

Tartu Ülikool  
Psühholoogia Instituut

Kristel Uibo

**KÕRG- JA MADALSAGEDUSLIKE PILTIDE  
TAJUKORRELAADID, MÕÕDETUNA EEG-GA**

Magistritöö

Juhendaja: Talis Bachmann, PhD

Kaasjuhendaja: Renate Rutiku, Psych Diploma

Läbiv pealkiri: Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

Tartu 2013

### **Kokkuvõte**

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uurida kujutiste kõrgetele ruumilistele sagedusele ja madalatele ruumilistele sagedustele tugineva teadvustamise dünaamikat ajas. Selleks esitati katseisikutele kahest erineva kategooria kujutisest koosnevat hübriidpilti, kusjuures üks kujutis sisaldas kõrgsageduslikku ja teine kujutis madalsageduslikku informatsiooni. Katseisiku ülesandeks oli vastata, millist kategooriat ta nägi. Samal ajal kui katseisikud ülesannet lahendasid, mõõdeti nende ajutegevust EEG abil.

EEG-signaali generaatorite topograafias olid erinevused hübriidpiltide madal- ja kõrgsageduslike kujutiste teadvustamise võrdlemisel ajalõigus 124-143 ms pärast hübriidpildi esitamist. EEG-aktiivsuse topograafiad erinevate kategooriate võrdlustes olid erinevad ajavahemikes 170 – 341 ms pärast hübriidpildi esitamist. Antud tulemuste põhjal võib oletada, et 124-143 ms pärast hübriidpildi esitamist on kriitiline ajahetk visuaalses töötuses, mil otsustub, kas teadvustatakse kõrg- või madalsageduslikku kujutist. Sellele protsessile järgnevad kategooriaspetsiifilised efektid.

### **Abstract**

#### **SENSORY CORRELATES OF HIGH AND LOW FREQUENCY IMAGES, MEASURED WITH EEG**

The purpose of this thesis was to study the dynamics of high spatial frequency (HSF) and the low spatial frequency (LSF) -based image perception in time. The participants (N=12) were shown hybrid pictures of two different categories – one in LSF and the other in HSF resolution -- and instructed to identify the category they experienced. During the task, participant's brain activity was recorded with electroencephalography (EEG). The topographic analysis of EEG responses indicated that there are differences between perceiving the low and high frequency hybrid images, emerging 124 to 143 ms after the stimulus presentation. The topographic differences of EEG activity in distinguishing between different categories (indoor/landscape, indoor/city and landscape/city) emerged 170 to 341 ms after stimulus presentation. Based on the results, it appears that 124-143 ms post stimulus is a critical time period for visual processing, when either LSF or HSF image is emphasized to be preferentially processed/perceived. This process is followed by specific category effects.

## Sissejuhatus

Nähtavate objektide äratundmine ja teadvustamine tugineb nende objektide visuaalsetele tunnustele. Osa nendest tunnustest on lihtsad, mida töödeldakse aju visuaalse süsteemi madalamatel tasemetel, osa aga keerulisemad ja neid töödeldakse kõrgematel aju tasemetel (Enns, 2004). Niinimetatud lihtsate tunnuste hulka kuuluvad heledus, värvus, joonte ja servade kaldenurk, heledusmuutuste ruumiline sagedus (spatial frequency, SF). Niinimetatud kõrgema taseme tunnused on objekti kuju, vorm, lihtsate tunnuste kombineeritud tervikud (nt sinitriibulise särgi kujutis kombineerib värvuse, triipude sageduse, kalde, särgi kontuuri kuju) kui kõrgema taseme tunnused. Ühte ja sama objekti võib paljudel juhtudel ära tunda selle objekti üsna erinevate tunnuste põhjal – nii eristades mingit ühte või teist iseloomulikku tunnust kui ka tuginedes tunnuste kombinatsioonile. Näiteks sebra äratundmisel ja eristamisel teiste loomade hulgast võivad nägemissüsteemile abiks olla nii tume-heledad triibud („võre“ triipudest), iseloomulik pea ja kõrvade kuju kui ka kogu keha tervikkuju. Oluliseks tunnuseks on ka objekti kujutise elementide omavaheline paigutus ehk elementide konfiguratsioon. Tähelepanuväärne on nägemissüsteemi võime ära määrata mingi objekti tüüpiline konfiguratsioon sõltumata sellest, kas seda kannavad detailsed, peenekoelised signaalid (mis tugineb kõrge ruumilise sageduse eristamisele, HSF) või jämedakoelised signaalid (mis tugineb madala ruumilise sageduse eristamisele, LSF) (Harmon & Julesz, 1973; Morrison & Schyns, 2001; Sinha, 2002). On teada, et inimene tunneb hästi ära mingi isiku näo nii siis, kui see on joonistatud peene pliiatsi abil üksnes teravaid jooni kasutades kui ka siis, kui selle isiku näost on „udusevõitu“ pooltoonfoto, milles peendetaile pole, kuid üldkonfiguratsioon on säilinud ja seda on kinnitanud ka ülalviidatud teaduslikud uurimused. Tavaliselt on objekti kujutises esindatud nii HSF kui ka LSF informatsioon korraga, kombineeritult. On huvitav teada, millele eelkõige, millises järjekorras ja mil moel sõltuvalt tingimustest nägemissüsteem neid erinevaid kujutise tasemeid töötleb ning teadvustada aitab.

Eksperimentaalpsühholoogia ajaloos on kogunenud üsna palju töid, mis on pühendatud HSF ja LSF infotöötlemise uurimisele (Breitmeyer, 1984; Bachmann, 2000). Paljud katseandmed lubavad oletada, et reeglina on eristavad reageeringud kiiremad jämedakoeliste tunnustele (LSF) kui peenekoeliste tunnustele (HSF). Kui varasemates töödes kasutati sageli lihtsaid kujutisi nagu LSF- ja HSF-võred, siis viimastel aastakümnetel on asutud uurima rohkem ka keerulisemate ja tavaelus ettetulevate nii LSF kui ka HSF tunnuseid korraga sisaldavate loomulike objektide ja stseenide taju. Näiteks keskendusid „madal-kõrgsageduslikule“

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

analüüsile Schyns ja Oliva (1994, 1997) ning Parker, Lishman, ja Hughes (1992). Oluliseks uueks eksperimentaalseks võtteks sai nn „hübriidsete“ stiimulite kasutamine. Tavalise objekti äratundmist uurides on raske välja selgitada, kui kiiresti ja millises järjekorras HSF ja LSF informatsiooni töödeldakse ja äratundmiseks kasutatakse, sest selle objekti tunnuseid kannab nii HSF kui ka LSF informatsioon ja raske on kindlaks teha, millele just nägemissüsteem tugines. „Hübriidsete“ stiimulite puhul on aga see probleem ületatav. Sellised stiimulid koosnevad kahest teineteise peale asetatud (kombineeritud) kujutisest, mis kuuluvad erinevatesse kategooriatesse ja on esitatud erineva SF diapsoonis (näiteks kiirteestseen LSF-is, millele on asetatud linnastseen HSF-is). Schyns ja Oliva (1994) näitasid, et LSF informatsioon domineerib tajus lühikese esitussageduse korral (30 ms) ja HSF informatsioon domineerib pika esitussageduse korral (150 ms). Seega tundub nägemissüsteemile loomupärasem tajupildi mikrogeneesis liikuda enne jämedakoelisemate tunnuste esitamisele ja seejärel asuda peenekoelise info töötlemisele.

Lisaks psühhofüüsikaliste töötlusreeglite tundmaõppimisele on oluline teada ka seda, kuidas, millal ja millises aju piirkonnas toimub madala ja kõrge ruumilise sagedusega informatsiooni visuaalne töötlemine ja kombineerimine (Riesenhuber & Poggio, 1999; Biederman, 1995). Praeguseks on visuaalse taju ülalt-alla mehhanismide töö dünaamikat süstemaatiliselt uuritud visuaalsete stseenide äratundmisel, kus on eelistatud järeldada LtH töötlusjärgnevust (Bar jt, 2001; Bullier, 2001; Hupe jt. 2001; Rotshtein, Vuilleumier, Winston, Driver, & Dolan, 2007).

Töötlemisjärgnevust on palju uurinud Bar (2003 ja 2006) oma magnetoentsefalograafia ja fMRI uuringutes, kus on demonstreeritud, et LSF informatsiooni analüüsitakse kõigepealt prefrontaalsetel aladel, millele järgneb alt-üles analüüs temporaalses ajukoos (Bar jt., 2006). Need tulemused on kooskõlas ideega ülalt-alla tüüpi töötlusmehhanismist, mis saab alguse prefrontaalses ajukoos.

Oluline küsimus on, kuidas nägemissüsteem suudab kiirelt organiseerida üle terve nägemisvälja laiali olevat informatsiooni, et teha võimalikuks stseeni koostisosadeks olevate valitud objektide detailsem uurimine ja täpne tuvastamine. Samas on visuaalse äratundmise teooriates leitud, et ruumiline sagedus (SF) mängib rolli visuaalsete sisendite töötlemise ajalises hierarhias (Hegde, 2008; Bar, 2003; Bullier, 2001). See tähendab, et visuaalne analüüs võib alata erinevate elementaarsete kujutise tunnuste paralleelse väljaeraldamisega erinevatel ruumilistel sagedustel. Seejuures domineerib „hõredalt-tihedale“, st madalalt

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

kõrgele ruumilisele sagedusele töötlemine (Bullier, 2001). LSF-tunnused aktiveerivad kiiremini dorsaalseid juhteteid (parietaalne ja frontaalne ajupiirkond), kui HSF-tunnused aktiveerivad ventraalsesse (inferotemporaalsesse) juhteteid. Seega toimub visuaalse sisendi tajuanalüüs enne lõpliku objekti äratundmist, millele eelnev madalsageduslik visuaalne analüüs võib tegeleda HSF töötamise täpsustamisega (Bullier, 2001). Tegemist võib olla omalaadse hüpoteeside testimisega: LSF vahendatud kiire teave on aluseks objektihüpoteesile ning selle abil kontrollitakse hüpoteesi paikapidavust HSF-kanalite teabe ajas järgneva testimisega.

Erinevad sagedused kuuluvad standardsete stiimulite puhul ühele ja samale objektile/stseenile ning seega ei ole teada, millist skaalat klassifitseerimiseks kasutati. Eelmainitud Schyns'i ja Oliva (1994) töös kombineeriti kokku hübriidsed stiimulid stseeniinformatsiooni skaalaruumis erinevates sagedusribades ja seega võimaldas see võtte skaalast sõltuva äratundmise uurimist. Uuringud näitasid, et hübriide tajuti eelistatult hõredalt-tihedale järgnevusena (Schyns & Oliva, 1994). Huvitavaks võtteks oli nn sobitamise ülesanne. Lühiajaliselt esitatud stiimulit tuli võrrelda ruumiliselt filtreeritud püsikujutistega, et valida lühiajaliselt näivalt kõige sarnasem püsikujutis. Stiimulite lühidamad esitused (30 ms) viisid hõredatel struktuuridel põhinevate sobitusteni. Samade stiimulite pikemad (150 ms) esitused viisid vastupidiste sobitusteni, mis põhinesid peeneteralistel struktuuridel. Nende katsete tulemused näitavad ajast ja ruumiskaalast sõltuvat äratundmisprotsessi, mille kõige esimesed staadiumid toetuvad stseenispetsiifilisele informatsioonile ning hilisemad staadiumid põhinevad objektidel (Schyns & Oliva, 1994). Sellegi poolest, kuna need eksperimendid ei testinud erinevate kategoriseerimisülesannete ja mitmete skaalade taju vahelisi koosmõjusid, ei saanud nad eristada skaala valiku tajulist stsenaariumit diagnostilisusest lähtuvast stsenaariumist. Esimene nendest peab universaalseks jämedalt-peenekoelisele kulgevat protsessi, teine väidab, et diapasooni valik – ja võimalik, et ka valiku järjekord – sõltub sellest, milline tunnus on ülesande seisukohalt on diagnostilisem. Tajusüsteem suudab optimeerida ülesande täitmist sõltuvalt tunnuse diagnostilisusest (Oliva & Schyns, 1997).

