peetakse töömälu representatsioonidega tehtavate operatsioonide ülesandeks ka töömälus oleva informatsiooni kaitsmist segavate faktorite eest (Kane et al., 2001). Töömälu mudelis on selle eest vastutav keskne täidesaatja (Morris & Jones, 1990).

Töömälu

Töömälu kui mõiste võeti esmakordselt kasutusele 1960ndatel Miller'i, Galanter'i ja Pribram'i poolt. Sellest alates on töömälu omandanud kognitiivses psühholoogias tähenduse mahuliselt limiteeritud süsteemina, mis on kaasatud informatsiooni ajutisse talletamisse ja selle manipulatsiooni (Baddeley, 2001).

Töömälu mitmekomponendiline mudel koosnes algupäraselt kesksest täidesaatjast, visuaal-ruumilisest visandist ja fonoloogilisest ringist ning oli mõeldud teoreetilise raamistikuna siduma suurt hulka uurimisandmeid. 2000. aastal täiendati mudelit tõenäoliselt keskse täidesaatja poolt kontrollitud episoodilise puhvriga. (Baddeley, 2001)

Keskne täidesaatja on üks vähem defineeritud töömälu aspekte, kuid üldiselt peetakse seda tähelepanuliseks kontrollsüsteemiks, millel endal puudub informatsiooni säilitamise võimekus. Keskse täidesaatja peamiseks rolliks arvatakse olevat teadvustatult ladustatud infole ligipääsemist, selle analüüsimist ja vajadusel antud info manipuleerimist ja modifitseerimist. (Baddeley, 2000)

Üheks kesksele täidesaatjale alluvaks süsteemiks on visuaalruumiline visand. Visuaalruumiline visand vastutab töömälumudelil visuaalruumilise informatsiooni ajutise talletamise eest, olles lahutatav eraldi visuaalseks, ruumiliseks ja potentsiaalselt ka kinesteetiliseks komponentideks. (Baddeley, 2000)

Fonoloogiline ring on kõige põhjalikumalt kirjeldatud ja uuritud töömälu komponent. Selle allsüsteemi ülesandeks on verbaalse ja akustilise informatsiooni säilitamine, kasutades selleks ajutist fonoloogilist ladu ja artikuloorset kordamissüsteemi. (Baddeley, 2000) Fonoloogiline ring omab olulist rolli ka pikaajalises fonoloogilises õppimises (Baddeley et al., 1988).

Episoodiline puhver kujutab endast mahuliselt limiteeritud süsteemi, mis on ajutiseks laoks multimodaalselt kodeeritud info jaoks ja kirjeldab töömälumudelil pikaajalisest mälust, fonoloogilisest ringist ja visuaal-ruumilisest visandist pärineva info sidumist ühtseks episoodiliseks representatsiooniks (Baddeley, 2000).

Baddeley ja Hitch'i töömälu mudel on pea 50 aasta vältel saanud tuge neuropsühholoogilistest uuringutest (Vallar & Baddeley, 1984; Hanley & Young, 2019) ning ta mõjukus on siiani säilinud. Teise olulise teooriaga tuli 20. sajandi lõpul välja N. Cowan. Tema piiritletud protsesside mudeli kohaselt ei hõlma töömälu eraldi fonoloogilist ladu vaid informatsiooni säilitamine on seotud pikaajalise mälu struktuuride ajutise aktivatsiooniga (Cowan, 1999).

Piiritletud protsesside mudel on mitmekomponendilise mudeliga muudes aspektides suhteliselt sarnane (Baddeley, 2001) ja kummagi mudeli eelistamine ei ole selle uurimistöö vaatepunktist tarvilik.

Töömälu maht

Töömälu mahus on täheldatud individuaalseid erinevusi (Kane et al., 2001), siiski on valdavalt üksmeelele jõutud, et ühes ajahetkes võib mälus aktiivne olla ligikaudu 4 känki infot (Cowan, 2010). Oskus känke moodustada on seotud õppimisega, mille abil suudavad inimesed efektiivsemat rekodeerida sisendinfot, moodustades seeläbi suuremaid känke ja vastavalt mäletada ka rohkem infot (Miller, 1956). Töömälu eksperimentaalsel mõõtmisel tuleb arvestada inimeste erinevate strateegiatega ülesannete lahendamisel ja neid vähendada, et pääseda ligi tegelikule töömälumahule. Kordamistehnikaid ja grupeerimist vähendavateks võimalusteks on näiteks informatsiooni esitamine lühiajalise samaaegse ruumilise massiivina; informatsiooni esitamine tähelepanuta auditoorsesse kanalisse, informatsiooni esitamine sel ajal, kui katseisik kordab pidevalt valjusti ühte sõna; informatsiooni esitamine ootamatult lõppeva seeriana (Cowan, 2010). Töömälu maht on oluline, kuna kognitiivseid ülesandeid saab edukalt sooritada vaid juhul, kui inimesel on võimekus parasjagu töödeldavat informatsiooni mälus hoida (Cowan, 2010). Samuti ongi töömälu maht otseselt see, mis mõõdab fenomeni, mida käsitletakse töömäluna – need mõned parasjagu aktiivsed mõtted (Baddeley, Hitch, 1974; võetud Cowani 2010 tekstist).

Pidurdusliku kontrolli seosed töömäluga

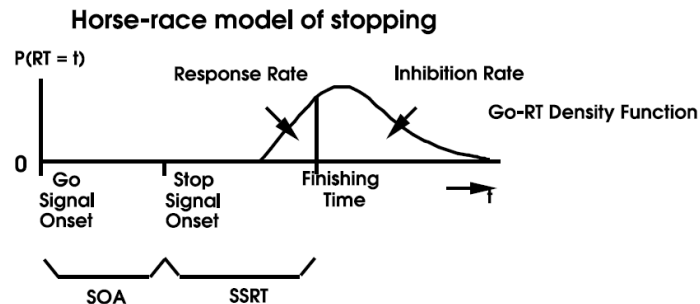
Eelpool toodud täidesaatvad funktsioonid on küll üksteisest nii teoorias kui praktiliste mõõtmistulemuste põhjal eristatavad, kuid tõenäoliselt jagavad need konstruktid mingisuguseid sügavamaid atribuute, mis põhjustavad nende funktsioonide korreleeritust mõõtmisel (Miyake et al., 2000). Näiteks on omavahel väga tihedalt seotud töömälu ja pidurdusliku kontrolli konstruktid.

Töömälu ja pidurduslik kontroll on kõige nähtavamalt seotud läbi teineteise toetamise - ühe toimimiseks on reeglina vaja ka teist ja vastupidi. Töömälu toetab pidurduslikku kontrolli läbi eesmärgi mälus aktiivsena hoidmise. Seeläbi teame, mis on oluline ja kohane, millest lähtudes saab langetada otsuse, kas ja millist käitumist pidurdada.

