

Tartu Ülikool
Sotsiaalteaduste valdkond
Psühholoogia instituut

Andre Berezin

**Digitaalse punktide ühendamise testi, lihtreaktsioonaja testi ning valikreaktsioonaja
testi valideerimine**

Uurimistöö

Juhendaja: Uku Vainik, PhD

Läbiv pealkiri: Digitaalne neuropsühholoogia

Tartu 2022

Digitaalse punktide ühendamise testi, lihtreaktsioonaja testi ning valikreaktsioonaja testi valideerimine

Kokkuvõte

Digitaalsed testid on neuropsühholoogiliste mõõtevahenditena populaarsust kogumas, sest need võimaldavad soodsamat ja massilisemat testimist kui traditsioonilised vahendid. Antud töös valideerisin digitaalse punktide ühendamise testi A ja B osa ning lihtreaktsioonaja ja valikreaktsioonaja teste kontrollides soorituste seoseid bioloogiliste, intelligentsuse ja tehniliste muutujatega. 451 katseisikut sooritasid neid eestikeelseid teste TestMyBrain.org põhjal baseerual platvormil vähemalt ühel ning mitmed neist kahel korral erinevatel seadmetel. Regressioonanalüüsid näitasid, et kõikides testides langes sooritus vanuse kasvades ning oluline mõju oli tehnilistel tunnustel. Viimased õnnestus kokku võtta üheks muutujaks, mis väljendab seadme sisendi tüüpi ehk kas kasutati hiirt, puuteplaati, nutitelefoni puuetundlikku ekraani või tahvelarvuti puuetundlikku ekraani. Kõikide testiskooridega peale lihtreaktsioonaja selgusid positiivsed korrelatsioonid ka intelligentsuga. Korduvtesti reliaablused tõusid igal testil kui lisasin mudelisse segavad tunnused. Tulemused aitavad mõista digitaalsete testide eripärasid.

Märksõnad: digitaalne neuropsühholoogia, punktide ühendamise test, lihtreaktsioonaaeg, valikreaktsioonaaeg, TestMyBrain

Validating a digital trail making test, simple reaction time test and choice reaction time test

Abstract

Digital neuropsychological tests are becoming more popular because they allow cheaper and more accessible testing compared to traditional means. In the present study I validated a digital trail making test's parts A and B as well as a simple reaction time test and a choice reaction time test. 451 subjects performed the tests in Estonian on a platform based on TestMyBrain.org at least once and many of them twice on different devices. Regression analysis showed that for every test performance dropped as age increased and technical variables had a significant effect. The latter could be summarized as one variable representing the output type - that is, either mouse, touchpad, smartphone touchscreen or tablet touchscreen. Analysis also showed positive correlations between intelligence and every test score except for simple reaction time. Test-retest reliabilities increased for every test when interfering variables were included in the model. The results help understand the specifics of digital tests.

Keywords: digital neuropsychology, trail making test, simple reaction time, choice reaction time, TestMyBrain

"Digitaalne neuropsühholoogia tähendab käitumise ja kognitsiooni neuropsühholoogilist hindamist, mida tehakse läbi digitaalsete seadmete, nagu lauarvuti, sülearvuti, nutitelefon, tahvelarvuti ja kantavate seadmete" (Germine et al., 2019 lk 272). Digitaalne neuropsühholoogia on kogumas populaarsust nii teadlaste kui ka praktikute seas, sest sellega avanevad testide läbiviimises uued võimalused kui ka huvitavad väljakutsed. Neuropsühholoogilised testid on näiteks punktide ühendamise test (*Trail Making Test* - TMT), valikreaktsioonaja test (*choice reaction time* - CRT) ja lihtreaktsioonaja test (*simple reaction time* - SRT).

Digitaalsel lähenemisel neuropsühholoogilistele hindamistele on võrreldes paber-pastakas versioonidega mitmeid eeliseid, mistõttu nende arendamine on hoo sisse saanud. Näiteks töötasid Singh et al. (2021) hiljuti välja digitaalsete neuropsühholoogiliste testide komplekti kliiniliseks kasutamiseks, mis koosneb 11 erinevast testist, sest kaugtöö tõttu oli nõudlus digitaalsetele lahendustele niivõrd suur. Võrreldes tavapärase testidega võimaldavad nende digitaalsed versioonid väiksemat kulu, testidele suuremat kättesaadavust, mitmekülgsemat mõõtmist, täpsemat stiimulite kontrolli ja täpsemat käitumise mõõtmist (Germine et al., 2019). Lisaks on mitmed sellised seadmed varustatud mitmekülgse tehnoloogiaga, mis lubavad koguda tavapärasest erinevaid keskkondlike andmeid (e.g. müra tase, liikumiskiirus, asukoht) reaalajas ja loomulikus keskkonnas. Need eelised hõlbustavad suurtes kogustes andmete kogumist, mida kasutatakse ära näiteks biopankades personaalmeditsiini rakendamiseks. Üks sellistest on Eesti riiklik biopank Tartu Ülikooli Eesti geenivaramu, millega on liitunud üle 200 000 inimese (Eesti Geenivaramu koduleht, n.d.).

Digitaalses neuropsühholoogias on ka omad väljakutsed. Germine et al. (2019) tõid välja kolm põhilist probleemi. Esiteks esineb variatiivsus tajulises, motoorses ja kognitiivses nõudluses samadel testidel erinevate digitaalsete vahendite rühmade vahel. Näiteks on testi sooritamine motoorselt erinev olenevalt sisendi tüübist - näiteks kas kasutada arvutit ja hiirt või nutitelefoni ja puuteekraani. Germine et al. (2019) töös oli TMT kahe testiosa jagatud dispersioon tahvelarvutil 50-90% suurem kui lauarvutil.

Teiseks esineb variatiivsus erinevates seadmetes oleva tarkvara ja riistvara vahel, mis mõjutab nii stiimuli esitamist kui vastuse mõõtmist. Passell et al. (2019) leidsid, et SRT on väiksem Macintoshi laua- või sülearvutil, seejärel iPhone nutitelefoni ja kõige suurem iPad tahvelarvutil. Erinevus tuleb tõenäoliselt suuresti seadmete latentside erinevustest (Passell et al., 2019). Germine et al. (2019) leidsid, et iPad tahvelarvuti peal võtab TMT 24-30% vähem aega kui Macintosh lauarvutil ning 30-31% rohkem aega iPhone nutitelefoni peal. Rolli

mängib ka ekraanisuurus, näiteks TMT kahe testiosa vahelise korrelatsiooni mõjutamisel. Germine et al. (2019) töös oli jagatud dispersioon testi kahe osa tulemuste vahel 140% kõrgem kui testi tehti tahvelarvuti peal võrreldes nutitelefoniga. Seadmete operatsioonisüsteemide sees, nagu nutitelefonidel IOS ja Android, olid TMT soorituste erinevused aga alla 1%.

Kolmandaks probleemiks on tehnoloogiavallas pidevalt toimuvad kiired muutused, näiteks uute nutitelefonide näol, mis viivad testide ja testinormide kiire aegumiseni. Seega tuleb digitaalsel testimisel arvestada mitmete uute muutujatega, mida paber-pastakas testide puhul ei ole, nagu sisendi tüüp, ekraanisuurus ning seadme klass.

Punktide ühendamise testid

"Punktide ühendamise test on neuropsühholoogiline vahend, mida kasutatakse neuroloogiliste haiguste ja neuropsühholoogiliste häirete tuvastamiseks või osana testikomplektides" (Bowie & Harvey, 2006, lk 2277). TMT mõõdab täidesaatva funktsioneerimise mitmeid aspekte: kognitiivset töötluskiirust, järjestamist, mentaalset paindlikkust ja visuaal-motoorseid oskusi. Ühes tüüpilisimas punktide ühendamise testi versioonis on kaks osa. Osas A (TMT-A) peab katseisik järjest ühendama numbrid (1-2-3-...) ning osas B (TMT-B) ühendama numbrid ja tähed vaheldumisi (1-a-2-b-3-c-...). Testi läbiviimisel mõõdetakse mõlema osa soorituse aega ja vahel ka vigade arvu. Mõndadel juhtudel arvutatakse ka B-A vahe või B/A suhe. (Bowie & Harvey, 2006)

TMT saab kasutada mitmel puhul kognitiivse võimekuse hindamiseks. Waldmann et al. (1992) leidsid olulise seose intelligentsuse ja TMT soorituse vahel. Testi B osas esines laeefekt - olulist erinevust polnud, kui IQ oli üle 80. A osas laeefekti ei esinenud, kuid kui IQ oli üle 80, siis olid erinevused väiksemad. Mitmed uurijad on leidnud seoseid TMT skooride vahel nii vanuse kui ka haridusega (Hamdan & Hamdan, 2009; Rasmusson et al., 1998; Tombaugh, 2004). Näiteks Tombaugh (2004) leidis TMT-A soorituse aja ja vanuse vahel korrelatsiooni .58 ning TMT-B aja ja vanuse vahel .62. Haridusega oli TMT-A aja korrelatsioon -.17 ja TMT-B -.25. Hamdan ja Hamdan (2009) leidsid sarnased seosed. TMT-A soorituse aja korrelatsioon vanusega .53 ja TMT-B .49. TMT-A korrelatsioon haridusega -.27 ja TMT-B -.44. Soolisi erinevusi Tombaugh (2004) ei leidnud. Lisaks on leitud seoseid TMT skoori ja kehamassiindeksi/rasvumise (Fergenbaum et al., 2009; Yang et al., 2018), füüsilise treeningu (Vaughan et al., 2014; Young, 1979), dementsuse (Rasmusson et al., 1998), Alzheimeri tõve ja kerge kognitiivse häire (Ashendorf et al., 2008), skisofreeniaspektri häirete ja ajutrauma

(Periáñez et al., 2007) ning migreeni (Vallesi, 2020) vahel. Punktide ühendamise testil on seega lai kasutusala kognitiivse võimekuse hindamisel erinevatel juhtudel.

