

TARTU ÜLIKOOL
Sotsiaalteaduste valdkond
Psühholoogia instituut

Liisa Uutsalu

**Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel: vilkumispotentsiaalide
(SSVEP) analüüs**

Uurimistöö

Juhendajad: Richard Naar, TÜ eksperimentaalpsühholoogia laborant, MSc
Andero Uusberg, Stanfordini Ülikooli järel doktorant, PhD

Läbiv pealkiri: Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

Tartu 2018

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite seisukohad, ning kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.

.....
Liisa Uutsalu

**Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel: vilkumispotentsiaalide
(SSVEP) analüüs
KOKKUVÕTE**

Käesoleva töö eesmärgiks oli kontrollida EEG vilkumispotentsiaalide (*steady-state visual evoked potentials*) rakendatavust mentaalsete representatsioonide taasaktivatsiooni ulatuse kvantifitseerimisel. Selleks viidi läbi reaktsioonija eksperimend, milles osales 39 katseisikut (18 meest, keskmine vanus 25). Osalejate ülesandeks oli võimalikult kiiresti hiireklahvi vajutusega väljendada, kas ekraanile ilmunud nool näitas paremale või vasakule. Enne noole ilmumist esitati vihje, mis andis katseisikule teada, kummale poole nool 50%, 70% või 93% tõenäosusega osutab. Selleks, et muuta stiimulite representatsioonide taasaktivatsiooni ulatus ennustusaegsest EEG sagedusmuustrist väljaloetavaks, ilmusid stiimulid vilkuvale taustale. Eeldasime, et mida suurem on vihje ennustustäpsus, seda kiiremateks kujunevad reaktsiooniajad. Antud hüpotees pidas paika. Eeldasime ka seda, et mida kõrgem on vihje ennustustäpsus, seda rohkem on ennustava stiimuli sagedusega seotud aktiivsust ennustusaegses EEG sagedusribas. Seda hüpoteesi tõestatuks lugeda ei saanud.

Märksõnad: EEG vilkumispotentsiaalid, reaktsiooniaeg, simulatsiooni teooria

Representation reactivation during prediction: a SSVEP analysis

ABSTRACT

This study examined the feasibility of using steady-state visual evoked potentials (SSVEP) to quantify mental representation reactivation during predictions. A total of 39 people participated in a reaction time experiment (18 men, mean age 25). Participants were instructed to, as fast as possible, express whether the arrow that appeared on the screen was directed to left or right. Just prior to arrow onset, a cue informed participants about the direction of the upcoming arrow with 50%, 70% and 93% probability. To make reactivated stimulus representations detectable from the EEG frequency pattern, the stimuli were presented on a flickering background. It was assumed that the greater the cue information the quicker response time will get. The result showed that the hypothesis can be considered proven. Also it was predicted that the greater the cue information, the higher the predicted stimuli frequency related activity in the prediction time EEG frequency band. This hypothesis could not be proven.

Keywords: Steady-state visual evoked potentials, reaction time, simulation theory

SISSEJUHATUS

Palju on uuritud aju võimet tegevuste käigus õppida ning teha ennustusi järgnevate tegevuste tagajärgede või oluliste keskkonna muutuste suhtes. Ajukuva meetodite rakendamine hoolikalt planeeritud katsedisainides on aidanud mõista, kuidas täpsemalt aju varasemaid kogemusi organismi ettevalmistamiseks kasutab. Lähtuvalt simulatsiooni teooriast tuleb ajul tulevaste sündmuste representeerimiseks kasutada suuresti samu ajupiirkondi, kui sündmuse enda kogemiseks. Teooriat toetavad leiud, mille kohaselt tekitab sündmuse meenutamine (Nyberg, Habib, McIntosh, & Tulving, 2000; Polyn, Natu, Cohen, & Norman, 2005) või ennustamine (Doll, Duncan, Simon, Shohamy, & Daw, 2015) selle sündmuse kogemisega sarnase ajuaktiivsuse. Siit tulenevalt tekib küsimus, kas ja mil määral on representatsiooni taasaktiivsiooni ulatus seotud ennustatava sündmuse toimumise tõenäosusega. Käesolevas töös katsetame vilkumispotentsiaalidel põhinevat meetodit (*steady-state visual evoked potential - sssvep*) taasaktiivsiooni ulatuse kvantifitseerimiseks.

Ennustused ja simulatsioonid

Aju teeb ennustusi selleks, et inimest erinevateks situatsioonideks ette valmistada (Fleischer, 2007). Ennustuste funktsioon tuleb hästi esile erinevates reaktsiooniaja eksperimentides. On leitud, et ülesande sooritusel reaktsiooniaeg lüheneb, kui oodatava stiimuli kohta on teada täiendavat infot (nt sündmuse tõenäosus) (Sommer, Ulrich, 1996). Ennustuste rolli on peetud oluliseks mitmetel informatsiooni töötlemise tasanditel (sh tajumine, motoorne ja kognitiivne kontroll, otsustamine, empaatia). Aju võime tulevase sündmuse ette näha on seega normaalse psüühika lahutamatu osa. Paraku on mitmete psüühikahäirete korral ennustamise võime häirunud. Teiste hulgas on leitud, et näiteks skisofreenia, suitsiidse depressiooni (Schacter et al., 2007), amuusia ja sünesteesia (Hubbard, 2010) puhul on ennustamise võime häirunud. Käesolevas töös kirjeldatav EEG vilkumispotentsiaalidel põhinev meetod võiks aidata veelgi täpsemalt kaardistada normaalse psüühika aluseks olevate ennustuslike protsesside toimumise seaduspärasid ning seoseid psüühikahäirete ja ennustuse vahel.

Kuidas aju ennustusi tekitab? Uurimistöös selgitame ennustustuste teket läbi simulatsiooni teooria (Hesslow, 2012). Selleks, et suudaksime mingist tuleviku sündmusest mõelda, peab aju looma sellest situatsioonist mentaalse simulatsiooni. On

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

hulganisti tõendeid, et simulatsiooni loomiseks kasutab aju paljuski samu ajupiirkondi kui sündmuse enda kogemiseks. Näiteks on teooriat ilmestanud uurimus, kus katseisikuid juhendati kujutlema või füüsiliselt sooritama käe liigutusi. Tulemused näitasid primaarsete ja sekundaarsete motoorsete ajupiirkondade kaasatust nii tegeliku liigutamise kui ka kujutlemise ajal (Hesslow, 2002). Uuringus pianistidega leiti, et pala mängimine ja mängimise ette kujutamine aktiveerivad sarnased piirkonnad frontaal- ja parietaalsagaras (Meister et al., 2004). Teooria on kooskõlas ka hiljutise uuringu tulemustega, kus näidati uuritavatele pilte (näod, tööriistad, kehaosad, loodusvaated), mille vaatamisega seotud töötlus on ajus piisavalt erinev, et see oleks funktsionaalse magnetresonantstomograafia (fMRI) meetodi abil eristatav. Saadud tulemused näitasid muuhulgas, et pildi näitamisele eelnenud ajuaktiivsus peegeldas enam selle pildiga seotud töötlust, mida katseisik arvas järgmisena nägevat (Doll et al., 2015).

Ennustuste uurimiseks on reaktsiooniaegade ja fMRI kõrval sageli kasutatud ka EEG sündmuspotentsiaale (*event-related potential*) ehk mingi sündmuse poolt esile kutsutud aju elektrilise aktiivsuse muutuseid. Üks neist on lateraliseeritud valmisolekupotentsiaal (LRP), mis on tingitud motoorse korteksi elektrilise aktiivsuse tõusust vastusena näiteks käe või jala liigutuse ettevalmistamisele. On näidatud, et valmisolekupotentsiaali amplituud kasvab koos motoorse vastuse tõenäosusega. Ootuspäraselt on sellisel juhul ka reaktsiooniajad kiiremad (Miller, 1998). Ennustuste uurimiseks on rakendatud ka stiimulieelset negatiivsust (SPN). Tegemist on aju vastusega, mis tekib enne ülesande seisukohalt informatiivse stiimuli ilmumist. Kuna tagasiside puudumisel või valetagasiside andmisel stiimulieelset negatiivsust ei teki, siis on spekuleeritud, et stiimulieelne negatiivsus sõltub tähelepanu hulgast, mis järgnevale stiimulile pööratakse (Luck, Kappenman, 2011). Sedagi teadmist on ennustuste uurimiseks kasutatud. Näiteks on demonstreeritud, et stiimulieelne negatiivsus sõltub oodatava sündmuse valentsist, kasvades enne negatiivsete, kuid mitte neutraalsete ja positiivsete piltide vaatamist (Kotani, Hiraku, Suda, & Aihara, 2001).

