

Onnistuuko visuaalisen ärsyksen orientaation erottelu ei-tietoisesti ilman
varhaisen näköaivokuoren toimintaa normaaleissa aivoissa: TMS-tutkimus

Kalle Leino

Pro Gradu –tutkielma

Psykologian ja logopedian laitos

Psykologia 2019

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on
tarkastettu Turnitin Originality Check -järjestelmällä.

TURUN YLIOPISTO

Psykologian ja logopedian laitos

Kalle Leino: Onnistuuko visuaalisen ärsykkeen orientaation erottelu ei-tietoisesti ilman varhaisen näköaivokuoren toimintaa normaaleissa aivoissa: TMS-tutkimus

Pro Gradu –tutkielma, 25 s.

Psykologia

11/2019

Kokeessa tutkittiin ei-tietoisien näköhavainnon hermostollista perustaa. Sokeanäkö on ilmiö jossa primaarin näköaivokuoren (V1) leesioista kärsivät potilaat pystyvät tiedostamattomasti havaitsemaan ja tunnistamaan visuaalisia ärsykejä ilman tietoisuutta. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin, pystytäänkö transkraniaalisella magneettistimulaatiolla (TMS) aiheuttamaan sokeanäkö terveillä koehenkilöillä ja selittykö ilmiö varhaisella näköaivokuorella vai sen ohittavilla subkortikaalisilla radoilla normaaleissa aivoissa. Kokeessa tietoisuutta mitattiin subjektiivisella dikomisella (näin / en nähnyt) arviolla ja ärsykkeen orientaation erottelukykyä pakkovalintatehtävällä. Kokeessa käytettiin kahta eri mittaista SOA:a (engl. stimulus onset asynchrony). Aineisto analysoitiin Bayesilaista lineaarista sekamallia (engl. linear mixed-effect model) käyttäen. TMS:llä saatiin aikaan tietoisuuden suppressio. Koehenkilöt onnistuvat ei-tietoisessa ärsykkeen orientaation erottelussa yli arvaustodennäköisyyden. Laskettiin signaalidetektioiteorian avulla herkkyysindeksi d' selvittämään tietoisuuden yhteyttä oikeiden vastausten osuuteen ei-tietoisien ärsykkeiden orientaation erottelussa TMS-tilanteissa. Oikeiden vastausten osuus väheni tehtävissä, kun tietoisuus heikkeni. Tietoisuuden heikentyessä oikeiden vastausten osuus läheni arvaustodennäköisyyttä. Tutkittiin TMS:n vaikutusta vastauskriteeriin c subjektiivisessa arviotehtävässä. Vastauskriteerin konservatiivisuus oli suurempi TMS-tilanteessa kuin kontrolli-tilanteessa. Tämä tarkoittaa sitä, että osa ei-nähdyiksi arvioituista ärsykkeistä on todellisuudessa ollut tietoisia. Tulos viittaa siihen, että sokeanäkö ei ole todellinen ilmiö terveillä koehenkilöillä, vaan seurausta visuaalisen havaintokynnyksen alarajoilla tapahtuvasta osittain tietoisesta prosessoinnista ja konservatiivisesta vastauskriteeristä subjektiivisessa havaitsemistehtävässä TMS-tilanteessa. Tutkimuksen päätulos ei tue varhaisen näköaivokuoren ohittavien ratojen osallisuutta ei-tietoisessa orientaation erottelussa.

Asiasanat: TMS, V1, sokeanäkö, tietoisuus

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
1.1 Sokeanäköpotilaat	2
1.2 Transkraniaalinen magneettistimulaatio	3
1.4 TMS:lla aiheutettu sokeanäkö terveillä koehenkilöillä	4
1.5 Tutkimuskysymys ja hypoteesi.....	8
2. Menetelmät	9
2.1 Koehenkilöt	9
2.2 Laitteet ja ärsykkeet.....	10
2.3 Kokeen kulku.....	10
2.3.1 Varsinainen koe	10
2.3.2 Ärsykkeen kontrasti ja TMS-paikannus	12
2.3.3 Tilastolliset analyysit	14
3. Tulokset	15
3.1 TMS:n vaikutus tietoisuuteen	15
3.2 TMS-pulssin vaikutus orientaation erottelun tarkkuuteen.....	16
3.3 Ärsykkeen orientaation erottelu.....	17
3.4. Tietoisuuden yhteys ei-nähtyjen ärsykkeiden orientaation erotteluun	19
3.5 Vastauskriteeri	20
4. Pohdinta	21
4.1 Keskeiset tulokset	21
4.2 Keskeisten tulosten suhde aikaisempiin tutkimustuloksiin	22
4.3 Kriittinen tarkastelu ja jatkotutkimustarve.....	23
4.4 Yhteenveto.....	25
5. Lähteet	26