Kui erinevad ruumiskaalad annavad sisendi kohta edasi erinevat informatsiooni, siis identset stseeni võib paindlikult kodeerida ja tajuda skaalal, mis optimeerib informatsiooni antud ülesande jaoks – st diagnostilisel skaalal (Schyns & Oliva, 1994; Oliva & Schyns, 1997). Erinevad katsed diagnostilisuse manipuleerimisega sõltuvalt ülesandest ning vihjete andmisega diagnostilisuse kohta on toetanud arusaama, mille kohaselt nägude, objektide ja

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

stseenide kategoriseerimisel osalevad nii automaatselt käivituvad eri skaalatasemete tunnuste töötlusreeglid kui ka ülalt-alla tüüpi diagnostilisusest lähtuvad analüüsiprotsessid (Hill, Schyns & Akamatsu, 1997; Schyns, 1996; Oliva & Schyns, 1997).

Lisaks erinevate objektide või stseenide kategoriseerimise töötlusprintsipiide väljaselgitamisele on oluline tundma õppida sama näo, objekti või stseeni erinevate kategoriseerimiste jaoks vajaliku skaalainfo struktuuri (Schyns & Oliva, 1994; Oliva & Schyns, 1997). On selge, et erinevad skaaladiapasoonid piiravad eraldamiseks kättesaadava informatsiooni olemust (Burt & Adelson, 1983; Lindeberg, 1993; Oliva & Schyns, 1997).

Kui varasemad tööd olid valdavalt psühhofüüsikalised, siis ajapikku on LSF ja HSF rolli objektide ja stseenide tajumisel hakatud rohkem uurima ka neuroteaduslike meetodite abil. Testimaks üldtunnustatud „jämedakoeliselt-peenekoelisele“ ja/või „hõredalt tihedale“ töötlusskeemi ja tegemaks kindlaks selle aluseks olevaid neuraalseid substraate inimajus, esitasid Peyrin jt. (2010) fMRI ja ERPde registreerimise ajal katseisikutele kaht ruumilise sageduse järgi filtreeritud stseeni kiire järgnevusena (kõigepealt LSF ja siis HSF või vastupidi). Nende uuringus leiti, et madalalt-kõrgemale ruumilise sageduse järgnevustes kõigepealt aktiveeruvad prefrontaalne ja temporaal-parietaalne ala ning alles seejärel toimub primaarses visuaalses alas aktivatsiooni suurenemine HSF-le. Seega magnotsellulaarsed juhteteed võivad kiirelt aktiveerida kõrgema taseme alasid. Esialgset hõredat analüüsi võib täpsustada parvotsellulaarsete juhteteede edastatud kõrgsageduslike signaalide edasine töötlus ajukoore visuaalsetes piirkondades (Peyrin jt, 2010). Nendest teadmistest lähtudes on võimalik disainida uued ja täpsemad eksperimendid pannes aluse uuematele nägemise mudelitele (Hegde, 2008; Bar, 2003; Bullier, 2001, Peyrin jt. 2010).

Mu ja Li (2013) visuaalse kategoriseerimise uuringu tulemused näitasid, et hübriidpiltide HSF komponendi tajumist mõjutas sama hübriidpildi tähelepanu alt välja jäänud LSF komponendi semantiline informatsioon. Semantilise sekkumise tugevus oli moduleeritud LSF ja HSF komponentide füüsilise sarnasuse poolt – mida sarnasemad, seda tugevam mõju. EEG andmete analüüs näitas varajast eesmist N1 komponenti (122 ms stiimuli ilmumisest), mille väljendumine oli seotud semantilise ja füüsilise informatsiooni interaktsiooniga LSF ja HSF komponentide vahel. Antud leiud näitavad seda, et semantiline informatsioon erinevatelt sagedustelt võib kombineeruda tajumisprotsessi varajastes etappides. Selline varajane koostoime esineb pigem frontaalpiirkondades, võimaldades käivitada ülalt-alla suunatud

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

tajuregulatsiooni. Mu ja Li (2013) leidsid oma uuringus, et ehkki töötluse alguses madal ja kõrgsageduslik informatsioon segunevad, ilmnevad hilisematel etappidel aset erinevused kategooriate vahel. Kuna kõnealloses töös keskendusid katseisikud kõrgsageduslikule informatsioonile, jäi selgitamata ruumisageduse spektri spontaanse eelistuse mõju; samuti ei käsitletud selles töös teadvuse neurokorrelaatide teemat. Seega võiks seoses ruumisagedusinfo teadvustamise probleemiga edasi uurida, millal täpselt erinevused kategooriate vahel esile tulevad.

Käesoleva töö üldisemaks eesmärgiks on EEG abil uurida kujutiste HSF-le ja LSF-le tuginevat teadvustamise dünaamikat ajas, lähtudes teadvuseuuringute kontrastiivanalüüsi metodoloogiast (Aru, Bachmann, Singer, & Melloni, 2012).

Käesoleva töö uudsus seisneb hübriidstiimulite kasutamises EEG-põhises kontrastiivanalüüsile tuginevas uurimuses ning ette võetud katses eristada HSF ja LSF informatsioonile tuginevat visuaalse kujutise teadvustamist kontrastiivanalüüsi kontekstis.

Töös keskendutakse kahele küsimusele:

1) Millised ajahetked on kriitilised selle jaoks, kas teadvustatakse kõrg- või madalsageduslikke pilte.

2) Millal tulevad esile erinevused tajutud kategooriate vahel.

Esimene küsimus on käesoleva uurimuse keskne huvi. Vastus teisele küsimusele peaks andma täiendavat informatsiooni selle kohta, kuidas tajuprotsessid kulgevad. Hüpooteetiliselt võib eeldada, et teatud hetkeni ei esine erinevusi nende katsekordade vahel, kui nähti kõrg/madalsageduslikke pilte, kuna mõlemat sorti informatsioon oli alati olemas juba enne pildi teadvustamist. Seejärel aga jõuab informatsioonitöötlus kriitilise hetkeni, mil üht liiki informatsioon (LSF või HSF) saavutab edu teise suhtes (peame meeles, et kujutisesisene madal- ja kõrgsageduslik informatsioon on alati vastuolus). Pärast seda, kui üks informatsiooniliin on hakanud domineerima, saab vastav sisu lõpliku pertseptuaalse tajulise töötluse osaks ja "kangastub meie silme ees". Seega peaksid kategoriaalsed erinevused nähtud piltide vahel esinema hiljem kui erinevused kõrg- või madalsageduslike nähtud piltide vahel. Seda hüpooteesi kinnitavad andmed oleksid kooskõlas mikrogeneetilise teooria seisukohaga, et hetkeline taju areneb suunaga üldiselt/ebamääraselt konkreetsele, spetsiifilisele (Bachmann, 2000).

## Meetod

### Katseisikud

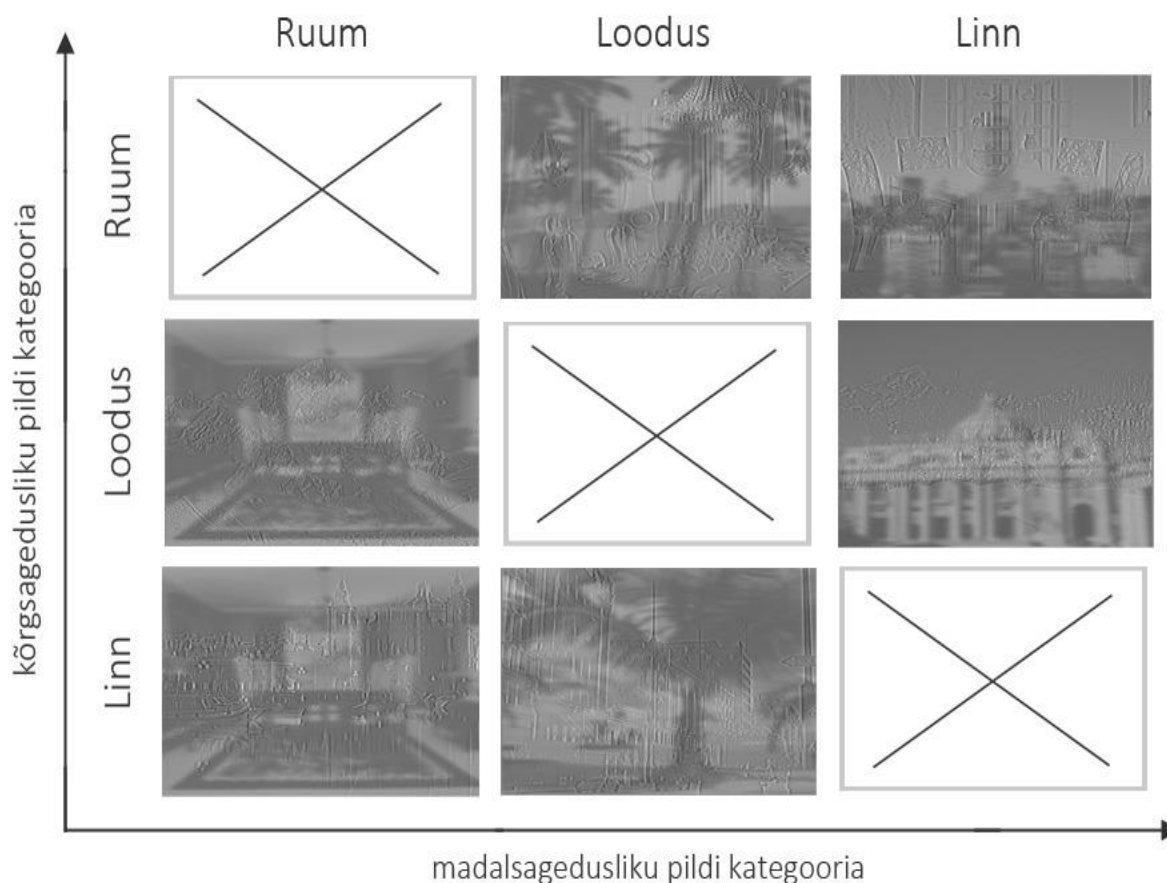
Katses osales kokku 16 isikut. Nendest 4 isiku andmed ei sobinud analüüside jaoks (vaata lähemalt sektsioonist „EEG eeltöötlemine“). Lõplik valim koosnes seega 12 isikust (7 meest, 5 naist), vanuses 19-47 ( $m = 28,42$ ,  $sd = 8,49$ ), kellest 10 olid paremakäelised. Kõigil katseisikutel oli normaalne või normaalseks korrigeeritud nägemine. Kõik katseisikud andsid informeeritud nõusoleku katses osalemiseks ning saadud andmete kasutamiseks. Katse on Tartu Ülikooli Eetikakomitee poolt heaks kiidetud ja vastas Helsingi Deklaratsiooni põhimõtetele.

### Stiimulid

Stiimuliteks olid 90 mustvalget fotot loomulikest stseenidest, mis klassifitseerusid kolme erinevasse kategooriasse (ruumi, looduse ja linna stseeni). Kolmest stseenipildi kategooriast valiti eelkatse põhjal välja 90 pilti (30 igast kategooriast). Igat kategooriat kombineeriti teiste kategooriatega ja loodi hübriidpildid (vaata joonis 1). Igat pilti esines võrdse arvul kordadest nii kõrg- kui ka madalsageduslikul kujul; hübriidpilt koosnes alati kahest erineva kategooria pildist, millest üks oli kõrgsageduslik ja teine madalsageduslik. Piltide kombinatsioonid põhinesid juhuslikkusel, aga igat tüüpi kombinatsioone (näit. madalsageduslik ruumipilt koos kõrgsagedusliku looduspildiga või vastupidi) esines võrdne arv kordi.



## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid



Joonis 1. See pilt näitab hübriidseid stiimuleid, mida me oma eksperimentides kasutasime, hübriidpildid kõrg- kui ka madalsageduslikul kujul. Hübriidpilt koosneb kahest erineva kategooria pildist, millest üks on kõrgsageduslik ja teine madalsageduslik.

Hübriidpiltide heledusväärtused varieerusid 206 halltoonil vahel. Kui harilik arvutigraafika eristab 256 hallastet, kusjuures 0 on must ja 255 on valge, siis antud katse stiimulid kasutasid halltoone ainult astmetel 50 – 255. Nende väärtuste ulatuses oli nimelt garanteeritud realselt monitoril kuvatud halltoonide heleduste lineaarsus. Hübriidpildid esitati ekraani keskel hallile taustale, suurusega 8 visuaalset nurgakraadi. Tausta heledus võrdus hübriidpildi keskmise heledusega.

Iga kahest pildist koosnev hübriidpilt loodi järgmiselt: 1) Mõlemad pildid teisendati sagedusruumi kahedimensionaalse diskreetse Fourier transformatsiooniga. 2) Saadud kujutised korrutati läbi Gaussi tuuma Fourier transformiga. Gaussi tuuma standarthälbe ehk sigma määrab, millised sagedused pildist välja filtreeritakse. Madal- ja kõrgsagedusliku pildi saavutamiseks kasutati kahte erinevat sigmat. Sigmade vahe oli alati 1.3 (vastab 6 tsüklile

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

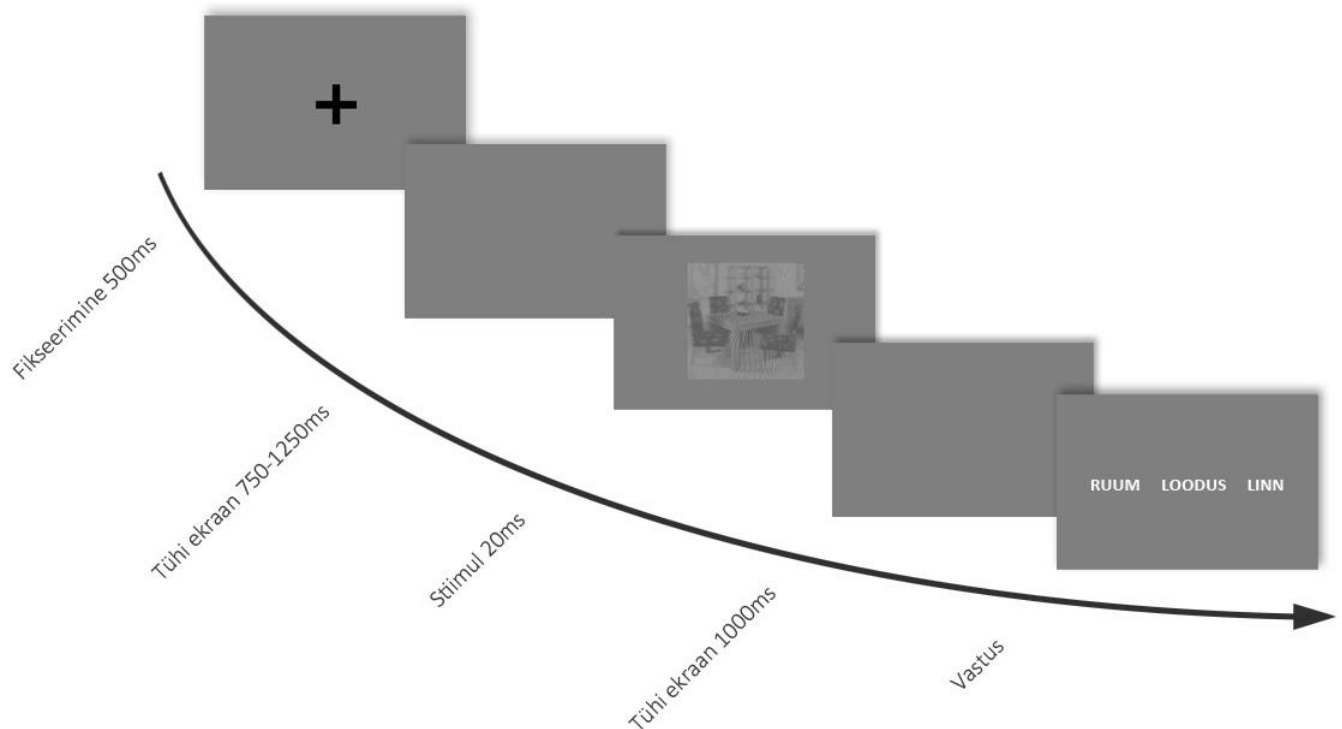
visuaalse nurgakraadi kohta), aga absoluutsed väärtused kohandati katse alguses iga katseisiku jaoks eraldi (vaata ülesanne). 3) Pildid inverteeriti tagasi originaalsele kujule. 4) Mõlema pildi heledus normaliseeriti. Selleks et mõlema pildi keskmine heledus ja heleduste standardhälve oleksid samad, lahutati igast pikslit antud pildi keskmine heledus ja korrutati soovitud ning algse standardhälbe suhtega. Viimaks lisati soovitud keskmine heledus. Soovitud keskmine heledus oli 128 ja standardhälbe 32. Seega oli valem (pilt - keskmine(pilt)) \* (32/standardhälbe(pilt)) + 128) 5) Pildid liideti kokku ja jagati kahega.

Kõik katses kasutatud pildid olid testitud eelkatse käigus. Eelkatse eesmärk oli leida selline kolmest kategooriast koosnev stiimulite komplekt, kus iga kahe (erinevast kategooriast pärit) pildi kombinatsiooni puhul on tõenäosus ühte või teist pilti näha ligilähedaselt võrdne. Selleks koguti internetist vabalt kättesaadavaid fotosid kolmest erinevast kategooriast (siseruudid, loodus- ja linnavaated). Eelkatsesse kaasati 150 pilti, 50 igast kategooriast. Katse käik oli sama nagu põhikatseski (vaata all). 6 Katseisikut (kõik naised, vanuses 23-35, paremakäelisus) läbisid 600 katsekorda. Tulemuste põhjal välistati komplektist sellised pildid, mis liiga tihti kombinatsioonis teiste piltidega domineerisid või mida katseisikud hübriidpiltides ainult harva nägid. Seega üritati moodustada homogeenne piltide komplekt, kus iga kategooria siseselt ja ka kategooriate vahel esineks võimalikult vähe varieeruvust. Sellise komplekti puhul peaks katseisikute vastused sõltuma eelkõige sagedusparameetritest ja mitte hübriidpildis esinevatest kategooriatest.

### Ülesanne ja aparatuur

Kõik katsed viidi läbi eksperimentaalselt Tallinnas Teatri väljakul asuvas kognitiivse psühholoogia laboris. Katseisikud istusid hämaras toas 100 cm kaugusel arvuti monitorist. Monitori mudel oli SUN CM751U, mille resolutsioon oli 1024x765 pikslit ja pildivärskendussagedus oli 100 Hz. Katseprogramm oli kirjutatud kognitiivse psühholoogia labori laborandi poolt Pythoni programmeerimiskeeles, kasutades muuhulgas ka VisionEgg (<http://www.visionegg.org/>) mooduli funktsioone.

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid



Joonis 2. See joonis illustreerib katse ülesehitust. Katsekord algab fikseerimisristi (0.3 nurgakraadi) esitamisega ekraani keskel 500 ms. Pärast fikseerimisristi kustumist oli ekraan randomiseeritult 750-1250 ms tühi ja siis ilmus kahe pildivärskenduse ehk 20 ms vältel hübriidpilt. Pildiesitusele järgnes taaskord tühi ekraan 1000 ms. Seejärel vastas katseisik, kas ta nägi antud katsekorrall ruumi, loodust või linna ning pärast vastamist algas järgmine katsekord.

Katse koosnes 900 katsekorrast, mis olid jaotatud kuude plokkideks. Iga katsekord algas fikseerimisristi (0.3 nurgakraadi) esitamisega ekraani keskel 500 ms. Osalejaid instrueeriti fikseerima pilk terve katse ajal ekraani keskele. Pärast fikseerimisristi kustumist oli ekraan randomiseeritult 750-1250 ms tühi ja siis ilmus kahe pildivärskenduse ehk 20 ms vältel hübriidpilt. Pildiesitusele järgnes taaskord tühi ekraan 1000 ms. Seejärel pidi katseisik vastama, kas ta nägi antud katsekorrall ruumi, loodust või linna. Kui osaleja ei tundnud ühtegi kategooriat ära, siis pidi ta suvalise vastuse andma.

Vastused anti standardisel arvutiklaviatuuril parema käega nooleklahve kasutades, vajutades üht kolmest vastusenupust. Kui katseprogramm oli registreerinud vastuse, algas kohe

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

järgmine katsekord. Iga 150 katsekorra järel oli paus.

Esimese 100 katsekorra käigus toimus sagedusparameetrite optimeerimine. Antud katse eesmärgiks oli näidata hübriidpilte selliste sagedusparameetritega, et katseisikud ligikaudu pooltel kordadel näeksid kõrgsageduslikku pilti ja pooltel kordadel madalsageduslikku pilti. Katseprogramm kontrollis viis korda iga 20 katsekorra järel, kas katseisik näeb rohkem kõrg- või madalsageduslikult esitatud pilte. Kui vastuste suhtarv oli väiksem kui .3 või suurem kui .7, nihutati sagedusparameetreid 0.5 tsüklit visuaalse nurgakraadi kohta korrigeerivas suunas. Kui katseisik nägi näiteks valdavalt madalsageduslikult esitatud pilte, siis muudeti nii kõrgsageduslike kui ka madalsageduslike piltide piirväärtust madalamaks. Seega muutusid madalsageduslikud pildid veel udusemaks ja kõrgsageduslikud pildid vähem õrnajooneliseks. Keskmiselt oli madalsageduslike piltide piirväärtus üle katseisikute 3.1 tsüklit visuaalse nurgakraadi kohta. Kõrgsageduslike piltide keskmine piirväärtus oli 6.2 tsüklit visuaalse nurgakraadi kohta. Piirväärtuste standardhälve oli 1 tsüklit visuaalse nurgakraadi kohta.

### **EEG mõõtmine**

Ajupotentsiaale mõõdeti Nexstim Eximia Elektroentsefalograafia (EEG) süsteemiga, 60 ühendusega elektroomütsiga (Nexstim Ltd., Helsinki, Finland). Elektroodid olid paigutatud laiendatud 10-20 süsteemi järgi. Referentselektrood, mille suhtes EEG'd mõõdeti, oli paigutatud katseisikute lauba keskele. Silmaelektroodide abil registreeriti ka silmapilgutused ning muud silmaliigutused (vertikaalne elektrookulogramm). Signaali mõõtmisagedus oli 1450 Hz. Salvestatav sagedusriba oli 0.1 – 350 Hz. Elektroodide takistus hoiti alla 15 k $\Omega$ .

### **EEG eeltöötlemine**

EEG andmed analüüsiti Matlab programmeerimiskeskonnas kasutades spetsiaalset Fieldtrip'i toolbox'i (<http://fieldtrip.fcdonders.nl>). EEG andmed lõigati epohhideks vastavalt 500 ms enne stiimuli esitust kuni 700 ms pärast stiimuli esitust. Andmed puhastati käsitsi. Kõrvale heideti kõik epohhid, kus esines silmapilgutusi, tuvastatavaid silmaliigutusi või muskliartefakte. Mürased kanalid interpoleeriti lähima naabri meetodi abil. Mitte ühelgi katseisikul ei interpoleeritud rohkem kui 5% andmetest. Kuna meelegahtadel asetsevad elektroodid FT9 ja FT10 olid mitmetel katseisikutel väga mürased, otsustati need kanalid analüüsist välja jätta. Rohkete artefaktide või liigsete müraste elektroodide tõttu langesid välja ka 4 katseisiku andmed. Ülejäänud 12 katseisiku puhastatud andmed filtreeriti 30 Hz low-pass Butterworth filtriga, refereeriti ümber virtuaalsele keskmisele referentsile ja jagati

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

tingimustesse. Iga epohhi signaal korrigeeriti 100 ms enne stiimuli esitust mõõdetud aktiivsuse suhtes. Eemaldati lineaarsed trendid. Andmed keskmistati vastavalt tingimustele. Tabelis 1 on toodud kõikide tingimuste kohta kasutusele jäänud katsekordade hulk (keskmised ja standardhälbed).