Ehkki nii fMRI kui EEG on pakkunud uudset informatsiooni ajus toimuvate ennustusprotsesside kohta, siis täpsemate küsimuste uurimisel tekib vajadus kõrgema eristusvõimega meetodite järele. EEG tugevuseks on kõrge ajaline lahutusvõime, mis

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

võimaldaks uurida ennustuste toimumise ajalist dünaamikat, kuid hetkel kasutatavad lähenemised (sh LRP, SPN) ei võimalda väga hästi tuvastada, millist stiimulit aju ootab. fMRI seevastu võimaldab tänu heale ruumilisele lahutusvõimele eristada ennustatavaid stiimuleid (nt tööriistad vs näod), kuid võrrelduna EEG-ga on selle meetodi miinuseks madal ajaline lahutusvõime (Vialatte, Maurice, Dauwels, Cichocki, 2010). Käesolevas töös katsetame uudset EEG vilkumispotentsiaalidel põhinevat lähenemist, mille motivatsiooniks on edestada varasemaid EEG-l baseeruvaid lähenemisi ennustuste sisu eristamisel ja fMRI-l baseeruvaid lähenemisi ajalise lahutusvõime poolest.

Vilkumispotentsiaalid

Esimest korda kirjeldati EEG vilkumispotentsiaale (SSVEP) 1934. aastal. Vilkumispotentsiaalide põhimõte seisneb selles, et vilkumise jälgimine kasvatab vilkumissagedusega seotud töötlust ajus, ning selle töötluse kasvu on võimalik sagedusega seotud amplituudi muutumise kaudu peanaha pinnalt mõõta (Norcia, Appelbaum, Ales, Cottureau & Rossion, 2015). Vilkumispotentsiaale ilmestab ka küllaltki lai kasutusala. Meetodit on võimalik rakendada nii kognitiivse ja kliinilise neuroteaduse uurimisel kui ka näiteks aju-arvuti liideste arendamisel. Paljud neist rakendustest annavad tunnistust vilkumispotentsiaalide soodsast signaali ja müra suhtest. Osaliselt tuleneb see sellest, et vilkumispotentsiaalid on vähem tundlikud silmapilgutustest või liigutustest põhjustatud artefaktide suhtes (Vialatte et al., 2010).

Vilkumispotentsiaale on kasutatud ka mentaalsete representatsioonide taasaktiveerimise uurimiseks. Käesoleva töö konteksti paigutub hästi eksperiment, kus osalejad õppisid sõnu erineva sagedusega vilkuval taustal (kokku 240 sõna). Teises katseosas lisati olemasolevatele sõnadele veel 120 ja esitati kõik sõnad juhuslikus järjekorras katseisikule, kuid sel korral esitati kõik sõnad seisval taustal. Uuringust leiti, et teises katseosas mõõdetud EEG sagedusmuster sõltus sellest, kas ja millise sagedusega taustal sõnu esimeses katseosas katseisikule esitati. Töö näitas, et kontekstuaalne taasaktiveerimine tekib väga kiiresti pärast meenutusajendi esitamist (Wimber, Maaß, Staudigl, Richardson-Klavehn, & Hanslmayr, 2012).

Uurimistöö eesmärk

Uurimistöö eesmärgiks on viia läbi reaktsioonija katse, mis võimaldaks kontrollida EEG vilkumispotentsiaalide (SSVEP) rakendatavust ennustuste uurimiseks. Seejuures kasutame teadmist, et (a) sündmuse meenutamine (Nyberg, Habib, McIntosh, & Tulving, 2000; Polyn, Natu, Cohen, & Norman, 2005) ja selle ennustamine (Doll et al., 2015) tekitab sündmuse kogemisega sarnase ajuaktiivsuse, ning et (b) vilkuvat tausta on varasemas töös edukalt kontekstuaalse taasaktivatsiooni uurimiseks kasutatud (Wimber et al., 2012). Eeldame, et mida tõenäolisemaks katseisik stiimulit peab seda enam peegeldab ootusaegne ajuaktiivsus stiimuli töötusaegset ajuaktiivsust. Käesolevas katses on osalejate ülesandeks vajutada võimalikult kiiresti ekraanil näidatud noole suunale vastavat klahvi. Enne noole ilmumist antakse ka abistav vihje, mille täpsust varieeritakse kolmel tasemel. Seda kui tõenäoliseks katseisik tulevast stiimulit peab manipuleeritakse seega vihje ennustatavuse kaudu.

Uurimushüpootees 1: Mida suurem on vihje ennustatavus, seda kiiremad on katseisikute reaktsiooniajad.

Uurimushüpootees 2: Mida suurem on vihje ennustatavus, seda rohkem on ennustatava stiimuli sagedusega seotud aktiivsust ennustusaegses EEG sagedusribas.

MEETOD

Valim

Uuritavateks oli 39 (18 meest, keskmine vanus 25, SD=5,5) normaalse või korrigeeritud nägemisega täisealist katseisikut. Katsesse kaasasime ainult need soovijad, kellel ei olnud diagnoositud migreeni ja ei esinenud sagedaid peavalusid. Katseisikutena välistasime ka kõik need soovijad, kelle lähisugulaste hulgas (vanemad, õed-vennad) oli esinenud epilepsiat. Osalemine oli vabatahtlik ning katseisikud teadsid, et ka katse ajal on neil võimalik loobuda ja eksperiment pooleli jätta. Uurimistöö on kooskõlastatud Tartu Ülikooli Inimuuringute eetika komiteega.

Katset reklaamisime erinevate tudengiorganisatsioonide meililistide ja sotsiaalmeedia (facebook.com) kaudu. Katsest huvitunutel tuli kõigepealt täita taustaküsimustik (lisa 1). Küsimustik võimaldas enne katseaja registreerimist välistada need katseisikud, kellel katses kasutatavad vilkumised võivad negatiivseid kõrvalmõjusid tekitada. Eelselekteerimine oli vajalik, sest vilkumised võivad esile kutsuda epilepsia hoo fotosensitiivse epilepsia korral (Harding, Wilkins, Erba, Barkley, & Fisher, 2005) ja migreeni hoo teatud tüüpi migreeni korral. Kokku jäi eelküsimustiku täitmise järel välja 18 soovijat. Katsesse sobivad katseisikud juhatasime edasi *Doodle*'i keskkonda, kus katseisikul oli võimalus valida meelepärane aeg katses osalemiseks. Üks päev enne katse algust saatsime osalejale meeldetuletava e-kirja ning sellega koos tutvumiseks ka katses osalemise nõusolekulehe.

Selleks, et motiveerida inimesi katses osalema, loosisime osalenute vahel välja kolm 20eurost raamatupoe kinkekaarti. Soovi korral jagasime katses osalenutele ka katsepunkte. Katse lõppedes palusime vastata kahele lisaküsimusele, mis võimaldasid hinnata kui häirivalt katses kasutatavad vilkumised katseisikutele tundusid ning saada tagasisidet katse üldise väsitavuse kohta. Visuaal-analoog skaalal esitatud küsimused olid järgnevad: *Kui häirivalt katses kasutatud vilkumised mõjusid?* 0 – üldse mitte häirivalt, 100 – väga häirivalt ning kui väsitav eksperiment tundus (*Kui väsitav katse oli?* 0 – üldse mitte väsitav, 100 – väga väsitav). Vastuse sai fikseerida klõpsates hiireklahviga skaala vastavale osale. Antud vastustest selgus, et keskmiselt hindasid

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

katseisikud eksperimendis kasutatud vilkumisi pigem vähem häirivaks (38,8; SD =29,4) ja keskmiselt väsitavaks (46,4; SD = 25,5).