Lihreaktsioonaja ja valikreaktsioonaja testid

SRT testis peab katseisik reageerima võimalikult kiiresti ühele stiimulile. SRT väljendab baasilist psühhomotoorset kiirust ja kognitiivset töötluskiirust. Testi sooritamisel mõõdetakse reageerimiseks kuluvat aega millisekundites. (Passell et al., 2019)

CRT testis on stiimuleid rohkem kui üks ning katseisik peab reageerima võimalikult kiiresti õigele. CRT mõõdab kognitiivset töötluskiirust, inhibitsiooni ja kontrolli. Testi sooritamisel mõõdetakse reaktsiooniga ning täpsust. Valikreaktsioonaja testid on tihti koostatud erinevate stiimulite arvuga, näiteks võib stiimuleid olla 2, 3 või 4. (Passell et al., 2019)

SRT testi saab kasutada baasilise kognitiivse võimekuse hindajana. CRT testi saab samuti kasutada baasilise kognitiivse võimekuse hindajana, kuid see nõuab rohkem töötlust kui SRT. Uurimustes käsitletakse tihti SRT ja CRT testi koos ning ka tulemused on samasuunalised, kuid erinevate efektisuurustega. Reaktsiooniaeg väheneb umbes 20. eluaastani ning edasi tõuseb, meestel on see natuke madalam ning minimaalne efekt on ka haridusel (Passell et al., 2019). On ka uurimusi, mis ei ole SRT puhul soolisi ega hariduslikke erinevusi leidnud (Woods et al., 2015). Erinevate uurimuste kohaselt tõuseb SRT aastaga 0.34 - 1.7 millisekundit (Woods et al., 2015). Deary et al. (2001) leidsid SRT soorituse ja intelligentsuse vahel korrelatsiooni -0.31 ning CRT ja intelligentsuse vahel -0.49. Nagu TMT-ga, on ka reaktsioonaja testide sooritustega leitud mitmeid seoseid nagu näiteks Alzheimeri tõvega (Pirozzolo et al., 1981) ning kerge kognitiivse häirega (Andriuta et al., 2019). Nii SRT kui ka CRT testid on olulised vahendid kognitiivse võimekuse hindamiseks mitmetel juhtudel.

Töö eesmärk

Lähtuvalt eelnevate tööde tulemustest on selle töö eesmärgiks kontrollida, kas meie andmed eestikeelsetest TMT-A, TMT-B, SRT ja CRT testidest on usaldusväärsed. Antud töö on oluline, sest testide kasutuselevõtmiseks on enne vaja tõestada, et need mõõdavad seda, mida nad peaksid. Kui selgub, et testid on usaldusväärsed, siis võetakse need kasutusele Eesti geenivaramus, mis läbi saab luua mudeleid eesti rahva tervise hindamiseks.

Testide usaldusväärsuste kontrollimiseks selgitan esiteks välja, millised segavad faktorid tulemusi oluliselt mõjutavad. Uurin ekraanisuuruse, sisendi tüübi, operatsioonisüsteemi,

brauseri ja erinevate seadmete klasside mõju. Nende abil saab tulemusi filtreerida ja luua parema mudeli. Ekraanisuuruseks on antud töös seadmete ekraani pindala pikslites ja mitte nende seadmete füüsiline suurus. Teiseks uurin testitulemuste korrelatsioone väliste faktoritega, nagu IQ, haridus, sugu ja vanus. IQ tähistab maatriksite testi skoori, mis oli koos teiste testidega testikomplektis. Viimaks kontrollin korduvtesti reliaablusi, mis peaksid olema $> .60$.

Varasemas kirjanduses iseloomustab testide soorituste edukust enamasti aeg ehk kui kiiresti katseisik teste sooritas. Nii TMT kui ka reaktsiooniaja testides tähendab suurem aeg aga kehvemat sooritust. Seega erinevalt varasemast kirjandusest iseloomustab selles töös testide soorituste edukust ajast tuletatud skoor. Antud töös on SRT kui ka CRT soorituse valem järgmine: $\text{skoor} = 10000 / \text{keskmine reaktsiooniaeg}$ (Germine et al., 2012). TMT-A ja TMT-B skoorideks on minuti jooksul ühendatud punktide arv (Germine et al., 2012). See tähendab, et testi sooritamiseks kulunud suurem aeg võrdub väiksema skoori ja halvema sooritusega ning vastupidi. Kui eelnevate tööde põhjal oli positiivne seos muutuja ja kulunud aja vahel, siis eeldan, et kehtib negatiivne seos muutuja ja testiskoori vahel. Tabelis 1 välja toodud oodatavad seosed tuginevad varasemale kirjandusele, kuid seoste suunad on seega ümber pööratud ehk viitavad seostele arvatud testiskooride ja huvipakkuvate muutujate vahel.

Mõnel puhul on hüpoteesidega tehtud ka oletusi. Esiteks oletasin, et sisendi tüübi seostel testiskooridega on sarnane muster seadme klassiga, sest need käivad tihti koos - nutitelefonidel on enamasti sisenditeks puutetundlikud ekraanid ning arvutitel hiired. Teiseks, kuigi SRT ja CRT testis ei tohiks puuteplaadiga ja hiirega sooritatud testide vahel erinevusi olla, sest hiirt ei tule liigutada, siis TMT sooritus võib olla puuteplaadil kehvem võrreldes hiirega, sest hiirega võib olla mugavam punkte ühendada. Kolmandaks oletasin ekraanisuuruse puhul, et suurema ekraaniga seostub TMT kehvem sooritus, sest motoorselt võtab pikemate vahemaade vahel joonte tõmbamine kauem aega. Reaktsiooniaja testidel seda probleemi ei tohiks olla. Germine et al. (2019) põhjal eeldasin, et kui operatsioonisüsteemil pole seost TMT sooritusega, siis puudub sellel seos ka reaktsiooniaja testidega. Viimaks eeldan, et nagu operatsioonisüsteem pole ka brauser piisavalt mõjukas tehniline muutuja võrreldes näiteks seadme klassiga, et olla oluliselt seotud testide sooritustega.

Tabel 1

Oodatavad tulemused punktide ühendamise test A osa (TMT-A) ja B osa (TMT-B) ning lihtreaktsioonaja testi (SRT) ja valikreaktsioonaja testi (CRT) testiskooride ning huvipakkuvate muutujate vahel

	TMT-A	TMT-B	SRT	CRT
H1: Vanus	- ^a	- ^a	- ^b	- ^b
H2: Sugu	0 ^a	0 ^a	Naistel kehvem ^b	Naistel kehvem ^b
H3: Haridus	+ ^a	+ ^a	+ ^b	+ ^b
H4: IQ¹	+ ^c	+ ^c	+ ^d	+ ^d
H5: Ekraanisuurus	-	-	0	0
H6: Operatsiooni-süsteem²	0 ^e	0 ^e	0	0
H7: Seadme klass³	NT<LA=SA<TA ^e	NT<LA=SA<TA ^e	NT=TA<LA=SA ^b	NT=TA<LA=SA ^b
H8: Sisendi tüüp⁴	PTE<PP<JH=JVH	PTE<PP<JH=JVH	PTE<PP=JH=JVH	PTE<PP=JH=JVH
H9: Brauser⁵	0	0	0	0
H10: Korduvtest	> .60	> .60	> .60	> .60

Märkused. Negatiivne korrelatsioon (-); positiivne korrelatsioon (+); korrelatsioon puudub (0);