Tabel 1. Tingimuste kohta alles jäänud katsekorrad.

R_H = ruum kõrge	R_L = ruum madal	N_H= loodus kõrge	N_L = loodus madal	C_H == linn kõrge	C_L == linn madal
M = 84.7	M = 97.1	M = 86.5	M = 82.1	M = 82	M = 78.6
SD = 61.1	SD = 34.4	SD = 47.2	SD = 40.2	SD = 56.8	SD = 28.0

### EEG analüüs

Tavapärase ERP lainekujude analüüsi üks peamine probleem on see, et nad on oluliselt sõltuvad referentsist. Käesolevas töös analüüsiti stimulatsioonitingimuste mõju EEG'le topograafilise ERP analüüsi meetodeid kasutades (Murray, Brunet & Michel, 2008). Need meetodid on laialdaselt levinud ja omavad mitmeid märkimisväärsed eeliseid klassikaliste analüüsimeetoditega võrreldes, kuna ei sõltu uuringu läbiviija valikust ja seeläbi ei mõjuta tulemuste erapooletust nii statistilise tulemuste tõlgendamisel kui andmeanalüüsi osas. ERP signatuuride analüüsis võib tekkida veel üks probleem, kui kasutada ANOVAt katsetingimuse ja elektroodi vahelise interaktsiooni tõlgendamiseks. McCarthy ja Wood (1985) on põhjalikult käsitlenud probleemi, mis tekib, kui EEG toorandmeid enne analüüsi ei ühtlustata kaalumise abil. Selle vajaliku sammu tegemata jätmisel ei ole võimalik eristada topograafilisi mõjusid amplituudi mõjudest. Selleks, et et ERP analüüs oleks rohkem teaberikkam ja vähem kallutatud, oleks parem kasutada analüüsi, mis oleks refereeringust sõltumatu, nagu Global Field Power (tugevuse mõõtmiseks) või Global Dissimilarity (topograafia/asukoha mõõtmiseks).

Käesolevas töös analüüsiti esmalt Global Field Power (GFP) näitajaid. GFP on referentsist sõltumatu EEG/ERP analüüs, mis mõõdab reaktsiooni tugevust. Matemaatiliselt, lihtsustatult on GFP teatud hetke kõigi elektroodide signaalide määra standardhälve. ERP kontekstis tähendab see seda, et GFP kõver (selle lainekuju) on ajast sõltuva potentsiaali mõõde. GFPd saab statistiliselt mõõta ERP uuringutes kasutusel olevate levinud meetoditega (näiteks sammhaaval ajas muutuvaid potentsiaali erinevusi kasutades, pindala mõõtes, piikide väärtust

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

mõõtes). Seejuures on oluline arvestada, et kuna GFP on mittelineaarne, siis grupi keskmine ERP ei ole matemaatiliselt võrdne üksik-juhtumi ERP keskmisega. GFP näitab, kui tugev on mõõdetav reaktsioon, aga ei näita topograafilist potentsiaalide jaotuvust, ehk seda, millisest kohast väikesed või suured potentsiaalid on mõõdetud.

Tingimustest tulenevaid erinevusi GFP's testiti ANOVA'ga ajapunktide kaupa ja korrigeeriti FDR'iga.

Teiseks analüüsiti tulemusi mõõtu Global Dissimilarity (GDISS) kasutades. GDISS on indeks, mis näitab kahe elektrivälja (matemaatiliselt kahe elektrivälja topograafiat sümboliseeriva vektori) vahelise konfiguratsiooni erinevust – kas kahe tingimuse erinevust samal ajahetkel või ka kahe ajahetke erinevust sama tingimuse suhtes. GDISS-i analüüsiks kasutatakse mitteparameetrilist randomiseeritud testi TANOVA-t (Topographic Analysis of Variance; märkus -- sellel analüüsil pole tegelikult varieeruvuse analüüsiga otsest seost). GDISSi abil saadavad tulemused, st analüüsil saadud väärtused jäävad vahemikku nullist (0) kuni kaheni (2). Nullväärtuse saamine näitab topograafilist samasust ja 2 saamine topograafilist inversiooni ehk ümberpööratust.

Mõlemad, nii GFP kui ka GDISS on omavahel sõltumatult mõõdetavad ja analüüsitavad ning on refereerigust täielikult sõltumatud. See tähendab, et uuringute käigus ei ole vaja selle läbiviijal vaja teha a priori valikut elektroodide või aja perioodide osas.

## Tulemused

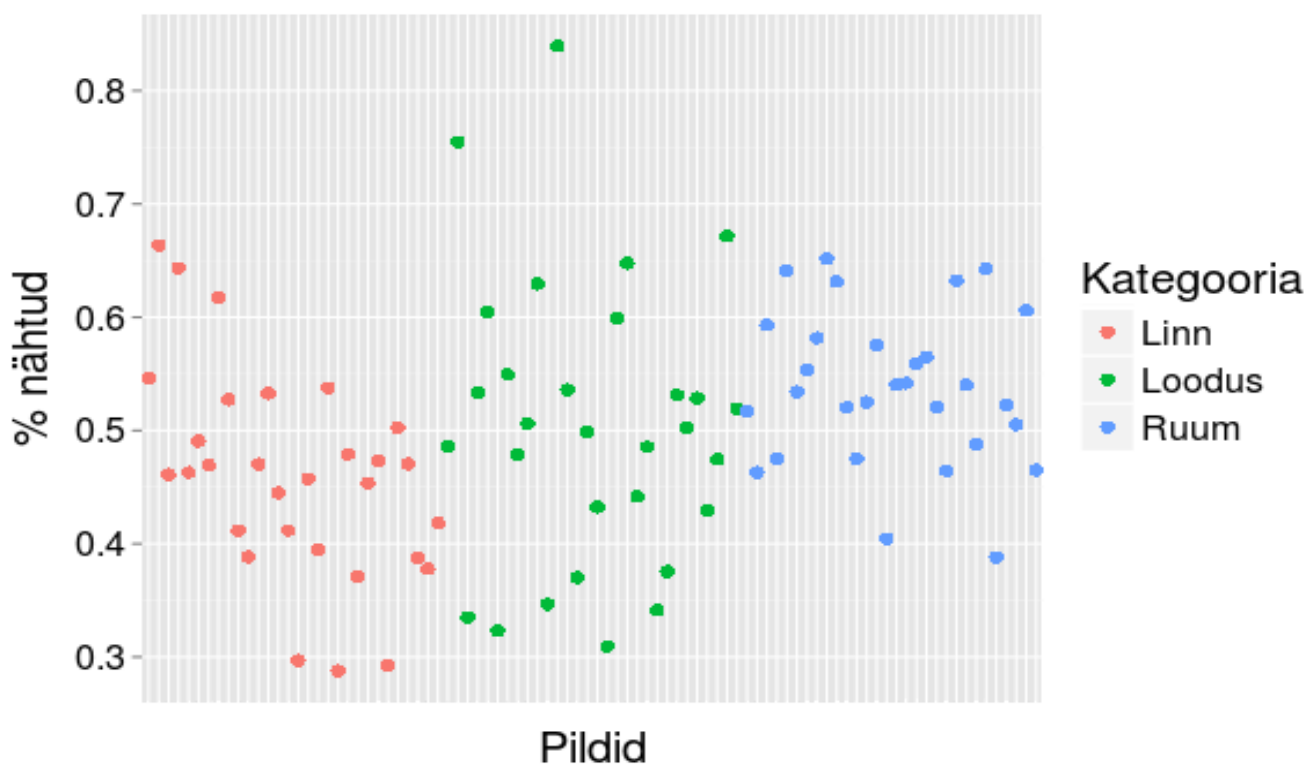
### Käitumuslikud tulemused

Tulemustena fikseeriti õigete vastuste osakaalu ning valede vastuste puhul sageduse, millega mingit visuaalset kategooriat nimetati (st kui palju vastasid katseisikud, et nägid kategooriat, mis tegelikult antud katsekorral ilmunud hübriidpildis üldse ei esinenud). Valede vastuste protsent oli küllaltki madal ( $M = 8.5\%$ ,  $SD = 3.8\%$ ). Siiski on valede vastuste osakaalust

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

näha, et käitumuslik ülesanne ei olnud liiga kerge ja signaali suhe mürrasse kujutiste tajumisel võib kohati küllalt madal olla. Katseisikud raporteerisid ka ise, et vahel ei tundnud nad tõesti ühtegi kategooriat selgesti ära, kuid pigem olid nad oma vastustes küllaltki kindlad. Järgnevate analüüside jaoks eemaldati andmetest kõik sellised katsekorrad, kus katseisikud andsid vale vastuse. Ka hilisemates EEG analüüsid on kasutusel vaid sellised katsekorrad, kus katseisikute vastus ühtis ühega hübriidpildi kahest kategooriast.

Iga pilt esines katses nii kõrg- kui madalsageduslikus vormis mitu korda. Eelkatse käigus valiti välja pildid, mis olid kategooria siseselt võimalikult homogeenid. Kuid kas kasutatud pildikomplekt vastas ootustele? Joonisel 3 on näha iga pildi kohta, kui tihti seda pilti keskmiselt nähti. Üldiselt on piltide nägemise protsent küllaltki väikese hajuvusega. Looduspiltide kategoorias esines aga siiski kaks erandit, mille tajumine oli väga hea. Ühel puhul oli tegemist üksiku lumise mäetipuga ja teisel juhul palmimetsaga. Kõik katsekorrad, kus üks nendest kahest pildist oli hübriidpildi liige, eemaldati andmetest ja EEG analüüsist.

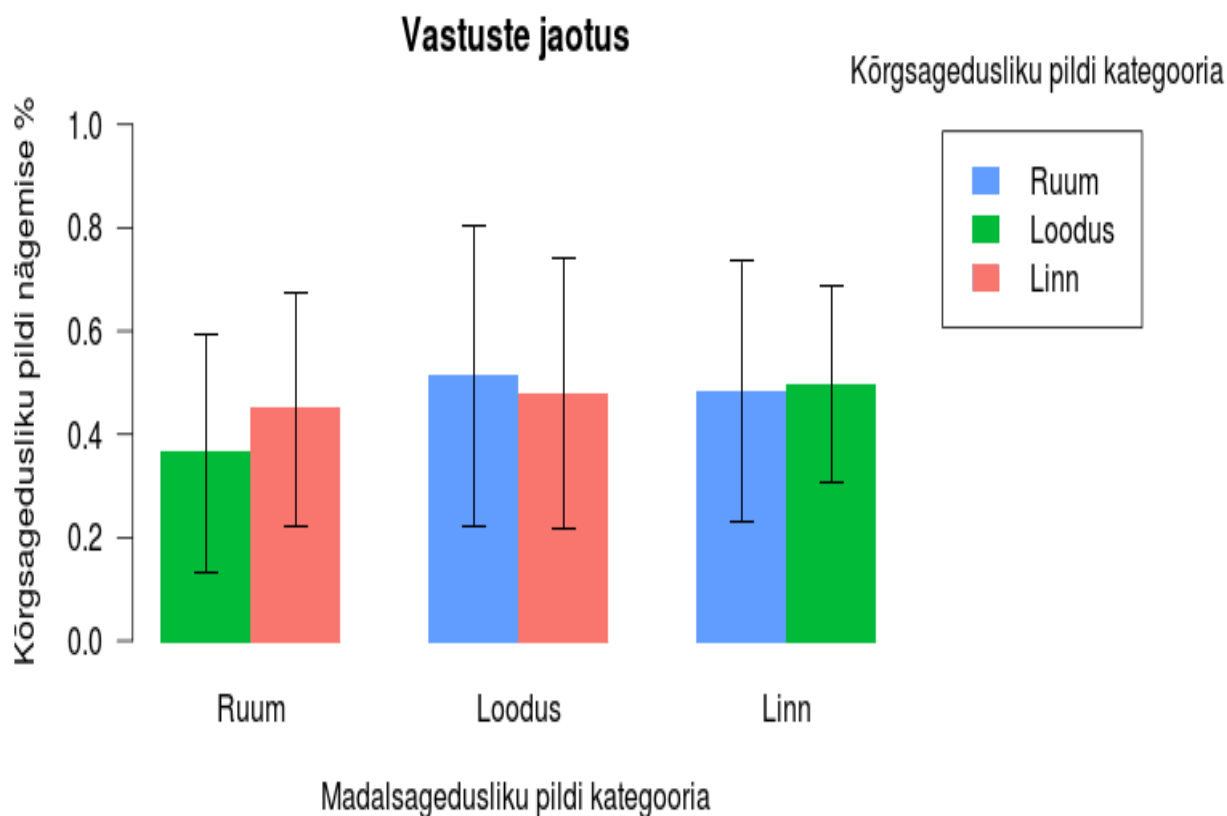


Joonis 3. Käesoleval joonisel on kategooriad: ruum, loodus ja linn ning, kui tihti iga kategooria pilti nähti.

