

Tartu Ülikool
Sotsiaalteaduste valdkond
Psühholoogia Instituut

Klaus-Peeter Ladva

**VARASEIMATE TEADVUSTAMISE HETKEDE
NEURONAALSED KORRELAADID**

Uurimistöo

Juhendaja: Renate Rutiku, PhD
Kaasjuhendaja: Talis Bachmann, PhD
Läbiv pealkiri: Teadvuse neurokorrelaadid

Tartu 2021

Varaseimate teadvustamise hetkede neuronalsed korrelaadid

Kokkuvõte

Lähtudes kahes suurimast mudelist visuaalsete stiimulite teadvusesse jõudmisega seotud neurokorrelaatide osas (Early Vision Model ja Global Neural Workspace Model), uuriti teadvuse neurokorrelaate subjektiivsete hinnangute kaudu. Kuus katseisikut tegid igauks üht ülesannet järjest pikeneva joone ja teist liikuvat kellaosutiga, kus tühjale ekraanile ilmunud pidevalt liikuv stiimul tuli pärast selle nägemist liigutada asendisse, kus seda esimest korda nähti. Uuriti hinnangulise asendi järgi arvutatud ajahetkede ja EEG sündmuspotentsiaalide vaheliste korrelatsioonide tendentse ning leiti, et 6 korrelatsiooni 7 leitud korrelatsioonist ($r > 0.1$ ja $p < 0.05$) olid hinnangulise ajahetke ja positiivsete sündmuspotentsiaalide vahel ligikaudu 200ms pärast stiimuli ilmumist (P2) või negatiivsete sündmuspotentsiaalide vahel ligikaudu 200ms pärast stiimuli ilmumist (N2), mis on paremini kooskõlas EVM kui GNWM mudeliga, kuna GNWM kohaselt peaks hinnangud korreleeruma hoopis positiivsete sündmuspotentsiaalidega ligikaudu 300ms pärast stiimuli ilmumist (P3).

Märksõnad:

Teadvuse neurokorrelaadid

Visuaalne tajum

EEG sündmuspotentsiaalid

Neural correlates of the earliest moments of conscious perception

Abstract

Due to the fact that the search of neural correlates of consciousness (NCC) has led to two main models of visual conscious perception (Early Vision Model and Global Neural Workspace Model), an experiment to find NCCs through subjective estimates was held. Six subjects were each tested with two different tasks, one of which had a continuously lengthening line and the other had a continuously moving pointer within a shape imitating a clock, which they had to assign to the position where they first perceived it. The estimated starting positions were translated to an estimate of the moment when subjects first consciously perceived the stimulus and correlated with event related potentials captured with EEG. 6 out of 7 found correlates were between estimates and positive event related potentials in the 200ms range (P2) and negative event related potentials in the 200ms range (N2) which is more in line with the Early Vision Model rather than the Global Neural Workspace Model, because the latter predicts estimates to be more correlated with positive event related potentials in the 300ms range (P3).

Keywords:

Neural Correlates of Consciousness

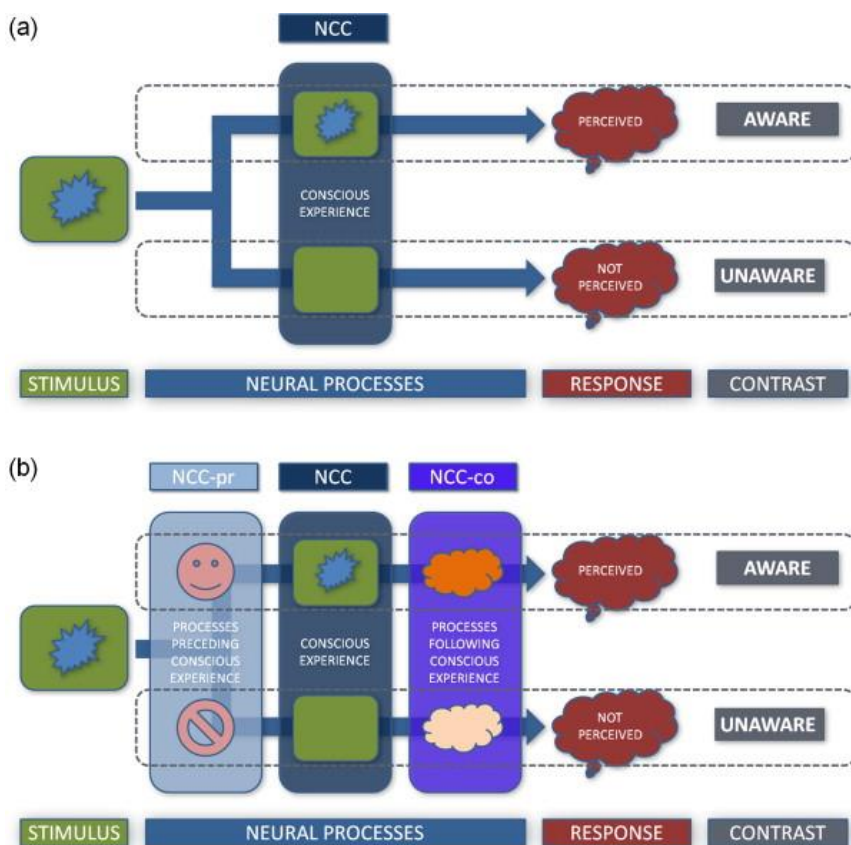
Visual perception

EEG Event Related Potentials

Sissejuhatus

Psühhofüüsika ning kognitiivse psühholoogia üheks keskseks küsimuseks on tõusnud subjektiivse kogemuse ehk teadvuse neuronaalsete korrelaatide (TNK) otsimine. Kuigi nimi viitab sellele, et otsitakse neuronalseid protsesse, mis on teadvusega seotud (korreleeritud), otsitakse sisuliselt neuronaalset tegevust, mis on teadvuse esinemise viis füüsilises maailmas (Jülkkä, Railo, 2019). Jülkkä ja Railo arutlevad, et selline konservatiivne nimi nagu TNK tulenes filosoofilisest ebakindlusest nimetada teadvust materiaalse maailma ilminguks, kuid arvavad, et selline vaoshoitus pole põhjendatud, kuna teadus tegelebki mudelitega reaalsusest, kuhu on sisse ehitatud teadmine, et mudel saab reaalsust esitada ainult sel määral, mis on kuidagi mõõdetav või tõestatav. Nad toovad paralleeli kvarkidest, märkides, et keegi ei arutle, millised omadused on üksikul eraldatud kvargil, sest seda ei ole võimalik uurida ja sellel ei ole teaduslikus mõttes sisu. Sarnaselt võiks teadvuse uurimises rääkida teadvuse uurimisest, mitte teadvusega seotud protsesside uurimisest, kui meie mudelis on nad sisuliselt sama asi. Siiski jääme hetkel TNK nimetuse juurde, aga märkides, et eesmärk ei ole leida mitte kõiki teadvusega korreleeruvaid protsesse, vaid neid, mis on otseselt seotud teadvuse sisu olukorrapõhise tekkega vastusena esitatud tajuobjektile.

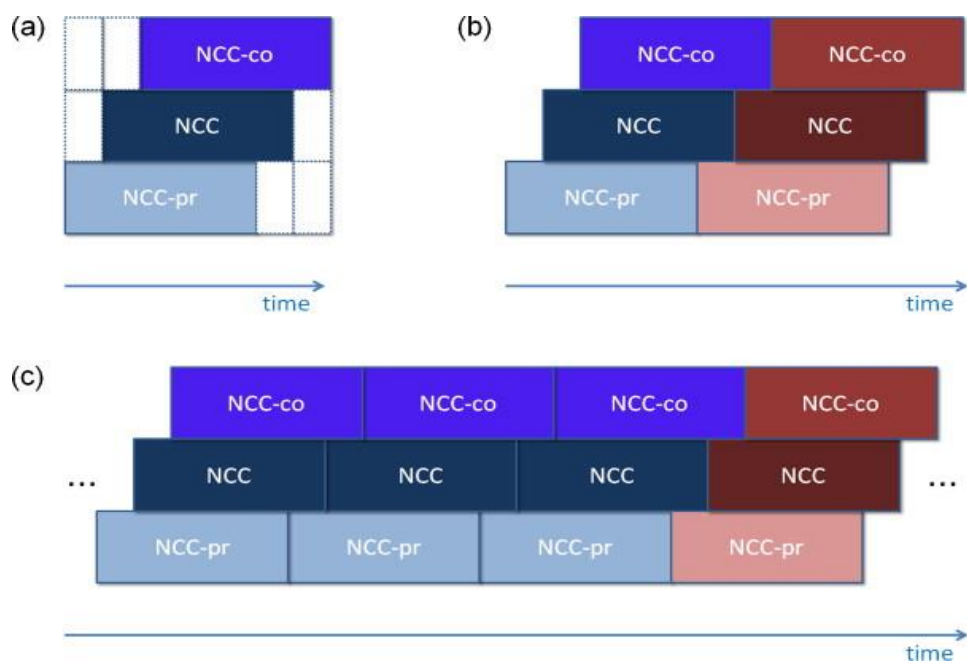
Kuna soovime leida just teadvuse sisu tekkega seotud protsesse, on oluline eristada teadvuse päris neuronalseid korrelaate ja teadvusega kaasnevaid neuronalseid korrelaate, mis võiks jagada kahte rühma - teadvuseelsed ja teadvusejärgsed (Aru jt 2012). Teadvuseelsed on protsessid, mis on vajalikud stiimuli teadvusesse jõudmiseks, kuid eelnevad teadvusele, teadvuset tulenevad on protsessid, mis toimuvad alati pärast stiimuli teadlikku töötlust, kuid ei osale ise kuidagi selle teadvuse loomises.



Joonis 1. Aru, Bachmann, Singer ja Mellon (2012)

Aru jt 2012 jooniselt on näha olulist eristust: joonise osa (a) näitab, kuidas varasemad uuringud tihti eeldavad, et kui stiimulit ei nähtud, käisid ainult aju protsessid, mis pole teadvusega seotud ning kui nähti, käisid lisaks veel ka teadvusega seotud protsessid. Osa (b) näitab, kuidas neuraalseid protsesse, mis nähtu korral esinesid, aga mitte nägemise korral mitte, pole mitte üks, vaid kolm, sest osa protsesse eelneb stiimuli-teadvusele (NCC-pr) ja osa tuleneb selle teadvusest (NCC-co). Kõik kolm on küll teadvusega seotud, kuid mitte selles tähenduses, et kõik need protsessid otseselt tekitaksid teadvust. Kuigi teadvuseelsete ja teadvusjärgsete protsesside olemasolu tuleneb üpris tõenäolisest eeldusest, et teadvust tekitavad protsessid ei ole teistest ajuprotsessidest eraldatud, on ka näiteid nende olemasolust. Teadvuseelseks saab näiteks lugeda alfalainete (10Hz) faasi stiimuli alguses, kuna Dugue, Marque ja VanRullen (2011) leidsid, et transkraniaalse magnetstimulatsiooni abil illusiooni tekitamise tõenäosus erines alfalainete faasi vastandpunktides 15%. Samuti leidsid Worden jt aastal 2000, et valikuline visuaalne tähelepanu tekitab EEG abil tuvastatava muutuse ajutegevuses. Teadvusjärgsetest on hea näide mediaalse temporaalse sagara neuronite aktiivsus, mille tulemusel subjektiivsed kogemused salvestatakse mällu (Quigora jt, 2008).