Protseduur

Katsed viisime läbi individuaalselt. Eelnevalt informeerisime katseisikuid eksperimendi erinevatest nüanssidest ning kohale tulles palusime allkirjastada katses osalemise nõusolekulehe. Eksperimendi ettevalmistusfaasis palusime katseisikutel mobiiltelefonid ja muud elektroonikaseadmed katseruumist välja jätta. Katse toimus elektriliselt varjestatud ruumis, kus katseisik viibis üksinda. Katseisiku seadsime istuma umbes meetri kaugusele arvutiekraanist, seejuures reguleerides tooli kõrgust selliselt, et silmade kõrgus oleks ekraani keskel. Katseisikul palusime istuda liikumatult ning hoida arvutihirt peopesas. Selgitasime katseisikutele, et liigutamine võib tekitada EEG mõõtmisesse soovimatut müra ning paluti võimalusel suuremad liigutused (nt vee joomine) ajastada pausidele.

Aju elektrilise aktiivsuse mõõtmiseks kasutasime BioSemi elektroentsefalograafist (EEG) süsteemi (mõõtmisagedusega 512 Hz). Seejuures kasutasime 32 põhielektroodi ning kuut lisaelektroodi, mis kinnitati näonahale ja kõrvalestadele. Katse lõppedes oli osalejale võimalus oma kogemusest rääkida ja anda tagasisidet. Seejärel pakkusime osalejale võimaluse juukseid pesta ning allkirjastasime vajadusel punktilehe.

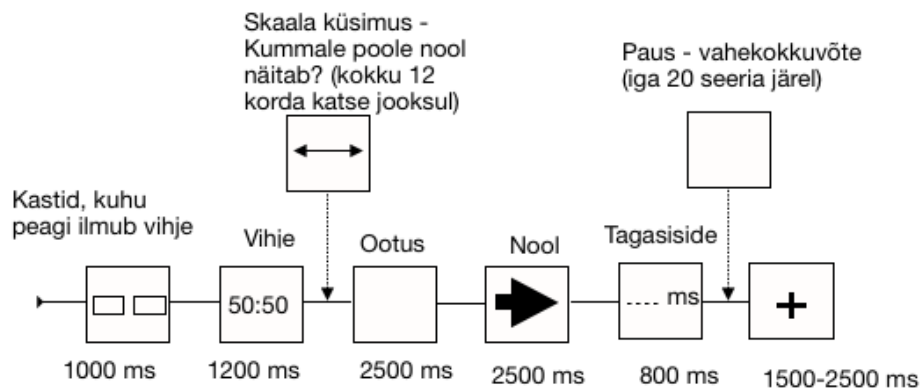
Katsed toimusid 2017. aasta oktoobris ja novembris. Need toimusid hommikust õhtuni (9:00-17:00), seejuures arvestasime ühe katseisiku kohta ajakuluks kaks tundi (sh katse ettevalmistamine, EEG vahendite pesemine jne). Katsed toimusid Tartu Ülikooli Eksperimentaalpsühholoogia laboris (Ravila 14a).

Katse ülesehitus

Hüpotheside testimiseks kasutasime reaktsiooniaja ülesannet, milles katseisik pidi hiireklahvi vajutusega väljendama, kas nool näitab vasakule või paremale. Joonisel 1 on kujutatud katse seeria. Nooled ilmusid ühtlaselt vilkuvale taustale (vastavalt 9,375 Hz ja 12,5 Hz). Vilkumiste vastavust soovitud sagedustele kontrolliti fotomeetriga.

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

Stiimulid esitati 14" LCD monitorile (75 Hz). Kõik stiimulid esitati MATLAB-is (The MathWorks, Inc.), kasutades psychophysics toolbox -i.



Joonis 1. Joonis kirjeldab eksperimendi ühte seeriat. Enamik seeriatest koosnes joonisel alumisel real toodud sündmustest. Üksikutel seeriatel lisandus protseduuri ka skaala küsimus ning paus. Katset tutvustavat videolõiku on võimalik vaadata siit: <https://youtu.be/pFGb5NIORjs>.

Enne noole ilmumist nägi katseisik vihjet, mis andis talle teada, kummale poole nool 50%, 70% või 93% tõenäosusega osutab. Selleks, et teada, kas katseisik vihjeid ka teadlikult jälgis, küsiti katse jooksul kõikidel prooviseeriatel ning juhuslikult veel kaheteistkümnelt korral (neli korda igal vihje tasemel) selle kohta küsimus visuaalsel analoogskaalal (VAS). Iga paarikümne seeria järel oli paus, mida kasutasime ühtlasi ka vahekokkuvõtte tegemiseks ning tagasiside edastamiseks. Pausi ajal ilmus ekraanile vahekokkuvõtte katseisiku keskmise reaktsiooniaja ja vigade arvu kohta.

Instrueerisime katseisikuid vajutama vasaku pöidlaga vasakule klahvile ning parema pöidlaga paremale klahvile. Selle eesmärgiks oli mõõta ka ennustusaegseid lateraalseid valmisolekupotentsiaale, kuid neid andmeid selles töös ei analüüsita. Kokku oli eksperimendis 186 seeriat, millest kuus prooviseeriad.

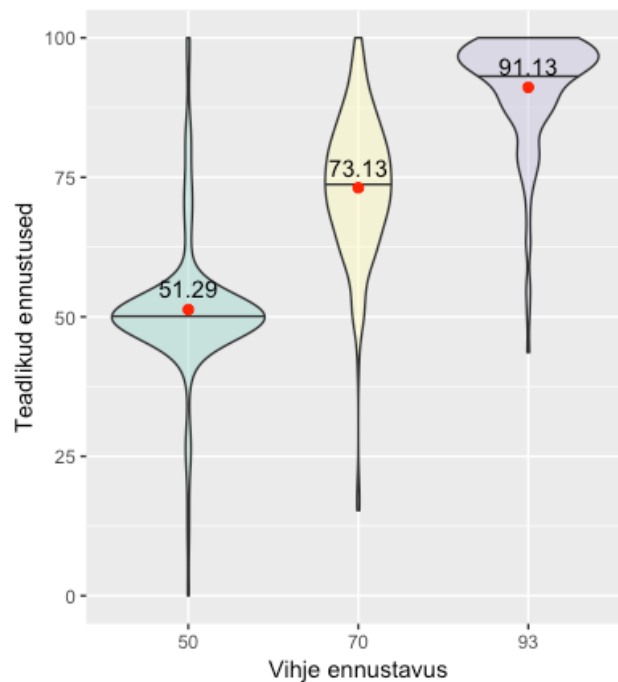
Andmetöötlus

Andmetöötluseks kasutasime vabavaralist statistikapaketti R ja Rstudio (R Core Team, 2016). Andmete analüüsimisel ning visualiseerimisel olid kasutusel erinevad paketid. Korduvmõõtmiste ANOVA viisime läbi *ez* paketti kasutades (Lawrence, 2016). Friedmani testi ning vastava Friedmani post-hoc testimisel kasutasime pakette *lme4* (Bates, Maechler, Bolker, walker, 2015) ning *lmerTest* (Kuznetsova, Brockhoff, Christensen, 2017). Andmete visualiseerimiseks paketti *ggplot2* (Wickham, 2009). EEG andmete töötlemiseks, puhastamiseks ja sagedusanalüüside teostamiseks kohandasime EEG andmete töötlemiseks mõeldud EEGLAB-i funktsioone (Delorme & Makeig, 2004). Mürarikaste ja siledate kanalite, madalasageduslike triivide ning lühiajaliste suuremate kõrvalekallete eemaldamiseks kasutasime funktsiooni *clean_rawdata* (Mullen et al., 2015). Lähtudes mõõtmiseks kasutatud kanalite arvust, seadsime minimaalseks kanalitevaheliseks korrelatsiooniks 0,6. Ülejäänud puhastuslogaritmi vaikesätteid me ei muutnud. Selleks, et analüüse teostada, jaotasime andmed seeria alguse suhtes uuritavateks ajaakendeks (-1500 ms enne ja kuni 6000 ms pärast seeria algust). Mürarikaste seeriade väljajätmiseks kasutasime funktsiooni *pop_eegthresh* äralõike kriteeriumiga +/- 100 μ V stiimulieelse amplituudi suhtes. Sagedusanalüüsiks kasutasime funktsiooni *newtimef* (Makeig, 1993). Sagedusega seotud võimsusanalüüsi tegime stiimulite sageduste ümber paiknevas ühe herts laiusega sagedusaknas (9,375 ja 12,5 Hz, +/- 0,5 Hz).

