

Tartu Ülikool  
Sotsiaalteaduskond  
Psühholoogia instituut

Siim Erik Taras

KAS TAHTLIK TÄHELEPANU SUUNAB AJALISE SAGEDUSE SELEKTSIOONI  
NÄGEMISTAJUS?

Magistritöö

Juhendajad: Richard Naar (MSc), Andero Uusberg (PhD)

Läbiv pealkiri: Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

Tartu 2024

## **Kas tahtlik tähelepanu suunab ajalise sageduse seleksiooni nägemistajus?**

### **Kokkuvõte**

Praeguse teaduskirjanduse kohaselt suudab tähelepanu selekteerida objekte näiteks värvuse, suuruse ja liikumiskiiruse alusel, kuid on tunnuseid, mis on võimalikud kandidaadid sellesse nimekirja (Wolfe & Horowitz, 2017). Ühe sellise tunnuseks on pakutud (Spalek et al., 2009) visuaalsete objektide muutumiskiirust ajas ehk ajalist sagedust. Kuigi ajaline sagedus on tunnus, mis tõmbab automaatset tähelepanu, siis pole varem uuritud kas see suunab ka tahtliku tähelepanu seleksiooni. Selle uurimiseks viidi läbi kahe alternatiiviga sundvaliku katse (N=39), kus tuli tuvastada kontrastimuutus madala ja kõrge sagedusega vilkuvates stiimulites. Eelneva vihjega juhiti katseisiku tähelepanu madalamale või kõrgemale sagedusele. Tahtliku tähelepanu mõju hindamiseks analüüsiti sundvaliku katse vastuseid ja vilkumisega seotud EEG potentsiaale (SSVEP) nägemispiirkonnas. Käitumuslike tulemuste põhjal leiti, et tähelepanu sihtstiimuli sagedusele viimine parandas kontrastitundlikkust oluliselt ainult kõrgema sageduse puhul. Vilkumispotentsiaalide amplituude tähelepanu ümberhäälestamine oluliselt ei võimendanud.

**Märksõnad: ajaline sagedus, ülalt-alla tähelepanu, vilkumispotentsiaalid**

## **Does top-down attention guide temporal frequency selection in vision?**

### **Abstract**

According to current scientific literature, attention can select objects based on features such as color, size and movement speed (Wolfe & Horowitz, 2017). Additional features such as temporal frequency – the rate of change of a visual object over time – have also been proposed (Spalek et al., 2009). Although temporal frequency guides bottom-up attentional selection, its role in top-down attentional selection remains unexplored. To investigate this, a two-alternative forced choice experiment (N=39) was conducted, in which participants had to detect a contrast change in stimuli flickering at either lower or higher frequency. In the task, participant' attention was cued to either lower or higher frequency. To estimate the magnitude of top-down attention, analyses were performed on responses to the two-alternative forced choice experiment and on flicker-induced potentials (SSVEP) in the visual cortex. Behavioural results indicated that attentional tuning significantly improved contrast sensitivity only for the higher frequency, yet did not significantly increase SSVEP amplitudes in the cortex.

**Keywords: temporal-frequency, top down attention, steady-state visual evoked potentials**

## Sissejuhatus

Inimese nägemisväljas asub korraga arvukalt eristatavate omadustega objekte, rohkem kui suudame korraga täielikult töödelda, tekitades vajaduse sissetuleva info selekteerimiseks. Märkimisväärset osa sellest selektsioonist suunab tähelepanu. Näiteks võime liiklusolukorras esmalt märgata liiklusmärki, siis jalakäijat ja seejärel pargitud autot, kuid mitte neid kõiki ühel ajahetkel korraga (Rosenholtz et al., 2012). Tähelepanu selektiivsus tuleb eriti ilmekalt esile tuntud tähelepanupimeduse eksperimendis, kus katseisikutel palutakse üles lugeda, mitu söötu annavad omavahel valgetes särkides mängijad. Ülesande teeb keerukamaks, et samal mänguväljakul söödavad palli ka mustades särkides mängijad. Video kestel ilmub mängijate vahele gorillakostüümis inimene, kes lehvitab kaamera poole ning seejärel jalutab minema. Ligikaudu pooled katseisikud on valgetes särkides mängijate jälgimisele (ja mustades särkides mängijate eiramisele) nii keskendunud, et ei pane ebatavalise musta kogu ilmumist isegi mitte tähele (Simons & Chabris, 1999). Eelnev on heaks illustratsiooniks sellest, et tähelepanu võib mõista kui selektiivset protsessi. Selekteerimise vajadust on selgitatud asjaoluga, et ajule infotöötluks saadaolevad ressursid on piiratud (Lennie, 2003). Piiratud ressursside hüpoteesi (Desimone & Duncan, 1995) toetavad fMRI uuringute tulemused (Tootell et al., 1998; Beck & Kastner, 2005, 2009), mis näitavad, et tähelepanu pööramisel objektile suureneb aktiivsus vastavas ajupiirkonnas ning samaaegselt väheneb aktiivsus ülejäänutes. Tähelepanu ümberjagamise tulemusel tundlikkus fookuses oleva objekti või omaduse suhtes tüüpiliselt suureneb ning tähelepanu alt välja jäänute suhtes väheneb (Baldassi & Burr, 2000; Pestilli & Carrasco, 2005). Puudub aga täielik nimekiri omadustest, mida tähelepanu visuaalsete objektide selekteerimiseks kasutab. On teada, et tähelepanu suudab selekteerida näiteks värvuse, suuruse ja liikumiskiiruse alusel, kuid on tunnuseid, mis on võimalikud kandidaadid sellesse nimekirja (Wolfe & Horowitz, 2017). Ühe sellise tunnusena on pakutud (Spalek et al., 2009) visuaalsete objektide muutumiskiirust ajas ehk ajalist sagedust (*temporal frequency*), kuid puudub teadmine, kas tunnus suunab üksnes automaatset tähelepanu või allub ka tahtliku tähelepanu selektsioonile.

## Tähelepanu suunamine

Üks viis tähelepanu suunamist mõista on jagada see välimiseks ja sisemiseks. Välimise puhul muudab inimene silmaliigutustega seda, millist osa keskkonnast töödeldakse oma nägemisala keskmise ning kõige tundlikuma osa (foovea) abil. Sisemise puhul suunab inimene oma tähelepanu

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

keset varjatult ilma silmaliigutusteta. Mõlemal juhul peegeldab tähelepanu juhtimine vaimsete ressursside jagamise kooskõlastamist oma eesmärkidega, kuid ühtede eesmärkide saavutamiseks on optimaalseim üks ja teiste jaoks teine tähelepanu suunamise strateegia (Rayner, 1992). Näiteks oleneb autojuhtimise edukus mitme harali asuva objekti (jalakäija, teised autod, teeperv) märkamisest. Sellises olukorras on optimaalseim kohandada tähelepanu fookust sisemiselt ja muuta välise tähelepanu keset ehk silmade asukohta vaid olukorras, kus perifeerse nägemise tundlikkusest ei piisa (näiteks juhatusmärgi lugemiseks), kuid arvestusega, et see võib põhjustada pimeduse teiste nägemisväljas paiknevate objektide suhtes.

Tähelepanu suunamine võib olla nii automaatne (alt-üles töötlus) kui tahtlik (ülalt-alla töötlus). Tahtliku otsingu puhul suunab inimene oma tähelepanu sihilikult, kooskõlas mõne otsingueesmärgiga (Muller & Rabbitt, 1989). Tahtlikku otsingut võib mõneti võrrelda interneti otsingumootori kasutamisega, kus etteantud märksõnade põhjal leitakse neile sõnadele vastav sisu. Inimese tähelepanu kasutab visuaalse otsingu suunamiseks märksõnade asemel tunnuseid, mille põhjal leitakse üles huvipakkuvad objektid (Wolfe & Horowitz, 2004). Otsides mõnd objekti tunnuste põhjal suureneb tundlikkus kõigi objektide suhtes mis seda tunnust jagavad ja seda ka väljaspool pilgu keskohta. Näiteks kui avame riidekapi, et leida üles sinine pluus, märkame paremini ka siniseid pükse ja siniseid sokke (Jacobs et al., 2012; Sàenz et al., 2003). Kuid tunnused võivad tähelepanu suunata ka tahtest sõltumata, automaatselt. Näiteks vaadates roheliste õuntega täidetud korvi, märkame koheselt sinna pistetud punast õuna. Erindi tuvastamine ei nõua teadlikku tähelepanu suunamist ja selle efektiivsus ei sõltu oluliselt nägemisväljas olevate objektide arvust.