Teadvuse neurokorrelaadid



Joonis 2. Aru, Bachmann, Singer ja Melloni joonis (2012)

Seepärast on vaja lisaks kontrastile tuginevatele uuringutele (masking, tähelepanu silmapilgutus jne) kasutada ka meetodeid, mis on tundlikud aja suhtes, et võimalikult täpselt eristada teadvuse päris neurokorrelaate teadvuseelsetest ja teadvusest tulenevatest korrelaatidest.

Oluline on ka arvestada, et teadvuse neuronaalsete korrelaatide leidmine võib meid viia *lähemale* teadvuse neurobioloogilisele olemusele, kuid ei *lahenda* iseenesest küsimust, kuidas teadvus tekib (Orpwood, 2013). Tegemist ongi äärmiselt keeruka ja mitmekülgse küsimusega, mis on ometi piisavalt oluline, et sellele iga võimaliku külje alt läheneda. Meie uuring keskendub visuaalsete stiimulite neuronaalsete korrelaatide otsimisele.

Visuaalsete stiimulite teadvusesse jõudmiseks vajalike ajuprotsesside otsingud on viinud kahe suure mudelini. Early Vision Model (EVM) kohaselt on visuaalse teadvusega seotud negatiivse laengu laine visuaalkorteksis umbes 200ms pärast stiimuli ilmumist, mida seostatakse visuaalkorteksi sisese rekursiivse töötusega (Lamme, 2010). Global Neural Workspace Model (GNWM) kohaselt jõuab stiimul teadvusesse aga alles negatiivsele lainele järgneva positiivse laengu laine ajal umbes 300ms pärast stiimuli ilmumist, mis kaasab ka teisi ajupiirkondi, seejuures prefrontaalkorteksit (Dehaene ja Changeux, 2011).

Näiteks on EEG abil näidatud, et tähelepanu silmapilgutuse ajal nägemata jäänud stiimulid

aktiveerivad küll kõige varasema infotöötuse visuaalses korteksis, kuid negatiivse laengu laine ei ole nii tugev ja üldist positiivset lainet sellisel määral nagu nähtud stiimulite puhul ei toimu (Sergent, Baillet ja Dehaene, 2005). Kuigi suurim muutus nähtud ja nägemata stiimulite töötusel toimub pärast 270ms, mis toetaks GNWM mudelit, on uuringus välja toodud 270ms esimese suurema muutuse (visuaalsete alade negatiivse laengu erinevuse) haripunkt, mitte algus (Sergent et al., 2005). Seejuures GNWM mudeli pooldajad nõustuvad, et negatiivne laine on samuti seotud stiimuli teadvusesse jõudmisega, aga väidavad, et see on teadvuseelne protsess – teadvusega seotud, aga sel ajal ei ole veel stiimul teadvusesse jõudnud (Dehaene ja Changeux, 2011).

Näitamaks, et varajane töötus siiski tekitab subjektiivset kogemust viisid Railo ja kolleegid (2015) läbi katse, kus osalejad pidid reageerima kohe, kui nad oma vaimusilmas nägid ekraanile ilmunud stiimulit. Tulemused näitasid, et paljud osalejad nägid enda sõnul stiimulit enne kui ilmnes 300ms paiku esile tulev positiivne laine. Kuigi see on üpris veenev viis, kuidas välistada üldise positiivse laine vajalikkust stiimuli teadvustamiseks, on ainuke seos teadvuse ja nupule vajutamise aja vahel osalejate lubadus, et nad enne ei vajuta. See viib meid probleemini, et objektiivsed käitumuslikud mõõtmised subjektiivsete kogemuste osas on kaheldava väärtusega, kuna käitumiseni jõudmiseks ei ole subjektiivne kogemus vajalik (Dehaene ja Changeux, 2011)

Hetkel pole stiimulijärgse esimese teadvuskogemuse tekke aja ja vastavate neuronaalsete korrelaatide uurimiseks kasutatud otseselt subjektiivset kogemust. Meie uurimistöö eesmärk oli uurida subjektiivsete hinnangute kaudu varajase teadvustamise neuronalseid korrelaate. Meid huvitab, millisel ajahetkel esmane teadvustamine toimub ning milline on samal ajal ajuaktiivsus. Selleks, et mõõtmine oleks subjektiivsete hinnangute kaudu, kasutame me esmase tekkinud teadvuselamuse sisu ehk osalejad ei reageeri mitte kohe, kui nad midagi näevad, vaid vastavad, milline stiimul oli esimene, mida nad oma vaimusilmas nägid. Kuna minu katses kasutatud stiimulid on pidevas muutumises läbi aja, saame siduda esmase teadvuskogemuse osaleja subjektiivse vastuse kaudu ajaga ja saadud aega võrrelda EEG tulemuste abil neuronaalsete protsessidega. Selliselt läbi viidud katse aitab lahendada Railo jt 2015 uuringu suurima probleemi, kuna saadud ajad on otseselt teadvuselamuse sisu kaudu leitud.

Meetod

Katseisikud

Katses osales 6 katseisikut (4 meest ja 2 naist), kes olid terved, normaalse või normaalseks korrigeeritud nägemisega ja vanuses 19-34 aastat. Kõik katseisikud lugesid läbi informeeritud nõusoleku vormi ning kinnitasid allkirjaga soovi uuringus osaleda. Katse oli eelnevalt heaks kiidetud Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee poolt.

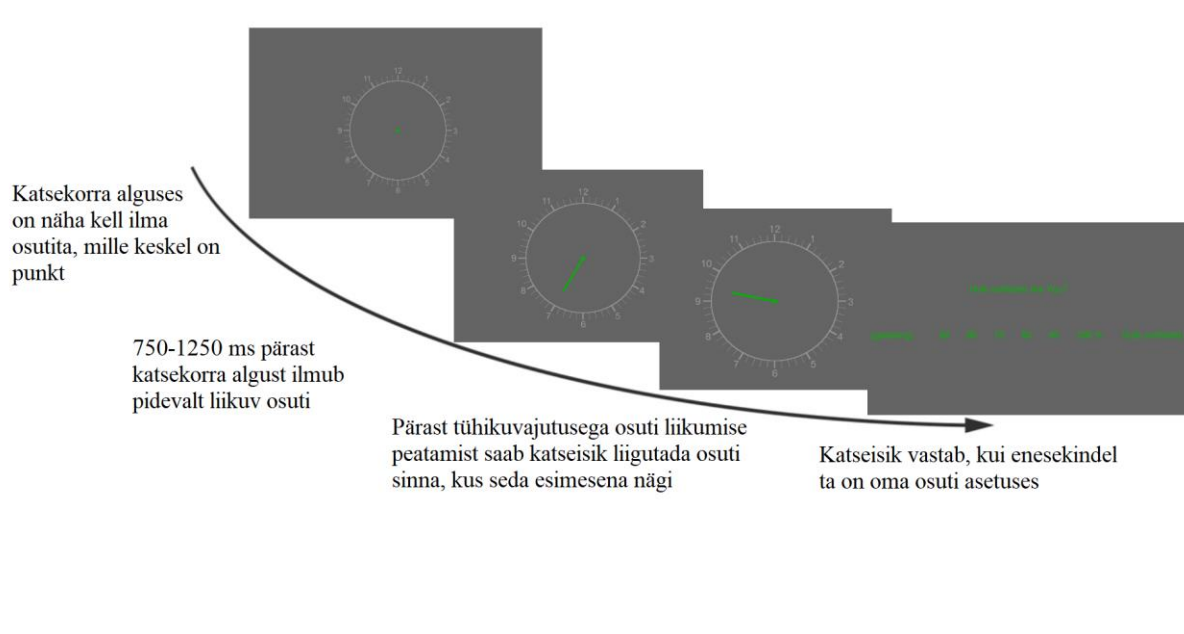
Üldine katse käik

Kõik katseisikud täitsid kahte erinevat ülesannet, mis on sama eesmärgiga, kuid erinevad stiimulite poolest. Mõlemas ülesandes tuleb osalejatel jälgida ekraani, kus alguses stiimul puudub, kuid pärast väikest pausi stiimul tekib ning liigub alates tekkimise hetkest pidevalt edasi. Katseisikud peavad nupuvajutusega peatama stiimuli niipea, kui teadvustavad stiimuli olemasolu ning seejärel kiiresti kasutades liigutama stiimuli asendisse, kus see oli, kui nad seda esmakordselt teadlikult nägid. Katseisikutele rõhutati, et eesmärk ei ole oletada, mis asendis stiimul võis alguse saada, vaid võimalikult tõetruult asetada stiimul tagasi sinna, kus nad seda esmakordselt antud esituskorral teadlikult nägid. Kui stiimuli esialgne kogetud asukoht on määratud, tuleb ekraanile küsimus, mis palub katseisikutel anda subjektiivne kindlushinnang valitud asukoha täpsuse osas skaalal 50% (maksimaalselt ebakindel) kuni 100% (maksimaalselt kindel), kus valikuvariandid on 10% vahedega. Pärast kindlustunde hinnangut algab uus katsekord. Ühte ülesannet tegi iga katseisik kokku 720 korda, kuid iga 120 katsekorra järel oli pikem paus, kus osalejad said silmi puhata ja lõdvestuda. Iga katseisik käis laboris kahel erineval päeval (üks kord üht, teine kord teist ülesannet tegemas), kuna mõlema ülesande järjest tegemine oleks olnud liiga pikk ja kurnav. Tingimuste järjekord oli katseisikute vahel tasakaalustatud. Katseisikuid juhendati silmi pilgutama ajal, kui nad vastavad kindlustunde küsimusele (mitte stimulatsiooni ajal), et vähendada silmapilgutuste segavaid signaale EEG tulemustes.