Sagedusparameetrite kohandamine katse käigus oli piisavalt edukas. Katseisikud vastasid

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

keskmiselt 46.2% katsekordadest, et nägid kõrgsagedusliku pildi kategooriat (SD = 22.5%). Ka kategooriate võrdluses olid vastused üpris tasakaalustatud. Ruumpiltide kategooriat vastati keskmiselt 36.6% katsekordadest (SD = 4.7%), looduspiltide kategooriat vastati keskmiselt 30.5% katsekordadest (SD = 5.5%) ja linnapiltide kategooriat vastati keskmiselt 32.9% katsekordadest (SD = 5.2%). Kuigi erinevused kategooriate vahel olid väikesed, näitas korduvmõõtmistega ANOVA, et need erinevused on lähedal olulise erinevuse tasemele ( $F(2,22) = 2.8, p = 0.081$ ). Post-hoc kontrastid näitasid (vaata tabel 2), et erinevus linna- ja ruumivastuste ( $t(11) = 1.5, p = 0.2$ ) ning loodus- ja linnavastuste ( $t(11) = -0.9, p = 0.4$ ) vahel ei olnud oluline, kuid ruumivastuseid oli oluliselt rohkem kui loodusvastuseid ( $t(11) = 2.4, p = 0.04$ ).



Joonis 4. Kõrgsagedusliku pildi kategooriate vastuste jaotus.



## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

Hübriidpilte sai kombineerida kuuel viisil. Joonisel 4 on näha, kui tihti iga kombinatsiooni puhul kõrgsagedusliku pildi kategooriat vastati.

Tabel 2. Hübriidpiltide raames erinevatesse kategooriasse kuuluvate erineva ruumisagedusega kujutiste nägemise sageduse võrdlus. Post-hoc t-testide tulemused näitavad, et oluliselt sagedamini nähti madalsageduslikke tubadekujutisi kui kõrgsageduslikke muid kujutisi ning kõrgsageduslikke looduskujutisi kui madalsageduslikke muid kujutisi.

LSF: tuba, HSF: loodus või linn	LSF: loodus, HSF: tuba või linn	LSF: linn, HSF: tuba või loodus	HSF: tuba, LSF: loodus või linn	HSF: loodus, LSF: tuba või linn	HSF: linn, LSF: tuba või loodus
t(11) = -2.5, p = 0.03	t(11) = 1.3, p = 0.2	t(11) = -0.4, p = 0.7	t(11) = 1.1, p = 0.3	t(11) = -3.6, p = 0.004	t(11) = -1.0, p = 0.4

Hübriidpiltide raames erinevatesse kategooriatesse kuuluvate erineva ruumisagedusega kujutiste nägemise sageduse võrdluses (tabel 2) on toodud kategooriate kombinatsioonid (6 kombinatsiooni) ning nendele vastavad post-hoc t-testide tulemused koos vastavate p-väärtustega.

Käitumuslike tulemuste analüüsimisel viidi läbi rohkeid post-hoc võrdlusi, kuid p-väärtuse vastavast korrigeerimisest hoiduti teadlikult. Eelnevalt kirjeldatud tulemused on eelkõige aluseks EEG analüüsidele ja seega on tähtis hoiduda tüüp-2 vigadest. Käitumuslike analüüside eesmärk oli välistada võimalikke segavaid efekte, mis moonutaksid EEG tulemusi. Kuigi osade kombinatsioonide puhul tulid välja ebavõrdsused, ei viita eelnevalt kirjeldatud tulemused ühelegi tõsisemale kaasmuutuva efekti võimalusele. Kasutades loomulikke stseene kujutavaid stiimuleid ongi oodata, et esineb erinevusi, aga need on hoolikate EEG kontrastidega korvatavad.

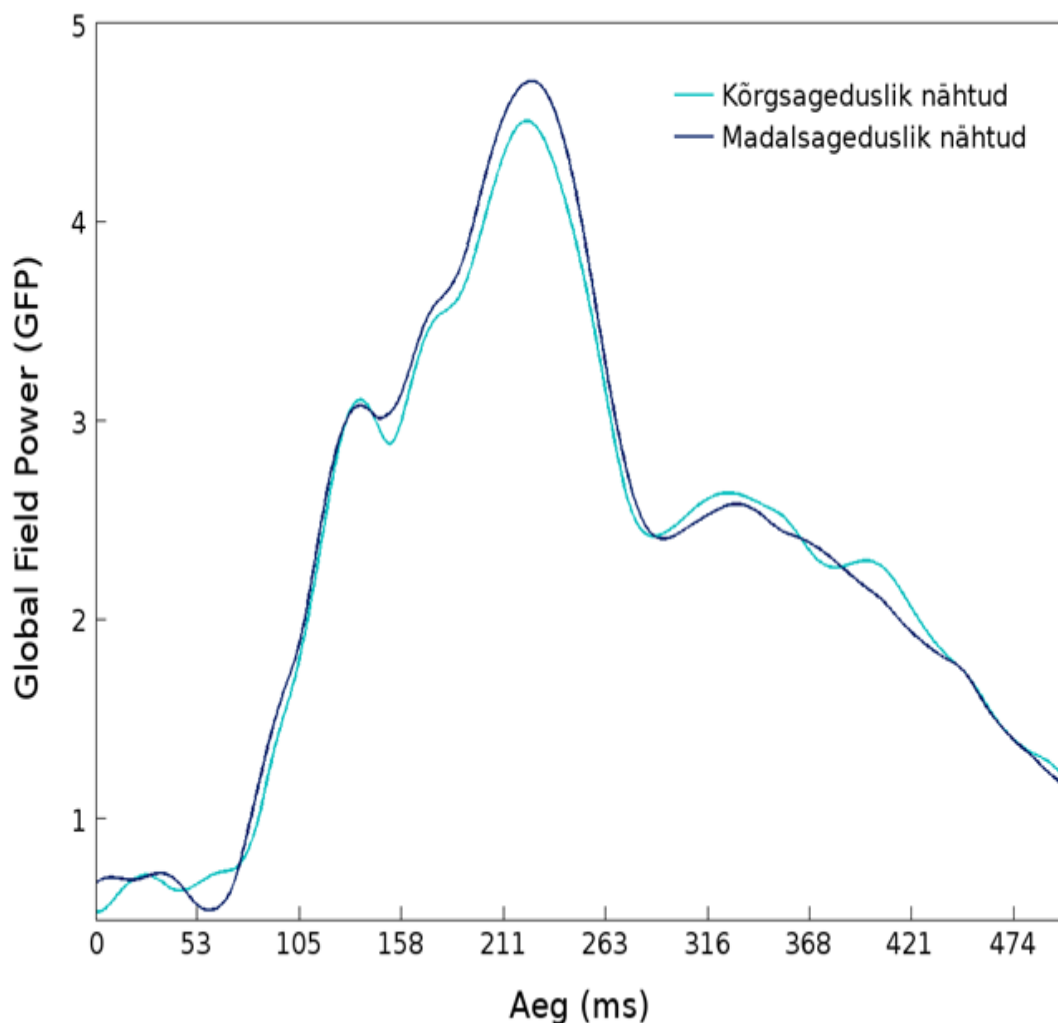
### EEG tulemused

Kõikide EEG analüüside jaoks võrdsustati katsekordade arv kõikide tingimuste vahel. Seega ei tohiks tulemused sõltuda erinevast signaali/müra suhte tasemest.

Esimese hüpoteesi kontrollimiseks analüüsiti esmalt Global Field Power. Selleks moodustati ERP'id sellistest katsekordadest, kus katseisik nägi kõrgsageduslikku pilti ja sellistest, kus

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

katseisik nägi madalsageduslikku pilti. Mõlemas tingimuses oli sama palju katsekordi iga kategooria jaoks. Seejärel moodustati ERP'ide põhjal GFP. Leidmaks süstemaatilisi erinevusi tingimuste vahel, testiti GFP taset igas ajapunktis paaris-t-testidega ja vastavad p-väärtused korrigeeriti FDR suhtes. See analüüs ei viidanud ühelegi süstemaatilisele erinevusele madal- ja kõrgsageduslike nähtud piltide GFP väärtuste vahel (kõikide analüüside puhul:  $-1.71 < t < 2.17$ , kõik  $p > 0.05$ ).

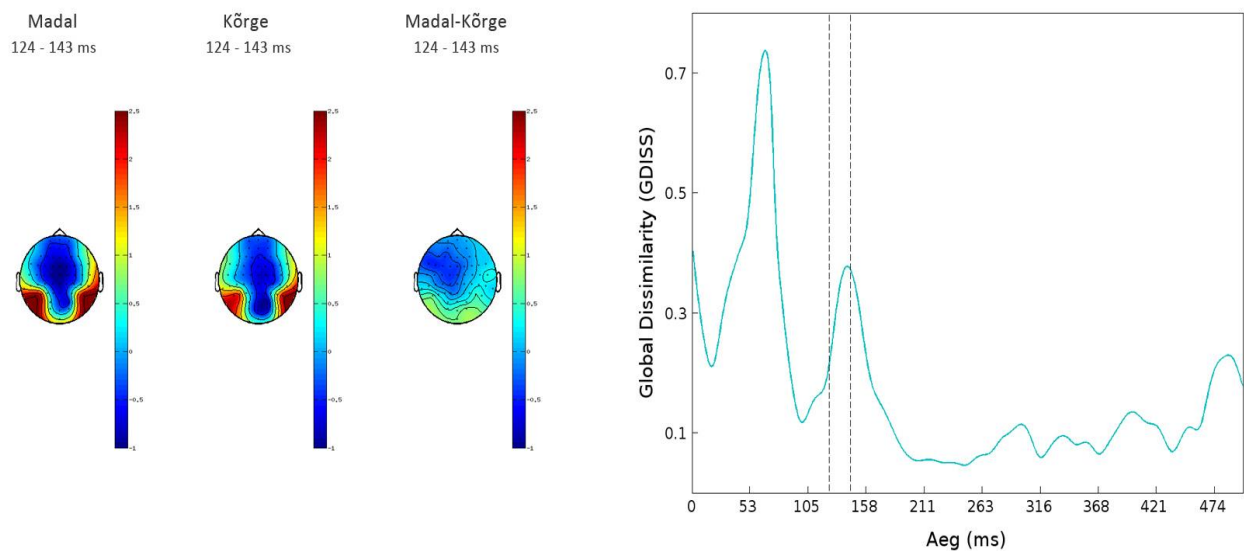


Joonis 5. Global Field Power (GFP) kõrgsageduslike nähtud piltide tingimuses ja madalsageduslike nähtud piltide tingimuses.

