

Tartu Ülikool
Sotsiaalteaduste valdkond
Psühholoogia instituut

William Vaask

**OPTIMAALNE STIIMULI ESITAMISE JA PAUSI AEG NING VERBAALSE JA
VISUAALSE STRATEEGIA EFEKTIIVSUS 2-TAGASI TÖÖMÄLU ÜLESANDES**

Uurimistöö

Juhendaja: Kairi Kreegipuu (PhD), Nele Põldver (PhD)

Läbiv pealkiri: Stiimuli esitamise aeg ja strateegiate efektiivsus

Tartu 2021

Optimaalne stiimuli esitamise ja pausi aeg ning verbaalse ja visuaalse strateegia efektiivsus 2-tagasi töömälu ülesandes

Lühikokkuvõte

Töömälul on suur osa inimeste igapäevaelus ja kognitiivses toimimises. Uurimuse peamine eesmärk oli iseloomustada, kuidas mõjutavad stiimuli esitamise ja pausi ajad 2-tagasi töömälu ülesande sooritamise täpsust. Uurimuse teine eesmärk oli võrrelda verbaalse ja visuaalse strateegia efektiivsust muutliku stiimuli esitamise ja pausi ajaga 2-tagasi töömälu ülesandes. Eksperimendis osales 24 katseisikut (keskmine vanus 23,79 aastat). Eksperimendis sooritati muutliku stiimuli esitamise ja pausi ajaga 2-tagasi töömälu ülesanne, kus stiimulina kasutati seitset erinevat tähte ja 3x3 ruudustikku. Andmeanalüüsis kasutati peamiselt beta regressiooni, t-testi ja paarikaupa Wilcoxon'i astaksumma testi. Peale ülesande sooritamise täpsuse mudeldamise leiti, et verbaalne strateegia on efektiivsem kui visuaalne strateegia muutliku stiimuli esitamise ja pausi ajaga 2-tagasi töömälu ülesandes. Töö tulemusi on võimalik ära kasutada järgmistes n-tagasi töömälu ülesannetel põhinevates uuringutes.

Märksõnad: töömälu, optimaalne esitamise aeg, optimaalne pausi aeg, verbaalne strateegia, visuaalne strateegia, 2-tagasi töömälu ülesanne

Optimal stimulus presentation time, break time and verbal, visual strategy efficiency in 2-back working memory task

Abstract

Working memory plays an important part in everyday life and in cognitive functioning. The aim of this study was to examine how the accuracy of the 2-back working memory task is affected by stimulus presentation time and break time. Another aim was to compare the effectiveness of the verbal and visual strategy in the 2-back working memory task using varied stimuli and break time. The study involved 24 participants (average age of 23,79 years). In the experiment, seven different letters and 3x3 grid were used as stimuli. Data was mainly analysed using the beta regression, t-test and paired Wilcoxon signed-rank sum test. Besides modeling the accuracy of the working memory task, the results showed that verbal strategy is more effective than visual strategy in the 2-back working memory task. The results of this study can be used in the following studies examining working memory.

Keywords: working memory, n-back task, varied stimuli, verbal strategy, visual strategy, stimulus presentation time, break time

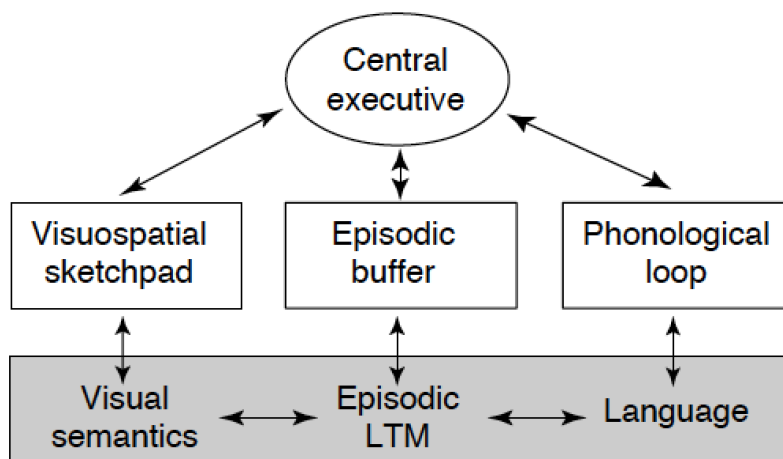
Sissejuhatus

Töömälu on aju süsteem, mis vahendab ajutist informatsiooni säilitamist ja informatsiooniga manipuleerimist (Baddeley, 1992). Töömälu on vajalik selliste kompleksete kognitiivsete ülesannetele puhul nagu keele mõistmine, õppimine ja arutlemine (Baddeley, 1992).

Levinuima töömälu teooria multikomponentse mudeli järgi jaotatakse töömälu tsentraalseks kesktäidesaatvaks süsteemiks (ingl *central executive*), fonoloogiliseks silmuseks (ingl *phonological loop*) ja visuaal-ruumiliseks hoidlaks (ingl *visuo-spatial sketchpad*) (Baddeley & Hitch, 1974; Vahtramäe, 2012) (Joonis 1). Mudeli järgi kontrollib tähelepanust piiratud tsentraalne kesktäidesaatev süsteem kogu töömälu süsteemi, valides ja manipuleerides materjali allsüsteemides: fonoloogilises silmuses ja visuaal-ruumilises hoidlas (Baddeley & Hitch, 1974).

Tsentraalsel kesktäidesaatval süsteemil on Baddeley ja Hitchi (1974) arvates kolm olulist funktsiooni: tähelepanu fokuseerimine, tähelepanu jagamine mitme samaaegse ülesande vahel ja tähelepanu vahetamine ühelt ülesandelt teisele. Baddeley (2007) arutles, et tsentraalne kesktäidesaatev süsteem võib töötada sarnaselt Norman ja Shallice (1986) tähelepanu kontrolli mudelile. Selle järgi toimib tähelepanu kontroll kahel tasemel: automaatsel kontrollil ning kõrgemasemelisel tähelepanu kontrollil (ingl *supervisory attention system*) (Norman & Shallice, 1986). Norman ja Shallice järgi (1986) automaatne kontroll valib pidevalt konkureerivate skeemide vahel, samas kõrgetasemelist kontrolli kasutatakse, kui on tegemist tegevustega, mis on uued, kehvasti õpitud, ohtlikud või vajavad planeerimist.

Allsüsteemidest visuaal-ruumiline hoidla vastutab ajutise visuaalse ja ruumilise informatsiooni säilitamise eest ning fonoloogiline silmus vastutab ajutise keelelise informatsiooni säilitamise eest (Baddeley & Hitch, 1974). Hiljem lisati mudeli töömälu-ressursside hulka episoodiline puhver (ingl *episodic buffer*), mis on võimeline siduma informatsiooni erinevatest süsteemidest ja pikaajalisest mälust üheks terviklikuks episoodiliseks representatsiooniks (Joonis 1) (Baddeley, 2000). Käesoleva töö fookus on fonoloogilisel silmusel ja visuaal-ruumilisel hoidlal.