Ülesanded

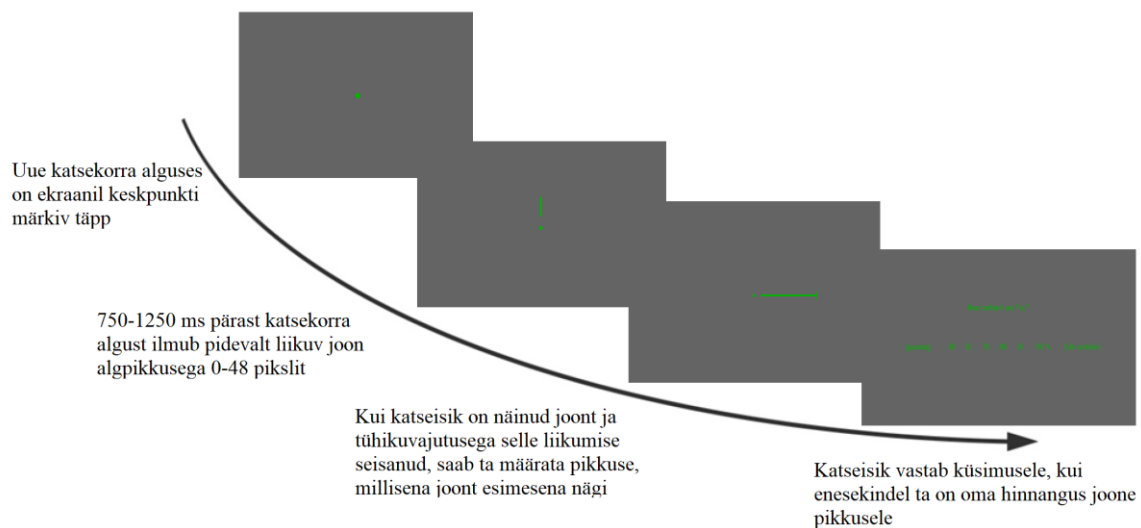
Esimene ülesanne oli sarnane Libet'i kella ülesandele (Libet, 1999). Ekraani keskel oli punkt, mida katseisikud fikseerima pidid ning selle keskpunkti ümber olid kella numbrilauale sarnaselt punktid, mis moodustasid ringi. Ringi raadius oli umbkaudselt 2 visuaalset nurgakraadi. Stiimuliks oli osuti, mis tekkis igal katsekorral erinevale kohale ning liikus kas

päripäeva või vastupäeva. Osuti alguspunktideks olid 10 erinevat kraadivahemikku, mis jaotusid võrdsete vahedega 36 ja 360 kraadi vahele. Osuti liikumiskiirus oli juhuslikult valitud kolmest erinevast kiirusest (aeglane, keskmine, kiire). Aeglase kiiruse korral nihkus osuti iga 10 millisekundi järel (monitori pildivärskendus-sagedus oli 100 Hz) 2 kraadi võrra edasi. Keskmise kiiruse korral nihkus osuti 3 kraadi ning kiire kiiruse korral 4 kraadi edasi. Pärast stiimuli nägemist ja tühikuvajutusega stiimuli seiskamist sai osaleja osuti suunda hiirega liigutada nii päri- kui vastupäeva ning hiireklõpsuga kinnitada osuti asukoht, kus nad seda esimesena nägid.



Joonis 3. Ühe katsekorra ülesehitus kella ülesandes. Pärast enesekindlusküsimusele vastamist algab viivitamatult uus katsekord.

Teises ülesandes oli stiimuliks järjest pikenev joon, mis tekkis ekraani keskel oleva punkti kõrvale suunaga üles, alla, vasakule või paremale. Joon pikenes samas suunas punktist kaugenevalt. Joone algpikkus võis olla 1, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 4 või 48 pikslit. Joone pikenedes olid samuti kolm erinevat kiirust (aeglane, keskmine ja kiire). Aeglase kiiruse korral kasvas joon iga 10 millisekundi järel 2 piksli võrra. Keskmise kiiruse korral kasvas joon 4 piksli ning kiire kiiruse korral 6 piksli võrra pikemaks. Pärast tühikuvajutusega joone peatamist saab osaleja hiire liigutamise abil joont lühemaks ja pikemaks sättida, et see oleks sellise pikkusega, nagu joon nende esimese teadvustatud kogemuses oli.



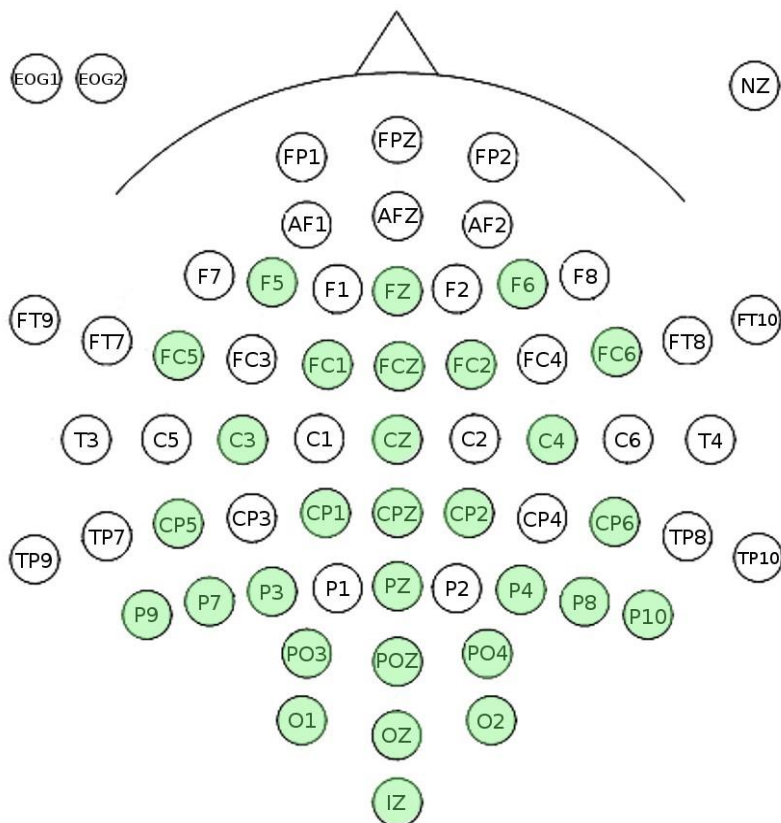
Joonis 4. Ühe katsekorra ülesehitus joone ülesandes. Pärast enesekindlusküsimusele vastamist algab viivitamatult uus katsekord.

Nii kella kui ka joone ülesande puhul olid stiimuli liikumiskiirused valitud nii, et neid oleks mugav vaadata -- stiimulite pidev muutumine ei olnud liiga aeglane ega liiga kiire. Samuti oli mõlemas ülesandes stiimulite heledus isoluminantne ekraani taustaga, et vältida kontrasti järeleefekti rolli katse tulemustes. Katsed olid implementeeritud standardsete arvuti-programmide kaudu, mis on kirjutatud programmeerimiskeeles Matlab, kasutades *Psychophysics Toolbox* funktsioone (Brainard, 1997; Pelli, 1997; Kleiner et al, 2007).

Katse keskkond ja aparatuur

Katse viidi läbi Tallinas Teatri väljakul asuvas TÜ karistusõiguse osakonna kognitiivse psühholoogia laboris. Katseisikud istusid arvuti ekraanist 80 cm kaugusel ning neil lasti EEG ühendamise ajal lugeda katse täpset kirjeldust ning seda katset mõned korrad proovida, et katsekordade vaheldumine oleks arusaadav, kuna pärast enesekindluse küsimusele vastamist algab kohe uus katsekord, mis vajas alguses natuke harjumist. Kasutatav monitor oli SUN CM751U, resolutsiooniga 1024x765 pikslit ning pildivärskendussagedusega 100 Hz. Katsed on implementeeritud standardsete arvutiprogrammide abil, kirjutatud programmeerimiskeeles Python. Programmisiselt määratud kontrasti ühtlustamiseks stiimuli ja tausta vahel mõõdeti eelnevalt stiimuli ja tausta isoluminantsust ning kalibreeriti isoluminantsus selliseks, et stiimuli ja tausta vahel oleks ainult värvi, aga mitte heleduskontrasti erinevus. EEG andmeid koguti Nexstim Eximia Elektroentsefalograafia aparatuuriga (Nexstim Ltd., Finland) ning 60

ühendusega elektroodmütsiga, millest kasutusel olid 30 (vaata joonist 5). Prepareeritud elektroodide takistus viidi alla 15 k Ω . Referentselektrood oli asetatud lauba keskele, kulmupiirist umbes 1 cm kõrgusele. Silmaelektroodid asetati silmade kõrvale. Mõõtmisagedus oli 1450 Hz ja sagedusriba oli 0.1 – 350 Hz.



Joonis 5. Kasutatud elektroodide asukohad on märgitud roheliseks.

Andmete analüüs

Käitumuslike andmeid analüüsiti statistikatarkvaraga R ja JASP. EEG andmed puhastati programmeerimiskeskonnas Matlab ning ülesande lahendamise seonduva ajutegevuse andmete seoseid käitumuslike andmetega uuriti statistikatarkvaraga JASP.

Käitumuslike andmete puhastamine

Katsekordadest eemaldati katsekorrad, kus reaktsiooniaeg oli kiirem kui 100ms või aeglasem kui kaks standardhälvet katsekordade keskmisest. Eemaldati ka katsekorrad, kus enesekindlusküsimuse vastus jäi täpselt kahe valikuvariandi vahele, mistõttu nende enesekindlusküsimuse väärtuseks sai nende kahe kombinatsioon (näiteks 3 ja 4 vahele

vajutades tuli andmetesse 34). Eemaldati ka katsekorrad, kus hinnang algusele (Est) jäi alla või ülespoole kahte standardhälvet hinnangute keskmisest.

EEG andmete eeltöötlus

Esmalt lõigati EEG toorandmed stiimuli ilmumishetkede suhtes erinevateks epohhideks. Epohhid algasid 0.8 sekundit enne ja lõppesid 0.8 s pärast stiimuli ilmumist. Teise sammuna filtreeriti signaalid 30Hz faasinihketa (*zero-phase shift*) Butterworth madalpääsfiltriga. Kõigi katsekordade kvaliteeti kontrolliti visuaalselt ning eemaldati müraised katsekorrad või katsekorrad, kus silmapilgutusi esines nullhetke vahetus läheduses. Müraised EEG elektroodid interpoleeriti *spherical spline* meetodit kasutades. Sõltumatute komponentide analüüsi (*Independent Component Analysis, ICA*) jaoks interpoleeriti ka kõik puuduvad 30 kanalit, kuid ICA lahendus arvutati siiski välja ainult maksimaalselt 30 komponendi jaoks. ICA viidi läbi kahel järjestikul korral. Esimese korra lahendust kasutati selleks, et eemaldada katsekordi, kus ICA komponendid olid müraised. Teise korra lahendust inspekteeriti visuaalselt ning eemaldati kõik ICA komponendid silmapilgutuste, silmaliigutuste ning muude lihas-artefaktide jaoks. Lõpptulemusena saadud katsekorrad vaadati veelkord visuaalselt üle, et veenduda nende salvestiste kvaliteedis. EEG andmete eeltöötlus viidi läbi kvalifitseeritud spetsialisti poolt.

EEG

Sündmuspotentsiaalide leidmiseks keskmistati kõigepealt EEG tulemused üle kõikide katseisikute, et leida üldkeskmises esile tulevad süstemaatiliselt muutuvate potentsiaalide ajahetked. Keskmistamise teel leitud potentsiaalide üldkeskmiste (summarselt keskmistatud) komponentide aegu kasutati iga katseisiku kummagi ülesande andmetest nende aegadega seotud variatiivseimate 5 elektroodi leidmiseks (vastavalt siis kõige positiivsemad või negatiivsemad). Saadud elektroode kasutati iga katsekorra sündmuspotentsiaalide leidmiseks, otsides nende maksimaalselt positiivseid või negatiivseid tulemusi.