Järgmisena analüüsiti madal- ja kõrgsageduslike nähtud piltide topograafilisi erinevuseid.

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

Selleks arvutati ERP'ide põhjal mõlema tingimuse jaoks nende kahe tingimuse vaheline Global Dissimilarity (GDISS) väärtus. Süstemaatilisi erinevusi testiti mitte-parameetrilise permutatsioonitesti kaudu. Kirjeldatud analüüsi tulemusena leiti üks ajalõik, mil kõrg- ja madalsageduslike nähtud piltide topograafiad on oluliselt erinevad. See ajalõik katab 124 - 143 ms pärast stiimuli esitamist, mille raames minimaalne p-väärtus oli 0.0007. Joonisel 6 on näha ka antud ajalõigu keskmiseid topograafiaid mõlema tingimuse ja nende erinevuse jaoks. Tingimuste vahest on näha, et 124 - 143 ms pärast hübriidpildi esitamist on madalsageduslike piltide nägemise tingimuses rohkem EEG negatiivsust vasakpoolsetel tsentro-frontaalsetel sensoritel. Kõrgsageduslike nähtud piltide tingimuses on seevastu rohkem negatiivsust oksipitaalsetel sensoritel.

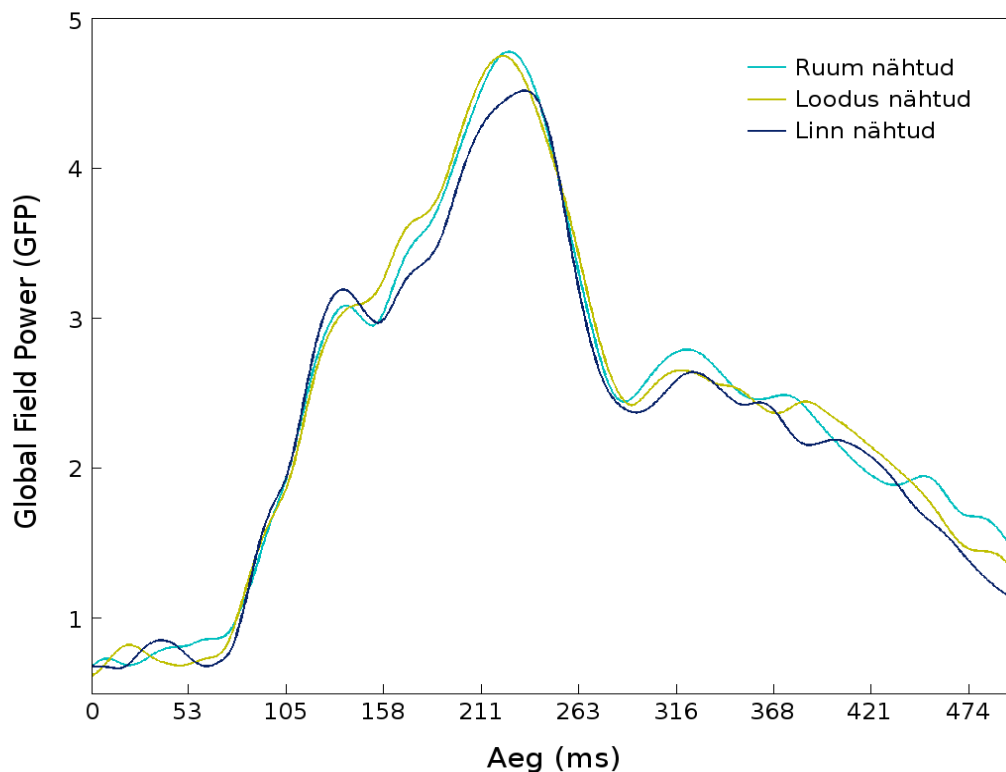


Joonis 6. Madal- ja kõrgsageduslike nähtud piltide topograafilisi erinevuseid. Leiti ajalõik, mil kõrg- ja madalsageduslike nähtud piltide topograafiad on oluliselt erinevad. See ajalõik on 124 - 143 ms pärast stiimuli esitamist.

Teise hüpoteesi kontrollimiseks analüüsiti esmalt Global Field Power erinevate kategooriate vahel. Kõigis tingimustes oli sama palju katsekordi iga kategooria jaoks. Seejärel moodustati ERP'ide põhjal GFP. Leidmaks süstemaatilisi erinevusi tingimuste vahel, testiti GFP taset igas ajapunktis paaris-t-testidega ja vastavad p-väärtused korrigeriti FDR suhtes. GFP analüüs ruum vs loodus ei viidanud erinevustele nähtud piltide GFP väärtuste vahel ( $-2.06 < t < 2.11$ , kõik  $p > 0.05$ ), samuti ruum vs linn ( $-1.32 < t < 2.16$ , kõik  $p > 0.05$ ) ja loodus vs linn

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

( $-2.1 < t < 3.16$ , kõik  $p > 0.05$ ). See analüüs ei viidanud ühelegi süstemaatilisele erinevustele nähtud piltide GFP väärtuste vahel (kõikide analüüside puhul:  $-1.71 < t < 2.17$ , kõik  $p > 0.05$ ). GFP sõltuvust stiimulijärgsest ajast ja kategooriast illustreerib joonis 7.



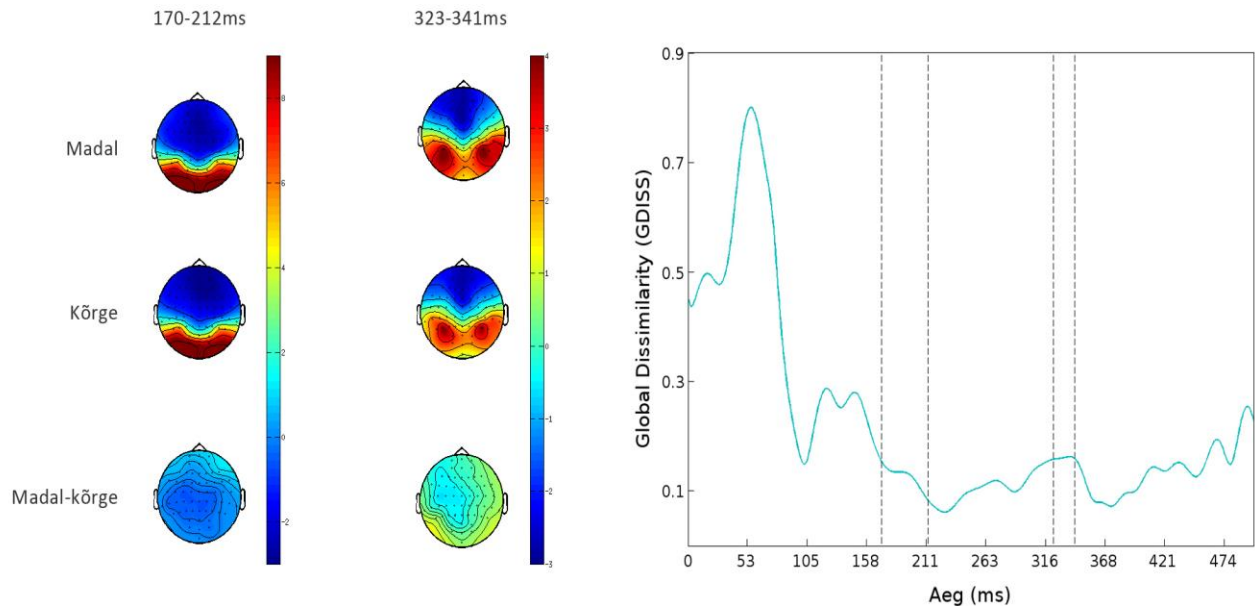
Joonis 7. Global Field Power erinevate kategooriate (ruum, loodus, linn) vahel sõltuvalt stiimulijärgsest ajast.

Järgnevalt analüüsiti EEG-vastuste topograafiat selgitamiseks, millal tulevad esile erinevused tajutud kategooriate vahel ja analüüsis arvutati ERP'ide põhjal Global Dissimilarity (GDISS) väärtus; süstemaatilisi erinevusi testiti mitte-parameetrilise permutatsioonitesti kaudu.

Viidi läbi analüüs ruumi ja looduse kategooriate vahel ning leiti kaks ajalõiku, mil topograafiad on oluliselt erinevad. Esimene ajalõik on 170 – 212 ms pärast stiimuli esitamist, mille raames minimaalne p-väärtus oli 0.0047 ja teine ajalõik on 323 - 341 ms, mille raames

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

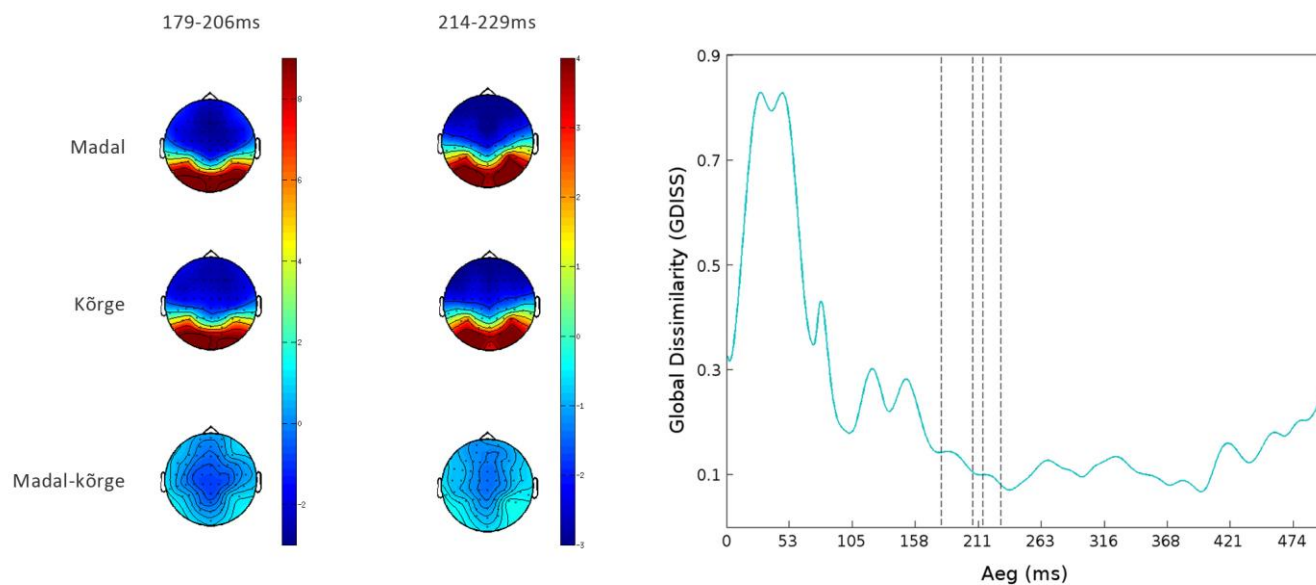
minimaalne p-väärtus oli 0.0016. Joonisel 8 on näha ka antud ajalõikude keskmiseid EEG-topograafiaid mõlema tingimuse ja nende erinevuse jaoks. Tingimuste vahest on näha, et 170 - 212 ms pärast hübriidpildi esitamist tuleb esile kategooriatest sõltuv erinevus ruumi sagedusribade vahel suurema LSF negatiivsuse ja lõigul 323-341 see tendents väheneb.



Joonis 8. Kategooriate ruum ja loodus topograafilisi erinevuseid. Leiti kaks ajalõiku, mil nähtud piltide EEG-topograafiad on oluliselt erinevad. Esimene ajalõik on 170 - 212 ms pärast stiimuli esitamist ja teine ajalõik on 323 – 341 ms pärast stiimuli esitamist.