TULEMUSED

Teadlikud ennustused

Uurisime, kas katseisik pöörab teadlikult tähelepanu ekraanil esitatud vihjele. Selleks esitati pärast vihjet ekraanile küsimus: *Kummale poole nool järgmisena näitab? 0 - kindlasti vasakule, 100 - kindlasti paremale*. Vasaku ja parema käe vastuste analüüsimise võimaldamiseks tuli vastused viia ühele skaalale. Selleks lahutasime vasaku käe vastused sajast. Väärtused olid nüüd võrreldavad ning sai teha korduvmõõtmiste ANOVA. Teadlikud ennustused sõltusid vihje täpsusest ($F(2, 76)=346,7, p<0,01, ges=0,80$).



Joonis 2. Subjektiiivsete hinnangute tihedusjaotus. Mida laiem on kujundi osa, seda rohkem on hinnanguid selles piirkonnas. Punane täpp tähistab iga vihje tasemele vastavat keskmist hinnangut. Täpi kohal on toodud keskmise arvuline väärtus.

Selleks, et teada millised tingimused täpselt üksteisest erinesid, tuli teha paariviisiline t-test, kus kasutasime ka *bonferroni* korrigeerimist. Test näitas statistilist olulisust ($p < 0,01$) kõikide tingimuste vahel (50% vs 70%, 50% vs 93% ning 70% vs 93%). Joonisel 2 on näha, et 50% ja 90% vihje täpsuse korral vastati skaala küsimusele vihjega sarnasemalt ning 70% tingimusel anti mõnevõrra hajusamaid vastuseid.

Vastamistäpsus

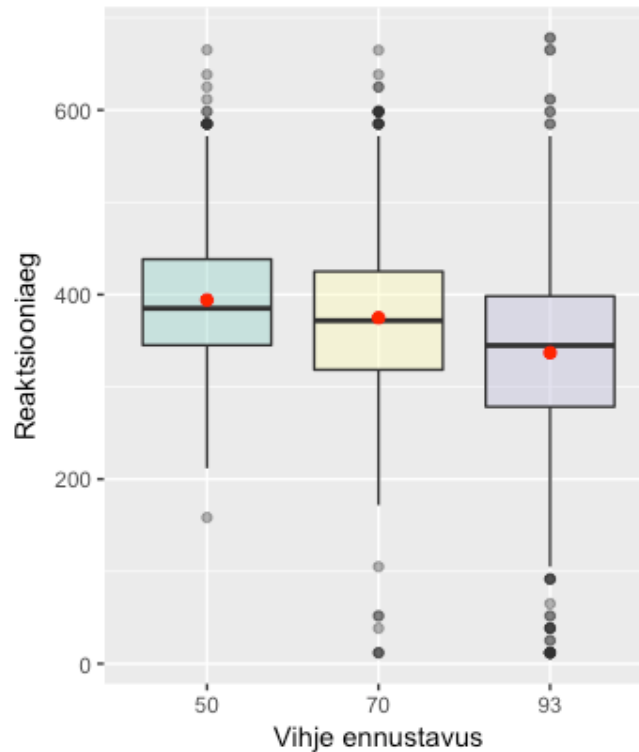
Järgnevalt analüüsisime eksperimendis antud õigeid ja valesid vastuseid. Analüüs on vajalik, sest aitab mõista katseisikute käitumist eksperimendis – kas jälgiti esitatud noole suunda ning vajutati ka vastavat õiget klahvi. Tulemustest selgus, et ebatäpsete vastuste osakaal kõikidest tulemustest oli 8,4%. Tingimustel, kus vihje täpsus oli 50%, oli valede vastuste osakaal 9%. Tingimuses, kus vihje täpsus oli 70%, oli valede vastuste osakaal 11% ning 90% vihje täpsuse puhul valesid vastuseid 4%. Uurisime vastuse korrigeerimise ja vihje täpsuse vahelist seost Friedmani testiga. Selgus, et nende tunnuste vahel on statistiliselt oluline seos ($\chi^2 = 38,96$, $df = 2$, $p < 0,01$). Et näha, milliste gruppide vahel oluline erinevus on, tegime ka vastava Friedmani post-hoc testi. Tulemused näitasid, et 50% tingimuses tehti küll mõnevõrra vähem vigu kui

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

70% tingimuses, kuid see erinevus ei osutunud statistiliselt oluliseks ($p=0,07$). Ülejäänud tingimuste vahelised võrdlused (50% vs 93% ja 70% vs 93%) olid statistiliselt olulised ($p<0,01$). Siit võib järeldada, et katseisikute vastused sõltusid vihje täpsusest.

Reaktsiooniajad

Eelnevates analüüsides nägime, et katseisikud pöörasid vihjele teadlikult tähelepanu ja et vihje täpsus mõjutas katseisikute vastamistäpsust. Järgnevalt võtsime vaatluse alla küsimuse, kas ka katseisikute keskmised reaktsiooniajad sõltusid vihje täpsusest. Hälbivate reaktsiooniaegade väljajätmiseks rakendasime Tukey kriteeriumit. Välja jäid reaktsiooniajad, mis olid esimesest või kolmandast kvartiilist enam kui 1,5 kvartiilvahemiku kaugusel. Kriteeriumi kohaldasime igale katseisikule eraldi ja selle tulemusena jäi välja 3% andmetest. Reaktsiooniaegade keskmiste võrdlemine näitas, et vihje täpsuse kasvades reaktsiooniajad kahanesid ($RT_{50\%} = 394,1$ ms (SD = 62,7); $RT_{70\%} = 375,25$ ms (SD = 74,4); $RT_{93\%} = 341,5$ ms (SD = 82,6). Seda, kas antud tulemus võis selliseks kujuneda juhuslikult, kontrollisime Friedmani testiga, sest ANOVA sfäärilisuse eeldus ei olnud täidetud. Antud testi tulemus andis hii-ruutstatistiku väärtuseks 65,59, mis osutus ka statistiliselt oluliseks ($p<0,01$). Seega võib õigeks lugeda alternatiivse hüpoteesi - gruppide vahel on statistiliselt olulised erinevused. Tulemusi illustreerib Joonis 3, kus on näha, et reaktsiooniajad kahanevad vihje täpsuse kasvades. Järgnevalt uurisime millised täpsuse tasemed omavahel statistiliselt erinevad. Vastav Friedmani post-hoc test näitas statistilist olulist erinevust kõigi tingimuste vahel ($p<0,01$).



Joonis 3. Vihje ennustavuse mõju reaktsiooniajale. Karbi alumine serv tähistab esimest kvartiili (0,25 kvantiil), horisontaalne joon tähistab mediaani (0,50 kvantiil) ja karbi ülemine serv on kolmas kvantiil (0,75 kvantiil). Punane täpp tähistab iga vihje tasemele vastavat keskmist reaktsiooniaega. Haarade pikkused on saadud kvartiilivahemiku (3. kvantiil – 1. kvantiil) korrutamisel 1,5-ga ning haaradest väljajäävad punktid on erindid. Kui samale väärtusele vastab mitu erindit, on punktid tumedamad.