Joonis 1

Baddeley (2000) töömälu süsteeme kirjeldav multikomponentne mudel

Uurimuses esitatava visuaalse sisendi töötlemisel on võimalik kasutada nii verbaalset strateegiat kui visuaalset strateegiat. Verbaalse strateegiana käsitletakse antud töös stiimulmaterjali verbaalset kordamist, näiteks kui inimene näeb “A” tähte, siis ta hoiab seda töömälus sisekõne abil sisendit kinnitades. Visuaalne strateegia on seotud visuaalse sisendiga, näiteks kui inimene näeb näiteks “A” tähte, siis ta ei töötle seda kui tähte, vaid kolme kriipsu. Lisaks toodud strateegiatele on võimalik kasutada kombineeritud strateegiat, mille puhul töödeldakse sisendit samaaegselt, kasutades nii verbaalset kui ka visuaalset strateegiat. See tähendab, et nähes “A” tähte töödeldakse seda nii sisekõne kui kolme kriipsuna.

Üheks populaarseimaks töömälu mõõtmise viisiks on *n*-tagasi ülesanded (ingl *n-back tasks*), kus katseisikud peavad jälgima verbaalseid või visuaalseid stiimuleid ning andma märku, kui esitatud stiimul on sama *n* stiimulit tagasi esitatud stiimuliga (Kirchner, 1958; Owen jt, 2005). Üldiselt on Kirchneri (1958) eeskujul *n*-tagasi ülesannetes *n* väärtuseks täisarv nulli ja kolme vahel.

Verbaalse ja visuaalse strateegia efektiivsust mõõdetakse *n*-tagasi ülesannetes enamasti täpsuse ja reaktsioonikiiruse abil. Täpsus *n*-tagasi ülesandes on õigete vastuste osakaal kõikidest vastustest. Uurimused on näidanud, et madala täpsuse puhul tasub olla järelustega ettevaatlik, kuna seal on harjutamisel suurem roll (McMorris jt, 2011). Seetõttu on mõistlik iseloomustada verbaalset ja visuaalset strateegiat reaktsiooniaja abil, hoides täpsuse suurena. Schweizer (1996) on leidnud, et täpsus on seotud kognitiivse võimekusega

rohkem keeruliste kui lihtsate ülesannete puhul. Seega ei tohiks ülesande täpsus olla ei madal ega 1-lähedane ehk maksimaalne.

1-tagasi ülesannete täpsus kõrgharidusega katseisikute puhul oli peaaegu 1 ($M = 0,99$, $SD = 0,03$) (Jaeggi jt, 2010) ning võib intuiitiivselt arutleda, et 0-tagasi ülesanne on lihtsam 1-tagasi ülesandest, seetõttu neid ülesandeid antud töös ei käsitleta. Kuigi Jaeggi jt (2010) uurimuses on ka 2-tagasi ülesande täpsus 1-lähedane ($M = 0,91$, $SD = 0,13$), siis jääb mulje, et 2-tagasi ülesanne on parem kirjeldamiseks optimaalset täpsust, sest Jaeggi jt (2010) uurimuses on 3-tagasi ülesande puhul täpsus võrdlemisi madalam ($M = 0,66$, $SD = 0,19$). Seetõttu võib 3-tagasi ülesande puhul harjutamine segada töömälu iseloomustamist. Lisaks on 2-tagasi ülesannet kasutades parem võrreldavus TÜ eksperimentaalpsühholoogia laboris varem tehtud Uuskami (2015) ja Uutma (2015) uuringutega, sest ka nemad kasutasid oma töös 2-tagasi ülesannet. Sellest tulenevalt kasutatakse uurimuses 2-tagasi ülesannet. Tuginedes Jaeggi jt (2010) uuringule võiks optimaalne täpsus 2-tagasi ülesande puhul olla ligikaudu 0,8.

Stiimuli esitamise aeg on ajavahemik stiimuli ilmumisest kuni selle kadumiseni. Pausina käsitletakse käesolevas uurimuses ajavahemikku ühe stiimuli kadumisest järgmise stiimuli ilmumiseni. Uuskami (2015) ja Uutma (2015) uurimustes oli stiimuli esitamise aeg 2500ms ja paus 500ms (kogu tsükli pikkus 3000ms). Jaeggi jt (2010) uurimuses oli stiimuli esitamise aeg 500ms ja pausi aeg 2500ms (kogu tsükli pikkus 3000 ms). Kuna Uuskami (2015), Uutma (2015) ning Jaeggi jt (2010) uurimustes oli kõikides 2-tagasi ülesande puhul täpsus suurem kui 0,8, siis kasutati nii stiimuli esitamise aja kui ka pausi ülempiirina 2500ms ning tsükli pikkuse ülempiirina 3000ms. Samuti tuli arvesse võtta, et stiimuli esitamise ja pausi aja summa ei oleks suurem reaktsioonijast. Uuskami (2015), Uutma (2015) ning Jaeggi jt (2010) uurimustes jäid kõik reaktsioonijad 2-tagasi ülesande puhul 1200ms sisse. Arvestades, et uurimuses on stiimulite esitamise ja pausi aeg muutlik, siis kasutati tsükli pikkuse alampiirina 1500ms.

N-tagasi töömälu ülesannetes on eelnevalt uuritud põhiliselt täpsust ja reaktsioonijast, kuid puudub selgus ühtlase stiimuli esitamise ja pausi aja kohta ning nende mõju kohta täpsusele. Seega on esimene uuringu eesmärk iseloomustada täpsuse muutumist 2-tagasi ülesande puhul sõltuvalt stiimuli esitamise ja pausi ajast.

Teine uurimuse eesmärk välja selgitada stiimuli esitamise ja pausi ajad optimaalse täpsuse saamiseks 2-tagasi ülesandega töömälukatses nii verbaalse kui ka visuaalse strateegia puhul. Uuskam (2015) ja Uutma (2015) leidsid, et suure stiimulite arvu korral, nagu 7 stiimulit, on verbaalne töötlus 2-tagasi töömälukatses täpsem kui visuaalne töötlus. Sellest tulenevalt püstitatakse käesolevas töös esimese hüpoteesina, et visuaalse strateegia korral on sama pika stiimulite pausi aja puhul optimaalseks täpsuseks vajalik stiimuli esitamise aeg pikem kui verbaalse strateegia korral.