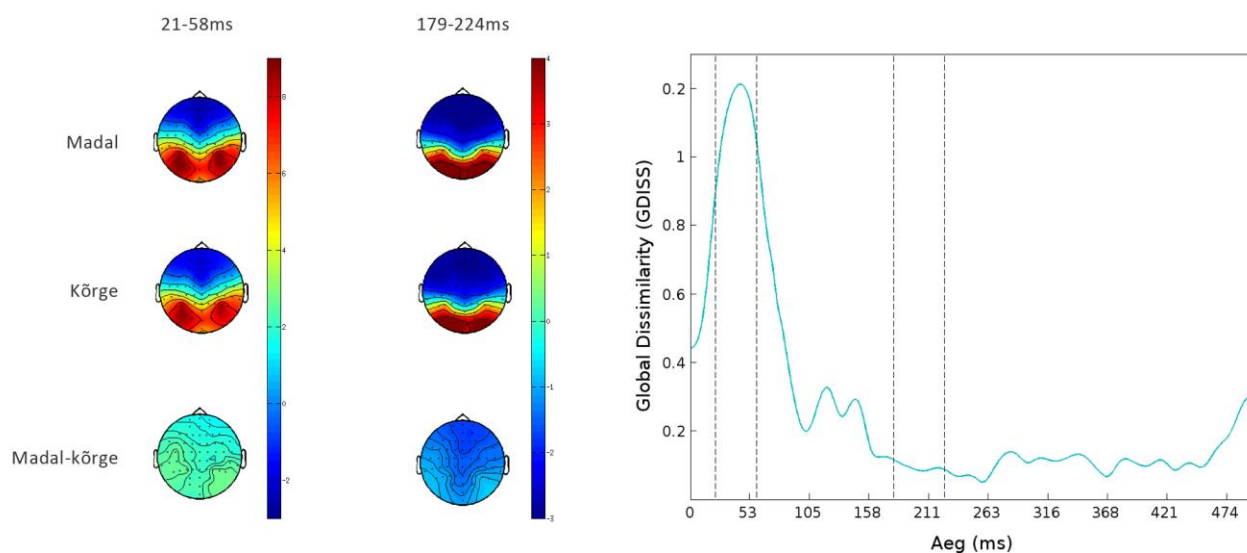
Statistiline analüüs kategooriate ruum ja linn vahel näitas, et kahel ajalõigul on EEG-topograafiad oluliselt erinevad. Esimene ajalõik on 179 – 206 ms pärast stiimuli esitamist, mille raames minimaalne p-väärtus oli 0.014 ja teine ajalõik on 214 - 229 ms ning minimaalne p-väärtus oli 0.028 . Joonisel 9 on näha ka antud ajalõikude keskmiseid topograafiaid mõlema tingimuse ja nende erinevuse jaoks.

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid



Joonis 9. Kategooriate ruum ja linn topograafilisi erinevuseid. Leiti kaks ajalõiku, mil EEG-topograafiad on oluliselt erinevad. Esimene ajalõik on 179 - 206 ms pärast stiimuli esitamist ja teine ajalõik on 214 – 229 ms pärast stiimuli esitamist.

Kategooriate loodus ja linn analüüsi tulemused näitasid kahte olulist ajalõiku: esimene ajalõik on 21 – 58 ms pärast stiimuli esitamist, mille raames minimaalne p-väärtus oli 0.0004 ja teine ajalõik on 179 - 224 ms ning minimaalne p-väärtus oli 0.0023 . Joonisel 10 on näha ka antud ajalõikude keskmiseid topograafiad mõlema tingimuse ja nende erinevuse jaoks.



Joonis 10. Kategooriate loodus ja linn topograafilisi erinevuseid. Leiti kaks ajalõiku, mil EEG-topograafiad on oluliselt erinevad. Esimene ajalõik on 21 - 58 ms pärast stiimuli esitamist ja teine ajalõik on 179 – 224 ms pärast stiimuli esitamist.

### Arutelu

Mida võib eeltoodud tulemuste põhjal järeldada töös tõstatatud uurimisküsimuste kohta? Esiteks üritati selgitada, millised ajahetked on kriitilised selle jaoks, kas teadvustatakse kõrg- või madalsageduslikke pilte. Nagu selgus GFP analüüsi meetodit kasutades, ei ilmnenud usaldusväärseid EEG GFP erinevusi madal- ja kõrgsageduslike pildikomponentide teadvustamisel. Samas EEG-vastuste topograafiline analüüs GDISS meetodil näitas, et EEG-signaali generaatorite topograafias on erinevused hübriidpiltide madal- ja kõrgsageduslike kujutiste teadvustamise võrdlemisel. See erinevus tuleb esile ajalõigus 124-143 ms pärast hübriidpildi esitamist. Kui teadvustatakse LSF pildikomponenti, ilmneb EEG-potentsiaali suurem negatiiviseerumine vasaku poolkera tsentro-frontaalsetelt elektroodidelt mõõdetuna. Kui teadvustatakse HSF pildikomponenti, ilmneb kuklasagara elektroodidelt mõõdetuna suurenenud potentsiaali negatiivsus. Oluline on märkida, et kuna nende erinevate tulemuste puhul oli tegemist samade füüsiliste stiimulpiltidega, siis saadud erinevused EEG-signatuurides on tõlgendatavad subjektiivsete tajueelistuste neurokorrelaationena. Kallutus kogeda pigem madalsageduslikku („robustset“, jämedakoelist) tajumust seostub aju eesmistest piirkondadest mõõdetud EEG-signaali varieeruvusega ning kalduvus kogeda pigem kõrgsageduslikku (peeneteralist, detailset) tajupilti seostub kuklasagaralt mõõdetud aktiivsuse variatiivsusega. Kui spekuloida, et kasutusel olnud analüüsi puhul elektroodide asukoht viitab ka vastavate ajuprotsesside lokaliseerimisele, siis saame oletada, et jämedakoelisem, üldistatum tajukategooriate teadvustatud töötlus tugineb otsmikusagaras toimuvatele protsessidele, samas kui peenekoeline nägemistaju eeldab tugevat esmaste ja nendega piirnevate nägemiskeskuste piisavalt suurt aktiivsust. See tulemus sobib hästi Bar (2003) pakutud (ja hiljem palju uuritud) raamistikuga.

Teise uurimisküsimusega seoses tuleb tõdeda järgmist. Küsiti, millal tulevad esile erinevused tajutud kategooriate vahel, eeldades, et teatud hetkeni ei esine erinevusi ajuprotsessides nende katsekordade vahel, kui nähakse kõrg- või madalsageduslikke pilte, kuna mõlemat sorti informatsioon on kätketud samasse füüsilisse stiimulisse ja on alati olemas närvisüsteemis juba enne pildi teadvustamist. Seejärel aga oletatavasti jõuab informatsioonitöötlus kriitilise hetkeni, mil üht liiki informatsioon (LSF või HSF) saavutab ülekaalu teise suhtes. Seega kategoriaalsed erinevused nähtud piltide vahel peaksid esinema hiljem kui erinevused kõrg-

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

või madalsageduslike nähtud piltide vahel. Tulemustest selgus, et ehkki GFP-analüüs ei andnud olulisi tulemusi, toetas GDISS-analüüs üldjoontes eelmainitud oletust: EEG-aktiivsuse topograafiad kategooriate võrdlustes ruum/loodus, ruum/linn, ja loodus/linn olidki erinevad ajavahemikes 170 – 341 ms pärast hübriidpildi esitamist. Seega kategooriaspetsiifilised protsessid on ajas aeglasemad kui häälestumine pigem jämedakoelisele kui peenekoelisele tajukujutisele. Huvitavaks erandiks oli see, et loodus- ja linnastseenidele vastusena EEG-aktiivsuse topograafiates ilmnes erinevus juba ajavahemikus 21-58 ms pärast pildi esitamist. On tõenäoline, et selline väga kiire eristumine tugineb mingitele kujutise füüsiliste tunnuste n-järku statistikutele, mis iseloomustavad tüüpilisi loodus- ja linnastseene ja mille töötlus leiab aset või algab juba varajastel infotöötuse etappidel (Simoncelli & Olshausen, 2001). Selline varajane efekt võib olla seotud ka erinevustega stiimulieelses aktiivsuses.

Kuidas paiknevad saadud tulemused teadvuseuringute kontekstis üldisemalt ning tajuuuringute andmete valguses konkreetsemalt? Käesoleva töö üldisemaks eesmärgiks oli EEG abil uurida kujutiste HSF-le ja LSF-le tuginevat teadvustamise dünaamikat ajas, lähtudes teadvuseuringute kontrastiivanalüüsi metodoloogiast (Aru jt, 2012). Kui maskeerimiskatsetes või kiire järjestikuse esituse katsetes on probleemiks mitme sisendstiimuli puhul igale stiimulile omaste EEG-vastuste eristamine (Bachmann, 2009), siis käesoleva töö eelis seisnes selles, et esitati vaid üks kujutis, mille interpretatsioonivariandid tulenesid ühel või teisel moel pildi teadvustamisest tajusüsteemi abil. Seega EEG/ERP signatuurid, mis näitavad erinevusi erinevate teadvustamisvariantide korral on ühtlasi ka märgid erineva sisuga teadvuskogemuse neurokorrelaatide mõjust, mis on vaba stiimulite füüsiliste erinevuste poolt tekitatud segavatest mõjudest (Bachmann, 2009). Märgatavaim erinevus kujutise ruumispektri eelistajumise osas tuli esile ajavahemikus 124-143 ms pärast stiimuli esitamist ning kategoriseerimise erinevus hilisematel etappidel (170 ms ja hiljem). Samas aga ei aita käesolev töö lahendada küsimust sellest, kas tegemist on signatuuridega teadvustamise neurokorrelaatidest, mis eelnevad reaalses teadvustamisele endale, või on otseselt teadvuskogemuse aluseks selles mõttes, et esinevad ainult ja üksnes neil ajahetkedel, kui inimene parajasti subjektiivselt taju läbi elab (Aru jt, 2012).

Siinne töö on seotud äratundmis- ja kategoriseerimisülesannete uurimissuunaga, mille ajakohasust ja olulisust on hiljuti rõhutanud mitmed uurijad (Schyns & Oliva, 1994; Oliva &



## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

Schyns, 1997). Kui skaala osatähtsust ja seda, kuidas erinevad skaalad mõjutavad kättesaadava informatsiooni laadi on laialdaselt uuritud (Burt & Adelson, 1983; Lindeberg, 1993; Oliva & Schyns, 1997), siis seda, kuidas identse objekti (ühe ja sama näiteks näo, objekti või stseeni) kategoriseerimiseks skaalasad kasutatakse on oluliselt vähem uuritud. Eriti oluline oleks teada, kuivõrd algelist või detailset informatsiooni on vaja erinevate kategooriate analüüsiks/teadvustamiseks (näitkes tubased stseenid v. linnapilt) (Oliva & Schyns, 1997). Kuna ühe ja sama kujutise jämedakoelise ja peendetailse aspekti töötlus kulgeb erineva kiirusega (Navon, 1977; Bachmann, 1991; Parker jt., 1992), siis võivad eristamiseks optimaalsed ajaetapid sõltuda sellest, milline on mingi kategooria objektide/stseenide defineeriv, tüüpiliselt tunnuslik informatsioon. Meie tulemustest toetavad sellist seisukohta ajalised erinevused äratundmiseks optimaalse EEG-vastuse ajavahemike väärtustes erinevate kategooriate puhul ja looduse/linna stseenide tajumisel väga varajane neid kategooriaid eristav epohh (21-58 ms).