Keskendudes meeles hoitava informatsioonile väheneb tõenäosus pidurduslike vigade tekkeks, kuna suureneb tõenäosus, et aktiivsena hoitav info suunab meie käitumist. Pidurduslik kontroll toetab töömälu läbi sisemiste ja väliste segajate pärssimise, mis läbi saame keskenduda käesolevale tegevusele. (Diamond, 2013)

Näiteks tulid Hofmann, Schmeichel ja Baddeley (2012) hulga uurimisandmete põhjal välja oletusega, et hõivatud või madal töömälu viib suurema seoseni automaatse/impulsiivse töötuse ja käitumise vahel.

Pidurdusprotsesside kirjeldamiseks kasutatakse valdavalt võidujooksu (*horse-race*) mudelit (Joonis 1), mis suhestub hästi stopp-signaali katseparadigmadega. Võidujooksu mudel kujutab endast *go*-reaktsioonide ja pidurdusprotsesside alustamiseks kuluvat aja võistlust. Juhul kui *go*-protsess jõuab lõpule enne pidurdusprotsessi, ei suudeta reaktsiooni pärssida. (Band et al., 2003)



Joonis 1. Reaktsiooni pidurduse võidujooksu mudel, kirjeldatud *go*-protsesside kestuse tiheduse funktsioonina (Band et al., 2003 tööst). Stopp-protsesside lõppemise aeg jagab *go*-reaktsioonaja tiheduse funktsiooni kaheks, kus vasakule poole jäävad vastused on pärssimiseks liiga kiired, parempoolseid on aga õigesti pidurdatud. *Go Signal Onset* = *go*-signaali algus; *Stop Signal Onset* = stopp-signaali algus; *Finishing Time* = pidurdusprotsessi lõppemise aeg; *Response Rate* = vastamise määr; *Inhibition Rate* = pidurduse määr. SOA = stiimulite ilmumise asünkroonsus, mille analoog selles töös on SSD (stopp-signaali ilmumise viivis). SSRT = stopp-signaali reaktsiooniaeg.

Võidujooksu mudel võimaldab ennustada pidurduseks kuluvat reaktsiooniaega (SSRT). SSRT koosneb ajast, mis jääb pidurdusprotsessi alguse ja lõppemise vahele (Logan, 1981; võetud Band et al., 2003 tekstist).

Stopp-signaali katseparadigmas saab SSRT leida järgmiselt: aeg *go*-stiimuli ja stopp-stiimuli ilmumise vahel märgib pidurdusprotsessi algust, pidurdusprotsessi lõpphetke saab tuletada vastamise osakaalust stopp-signaali kordadel ja reaktsioonaja jaotusest stopp-signaallita juhtudel. See arvutus põhineb eeldusel, et *go*-protsessid on pidurdust nõudvate ja mitte nõudvate kordade ajal samad, mis ei ole aga tõenäoliselt päriselt tõsi.

Siiski on SSRT heaks ja tundlikuks indeksiks pidurdusprotsesside kestuse mõõtmisel. (Band et al., 2003)

Kirjelatud protsesside mõõtmisviisid

Täidesaatvate funktsioonide eristatavus, kuid samaaegne unitaarsus, tõstatab küsimuse, kas nende mõõtmiseks välja töötatud ülesanded suudavad mõõta konkreetseid täidesaatvaid funktsioone.

Töömälu mõõtmisel on üldiselt veendunud n-tagasi ülesande ja OSPANi (*operation span*) usaldusväärsuses (Hofmann et al., 2012; Miyake et al., 2000), kuna need nõuavad relevantse info säilitamiseks ja värskendamiseks töömälus suurt ressursi, takistades töömälu hõivamise läbi alternatiivsete lahendusstrateegiate rakendamist (Miyake et al., 2000). Samuti on tihti kasutatud töömälumõõdikuteks töömälumahu ülesanded (*WM span tasks*, edaspidi eestipärasemalt „spän“).

Sellistes ülesannetes esitatakse katseisikutele järjestus elementidest, mis tuleb kas samasuguses või vastupidises järjekorras taastada. Arvatakse, et späni tulemus peegeldab mälujälje püsivust ja ajakulu, mis on vajalik selle jälje värskendamiseks subvokaalse kordamise teel. Tavaliselt suudavad inimesed numbrimälu seeriates vähemalt 50% kordadest õigesti taastada umbes seitse elementi. (Baddeley, 2000)

Käitumisvastuste pidurdamise tavapärasteks mõõdikuteks on Stroopi, stopp-signaali ja *go/no-go* ülesanded, mis nõuavad katseisikutelt domineeriva vastuse mahasurumist või sellest teise reaktsiooniga „üle sõitmist“ (Hofmann et al., 2012). Nagu töömälu puhulgi, on pärssimise olulisus erinevates eksperimentaalsetes ülesannetes küsitav, kuid üldiselt nõustutakse, et pärssimine võiks vajalik olla tahtlikult motoorse vastuse peatamist nõudvates paradigmades (Verbruggen & Logan, 2008). Tahtlikule motoorsele peatamisele üles ehitatud katseparadigmades võivad esineda erinevused pidurduslikes nõudmistes. Näiteks võimaldavad *go/no-go* ja stopp-signaali ülesanded erinevaid tehnikaid vastuse pidurdamiseks. *Go/no-go* ülesanded nõuavad tavaliselt nupuvajutust ühe stiimuli ilmnemisel (*go*), kuid teise stiimuli ilmnemisel mitte (*no-go*) (Diamond, 2013). Stoppsignaali ülesande puhul esitatakse *go*-signaal kõigil kordadel, kuid väikesel osal kordadest, ilmneb ajal, kui subjekt on valmis nuppu vajutama, stoppsignaali, mis nõuab reaktsiooni peatamist (Diamond, 2013). Verbruggen ja Logan (2008) leidsid, et pärast harjutusperioodi läbimist, kus üks konkreetne stiimul nõuab alati pidurdusreaktsiooni, tekitab selle stiimuli esile kerkimine testsituatsioonis automaatse

pidurdusreaktsiooni. Sellise stiimuli ja pidurdusreaktsiooni vahelise seose tekkimine on *go/no-go* paradigmatel puhul tõenäoline, kuna stiimuli saab tavapäraselt seostada oodatud käitumisega, kuid vähetõenäoline stopp-signaali ülesannetes (Verbruggen & Logan, 2008).

Stopp-signaali paradigmat erinevad teistest potentsiaalselt käitumislikku pidurdust mõõtvatest ülesannetest ka selle poolest, et katseisikud ei pea pürssima ühte vastust, et teha teist – nad peavad pürssima ühe vastuse, et seejärel mitte midagi teha (Diamond, 2013). Stopp-signaali ülesannete edukaks sooritamiseks peavad katseisikud oma tegevust jälgima ja oma vastamisstrateegiaid ülesande vältel kohendama, et leida optimaalne tasakaal ülesande vastandlike nõudmiste vahel: võimalikult kiire vastamine ja reaktsiooni pidurdamine (Verbruggen & Logan, 2008). Stopp-signaali paradigmat on olnud suutelised kirjeldama laia hulka uurimisandmeid erinevate eksperimentaalsete seadete ja populatsioonide korral (Band et al., 2003).