Kõiki tähelepanu suunavaid tunnuseid pole välja selgitatud. Wolfe'i ja Horowitzi (2017) lähenemise kohaselt kuuluvad vaieldamatult nende tunnuste hulka värvus, liikumine, orientatsioon ja suurus (mis hõlmab endas pikkust, laotustihedust ja näivat suurust) (Wolfe & Horowitz, 2017). Varasemad uuringud on näidanud, et objekti muutumissagedus ajas on tunnus, mis haarab automaatselt tähelepanu (Spalek et al., 2009). Varasemalt arvati, et kõrgema ajalise sagedusega objektid tõmbavad paremini tähelepanu kui madalama ajalise sagedusega, kuid nüüdseks on teada, et ajaline sagedus käitub automaatse tähelepanu suunamise mõttes nagu teised tähelepanu juhtivad tunnused. See tähendab, ka ajalise sageduse tähelepanu juhtiv toime sõltub suhtelisest erinevusest teistest nägemisalas olevatest objektidest. Ajalise sageduse mudeldamiseks kasutatakse erineva sagedusega vilkumist. Kõrgema ajalise sagedusega objekt tõmbab tähelepanu keset aeglasemalt

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

vilkuvaid stiimuleid ning vastupidi (Cass et al., 2011). Kuna erinevus vilkumissageduses tõmbab automaatselt tähelepanu sarnaselt teiste tähelepanu juhtivatele tunnustele, siis Spalek jt (Spalek et al., 2009) arutluse kohaselt võib vilkumist pidada primitiivseks tunnuseks, mida võiks ka Wolfe'i ja Horowitz'i (2004) liigituse alusel tähelepanu suunavaks tunnuseks pidada. Sellele vaatamata ei ole teooria autorite viimastes käsitlustes vilkumise staatus muutunud (Wolfe & Horowitz, 2017). Üheks põhjuseks võib olla, et kui teiste tähelepanu suunavate tunnuste puhul on demonstreeritud ka tahtliku tähelepanu selektsiooni (Maunsell, 2015; Maunsell & Treue, 2006), siis vilkumise puhul sellised tööd teadaolevalt veel puuduvad.

### **Tähelepanu uurimine SSVEP meetodiga**

Tahtliku tähelepanu mõju stiimuli töötlusele saab kvantifitseerida nii psühhofüüsikaliste kui psühhofüsioloogiliste vahenditega. Tüüpilises psühhofüüsikalises katses uuritakse katseisiku tajusüsteemi tundlikkust sõltuvalt sellest, kas tähelepanu on viidud uuritavale tunnusele või sellelt eemale. Sellistest katsetest teame näiteks, et katseisikud märkavad nägemisvälja keskosast väljaspool esitatud lävelähedast stiimulit tõenäolisemalt, kui selle laotustihedus või orientatsioon kattub tunnusega, mida nägemisvälja keskosas lahendatava ülesande jaoks tarvis läheb (Rossi & Paradiso, 1995).

Üheks levinuimaks tähelepanu uurimise psühhofüsioloogiliseks vahendiks on elektroentsefalograafia (EEG). Tüüpiliselt suurendab tähelepanu selekteeritud stiimulite EEG vastuse amplituudi ja vähendab selektsioonist välja jäänud stiimulite oma (Humphreys et al., 1998; Näätänen, 1975). Käesoleva töö kontekstis on huvipakkuvad vilkuva stiimuli poolt esile kutsutud kortikaalsed vastused EEG signaalis ehk vilkumispotentsiaalid (Andersen et al. 2011). Seda lähenemist on kutsutud ka sagedusega sildistamiseks (Norcia et al., 2015; Srinivasan et al., 1999), sest nii saab mitmele samaaegselt esitatud objektile anda justkui sildi, mis võimaldab nende objektidega seotud töötluse hilisemas analüüsis ära tunda ja ülejäänud signaalist lahku viia. Seda teadmist kasutades on saadud näiteks elektrofüsioloogilisi tõendeid, et tähelepanu viimine mingit liitunnust kandvale objektile, näiteks horisontaalse orientatsiooniga punane joon, võimendab kõigi neid tunnuseid kandvate objektide töötlust nägemisväljas, näiteks kasvatades nii horisontaalsete kui punaste objektide vilkumispotentsiaalide amplituudi (Andersen et al. 2011; Andersen et al., 2008). Võrrelduna teiste tähelepanu juhtivate tunnustega on vilkumiste uurimine

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

unikaalses positsioonis, sest tähelepanu selektsioonis osalev kriitiline tunnus on elektrofüsioloogia tasandil vaadeldav ilma, et tuleks uuritavat tunnust mõne täiendava omadusega sildistada.

### **Käesolev uuring**

Kuigi varasemast on teada, et ajaline sagedus suunab automaatse tähelepanu selektsiooni (Cass et al., 2011; Spalek et al., 2009), siis pole teada, kas ka tahtlik tähelepanu võib objekte ajalise sageduse alusel selekteerida. Selle küsimuse eksperimentaalseks uurimiseks viisime läbi kahe alternatiiviga sundvaliku katse, milles mõõdeti katseisikute kontrastitundlikkust olenevalt sellest, kas sihtstiimuli ajaline sagedus oli tähelepanu fookuses või mitte. Juhul kui selline selekteerimine on võimalik, peaks see suurendama tundlikkust tähelepanu fookuses oleva ajalise sageduse suhtes. Kui tahtlik tähelepanu peaks pakkuma kortikaalset võimendust erineval ajalisel sagedusel esitatud, kuid muude tähelepanu suunavate tunnuste poolest (värvus, liikumissuund, orientatsioon ja suurus) identsetele sisenditele ja selle käigus suurendama tähelepanu all oleva vilkumise resonantsi ajus, siis oleksid need teadaolevalt esimesed elektrofüsioloogilised tõendid, mis viitaksid tahtliku tähelepanu võimele visuaalseid sisendeid üksnes ajalise sageduse alusel selekteerida.

### **Autori panus**

Töö autor Siim Erik Taras oli magistritöö kirjutaja ning abistas juhendajaid töös kasutatud andmete kogumisel ja sellele eelnenud piloteerimisel.

## **Meetod**

### **Valim**

Uuringu lõpliku valimi moodustas 39 täisealist katseisikut (neist 10 meessoost, keskmine vanus 32, SD = 11,2). Üks katseisik jättis katse pooleli, mistõttu teda ei arvestatud lõplikku valimisse. Teise katseisiku vastamistäpsus jäi juhuslikule tasemele ja seetõttu ei arvestatud ka teda lõplikku valimisse. Osalemine oli vabatahtlik ning katseisikutele kinnitati enne alustamist, et nad võivad ükskõik mis põhjusel katse pooleli jätta. Uuringus osalemise eest puudus materiaalne preemia, bakalaureusetudengid said soovi korral katses osalemise eest kaks katsetundi. Katse viidi läbi 2023. aasta veebruarist maikuuni Tartu Ülikooli Psühholoogia Instituudis aadressil Näituse 2.

Katsesse kutsuti osalema Tartu Ülikooli Psühholoogia Instituudi kuulutustele mõeldud e-mali listi kaudu ning katse kutset jagati ka sotsiaalmeedias (Facebook). Enne registreerimist sai potentsiaalne osaleja tutvuda katse infoga ning täita eelküsimustiku Google Forms keskkonnas.