EEG andmete analüüs

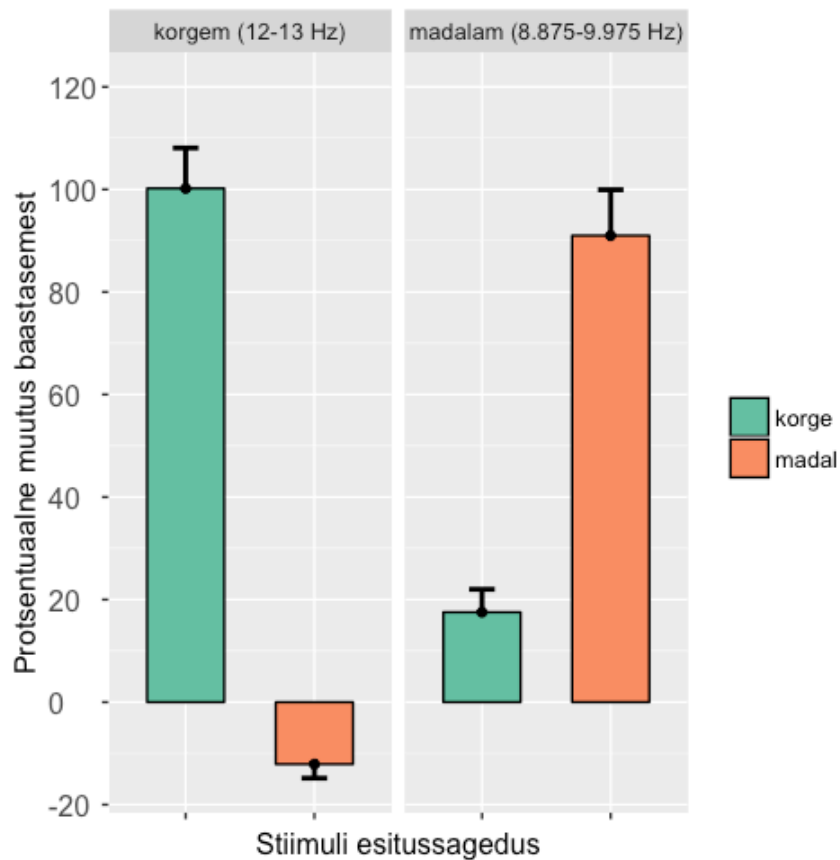
EEG andmete puhul analüüsisime esmalt, kas stiimuli vilkumissagedus peegeldus samal ajal mõõdetud EEG signaalis. Selleks tuli uurida sagedusega seotud võimsuse muutust stiimuli jälgimise ajal. Vilkumiste mõju vaatlemine toimus kahes sagedusvahemikus (12-13 Hz ning 8,875-9,975 Hz). Stiimuliaegne analüüs tehti ajaaknas 500 – 2500 ms pärast stiimuli esitust. Analüüsi aluseks kujunes paljude uurimustega analoogselt kuklapiirkonna keskjoonele paigutatud EEG elektrood Oz, sest on leitud, et sarnastel sagedustel on selles elektroodis aju vastus vilkumisele kõige suurem (Wieser, Miskovic, & Keil, 2016), (Cohen, X Michael & Culbinaite, Rasa, 2017).

Ootuspärane oleks, et vilkumine tekitab suurema võimsuse vilkumisele vastavas sagedusvahemikus. Teiste sõnadega peaks 12,5 Hz vilkumise jälgimine tekitama suurema võimsuse sagedusvahemikus 12-13 Hz kui 8,874-9,975 Hz ning vastupidi

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

9,375 Hz puhul. Statistiliselt näeme selle paikapidavust vilkumissageduse ja sagedusvahemiku vahelisest interaktsioonist.

Sarnaselt reaktsiooniaegade analüüsile rakendasime ka siin hälbivate väärtuste eemaldamiseks katseisikute sisest Tukey kriteeriumit. Korduvmõõtmiste ANOVA analüüs näitas ootuspäraselt, et vilkumise esitussageduse ja analüüsitud sagedusvahemiku interaktsioon on statistiliselt oluline ($F(1, 38)=35,5$, $p<0,01$, $ges=0,22$). Statistiliselt oluliseks osutus ka stiimuli vilkumise esitussageduse peamõju ($F(1, 38)=4,36$ $p<0,05$ $ges=0,01$). Sagedusvahemiku peamõju ei olnud statistiliselt oluline ($F(1, 38)=0,63$, $p>0,05$, $ges=0,003$).



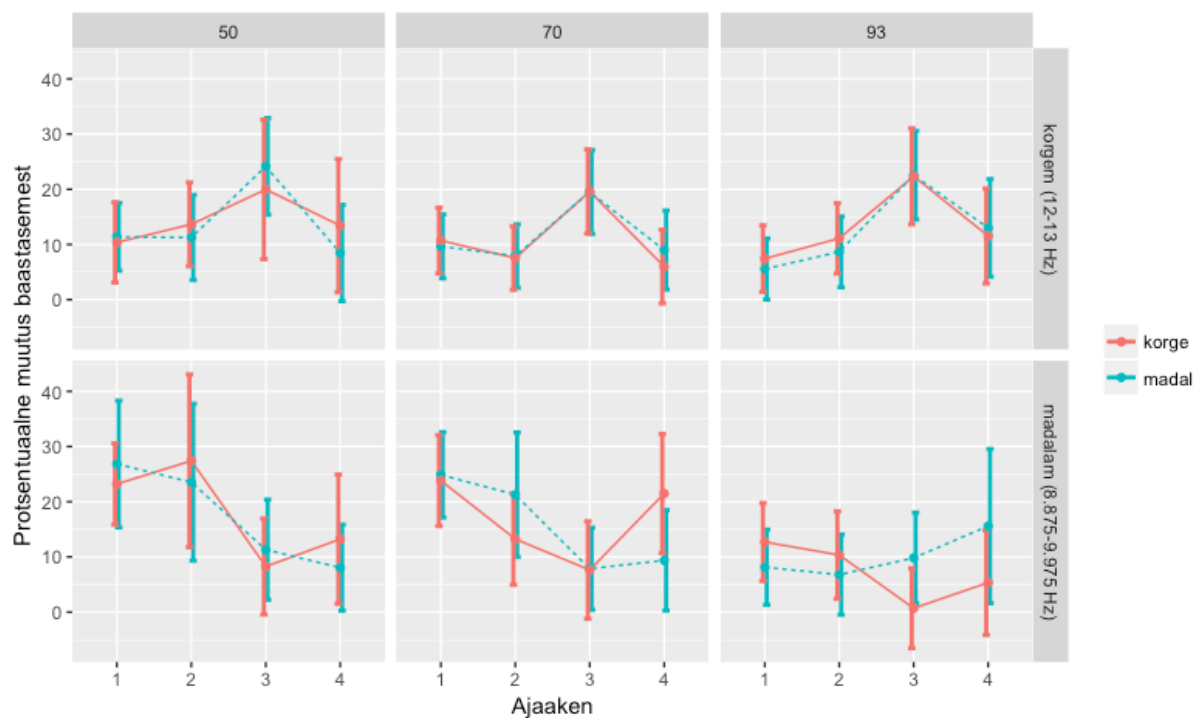
Joonis 4. Sagedusega seotud võimsuse muutus vilkuva stiimuli jälgimise ajal kahes sagedusvahemikus (12-13 Hz ja 8,875-9,975 Hz). Värviga on tähistatud kumba vilkumist katseisik parasjagu vaatab (roheline – 12,5 Hz ja oranž – 9,375 Hz).