Selle uurimistöo eesmärgid

Uurimistöo eesmärgiks on vaadelda töömälu mahu seoseid reaktsioonikiiruse ja reaktsiooni pidurduskiirusega.

Kasutatud reaktsioonija ülesannetes (valikreaktsiooni ja stopp-signaali ülesanded) võib eeldada erinevat nõudlikkust töömälule, sõltuvalt ülesannete edukaks lahendamiseks vajaminevate komponentide arvust. Töömälu mahu ja reaktsioonikiiruste vahel võib üldiselt oodata negatiivset tendentsi, kuna parem töömälu peaks võimaldama ülesandeid lühema ajaga õigesti lahendada. Samuti on oodata lühemaid valede reaktsioonide aegu võrreldes õigete reaktsioonidega. Ülesannete eeldatavast nõudlikkusest ja keskmisest oodatavast reaktsioonijast tulenevalt seati järgmised hüpoteesid:

H1. Töömälumahu ja lühima keskmise reaktsioonijaga ülesandeosa vahel on korrelatsioon võrreldes teiste mõõdetud reaktsioonidega kõige väiksem.

Lühima keskmise reaktsioonijaga ülesandeosa käsitletakse siin kui parimat ennustust võimaliku lihtreaktsioonija kohta, pärinedes, kas valikreaktsiooni või stopp-signaali ülesande valemest reaktsioonijast.

H2. Töömälumahu ja stoppsignaali õige reaktsioonija vahel on korrelatsioon suurem kui töömälumahu ja õige valikreaktsioonija vahel.

See hüpotees on suuresti seotud kasutatud ülesannete ehitusega ja lahendamise viisiga. Sõltuvalt valikreaktsiooni ülesande raskusastmest, ja seega nõudlikkusest töömälule, võib olla ka vastupidine hüpotees tõene. Stopp-signaali katse nõuab parima tulemuse saamiseks oma soorituse jälgimist ja pidevat korrigeerimist, mistõttu võib lihtsakoelisema valikreaktsioonija katse puhul oodata esmalt mainitud korrelatsioonide järjestust.

H3. Stopp-signaali viivis (SSD) on tugevas positiivses seoses töömälu mahuga.

SSD näitab sisuliselt suutlikkust stopp-signaali ülesande nõudmisi jälgida, viidates ajale, mille vältel suudab osaleja oodata ära stopp-signaali ilmumise enne go-signaalile reageerimist. Seega võib parema töömäluga inimestelt oodata pikemat SSDd.

Info, mis on meie ajus parasjagu aktiivne suunab meie käitumist. Seetõttu vähendab võimekus ülesande infot mälus aktiivsena hoida pidurduslikke vigu (Diamond, 2013). Samuti suurendab hõivatud või madal töömälu korrelatsiooni automaatse/impulsiivse töötluse ja käitumise vahel (Hofmann et al., 2012). Lähtudes töömälu rollist pidurduslike vigade ennetamises seati järgmised hüpoteesid:

H4. Mida suurem on mõõdetud töömälumaht, seda väiksem on valede reaktsioonide arv (reaktsiooni ebaõnnestunud pidurdamine) stopp-signaali katseseeriates.

H5. Mida suurem on mõõdetud töömälumaht, seda vähem on puuduvaid vastuseid (pidi reageerima, aga ei teinud seda) stopp-signaali katseseeriates.

MEETOD

Selle uurimistöö andmed pärinevad Kairi Kreegipuu ja Nele Pöldveri käimasolevast tööst, mis uurib seoseid tähelepanueelse ja tähelepanulise infotöötluse vahel (ETAGi uurimistoetus PRG770 „Tähelepanueelne informatsioonitöötlus ajus: seosed seisundite, püsitunnuste ja käitumisega“).

Valim

Avaliku kutse alusel oodati uuringus osalema terveid täisealised vabatahtlikke. Osalejad pidid kinnitama, et neil esine psüühilisi häireid ning ei ole diagnoositud järgnevat neuroloogilisi haigusi: migreen, epilepsia, krambid, insult või ajuverejooks. Samuti oli vajalik normaalne või normaalseks korrigeeritud nägemine ja kuulmine. Tegu oli mugavusvalimiga. Andmete

kogumine algas 01.08.2020 ning käesolevas töös kasutatud andmeid koguti kuni 15.12.2020 (uuringu andmekogumisperiood veel kestab). Katsed viidi läbi TÜ eksperimentaalpsühholoogia laboris (Ravila 14a, Tartu). Osalejaid tasustati 20 euro väärtuses kaubanduskeskuse kinkekaartidega. TÜ psühholoogia instituudi tudengid said soovi korral ka kursuste raames kogutavaid katsepunkte. Kõik katseisikud kinnitasid allkirjaga oma informeeritud nõusolekut eksperimendis osalemiseks. Uuringu läbiviimiseks andis loa Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee (luba nr 319/T-22).

Selle uurimistöö valimi moodustas 31 osalejat (26 naist, 5 meest; keskmine vanus 27,3 aastat, SD = 7,5 aastat).

Uuringu üldine protseduur

Kogu uuring koosnes kolmest osast: veebipõhiste testide täitmine ning kaks laborikülastust. Enne esimest korda laborisse tulekut pidi osaleja täitma veebipõhise ülesannetepaketi, mis koosnes järgnevatest osadest: demograafiline taust, üldised tervisekäitumise ja käitumisharjumuste näitajad, subjektiivne nutitelefonisõltuvus (Rozgonjuk et al., 2016), käelisus, musikaalsus, isiksuseküsimustik EE.PIP-NEO (Möttus et al., 2006), emotsionaalse enesetunde küsimustik EEK-2 (Aluoja et al., 1999), positiivse ja negatiivse afekti hindamise küsimustik PANAS (Watson et al., 1988).

Kumbki laborikülastus kestis ligikaudu kolm tundi. Enne põhikatset küsiti katseisikult tema näljatunde, kofeiini- ja nikotiinitarbimise kohta; registreeriti kriitilise vilkumise sulandumise lävi ehk CFF (*critical flicker frequency*) (Simonson & Brozek, 1952), mõõdeti kuulmisläved (Interacoustics AS608, Interacoustics, Assens, Taani) ja sooritati dihhootilise kuulamise katse (Hugdahl, 2011).