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

Eelküsimumustikus küsiti kõigepealt katseisiku vanuse ja soo kohta. Kuna uuringus esitati katseisikutele vilkuvaid stiimuleid, siis välistati küsimustiku vastuste põhjal inimesed, kellele need oleksid võinud põhjustada ebamugavust või terviseprobleeme. Täpsemalt välistati katseisikutena need, kes on igapäevaelus kogenud vilkumise tõttu häirivaid reaktsioone (peavalu, iiveldus) või kes on kogenud viimasel ajal suuri peavalusid või migreenidiagnoosid, sest teatud tüüpi migreeni puhul on suurem soodumus kogeda vilkumisest tingitud ebameeldivaid kõrvalmõjusid (Björk et al., 2011). Valimist jäid välja ka katseisikud, kes raporteerisid mõne neuroloogilise diagnoosi saamist (sh epilepsia, krambid, insult, ajuverejooks) või epilepsia esinemist endal või lähisugulaste hulgas (vanemad, õed-vennad), sest vilkumised võivad tekitada epilepsia hoo teatud tüüpi epilepsia korral (Harding et al., 2005). Kui katseisikud vastasid mõnele terviseprobleemi puudutavale küsimusele „jah“ siis ei saanud nad katsele end registreerida. Küsimustiku põhjal sobivad katseisikud said e-maili teel nõusoleku vormi, tutvustuse katsest ja võimaluse registreerida aeg Outlooki kalendris. Katse läbiviimine kooskõlastati Tartu Ülikooli Inimuuringu eetika komiteega (375M-4).

### **Mõõtevahendid**

Katses kasutati 24,5 tollist gammakalibreeritud LCD-monitori (119,982 Hz, 1600×900 pikslit). Aju elektrilist aktiivsust mõõdeti BioSemi 64 elektroodiga EEG komplektiga, mille mõõtesagedus seadistati 512 Hz peale. Näonahale kinnitati täiendavalt seitse lisaelektroodi, kaks oimudel ning üks vasaku silma all silmaliigutuste registreerimiseks, kaks kõrvalestadel taustamüra mõõtmiseks, ning kaks vasaku kulmu kohale kulmukortsutajalihase aktiivsuse mõõtmiseks. Katse valmistati ja esitati programmis PsychoPy (v2021.2.3) (Peirce et al., 2019).

### **Protseduur**

Katsed toimusid individuaalselt. Kohale jõudes paluti katseisikul uuesti tutvuda informeeritud nõusoleku lehega. Kui lugeja oli kinnitanud, et on tekstiga uuesti tutvunud, korraldati enne allkirja küsimist üle, et katses osalemine on vastunäidustatud neile, kel esineb ülitundlikkus vilkuvate ärritajate suhtes ning katse ajal esinevast halvast enesetundest paluti kindlasti märku anda. Lisaks seletati EEG protseduuri läbiviimise detaile ning üldist infot katse kohta. Katse kestis koos instrueerimisega ligikaudu 1 tund, millele lisandus elektroodide paigaldamine ja eemaldamine, soovi korral said katseisikud kasutada samal koridoril paiknevat duširuumi. Katseisikud said enne katset proovida, et ega neid katses esitatavate stiimulite vilkumine ei häiri,

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

lastes neil seda jälgida ligikaudu 1 minut. Kui katseisik oli andnud kinnituse, et vilkumised häirivalt ei mõjunud ja soovis katsega jätkata, paluti osalejal eemaldada kõrvalestadelt ehted, visata ära närimiskumm, eemaldada nutikell ja telefon välja lülitada või lennurežiimile seadistada. Kui katseisik kandis prille, siis paluti need ette panna. Katseisiku nägu puhastati lisaelektroodide piirkondades, et parandada EEG signaali kvaliteeti ning peale EEG mütsi paigaldamist lisati aukudesse elektrijuhtivusega geel. Peale seda paigaldati elektroodid ning paigutati katseisik istuma 70 cm kaugusele monitorist.

Katse alguses ja lõpus mõõdeti katseisikute puhkeseisundi EEG aktiivsust, mida käesoleva uurimuses raames ei analüüsitud. Pärast esimest puhkeseisundi mõõtmist alustati katse peamise osaga, mis algas instrueerivate slaididega. Instrueerimisel osales katse läbiviija, kes palus katseisikul peale slaidi lugemist seletada oma sõnadega kuidas ta instruksioonist aru sai ning vajadusel jagati täpsustusi ja vastati tekkinud küsimustele. Pärast katset ja teist baastaseme mõõtmist eemaldati elektroodid ning pakuti katseisikule võimalust pead pesta.

### **Katseseeria ülesehitus ja stiimulid**

Kogu katse vältel (va. pausid) kuvati ekraanile kaks üksteise peal paiknevat suurt siinusvõret, millest üks vilkus sagedusega 4 Hz ja teine 15 Hz. Nende taustavõrede eesmärgiks oli paisutada tähelepanu fookusest tingitud kallete mõju nägemispiirkonna aktiivsusele ja selle kaudu ka vilkumiste amplituudi EEG signaalis (Verghese et al., 2012). Kõigi võrede kontrast oli 20%. Kahe üksteise peal paikneva võre puhul oli ülemise võre läbipaistvus (Michelsoni kontrast, Kukkonen et al., 1993) alumise omast poole väiksem, et hoida mõlema võre kontrast sarnasena. Stiimuliteks oli neli väikest siinusvõret ( $2^\circ$ ), mida esitati taustavõrede peal paiknevasse halli ringikujulisse alasse (Joonis 1).

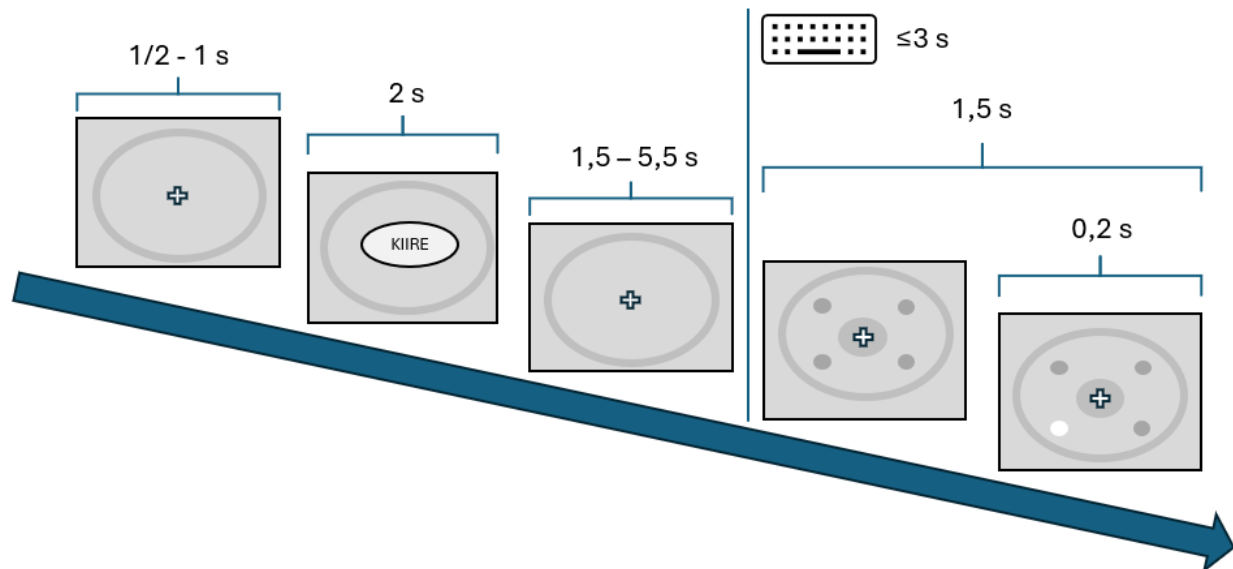


**Joonis 1.** Taustvõred ja stiimulid, kontrastimuutus (0,2 s) on näha vasakul ülemisel stiimulil.

Pooled esitatud võredest vilkusid madala (4 Hz) ja pooled kõrgema sagedusega (15 Hz). Täpsemalt kasutati vilkumise saavutamiseks siinusmoduleeritud mustri pööramist (*pattern reversal/counterphase modulation*). Teiste sõnadega ribad, mis olid alguses tumedad muutusid vastavalt stimulatsiooni sagedusele, kas 4 või 15 korda sujuvalt heledaks ja siis tagasi tumedaks. Pärast võrede ekraanile ilmumist, muutis üks võredest lühikeseks viivuks kontrasti. Katseisikute ülesanne oli pilku fikatsioonipunktil hoides klaviatuuriklahvi vajutuse abil raporteerida, kas see muutus toimus ekraani vasakul või paremal poolel. Pooltel seeriatel teadis katseisik sihtstiimuli ajalast sagedust ette ja pooltel mitte. Samal sagedusel vilkuvad võred paiknesid alati üksteise suhtes diagonaalis, et välistada olukord, kus kaks samal sagedusel vilkuvat stiimulit paikneksid samal pool ekraani (samal pool taustavõrede keskpunkti läbistavat mõttelist vertikaal- või horisontaaljoont). Võrede keskkohad ei paiknenud kunagi lähemal kui 35° fikatsioonipunkti läbistavale mõttelisele vertikaaljoonele, tagades, et esitatud võred paiknesid alati ühemõtteliselt vasakul või paremal ekraani poolel.