¹ Maatriksi testi skoor; ² IOS ja Android ning MacOS ja Windows; ³ LA - lauaarvuti; SA - sülearvuti; TA - tahvelarvuti; NT - nutitelefon; ⁴ JH - juhtmega hiir; JVH - juhtmevaba hiir; PP - puuteplaat; PTE - puutetundlik ekraan; ⁵ Chrome ja Safari;

^a (Tombaugh, 2004); ^b (Passell et al., 2019); ^c (Waldmann et al., 1992); ^d (Deary et al., 2001); ^e (Germine et al., 2019)

Meetod

Valim

Tegu on mugavusvalimiga, mis sisaldab 451 erinevat katseisikut. Kogu valimist moodustub 82% naised ja 15.5% mehed (11 katseisikut jättis soo märkimata). Valimisse kuuluvad inimesed vanuses 20-79 (keskmine = 38.1, SD = 12.7). Haridusaastate poolest jäävad nad vahemikku 10-19 (keskmine = 15.6, SD = 2.9). Katseisikuid saadi läbi sotsiaalmeedia, suurte ettevõtete, uurijate suhtlusvõrgustike ning psühholoogia üliõpilaste seast. Neil pidi olema ligipääs nutitelefonile või tahvelarvutile ja süle- või lauaarvutile ning nad pidid olema võimelised neid teste sooritama.

Mõõtevahendid

Katseisikud viisid testid läbi TestMyBrain.org põhjal baseerual platvormil, mis on veebipõhine keskkond testimiseks, kus testide täitmisel saab personaliseeritud tagasisidet (Germine et al., 2012). Antud testikomplekt sisaldas 9 testi: numbri-sümboli vastavuse test, sõnapaaride ajendatud meenutamise test, tasu edasilükkamine, maatriksid, sünonüümide sõnavara test, punktide ühendamise test A, punktide ühendamise test B, lihtreaktsiooniaeg ning valikreaktsiooniaeg. Selles töös keskendun neist neljale viimasele. Antud testid tõlkis eesti keelde Vivian Aun oma magistr töö raames, mis on veel avaldamata.

Punktide ühendamise testid

Punktide ühendamise testi alustades näeb katseisik esmalt juhendit, mis koos piltidega ütleb, kuidas sooritada testi A osa. Lisaks ütleb juhend, et kui tõmmata joon vastu valet ringi, siis tuleb minna tagasi eelmise õige juurde, ning test lõpeb kui kõik punktid on ühendatud. Sooritades testi A osa tuleb ka juhend B osa kohta. Mõlemal korral saab katseisik korra enne harjutada. Nagu joonisel 1 näha, siis katseisikutel on võimalik enne alustamist punktide asukohad ära õppida, mis võib parandada sooritust.

Joonis 1

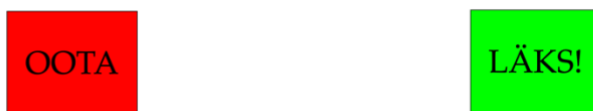
TestMyBrain eestikeelne versioon punktide ühendamise testi A (vasakul) ja B osast (paremal)

***Lihthereaktsiooniaja test***

Lihthereaktsiooniaja testi alustades ilmub ekraanile tekst, mis juhendab katseisikut vajutama tühiku klahvi (või vajutama puuetundlikule ekraanile), kui ekraanile ilmub roheline ristkülik kirjaga "LÄKS!". Paremakäelistel palutakse vajutada klahvi parema käe sõrmega ja vasakukäelistel vastavalt vasaku käe sõrmega. Katseisik saab ka korra harjutada enne päris katset. Joonis 2 näitab, mida katseisik katse ajal näeb ootamise ajal ja reageerimise ajal.

Joonis 2

TestMyBrain eestikeelne versioon lihtreaktsiooniaja testist

***Valikreaktsiooniaja test***

Valikreaktsiooni katse alguses ilmub ekraanile juhend, mis koos piltidega ütleb katseisikule, et ekraanile ilmub kolm värvilist ruutu, millest üks on teistsugust värvi. Selle erinevat värvi ruudus oleva noole suuna järgi tuleb vastavalt vajutada, kas klahvi x või m (või vastavat kohta puuetundlikul ekraanil). Katseisik saab ka korra enne harjutada. Joonis 3 näitab kahte valikut, mida katseisik võib katse ajal näha.

Joonis 3

TestMyBrain eestikeelne versioon valikreaktsiooniaja testist

**Protseduur**

Kui katseisikud soovisid osaleda katses, siis andsid nad informeeritud nõusoleku. Seejärel täitsid eelküsimustiku enda sotsiaalmajandusliku tausta kohta formr.org keskkonnas ning läbisid testikomplekti ühel seadmehel cognit.psych.ut.ee serveris. Eelküsimustikus küsiti näiteks katseisikute soo, vanuse, haridustaseme, töökoha ning elukoha kohta. Seadme valik toimus juhuslikult - pooltel paluti esimene kord täita nutitelefoni või tahvelarvutiga ja teistel pooltel süle- või lauarvutiga. Samuti jagati juhuslikult üks testide esitamise järjekord kuuest ning mõne testi puhul ka testi üks versioon kahest. Testide järjekorras esinesid järgmised reeglid: TMT-A ja TMT-B olid üksteise järel ning nii ka SRT ja CRT puhul. Mälutesti meeldejätmise ja meenutamise vahel oli alati numbri-sümboli test. Seejärel oli ka lühike järelküsimustik, kus küsiti testide meeldivuse, raskuse, kasutatud strateegiate ja testitegemise motivatsiooni kohta. Nädala pärast said katseisikud e-maili, et täita testikomplekt uuesti aga teisel seadmehel - arvutiga, kui esimesel korral täideti nutitelefoni ja nutitelefoni, kui esimesel korral täideti arvutiga. Teine katse sessioon algas alati esimese korra mälutesti meenutamisega. Pärast teistkordset testikomplekti sooritamist paluti täita järelküsimustik uuesti. Kui katseisik läbis kogu uuringu, sai ta lubaduse, et uuringu kinnipanekul saavad nad tagasisidet enda soorituse kohta.

Statistilised analüüsid

Statistilisteks analüüsideks kasutasin andmetöötlusprogrammi R versioon 4.1.0 GUI 1.76 High Sierra build (7976) ning RStudio 2021.09.0 Build 351. Analüüsid viisin läbi andmestikul, mis

on kättesaadavad lingilt: <https://osf.io/uv9sw/>. Samal andmestikul põhinevad veel Asu (2022) ning Adamsi (2022) uurimistöö.

Andmete filtreerimine

Kogu andmestik koosneb 874 tulemusest. Regressioon- ja korrelatsioonanalüüside puhul filtreerisin andmestikust välja kõik mitmekordsed tulemused ehk iga katseisiku kohta jäi üks tulemus, et tagada juhtumite sõltumatus (alles jäänud $N = 451$). Lisaks filtreerisin välja need, kes järelküsimumstikus vastasid, et kasutasid mingisugust abi testide tegemisel (alles jäänud $N = 442$). Viimasena jäid välja read andmestikus, kus oli mõne testi puhul skoor puudulik ehk testi ei täidetud või skoor ei salvestunud (TMT-A $N = 389$; TMT-B $N = 388$; SRT $N = 367$; CRT $N = 414$). Korduvtesti korrelatsioonide ning regressioonide puhul jäid välja kõik puudulike tulemustega read, abi kasutanud katseisikute tulemused ning alles jäid nende katseisikute tulemused, kes sooritasid testi kahel erineval korral.

Hüpoteesidele vastamine

Hüpoteesidele vastamiseks selgitasin välja testide seosed Tabelis 1 välja toodud muutujatega ning korduvtesti reliaablused. Muutujavahelistest seostest ülevaate saamiseks tegin korrelatsioonimaatriksi enamuse huvipakkuvate muutujate vahel, milles kategoriaalsed muutujaid võtsin kokku binaarseteks. Korrelatsioonimaatriksi loomiseks kasutasin Paul van der Laken (2020) koodi. Korrelatsioonid annavad aimu, kuidas on olulised muutujad eraldivõetuna testiskooridega seotud. Eeldusena kontrollisin seoste lineaarsust joonistelt, millega olulisi probleeme ei olnud. Seejärel viisin hüpoteeside 1-9 kontrollimiseks iga testi kohta läbi mitmese lineaarse regressioonanalüüsi. Regressioonanalüüsidest oli mitme kategooriaga muutujaid, nagu seadme klass, sisendi tüüp, operatsioonisüsteem ja brauser. Nendel puhkudel tegin läbi regressioonanalüüsid, kus igal korral muutsin referentskategoriat, mis võimaldab kategooriate omavahelist võrdlust. Mitmesed regressioonid annavad teada, kas ja kuidas kõik olulised muutujad koos testiskoore ennustavad. Kõiki huvipakkuvaid muutujaid sisaldava regressioonimudeli põhjal vaatasin, kas ja milliseid muutujaid on võimalik mudelist välja jätta, ilma et selle ennustusvõime oluliselt kannataks. Kõiki muutujaid sisaldavates regressioonides oli probleeme multikollineaarsusega operatsioonisüsteemi, seadme klassi ja sisendi tüübi suure kattuvuse tõttu. Selle lahendamiseks võtsin need muutujad kokku sisendi tüübina.