Jooniselt 4 on näha, et kiirema vilkumise vaatamisel suurenes võimsus kõrgemas sagedusvahemikus märgatavalt rohkem kui madalas sagedusvahemikus. Aeglasema vilkumise vaatamisel suurenes aga võimsus enam madalas sagedusvahemikus. Paariviisiline t-test näitas, et need võrdlused on statistiliselt olulised ($p<0,01$). Aju

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

vastus kiiremini vilkuvale stiimulile kõrgemas sagedusvahemikus ei erinenud statistiliselt oluliselt aju vastusest aeglasemale vilkumisele madalamas sagedusvahemikus ($p > 0,05$; ülejäänud võrdluste korral $p < 0,01$). Teiste sõnadega oli mõlema vilkumise mõju statistiliselt oluline ning baastasemega võrreldes sarnase suurusega.

Järgnevalt uurisime käesoleva töö põhiküsimust – kas on tõene, et mida suurem on vihje ennustustäpsus, seda rohkem on ennustatava stiimuli sagedusega seotud aktiivsust ennustusaegses EEG signaalis. Analüüsid teostati 3,7 s kestusega analüüsiaknas, mis jäi vihje ja esitatud vilkumise vahele (vt. Joonis 1). Analüüsides jäid välja seeriad, mille ooteperioodil küsiti katseisikute subjektiivseid hinnanguid. Pärast nende ja mürarikaste seeriade väljajätmist jäi alles 87% seeriatest. Ajaaken jaotati neljaks võrdseks osaks (925 ms). Küsimuse uurimiseks tehti korduvmõõtmiste ANOVA. Tulemusi näeb vastaval graafikul:

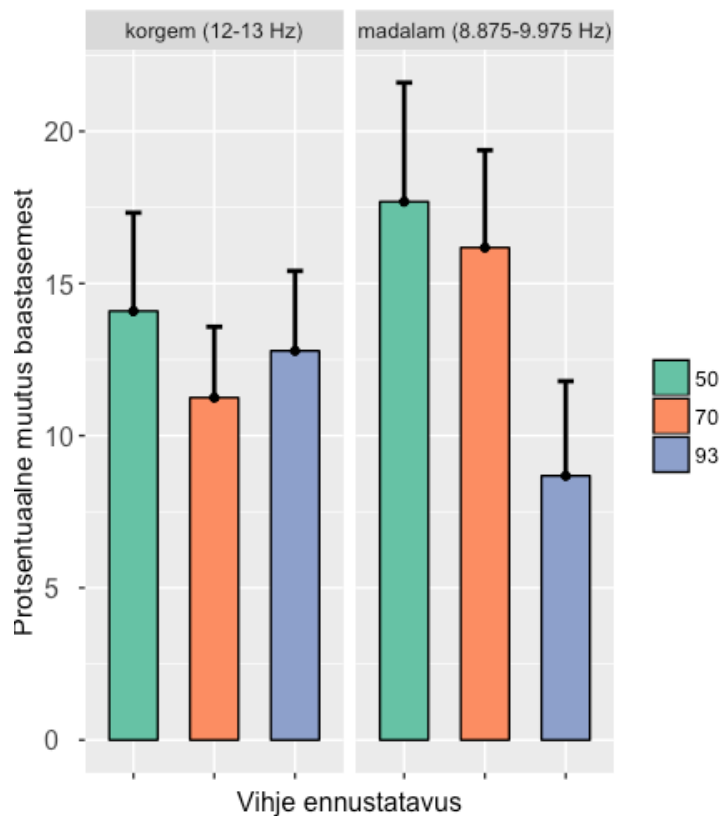


Joonis 5. Joonisel on kujutatud sagedusega seotud võimsuse protsentuaalne muutus neljas ajaaknas enne stiimuli esitust. Veergude pealkirjad tähistavad vihje ennustustäpsust (50%, 70% ja 93 %). Ülemises reas on toodud kõrgemale ja alumises reas madalamale sagedusvahemikule vastavad tulemused. Punane joon tähistab olukorda kui katseisik ootas kõrge sagedusega koos esinevat sündmust ja sinine katkendlik joon olukorda kui katseisik ootas madala sagedusega koos esinevat sündmust.

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

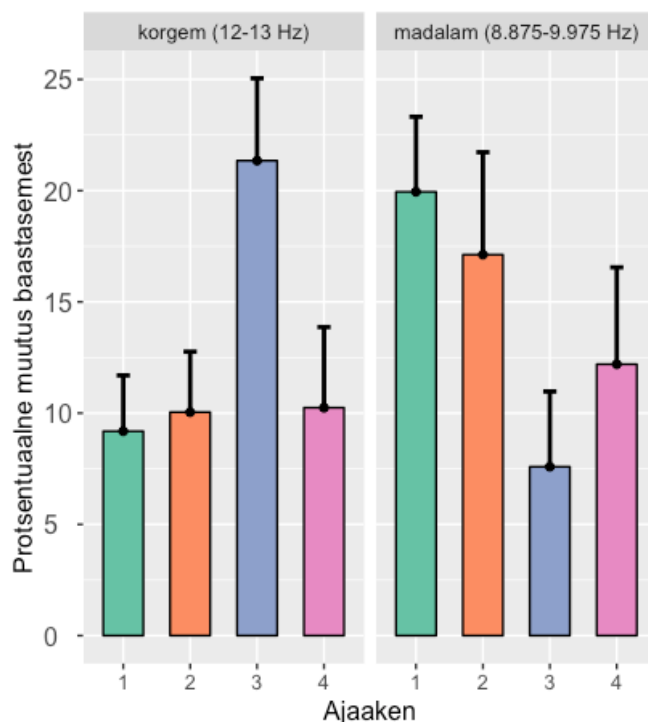
Jooniselt 5 on näha, et tulemused ei toeta püstitatud hüpoteesi – vihje täpsuse suurenedes ei kasvanud ennustatava stiimuli sagedusega seotud aktiivsus ennustusaegses EEG signaalis. Manipulatsioonide toimimise korral oleksime täheldanud sagedusvahemiku, vihje suuna ning vihje täpsuse vahelist interaktsiooni. Joonisel 5 oleks sellisel juhul näiteks kõrgema sagedusvahemiku korral olnud punane joon sinisest kõrgemal ning seda eriti 93% vihje täpsuse korral. Praegu asetsevad jooned küllaltki paralleelselt. Sellist tulemust näitas ka korduvmõõtmiste ANOVA - statistiline oluline erinevus tunnuste vahel puudub ($F(2, 76)=0,32$, $p>0,05$, $ges=0,000166$). Samuti, kui ennustamisest tingitud taasaktivatsioon oleks sõltunud ka analüüsiaknast, siis oleksime näinud vihje täpsuse, vihje suuna, sagedusvahemiku ning analüüsiakna vahelist interaktsiooni – seda ANOVA ei näidanud ($F(6, 228)=1,7$, $p>0,05$, $ges=0,00126$). Erinevad tunnused eraldi vaadatuna ei mõjutanud aju vastuseid – statistiline oluline erinevus peamõjudes puudus.

Statistiliselt oluline interaktsioon avaldus sagedusvahemiku ning vihje täpsuse vahel ($F(2, 76)=3,2$, $p<0,05$, $ges=0,0021$) ning sagedusvahemiku ja ajaakna vahel ($F(3,114)=5,5$, $p<0,05$, $ges=0,012$). Interaktsioonide selgitamiseks rakendasime paariviisilist t-testi ning seejuures ka *bonferroni* korrigeerimist.



Joonis 6. Sagedusega seotud võimsuse muutus kahes sagedusvahemikus (12-13 Hz ja 8,875-9,975 Hz). Värviga on tähistatud erinevad vihje täpsused (roheline-50%, oranž-70% ning sinine-93%).

Joonisel 6 on näha, et kõrgemas sagedusvahemikus on võimsuse muutus eri vihje täpsuste puhul küllaltki juhuslik. Paariviisiline t-test kinnitas seda - keskmine võimsuse kasv kõrgemas sagedusvahemikus ei sõltunud vihje täpsusest ($p > 0,05$). Madalamas sagedusvahemikus selgus statistiline oluline erinevus 93% vihje täpsuse ning sama vahemiku 70% ja 50% vihje täpsuse vahel ($p < 0,05$). Keskmine võimsuse kasv kummaski sagedusvahemikus oli sarnane ja sagedusvahemike võrdlusel ei ilmnenud statistiliselt olulist erinevust ka ühegi tingimuse vahel ($p > 0,05$).