Uurimuse kolmas eesmärk on võrrelda verbaalse ja visuaalse strateegia kasutamise efektiivsust reaktsioonaja abil erinevate stiimuli esitamiste ja pauside aegadega. Nii Uuskam (2015) kui ka Uutma (2015) leidsid, et verbaalse töötluste puhul oli inimeste reaktsiooniaeg kiirem kui visuaalse töötluste puhul. Seetõttu püstitatakse teise hüpoteesina, et tähtede esitamise puhul on inimeste reaktsiooniaeg kiirem kui ruudustike esitamise puhul. Uuskam (2015) ja Uutma (2015) uurimustes kasutati visuaalsete stiimulitena joonistatud nägusid. Nende stiimulite kriitika seisneb selles, et neid on kerge töödelda verbaalselt, mistõttu katsetatakse käesolevas töös visuaalne stiimulina ruudustikke. Ruudustike kasutamise idee seisneb selles, et neid ei ole niivõrd kerge töödelda verbaalselt, mistõttu võiks esineda kombineeritud strateegiat vähem. Sellest lähtudes on käesoleva töö neljas eesmärk uurida, millisel määral ja missuguste ruudustike puhul kasutatakse automaatselt visuaalset strateegiat.

Nende teemade uurimine on oluline, sest töömälul on suur osa inimeste igapäevaelus ja kognitiivses toimimises. Uurimuse uudsus seisneb n-tagasi töömälu ülesannete stiimuli esitamise aja ning pausi puudulikus uurimises. Samuti kasutab käesolev uurimus uudset n-tagasi töömälu ülesanne läbiviimisel varieeruvaid stiimuli esitamisaegu ja varieeruvaid pause. Selle töö tulemusi on võimalik ära kasutada järgmistes n-tagasi töömälu ülesannetel põhinevates uuringutes.

Seega on käesoleva töö eesmärgid (1) iseloomustada täpsuse muutumist 2-tagasi ülesande puhul sõltuvalt stiimuli esitamise ja pausi ajast, (2) välja selgitada stiimuli esitamise ja pausi ajad optimaalse täpsuse saamiseks 2-tagasi ülesandega töömälukatses nii verbaalse kui ka visuaalse strateegia puhul, (3) võrrelda verbaalse ja visuaalse strateegia kasutamise efektiivsust reaktsioonaja abil erinevate stiimuli esitamiste ja pauside aegadega, (4) millisel määral ja missuguste ruudustike puhul kasutatakse automaatselt visuaalset strateegiat.

Lähtuvalt varasemast teaduskirjandusest püstitatakse käesolevas töös järgmised hüpoteesid, et (a) visuaalse strateegia korral on sama pika stiimulite pausi aja puhul optimaalseks täpsuseks vajalik stiimuli esitamise aeg pikem kui verbaalse strateegia korral ning (b) tähtede esitamise puhul on inimeste reaktsiooniaeg kiirem kui ruudustike esitamise puhul.

Meetod

Valim

Valim koosnes 24 katseisikust, kellest 14 olid meessoost ja 10 naissoost. Katseisikud olid vanusevahemikus 20 kuni 31 aastat, keskmine oli 23,79 aastat ($SD = 2,64$). Meessoost katseisikute keskmine vanus oli 24,64 aastat ($SD = 2,84$). Naissoost katseisikute keskmine vanus oli 22,60 aastat ($SD = 1,84$). Uuringus kasutati mugavusvalimi põhimõtet, katseisikud olid Tartu Ülikooli ja Eesti Lennuakadeemia tudengid. Katseisikuid kutsuti eksperimenti sotsiaalmeedia vahendusel. Iga katseisik langetas 500 otsust ja kõik katseisikud tegid katse vältel kokku 12 000 otsust. Varasemalt olid n-tagasi töömälu katses osalenud 5 katseisikut.

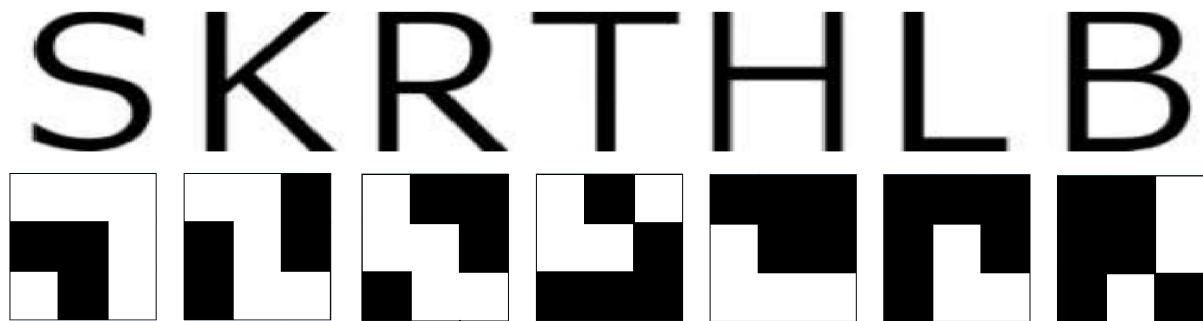
Katsematerjal

Katse jaoks kohandati MATLAB R2016 versioon 9.1.0.441655 (MATLAB, 2016b) tarkvara abil TÜ eksperimentaalpsühholoogia laboris varasemalt kasutuses olnud arvutiprogramm (juhtfailid programmeeritud Mai Toomi poolt), millega abil oli võimalik esitada 2-tagasi ülesandeks vajalikke stiimuleid.

Sarnaselt varasematele töödele (Uuskam, 2015; Uutma 2015), kasutati verbaalse strateegia iseloomustamiseks erinevaid visuaalselt esitatavaid tähti (Joonis 2). Tähtede valimise aluseks varasematel töödel oli tähtede esinemissagedus, helilisus ja kirjpilt (Uuskam, 2015; Uutma 2015).

Visuaalse strateegia iseloomustamiseks kasutati erinevaid 3x3 must-valgeid ruudustikke, kuna 2x2 ruudustikud on üksteisele liiga sarnased ning 4x4 ja suuremad ruudustikud on võrreldes tähtedega liiga kompleksed. Ruudustike valimisel arvestati, et nii valgeid kui musti ruute peaks ruudustikus olema üle 2, kuna vastasel juhul oleks ruudustik võrreldes tähtedega liiga lihtsa ülesehitusega. Seejärel genereeriti juhuslikult 7 ruudustikku nii, et ühes ruudustikus oleks 3 musta kasti, kahes ruudustikus 4 musta kasti, kahes ruudustikus 5 musta kasti ning kahes ruudustikus 6 musta kasti (Joonis 2).

Nii verbaalse kui visuaalse strateegia puhul valiti Uuskami (2015) ja Uutma (2015) uurimuste põhjal stiimulite arvuks seitse (Joonis 2). See tähendab, et nii verbaalseid stiimuleid kui ka visuaalseid stiimuleid oli seitse erinevat.