Korduvtesti reliaabluste kontrollimiseks viisin läbi nii korrelatsioonanalüüsid kui ka regressioonanalüüsid. Regressioonanalüüsid korduvtesti reliaabluste mõõtmiseks lubasid arvestada teiste muutujate mõjusid, kuid samas vaadata ühe testimiskorra seost teisega. Selleks kasutasin standardiseeritud testimuutujaid (keskmine = 0, SD = 1), mis teeb regressioonkoefitsendid võrreldavaks korrelatsiooniga. Ühel puhul ennustas mudelis teise korra skoori ainult esimese korra skoori. Teisel puhul lisasin mudelisse segavad muutujad: sugu, vanus ning esimese ja teise testimiskorra ajal kasutatud seadme sisendi tüüp.

Kõikides analüüsides oli tagatud juhtumite sõltumatus. Lisaks kontrollisin seoste lineaarsust ja testiskooride normaaljaotuslikust. Lineaarsusega olulisi probleeme ei esinenud. Kõik testiskoorid jagunesid normaaljaotuslikult. Olulisimate regressioonanalüüside puhul kontrollisin ka ekstreemseid juhtumeid, jääkide normaalsust ning multikollineaarsust. Ekstreemsete juhtumite hindamiseks kasutasin mitme meetodi komposiitskoori (Lüdecke et al., 2021), jääkide normaalsust vaatasin Q-Q joonise pealt visuaalselt ning multikollineaarsust VIF väärtuse järgi. Mõnel puhul oli probleeme multikollineaarsusega ($VIF > 5$). Rikutud eeldused on tulemuste osas vastavate analüüside all välja toodud.

Eetika

Andmeid ei isikustatud ega küsitud tundlikku informatsiooni, mistõttu eetikakomitee luba ei ole vaja.

Paljud selle uuringu katseisikud osalesid ka isiksuse ja elusündmuste uuringus, mille jaoks on eetikakomitee luba olemas. Isiksuse ja elusündmuste uuringus koguti neilt andmeid tervisekäitumise kohta ning nad andsid loa käesoleva uuringuga need andmed seostada.

Autori panus

Minu panus antud töös on kirjandusega tutvumine, andmete korrastamine, andmete analüüs ning töö kirjutamine.

Tulemused

Ülevaade andmetest

Testiskooride kirjeldavast statistikast on ülevaade tabelis 2. Testideks kasutatud seadmete ekraanisuuruste ehk pindalade pikslites ülevaade tabelis 3.

Tabel 2

Testiskooride kirjeldava statistika ülevaade koos minimaalsete, maksimaalsete ja keskmiste skooridega ning standardhälvetega

	Min	Max	Keskmine	SD
TMT-A ¹	12.2	93.5	48.1	17.5
TMT-B ²	12.6	75.8	32.9	11.5
SRT ³	16.4	45.6	30.9	4.9
CRT ⁴	2.6	17.7	11.7	2.4
Maatriksid	6.0	35.0	26.3	5.6

Märkused. Maatriksite testi skoor on siin välja toodud, sest kasutasin seda intelligentsusmõõdikuna.

¹ punktide ühendamise test A; ² punktide ühendamise test B; ³ lihtreaktsiooniaja test; ⁴ valikreaktsiooniaja test

Tabel 3

Seadmete minimaalsed, maksimaalsed ja keskmised ekraanisuurused (ES) ning nende standardhälbed vastavate testide kohta

	Min	Max	Keskmine	SD
ES TMT-A ¹	275616	4184640	954291	630183
ES TMT-B ²	275616	4184640	952340	625892
ES SRT ³	307296	4184640	1358534	491035
ES CRT ⁴	307296	4184640	1386741	512977

Märkused. Ekraanisuurused tähistavad ekraanide pindala pikslites;

¹ punktide ühendamise test A; ² punktide ühendamise test B; ³ lihtreaktsiooniaja test; ⁴ valikreaktsiooniaja test

Nominaalsete muutujate ehk operatsioonisüsteemide, seadme klasside, sisendi tüüpide ja brauserite jaotus on toodud välja tabelis 4. Mõnel puhul sai väikse osakaaluga kategooriad liigitatud "Muu" alla. Algselt oli andmestikus palju tühjasid lünki, sest osadele küsimustele jäeti vastamata. Osad nendest aukudest täitsin ära. Kui katseisik oli jätnud märkimata sisendi tüübi, aga märgitud oli seade, milleks oli tahvelarvuti või nutitelefon, siis ma eeldasin, et sisend oli puutetundlik ekraan. Samamoodi kui operatsioonisüsteem oli Android või IOS (iPad, iPhone), siis märkisin ise sisendiks puutetundliku ekraani. Eeldus oli, et katseisikud ei kasutanud tahvelarvutite ega nutitelefonega hiirt. Kui vastati, et kasutatud

operatsioonisüsteem oli iPhone (IOS), siis vajadusel märkisin ise seadme klassi nutitelefoniks. Eeldus oli, et iPhone on igal juhul nutitelefoni. Viimaseks märkisin ise seadme klassi tahvelarvutiks, kui operatsioonisüsteem oli iPad (IOS). Eeldasin, et iPad on alati tahvelarvuti. Kui algselt oli sisendi tüüpe andmestikus puudu 540 (61.8%), siis nende eeldustega langes see 139 peale. Sarnaselt langes seadme klassi puhul puudulike andmete hulk 250 pealt 215-le. 81 auku jäi täitmata, kui oli olemas operatsioonisüsteem Android ja sisendi tüüp puutetundlik ekraan. Sel juhul ei olnud võimalik ennustada, kas tegu on nutitelefoniga või tahvelarvutiga. See oleks olnud võimalik ekraanisuuruse põhjal, kuid antud töös on ekraanisuuruseks seadmete pindala pikslites ning mitte füüsiline suurus. Seetõttu ei ilmne selget eristust tahvelarvutite ja nutitelefonide vahel ekraanisuuruste suhtes (Joonis 4). Täitmata jäi ka 116 auku, kui oli märgitud ainult operatsioonisüsteem Windows. Ka sel juhul polnud võimalik teada, milline oli sisend ega ka seade. Viimaks olid veel mõndade üksikute juhtumitega olukorrad.

Tabel 4

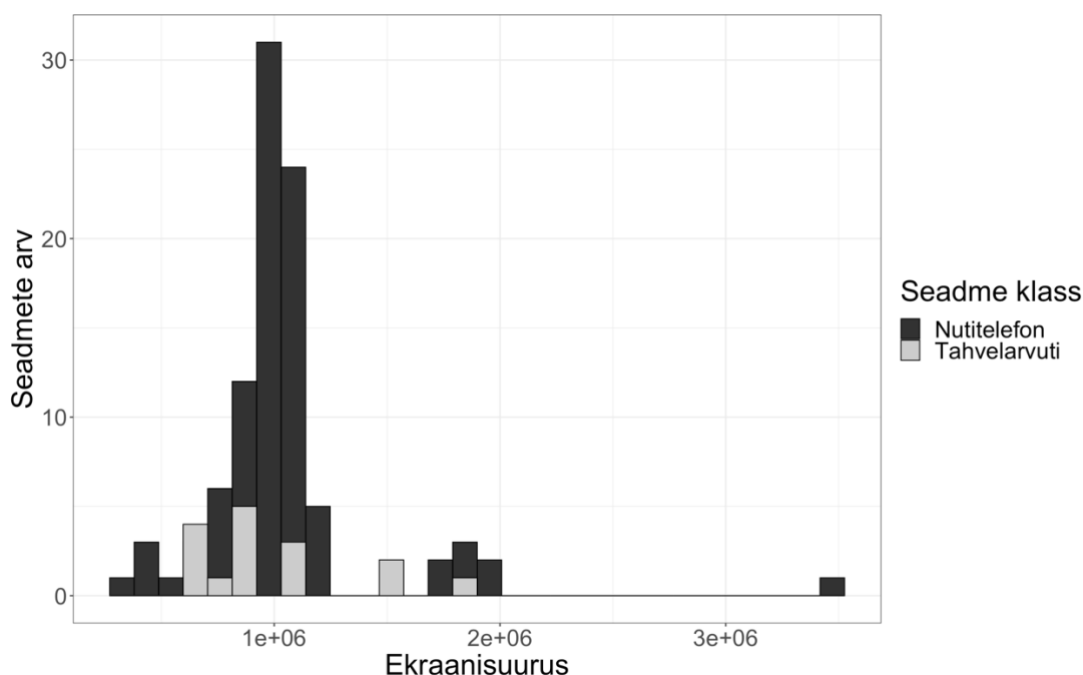
Operatsioonisüsteemide, seadme klasside, sisendi tüüpide ja brauserite jaotus valimis