Eelkirjeldatud „diagnostilise äratundmise raamistik“ võimaldab uurida katseisiku tajuülesande informatsiooniliste nõudmiste ning tajule stiimulist kättesaadava informatsiooni koosmõjusid ning pakub välja üldise lähenemise seletamiseks inimese ülesandesooritust nägude, objektide ja stseenide kategoriseerimisel (Hill, Schyns & Akamatsu, 1997; Schyns, 1998, Peyrin jt, 2010). Siinesitatud katses oli ülesandeks ära tunda, millisesse kategooriasse pilt kuulub ilma valikulise eelhäälestuseta ühele kategooriale või kindlale füüsilisele tunnusele. On tõenäoline, et katseisikud lihtsalt jälgisid, milline pilt spontaanselt oma äratuntaval kujul teadvustub ning seejärel raporteerisidki vastava kategooria. Sõltumata sellest, millised on konkreetselt need ruumilise spektri tunnused, millele isikud tuginesid, saame öelda, et arvatavasti on neid tunnuseid kategoriseerimiseks kasutavad protsessid aeglasemad kui esmased madalat ja kõrget ruumisagedust eristavad protsessid, kuna viimaste jaoks kriitiline epohh oli varajasem kui esimeste jaoks.

Peyrin jt (2010) uuring näitas fMRI andmetele tuginedes LSF > HSF tunnuste töötlemisjärjekorra puhul (võrreldes HSF > LSF järgnevustega) suurenenud aktiivsust vasakpoolses prefrontaalses ajukoos ja vasakpoolses keskmises temporaalkoores, mis pole käesoleva uuringu tulemustega vastuolus.

Semantiliste protsesside aktiveerumine ülalmainitud ajupiirkondades võib olla eriti asjakohane stseenide sobitamise ülesande korral, sest see nõudis kahe järjestikuse visuaalse

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

stseeni kategooria nii mälust kättesaamist kui ka säilitamist (Peyrin jt, 2010). Orbitofrontaalse koore aktivatsioon võib olla seotud teiste visuaalse äratundmise aspektidega, mis põhinevad pigem määlul või motivatsioonilistel või afektiivsetel assotsiatsioonidel (Barrett & Bar, 2009; Peyrin jt, 2010) kui semantilistel representatsioonidel. Kuigi Peyrin jt (2010) pakuvad uusi tõendeid LSF sisendite kiire töötuse ja tähtsustamise kohta frontaalsetes ja temporaalsetes semantilistes võrgustikes, on vaja edasisi uuringuid, et teha kindlaks, kas erinevad katsetingimused võivad hõlmata teisi frontaalseid piirkondi. On teada, et ajukoore alad, mis saavad tagasisidet ülalt-alla suunatud võrgustikust, võivad ulatuda tervesse ventraalsesse visuaalsesse juhtetesse, sealhulgas mitte ainult alumisse ja lateraalsesse temporaalkoore (Hamker, 2005; Moore jt., 1998, Peyrin jt, 2010), vaid ka varasematesse visuaalsetesse aladesse (Hupe jt, 2001, Peyrin jt, 2010). Tõsiasi, et ka oksipitaalpiirkonnast registreeritud aktiivsus meie katses näitas varieeruvust sõltuvalt teadvustatava pildi ruumiskaalast sobib üldjoontes selle ettekujutusega.

Temporaal-parietaalne liitmik on olulisel määral seotud tähelepanu suunamisega visuaalsetele stseenidele ja selle tähelepanu alalhoidmisega (Yamaguchi, Yamagata, & Kobayashi, 2000; Fink jt, 1996; Robertson, Lamb, & Knight, 1988; Peyrin jt 2010). Peyrin jt (2010) väitel võib ka see piirkond aidata kaasa madalamates visuaalsetes alades aset leidvate tajuliste protsesside ülalt-alla moduleerimisele. Fakt, et oksipitaalne aktivatsioon võib tekkida pärast kõiki teisi allikaid, mis asuvad frontaalsetes ja parietaalsetes alades, pakub otseseid tõendeid selliste mudelite toetuseks (Bullier, 2001; Peyrin jt 2010), mis väidavad, et inimese primaarne visuaalne ajukoor võib töötada piirkonnana, millele kõrgema taseme alad saavad avaldada moduleerivat mõju, et soodustada stseenide äratundmiseks vajaliku olulise informatsiooni selekteerimist (Peyrin jt 2010). Neid võimalusi oleks tulevikus otstarbekas uurida, kombineerides käesoleva töö meetodeid TMS mõjutustega vastavatele ajukoore piirkondadele.

Üldine ettekujutus meile relevantsest töötlussüsteemist lubab väita, et madalsageduslikud signaalid võivad kiirelt aktiveerida kõrgema taseme alasid ning seda esialgset „hõredat“ analüüsi võib täpsustada kõrgsageduslike signaalide edasine töötus ajukoore visuaalsetes piirkondades (Peyrin jt, 2010). See pakub toetust uuematele nägemistaju mudelitele (Hegde, 2008; Bar, 2003; Bullier, 2001; Peyrin jt, 2010).

Lisaks teoreetilisele huvile on minu töös käsitletud küsimused ka praktilise väärtusega.

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

Saamaks teada, kuidas paremini luua algoritme, tarkvara ja masinaid, mis tulemuslikult, ökonoomselt ja täpsemini aitavad ära tunda ja liigitada objektide kujutisi turvasüsteemides, tunnistajate ütluste kogumisel kriminaalprotsessis, satelliidipiltidel vm, on kasulik eeskujuga võtta inimajust ja sellele tuginevast psüühilisest infotötlussüsteemist. Vastavate seaduspärasuste tundmine võimaldab eelmainitud rakendusvaldkondades saavutada paremaid tulemusi. Selles suunas tehtavate tööde jaoks on muuhulgas tähtis ka küsimus kujutiste HSF, LSF ning konfiguratsioonitunnuste töötlemise reeglitest.

## Kasutatud kirjandus

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

Bachmann, T. (1991). Identification of spatially quantised tachistoscopic images of faces: How many pixels does it take to carry identity? *European Journal of Cognitive Psychology*, 3(1), 87-103.

Bachmann, T. (2009). Finding ERP-signatures of target awareness: Puzzle persists because of experimental co-variation of the objective and subjective variables. *Consciousness and Cognition*, 18(3), 804-808.

Bachmann, T. (2000). Microgenetic approach to the conscious mind. Amsterdam: John Benjamins.

Bar, M. (2003). A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(4), 600-609.

Bar, M., Kassam, K.S., Ghuman, A.S., Boshyan, J., Schmid, A.M., Dale, A.M., Hämäläinen, M.S., Marinkovic, K., Schacter, D.L., Rosen, B.R., Halgren, E. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 103, 449-454.

Bar, M., Tootell, R., Schacter, D., Greve, P., Fische, B., Rosen, B., Dale, A. (2001). Cortical mechanisms of explicit visual object recognition. *Neuron*, 29, 529-535.

Barrett, L.F., & Bar, M. (2009). See it with feeling. Affective predictions during object perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 364, 1325-1334.

Biderman, I. (1995). Visual object recognition. In S.F. Kosslyn & D.N. Osherson (Eds.), *An invitation to cognitive science*, 121-165. Cambridge, MA: MIT Press.

Breitmeyer, B.G. (1984). Visual masking: An integrative approach. New York: Oxford University Press.

Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain Research Reviews*, 36, 96-107.

Burt, P., & Adelson, E.H. (1983). The laplacian pyramid as a compact image code. *IEEE Transaction on Communications*, 31, 532-540.

Enns, J.T. (2004). The thinking eye, the seeing brain. Explorations in visual cognition. New York: W.W. Norton & Co.

Fink, G.R., Halligan, P.W., Marshall, J.C., Frith, C.D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R.J. (1996). Where in the brain does visual attention select the forest and the trees? *Nature*, 382, 626-628.

Hamker, F.H. (2005). The re-entry hypothesis: The putative interaction of the frontal eye field, ventrolateral prefrontal cortex, and areas V4, IT for attention and eye movement. *Cerebral Cortex*, 15, 431-447.

Harmon, L.D., & Julesz, B. (1973). Masking in visual recognition: effects of two-dimensional filtered noise. *Science*, 180, 1194-1197.

Hegde, J. (2008). Time course of visual perception: Coarse-to-fine processing and beyond. *Progress in Neurobiology*, 84, 405-439.

Hill, H., Schyns, P.G., & Akamatsu, S. (1997). Information and viewpoint dependence in face recognition. *Cognition*, 62, 201-222.

Hupe, J.M., James, A.C., Girard, P., Lomber, S.G., Payne, B.R., Bullier, J. (2001). Feedback connections act on the early part of the responses in monkey visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 85, 134-145.

Lindeberg, T. (1993). Detecting salient blob-like image structures and their spatial scales with a scale-space primal sketch: A method for focus-of-attention. *International Journal of Computer Vision*, 11, 283-318.

McCarthy, G., & Wood, C.C. (1985). Scalp distributions of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 203-8.

Morrison, D.J., & Schyns, P.G. (2001). Usage of spatial scales for the categorization of faces, objects, and scenes. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8 (3), 454-469.

Moore, T., Tolias, A.S., & Schiller, P.H. (1998). Visual representations during saccadic eye movements. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 95, 8981-8984.

Mu, T., & Li, S. (2013). The neural signature of spatial frequency-based information integration in scene perception. *Experimental Brain Research*, DOI 10.1007/s00221-013-3517-1.

Murray, M.M., Brunet, D., & Michel, C.M. (2008). Topographic ERP analyses: a step-by-step tutorial review. *Brain Topography*, 20, 249-264.

Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.

Oliva, A., & Schyns, P.G. (1997). Coarse blobs or fine edges? Evidence that information diagnosticity changes the perception of complex visual stimuli. *Cognitive Psychology*, 34, 72-107.

Parker, D.M., Lishman, J.R., & Hughes, J. (1992). Temporal integration of spatially filtered visual images. *Perception*, 21, 147-160.

Peyrin, C., Michel, C.M., Schwartz, S., Thut, G., Seghier, M., Landis, T., Marendaz, C., &

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

Vuilleumier, P. (2010). The neural substrate and timing of top-down processes during coarse-to-fine categorization of visual scenes: a combined fMRI and ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22 (12), 2768-2780.

Riesenhuber, M., & Poggio, T. (1999). Hierarchical models of object recognition in cortex. *Nature Neuroscience*, 2, 1019-1025.

Robertson, L.C., Lamb, M.R., & Knight, R.T. (1988). Effects of lesions of temporal-parietal junction on perceptual and attentional processing in humans. *Journal of Neuroscience*, 8, 3757-3769.

Rotshtein, P., Vuilleumier, P., Winston, J., Driver, J., & Dolan, R. (2007). Distinct and convergent visual processing of high and low spatial frequency information in faces. *Cerebral Cortex*, 17, 2713-2724.

Schyns, P.G (1998). Diagnostic recognition: Task constraints, object information and their interactions. *Cognition*, 67, 147-179.

Schyns, P.G., & Oliva, A. (1994). From blobs to boundary edges. Evidence for time and spatial scale dependent scene recognition. *Psychological Science*, 5, 195-200.

Simoncelli, E.P., & Olshausen, B.A. (2001). Natural image statistics and neural representation. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 1193-216.

Sinha, P. (2002). Recognizing complex patterns. *Nature Neuroscience Supplement*, 5, 1093-1097.

Yamaguchi, S., Yamagata, S., & Kobayashi, S. (2000). Cerebral asymmetry of the “top-down” allocation of attention to global and local features. *Journal of Neuroscience*, 20, RC72.

## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorrelaadid

### Tänuõnad

Suur tänu magistritöö juhendatele Talis Bachmannile ja Renate Rutikule osutatud abi ning katse läbi viimiseks vajaliku programmi kirjutamise eest. Tänan kõiki katses osalenud inimesi. Oma panuse katse läbiviimisel ja töö analüüsil on andnud Jaan Aru ja Anu Einberg – tänan teid abi eest.

Kristel Uibo



## Kõrg- ja madalsageduslike piltide tajukorraaadid

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Kristel Uibo

(sünnikuupäev: 01.08.1977)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose KÕRG- JA MADALSAGEDUSLIKE PILTIDE TAJUKORRELAADID, MÕÕDETUNA EEG-GA,

mille juhendaja on Talis Bachmann, PhD ja kaasjuhendaja: Renate Rutiku, Psych Diploma,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu alates 05.24.2013 kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tallinnas, 24.05.2013