Joonis 2

2-tagasi katse verbaalne ja visuaalne stiimulmaterjal

Aparatuur

Katse viidi läbi arvutis Lenovo ThinkPad P50. Arvutile Lenovo ThinkPad P50 ligipääsemiseks kasutasid katseisikud enda arvutit ja laadisid enda arvutisse alla programmi TeamViewer (Torgemane, 2007), mis annab õiguse teist seadet kasutada kaugjuhtimise teel. Sama programm oli alla laetud Lenovo ThinkPad P50 arvutisse. Lenovo ThinkPad P50 seadistust muudeti vastavalt sellele, et sisendi viivitus (ingl *input lag*) teisest arvutist oleks võimalikult väike. Katse ajal vestluse võimaldamiseks katse läbiviija ja katseisiku vahel kasutati telefoni Xiaomi 8 Lite ja Facebook Messenger häälkõne (ingl *voice call*). Katse viidi läbi programmis MATLAB R2016b versioon 9.1.0.441655 (MATLAB, 2016b). Katseisikud kasutasid otsuse langemisel arvutihiirt või selle puudumisel arvuti puuteplaati (ingl *touchpad*).

Protseduur

Katseisikutel paluti enne katset leida endale vaikne koht eksperimendis osalemiseks ja arvutihiir. Katseisikutel paluti täita enne eksperimenti lühike küsimustik taustainfo saamiseks, mis sisas katseisiku sugu, vanust ning kas ta on varem n-back töömälu katses osalenud. Samuti paluti katseisikul allkirjastada katses osalemise nõusolekuleht, kus ta kinnitas, et tal ei

ole esinenud epilepsiat, migreeni jm neuroloogilisi haiguseid. Katseisikud sooritasid katse kodudes programmi TeamViewer abil, mis võimaldas katseisikutel ühendada oma arvuti katse läbiviija arvutiga Lenovo ThinkPad P50. Instruktsioonide esitamiseks ja vestluse võimaldamiseks tehti katseisikutega Facebook Messenger vahendusel häälkõne. TeamVieweri sisendi viivitust kontrolliti enne katse läbi viimist ja seadistati nii, et sisendi viivitus oleks võimalikult väike. Katse käigus lahendas katseisik ülesandeid iseseisvalt ning enne katseid kinnitati katseisikutele, et nende tegemisi ei jälgita, eesmärgiga vähendada katses esinevat ärevust.

Katset alustades tutvustas katse läbiviija lühidalt katset. Instruktsioonid kordusid hiljem ekraanil enne iga katse seria algust. Enne katseosade algust oli katseisikul võimalik ülesannetega tutvuda lühikesel kaheminutisel õppimisperiodil. Õppimisperiodil olid stiimuli esitamisaeg ja paus konstantse pikkusega 2000 ms. Katses ei tutvustatud katseisikule töötlusstrateegiad ja ei selgitatud, millist töötlusstrateegiat võiks katseosades kasutada. Pärast esimest katse õppimisperiodi vaadati üle tulemused veendumaks, et katseisik on katsest korrektselt aru saanud.

2-tagasi ülesande puhul nägi katseisik järjest ühekaupa stiimuleid (vastavalt kas tähed või ruudustikud), mis esitati ekraani keskel. Stiimulite esitamise ja stiimuli pausi ajad olid muutuvad suurused, vastavalt vahemikes 40-2500ms ja 40-2500ms, kusjuures tsükli pikkus oli vahemikus 1500-3000ms ning muutlikud suurused olid samad mõlema stiimuli tüübi (täht, ruudustik) lõikes. 2-tagasi ülesande koostamisel ei kasutatud esialgselt plaanitud juhuslikult genereeritud suuruseid, kuna pärast esialgseid pilootteste arvati, et ülesanne muutub liiga keeruliseks võrreldes konstantse stiimuli esitamise aja ja pausi ning konstantse stiimuli tsükli pikkusega. Selleks, et säilitada võrreldavust, otsustati muuta kahte muutujat järkjärguliselt: stiimuli esitamise aja ja pausi suhet ning stiimuli tsükli pikkust. Eeldati, et järkjärgulist muutumist on katseisikutel lihtsam jälgida, mistõttu on katseprotsess sarnasem katseprotsessile, mis on konstantse stiimuli esitamise aja ja pausi suhtega ning konstantse stiimuli esitamistsükli pikkusega. Stiimuli tsükli pikkused muutusid sammuga 50ms ning stiimuli esitamise aja ja pausi suhe muutus vahemikus 1:31 kuni 31:1 ning stiimuli esitamise aja osakaal kogu tsükli pikkusest suurenes sammuga 1/32. Vastav sammupikkus valiti eesmärgiga hoida stiimuli esitamise aja ja pausi suhte ning stiimuli esitamistsükli muutumiste tsükli pikkused otsuste arvu poolest võrdsed.

Katses kasutati segakatseplaani. Katseisikud läbisid katse nii tähtedega kui ka ruudustikega. Stiimuli esitamise aja ja pausi suhte ning stiimuli esitamistsükli muutumised jagati neljaks: 1) stiimuli esitamise aja ja pausi suhe ning stiimuli esitamistsükli muutumised olid kasvavad, 2) stiimuli esitamise aja ja pausi suhte muutumine oli kasvav ning stiimuli esitamistsükli muutumine oli kahanev 3) stiimuli esitamise aja ja pausi suhe ning stiimuli esitamistsükli muutumised olid kahanevad 4) stiimuli esitamise aja ja pausi suhte muutumine oli kahanev ning stiimuli esitamistsükli muutumine oli kasvav. Kõik katseisikud läbisid mõlema stiimuliga kõik neli tingimust erinevas järjestuses. Nelja tingimuse kombinatsioonide arv oli 24. Reliaabluse tõstmiseks läbiti igat tingimust kaks korda. Kuna eeltoodud nelja tingimuse puhul ei pruugi kogu muutumispiirkond olla piisavalt hästi iseloomustatud, siis stiimuli esitamise aja ja pausi suhte puhul alustati pooltel juhtudel muutumispiirkonna keskelt. Kahe esimese stiimuli puhul olid nii stiimuli esitamisaeg kui ka paus võrdne 1250 ms.

Katseisikul paluti anda parema hiireklahvivajutusega märku, kas stiimul, mida ta hetkel ekraanil oli nägemas, oli sama, kui stiimul, mis oli ekraanil üle-eelmisena. Katseisikut juhendatati vajutama vasakut hiireklahvi, kui ekraanile ilmuv stiimul oli erinev stiimulist, mis oli ekraanil üle-eelmisena, ja paremat hiireklahvi, kui stiimul oli sama. Üle-eelmisega samu esitamisi oli sarnaselt Jaeggi jt (2010), Uuskami (2015) ja Uutma (2015) uuringutele 30%.