Põhikatse alguses paigaldati katseisiku peanahale, näole ja kõrvalestadele EEG sensorid (BioSemi Inc., Amsterdam, Holland). Põhikatse kestis orienteeruvalt 90 minutit. Iga ülesande juhendit tutvustas läbi viiv eksperimentaator ning juhised kuvati ka vahetult enne vastavat ülesannet katseisikust 0,8 meetri kaugusel asetsevale arvutiekraanile (LCD monitor 37,9*30,4 cm; ekraaniresolutsioon 1024*768 px). Iga ülesandeploki alguses oli lühike prooviseeria, mille käigus sai katseisik harjuda ülesande sisuga ning vastamisega. Seejärel võis osaleja alustada oma valitud hetkel testi sooritamist. Katseisik täitis ekraanile ilmuvaid ülesandeid, andes vastuseid sülle asetatud arvuti klaviatuuril. Katsete esitamiseks kasutati MATLAB-i

(MathWorks, Natick, Massachusetts, USA) programmeerimiskeskonda koos Psychtoolbox funktsioonidega ning E-Prime tarkvarapaketti (Psychology Software Tools, Sharpsburg, USA). Iga ülesandetüübi vahel oli paus, mille kestust sai osaleja ise juhtida. Kahe katseseeria ajal (vMMN ja MMN) mõõdeti aju elektrilist aktiivsust EEG abil.

Iga osaleja läbis pseudojuhuslikus järjekorras järgnevad katseseeriad (kokku kaheksa):

- 1-3. töömälu n-tagasi ülesanded (Sultson et al., 2019) segajata, visuaalse taustaga (EEG) ja auditiivse taustaga (EEG) (täpsemalt: Schiffer, 2021);
- 4-5. töömälu mahu mõõtmiseks edaspidi ja tagurpidi spänid.
- 6-8. reaktsiooniaeg, tähelepanu ja arvukus: valikreaktsiooniaja, stopp-signaali ja arvukuse hindamise (Raidvee et al., 2017) ülesanded.

Ülesandeplokkide vahel küsiti 9-pallilisel skaalal katseisiku subjektiivset hinnangut oma väsimuse kohta ning enne ja pärast põhikatset lisaks ka 5-pallisel skaalal hinnangut ärevuse kohta. Pärast põhikatset täitis osaleja ülesande progresseeruvate visuaalsete maatriksitega – „Eesti maatriksid“ (koostatud Aire Raidvee juhitud TÜ psühholoogia instituudi töörühma poolt Raveni progresseeruvate maatriksite (Raven, 1981) põhjal) ja läbis sümboli-numbri kodeerimise ülesande (<https://www.testmybrain.org/tests/DigSymbCoding/DSC.html>). Kõige lõpuks registreeriti CFFi abil uuesti osaleja kesknärvisüsteemi väsimus.

Kokku oli põhikatses kaheksa võimalikku ülesannete järjekorda, mida varieeriti katseisikute vahel. Edaspidi ja tagurpidi spänid olid alati samas järjekorras (esmal edaspidi, siis tagurpidi) ja põhikatse alguses. Seejärel tuli olenevalt järjestusest, kas n-tagasi ülesannete kogum või reaktsiooniaegade, tähelepanu ning arvukuse hindamise kogum. Kummagi kogumi sees toimus omakorda ülesannete järjestuse muutus. N-tagasi ülesannete puhul varieerusid järjestuses visuaalsete ja auditiivsete segajatega katseosad, puhas n-tagasi ülesanne oli alati esimene. Teises suuremas kogumis oli arvukuse hindamine alati keskmine katseosa, varieerusid stopp-signaali ja valikreaktsiooniaja ülesanded.

Uurimistöös kasutatud ülesanded ja stiimulid

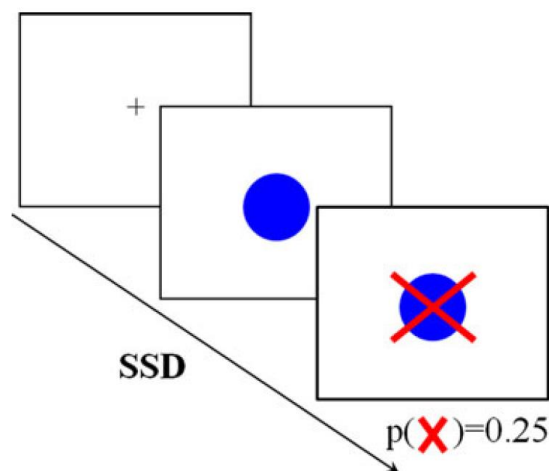
See töö teostati katseisikute esimesest laborikülastusest kogutud valitud andmete põhjal. Uurimistöös kasutati nelja põhikatse ülesande andmeid: edaspidi ja tagurpidi numbrimälu, stopp-signaali ning valikreaktsiooniaja katseseeriad.

Edaspidi ja tagurpidi numbrimälu

Katseisikute töömälu mahu mõõtmiseks kasutati edaspidi ja tagurpidi spän ülesandeid tähestiimulitega (eesti keele tähestiku kaashäälikud va Š ja Ž). Edaspidi töömälu ülesandena kuvati ekraanile kõigepealt kolmest tähest koosnev rida. Täherida kadus 1250 ms pärast ilmumist. Seejärel pidi katseisik nähtud rea täpselt samas järjekorras arvutiklaviatuuril rekonstrueerima. Igat samast arvust ühikutest koosnevat täherida esitati kaks korda. Katse kestis kuni osaleja eksis mõlemal juhul sama suurusega ridade kordustest. Tagurpidi spän ülesanne on eelnevale analoogne, kuid katseisikud pidid nähtud numbrirea taastama esitatule täpselt vastupidises järjekorras. Töömälu mahu raporteerimiseks loendati kokku kõik õigesti vastatud täheridade kordused.

Stopp-signaali ülesanne

Stopp-signaali ja valikreaktsioonija katseeriaid valiti reaktsioonija, stopp-signaali viivise (*stopp-signal delay*, SSD) ja stopp-signaali reaktsioonija (SSRT) leidmiseks. Stopp-signaali katseeriaana kasutati Havik, Jakobson, Tamm, Paaver, Konstabel, Uusberg, Allik, Ööpik ja Kreegipuu (2012) poolt väljatöötatud stopp-signaali paradigmat. *Go*-juhtudel pidi katseisik ekraanil kuvatud sinisele ringile (suurus 100 px) reageerima nii kiiresti kui võimalik, vajutades selleks maksimum 1 sekundi jooksul tühikut. Kokku ilmus ring ülesande vältel 360 korda. Stopp-juhtudel (osakaal 25%) esitati ring ja varieeruva hilinemisega punane rist, misjärel pidi katseisik klahvi vajutust vältima.