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

Igale seeriale eelnes juhusliku kestusega (0,5-1,5) seeriade vaheline aeg. Sellele järgnes vihje („kiire“, „aeglane“, „?“), mis ennustas sihtstiimuli sagedust ning see kuvati väikeses hallis ellipsis ekraanile alati 2 sekundiks. Vihjega koos täideti hall ala vastavalt tingimusele, kas kiire, madala või kiire ja madala sagedusega vilkumisega, et pakkuda katseisikutele vastuse valmispanemiseks sümbolilise vihje kõrval ka analoogset. Taustavõrede orientatsioon valiti igal seerial juhuslikult. Vihjete järel esitati ekraanile fikatsioonipunkt, mis tähistas vihje ja stiimuli vahele jääva ooteperioodi algust ja selle kestus varieerus juhuslikult 1,5-5,5 sekundi vahel. Fikseerimispunkt oli valge ja ajas paisuv, saavutades täissuuruse 2,4 sekundiga. Pärast ooteperioodi esitati taustavõre peal asuvasse halli alasse neli stiimulvõret, mille orientatsioon oli alati ortogonaalne taustavõredega. Juhuslikult 1/6 kuni 1 sekundit pärast stiimulite esitust toimus 0,2 sekundit kestev kontrastimuutus ühes neljast võrest (Joonis 2).

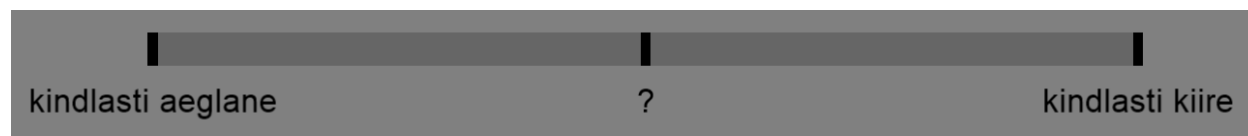


**Joonis 2.** Kahe alternatiiviga sundvaliku katse skemaatiline ülesehitus. Ühe esituse näide tingimuses, milles vihje suunas katseisikut häälestama tähelepanu kiirelt vilkuvatele stiimulitele.

Kontrasti muutuse määra uuendati igal esitusel, vastavalt katseisiku soorituse tasemele. Muutuse suuruse määramiseks kasutati Bayesi adaptiivset psühhomeetrist rutiini (QUEST), mis üritab pärast iga esitust hinnata katseisiku eristusläve, jõudes usaldusväärse hinnangueni umbes 40-50 esitusega (Kingdom & Prins, 2010; Peirce & MacAskill, 2018). Katses oli rutiin seadistatud

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

selliselt, et leiti iga tingimuse jaoks kontrasti tase, mille korral katseisikud annaksid ligikaudu 70%-l juhtudest korrektse vastuse. Tegelik üle kõigi katseisikute ja tingimuste arvutatud tabavusprotsent oli 76% (*Min = 68%, Max = 89%*). Erinevalt konstantsete stiimulite meetodist, kohandab QUEST rutiin katse raskustaset vastavalt katseisiku sooritusele. Selle eesmärk oli muuta katse raskusaste optimaalset väljakutset pakkuvaks olenemata individuaalsetest ja katsetingimustest tingitud erinevustest kontrastitundlikkuses. Peale stiimulite ekraanile ilmumist oli katseisikul aega kuni 3 sekundit, et vasaku või parema nooleklahviga märkida, kummal pool nad nägid kontrastimuutust toimuvat. Õige vastuse korral kõlas tagasisidena kõrge ja vale vastuse korral madal heli. Hoidmaks katseisiku tähelepanu küsiti aeg-ajalt (4 korda iga tingimuse kohta), milline vihje viimasena kuvati ning küsimusele sai vastata klõpsates hiirega skaalal, mille otspunktideks olid „kindlasti aeglane“ ja „kindlasti kiire“, märkides kindlust ühe või teise vihje suhtes. Puhkudel kui katseisik vihjet ei mäletanud või vihje puudus (vihjena esitati küsimärk), instrueeriti katseisikut kasutama skaala keskpunkti (Joonis 3).



**Joonis 3.** Katsealustelt küsiti kõigis katsetingimustes juhuslikult neli korda, millist sõnumit kandis viimati antud vihje. Kontrollküsimuse vastused registreeriti visuaal-analoog skaalal, mille otspunktideks olid „kindlasti aeglane“ ja „kindlasti kiire“.

Kokku oli katses neli tingimust (vihje ja vilkumise kiiruse kombinatsiooni):

- 1) Vihje: Kiire ja Sihtstiimul: Kiire
- 2) Vihje: Aeglane ja Sihtstiimul: Aeglane
- 3) Vihje: Küsimärk ja Sihtstiimul: Aeglane
- 4) Vihje: Küsimärk ja Sihtstiimul: Kiire.

Iga tingimuse kohta esitati kokku 65 seeriat. Katse kestel oli kuus puhkepausi, ühe ajal sisenes eksperimentaator katseruumi, veendumaks, et katseisik soovib katsega jätkata ja vajadusel vastas tekkinud küsimustele.

## EEG andmete eeltöötlus

EEG eeltöötlus viidi läbi matemaatiliste arvutuste tegemiseks mõeldud tarkvars MATLAB (R2023a, Mathworks, Inc.) vabavaralist EEG andmete analüüsimiseks mõeldud tööriistakasti EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004) ja selle tarbeks kirjutatud programmikoodi kasutades. Mürarikaste kanalite hulka arvati kõik need, mille puhul esines 5-sekundilisi või pikemaid katkestusi signaalis (EEGALB: *clean\_flatlines*). Need kanalid eemaldati hilisemast analüüsist. Ka kanalid, mille järsakus hälbis enam kui 8 standardhälvet kõigi elektroodide keskmisest, eemaldati analüüsist (EEGALB: *pop\_rejchan*). Lõplikesse analüüsisse kaasati viis oksipitaalset elektroodi: Pz, POz, Oz, O1 ja O2. Lõplikku analüüsi kaasatud viie elektroodi hulgast tuli kahe katseisiku puhul analüüsides välja jätta üks elektrood, jättes neil katseisikutel alles neli analüüsivat elektroodi. EEG andmete kvaliteedi tõttu ühtki katseisikut või seeriat ei eemaldatud. Pärast mürarikaste elektroodide eemaldamist lahutati elektroodide signaalist kõigi EEG elektroodide keskmine. Seejärel andmed filtreeriti (EEGALB: *pop\_eegfiltnew*) selliselt, et madalamaks ja kõrgemaks äralõikeks olid vastavalt 1 Hz ja 125 Hz.

Analüüsid teostati üksikseeriade eeltöödeldud andmetel nii, et esmalt leiti igale seeriale viie vaatlusaluse kanali aritmeetiline keskmine. Seejärel jaotati analüüsiv ajaaken (sõltuvalt seeriast 1,5-5,5 sekundit) ühe sekundi pikkusteks lõikudeks. Kõrgema signaali-ja-müra suhte saavutamiseks vihje kadumisega seotud sündmuspotsentiaali ehk ooteperioodi esimest poolt sekundit analüüsisse ei kaasatud. 1-5 ühesekundilist lõiku asetati kohakuti ja lõikudesse jaotatud andmete peal viidi läbi Fourier' teisendus (fft). Enne Fourier' väljundite sagedusamplituudideks teisendamist väljundid keskmistati, mille tulemuseks oli komplekskeskmine, mis alles seejärel teisendati ühe hertsise resolutsiooniga sagedusamplituudideks. Manipulatsioonikontrolli analüüsides leiti komplekskeskmine üle kõigi tingimuste ja põhianalüüsides üksikute seeriade tasandil. Saadud sagedusamplituudidele kohaldati signaali ja müra analüüsi, kus huvialuse sageduse amplituud jagati läbi selle kõrval paiknevate sageduste ( $\pm 1$  Hz) amplituudide ruutkeskmisega. Katses kasutati vilkumiste tekitamiseks mustri pööramist (*pattern reversal/counterphase modulation*), mille tsüklid on üksteise suhtes sümmeetrilised, mis viib paarisharmoniliste vastusteni ajus. Seetõttu analüüsitakse selles töös kummagi stimulatsioonisageduse esimest paarisharmoniaat ( $4 \times 2$  ja  $15 \times 2$ ) kui suurima amplituudiga sagedusspetsiifilisi vastuseid katses kasutatud vilkumistele (Norcia et al., 2015).