Eksperiment kestis ligikaudu 45 minutit. Pärast eksperimenti küsiti katseisikult kindlushinnangut oma tulemusele ning paluti katseisikul kirjeldada, milliseid strateegiaid mõlemas 2-tagasi ülesandes kasutati. Pärast eksperimenti küsiti katseisikult üldist tagasisidet katse kohta, kus oli ka võimalik ära märkida soov uuringu tulemustest tehtava kokkuvõtte saamisest. Katse lõppedes informeeriti katseisikuid töö eesmärkide osas.

Andmeanalüüs

Andmete analüüsimiseks kasutati programmi R 3.6.1 (R Core Team, 2019), kus mudeldati ülesande sooritamise täpsus ($M = 0,802$, $SD = 0,084$) beta regressiooniga, võrreldi t-testi abil foneetilise ja visuaalse stiimuli reaktsioonikiirust ning kontrolliti vastava mudeli ja t-testi eelduseid. Statistilises analüüsis kasutati järgmisi pakette: *readxl package*, *lmtest package*, *betareg package*, *tidyverse package*, *hrbrthemes package*, *viridis package* ja *brms package*.

Analüüsis valiti olulisuse nivooks 0,05. Mudeli koostamisel jäeti kõrvale 22. katseisiku tulemused, kuna hiljem selgus, et katseisik oli läbinud katse vale seadistusega, mistõttu tema tulemused ei olnud grupeeritavad teiste katseisikute tulemustega. Vaatamata sellele ei jäetud katseisiku tulemusi kõrvale reaktsioonikiiruste võrdlemisest, kuna reaktsioonikiiruste võrdlemiseks ei olnud vaja andmeid grupeerida ning katseisik läbis katse foneetilise ja visuaalse stiimuliga sama seadistusega. Reaktsiooniaegade võrdlusel jäeti kõrvale üksikud 20. ja 22. katseisiku vaatlused, kuna katse hangus üksikute stiimulite esitamiste käigus. Vaatluste kõrvale jätmisel jäeti lisaks hangunud vaatlusele kõrvale ka järgnev vaatlus, et hangumised mõjutaks võimalikult vähe katseisikute 2-tagasi töötlust. Lisaks jäeti andmeanalüüsist välja iga seeria kaks esimest vaatlust, kuna nende puhul ei eksisteerinud üle-eelmisena esitatud stiimulit ning seega ei olnud võimalik nende vaatluste puhul katseisiku 2-tagasi töötlust analüüsida.

Täpsuse mudeldamiseks grupeeriti esialgu vaatlused stiimuli esitamise aja ja pausi aja suhte, stiimuli tüübi ning ühe stiimuli esitamise tsükli järgi. Hiljem grupeeriti vaatlused lisaks hetkestiimulile ka eelmise ning üle-eelmise stiimuli esitamise aja ning pausi aja suhte ning üle-eelmise stiimuli esitamise tsükli pikkuse järgi. Andmed grupeeriti programmi *Statistical Analysis Software* (lüh SAS) (Inc, 2013) protseduuri PROC SQL abil. Kuna hilisemalt käsitletud üle-eelmise stiimuli esitamise info ei osutunud lõplikus mudelis - mis sisaldas ka esialgse mudeli muutujaid - oluliseks, siis jäeti üle-eelmise stiimuli esitamise info mudeli koostamisest kõrvale ning lõpliku mudeli koostamisel kasutati esialgset grupeerimist. Täpsuse mudeldamiseks kodeeriti stiimuli tüüp ümber binaarseks tunnuseks, kus tähtede puhul kasutati koodi "0" ja ruudustike puhul koodi "1".

Uuringu eetiline külg

Enne eksperimendis osalemist allkirjastasid katseisikud informeeritud nõusolekulehe. Uurimistöös osalemine oli vabatahtlik. Katseisikutel oli õigus iga hetk katses osalemine pooleli jätta ja osalemisest loobuda. Uurimusest jäeti välja isikud, kellel on esinenud või esineb epilepsiat, migreeni ja muid neuroloogilisi haiguseid.

Katseisikutel uuriti peale nõusolekulehe allkirjastamist nende soo ja vanuse kohta ning kas nad on varem katses osalenud. Saadud isikuandmeid hoiti konfidentsiaalsena ja neid

ei olnud võimalik kokku viia isikuga. Uurimistöö lõppedes isikuandmeid ei säilitatud ja need hävitati. Katse lõppedes informeeriti katseisikuid töö eesmärkide osas.

Tulemused

Mudeli sõltumatuteks muutujateks olid stiimuli tüüp, stiimuli esitamise aja ja pausi aja suhe ning tsükli esitamise aja pikkus. Beta regressiooni koostamisel kasutati linkfunktsioonina (ingl *link function*) täiend-log-log funktsiooni (ingl *complimentary-log-log function*), kuna täiend-log-log funktsiooni ennustustel oli parim sobivus andmetega. Saadi järgnev mudel:

$$\text{cloglog}(\text{täpsus}) = 0,222 - \text{stiimuli tüüp} \cdot 0,124 + 0,00627 \cdot \frac{\text{stiimuli esitamisaeg}}{\text{stiimuli pausi aeg}} + 0,000138 \cdot \text{tsükli pikkus}$$

Valem 1

Beta regressiooni mudel täiend-log-log linkfunktsiooniga

Kompleksema mudeli kasutamise vajalikkust kontrolliti suurima tõepärafunktsiooni alusel ning selgus, et kompleksema mudeli kasutamine on õigustatud, kuna kompleksem mudel annab edasi oluliselt rohkem informatsiooni ($p < 0,001$).

Mudelist on näha, et stiimuli tüüp on täpsusega negatiivselt korreleeritud ning stiimuli esitamisaaja ja pausi suhe ning stiimuli tsükli pikkus on täpsusega positiivselt korreleeritud.

Tabel 1*Beta regressiooni mudeli karakteristikud täiend-log-log linkfunktsiooniga*

	<i>B</i>	<i>SE</i>	<i>z</i>	<i>p</i>
(Vabaliige)	0,222	0,078	2,832	0,005
Stiimuli tüüp	-0,124	0,030	-4,176	<0,001
Stiimuli esitamisaaja ja pausi suhe	0,006	0,003	2,451	0,0142
Stiimuli tsükli pikkus	0,000	0,000	4,144	<0,001

Märkused: B = fikseeritud mõjude hinnangud; SE = standardviga; z = z-skoor; p = olulisustõenäosus.