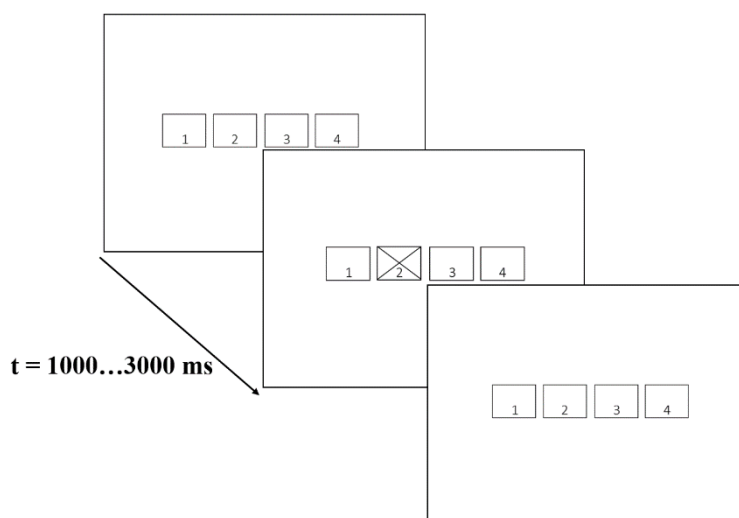


Joonis 2. Stopp-signaali ülesande skemaatiline esitus (Havik et al., 2012)

Stopp-signaali ülesanne oli suunatud jälitama osalejate SSD mediaanväärtust. Stopp-signaali ilmumise viivis suurenes iga õige pärssimisega 10 ms võrra ja kahanes vale korral samuti 10 ms. SSD arvutamiseks leiti kolme kõige viimasena salvestatud SSD aritmeetiline keskmine. Saadud summaarne SSD kirjeldab aega *go*-signaali ja stopp-signaali vahel, mil vältel oli katseisik võimeline 50% kordustest *go*-reaktsiooni pärssima. SSRT kirjeldab pärssimisprotsesside kiirust. SSRT leidmiseks leiti katseisiku *go*-reaktsioonide mediaan, millest lahutati SSD.

Valikreaktsioonija ülesanne

Valikreaktsioonija (CRT) ülesandes kuvati katseisikule neli musta tühja ristkülikut mõõtmetega 80*60 pikslit, mis vastasid neljale järjestikusele klahvile arvutiklaviatuuril. Ühte neist kujunditest ilmus selle täissuuruses rist ja katseisik pidi võimalikult kiiresti vajutama sellele ristkülikule vastavat nuppu klaviatuuril. Rist ilmus kokku 100 korda ja kadus ekraanilt osaleja klahvivajutusega. Aeg uue stiimuli ilmnemiseks varieerus 1000-3000 ms vahel. Ülesanne esitati ühe blokina.



Joonis 3. Valikreaktsioonija ülesande skemaatiline esitus

Andmeanalüüs

Andmeanalüüsist jäeti välja ühe katseisiku tervikandmed, kuna stopp-signaali katseseerias salvestatud andmete kuju viitas vigasele ülesandesooritusele (osaleja reaktsioon oli salvestatud vaid 2 juhul 360 võimalikust). Kolmel juhul tekkisid tõrked andmete salvestamise ajal, probleemi lahendamiseks alustati vastavat ülesandeplokki otsast ja salvestati uued korrektsed

andmed. Andmeanalüüs viidi läbi JASP tarkvaraga [JASP Team (2020). JASP (Version 0.14.1)]. Andmeid kontrolliti normaaljaotuse suhtes. Hüpoteeside kontrollimiseks kasutati keskmiste võrdlemist ja korrelatsioonianalüüse.

TULEMUSED

Edaspidi ja tagurpidi spänid töömälumahu mõõtmiseks

Tabelis 1 on välja toodud kõigi uurimistöös kasutatud ülesannete keskmised väärtused kogu grupi kohta ja nende normaaljaotuslikkus (Shapiro Wilk testi p-väärtused). Kahe töömälu mahu mõõtmiseks kasutatud ülesande keskmised olid sarnased ($t(30)=1.184$, $p=0.246$). Kahe ülesande keskmine tulemuste erinevus oli 0.581 punkti (SE: 0.490). Edasiste analüüside tarbeks ülesandeid ei summeeritud, kuna esinesid erinevused andmete jaotuses (WMspanF: $E=0.891$, $A=0.635$) (WMspanB: $E=-0.098$, $A=0.075$).

Tabel 1

Ülesannete keskmised väärtused grupi kohta

	WM spanF	WM spanB	CRT OKN	CRT FN	CRT OKRT	CRT FRT	STOP OKNR N	STOP OKRN	STOP FRN	STOP MISS N	STOP OKRT	STOP FRT	SSRT	SSD
N	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	30	30	30	30
Keskmine	6,23	5,65	97,65	2,36	517,92	432,58	53,27	258,83	36,73	11,17	563,26	441,76	193,65	363,10
SD	2,34	2,39	1,72	1,72	120,11	205,65	9,29	13,46	9,29	13,46	114,48	89,31	74,27	181,62
p	<,05	,29	,02	,02	<,001	<,001	,04	<,001	,04	<,001	,02	,07	,92	,06

Märkus. WMspanF = edaspidi töömälu spän (õigete vastuste arv), WMspanB = tagurpidi töömälu spän (õigete vastuste arv); CRT = valikreaktsioonaja ül., CRT OKN = CRT õigete vastuste arv, CRT FN = CRT valede vastuste arv, CRT OKRT = CRT õigete vastuste keskmine reaktsiooniaeg (ms), CRT FRT = CRT valede vastuste keskmine reaktsiooniaeg (ms); STOP = stopp-signaali ülesanne, STOP OKNRN = STOP õigete reaktsioonipärssimiste arv, STOP OKRN = STOP õigete reaktsioonide arv, STOP FRN = STOP valede reaktsioonide arv, STOP MISSN = STOP valede reaktsioonipärssimiste arv, STOP OKRT = STOP õigete vastuste reaktsiooniaeg (ms), STOP FRT = valede vastuste reaktsiooniaeg (ms), SSRT = stopp-signaali reaktsiooniaeg (ms), SSD = stopp-signaali viivis (ms).

Valikreaktsioonaja ülesanne

CRT katseseeriates tegid osalejad väga vähe vigu. Vigade keskmine arv oli 2.355 (SD=1.723, min=0, max=7). CRT õigete vastuste asümmeetriakordaja oli -0,785 (SE: 0.421), näidates

tulemuste mõõdukat koondumist õigete vastuste suunas. Väheste eksimuste tõttu, kannatab vale valikreaktsioonaja (CRT FRT) usaldusväärsus, kusjuures 6 osaleja andmed (N=31) erinesid valimi keskmistest oluliselt, mistõttu jäeti CRT FRT edasistest analüüsides välja.

Stopp-signaali ülesanne

Keskmine vale reaktsiooniaeg (STOP FRT) oli keskmisest õigest reaktsioonijast (STOP OKRT) oluliselt lühem ($t(30) = 17.134$, $p < 0.01$), mis on kooskõlas võidujooksu mudeli eeldustega. Cohen'i d ($=3.128$) viitab suurele efektile. Stopp-signaali ülesandes leitud reaktsioonijad (STOP OKRT, STOP FART, SSRT) ja pidurdamise viivise (SSD) keskmised väärtused olid kirjanduses esitatutega vastavuses (Band et al., 2003; Havik et al., 2012).