## Statistiline analüüs

Analüüsid viidi läbi vabavaralises statistika tarkvaras JASP (JASP Team, 2024). Töös uuriti kokku nelja segamudelit, mille sõltuvaks muutujateks olid katse üksikseeriatel registreeritud: katse juhiseid puudutava kontrollküsümuse vastus (manipulatsioonikontroll 1), kontrasti muutuse määr (põhitulemus 1), signaali-ja-müra suhe ooteperioodil uuritavatel sagedustel erineva tähelepanu fookuse tingimustes ning üle tingimuste keskmistatud ja ooteperioodil mõõdetud signaali-ja-müra suhe uuritavatel ja võrdlussagedustel (manipulatsioonikontroll 2). Esmalt teostati analüüsid tervikliku mudeliga, millesse olid juhuslike efektidena lisatud katseisiku-spetsiifilised vabaliikmed ning seosekordajad kõigi faktorite ja nende interaktsioonidega. Kui terviklik mudel ei konvergeerunud, siis vähendati mudeli kompleksust alates vähim panustanud juhuslikust efektist. Järgnevalt on toodud kõigi neljal analüüsil kasutatud mudeli struktuurid:

Manipulatsioonikontroll 1:

Kontrollküsümuse vastus  $\sim$  Vihje  $\times$  Sihtstiimuli sagedus + (1 | Katseisik),

Põhitulemus 1:

Kontrastimuutuse määr  $\sim$  Vihje  $\times$  Sihtstiimuli sagedus + (1 + Sihtstiimuli sagedus + Vihje | Katseisik),

Manipulatsioonikontroll 2:

Signaali-ja-müra suhe  $\sim$  Sihtstiimuli sagedus + (1 | Katseisik),

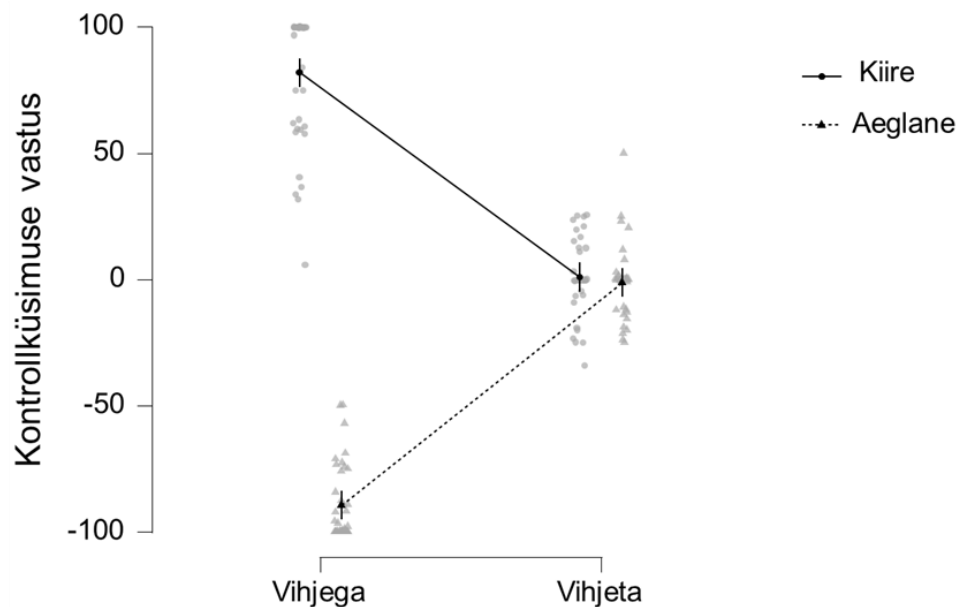
Põhitulemus 2:

Signaali-ja-müra suhe  $\sim$  Vihje  $\times$  Sihtstiimuli sagedus  $\times$  Aju vastuse sagedus (1 + Aju vastuse sagedus | Katseisik)

## Tulemused

### Psühhofüüsika

Katse juhendit puudutava küsimuse vastused võimaldasid hinnata, kas katseisikud pöörasid katse toimimise seisukohalt kriitilistele siltidele tähelepanu. Katsealustelt küsiti kõigis katsetingimustes juhuslikult neli korda, millist sõnumit kandis viimati antud vihje. Katseisikute vastused registreeriti visuaalanaloog skaalal, mille otspunktideks olid „kindlasti aeglane“ ja „kindlasti kiire“ (vt Joonis 3). Katseisikute keskmine hinnang aeglase vihje tingimuses oli -89 (95% CI: -95 kuni -83) ja kiire vihjega tingimuses 82 (95% CI: -76 kuni 87). Tingimuses, kus vihje (küsimärk) suunas katseisiku tähelepanu mõlemale sagedusel ehk vihje puudus, jäi katseisikute hinnang ootuspäraselt nende kahe hinnangu vahele (vt Joonis 4). Kui sihtstiimul oli kiire, oli keskmine hinnang 1,5 (95% CI: -4,2 kuni 7,2) ja samas tingimuses aeglase sihtstiimuli korral jäi samuti keskmine tulemus nulli lähedale -0,5 (95% CI: -6 kuni 5).



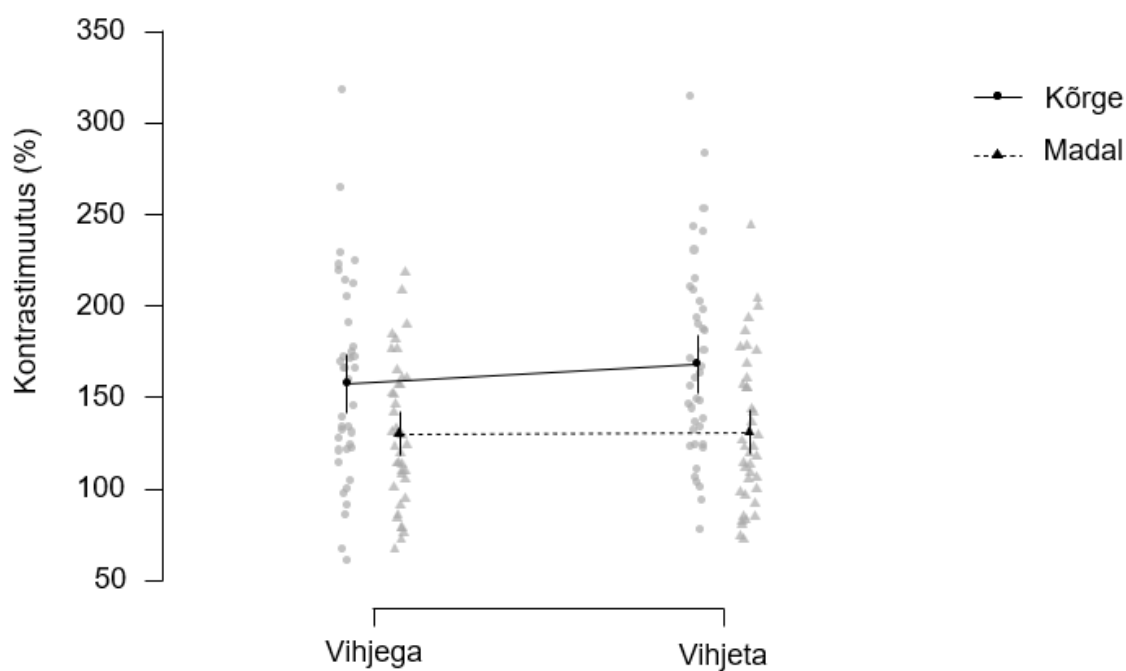
**Joonis 4.** Kontrollküsimusele antud vastused vihjega ja vihjeta tingimuses, aeglase ja kiire vihje puhul. Haarad tähistavad 95% usalduspiire. N = 39.