1. Johdanto

Neuraaliset mekanismit tietoisesta ja ei-tietoisesta näkemisen taustalla ovat huonosti ymmärrettyjä (Koenig & Ro, 2019). Kaikki visuaalinen tieto, jonka näköaistimme kerää, ei johda tietoisuuteen visuaalisesta ärsykkeestä (Lamme, Super, Landman, Roelfsema, & Spekreijse, 2000). Vaikka ärsyke johtaisi kortikaaliseen aktivaatioon, emme välttämättä tule siitä tietoiseksi. Osa visuaalisista ärsykkeistä nähdään siis tietoisesti ja osa ei. Useat todisteet viittaavat siihen, että primaari näköaivokuori (V1) osallistuu tietoiseen näkemiseen (Lalli ym., 2006).

Neuraaliset mekanismit ei-tietoisesta näkemisen taustalla ovat yhä selvittämättä (Koenig & Ro, 2019). Blindsight eli sokeanäkö on ilmiö, jossa potilaat, joilla on primaarin näköaivokuoren (V1) leesio, pystyvät erottelemaan sokealle alueelle esitettyjen visuaalisten ärsykkeiden piirteitä ei-tietoisesti yli arvaustodennäköisyyden. Ehdotetut neuraaliset mekanismit ei-tietoisesta erottelukyvyn taustalla ovat kiistanalaisia. On esitetty, että aivovammapotilailla sokeanäköilmiön taustalla olisi leesioista vahingoittumattomina säilyneet V1 alueen osat (Fendrich, Wessinger, & Gazzaniga, 1992). Toinen esitetty mahdollisuus on, että sokeanäköilmiön selittää V1 alueen ohittavat neuraaliset reitit (Koenig & Ro, 2019). Vaihtoehdoisen subkortikaalisen reitin hypoteesille on kuitenkin ongelmallista, että sokeanäköpotilaita ei voi suoraan verrata terveisiin koehenkilöihin. Sokeanäköpotilailla aivojen plastisiteetti eli muokkautuvuus on voinut mahdollistaa vaihtoehdoisen reitin käytön (Ajina, Pestilli, Rokem, Kennard, & Bride, 2015).

Varhaiselle näköaivokuorelle kohdistetun transkraniaalisen magneettistimulaation (TMS) avulla pystytään suppressoimaan tietoisesta visuaalisen ärsykeen prosessointia. Tässä tutkimuksessa tutkittiin pystyvätkö normaalit aivot erottelemaan ärsykepiirteitä ilman tietoisuutta, kun niiden varhaisen näköaivokuoren toimintaa häirittiin TMS:llä.

1.1 Sokeanäköpotilaat

Sokeanäkö määritellään klassisesti residuaaliseksi kyvyksi havaita ja tunnistaa visuaalisia ärsykeitä tietoisuuden puuttuessa primaarin näköaivokuoren (V1) leesioita (Weiskrantz, 1996). Sokeanäköpotilailla on kyky erotella sokealle alueelle esitettyjä ärsykeitä, kuten yksiväristä valoa, yksinkertaisia ärsykeitä ja niiden orientaatiota, sekä ärsykkeiden liikkeen suuntaa. Potilaat ovat myös pystyneet erottelemaan eri valon aallonpituuksia, ilman kokemusta väristä. Tämä viittaa siihen, että muutkin kuin primaarille näköaivokuoreen alueelle johtavat reitit ovat oleellisia näkökyvylle. Tietoinen ja ei-tietoinen näkeminen voi siis erota toisistaan anatomisesti ja fysiologisesti (Ajina, Pestilli, Rokem, Kennard, & Bridgen, 2015).