Reaktsiooniaegade võrdlus

Nagu eelpool mainitud jäeti CRT FRT edasistest analüüsides välja. Järele jäänud reaktsiooniaegade keskmiste võrdluse tulemus on järgmine: STOP FRT < CRT OKRT < STOP OKRT (Tabel 1). Saadud järjestuse kohaselt, osutus lihtsaimaks reaktsioonijaks STOP FRT, mida edaspidi kasutatakse selle uurimistöo võimalustest lähtuvalt enim lihtreaktsioonijale sarnase näitajana.

Reaktsiooniaegade korrelatsioon töömälu mahuga

Tabelis 2 on välja toodud töömälu- ja reaktsioonijaülesannete korrelatsioonikoefitsiendid. Kõik uurimistöös esitatud seoste leidmiseks kasutati mitteparameetrilist Spearman'i korrelatsioonikoefitsienti, välja arvatud WMspanB seoste leidmiseks SSRT, SSD, STOP FRT'iga, mille jaoks leiti parameetrilised Pearson'i korrelatsioonikoefitsiendid. Kõik mõõdetud reaktsiooniaegade korrelatsioonikoefitsiendid töömälu mõlema ülesandega olid väga väikesed ja statistiliselt ebaolulised. Enim korreleerus töömäluga CRT OKRT, seejärel STOP FRT ja kõige väiksem korrelatsioonikoefitsient oli töömälu ja STOP OKRT vahel. Siiski, ei ole need erinevused arvestatavad, kuna koefitsiendid erinesid mõlema töömäluülesande puhul üksteisest väga vähe ($\rho_{\text{CRT OKRT}} - \rho_{\text{STOP OKRT}} \approx 0.1$).

Stopp-signaali viivise (SSD) seos töömälu mahuga

Mõlema töömäluülesande tulemused olid SSD skooriga (aeg, mille vältel olid osalejad võimelised *go*-reaktsiooni pärssima) väga väikeses ja statistiliselt ebaolulises seoses, kusjuures SSD seos WMspanF'iga oli negatiivne ja WMspanB'iga positiivne.

Stopp-signaali ülesande vigade seos töömälu mahuga

Stopp-signaali ülesandes esines kahte sorti vigu: katseisik pidi reageerima, ent ei teinud seda (STOP MISS); osaleja pidi reaktsiooni pidurdama, kuid ei teinud või ei jõudnud seda teha (STOP FRN). Ka nende muutujate korrelatsioonid töömäluga olid väga väikesed ja statistiliselt ebaolulised. Jällegi võis täheldada WMspanF ja WMspanB puhul erinevusi seoste suundades.

Tabel 2

Töömälu spänide, reaktsiooniaegade ja stoppsignaali viivise korrelatsioonid.

	WM spanF	WM spanB	CRT OKRT	STOP FRN	STOP MISSN	STOP OKRT	STOP FRT	SSRT	SSD
WM spanF	—								
WM spanB	,334	—							
CRT OKRT	-,150	-,206	—						
STOP FRN	,102	-,176		—					
STOP MISSN	-,122	,078	,170	-,611 ***	—				
STOP OKRT	-,051	,100	,069	-,922 ***	,729 ***	—			
STOP FRT	,080	,218	,002	-,913 ***	,590 ***	,906 ***	—		
SSRT	,056	-,312	-,065	,838 ***	-,280	-,609 ***	-,713 ***	—	
SSD	-,113	,272	,022	-,998 ***	,603 ***	,923 ***	,913 ***	-,842 ***	—

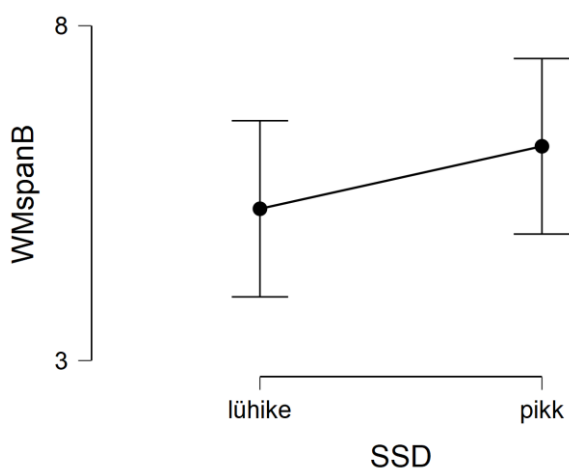
* $p < ,05$, ** $p < ,01$, *** $p < ,001$

Märkus. Tabelis on toodud mitteparameetrilised Spearman'i korrelatsioonid. Erandina on tabelis esitletud parameetrilised Pearson'i korrelatsioonid WMspanB ja STOP FRT, SSRT, SSD seoste puhul.

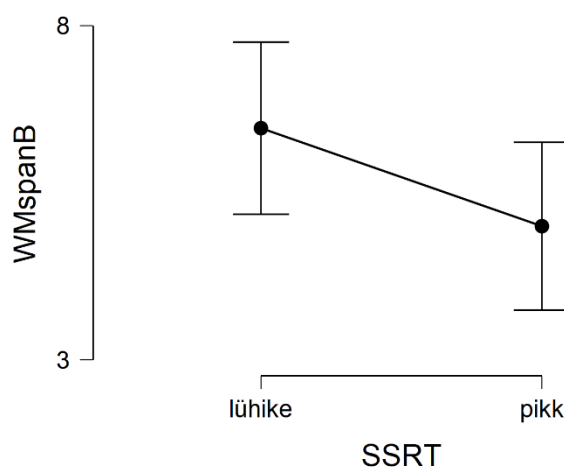
Eksploratiivne andmeanalüüs

Andmestiku edasiseks uurimiseks jaotati osalejad SSD suuruse alusel ülemisse (pikem SSD) ja alumisse (lühem SSD) gruppi. Gruppideks jaotamine lähtus SSD mediaantulemusest (=391.333). SSD tulemusi saadud gruppide kaupa võrreldi tagurpidi töömälu späni tulemustega. Analüüsiks kasutati parameetrilist sõltumatute valimite T-testi. Tulemused ei näidanud olulist tagurpidi töömälumahu skoori erinevust pikema ja lühema SSD gruppides ($t(30) = -1.078$, $p = 0.290$).

Parameetriline sõltumatute valimite T-test viidi läbi ka stopp-signaali reaktsiooniaja tulemustega. Selleks jaotati osalejad mediaan SSRT (=190.750) alusel pika SSRT-ga ja lühikese SSRT-ga gruppidesse. SSRT tulemusi saadud gruppide kaupa võrreldi tagurpidi töömälu späni tulemustega. Tulemused ei näidanud olulist töömälumahu skoori erinevust pikema ja lühema SSRT gruppides ($t(30) = -1.749$, $p = 0.091$).