Testimaks, kas saadud tulemused on ka statistiliselt olulised viisin läbi lineaarse segamudelite analüüsi, kus sõltuvaks muutujaks oli kontrollküsimusele antud vastus ning sõltumatuteks muutujateks (fikseeritud ennustajateks) sagedus (kõrge, madal) ja vihje tüüp (tähelepanu ühele

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

sagedusele ehk vihjega, tähelepanu kahele sagedusele ehk vihjeta). Oluline sageduse pea-efekt ( $F(1,636) = 890, p = 0,001$ ) ning oluline sageduse ja vihje tüübi interaktsiooniefekt ( $F(1,636) = 848, p = 0,001$ ) viitab, et katseisikud mäletasid vastust andes vihje sisu. Vihje tüübi peaefekt ootuspäraselt oluliseks ei osutunud ( $F(1,636) = 2, p = 0,155$ ). Järeltest näitas, et kiirele sagedusele viitava vihje tingimuses olid katseisikute hinnangud oluliselt kõrgemad kui aeglase vihje tingimuses ( $p < 0,001$ ). Sealjuures olid kummaski tingimuses antud hinnangud vastavalt oluliselt kõrgemad või madalamad kui vihjeta tingimuses antud hinnangud ( $p < 0,001$ ). Vihjeta tingimuses antud hinnangud sagedusest ootuspäraselt ei sõltunud ( $p > 0,05$ ).

Järgnevalt uurisin, kas kontrastitundlikkus sõltus tähelepanumanipulatsioonist. Katses kuvati enne stiimuli ilmumist ja kontrastimuutuse toimumist vihje, mis suunas katseisikuid pöörama tähelepanu kiirele (15 Hz), aeglasele (4 Hz) või mõlemale sagedusele (Vihjeta). Oluliseks osutus sageduse pea-efekt ( $F(1,38) = 26, p < 0,001$ ). Oluliseks osutus ka vihje ja sageduse interaktsioon ( $F(1,3938) = 136, p = 0,001$ ).



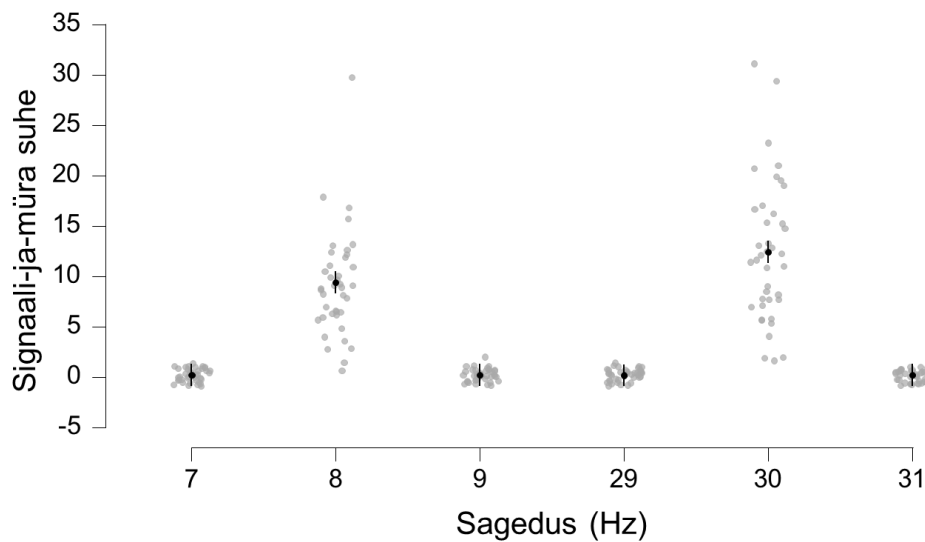
**Joonis 5.** 70% tabavuse saavutamiseks vajalik kontrastimuutuse määr vihjega ja vihjeta tingimuses, madala ja kõrge sihtstiimuli sageduse puhul. Haarad tähistavad keskväärtuste 95% usalduspiire. N=39.

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

Kõrges sageduses kasvatas vihje kontrastitundlikkust umbes 11%. Kui sihtstiimul oli kõrge sagedusega vilkuvate võrede hulgas, siis oli kontrastimuutuse 70% tabavusega tajumiseks vihjeta tingimuses vaja 168% (95% CI: 152 kuni 184) suurust kontrastimuutust, vihjega tingimuses piisas aga juba 157% (95% CI: 142 kuni 173) suurusest kontrastimuutusest (Joonis 5). Madala sageduse korral kasvatas vihje tundlikkust vaid ühe protsendi võrra. Vihjega tingimuses oli kontrastimuutuse määr keskmiselt 130 (95% CI: 118 kuni 142) ning vihjeta tingimuses vastavalt 131 (95% 119 kuni 142). Järeldest näitas, et kõrge sageduse puhul oli see erinevus statistiliselt oluline ( $p < 0,001$ ), kuid madala sageduse puhul mitte ( $p = 0,308$ ), mis selgitab ka fikseeritud ennustajate vahelist olulist interaktsiooni.

## Psühhofüsioloogia

EEG andmete puhul viisin esmalt läbi manipulatsiooni kontrolli. Selle eesmärk oli veenduda, et katses kuvatud vilkuvate stiimulite poolt esile kutsutud signaal on usaldusväärselt ajast väljaloetav (Joonis 6). Lineaarse segamudelite analüüsil saadi oluline sageduse pea-efekt ( $F(5,234) = 102$ ,  $p < 0,001$ ).

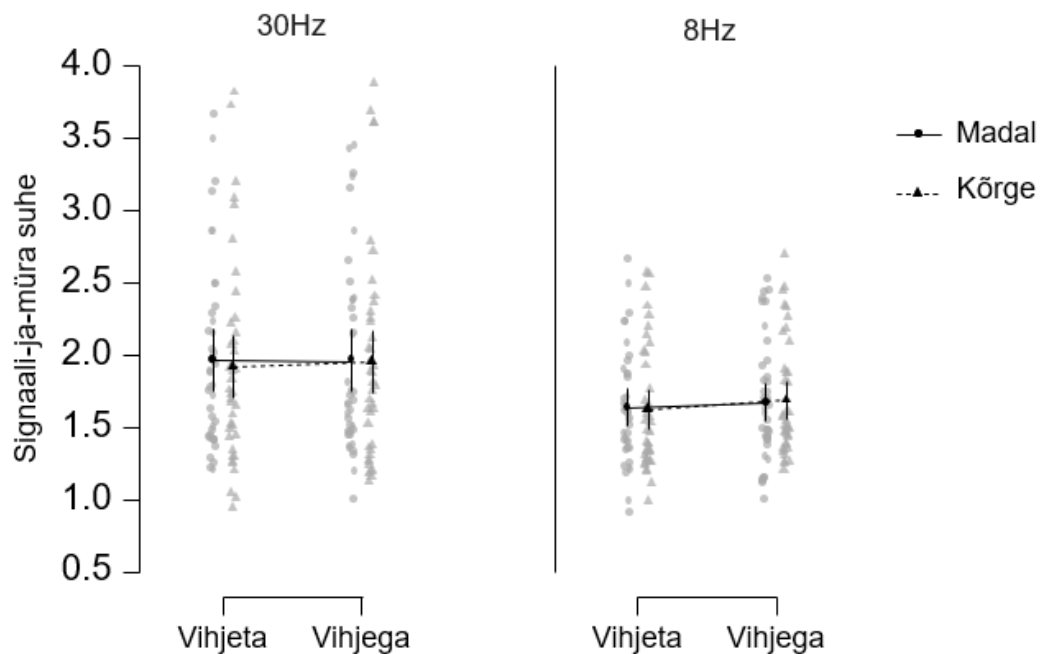


**Joonis 6.** Signaali ja müra suhe stiimulitele vastavatel sagedustel (8 ja 30 Hz) võrrelduna kõrval paiknevate võrdlussagedustega. Haarad tähistavad keskväärtuste 95% usalduspiire. N=39.