On teada, et $p(x) = 1 - \exp(-\exp(\text{cloglog}(x)))$. Seetõttu, kasutades optimaalset täpsust, avalduvad stiimuli esitamisaaja ja stiimuli pausi aja suhe ning esitamistsükli pikkus järgmiselt:

$$- \text{stiimuli tüüp} \cdot 0,124 + 0,00627 \cdot \frac{\text{stiimuli esitamisaeg}}{\text{stiimuli pausi aeg}} + 0,000138 \cdot \text{tsükli pikkus} = 0,254$$

Valem 2

Stiimuli esitamisaaja ja pausi aja suhe ning esitamistsükli pikkus optimaalse täpsuse puhul

Seega peaks tähtede stiimulina kasutamisel optimaalse täpsuse saavutamiseks valima stiimuli esitamisaaja ja stiimuli pausi aja suhte ning esitamistsükli järgmiselt:

$$0,00627 \cdot \frac{\text{stiimuli esitamisaeg (ms)}}{\text{stiimuli pausi aeg (ms)}} + 0,000138 \cdot \text{tsükli pikkus (ms)} = 0,254$$

Valem 3

Verbaalse stiimuli esitamisaaja ja pausi aja suhe ning esitamistsükli pikkus optimaalse täpsuse puhul

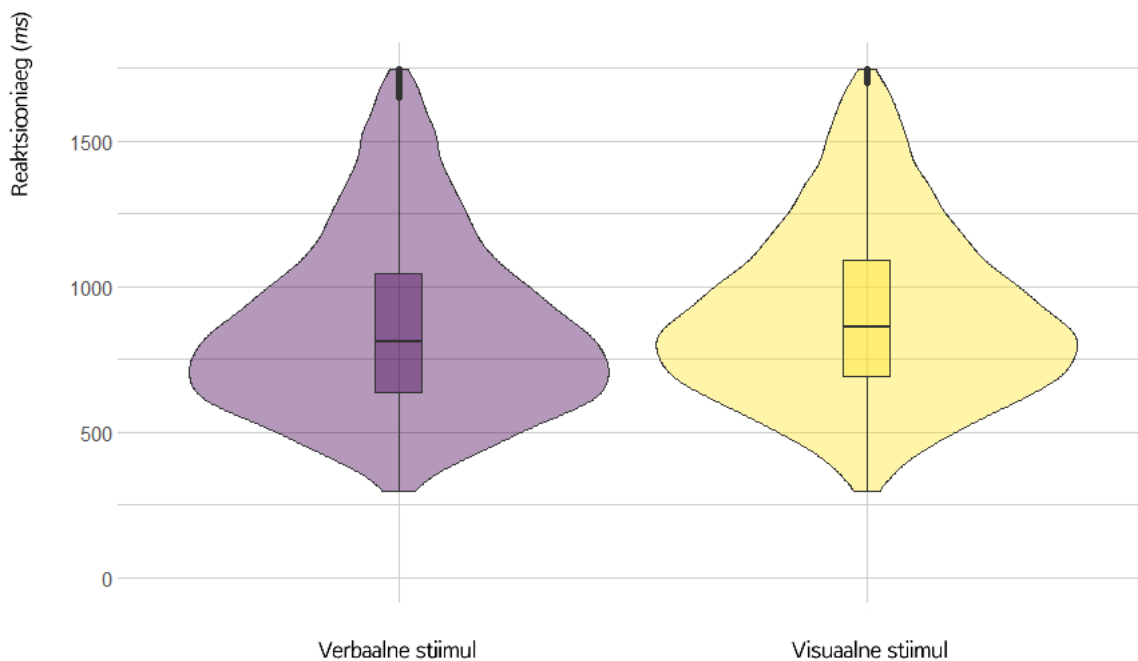
Samuti peaks ruudustikkude stiimulina kasutamisel optimaalse täpsuse saavutamiseks valima stiimuli esitamisaega ja stiimuli pausi aja suhte ning esitamistsükli järgmiselt:

$$0,00627 \cdot \frac{\text{stiimuli esitamisaeg (ms)}}{\text{stiimuli pausi aeg (ms)}} + 0,000138 \cdot \text{tsükli pikkus (ms)} = 0,110$$

Valem 4

Visuaalse stiimuli esitamisaega ja pausi aja suhe ning esitamistsükli pikkus optimaalse täpsuse puhul

Inimeste reaktsiooniaja võrdlemiseks tähtede ja ruudustike esitamise puhul, viidi läbi ühepoolne sõltuvate gruppidega t-test, mille tulemusel leiti, et reaktsiooniaeg on tähtede (M = 971, SD = 493) esitamise puhul väiksem kui ruudustike (M = 987, SD = 471) esitamise puhul ($t = -1,947$, $df = 5903$, $p = 0,026$) (Joonis 3).

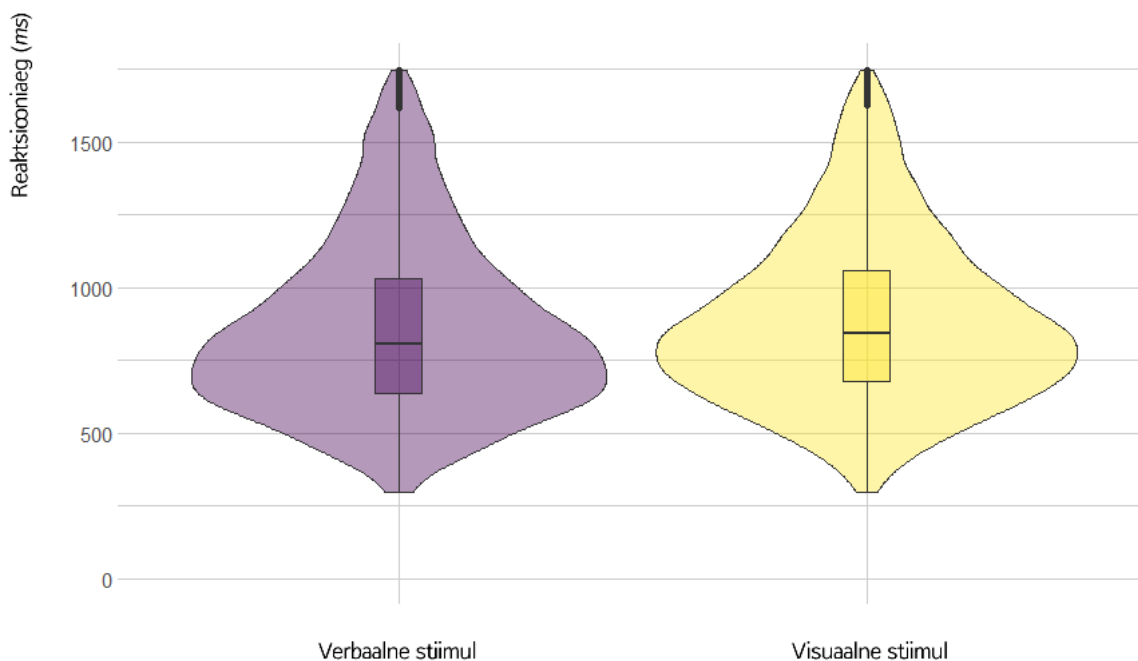


Joonis 3

Reaktsiooniaeg verbaalse ja visuaalse stiimuli korral

Kuna osad katseisikud kasutasid ruudustike töötlemiseks kombineeritud strateegiat, siis võrreldi ka reaktsiooniaja erinevust tähtede puhul foneetilist ja ruudustike puhul visuaalset strateegiat kasutanud katseisikute vaatluste abil. Leiti, et ka stiimulile omase