	Kategooria	N	%
Operatsioonisüsteem	Windows	391	44.7
	Android	250	28.6
	IOS ¹	141	16.1
	MacOS	80	9.2
	Muu ²	12	1.4
	NA	215	24.6
Seadme klass	Nutitelefoni	279	31.9
	Sülearvuti	236	27.0
	Lauaarvuti	98	11.2
	Tahvelarvuti	41	4.7
	Muu ²	5	0.6
	NA	215	24.6
Sisendi tüüp	Puuteplaat	114	13.0
	Juhtmega hiir	111	12.7
	Juhtmevaba hiir	86	9.8
	Puutetundlik ekraan	413	47.3
	Muu ³	11	1.3
	NA	139	15.9
Brauser	Chrome	589	67.4
	Safari	176	20.1
	Muu ⁴	109	12.5

Märkused. ¹ iPad + iPhone; ² Linux + ChromeOS; ³ näpuhiir + muu; ⁴ SamsungBrowser, Firefox, Edge, Opera, MSIE, AppleWebKit

Joonis 4

Tahvelarvutite ja nutitelefonide ekraanisuuruste (ekraani pindala pikslites) jaotus

**Testiskooride korrelatsioonid huvipakkuvate muutujatega**

Tabelis 5 on toodud korrelatsioonid huvipakkuvate muutujate vahel. Märgitud on ainult $p < .001$ korrelatsioonid, sest vastasel juhul oleks seal suure tõenäosusega paljud korrelatsioonid, mis on juhuslikud. Muutujate vaheliste seoste ülevaate saamiseks on ka nominaalsed muutujad, näiteks seadme klass pandud maatriksisse, kuid seda binaarsel kujul. Muutujate grupe on kombineeritud, näiteks arvuti = sülearvuti + lauarvuti, või välja jäetud, näiteks "muu".

TMT -A, TMT-B, SRT ja CRT omavahelised korrelatsioonid jäid .31 ja .56 vahele. Kõige rohkem olid korreleeritud TMT-A ja TMT-B ning kõige vähem SRT ja TMT-A.

Intelligentsusega ehk maatriksi testi skooriga (Mat) olid oluliselt korreleeritud TMT-A ($r = .18$), TMT-B ($r = .20$) ja CRT ($r = .21$). kuid mitte SRT ($r = .14$). Vanusega olid olulisel määral korreleeritud kõik testid: TMT-A ($r = -.36$), TMT-B ($r = -.32$), SRT ($r = -.44$) ja CRT ($r = -.51$).

Kasutatud seadmega (arvuti või nutitelefoni) olid oluliselt seotud TMT-A ($r = -.37$), TMT-B ($r = -.34$) ja SRT ($r = -.27$), kuid mitte CRT ($r = -.06$). Sisendi tüübiga (hiir või puutetundlik ekraan) olid samamoodi oluliselt korreleeritud TMT-A ($r = .35$), TMT-B ($r = -.34$) ja SRT ($r = -.25$), aga mitte CRT ($r = -.07$). Sarnased seosed viitavad muutujate sarnasustele.

Testiskooridega muid olulisi seoseid ei ole. Lisaks on tabelis 5 näha oodatavad seosed tehniliste muutujate vahel.

Tabel 5

Korrelatsioonid testiskooride ja erinevate huvipakkuvate muutujate vahel

	TMT-A ¹	TMT-B ²	SRT ³	CRT ⁴	Mat ⁵	PC ⁶ Mac ⁷	Android IOS	Arvuti NT ⁸	Hiir PTE ⁹	Chrome Safari	Sugu	Vanus
TMT-B²	.56*											
SRT³	.31*	.35*										
CRT⁴	.43*	.40*	.48*									
Mat⁵	.18*	.20*	.14	.21*								
PC⁶ Mac⁷	.04	.11	.11	.05	.00							
Android IOS	-.05	-.02	-.24	-.06	-.21							
Arvuti NT⁸	-.37*	-.34*	-.24*	-.06	-.06	-.05	-.08					
Hiir PTE⁹	-.35*	-.34*	-.27*	-.05	-.07	-.34*	-.09	-.94*				
Chrome Safari	-.17	-.12	.03	-.04	-.17	.70*	.96*	.46*	-.40*			
Sugu	.00	-.03	-.08	-.05	-.21*	-.03	.16	-.01	.02	.09		
Vanus	-.36*	-.32*	-.44*	-.51*	-.07	-.15	-.18	-.14	-.18	-.09	-.02	
Haridus	-.08	-.06	-.07	-.10	.01	-.11	.04	-.07	-.09	-.02	.12	.29*

Märkused. ¹ punktide ühendamise test A; ² punktide ühendamise test B; ³ lihtreaktsioonija test;

⁴ valikreaktsioonija test; ⁵ maatriksi test; ⁶ arvuti (nii süle- kui lauarvuti); ⁷ Macintosh; ⁸ nutitelefon;

⁹ puutetundlik ekraan

* p < .001

Tabel 6 näitab, et ühegi testi puhul ei ilmnenud olulisi korrelatsioone nende skooride ja testi ajal kasutatud seadmete ekraanisuuruste vahel.

Tabel 6

Ekraanisuuruste (ES) korrelatsioonid huvipakkuvate muutujatega

	ES TMT-A ¹	ES TMT-B ²	ES SRT ³	ES CRT ⁴
TMT-A ¹	-.06	-.09	.07	.06
TMT-B ²	-.03	-.03	.06	.09
SRT ³	-.15	-.15	-.04	-.02
CRT ⁴	-.07	-.10	.03	.04
Sugu	-.11	-.12	.08	-.02
Vanus	.11	.13	.01	-.01
Haridus	.12	.09	.07	.08
ES TMT-A ¹		.99*	.37*	.44*
ES TMT-B ²			.33*	.39*
ES SRT ³				.96*

Märkused. Ekraanisuurused tähistavad ekraanide pindala pikslites;

¹ punktide ühendamise test A; ² punktide ühendamise test B; ³ lihtreaktsioonaja test; ⁴ valikreaktsioonaja test

* $p < .001$

Terviklikud regressioonimudelid testiskooride ennustamiseks

Tabel 7 võtab kokku kas ja mil määral ennustavad kõik huvipakkuvad muutujad nii TMT-A, TMT-B, SRT kui ka CRT skooore regressioonimudelites. Taas on märgitud ainult $p < .001$ seosed, et vältida juhuslikke seoseid.

Negatiivseid ($p < .001$) seoseid esines nii TMT-A, TMT-B, SRT kui ka CRT testil ainult vanusega ehk vanuse kasvades nende testide skoorid langevad. Ülejäänud muutujatega selliseid seoseid ei ilmnenud.

Kõikides antud mudelites oli probleeme muutujate multikollineaarsusega: operatsioonisüsteem, sisendi tüüp ja seadme klass olid teistega muutujatega kõrges korrelatsioonis ($VIF > 10$) ning brauser keskmises korrelatsioonis ($VIF > 5$). Analüüsitud muutujate paljususe ning multikollineaarsuse probleemid viitasid vajadusele lihtsustada tehnilise tausta muutujaid.