Aeglaselt vilkuvale stiimulile vastaval sagedusel (8 Hz) oli signaali ja müra suhe keskmiselt 9,4 (95% CI: 8,4 kuni 10,5) ning sellega kõrvuti asetsevatel 7 Hz sagedusel 0,19 (95% CI: -0,9 kuni

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

1,3) ja 9 Hz sagedusel 0,2 (95% CI: -0,9 kuni 1,3). Järeldest näitas, et 8 Hz sageduse ja sellega kõrvuti asetsevate sageduste erinevus oli statistiliselt oluline ( $p < 0,001$ ). Sama kehtis ka kiire sageduse puhul. Kiiresti vilkuvale stiimulile vastaval sagedusel (30 Hz) oli signaali ja müra suhe keskmiselt 12,4 (95% CI: 11,3 kuni 13,5), selle ümbruses asuval 29 Hz sagedusel 0,16 (95% CI: -0,9 kuni 1,3) ja 31 Hz sagedusel 0,17 (95% CI: -0,9 kuni 1,3). Järeldest näitas, et 30 Hz sageduse ja sellega kõrvuti asetsevate sageduste erinevus oli statistiliselt oluline ( $p < 0,001$ ). Statistiliselt oluliseks osutus ka madala ja kõrge sageduse omavaheline erinevus ( $p < 0,001$ ).



**Joonis 7.** Ooteperioodil registreeritud signaali ja müra suhe 30 Hz ja 8 Hz sagedustel katseisikute nägemispiirkonnas, vihjega ja vihjeta tingimuses, madala ja kõrge sihtstiimuli sageduse puhul. Haarad tähistavad keskväärtuste 95% usalduspiire. N=39.

Viimasena viidi läbi lineaarne segamudelite analüüs (Tabel 1), mille eesmärk oli välja selgitada kas tähelepanu erinevale ajalisele sagedusele häälestamine kasvatab fookuses oleva vilkumissageduse amplituudi esmase nägemispiirkonna kohal olevates EEG elektrootides. Oluliseks osutus ainult aju vastuse sagedus ( $p < 0,05$ ).

**Tabel 1.** Ooteperioodil registreeritud signaali ja müra suhte seos sihtstiimuli sageduse, eelnevalt kuvatud vihje ning aju vastuse sagedusega

	df	F	p
Sihtstiimuli sagedus	1; 20194	0,578	0,447
Vihje	1; 20194	3,002	0,083
<b>Aju vastuse sagedus</b>	<b>1; 38</b>	<b>4,729</b>	<b>0,036</b>
Sihtstiimuli sagedus × Vihje	1; 20194	0,725	0,395
Sihtstiimuli sagedus × Sagedus	1; 20194	0,657	0,417
Vihje × Sagedus	1; 20194	0,657	0,418
Sihtstiimuli sagedus × Vihje × Aju vastuse sagedus	1; 20194	0,018	0,892

**Märkus.** Mudeli parameetrite arvutamisel kasutati Satterthwaite meetodit. df – vabadusastmed

### Arutelu

Käesoleva uuringu eesmärk oli välja selgitada, kas tahtlik tähelepanu võib objekte ajalise sageduse alusel selekteerida. Selle küsimuse eksperimentaalseks uurimiseks läbisid katseisikud kahe alternatiiviga sundvaliku katse, milles uuriti kuidas eelnev tähelepanu viimine madalamale või kõrgemale ajalisele sagedusele mõjutab kontrastitundlikkust. Käitumuslikes tulemustes ilmnes, et tähelepanu eelnev ümberhäälestamine parandas kontrastitundlikkust kõrgema, kuid mitte madalama sageduse puhul. Kuna kontrollküsimustele antud vastused näitasid, et katseisikud pöörasid tähelepanu nii kõrge kui madala sagedusega seotud vihjele, siis ei saa see erinevus arvatavasti tuleneda asjaolust, et madalale vihjele pöörati vähem tähelepanu. Varasemad nägemisalaselised uuringud (Alais & Parker, 2012; Van De Grind et al., 2001) on viidanud, et ajalise sageduse jaoks eksisteerib nägemissüsteemis kaks teineteisest sõltumatut kanalit. Üks neist on spetsialiseerunud madalama sagedusega ning teine kõrgema sagedusega stiimulite töötlemisele. On võimalik, et katses ilmnenu erinevus kõrge ja madala sageduse vahel oli tingitud tahtliku tähelepanu erinevast mõjust eelnimetatud kanalitele.

Kuigi käitumuslikult suurendas tahtliku tähelepanu ümberhäälestamine kontrastitundlikkust kõrgema sageduse puhul, siis ooteperioodil mõõdetud sagedusspetsiifilistes ajuvastustes see ei peegeldunud. Kuna kontrollküsimusele antud vastused viitasid, et katseisikud pöörasid esitusele eelnenud vihjetele tähelepanu ning mõlema sagedusega stiimulitele vastavad vilkumispotentsiaalid olid usaldusväärselt väljaloetavad, siis võib tulemus tähendada, et ajaline

## Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

sagedus ei kuulu tahtlikku tähelepanu suunavate tunnuste hulka (Wolfe & Horowitz, 2017). Võimalik, et käitumuslikes tulemustes tuli erinevus ilmsiks seetõttu, et tahtliku tähelepanu selekteeriv mõju ajalise sageduse kontekstis saab avalduda vaid siis, kui seda vahendab mõni teine tunnus. Kontrastitundlikkust hinnati tingimuses, kus erineval sagedusel esitatud võred paiknesid ka ruumiliselt eraldi, mis võis selekteerimisele kaasa aidata. Ooteperioodil paiknesid erineval ajalisel sagedusel esitatud stiimulid samas ruumipiirkonnas, mistõttu ruumilise asukoha selekteerimist toetav mõju ei saanud avalduda.

Lõplikult ajalist sagedust tahtlikku tähelepanu suunavate tunnuste nimekirjast veel välistada ei saa, sest uuringul olid piirangud, mis võisid tulemusi mõjutada. Antud uuringus kasutati tähelepanu mõju kvantifitseerimiseks EEG meetodit, mis mõõdab ajukoore tasandil põhiliselt postsünaptilist ja väga kindla orientatsiooniga rakkude aktiivsust (Ombao et al., 2016). Peale selle on oluline ka mainida, et EEG elektrodid korjavad lisaks aju elektrilisele aktiivsusele üles ka muid signaale ning paratamatult tekib tulemustesse müra. Seega võis olla, et kasutatud meetod ei olnud käesolevas katses uuritud tähelepanu efektide registreerimiseks küllalt tundlik. Siinkohal saaksid tulevased uuringud läbi viia sarnase eksperimendi suuremal valimil või korrata katset osalejatel, kellel käitumuslikult tähelepanu efekt oli suurim. EEG asemel võib kasutada ka mõnda täpsemat meetodit nagu näiteks magnetentsefalograafia (MEG). MEG lained läbivad aju minimaalse moonutusega, andes sellele meetodile täpsuse ja üldistatavuse mõttes EEG-ga võrreldes eelise (Singh, 2014). On ka võimalik, et efekti tuvastamiseks pole tarvis meetodi vahetust. Antud uuringus analüüsiti esmase nägemispiirkonna (V1) kohal (Zeki et al., 1991) paiknevate tsentraalsete elektrodide elektrilist aktiivsust. Kuna ajaline sagedus on seotud liikumisega, siis võiks tulevastes uuringutes samu analüüse korrata mõnes teises nägemispiirkonnas, näiteks lateraalsed elektrodid liikumisinfot kodeeriva MT/V5 piirkonnas (Zeki, 2015).

Antud uuring oli esimene omalaadne katse uurida, kas tahtlik tähelepanu võimaldab selekteerida stiimuleid ajalise sageduse alusel. Katse käitumuslikud tulemused näitasid, et eelnev tähelepanu suunamine kõrgemale sagedusele parandas kontrastitundlikkust vastaval sagedusel vilkuvate sihtstiimulite puhul, kuid madalama sagedusega analoogne mõju puudus. Elektrofüsioloogiliste tulemuste analüüs näitas, et tähelepanu eelnev suunamine ei mõjutanud aju vastuse amplituute kummagi sageduse puhul. Tulevased uuringud võiksid korrata eksperimenti suurema valimi peal,

Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

kaasata analüüsisdesse liikumisega soetud nägemispiirkonnas asuvate elektroodide signaale või kasutada EEG asemel mõnd tundlikumat ajukuva meetodit.