Diffuusiotensori (DTI) tutkimus sokeanäön neuraalisesta perustasta potilailla, joilla oli homonymi hemianopia eli toispuoleinen vasemman- tai oikeanpuoleisen näkökentän sokeutuminen, osoitti että he pystyivät tästä huolimatta erottelemaan sokealle puolelle esitettyjen ärsykkeiden piirteitä ei-tietoisesti yli arvaustodennäköisyyden (Ajina ym., 2015). Näiden potilaiden sokeanäkö voi olla seurausta ehyenä säilyneestä ipsilateraalista (samanpuoleinen) valkoisen aineen radasta, joka kulkee ulomman polvitumakkeen (LGN) ja aivojen liikealueen MT:n (engl. middle temporal complex) kautta. Potilailla, joilla oli tuhoutunut LGN-MT rata, ei havaittu sokeanäköä, kun taas potilailla, joilla kyseinen reitti oli säilynyt ehyenä, havaittiin sokeanäköä.

Lehin, Johansen-Bergin ja Ptiton DTI-sokeanäkö tutkimus (2006) terveillä koehenkilöillä sekä aivovammapotilailla kartoitti hermostollista perustaa sokeanäön taustalla. Tutkimukseen osallistuneille aivovammapotilaille oli tehty vaurioituneen aivopuoliskon poistoleikkaus (engl. hemispherectomy). Aivovammapotilaat olivat jaettu kahteen ryhmään sen mukaan oliko heillä sokeanäkö vai ei. Potilaat joille on tehty aivopuoliskon poisto ovat tärkeitä sokeanäkö tutkimukselle, koska heillä mahdollinen sokeanäkö ei voi johtua säilyneistä okkipitaalilohkon alueista (Wessinger ym., 1996). Lehin ja kumppaneiden (2006) tutkimustulos viittaa siihen, että kontralateraalisen ja

ipsilateraalisen ylempien nelikukkuloiden kautta kulkeva reitti jäljellä olevaan aivopuoliskoon osallistuu sokeanäköilmiöön aivopuoliskon poistoleikkauksen läpi käyneillä sokeanäköpotilailla (Tomaiuolo ym.,1997; Bittar ym., 1999; Danckertt, & Rosetti, 2005). Kyseisillä potilailla reitti oli jopa vahvempi kuin terveillä koehenkilöillä, mikä viittaa aivojen plastisuuden aiheuttamiin muutoksiin (Leh ym., 2006). Voiko sokeanäköpotilailla todettujen reittien toimintaa yleistää normaalien aivojen toimintaan, jos sokeanäkö perustuu aivovammapotilailla näköratojen muovautuneisuuteen? Tätä voidaan tutkia TMS:n avulla.

1.2 Transkraniaalinen magneettistimulaatio

Tässä tutkimuksessa käytettiin transkraniaalista magneettistimulaatiota (TMS). TMS-pulssilla häirittiin varhaista näköaivokuoren toimintaa samanaikaisesti, kun koehenkilöt tekivät näköhavaintotehtäviä. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, onnistuuko visuaalisen ärsykkeen orientaation erottelu ei-tietoisesti ilman varhaisen näköaivokuoren toimintaa normaaleissa aivoissa.

TMS aktivoi aivojen hermosoluja kallon läpi voimakkaalla magneettikentällä (Vitikainen & Kähkönen, 2006). Magneettikenttä syntyy, kun lyhyt virtapulssi ajetaan virtakelan läpi. Magneettipulssi läpäisee kallon ja kudoksen esteettä ja kivuttomasti (Hagelberg ym., 2017). Magneettikenttä synnyttää stimuloivan virran aivokuorelle (Vitikainen & Kähkönen, 2006). Sähkökenttä aktivoi aivokuorella välittäjähermosoluja ja pyramidisoluja. Stimulaatiovaikutus vaimenee sitä enemmän, mitä kauempana kohdeaivoalue on kelan synnyttämästä magneettikentästä (Vitikainen & Kähkönen, 2006). Eri aivoalueita häiritsemällä voidaan selvittää, mitkä/mikä aivoalueista on oleellisia samanaikaisen kognitiivisen tehtävän suorittamisessa.