Tabel 7

Kokkuvõttev regressioonimudelite tabel iga testi ja iga ennustava muutuja kohta

	TMT-A ¹		TMT-B ²		SRT ³		CRT ⁴	
	Beeta	SE	Beeta	SE	Beeta	SE	Beeta	SE
Vabaliige⁵	60*	8.69	34*	5.18	36*	2.50	13*	1.19
Vanus	-0.57*	0.09	-0.34*	0.05	-0.20*	0.02	-0.11*	0.01
Sugu	1.8	2.81	1.2	1.67	-0.50	0.83	-0.37	0.37
Haridus	0.26	0.34	0.47	0.20	0.09	0.10	0.04	0.05
IQ	0.43	0.19	0.22	0.11	0.10	0.05	0.08	0.03
Ekraanisuurus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Operatsioonisüsteemi referents: Windows								
MacOS	5.8	4.15	5.0	2.48	-0.46	1.15	-0.27	0.54
Android	-16	6.62	-2.5	3.96	-1.5	1.85	0.15	0.88
IOS	-8.3	7.81	-2.0	4.56	1.8	2.14	0.73	1.00
Operatsioonisüsteemi referents: MacOS								
Android	-21	7.54	-7.5	4.46	-1.1	2.11	0.42	0.99
IOS	-14	7.14	-7.0	4.20	2.2	2.00	1.0	0.93
Operatsioonisüsteemi referents: Android								
IOS	7.3	5.78	0.52	3.32	3.3	1.53	0.58	0.70
Seadme klassi referents: Sülearvuti								
Lauaarvuti	0.88	3.21	-1.0	1.90	1.2	0.88	0.25	0.42
Nutitelefoni	-4.1	9.36	-3.8	5.36	2.8	2.55	0.62	1.20
Tahvelarvuti	7.1	9.05	-0.94	5.18	0.32	2.53	0.90	1.15
Seadme klassi referents: Lauaarvuti								
Nutitelefoni	-5.0	9.76	-2.8	5.62	1.6	2.67	0.36	1.25
Tahvelarvuti	6.2	9.37	0.03	5.39	-0.92	2.63	0.64	1.20
Seadme klassi referents: Nutitelefoni								
Tahvelarvuti	11	5.91	2.9	3.36	-2.5	1.52	0.28	0.75
Sisendi tüübi referents: Juhtmega hiir								
Juhtmeta hiir	-2.4	3.35	-2.6	1.98	1.8	0.92	-0.38	0.44
PTE	1.3	7.12	-3.3	3.96	-3.6	1.92	-1.4	0.89
Puuteplaat	-12	3.92	-6.1	2.37	1.1	1.07	-0.01	0.52
Sisendi tüübi referents: Juhtmeta hiir								
PTE	3.6	7.09	-0.61	3.94	-5.4	1.91	-1.1	0.88
Puuteplaat	-9.7	3.48	-3.4	2.12	-0.73	0.95	0.37	0.46
Sisendi tüübi referents: Puutetundlik ekraan								
Puuteplaat	-13	7.20	-2.8	4.01	4.7	1.93	1.4	0.89
Brauseri referents: Chrome								
Safari	-8.5	5.01	-1.8	2.91	-1.2	1.37	-0.58	0.63

Märkused. ¹ punktide ühendamise test A; ² punktide ühendamise test B; ³ lihtreaktsioonitaja test;⁴ valikreaktsioonitaja; ⁵ referentsid: Windows, Sülearvuti, Juhtmega hiir, Chrome; *p < .001

Lihtsustatud regressioonimudelid testiskooride ennustamiseks

Terviklike ehk kõiki huvipakkuvaid muutujad sisaldavate regressioonide põhjal sai loodud lihtsustatud regressioonid, mis üritavad võtta kokku tehnilised muutujad. Tegin ühe sisendi tüübi muutuja, milles on juhtmega ja juhtmevabad hiired pandud kokku lihtsalt hiirteks ning puutetundlik ekraan löödud lahku tahvelarvutite ja nutitelefonide vahel. Puuteplaat jäi eraldi. Võrreldes mudelite R^2 tabelis 9 on näha, et TMT-A ja SRT puhul langes mudelite kohandatud R^2 vastavalt 0.003 ja 0.029 võrra. TMT-B ja CRT mudelite R^2 suurenes vastavalt 0.024 ja 0.004 võrra. Säilisid ka kõik negatiivsed seosed testiskooride ja vanuste vahel.

Lisaks tugevnesid seosed testiskooride ja sisendi tüüpide vahel. Tervikliku mudeliga võrreldes on lihtsustatud mudelis rohkem olulisi seoseid testiskooride ja tehniliste tunnustega ning puuduvad multikollineaarsuse probleemid.

TMT-A puhul on hiirega saadud skoorid võrreldes puutetundlike (PTE) nutitelefonidega ja puuteplaatidega saadud skoorid suuremad. Hiirtel puudub erinevus puutetundlike tahvelarvutitega. PTE nutitelefonidega võrreldes on PTE tahvelarvutite ja puuteplaatide skoorid suuremad. PTE tahvelarvuti ja puuteplaadi vahel erinevus puudub.

TMT-B testil on hiirega võrreldes PTE nutitelefoniga saadud skoorid väiksemad, kuid PTE tahvelarvutite ja puuteplaatide skoorid samad. PTE nutitelefoniga võrreldes on puuteplaadi skoorid suuremad, kuid PTE tahvelarvuti skoorid samad. PTE tahvelarvuti ja puuteplaadi vahel erinevus puudub.

SRT skoorid on hiirega võrreldes madalamad nii PTE nutitelefonidel kui ka PTE tahvelarvutitel, kuid samad võrreldes puuteplaatidega. PTE nutitelefoniga võrreldes on puuteplaatide skoorid kõrgemad ning PTE tahvelarvutite skoorid samad. PTE tahvelarvutitega võrreldes on puuteplaatide skoorid kõrgemad.

CRT testil puuduvad olulised seosed kõikide sisendi tüüpide vahel, kuid nagu tabel 9 näitab, siis CRT skoori kujunemisel mängivad tehnilised muutujad võrreldes teiste testidega väikest rolli.

Tabel 8

Kokkuvõttev regressioonmudelite tabel iga testi kohta lihtsustatud tehniliste muutujatega

	TMT-A ¹		TMT-B ²		SRT ³		CRT ⁴	
	Beeta	SE	Beeta	SE	Beeta	SE	Beeta	SE
Vabaliige ⁵	63*	7.45	35*	4.56	36*	2.19	13*	1.00
Vanus	-0.61*	0.08	-0.38*	0.05	-0.19*	0.02	-0.10*	0.01
Sugu	0.06	2.45	-0.45	1.51	-0.24	0.76	-0.47	0.33
Haridus	0.24	0.32	0.54	0.19	0.10	0.09	0.03	0.04
IQ	0.41	0.17	0.24	0.11	0.08	0.05	0.08	0.02
Sisendi tüübi referents: Hiir								
PTE nutitelefoni	-18*	2.07	-9.1*	1.26	-2.9*	0.59	-0.68	0.28
PTE tahvelarvuti	0.32	4.37	-4.4	2.59	-6.2*	1.27	-0.70	0.56
Puuteplaat	-10*	2.46	-3.4	1.53	-0.66	0.72	-0.12	0.34
Sisendi tüübi referents: PTE nutitelefoni								
PTE tahvelarvuti	18*	4.32	4.7	2.58	-3.3	1.26	-0.03	0.57
Puuteplaat	7.7*	2.26	5.6*	1.41	2.2*	0.66	0.55	0.31
Sisendi tüübi referents: PTE tahvelarvuti								
Puuteplaat	-10	4.54	0.95	2.73	5.5*	1.33	0.58	0.61

Märkused. ¹ punktide ühendamise test A; ² punktide ühendamise test B; ³ lihtreaktsiooniaja test;

⁴ valikreaktsiooniaja; ⁵ referents: hiir; PTE, puutetundlik ekraan;

*p < .001

Tabel 9

Kokkuvõttev erinevate regressioonmudelite kohandatud R² tabel iga testi kohta

	Terviklik mudel	Lihtsustatud mudel	Bioloogilised muutujad ⁵	Intelligentsuse muutujad ⁶	Tehnilised muutujad ⁷
TMT-A ¹	0.311	0.308	0.124	0.044	0.182
TMT-B ²	0.242	0.264	0.100	0.040	0.122
SRT ³	0.329	0.300	0.194	0.024	0.096
CRT ⁴	0.294	0.298	0.260	0.055	0.013

Märkused. ¹ punktide ühendamise test A; ² punktide ühendamise test B; ³ lihtreaktsiooniaja test;

⁴ valikreaktsiooniaja ⁵ sugu, vanus; ⁶ IQ ja haridus; ⁷ seadme klass, sisendi tüüp, operatsioonisüsteem, brauser, ekraanisuurus;

Korduvtesti reliaablus

Segavaid tunnuseid arvesse võtmata oli esimese ja teise TMT-A skoori seos regressioonmudelil nõrk. Võttes arvesse segavaid tunnuseid, nagu sugu, vanust ning esimese ja teise testimiskorra ajal kasutatud seadme sisendi tüüpi, paranes seos oluliselt. TMT-B

skooride seos oli keskmine ning tõusis ka oluliselt. SRT puhul oli seos keskmine ning tõusis tugevaks. CRT seos oli tugev, kuid langes kergelt. Siiski jäi CRT korduvtesti reliaablus ainsana üle .60 läve. Tabelis 10 on välja toodud standardiseeritud beetad ilma ja koos segavate tunnustega.