Joonis 4. Tagurpidi töömälu späni tulemuse seos pikema ja lühema stopp-signaali viivise gruppides.



Joonis 5. Tagurpidi töömälu späni tulemuse seos pikema ja lühema stopp-signaali reaktsiooniaja gruppides.

ARUTELU JA JÄRELDUSED

Uurimistöö eesmärk oli leida olemasolevatest andmetest seoseid töömälu mahu ning reaktsiooni ja selle pidurduse kiiruse vahel. Ükski püstitatud hüpoteesidest ei leidnud antud tingimustel kinnitust. Uurimistöös ei täheldatud seoseid töömälumahu ja stopp-signaali vigade arvu vahel ning töömälumahu ja stopp-signaali viivise vahel. Samuti ei täheldatud stopp-signaali ja valikreaktsioonaja ülesannete puhul erinevaid nõudmisi töömälule.

Seostumine varasemate töödega

Töömälu mahu ülesannetes oli mõneti ootamatu, et edaspidi ja tagurpidi spänide tulemused olid jaotuse poolest üksteisest piisavalt erinevad, välistamaks nende summeerimise andmeanalüüsis. Töömälu spän-ülesanded ongi oma ülesehituse poolest mõneti problemaatilised. Näiteks eeldab tavaline kaks katset ühe reasuuruse kohta, et hinnang katseisiku tõelisele maksimumpikkusega reale saavutataks nelja korraga (kaks kordust maksimumpikkusel ja kaks kordust üks element pikema reaga) (Woods et al., 2011). Töömälu edaspidi ja tagurpidi spänide summeerimine on töömälu mahu kajastamisel tavaline protseduur, kuid ka see võib tekitada probleeme. Juba ülesannete eraldiseisval summeerimisel segunevad tulemustes ebajärjepidev sooritus ja suurima taastatava elemendirea pikkus (Woods et al., 2011).

Uurimistöös kasutatud töömälu spänide elementideks olid tavapäraste numberstiimulite asemel tähed, mis võisid keele iseärasuste tõttu mõjutada ülesande sooritust. Üheks kasutatud täheks oli „W“, mis võib nõuda teistest eesti keele tähestiku elementidest oluliselt pikemat hääldust. Arvestades, et subvokaalne artikuleerimine on spän-ülesannetes suhteliselt levinud (A. Baddeley, 2000), võis „W“ esinemine või mitte-esinemine muuta sama elementide arvukusega stiimulread omavahel tegelikkuses ebavõrdseks. Lisaks on eestlastele omase häälduse puhul lause alguses esinevad sulghäälikud väheeristuvad (Westerhausen et al., 2018). See mõju võis esineda ka tähestiimulite korral, kuna vaadates tehtud vigade iseloomu, esines sageli sulghäälikute segiajamist (nt oli stiimuliks „T“, aga katseisik taastas elementide reas selle tähena „D“).

Selles töös kasutati töömälu mahu spänisid alati samas järjekorras (1. edaspidi spän, 2. tagurpidi spän), mistõttu võis andmetes kajastuda järjekorraefekt. Statistiliselt olulist erinevust kahe späni keskmistes ei ilmnenu, kuid tegelikkuses võib tagurpidi spän-ülesanne olla edaspidisest variandist erineva nõudlikkusega töömälule (Wilde et al., 2004). Siinkohal võiski rolli mängida ülesannete järjekorrast tulenev õppimine, mistõttu võis kaduda kahe späni ülesannete keskmiste erinevus. Töös ilmnenu erinevused töömälu edaspidi ja tagurpidi späni jaotuse vahel võivad valimi suuruse kasvades väheneda. Kuna suurema uurimisprojekti andmekogumisperiood veel kestab, saab tehtud analüüse pärast kogumise lõpetamist laiendada suuremale valimile.

Stopp-signaali ülesande indeksid SSRT ja SSD olid sarnased varasematele uuringutele (nt Havik et al., 2012), veidi suurem kõikumine on väikese valimi puhul tavaline. Samuti sobitusid stopp-signaali ülesandes otseselt mõõdetud reaktsiooniajad omavahelise suhte põhjal

võidujooksu (*horce-race*) mudelisse, mille kohaselt peab keskmine ebaõnnestunud pidurduste reaktsiooniaeg olema keskmisest õigest go-reaktsioonijast oluliselt lühem.

Uuringu võimalikud kitsaskohad

Uurimistöö on osa suuremast uurimisprojektist („Tähelepanueelne informatsioonitöötlus ajus: seosed seisundite, püsitunnuste ja käitumisega“), mille peamine eesmärk on infotöötlustestide ja eeltähelepanulise infotöötluse mõõdikute reliaabluse uurimine, kuid ka omavaheliste seoste uurimine. Siiski ei ole töömälumahu ning reageerimis- ja pidurdamiskiiruse seose uurimine suure uurimisprojekti peamine küsimus, mistõttu ei ole katseparadigma käesoleva uurimistöö hüpoteeside testimiseks ideaalne. Töö paradigmat puudus lihtreaktsioonijaja mõõtmine, mis võimaldaks kõige paremini vaadelda inimese üldist reageerimiskiirust ja seeläbi ka teiste reaktsioonijajaülesannete subjektiivset raskust. Selles töös kasutatud valikreaktsioonikatse puhul, mis on oma iseloomult samuti *go*-protsesside põhine, on vastuses koos juba motoorne reaktsioon ja kognitiivne töötlus selle kohta, millises asukohas rist ilmub (Deary et al., 2011).

Andmete normaaljaotuslikkuses esines probleeme, mis tulenesid tõenäoliselt väikesest valimist. Valikreaktsiooni ülesande puhul tähendati õigete vastuste puhul laeefekt. Kasutatud ülesannete andmed salvestati mehhaaniliselt, tõrgete tekkimisel taaslustati ülesande lahendamist ja seega on ebatäpsused mõõtmises vähetõenäolised.

Katseisikud olid valdavalt noored tudengid (mediaan 25 aastat; min 18 a, max = 48 a), kuid selliste baasvõimete võrdlusel võib oodata seoste suundade kandumist ka laiemale populatsioonile. Samas on täidesaatvate funktsioonide puhul täheldatud vanuse kasvades soorituse langust (Diamond, 2013). Näiteks väheneb vananedes töömälu võimekus, mis on ilmselt suuremalt jaolt põhjustatud pidurdusliku kontrolli tasemete alanemisest, muutes vanemad täiskasvanud segajatele haavatavamaks (Rutman et al. 2010; Zanto & Gazzaley 2009; võetud Diamond, 2013 tekstist). Ka reaktsioonijajad, mida võib käsitleda aju üldiste töötlusprotsesside kiiruse näitajatena, alanevad märgatavalt vanuse kasvades. (Deary et al., 2011). Vananemise mõju tõttu täidesaatvatele funktsioonidele ja reaktsioonikiirustele võib eeldada, et ka nende funktsioonide mõõtmiseks kasutatavate ülesannete sooritus halveneb vanuse kasvades.