Joonis 7. Sagedusega seotud võimsuse muutus neljas ajaaknas ja kahes sagedusvahemikus (12-13 Hz ja 8,875-9,975 Hz). Värviga on tähistatud erinevad ajaaknad.

Jooniselt 7 näeb kõrge sagedusvahemiku puhul suuremat võimsuse tõusu kolmandas ajaaknas. Tulemust kinnitab ka paariviisiline t-test – kõrgema sagedusvahemiku kolmanda ajaakna ning teiste ajaakende vahelised seosed on statistiliselt olulised ($p < 0,01$). Statistiliselt oluline on ka madala sagedusvahemiku kolmanda ajaakna erinevus madala sagedusvahemiku esimese ja teise ajaaknaga ($p < 0,01$), aga mitte sama sagedusvahemiku neljanda ajaaknaga ($p > 0,05$). Statistiliselt oluline erinevus

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

selgus ka madala sagedusvahemiku kolmanda ning kõrge sagedusvahemiku kolmanda ajaaknaga ($p < 0,01$). Samuti oli statistiline oluline erinevus ka madala sagedusvahemiku esimese ajaakna ning kõrge sagedusvahemiku esimese, teise ning neljanda ajaakna ($p < 0,05$), kuid mitte kolmanda ajaakna vahel ($p > 0,05$).

ARUTELU

Käesoleva töö eesmärgiks oli kontrollida vilkumispotentsiaalide rakendatavust representatsioonide taasaktiivsiooni ulatuse kvantifitseerimisel. Teadaolevalt on tegemist esimese lähenemisega, mille eesmärgiks on hinnata tõenäosuse varieerimise ja EEG vilkumispotentsiaalide kaudu ennustava stiimuli sagedusega seotud aktiivsust stiimulile eelnevas ootusfaasis. Võimalikku nähtust uuriti reaktsioonija eksperimendis, kus osales 39 katseisikut. Ühtlasi analüüsiti ka katses antud teadlikke ennustusi, õigeid ja valesid vastuseid, reaktsiooniaegu ning nende seoseid vihje ennustustäpsusega. Katsega taheti näidata, et vihje ennustustäpsuse ja villkuva noole koosinemise tõenäosus on proportsioonis ennustatava stiimuli sageduse avaldumisega vastavas EEG sagedusribas. Sellise tulemuse saavutamine oleks andnud võimaluse kasutada ennustuste ja taasaktiivsiooni vahelisi seoseid afektiivses ja kognitiivses neuroteaduses. Kuigi katseisikute vihje ennustustäpsusest sõltuvatele reaktsiooniaegadele tuginedes võib väita, et katses esitatud vihjeid kasutati tulevaste sündmuste ennustamiseks, siis oodatud taasaktiivsiooni see ei tekitanud. Seega leidis kinnitust esimene, kuid mitte teine uurimishüpotees.

Sellise tulemuse saavutamisel võis olla mitmeid põhjuseid. Käesolevas töös lähtusime simulatsiooni teooria teoreetilisest raamistikust, mille kohaselt tekitab aju tuleviku sündmuse peale mõeldes sellest sündmusest mentaalse simulatsiooni. Võimalik, et selliselt ei kandunud simulatsiooni teooria käesoleva töö konteksti üle. Katseisikute ülesandeks oli võimalikult kiiresti reageerida ekraanile ilmunud noolele, arvestades seejuures eelnevalt antud vihjet. Hetkel ei ole teada, mis on ennustusest tingitud taasaktiivsiooni tekkimise minimaalsed eeldused. On võimalik, et taasaktiveeritakse ainult tulevase stiimuli motivatsiooniliselt olulisi tunnuseid. Erinevalt meie eksperimendist oli varasemas sarnases töös, kus taasaktiivsiooni demonstreeriti ennustuste sisu motivatsiooniliselt oluline – ülesande sooritusele võis järgneda rahaline preemia (Doll, Duncan, Simon, Shohamy, & Daw, 2015). Siit tulenevalt võib mõelda ka käesoleva katse ülesehituse peale ning sarnaselt piltide nägemise katsele muuta ennustuste sisu motivatsiooniliselt oluliseks.

Eksperimendis võtsime aluseks teadmise, et taasaktiivsus tekib väga kiiresti pärast meenutusajandi esitamist. Seda tõestati ühes hiljutises töös, kus leiti, et kontekstuaalne taasaktiivsus võib olla täiesti automaatne ja teadvustamatu

(Wimber et al., 2016). Antud eksperimendi esimeses osas nägid katseisikud 120 sõna vilkuval taustal ning teises osas esitati nähtud sõnadele lisaks veel 120 uut sõna. Teises katseosas mõõdetud EEG sagedusmuster sõltus sellest, kas ja millise sagedusega taustal sõnu esimeses katseosas katseisikule näidati. Käesolevas töös uurisime meenutamise asemel taasaktiivsiooni hoopis ennustamise kontekstis. Kuigi varasemad uuringud on näidanud, et meenutamise ja ennustamise aluseks olevate baasmehhanismide vahel on sarnasusi (Addis, Wong, & Schacter, 2007; Schacter, Addis, & Buckner, 2007), siis ei ole täpselt teada, kui kaugele need sarnasused ulatuvad. Küsimust on uuritud ka fMRI töödes, kus on leitud, et nii ühetaoliste stiimulite meenutamine (Polyn, 2005) kui ka ennustamine (Doll, Duncan, Simon, Shohamy, & Daw, 2015) tekitasid stiimuli enda töötlemisega sarnase taasaktiivsiooni. Kuna varasemalt on mõlemas kontekstis taasaktiivsiooni nähtud, siis on ka võimalik, et meie mõõteaparatuur ei olnud piisavalt tundlik selle signaali ajast väljalugemiseks.

Üheks põhjuseks, miks tulemused selliseks kujunesid, võib olla ka katseisikute käitumine eksperimendis. Võis juhtuda, et kui osalejad õppisid katses kehtivaid seoseid, jätsid nad visuaalse stiimuli vahele ning õppisid seostama vihjet motoorse vastusega, mille nad andma pidid. Meie eelduseks oli, et piisavalt tõenäoline vihje käivitab ennustuse ilmuvast noolest. Katseisikutel paluti alati parema noole peale ka paremat klahvi vajutada, mispärast võis tema aju luua otsetee, andes käsu: “Vihje paremale – aktiveeri parem käsi!”. Võimalik on, et antud otsetee muutis visuaalse ennustuse veidi vähem oluliseks ning seeläbi vähem võimsaks.

EEG analüüsis võeti vaatluse alla vaid üks (Oz) elektrood, kuna varasemalt on analoogsetest uuringutest leitud, et sarnastel sagedustel on Oz elektroodis aju vastus vilkumisele kõige suurem (Wieser, Miskovic, & Keil, 2016), (Cohen, X Michael & Culbinaite, Rasa, 2017). Käesoleva töö kontekstis ei õnnestunud Oz elektroodi põhjal teist hüpoteesi tõestada. Probleemi edasiseks uurimiseks tuleks kaaluda analüüsis signaali-müra suhte parandamist. Üheks lahenduseks oleks stimulatsiooniaegse ajuvastuse põhjal maski loomine. Loodav mask peaks andma igale elektroodile erineva kaalu. Enne analüüside teostamist korrutatakse ennustamisaegne aju vastus läbi saadud maskiga. Nii oleks võimalik kasutada kõikidest elektroodidest pärinevat signaali. Lähenedamine võimaldaks kohaldada maski igale katseisikule eraldi, mis

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

aitaks omakorda vähendada katseisikute individuaalsetest erinevustest või elektroodide paigutusest tingitud soovimatut müra. Katsetused lähenemise käesolevatele andmetele kohaldamiseks juba käivad. Hiljuti on näidatud, et selline lähenemine võib signaali ja müra suhet mitmekordistada (Cohen, X Michael & Culbinaite, Rasa, 2017).