Lisaks viisin korduvtesti reliaabluste mõõtmiseks läbi korrelatsioonanalüüsid esimese ja teise testimiskorra tulemuste vahel. Tulemused on sarnased Tabel 10 esimesele reale - Pearsoni korrelatsioonide järgi ületas .60 läve ainult CRT ($r(277) = .69, p < .001$). TMT-A ($r(254) = .30, p < .001$), TMT-B ($r(260) = .33, p < .001$) ja SRT ($r(229) = .43, p < .001$) sellele nõudele ei vastanud.

Tabel 10

Korduvtesti regressioonide standardiseeritud beetad

	II skoor			
	TMT-A ¹	TMT-B ²	SRT ³	CRT ⁴
I skoor	0.25*	0.35*	0.44*	0.75*
I skoor segavate tunnustega ⁵	0.41*	0.45*	0.53*	0.70*

Märkused. ¹ punktide ühendamise test A; ² punktide ühendamise test B; ³ lihtreaktsioonaja test;

⁴ valikreaktsioonaja ⁵ sugu, vanus ning esimese ja teise testimiskorra seadme sisendi tüüp

* $p < .001$

Arutelu

Digitaalsete neuropsühholoogiliste testide väljatöötamine on oluline, sest need võimaldavad suuremat kättesaadavust testidele ja on odavamad kui nende traditsioonilised versioonid. Samas tuleb arvestada uute teguritega, nagu erinevate seadmete tehnilised tunnused, mis võivad mõjutada sooritust. Antud uuring kaardistas bioloogiliste, intelligentsuse ja tehniliste muutujate rollid eestikeelsete TestMyBrain platvormil baseeruvate digitaalsete punktide ühendamise testi A (TMT-A) ja B osa (TMT-B) ning lihtreaktsioonaja (SRT) ja valikreaktsioonaja (CRT) testide sooritusel ning määras nende testide korduvtesti reliaablused.

Bioloogilisi muutujaid ehk sugu ja vanust käsitlesid esimesed kaks hüpoteesi. Hüpotees 1, mis ütles, et antud testide skoorid ja vanus on negatiivses seoses, sai oodatavalt kindla kinnituse. See tulemus kattub Tombaugh (2004) ja Passell et al. (2019) töödega. Sellest järeldub, et vanematel inimestel on kehvem motoorne ja/või kognitiivne võimekus ning vähem kogemusi digiseadmetes mängulaadsete ülesannete sooritamiseks. Hüpotees 2 sai osalise kinnituse, sest ühegi testi sooritusel polnud olulist seost testisooritaja sooga. Soo olulise mõju puudumine TMT sooritusel läheb kokku Tombaugh (2004) tööga, kuid Passell et al. (2019) leidsid väikse erinevuse SRT ja CRT sooritusel meeste ja naiste vahel. Samas Woods et al. (2015) soo mõju SRT sooritusel ei täheldanud.

Intelligentsuse muutujaid ehk IQ ja haridust käsitlesid hüpoteesid 3 - 4. Hüpotees 3 ei saanud kinnitust ehk ei selgunud, et hariduse ja testiskooride vahel oleks oluline positiivne seos, kuigi Tombaugh (2004) leidis selle TMT-ga ning Passell et al. (2019) reaktsioonaja testidega. Samas on ka vastupidiseid tulemusi, näiteks jällegi Woods et al. (2015) ei leidnud hariduse ja SRT sooritusel olulisi seoseid. Lähtudes regressioonmudelitest ei saanud hüpotees 4 kinnitust ehk testiskooride ja IQ vahel seost ei ilmnenud. Üksiku muutujuna tuli välja IQ positiivne seos nii TMT-A, TMT-B kui ka CRT skooride, kuid mitte SRT, vahel. See võib tähendada, et vähem intelligentsematel inimestel on kehvemad eksekutiivsed funktsioonid ja madalam üldine vaimne võimekus. Ka Waldmann et al. (1992) leidsid TMT sooritusel ja IQ vahel seose ning Deary et al. (2001) leidsid nii SRT kui ka CRT ja IQ vahel seose. Samas regressioonmudelites IQ olulist rolli antud töös ühegi testi puhul ei mänginud.

Hüpoteesid 5 - 8 käsitlesid seadme tehnilisi tunnuseid ehk ekraanisuurust pikslites, operatsioonisüsteemi, seadme klassi ja sisendi tüüpi. Hüpotees 5 pakkus, et TMT sooritusel on negatiivne seos seadme ekraanisuurusega ning reaktsioonaja testidega seos puudub. Ühegi

testi sooritus ei olnud seotud seadme ekraanisuurusega. See võis tulla ka asjaolust, et tegu ei olnud päris füüsilise ekraanisuurusega vaid ekraani pindalaga mõõdetud pikslites. Ka hüpoteesile 6 vastavalt operatsioonisüsteemil testide sooritusele olulist mõju ei olnud. Hüpooteesid 7 seadme klassi mõju kohta ja hüpotees 8 sisendi tüübi mõju kohta said mõlema osalise kinnituse. Tulemustes on kattuvust ka Passell et al. (2019) ja Germine et al. (2019) töödega kus on leitud, et sooritused kipuvad olema paremad kasutades arvutit (ehk hiirt) võrreldes nutiseadmetega nagu nutitelefon või tahvelarvuti (ehk puutetundlik ekraan). Sisendi tüübi ja seadme klassi kombineerimisest piisabki, et võtta arvesse tehniliste muutujate mõju, sest need on suuresti kattuvad ja sarnaste mõjudega. Tuleb ainult eristada, kas kasutati hiirt, puuteplaati, nutitelefoni puutetundliku ekraaniga või tahvelarvuti puutetundliku ekraaniga. Samas selgus antud töös CRT erinevus võrreldes teiste testidega. Nimelt seletasid tehnilised muutujad CRT skoorist kõigest 1.3%, kuid teiste puhul 9.6 - 18.2%. Võib-olla pole CRT testil tehniliste muutujate arvestamine üldse oluline. Viimaks sai hüpotees 9 kinnitust, et brauseril, milles testi sooritatakse, olulist mõju sooritusele ei ole.

Oluliste erinevuste puudumine antud töös võrreldes teistega võis johtuda ka tavalisest rangema olulisusnivoo ($p < .001$) kasutamisest. Kasutasin seda, et vältida juhuslike seoste esile kerkimist, sest statistilisi teste oli väga palju. Lisaks võisid erinevused tulla analüüsimeetodite erinevusest. Selles töös mängisid tulemustes suuremat rolli mitmesed regressioonmudelid ja mitte üksikud korrelatsioonid. Eelnevatel põhjustel kui ka sellel, et eelnevad tööd on leidnud olulisi seoseid, tuleks nii digitaalsete punktide ühendamise kui ka reaktsioonaja testide puhul vaatamata selle töö tulemustele arvestada testisooritaja sugu, haridustaset kui ka intelligentsust. Erandiks siin TMT sooritus ja sugu, mille vahel ka eelnevad tööd pole olulist seost leidnud.

Hüpotees 9 korduvtesti reliaabluse nõude $> .60$ täitis ainult CRT, kuid kõikide testide korduvtesti reliaabluse tõusid, kui võeti arvesse teisi muutujaid. See võib tulla asjaolust, et CRT skoori kujunemisel on võrreldes teiste testidega suurim bioloogiliste muutujate mõju ning väiksem tehniliste muutujate mõju. Kuna erinevatel testimiskordadel paluti katseisikutel kasutada erinevaid seadmeid, siis CRT korduvtesti reliaablus on kõrgem. On võimalik, et kogu tehniliste muutujate mõju ei võetud regressioonmudelitega arvesse või on erinesid hoopis mõned teised tegurid kahe testimiskorra vahel. Kuna eriti TMT-A, TMT-B ning SRT testide sooritustel on oluline roll tehnilistel muutujatel, siis võib oletada, et kui katseisikud oleksid sooritanud teste kaks korda samadel seadmetel, siis oleksid ka korduvtesti reliaablused kõrgemad.

Piirangud

Antud tööl on ka mõningaid piiranguid. Esiteks ei jagunenud valim vanuse ega soo järgi võrdselt - nooremaid ja naissoost katseisikuid oli rohkem. Teiseks on osades regressioonmudelites mõned eeldused rikutud, mis võib vähendada nende usaldusväärsust. Kolmandaks on ekraanisuuruste ühikuks pikslid ja mitte füüsiline suurus.