Tulemused

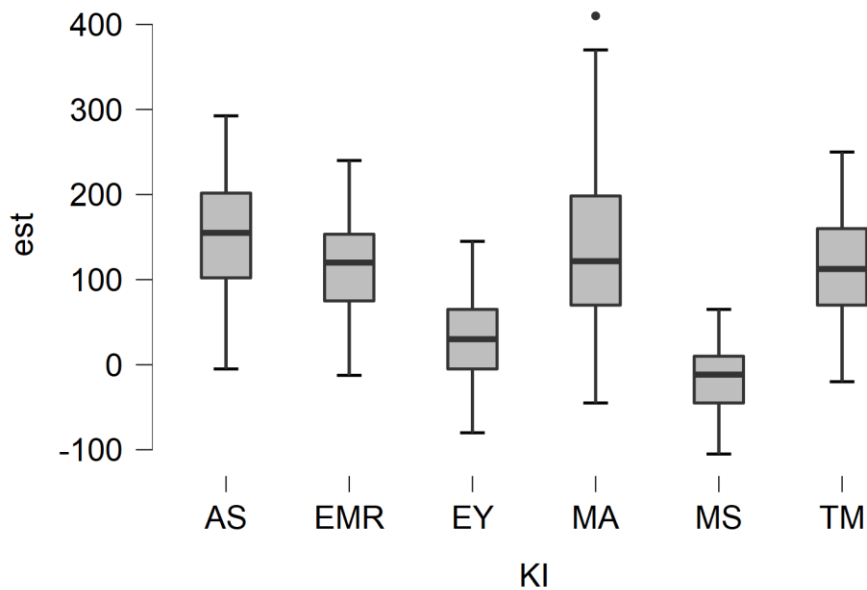
Käitumuslikud tulemused

JASPi *descriptive* analüüsiga leiti iga katseisiku keskmised reaktsiooniajad (Reakt), subjektiivsed hinnangud stiimuli algushetkele (Est) ja enesekindlus enda vastuses (Conf) ning nende standardhälbed nii joone, kui ka kella ülesandes ning vormistati tulemused tabelina (Tabel 1). Nii keskmised reaktsiooniajad kui ka subjektiivsed algushinnangud olid läbivalt väiksemad kella ülesandes. Keskmise reaktsiooniaeg oli kõigil katseisikutel peale MA keskmiselt kiirem kella ülesandes ning subjektiivne algushinnang oli kõigil peale MS samuti kiirem kella ülesandes. Keskmised reaktsiooniajad ja subjektiivsed algushinnangud üle katseisikute olid joone ülesande puhul vastavalt 346,5 ms (standardhälve 63,5 ms) ja 88,8 ms (standardhälve 59,55 ms) ning kella ülesande puhul vastavalt 321 ms (standardhälve 52 ms) ja -18,9 ms (standardhälve 45,9 ms). Seega kella ülesandes olid subjektiivsed algushinnangud mitte ainult tunduvalt madalamad joone ülesandest, vaid katseisikud tihti hindasid kella ülesandes stiimuli algushetkeks aega enne stiimuli ilmumist.

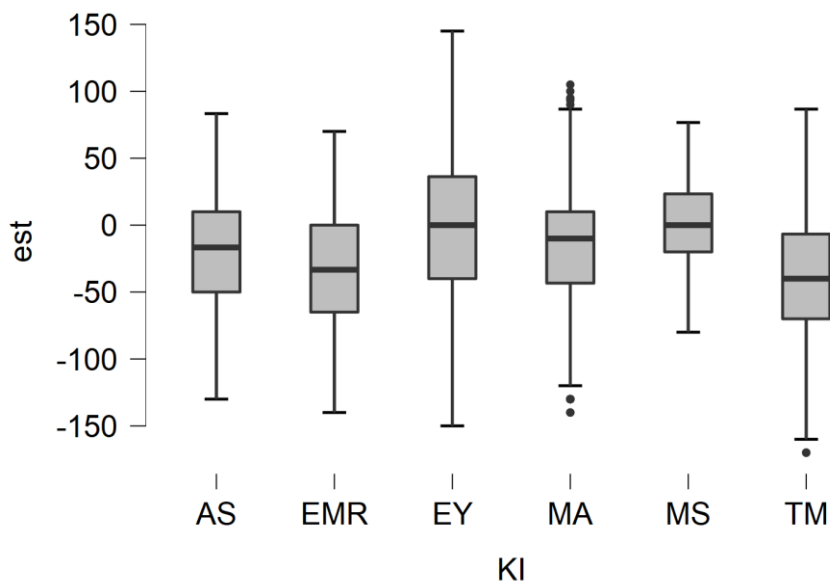
Tabel 1. Tabelis on kõigi katseisikute (KI) tulemuste analüüsi sisse jäänud katsekordade arvud (SKA), reaktsiooniajad (Reakt), subjektiivsed hinnangud stiimuli algusele (Est) ja enesekindluse hinnangud (Conf) ning vastavad standardhälbed.

KI	JOON				KELL			
	SKA	Reakt std (ms)	Est std (ms)	Conf std	SKA	Reakt std (ms)	Est std (ms)	Conf std
AS	615	284 54	149.4 66.1	4.563 1.184	601	308 51	-21.0 42.6	4.913 1.194
EMR	618	334 43	115.2 55.1	5.154 0.741	648	315 25	-33.0 46.8	5.167 0.685
EY	557	388 67	30.6 48.5	3.946 1.027	574	374 71	-1,4 58.0	4.456 1.064
MA	374	292 55	140.1 91.3	3.209 0.975	549	294 61	-17.1 44.4	4.867 0.732
MS	609	483	-16.2	3.599	641	347	0.3	3.947

		94	37.1	1.052		47	32.1	1.087
TM	607	298 68	113.9 59.2	4.951 0.900	581	288 57	-41.3 51.4	5.110 0.691
Keskmine	563.3	346.5 63.5	88.8 59.55	4.237 0.978	599	321 52	-18.9 45.9	4.743 0.909

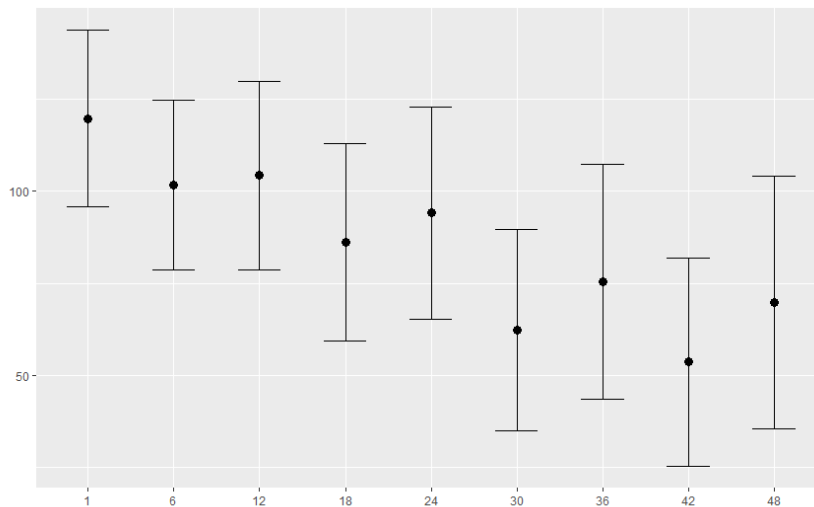


Joonis 6. Katseisikute subjektiivsete algushinnangute (Est) varieeruvus joone ülesandes.



Joonis 7. Katseisikute subjektiivsete algushinnangute (Est) varieeruvus kella ülesandes.

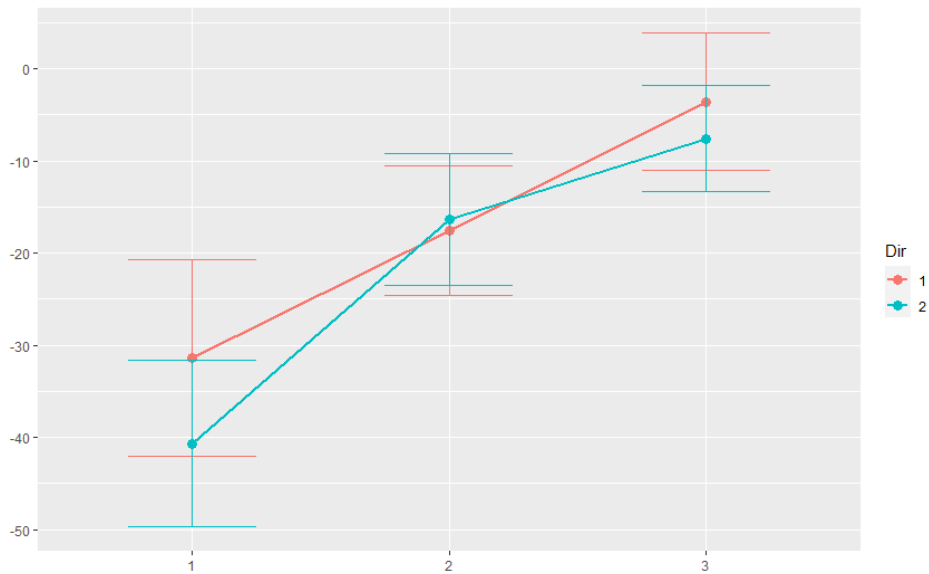
Uurisime ka erinevate katsefaktorite mõju korduvmõõtmiste ANOVAGA. Joone ülesandes oli kõige olulisemaks muutujaks joone algpikkus, millel oli väga süstemaatiline efekt ($F(8,40)=15.15$, $p=6.17e-10$). Joone suunal puudus süstemaatiline efek, aga gesi järgi hinnates võib potentsiaalselt suure hulga katseisikutega oluline olla ($F(3,15)=1.67$, $p=0.22$, ges 0,02). Joone piknemise kiirus ei olnud oluline ($F(2,10)=1.40$, $p=0.29$, ges=0,01). Olulise efektiga joone algpikkusest tehti joonis (Joonis 4), kust on hoolimata standarvigade kattumisest näha, et üldtendents on pikema algpikkuse puhul madalam hinnanguline stiimuli alghetk.