EEG andmete analüüsist selgus, et ajuaktiivsus kindlas sagedusvahemikus (kõrgemas või madalamas) ei osutunud eeldustele vastavaks. Ootasime, et ennustatava stiimuliga seotud sageduse töötlus ootusperioodil kasvab koos vihje ennustustäpsuse kasvuga. Omamoodi huvitavaks leiuks kujunes mõnel juhul saadud vastupidine tulemus – tõenäosuse suurenedes vähenes ajuaktiivsus vastavas sagedusvahemikus (vt joonis 6). Varasemates uuringutes on sellist nähtust seletatud alfa ja tähelepanu vahelise seose abil. Alfa on aju loomulik elektriline aktiivsus vahemikus 7,5-12 Hz (Klimesch, 1999). Uuringus selgitatakse, et alfa on ajus leiduva pidurduse korrelaat ning tähelepanu seisneb nii oluliste mõjutajate võimendamises kui ka ebaoluliste pidurdamises. Sellest järeldub, et tähelepanu suurenemisega peaks kaasnema ka pidurdamise vähenemine, mida on võimalik näha alfa võimsuse vähenemise ehk desünkronisatsioonina. Kui katseisik ei tea kummale poole nool näitab (vihje ennustustäpsus 50%), siis on ka tema tähelepanul raske hakata ennetavalt fokuseeruma ühe või teise noole representatsioonile – seega on alfat palju. Kui katseisik aga teab, kummale poole nool näitab (vihje ennustustäpsus 93%), siis muutub ka tema tähelepanu fookus, mis omakorda ilmneb alfa vähenemises.

Uurimistöös ei õnnestunud püstitatud hüpoteesi tõestada, kuid õnnestus koguda informatsiooni järgnevateks analoogseteks töödeks. Tõestasime, et katses esitatud vihjeid kasutati tulevaste sündmuste ennustamiseks, kuid see ei tekitanud oodatud taasaktiivsiooni ilmnenemist EEG signaalis. Küsimust tasub edasi uurida ning vaadata, kas aktiivsiooni on võimalik esile kutsuda, kui muuta ennustuste sisu motivatsiooniliselt oluliseks ning kui luua stimulatsiooniaegse ajuvastuse põhjal mask, mis võimaldaks lugeda signaali kõikidelt elektroodidelt.

Tänuõnad

Soovin tänada oma juhendajaid Richard Naari ning Andero Uusbergi uurimistöö juhendamise ning igakülgse toetuse ja abi eest. Samuti tänan kõiki katses osalejaid nende panuse eest.

Kasutatud kirjandus:

- Addis, D. R., Wong, A. T., & Scharter, D. L. (2006). Remembering the past and imagining the future: Common and distinct neural substrates during event construction and elaboration. *Neuropsychologia*, *45*.
doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.016
- Anthony M. Norcia, L. Gregory Appelbaum, Justin M. Ales, Benoit R. Cottareau, & Bruno Rossion. (2015, May 5). The steady-state visual evoked potential in vision research A review.pdf. Retrieved February 23, 2018, from
<https://www.dropbox.com/h>
- Cohen, X Michael, & Culbinaite, Rasa. (2017). Rhythmic entrainment source separation: Optimizing analyses of neural responses to rhythmic sensory stimulation. *NeuroImage*, *147*, 43–56.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.11.036>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, *134*(1), 9–21.
- Doll, B. B., Duncan, K. D., Simon, D. A., Shohamy, D., & Daw, N. D. (2015). Model-based choices involve prospective neural activity. *Nature Neuroscience*, *18*(5), 767–772. <https://doi.org/10.1038/nn.3981>
- Harding, G., Wilkins, A. J., Erba, G., Barkley, G. L., & Fisher, R. S. (2005). Photic- and Pattern-induced Seizures: Expert Consensus of the Epilepsy Foundation of America Working Group. *Epilepsia*, *46*(9), 1423–1425.
- Hesslow, G. (2002). Conscious thought as simulation of behaviour and perception. *TRENDS in Cognitive Sciences*, *6*(6), 242–247.
[http://dx.doi.org.ezproxy.utlib.ut.ee/10.1016/S1364-6613\(02\)01913-7](http://dx.doi.org.ezproxy.utlib.ut.ee/10.1016/S1364-6613(02)01913-7)

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

Hesslow, G. (2012). The current status of the simulation theory of cognition.

Brainresearch. doi:10.1016/j.brainres.2011.06.026

Klimesch, Wolfgang. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2–3), 169–195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)

Kotani, Y., Hiraku, S., Suda, K., & Aihara, Y. (2001). Effect of positive and negative emotion on stimulus-preceding negativity prior to feedback stimuli.

Psychophysiology, 38(6), 873–878. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3860873>

Mullen, T. R., Kothe, C. A. E., Chi, M., Ojeda, A., Kerth, T., Makeig, S., ...

Cauwenberghs, G. (2015). Real-time Neuroimaging and Cognitive Monitoring Using Wearable Dry EEG. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 62(11), 2553–2567. <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2481482>

Nyberg, L., Habib, R., McIntosh, A. R., & Tulving, E. (2000). Reactivation of encoding-related brain activity during memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(20), 11120–11124.

Polyn, S. M. (2005). Category-Specific Cortical Activity Precedes Retrieval During Memory Search. *Science*, 310(5756), 1963–

1966. <https://doi.org/10.1126/science.1117645>

RPackages - R Packages Search and Statistics. (n.d.). Retrieved May 5, 2018, from

<https://www.rpackages.io>

Schacter, D. L., Addis, D. R., & Buckner, R. L. (2007). Remembering the past to imagine the future: the prospective brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(9),

657–661. <https://doi.org/10.1038/nrn2213>

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

Vialatte, F.-B., Maurice, M., Dauwels, J., & Cichocki, A. (2010). Steady-state visually evoked potentials: Focus on essential paradigms and future perspectives. *Progress in Neurobiology*, *90*(4), 418–438.
<https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2009.11.005>

Wieser, M. J., Miskovic, V., & Keil, A. (2016). Steady-state visual evoked potentials as a research tool in social affective neuroscience. *Psychophysiology*, *53*(12), 1763–1775. <https://doi.org/10.1111/psyp.12768>

Wimber, M., Maaß, A., Staudigl, T., Richardson-Klavehn, A., & Hanslmayr, S. (2012). Rapid Memory Reactivation Revealed by Oscillatory Entrainment. *Current Biology*, *22*(16), 1482–1486.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.05.054>

Representatsioonide taasaktiveerumine ennustamisel

Lisa 1

Katsesse registreerumine (SSVEP 2017)

Küsimustiku täitmise järel juhatatakse teid lingile, mille tagant saate valida endale katsesse tulekuks sobiva aja.

* Required

ees- ja perekonnanimi *

Your answer

e-posti aadress *

Sellele aadressile saadame katsesse registreerumise kinnituse ja muu katsega seotud info

Your answer

telefon *

Helistame vaid juhul, kui tekib viimase hetke muudatusi või kui jätate katsesse ette teatamata tulemata

Your answer

vanus *

Your answer

sugu *

Kas Sul on kunagi diagnoositud mõnda neuroloogilist seisundit, nagu näiteks epilepsia, krambid, insult, ajuverejooks? *

Jah

Ei

Kas Sul on kunagi diagnoositud mõnda psühhiaatrilist seisundit, nagu ärevushäire, depressioon, alkoholism? *

Jah

Ei

Kas Sul on tihti suuri peavalusid (või diagnoositud migreen)? *

Jah

Ei

Kas Sinu lähisugulaste hulgas (vanemad, õed-vennad) on esinenud epilepsiat? *

Jah

Ei

Kas Sa võtad hetkel retseptiravimeid? *

Jah

Ei