1.4 TMS:lla aiheutettu sokeanäkö terveillä koehenkilöillä

Ihmisen varhainen näköaivokuori aktivoituu n. 55-70 ms visuaalisen ärsykkeen alkamisen jälkeen (Baseler & Sutter, 1997). On havaittu, että TMS-pulssi annettuna 60-120ms esitetyn ärsykkeen jälkeen aiheuttaa optimaalisen suppression, ns. klassisen suoritustason aleneman tietoisessa visuaalisen ärsykkeen prosessoinnissa (Kammer, 2007a, b; Romei, Murray, Merabet, & Thut, 2007; Kammer, Scharnowski, & Herzog, 2003). Visuaalisen ärsykkeen ei-tietoista havaitsemista tutkittaessa käytetään usein dikotomista eli kaksiportaista (näin / en nähnyt) skaalaa sekä pakkovalintatehtäviä. Dikotomisen skaalan lisäksi käytetään myös kolme- ja neljäportaisia skaaloja mittaamaan subjektiivista havaintoa. Pakkovalintatehtävissä koehenkilö joutuu tekemään valinnan spesifisestä ominaisuudesta valitsemalla kahdesta tai useammasta tarjolla olevasta vastausvaihtoehdosta (Lloyd, Abrahamyan, & Harris 2013). Sokeanäköilmiössä ei-tietoisien ärsykkeen erottelu pakkovalintatehtävissä onnistuu yli arvaustodennäköisyyden. TMS-tutkimukset terveillä koehenkilöillä ovat tuottaneet sokeanäköilmiöstä toisistaan eroavia tuloksia.

Hypoteesia vaihtoehtoisesta subkortikaalisesta reitistä tukee Boyerin, Harrisonin ja Ron (2005) tutkimus. Boyer ja kumppanit (2005) tutkivat TMS:n avulla visuaalisen ärsykkeen orientaation ei-tietoista prosessointi ilman varhaista näköaivokuoren aktivaatiota terveillä koehenkilöillä. Ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävä käytti 100, 114 ja 128 ms SOA:ia. Subjektiivisessa arviotehtävissä käytettiin tietoisuuden arvioon dikotomista eli kaksiportaista (näin / en nähnyt) skaalaa, joka on yleinen proseduuri visuaalista havaitsemista tutkittaessa (Lloyd, Abrahamyan, & Harris 2013). Koehenkilöt vastasivat ”kyllä” jos he näkivät ärsykkeen orientaation, jos taas koehenkilöt eivät nähneet ärsykkeen orientaatiota vastasivat he ”ei”. Tämän jälkeen he vastasivat ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävään (pysty- vs. vaakaviiva) (Boyer ym., 2005). Ärsykkeen

ei-tietoinen orientaation erottelu onnistui yli arvaustodennäköisyyden tilastollisesti merkitsevästi. Tutkimustulos viittaa siihen että, visuaalisen ärsykkeen ei-tietoinen orientaation erottelu oli mahdollista ilman normaalia varhaisen näköaivokuoren aktivaatiota. Boyerin ja kumppaneiden (2015) mukaan tämä tukee hypoteesia vaihtoehtoisesta varhaisen näköaivokuoren ohittavasta reitistä visuaalisen ärsykkeen ei-tietoisien prosessoinnin takana. Tämä on kuitenkin ongelmallista, sillä Boyer ja kumppanit (2005) käyttivät tutkimuksessaan vain suhteellisen pitkiä 100-128ms SOA:ia. Tällöin TMS-pulssi ei ole todennäköisesti häirinnyt varhaiselta näköaivokuorelta eteenpäin suuntautuvaa tiedon prosessointia, jonka uskotaan olevan ei-tietoisien erottelukyvyn taustalla (Lamme & Roelfsema, 2001). Tieto visuaalisesta ärsykkeestä saapuu varhaiselle näköaivokuorelle n. 55-70ms ärsykkeen alkamisen jälkeen (Baseler & Sutter, 1997). Lyhyiden SOA:ien mukaan ottaminen on siis välttämättömyys selvittäessä varhaisen näköaivokuoren osuutta ei-tietoisessa prosessoinnissa. Boyer ja kumppanit (2005) eivät myöskään erotelleet pelkkien TMS-artifaktujen, eli sensoristen vaikutusten kuten äänen vaikutusta TMS:n neuraalisista vaikutuksista.