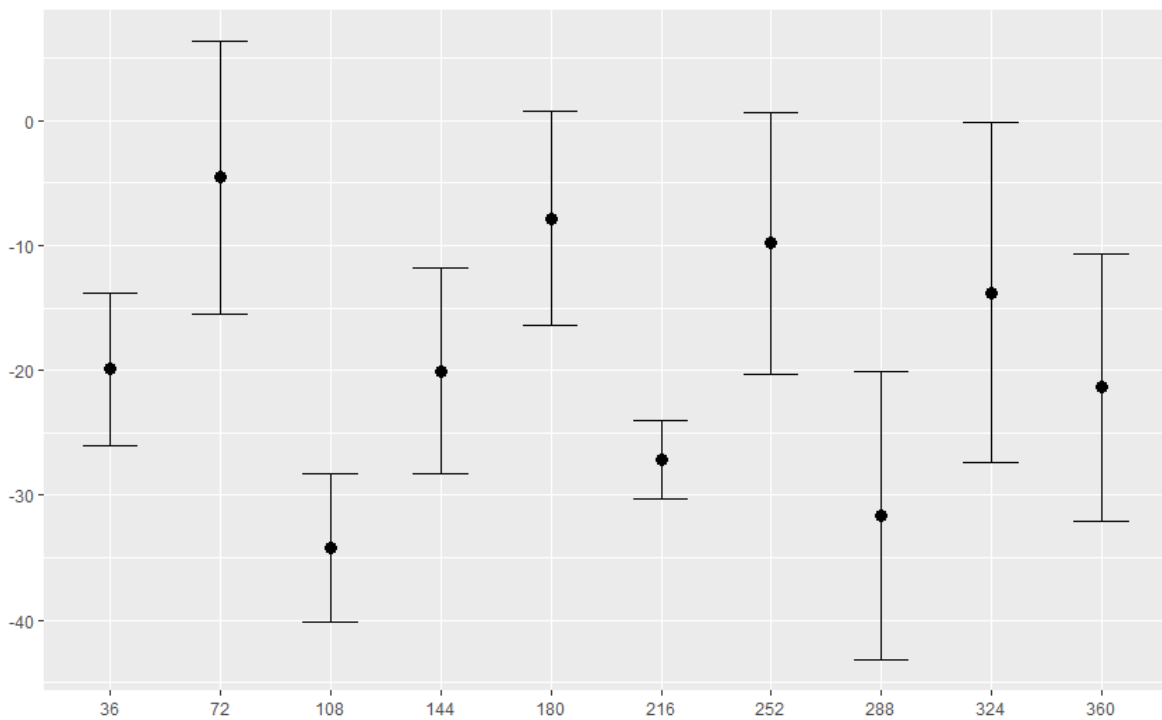
Joonis 8. Joone algpikkuse efekt subjektiivsele hinnangule (Est)

Kella ülesande olulised astmelised muutujad olid kellaosuti suund, stardipositsioon (kraadides) ja liikumiskiirus. Kellaosuti liikumise suuna efekti leidmiseks tehti t-test, kuid selle efekt ei olnud signifikantne ($t(5)=1.42$, $p=0.21$). Kellaosuti stardipositsioonil leiti *type I* korduvmõõtmiste ANOVAGA väike signifikantne efekt ($F(9,45)=2.13$, $p=0.047$, ges=0.30). Kellaosuti liikumise kiiruse korduvmõõtmiste ANOVAGA leitud efekt oli signifikantne ($F(2,10)=13.02$, $p=1.64e-3$). Efekti suuna uurimiseks tehtud joonis näitas, et mida madalam oli kellaosuti kiirus, seda madalamaks muutus hinnang stiimuli algusele, olles kõige madalamal kiirusel tugevalt negatiivne (Joonis 9).

Teadvuse neurokorrelaadid

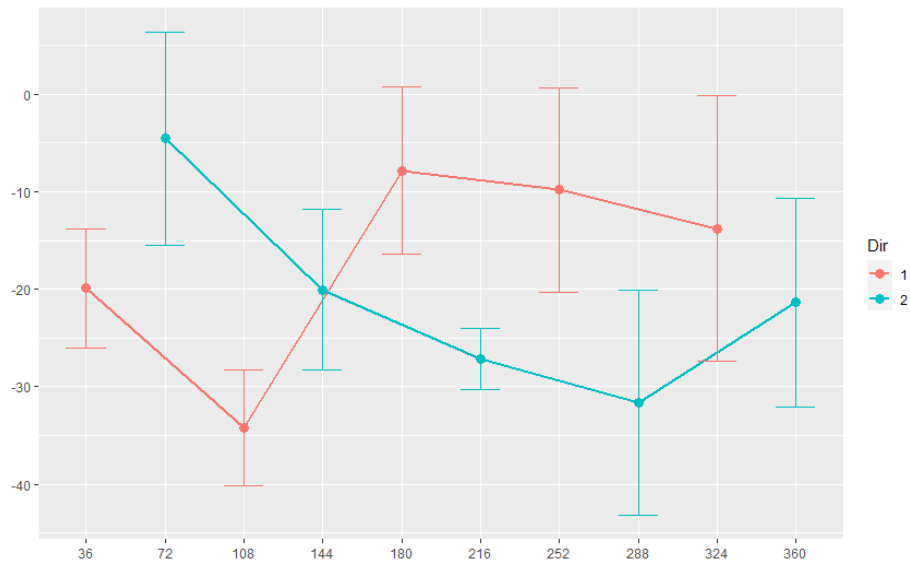


Joonis 9. Kellaosuti suuna ja liikumiskiiruse seos subjektiivse algushinnanguga (Est) ja nende vaheline interaktsioon.



Joonis 10. Kellaosuti algpositiooni mõju subjektiivsele algushinnangule.

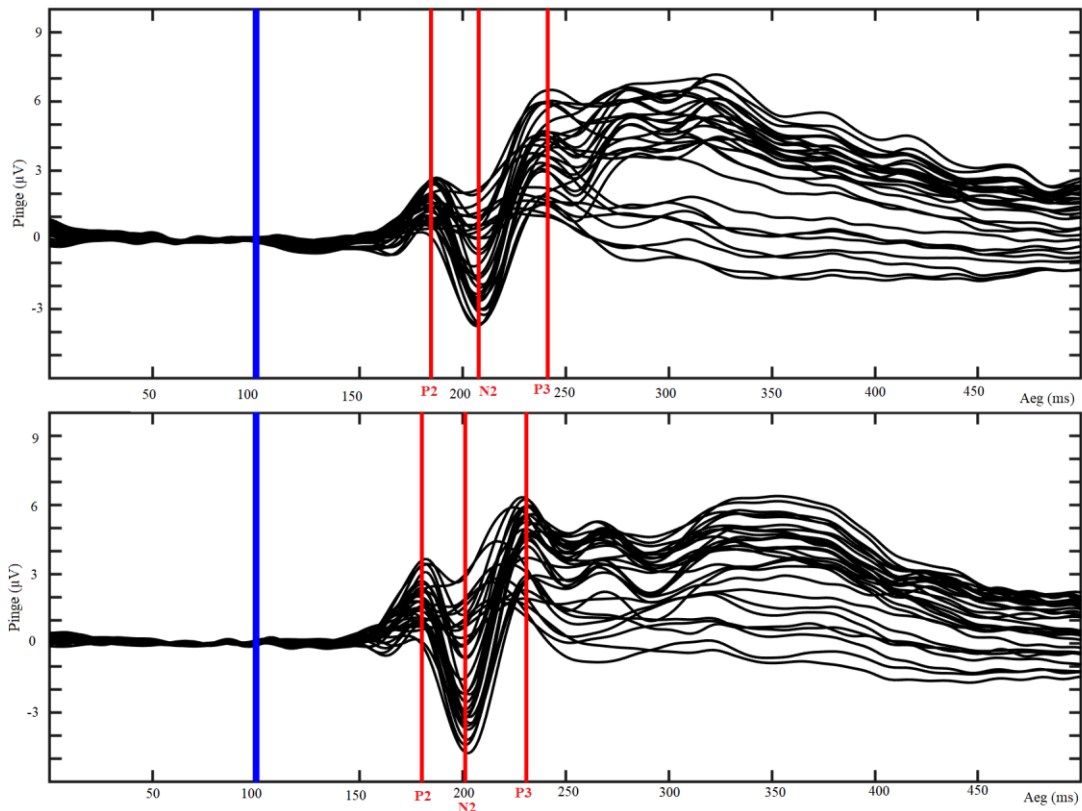
Lisaanalüüs osuti algpositiooni ja liikumissuuna vahel tõi esile asjaolu, et osuti liikumissuunad ja osuti algpositioonid ei sisaldanud kõiki võimalikke kombinatsioone, vaid ühes suunas olid algpositioonid $0+72*n$ ja teises $36+72*n$ kraadidel (Joonis 11).



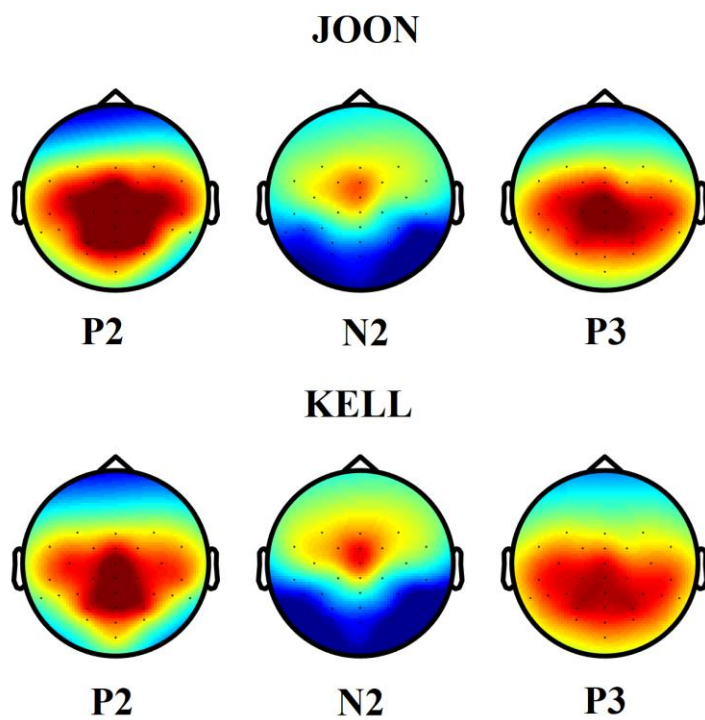
Joonis 11. Kellaosuti suuna ja algpositsiooni seos subjektiivse algushinnanguga (Est) ja nende vaheline interaktsioon.

EEG tulemused

Summerselt keskmistatud potentsiaalide komponentide analüüsimisel saadi joone ülesandes aegadeks $P2 = 170$ ms, $N2 = 216$ ms ja $P3 = 283$ ms (Joonis 12); ootuspäraselt oli P2 aktivatsioon tugevaim tsentraalsetel elektroodidel, N2 kuklapiirkonnas ning P3 klassikaliselt Pz elektroodi ümber (Joonis 13).



Joonis 12. Ülemine graafik näitab joone ülesande ja alumine kella ülesande üldkeskmistatud (*grand average*) sündmuspotentsiaale



Joonis 13. Potentsiaalide jaotuse topograafia erinevate elektroodide piirkondades summaarse (*grand average*) ERP põhjal leitud ajahetkedel.

Iga katseisiku kummagi ülesande maksimaalse erinevusega elektroodid *grand average* ajahetkedel ja nende järgi leitud isikulised ülesandepõhised suurima amplituudiga ajahetked on graafikutena näha lisas 1. Isikulisi maksimume kasutades leitud sündmuspotentsiaalide jaotused üle kõigi katseisikute on toodud lisas 2. Joone ülesande jaotustest on näha, et P2 jaotus ei ole normaaljaotuslik, kuid N2 ja P3 on võrdlemisi lähedal normaaljaotusele. Kella ülesandes joonistub välja küll kõigil võrdlemisi ilus jaotuskõver, kuid P3 on tugevalt kaldu pikemate ajahetkede poole.