Kuigi käesoleva uurimistöö hüpoteesid ei saanud kinnitust, ei ole saadud tulemused tühised, sest need võimaldavad täpsustada suure uurimisprojekti raames püstitatavaid hüpoteese ja teha

uurijatel otsuseid, kas loobuda mõne küsimuse uurimisest. Samuti jääb võimalus, et koguvahimil, mis alles moodustub, leiavad kinnitust ka käesoleva töö hüpoteesid.

Soovitused järgnevateks uuringuteks

Sarnaste uuringute edasisel planeerimisel oleks mõistlik laiendada reaktsiooniülesannete valikut ja testida nende efektiivsust suuremal valimi peal. Katseparadigmasse võiks lisada lihtreaktsioonaja mõõtmise, mis võiks anda objektiivsema lähtepunkti reaktsiooniaegade omavahelisele võrdlusele ja aitaks hinnata teiste reaktsioonajaülesannete subjektiivset keerukust. Valikreaktsioonaja ülesande disainimisel oleks mõistlik vältida õigete vastuste laaeefekti, kuna keerulisema ülesande puhul võib eeldada suuremat nõudlikkust töömälule ja oodata suuremaid erinevusi reaktsioonikiirustes. Töömälu mahu ülesande puhul tasuks edaspidi ja tagurpidi spänide järjekord randomiseerida, et vähendada järjekorraefektide mõju tulemustele ja arvestada eelpool väljatoodud probleemidega tähestiimulite kasutamisel. Kasutatud stopp-signaali ülesanne näib töötavat hästi.

KIRJANDUSE LOETELU

- Aluoja, A., Shlik, J., Vasar, V., Luuk, K., & Leinsalu, M. (1999). Development and psychometric properties of the Emotional State Questionnaire, a self-report questionnaire for depression and anxiety. *Nordic Journal of Psychiatry*, *53*(6), 443–449. <https://doi.org/10.1080/080394899427692>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, *56*(11), 851–864. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.56.11.851>
- Baddeley, A., Papagno, C., & Vallar, G. (1988). When long-term learning depends on short-term storage. *Journal of Memory and Language*, *27*(5), 586–595. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(88\)90028-9](https://doi.org/10.1016/0749-596X(88)90028-9)
- Band, G. P. H., van der Molen, M. W., & Logan, G. D. (2003). Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta Psychologica*, *112*(2), 105–142. [https://doi.org/10.1016/s0001-6918\(02\)00079-3](https://doi.org/10.1016/s0001-6918(02)00079-3)
- Cowan, N. (1999). An Embedded-Processes Model of Working Memory. *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (lk 62–101). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.006>
- Cowan, N. (2010). The Magical Mystery Four: How Is Working Memory Capacity Limited, and Why? *Current Directions in Psychological Science*, *19*(1), 51–57. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Deary, I. J., Liewald, D., & Nissan, J. (2011). A free, easy-to-use, computer-based simple and four-choice reaction time programme: The Deary-Liewald reaction time task. *Behavior Research Methods*, *43*(1), 258–268. <https://doi.org/10.3758/s13428-010-0024-1>
- Hanley, J. R., & Young, A. W. (2019). ELD revisited: A second look at a neuropsychological impairment of working memory affecting retention of visuo-spatial material. *Cortex*, *112*, 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.10.029>
- Havik, M., Jakobson, A., Tamm, M., Paaver, M., Konstabel, K., Uusberg, A., Allik, J., Ööpik, V., & Kreegipuu, K. (2012). Links between self-reported and laboratory behavioral impulsivity: Self-reported and laboratory behavioral impulsivity. *Scandinavian Journal of Psychology*, *53*(3), 216–223. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2012.00942.x>
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(3), 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.006>
- Hugdahl, K. (2011, juuli). *Fifty years of dichotic listening research—Still going and going and...* Brain and Cognition; Brain Cogn. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.03.006>
- Kane, M. J., Conway, A. R. A., Bleckley, M. K., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(2), 169–183. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.2.169>

- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.
<https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex „Frontal Lobe“ Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81(2), 111–121.
<https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x>
- Möttus, R., Pullmann, H., & Allik, J. (2006). Toward more readable Big Five Personality Inventories. *European Journal of Psychological Assessment*, 22(3), 149–157.
<https://doi.org/10.1027/1015-5759.22.3.149>
- Raidvee, A., Lember, J., & Allik, J. (2017). Discrimination of numerical proportions: A comparison of binomial and Gaussian models. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79(1), 267–282. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1188-2>
- Rozgonjuk, D., Rosenvald, V., Janno, S., & Täht, K. (2016). Developing a shorter version of the Estonian Smartphone Addiction Proneness Scale (E-SAPS18). *Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace*, 10(4), Article 4.
<https://doi.org/10.5817/CP2016-4-4>
- Schiffer, K. (2021). Visuaalsete ja auditiivsete segajate mõju 2-tagasi ülesande lahendamisele. Uurimistöö. Tartu Ülikool, psühholoogia instituut.
- Simonson, E., & Brozek, J. (1952). Flicker fusion frequency; background and applications. *Physiological Reviews*, 32(3), 349–378.
<https://doi.org/10.1152/physrev.1952.32.3.349>
- Sultson, H., Vainik, U., & Kreegipuu, K. (2019). Hunger enhances automatic processing of food and non-food stimuli: A visual mismatch negativity study. *Appetite*, 133, 324–336. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.11.031>
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (s.a.). *Response inhibition in the stop-signal paradigm*. 7.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Automatic and controlled response inhibition: Associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *Journal of Experimental Psychology. General*, 137(4), 649–672.
<https://doi.org/10.1037/a0013170>
- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063–1070. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.6.1063>
- Westerhausen, R., Pöldver, N., Naar, R., Radziun, D., Kaarep, M. S., Kreegipuu, K., Hugdahl, K., Lippus, P., & Kompus, K. (2018). Effect of voicing on perceptual auditory laterality in Estonian and Norwegian native speakers. *Applied Psycholinguistics*, 39(2), 259–273. <https://doi.org/10.1017/S0142716417000170>
- Wilde, N. J., Strauss, E., & Tulskey, D. S. (2004). Memory Span on the Wechsler Scales. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26(4), 539–549.
<https://doi.org/10.1080/13803390490496605>

Woods, D. L., Kishiyama, M. M., Yund, E. W., Herron, T. J., Edwards, B., Poliva, O., Hink, R. F., & Reed, B. (2011). Improving digit span assessment of short-term verbal memory. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 33(1), 101–111. <https://doi.org/10.1080/13803395.2010.493149>

Käesolevaga kinnitan, et olen korrektselt 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.

/Aneth Pokk/