### **Tänu sõnad**

Soovin tänada oma juhendajaid Richard Naari ja Andero Uusbergi panustatud aja, sisuka tagasiside ning kannatliku, toetava ja entusiastliku suhtumise eest töö valmimise vältel. Samuti soovin tänada professor Alex Wade'i katses kasutatud metodoloogia väljatöötamise panustamise eest. Inseneri Tiit Mogomi töö katseaparatuuri seadistamisel oli samuti hädavajalik antud töö valmimiseks. Lisaks soovin tänada kõiki katseisikuid nende panustatud aja eest.

### Kasutatud kirjandus

- Andersen, S. K., Müller, M. M., & Hillyard, S. A. (2011). Tracking the allocation of attention in visual scenes with steady-state evoked potentials. *Cognitive neuroscience of attention*, 2, 197-216.
- Alais, D., & Parker, A. (2012). Binocular rivalry produced by temporal frequency differences. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00227>
- Andersen, S. K., Hillyard, S. A., & Müller, M. M. (2008). Attention Facilitates Multiple Stimulus Features in Parallel in Human Visual Cortex. *Current Biology*, 18(13), 1006–1009. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.06.030>
- Baldassi, S., & Burr, D. C. (2000). Feature-based integration of orientation signals in visual search. *Vision Research*, 40(10–12), 1293–1300. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00029-8)
- Beck, D. M., & Kastner, S. (2005). Stimulus context modulates competition in human extrastriate cortex. *Nature Neuroscience*, 8(8), 1110–1116. <https://doi.org/10.1038/nn1501>
- Beck, D. M., & Kastner, S. (2009). Top-down and bottom-up mechanisms in biasing competition in the human brain. *Vision Research*, 49(10), 1154–1165. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.07.012>
- Bjørk, M., Stovner, L. J., Hagen, K., & Sand, T. (2011). What initiates a migraine attack? Conclusions from four longitudinal studies of quantitative EEG and steady-state visual-evoked potentials in migraineurs: EEG and steady-state visual-evoked responses in migraineurs. *Acta Neurologica Scandinavica*, 124, 56–63. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2011.01545.x>

Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

Cass, J., Van Der Burg, E., & Alais, D. (2011). Finding Flicker: Critical Differences in Temporal Frequency Capture Attention. *Frontiers in Psychology, 2*.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00320>

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. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2005.31305.x>

Humphreys, G. W., Duncan, J., Treisman, A., Hillyard, S. A., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention:

Electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 353*(1373), 1257–1270.

<https://doi.org/10.1098/rstb.1998.0281>

Jacobs, R. H. A. H., Renken, R., Aleman, A., & Cornelissen, F. W. (2012). The amygdala, top-down effects, and selective attention to features. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36*(9), 2069–2084. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.05.011>

JASP Team. (2024). *JASP (Version 0.18.3)[Computer software]*. <https://jasp-stats.org/>

Kingdom, F. A. A., & Prins, N. (2010). *Psychophysics: A practical introduction* (1. ed). Elsevier.

Kukkonen, H., Rovamo, J., Tiippana, K., & Näsänen, R. (1993). Michelson contrast, RMS contrast and energy of various spatial stimuli at threshold. *Vision Research, 33*(10), 1431–1436. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(93\)90049-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(93)90049-3)

Lennie, P. (2003). The Cost of Cortical Computation. *Current Biology, 13*(6), 493–497.

[https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(03\)00135-0](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(03)00135-0)

Maunsell, J. H. R. (2015). Neuronal Mechanisms of Visual Attention. *Annual Review of Vision Science, 1*(1), 373–391. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-082114-035431>

Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

Maunsell, J. H. R., & Treue, S. (2006). Feature-based attention in visual cortex. *Trends in Neurosciences*, 29(6), 317–322. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.04.001>

Muller, H. J., & Rabbitt, P. M. A. (1989). *Reflexive and Voluntary Orienting of Visual Attention: Time Course of Activation and Resistance to Interruption*.

Näätänen, R. (1975). Selective attention and evoked potentials in humans—A critical review. *Biological Psychology*, 2(4), 237–307. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(75\)90038-1](https://doi.org/10.1016/0301-0511(75)90038-1)

Norcia, A. M., Appelbaum, L. G., Ales, J. M., Cottareau, B. R., & Rossion, B. (2015). The steady-state visual evoked potential in vision research: A review. *Journal of Vision*, 15(6), 4. <https://doi.org/10.1167/15.6.4>

Ombao, H., Lindquist, M., Thompson, W., & Aston, J. (Eds.). (2016). Electroencephalography (EEG): Neurophysics, Experimental Methods, and Signal Processing. In *Handbook of Neuroimaging Data Analysis* (0 ed., pp. 215–242). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315373652-17>

Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, 51(1), 195–203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>

Peirce, J., & MacAskill, M. (2018). *Building experiments in PsychoPy*. Sage.

Pestilli, F., & Carrasco, M. (2005). Attention enhances contrast sensitivity at cued and impairs it at uncued locations. *Vision Research*, 45(14), 1867–1875.

<https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.01.019>

Rayner, K. (Ed.). (1992). *Eye Movements and Visual Cognition: Scene Perception and Reading*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2852-3>

- Rosenholtz, R., Huang, J., & Ehinger, K. A. (2012). Rethinking the Role of Top-Down Attention in Vision: Effects Attributable to a Lossy Representation in Peripheral Vision. *Frontiers in Psychology, 3*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00013>
- Rossi, A. F., & Paradiso, M. A. (1995). Feature-specific effects of selective visual attention. *Vision Research, 35*(5), 621–634. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)00156-G](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)00156-G)
- Sàenz, M., Buraças, G. T., & Boynton, G. M. (2003). Global feature-based attention for motion and color. *Vision Research, 43*(6), 629–637. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(02\)00595-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(02)00595-3)
- Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). *Gorillas in Our Midst: Sustained Inattentive Blindness for Dynamic Events*.
- Singh, S. (2014). Magnetoencephalography: Basic principles. *Annals of Indian Academy of Neurology, 17*(5), 107. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.128676>
- Spalek, T. M., Kawahara, J., & Di Lollo, V. (2009). Flicker is a primitive visual attribute in visual search. *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale, 63*(4), 319–322. <https://doi.org/10.1037/a0015716>
- Srinivasan, R., Russell, D. P., Edelman, G. M., & Tononi, G. (1999). Increased Synchronization of Neuromagnetic Responses during Conscious Perception. *The Journal of Neuroscience, 19*(13), 5435–5448. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-13-05435.1999>
- Tootell, R. B. H., Hadjikhani, N., Hall, E. K., Marrett, S., Vanduffel, W., Vaughan, J. T., & Dale, A. M. (1998). The Retinotopy of Visual Spatial Attention. *Neuron, 21*(6), 1409–1422. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80659-5](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80659-5)
- Van De Grind, W. A., P., V. H., M. J., V. D. S., & Verstraten, F. A. J. (2001). Slow and fast visual motion channels have independent binocular–rivalry stages. *Proceedings of the Royal*

Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

*Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1465), 437–443.

<https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1380>

Verghese, P., Kim, Y.-J., & Wade, A. R. (2012). Attention Selects Informative Neural Populations in Human V1. *Journal of Neuroscience*, 32(46), 16379–16390.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1174-12.2012>

Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). *What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it?*

Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, 1(3), 0058. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0058>

Zeki, S. (2015). Area V5—A microcosm of the visual brain. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnint.2015.00021>

Zeki, S., Watson, J., Lueck, C., Friston, K., Kennard, C., & Frackowiak, R. (1991). A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, 11(3), 641–649. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.11-03-00641.1991>

Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual review of neuroscience*, 18(1), 193-222.

Vilkumine ja tahtlik tähelepanu

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina,

SIIM ERIK TARAS,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa minu loodud teose

KAS TAHTLIK TÄHELEPANU SUUNAB AJALISE SAGEDUSE SELEKTSIOONI NÄGEMISTAJUS?,

mille juhendajad on RICHARD NAAR ja ANDERO UUSBERG,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Siim Erik Taras*

**13.05.2024**