Isikuliste maksimumide järgi leitud iga katsekorra sündmuspotentsiaalide P2, N2 ja P3 korrelatsioonid hinnanguga stiimuli algusele (Est) märgiti järgnevasse tabelisse (Tabel 2), kus muudeti roheliseks lahtrid, kus leiti vähemalt väga väike ($r > 0.1$) ja oluline ($p < 0.05$) seos.

Tabel 2: Korrelatsioonid sündmuspotentsiaalide ja hinnangute vahel; roheliseks värvitud ruutudes on korrelatsioonid, kus $r > 0.1$ ja $p < 0.05$; esile tõstetud on tulemused, kus $r > 0.05$ ja $p < 0.1$.

KI	JOON			KELL		
	P2 x Est	N2 x Est	P3 x Est	P2 x Est	N2 x Est	P3 x Est
	p	p	p	p	p	p
AS	0.080	-0.22	-0.052	0.075	0.053	0.010
	0.049	0.592	0.197	0.067	0.191	0.801
EMR	-0.039	0.097	0.097	0.073	-0.023	-0.012
	0.338	0.016	0.016	0.065	0.564	0.768
EY	0.058	0.259	0.073	0.111	0.121	0.043
	0.172	<0.001	0.085	0.008	0.004	0.301
MA	0.065	-0.010	-0.084	-0.024	0.036	0.057
	0.213	0.855	0.107	0.574	0.394	0.186
MS	0.228	0.231	0.217	0.003	0.059	-0.009
	<0.001	<0.001	<0.001	0.937	0.132	0.829
TM	0.069	0.088	-0.008	0.035	0.026	0.003
	0.091	0.030	0.844	0.395	0.536	0.945

Kõige tugevam seos ($r=0.25$, $p<0.001$) leiti katseisiku EY joone ülesande hinnangute ja sündmuspotentsiaali N2 vahel. Katseisikul MS olid joone ülesandes hinnangutega väikeses olulises seoses kõik kolm sündmuspotentsiaali (P2: $r=0.228$, $p<0.001$, N2: $r=0.231$, $p<0.001$, P3: $r=0.217$, $p<0.001$). Kella ülesandes leiti ainult väga väikesed olulised seosed katseisikul EY sündmuspotentsiaalidega P2 ja N2 (vastavalt $r=0.111$, $p=0.008$ ja $r=0.121$, $p=0.004$).

Tabelist nähtub tendents, et seosed subjektiivsetel hinnangutel on kas N2 (väga väikesed seoseid 4 ja väikesed 3) või isegi P2 (väga väikesed seoseid 4 ja väikesed 2) sündmuspotentsiaalidega. Seevastu P3 sündmuspotentsiaalil oli 1 väga väike ja 2 väikest seost subjektiivsete hinnangutega.

Arutelu

Tulemuste üldine seos EVM ja GNWM mudelitega

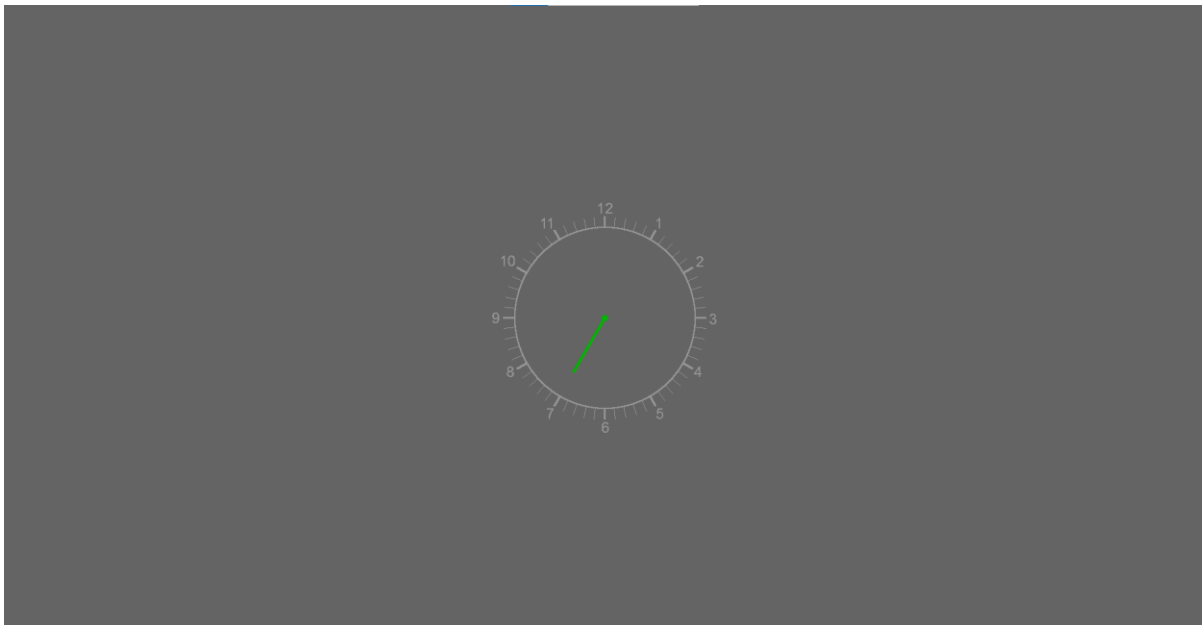
Saadud tulemused sobivad tunduvalt paremini EVM, kui GNWM mudeliga, kuna 6/7 leitud väikestest korrelatsioonidest olid seotud, kas P2 või N2 sündmuspotentsiaalidega. Samuti väga väikestest muudest seostest olid 6/7 seotud P2 või N2-ga. GNWM mudeli järgi peaksid aga seosed olema P3 sündmuspotentsiaalidega ning kõik varasemad seosed on sellega vastuolus. Võib oletada, et suurema arvu katseisikutega saaksid tulemused veelgi rohkem kinnitust.

Käitumuslikud tulemused

Kella ja joone ülesande erinevus on väga huvipakkuv, kuna võib vihjata hinnangute suurele mõjutusele ennustuslike protsesside poolt. Nendest ülesannetest on kella ülesanne intuitiivsem ja kella stiimul tuttavam, samuti on kella ülesandes vabadus ennustuslikult vastata negatiivse hinnanguga suurem, kuna hinnangu andmisel ei ole ühtki vihjet sellele, kus on minimaalne piir vastamiseks, seevastu joone ülesandes oli võrdlemisi lihtne eeldada, et joon ei alanud teistpidiselt (kuigi seda katseisikutele eraldi ei mainitud), vaid sai minimaalselt alata olematust pikkusest. Ka joone ülesandes joone algpikkuse oluline mõju hinnangule võib tuleneda tõhusamatest ennustuslikest mõjudest, kuna pikema algjoone puhul on juba ennustuslike protsessidega võimalik pakkuda negatiivseid hinnanguid (joone päris algpikkuse ja olematu joonepikkuse vahele). Seda enam on huvitavad tulemused algpikkusega 0, sest kui ennustuslikud protsessid jõuavad ebarealistlikule tulemusele, võib see nende mõju otsusele

vähendada ja valitud hinnang läheneda rohkem esialgselt kogetule. See toob ka tähelepanu alla tõsiasi, et esimesed subjektiivsed kogemused võivad olla juba tugevalt mõjutatud ennustuslikest protsessidest, mis tegelikult on kooskõlas mõlema mudeliga (EVM ja GNWM), kuna mõlemad mudelid sisaldavad nägemisstiimulite kohalikku sügavat töötlust ja erinevus on selles, kas see on piisav (EVM) või on teadvuskogemuseks vajalik ka töödeldud info laiali kandumine (GNWM) (Lamme, 2010).

Kella ülesandes leitud osuti stardipositsiooni väike oluline efekt ($F(9,45)=2.13, p=0.047, \eta^2=0.30$) võib tuleneda sellest, et erinevate liikumissuundade stardipositsioonid erinesid (ühelt samast kohast hakkas osuti alati ühele poole liikuma), seega tuleks tõlgendusi teha tugevate mõõndustega. Sellegipoolest arvame, et efekt (kui ta on ka tegelikult olemas) võiks olla kuidagi seotud kaldumisega kellaosuti tugipunktide poole, nagu täistund, veerand, pooltund ja kolmveerand või isegi erinevate kellaegade suunas (vt joonis 14).



Joonis 14. Kell osutiga – vastajad võisid kalduda vastama kindlate kellaegade poole

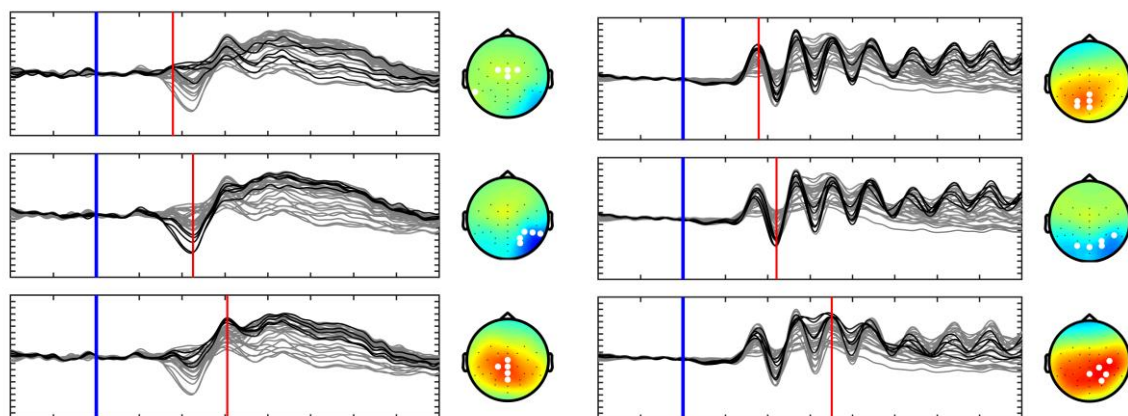
Sündmuspotentsiaalide korrelatsioonid hinnangutega

Katseisikul MS leiti joone ülesandes nõrgad olulised seosed kõigi kolme sündmuspotentsiaaliga, seega ei anna see kasulikku informatsiooni nende eristamiseks. Siiski on saadud tulemused huvitavad, kuna tõstatab küsimuse, miks on kõik sündmuspotentsiaalid nii ühtlaselt hinnanguga seotud. Käesolevas uuringus sellele jälile ei jõutud. Katseisikul EY kella ülesandes leitud väga nõrgad seosed sündmuspotentsiaalidega P2 ja N2 (vastavalt $r=0.111, p=0.008$ ja $r=0.121, p=0.004$) on sama probleemiga, et seosed on kahe sündmuspotentsiaaliga ning lisaks ka väga nõrgad, seega nende edasine uurimine ei ole

ilmselt tulus. Katseisiku EY joone ülesande N2 sündmuspotentsiaali korrelatsioon hinnanguga ($r=0.259$, $p<0.001$) on üpris tõsiseltvõetav leid, kuna hoolimata paljude korrelatsioonide otsimisel tekkiva ohust, et leitakse juhuslik „seos“, on korrelatsiooni p väärtus väga väike, seega eksliku tulemuse tõenäosus on siiski samuti väike. See tulemus kinnitab pigem EVM, kui GNWM mudelit, kuna on seotud just N2 sündmuspotentsiaaliga. Samuti toetab EVM mudelit üldine tendents leida seoseid P2 või N2 sündmuspotentsiaalidega ning nende seoste tunduvalt suurem osakaal võrreldes P3 ja subjektiivsete hinnangute vahel leitud seostega (kõigist märgitud seostest olid 12/14 P2 või N2ga ning usaldusväärsematest seostest 6/7 P2 või N2ga). Huvitav on ka P2 seoste suur hulk (6/14), mis ei ole tegelikult ka EVM ennustus, aga veel vähem GNWMi oma. Tuleks suurendada katseisikute arvu ja vaadata, kas P2 seosed jätkuvad ning P2 võib olla teadvusuuringutes liiga väikese tähelepanu osaliseks saanud.