töötuse korral on katseisikute reaktsiooniaeg tähtede (M = 988, SD = 509) esitamise korral väiksem kui ruudustike (M = 1028, SD = 499) esitamisel ($t = -4.240$, $df = 4711$, $p < 0,001$) (Joonis 4).



Joonis 4

Reaktsiooniaeg verbaalse ja visuaalse stiimuli korral, kasutades vastavalt foneetilist ja visuaalset strateegiat

Selle tulemusel selgus, et inimeste reaktsiooniaeg on tähtede esitamise puhul madalam kui ruudustike esitamise puhul.

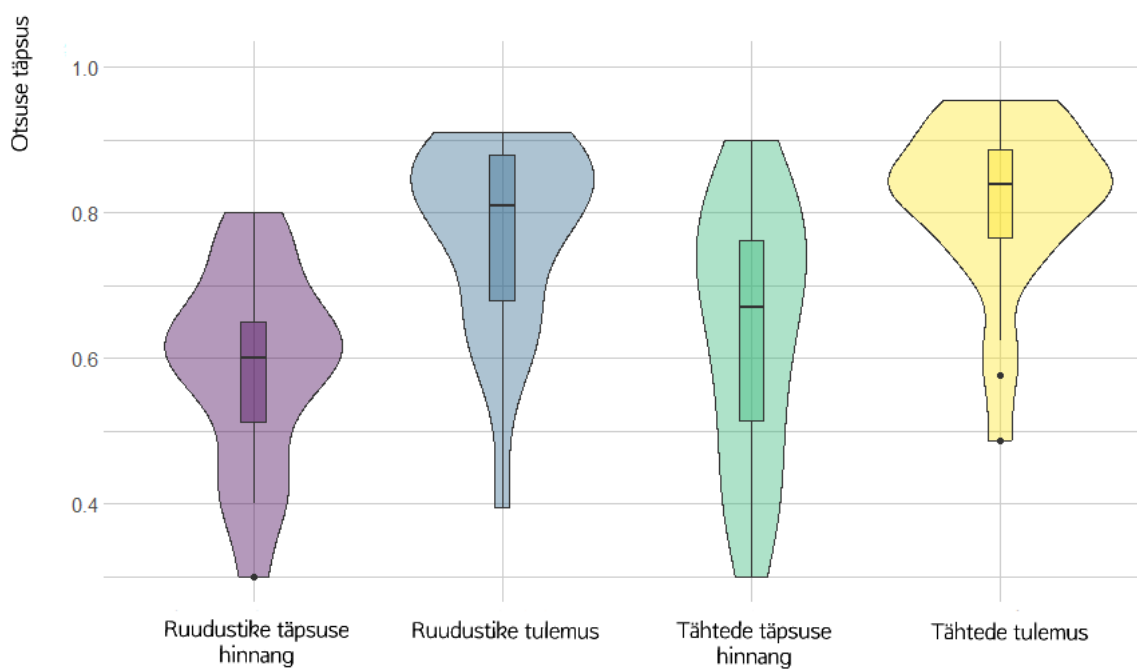
Kindlushinnangute võrdlemiseks tegelike tulemustega grupeeriti andmed 4 gruppi: tähtede testimise tulemus, tähtede testimise kindlushinnang, ruudustike testimise tulemus ja ruudustike testimise kindlushinnang. Kõigepealt viidi läbi Kruskal-Wallise h test tuvastamaks, kas gruppide vahel esineb erinevusi. Leiti, et gruppide vahel esineb erinevusi ($\chi^2 = 39,171$, $df = 3$, $p < 0,001$) (Joonis 5).

Kuna gruppide vahel leidus erinevus, siis kasutati paarikaupa Wilcoxon'i astaksumma testi, et leida millised grupid üksteisest erinevad (Tabel 2). Wilcoxon'i astaksumma testi p-väärtuste paranduseks kasutati Benjamini ja Hochbergi (1995) meetodit.

Tabel 2

Paarikaupa Wilcoxon'i astaksummatest täpsuse hinnangutele ja tulemustele

Paarikaupa Wilcoxon'i astaksummatesti olulisuse tõenäosused	Ruudustike täpsuse hinnang	Ruudustike tulemus	Tähtede täpsuse hinnang
Ruudustike tulemus	<0,001	-	-
Tähtede täpsuse hinnang	0,227	0,001	-
Tähtede tulemus	<0,001	0,283	<0,001

**Joonis 5**

Täpsuse hinnangud ja tulemused tähtede ning ruudustikkude korral

Uuringus kasutasid kõik katseisikud tähtede töötlemiseks foneetilist strateegiat. 19 katseisikut 24st kasutasid ruudustike töötlemiseks ilma juhusteta visuaalset strateegiat. 4 katseisikut kasutasid ruudustike töötlemiseks kombineeritud strateegiat ning 1 katseisik kasutas ruudustike töötlemiseks foneetilist strateegiat.

Arutelu

Käesolevas töös püstitati eesmärgid (1) iseloomustada täpsuse muutumist 2-tagasi ülesande puhul sõltuvalt stiimuli esitamise ja pausi ajast, (2) välja selgitada stiimuli esitamise ja pausi ajad optimaalse täpsuse saamiseks 2-tagasi ülesandega töömälukatses nii verbaalse kui ka visuaalse strateegia puhul, (3) võrrelda verbaalse ja visuaalse strateegia kasutamise efektiivsust reaktsioonaja abil erinevate stiimuli esitamiste ja pauside aegadega, (4) millisel määral ja missuguste ruudustike puhul kasutatakse automaatselt visuaalset strateegiat. Hüpoteesidena püstitati, et (a) visuaalse strateegia korral on sama pika stiimulite pausi aja puhul optimaalseks täpsuseks vajalik stiimuli esitamise aeg pikem kui verbaalse strateegia korral ning (b) tähtede esitamise puhul on inimeste reaktsiooniaeg kiirem kui ruudustike esitamise puhul. Uurimuses sõnastatud eesmärgid said osaliselt täidetud. Esimene, teine ja kolmas eesmärk said täidetud, kuid neljanda eesmärgi täitmisel esines raskusi. Tulemustest selgus, et mõlemad püstitatud hüpoteesid leidsid kinnitust.