Edasised uurimissuunad

Edasised uuringud võiksid esiteks kontrollida veel teiste muutujate mõju sooritusele nii digitaalsetes punktide ühendamise testides kui ka reaktsioonaja testides. Nendeks tunnusteks võiksid olla näiteks arvuti kasutamise oskus ja kasutatud seadme ekraani füüsilise suurus. Teiseks, vähemalt punktide ühendamise testide puhul eelnevalt testiga tutvumise aeg, sest testi alguseks loetakse hetke, mil katseisik interakteerub seadmega, kuid enne seda on ühendamist vajavad punktid ekraanil näha. Katseisik võib enne alustamist võtta aega, et õppida punktide asukohad ära, et sooritus kiirem ja täpsem oleks. Kolmandaks võiks võrrelda digitaalsete TMT, SRT ja CRT testide tulemusi traditsiooniliste versioonidega. Kui CRT oli ainult väikese määral tehnilistest muutujatest mõjutatud, siis peaksid digitaalse ja traditsioonilise versiooni tulemused suuresti kattuma. Viimaks oleks hea antud testide reliaabluste hindamiseks viia läbi uuringu, kus katseisikud sooritavad teste kahel erineval korral aga sarnasemates tingimustes, et hinnata paremini korduvtesti reliaablust. Teine võimalus on hinnata reliaablust mõnel teisel viisil.

Kokkuvõte

Antud töö eesmärgiks oli valideerida digitaalse punktide ühendamise testi A ja B osa ning lihtreaktsioonaja testi ja valikreaktsioonaja testi. Selgitasin välja nende testide sooritust mõjutavad bioloogilised, intelligentsuse ja tehnilised tegurid ning nende põhjal lõin mudeli, mis lubab testiskoore lihtsamalt ennustada. Kuigi tehnilistel muutujatel on mõju nende testide sooritustele, siis neid on võimalik arvesse võtta ja need pole nii keerulised kui esmapilgul tunduda võib - vahel piisab üksikust sisendi tüübi tunnusest. Samas säilivad seosed bioloogiliste tunnustega nagu vanus ja intelligentsus. Tulemused aitavad mõista digitaalsete testide eripärasid ning annavad lootust, et digitaalsed neuropsühholoogilised testid võivad olla usaldusväärsed testimisvahendid lisaks traditsioonilistele paber-pliats versioonidele.

Kasutatud kirjandus

Adams, M.-H. (2022). Elusündmuste seosed Testmybrain kognitiivsete testidega.

Psühholoogia Uurimistöö.

Andriuta, D., Diouf, M., Roussel, M., & Godefroy, O. (2019). Is Reaction Time Slowing an Early Sign of Alzheimer's Disease? A Meta-Analysis. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 47(4–6), 281–288. <https://doi.org/10.1159/000500348>

Ashendorf, L., Jefferson, A. L., O'Connor, M. K., Chaisson, C., Green, R. C., & Stern, R. A. (2008). Trail Making Test errors in normal aging, mild cognitive impairment, and dementia. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 23(2), 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.11.005>

Asu, L. (2022). Digitaalsete maatriksite MaRs-IB ja Testmybrain pilootuuring. *Psühholoogia Uurimistöö*.

Bowie, C. R., & Harvey, P. D. (2006). Administration and interpretation of the Trail Making Test. *Nature Protocols*, 1(5), 2277–2281. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.390>

Deary, I. J., Der, G., & Ford, G. (2001). Reaction times and intelligence differences: A population-based cohort study. *Intelligence*, 29(5), 389–399. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00062-9)

Eesti Geenivaramu koduleht (n.d.). Vaadatud 25.04.2021, lingilt:

<https://geenidonor.ee/geenivaramu>

Fergenbaum, J. H., Bruce, S., Lou, W., Hanley, A. J. G., Greenwood, C., & Young, T. K. (2009). Obesity and Lowered Cognitive Performance in a Canadian First Nations Population. *Obesity*, 17(10), 1957–1963. <https://doi.org/10.1038/oby.2009.161>

Germine, L., Nakayama, K., Duchaine, B. C., Chabris, C. F., Chatterjee, G., & Wilmer, J. B. (2012). Is the Web as good as the lab? Comparable performance from Web and lab in

- cognitive/perceptual experiments. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(5), 847–857.
<https://doi.org/10.3758/s13423-012-0296-9>
- Germine, L., Reinecke, K., & Chaytor, N. S. (2019). Digital neuropsychology: Challenges and opportunities at the intersection of science and software. *The Clinical Neuropsychologist*, 33(2), 271–286. <https://doi.org/10.1080/13854046.2018.1535662>
- Hamdan, A. C., & Hamdan, E. M. L. R. (2009). Effects of age and education level on the Trail Making Test in A healthy Brazilian sample. *Psychology & Neuroscience*, 2(2), 199–203. <https://doi.org/10.3922/j.psns.2009.2.012>
- Laken, P. van der. (2020). *Create a publication-ready correlation matrix, with significance levels*, in R. Paulvanderlaken. Vaadatud 08.01.2022 lingilt:
<https://paulvanderlaken.com/2020/07/28/publication-ready-correlation-matrix-significance-r/>
- Lüdecke, D., Makowski, D., Ben-Shachar, M., Patil, I., Waggoner, P., Wiernik, B., Arel-Bundock, V., & Jullum, M. (2021). *Check_outliers: Outliers Detection (Check for Influential Observations)*. RDocumentation. Vaadatud 05.01.2022, lingilt:
https://www.rdocumentation.org/packages/performance/versions/0.8.0/topics/check_outliers
- Passell, E., Dillon, D. G., Baker, J. T., Vogel, S. C., Scheuer, L. S., Mirin, N. L., Rutter, L. A., Pizzagalli, D. A., & Germine, L. (2019). *Digital Cognitive Assessment: Results from the TestMyBrain NIMH Research Domain Criteria (RDoC) Field Test Battery Report*. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/dcszr>
- Periáñez, J. A., Ríos-Lago, M., Rodríguez-Sánchez, J. M., Adrover-Roig, D., Sánchez-Cubillo, I., Crespo-Facorro, B., Quemada, J. I., & Barceló, F. (2007). Trail Making Test in traumatic brain injury, schizophrenia, and normal ageing: Sample comparisons

- and normative data. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(4), 433–447.
<https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.01.022>
- Pirozzolo, F. J., Christensen, K. J., Ogle, K. M., Hansch, E. C., & Thompson, W. G. (1981). Simple and choice reaction time in dementia: Clinical implications. *Neurobiology of Aging*, 2(2), 113–117. [https://doi.org/10.1016/0197-4580\(81\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0197-4580(81)90008-7)
- Rasmusson, X. D., Zonderman, A. B., Kawas, C., & Resnick, S. M. (1998). Effects of Age and Dementia on the Trail Making Test. *The Clinical Neuropsychologist*, 12(2), 169–178. <https://doi.org/10.1076/clin.12.2.169.2005>
- Singh, S., Strong, R. W., Jung, L., Li, F. H., Grinspoon, L., Scheuer, L. S., Passell, E. J., Martini, P., Chaytor, N., Soble, J. R., & Germine, L. (2021). The TestMyBrain Digital Neuropsychology Toolkit: Development and Psychometric Characteristics. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 0(0), 1–10.
<https://doi.org/10.1080/13803395.2021.2002269>
- Tombaugh, T. N. (2004). Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19(2), 203–214.
[https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(03\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(03)00039-8)
- Vallesi, A. (2020). On the utility of the trail making test in migraine with and without aura: A meta-analysis. *The Journal of Headache and Pain*, 21(1), 63.
<https://doi.org/10.1186/s10194-020-01137-y>
- Vaughan, S., Wallis, M., Polit, D., Steele, M., Shum, D., & Morris, N. (2014). The effects of multimodal exercise on cognitive and physical functioning and brain-derived neurotrophic factor in older women: A randomised controlled trial. *Age and Ageing*, 43(5), 623–629. <https://doi.org/10.1093/ageing/afu010>
- Waldmann, B. W., Dickson, A. L., Monahan, M. C., & Kazelskis, R. (1992). The relationship between intellectual ability and adult performance on the trail making test and the

symbol digit modalities test. *Journal of Clinical Psychology*, 48(3), 360–363.

[https://doi.org/10.1002/1097-4679\(199205\)48:3<360::AID-](https://doi.org/10.1002/1097-4679(199205)48:3<360::AID-)

[JCLP2270480314>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1097-4679(199205)48:3<360::AID-JCLP2270480314>3.0.CO;2-P)

Woods, D. L., Wyma, J. M., Yund, E. W., Herron, T. J., & Reed, B. (2015). Factors influencing the latency of simple reaction time. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>

Yang, Y., Shields, G. S., Guo, C., & Liu, Y. (2018). Executive function performance in obesity and overweight individuals: A meta-analysis and review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 225–244. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.11.020>

Young, R. J. (1979). The effect of regular exercise on cognitive functioning and personality.

British Journal of Sports Medicine, 13(3), 110–117.

<https://doi.org/10.1136/bjism.13.3.110>

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.

Andre Berezin