Sündmuspotentsiaalide leidmise lisavõimalused

Meie meetodeid sündmuspotentsiaalide leidmisel saaks kindlasti täiustada. Nagu näha lisas 2 olevatelt individuaalsetelt keskmistelt sündmuspotentsiaalidelt, võib maksimaalse amplituudi meetod anda isikute vahel erinevaid tulemusi, eriti just keskmise P3 leidmisel. Näiteks EY joone ülesande P3 järgneb kohe N2le, kuid TM joone ülesande keskmine P3 on graafikult vaadates mitte N2le kohe järgnev, vaid ülejärgmine positiivne laine. Seda saaks ehk parandada, kui maksimaalse amplituudi leidmise asemel kasutada ka amplituudi suurima muutusega ajavahemike leidmist, mis välistaks selle probleemi, kuna suurim amplituudi muutus jääb suurema tõenäosusega just N2 ja P3, mitte järgnevate lainete vahele. Selliseid analüüse küll selles uuringus ei tehtud, kuid andmete edasine töötlus on võimalik.



Joonis 15. EY ja TM joone ülesandes saadud P3 võrdlus (vasakul EY ja paremal TM).

Edasised uuringud

Uuringus leitud tugevat efekti joone algpikkuse ja hinnangute vahel tuleks arvestada edasistes uuringutes, kuna vihjab ennustusprotsesside mõju muutusele olenevalt katse ülesehitusest. Samas kellaosuti liikumiskiiruse tugev efekt võib olla tingitud juhusliku vea osakaalu vähendamisest, kuna kiirena kiiruse korral osuti asetamine hinnangu andmisel tõlgendub väiksemaks muutuseks ajalisel skaalal ja nii on kiirema osuti kiiruse korral katseisikul tegelikult võimalik ajalisel skaalal teha täpsem valik. Sarnane efekt oleks võinud välja tulla ka joone ülesande puhul, aga kuna ei tulnud, siis oletame, et kõik joone liikumiskiiruse tasemed olid piisavalt kiired, et võimaldada piisav täpsustase hinnangu tegemisel, aga kella ülesande aeglased kiirused olid liiga aeglased. Ennustusprotsesse võib mõjutada ka kellaosuti algpositsioon, kuid kuna kellaosuti suund ja algpositsioon ei esinenud kõigis võimalikes kombinatsioonides on see efekt kaheldava väärtusega. Siiski viitavad need kõik asjaolule, et ennustusprotsesside roll esmase teadvuskogemuse loomisel ja suur juhusliku vea määr võivad olla suureks takistuseks hinnangute ja sündmuspotentsiaalide vaheliste seoste leidmisel. Seda eriti kui ennustusprotsesside roll esmase teadvuskogemuse loomisel on keeruka iseloomuga ja väga varieeruv. Kui ennustused mõjutaksid hinnanguid ühtlaselt, ei tohiks need suurt mõju hinnangute ja sündmuspotentsiaalide muudest teguritest lähtuvatele seostele avaldada ja tulemused oleksid selgemad, samas kui väga suur juhusliku vea osakaal on alati probleemne. Joone- ja kellaosuti ülesannete erinevus nende tulemustes võib olla seotud asjaoluga, et jooneülesande tajumiskeskond eeldab ühemõõtmelisemat analüüsi taju ja tähelepanu süsteemidelt samas kui kellaülesandes on tajukeskkond kahemõõtmeline. Viimasest tulenevalt on koormus ruumitähelepanu mehhanismide tööle suurem nii aktuaalse tähelepanu suunamise kui ka tähelepanulise ootuse (ruumifookuse eelhäälestuse) stiimuli-eelse ettevalmistamise mõttes. Sellise asjaolu mõju kontrolliks oleks edaspidi mõeldav katse, kus kellakatses oleks vaid kaks või neli stiimuli popsitsiooni ja joonekatses neli kuni kaheksa ruumis erineval kohal antud joone positsiooni. Kella ülesannet võiks kindlasti uuesti proovida keskmiselt suuremate kellaosuti liikumiskiirustega, kuna meie katses võis aeglase kiiruse puhul vastamine olla liiga väikese eristusvõimega.

Kasutatud kirjandus:

Aru, J., Bachmann, T., Singer, W., Melloni, L. (2012). Distilling the neural correlates of consciousness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 737-746.

Brainard, D. H. (1997) The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 433-436.

Dehaene, S., & Changeux, J. (2011). Experimental and Theoretical Approaches to Conscious Processing. *Neuron*, 70(2), 200-227.

Dugue, L., Marque, P., VanRullen, R. (2011). The phase of ongoing oscillations mediates the causal relation between brain excitation and visual perception. *Journal of Neuroscience.*, 31(33), 11889-11893.

Jylkkä, J., & Railo, H. (2019). Consciousness as a concrete physical phenomenon. *Consciousness and Cognition*, 74.

Kleiner M, Brainard D, Pelli D, 2007, "What's new in Psychtoolbox-3?" *Perception*, 36, ECVF Abstract Supplement.

Koch, C., Massimini, M., Boly, M. *et al.* (2016). Neural correlates of consciousness: progress and problems. *Nat Rev Neurosci* 17, 307–321.

Lamme, V. A. F. (2010) How neuroscience will change our view on consciousness. *Cognitive Neuroscience*, 1(3), 204-220.

Libet, B. (1999). Do we have free will? *Journal of Consciousness Studies*, 6(8-9), 47-57.

Orpwood, R. (2017). Information and the Origin of Qualia. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 11, 22.

Pelli, D. G. (1997) The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies, *Spatial Vision*, 10, 437-442.

Pitts, M., A., Padwal, J., Fennelly, D., Martínez, A., Hillyard, S., A. (2014). Gamma band activity and the P3 reflect post-perceptual processes, not visual awareness. *NeuroImage*, 101, 337-350.

Quiroga, R. Q., Mukamel, R., Isham, E., A., Malach, R., Fried, I. (2008). Human single-neuron responses at the threshold of conscious recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (9) 3599-3604.

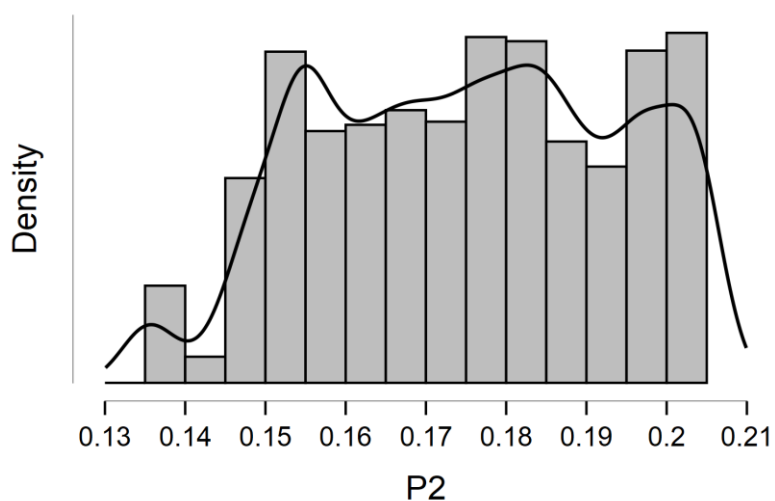
Railo, H., Revonsuo, A. & Koivisto, M. (2015). Behavioral and electrophysiological evidence for fast emergence of visual consciousness. *Neuroscience of consciousness*, 2015(1), 1-12.

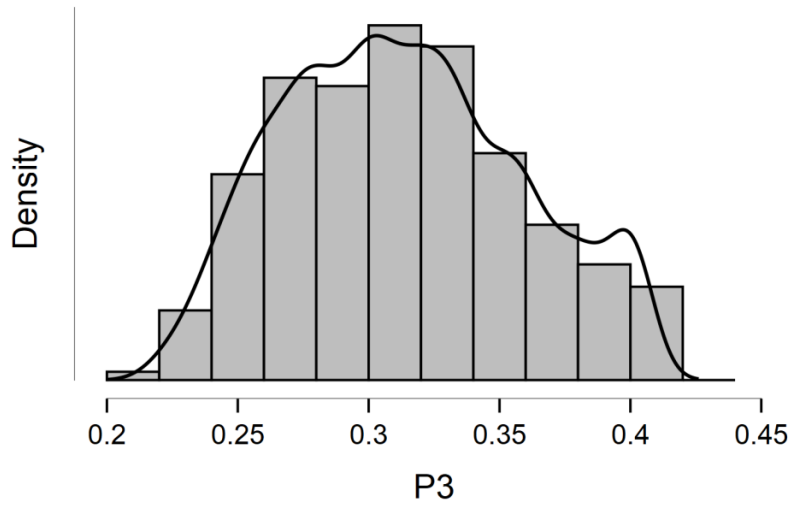
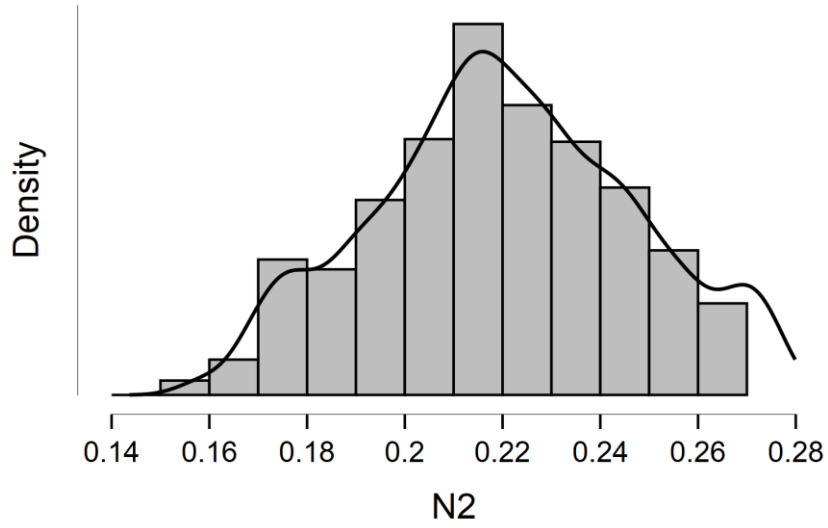
Sergent, C., Baillet, S., & Dehaene, S. (2005). Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink. *Nature Neuroscience*, 10, 1391.