Koenigin ja Ron TMS-sokeanäkö tutkimuksessa (2019) selvitettiin ei-tietoisien visuaalisen havainnon neuraalista perustaa terveillä koehenkilöillä. Menetelminä Koenig ja Ro (2019) käyttivät TMS:ää erimittaisilla SOA:illa. Koehenkilöt vastasivat subjektiiviseen arviotehtävään dikotomisella skaalalla (kyllä / ei). Tämän jälkeen he vastasivat ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävään (pysty- vs. vaakaviiva).

Onko TMS-sokeanäössä kysymys TMS-pulssin ajoituksesta? Koenig ja Ro (2019) tutkivat asiaa erimittaisilla SOA:illa häiritäkseen niin eteen- kuin taaksepäin suuntautuvia prosesseja varhaisella näköaivokuorella. He havaitsivat, että SOA-aikaikkuna 95-105ms aiheutti maksimaalisen aleneman subjektiivisessa arviotehtävässä. Tässä aikaikkunassa subjektiivinen arviotehtävä ja ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävä erosivat toisistaan, mikä tukee TMS:llä aiheutetun sokeanäköilmiön olemassaoloa (Allen, Sumner, & Chambers, 2014; Koenig & Ro, 2019). TMS-pulssi 65-75ms SOA-aikaikkunalla aiheutti myös eron subjektiivisen arviotehtävän ja ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävän välillä. Lyhyempi SOA-aikaikkuna häiritsi todennäköisesti eteenpäin suuntautuvaa prosessointia, jonka uskotaan olevan oleellinen ei-tietoisessa prosessoinnissa (Lamme & Roelfsema, 2000). Koenig ja Ro (2019) pitävät tätä ongelmallisena hypoteesille, jonka mukaan eteenpäin suuntautuva prosessointi

varhaiselta näköaivokuorelta olisi riittävä ei-tietoiselle ärsykkeen orientaation erottelulle. Se, että ei-tietoinen ärsykkeen orientaation erottelu onnistui 65-75ms SOA-aikaikkunalla yli arvaustodennäköisyyden tilastollisesti merkitsevästi, viittaa Koenigin ja Ron (2019) mukaan siihen, että ei-tietoinen erottelukyky käyttää varhaisen näköaivokuoren ohittavaa reittiä, todennäköisesti polvitumake-liikealue (LGN-MT) rataa (Ajina, Pestilli, Rokem, Kennard, & Bride, 2015).

Koenigin ja Ron (2019) tutkimus ei ottanut huomioon vastauskriteeriä ja sen aiheuttamaa vääristymää. Eli raportoivatko koehenkilöt ”en nähnyt” ennemmin kuin ”näin” vaikka he näkivätkin ”vähän” välttääkseen ”väärin hälytysten” määrää TMS-tilanteessa? Tällöin konservatiivinen (varovainen) vastauskriteeri selittäisi eron subjektiivisen arviotehtävän ja ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävän välillä. Koenig ja Ro (2019) eivät myöskään käyttäneet ipsilateraalista kontrollitilannetta TMS-artifaktojan erottamiseen TMS:n neuraalisista vaikutuksista.

On myös runsaasti tutkimustuloksia, jotka eivät tue vaihtoehdoisen reitin hypoteesia. Koiviston, Railon ja Salminen-Vaparannan (2011) TMS-tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, onko olemassa varhaisen näköaivokuoren aktivaatiojakso, joka yksinomaan liittyisi tietoisuuteen visuaalisen ärsykkeen havaitsemisessa. Tutkimuksessa käytetyt tehtävät olivat subjektiivinen arviotehtävä kolmiportaisella asteikolla ja ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävä. Koivisto ja kumppanit (2011) kontrolloivat TMS-artifaktojen vaikutuksen ipsilateraalisen TMS-pulssin avulla. Koivisto ja kumppanit (2011) huomasivat, että TMS-pulssi varhaiselle näköaivokuorelle aiheutti aleneman ärsykkeen havaitsemisessa 60-120ms SOA-aikaikkunalla. Ärsykkeen orientaation ei-tietoinen erottelutarkkuus laskee 60-90ms SOA-aikaikkunalla.