Esimene eesmärk, iseloomustada täpsuse muutumist 2-tagasi ülesande puhul sõltuvalt stiimuli esitamise ja pausi ajast, sai täidetud (Valem 1). Selgus, et stiimuli tsükli pikkusega vahemikus 1500-3000ms, on nii stiimuli tsükli pikkus kui ka stiimuli esitamisaaja ja pausi suhe positiivselt seotud täpsusega. See on loogiline, sest kui inimestel on rohkem aega stiimulit töödelda, siis on suurem tõenäosus, et nad suudavad stiimuli oma töömällu talletada.

Esimene hüpotees leidis kinnitust: visuaalse stiimuli korral on sama pika stiimulite pausi aja puhul optimaalseks täpsuseks vajalik stiimuli esitamise aeg pikem kui verbaalse stiimuli korral (Tabel 1). See tähendab, et suurte stiimulite arvu korral on sama stiimuli esitamise aja ja pausiga inimesed 2-tagasi töömälu ülesandes täpsemad verbaalse stiimuli esitamisel võrreldes visuaalse stiimuliga.

Teine eesmärk, välja selgitada stiimuli esitamise ja pausi ajad optimaalse täpsuse saamiseks 2-tagasi ülesandega töömälukatses nii verbaalse kui ka visuaalse strateegia puhul, sai täidetud (Valem 2, Valem 3, Valem 4). Mudelite võimalik puudus on see, et need on koostatud muutliku esitamisaaja ja pausi suhte ning muutliku esitamistsükli abil, mistõttu konstantse esitamisaaja ja pausi suhte ning konstantse esitamistsükli puhul võib tulla sisse erinevusi täpsuses. Kuigi võimalike erinevusi püüti vähendada katseprotseduuriga, siis täpsuse paikapidavust järeleksperimentidega ei kontrollitud.

Kolmas eesmärk, võrrelda verbaalse ja visuaalse strateegia kasutamise efektiivsust reaktsioonija abil erinevate stiimuli esitamiste ja pauside aegadega, sai täidetud ning sellega seonduv teine hüpotees leidis kinnitust: tähtede esitamise puhul on inimeste reaktsiooniaeg kiirem kui ruudustike esitamise puhul. Antud hüpotees leidis kinnitust vaatamata sellele, kas arvestati katseisikuid, kes kasutasid ruudustike töötlemiseks ainult visuaalset strateegiat, või katseisikuid, kes kasutasid vabalt valitud töötlusstrateegiat. Seega, ka muutliku stiimuli esitamisaaja ja pausiga on näha, et töömälu foneetiline strateegia on visuaalsest strateegiast efektiivsem.

Neljas eesmärk, millisel määral ja missuguste ruudustike puhul kasutatakse automaatselt visuaalset strateegiat, sai täidetud: leiti, et valdav enamus inimesi töötles ruudustikke automaatselt visuaalselt. See-eest, antud uurimuses kasutatud ruudustikest suurimad puudused on 2., 3. ja 5. ruudustikul (Joonis 2), kuna osade katseisikute sõnul meenutab 2. ruudustik “Z” tähte, 3. ruudustik “W” tähte ning 5. ruudustik populaarse arvutimängu “Tetris” klotsi. Visuaalsele töötlemisele võis ruudustike puhul kaasa aidata võrreldes teiste uurimustega väiksem stiimuli esitamistsükli pikkus, mistõttu katseisikutel oli võrreldes teiste uurimustega vähem aega ruudustike ümber kodeerida.

Uurimuse valiidsusele oli suurimaks potentsiaalseks probleemiks katseisiku keskkonna ja tingimuste kontrollimatus. Kuna katseisikud üritasid ka ruudustikke ümber kodeerida, siis kui edaspidi uurida, kuidas on võimalik inimeste töötlemisstrateegia valikut suunata, võib ruudustikud koostada nii, et need meenutaks kaudselt tähti. Samuti on soovitatav sel juhul esitada visuaalne stiimul enne foneetilist stiimulit, kuna esitades visuaalset stiimulit pärast selle ümber kodeerimist on visuaalsel töötlusel kombineeritud töötluste oht. Lisaks saab edaspidi uurida, kas täpsuse hinnangu ja tegeliku täpsuse erinevus tulenev stiimuli esitamisaaja ja pausi muutlikkusest või kehtib see ka konstantse stiimuli esitamisaaja ja pausi korral.

Tänu sõnad

Soovin tänada oma juhendajaid Kairi Kreegipuud ja Nele Põldveri, kelle nõuanded ja julgustus olid suureks abiks töö valmimisel. Samuti tänan kõiki katseisikuid, kes panustasid käesoleva uurimistöö valmimisse.

Kasutatud kirjandus

- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation*, 8, 47-89. Academic press.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2007). *Working memory, thought, and action* (Vol. 45). OUP Oxford.
- Inc, S. I. (2013). SAS/ACCESS 9.4 Interface to ADABAS, pp. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394-412.
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of experimental psychology*, 55(4), 352.
- MATLAB. (2016b). version 9.1.0.441655 (R2016b). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiology & behavior*, 102(3-4), 421-428.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action. *Consciousness and self-regulation*, 1-18. Springer, Boston, MA.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human brain mapping*, 25(1), 46-59.
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Vaadatud 12.04.2021
<https://www.r-project.org>.
- Schweizer, K. (1996). The speed-accuracy transition due to task complexity. *Intelligence*, 22(2), 115-128.
- Torgemane, H. (2007). TeamViewer (15.16.8) [Arvuti tarkvara]. Vaadatud 12.04.2021
<https://www.teamviewer.com/en/download/windows/>.

Uuskam, K. (2015). *Töömälusoorituse seos ülesandes kasutatavate stiimulite arvuga.*

Magistritöö. Tartu ülikool, psühholoogia instituut.

http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/49161/uuskam_karin_uur_2015.pdf

Uutma, M. (2015). *Töömälu ülesande soorituse seos taustal esinevate stiimulite ja ülesande sooritamise strateegiaga.* Magistritöö. Tartu ülikool, psühholoogia instituut.

https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/49162/uutma_madli_uur_2015.pdf

Vahtramäe, M. (2012). *Pilootprojekt visuaal-ruumilise mälu testi väljatöötamiseks*

6.-7.-aastaste laste testimiseks. Magistritöö. Tartu ülikool, eripedagoogika osakond.

http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/28109/Madli_Vahtramae.pdf

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.

William Vaask