Worden, M., S., Foxe, J., J., Wang, N., Simpson, G., V. (2000). Anticipatory biasing of visuospatial attention indexed by retinotopically specific alpha-band electroencephalography increases over occipital cortex. *Journal of Neuroscience*, 20(6), RC63.

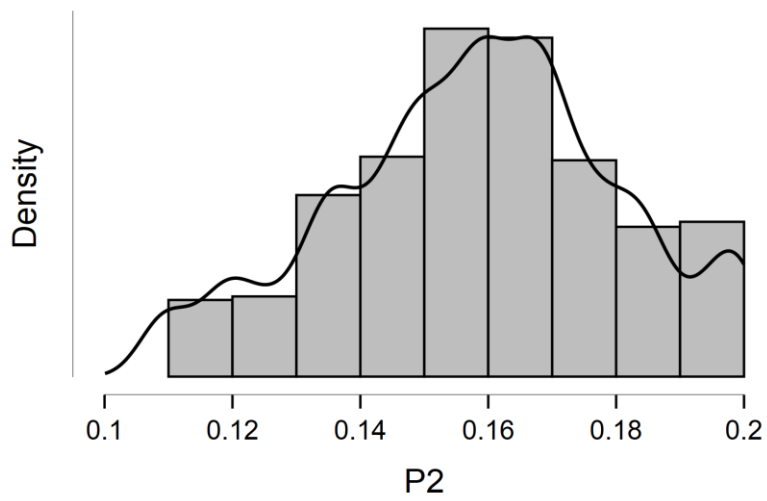
Lisa 1. Sündmuspotentsiaalide jaotused

Joon:

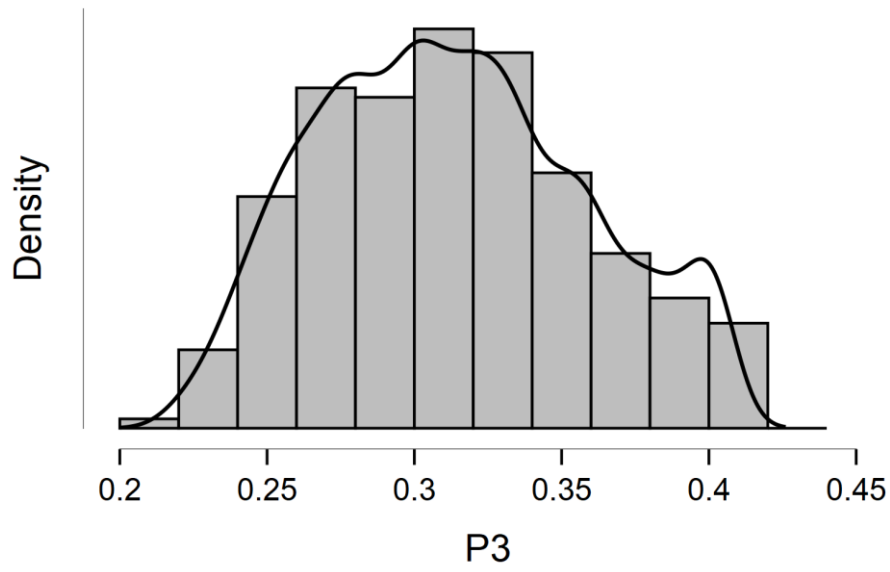
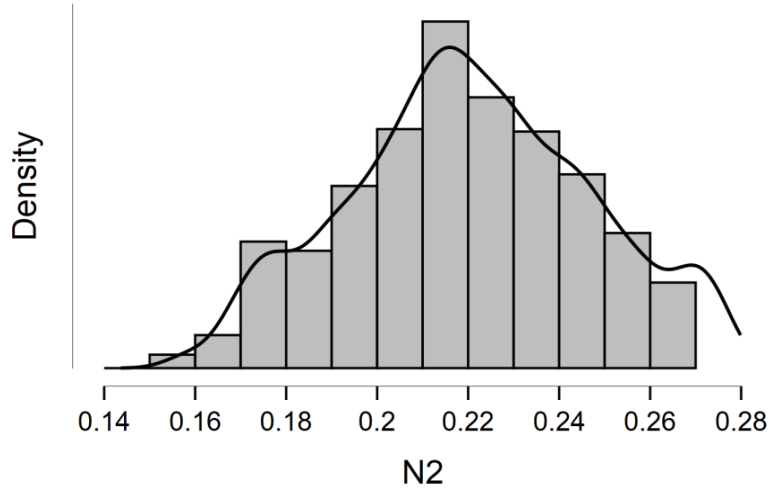


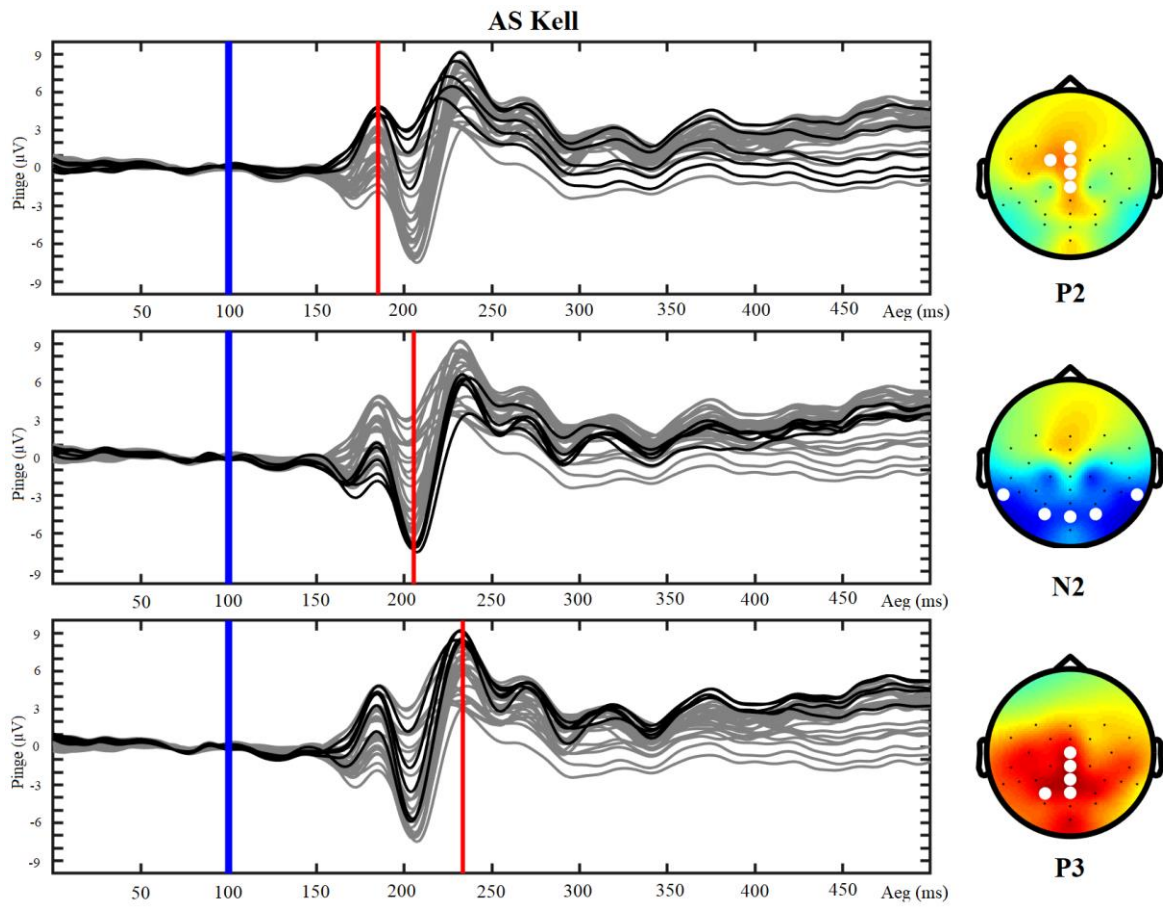


Kell:

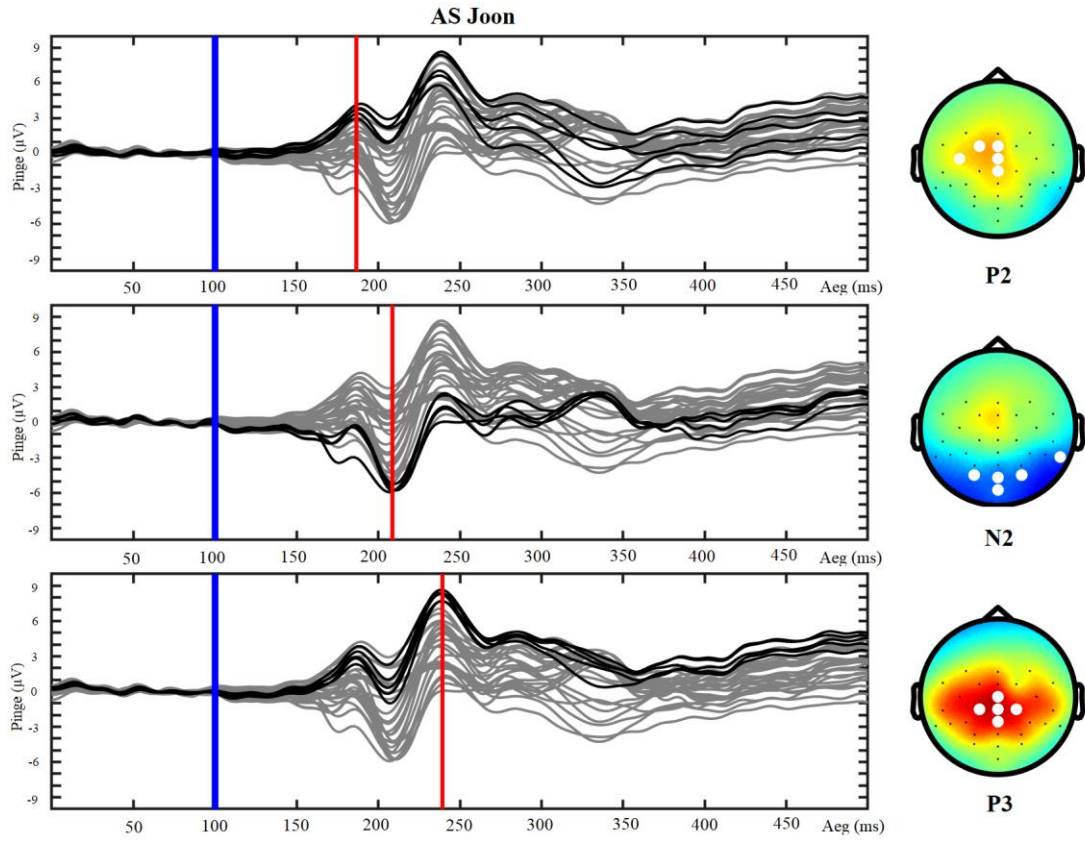


Teadvuse neurokorrealaadid



Lisa 2. Isikulise P2, N2 ja P3 leidmine AS näitel

Teadvuse neurokorrelaadid



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.

Klaus-Peeter Ladva