Koivisto ja kumppanit (2011) tutkivat TMS:n avulla onko taaksepäin suuntautunut prosessointi varhaisella näköaivokuorella oleellinen tietoiselle havaitsemiselle, vai onko se myös tärkeä ei-tietoisessa havaitsemisessa. Klassisen eteenpäin suuntautuvan tiedonkäsittelymallin mukaan visuaalinen tieto etenee hierarkisesti V1 alueelta ylemmille kortikaalisille aivoalueille, jossa tietoisuus ärsykkeestä syntyy (Zeki & Bartels, 1999). Vaihtoehdoisen mallin mukaan eteenpäin suuntautuva prosessointi olisi riittävä vain ei-tietoiseen havainnointiin, kun taas tietoinen havainto olisi riippuvainen taaksepäin suuntautuvasta tiedonkäsittelystä, jossa ylemmät aivoalueet ovat interaktiossa alempien

alueiden kuten V1 kanssa (Bullier, 2001; Hochstein & Ahissar, 2002). Jos on olemassa myöhäinen aktivaatiojakso varhaisella näköaivokuorella, joka on ominainen visuaaliselle tietoisuudelle (Boyer ym., 2005), pitäisi TMS-pulssin aiheuttaa alenema vain tietoista visuaalista havaintokykyä, mutta ei vaikuttaa ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävään (Koivisto & kumppanit, 2011). Jos taas kriittinen aktivaatiojakso varhaisella näköaivokuorella on keskeinen visuaaliselle tietoisuudelle ja ei-tietoiselle havainnolle (Sack, van der Mark, Schuhmann, Schwarzbach, & Goebel, 2009), pitäisi TMS:n aiheuttaa alenema tässä aikaikkunassa, sekä subjektiivisessa arviotehtävässä että ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä.

Koivisto ja kumppanit (2011) käyttivät lyhyempiä SOA:ia kuin Boyer ja kumppanit (2005) ja huomasivat, että ei-tietoinen ärsykkeen orientaation erottelukyky oli heikentynyt TMS:n johdosta 90ms SOA:lla. Tämä viittaa siihen, että eteenpäin suuntautuva prosessointi varhaisella näköaivokuorella (<100ms) on välttämätön niin tietoiselle havainnolle kuin ei-tietoiselle orientaation prosessoinnille. Myöhäisemmät varhaisen näköaivokuoren aktivaatiot (>100ms), korreloivat oletettavasti taaksepäin suuntautuvien toistuvien yhteyksien kanssa näköaivokuoren ja assosiaatioalueen välillä, jotka ovat välttämättömiä visuaaliselle tietoisuudelle (Koivisto ym., 2011). Boyerin ja kumppaneiden (2005) tutkimuksessa oli todennäköistä, että TMS ei häirinnyt eteenpäin suuntautuvaa prosessointia, koska he käyttivät vain pitkiä 100-128ms SOA:ia. Koiviston ja kumppaneiden (2011) mukaan sekä tietoinen että ei-tietoinen visuaalinen prosessointi käyttää polvitumakkeen ja V1:n kautta ylemmille näköaivokuoren alueille kulkevaa reittiä eteenpäin suuntautuvan prosessoinnin aikana. Heidän tutkimustulokset eivät tue hypoteesia, jonka mukaan ei-tietoinen visuaalisen ärsykkeen havainnointi käyttäisi varhaisen näköaivokuoren ohittavaa subkortikaalista reittiä.

Myös Lloyd, Abrahamyan ja Harris (2013) saivat TMS-sokeanäkötutkimuksessaan varhaisen näköaivokuoren osallisuutta ei-tietoisessa näkemisessä tukevia tutkimustuloksia. He selvittivät, onko TMS:llä aiheutettu sokeanäkö ei-tietoista näkemistä vai konservatiivisen vastauskriteerin aiheuttama vääristymää. Johtuuko subjektiivisen arviotehtävän (näin / en nähnyt) ja ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävän ero erilaisista vastauskriteereistä tehtävien välillä (Lloyd ym., 2013). Jos kysymyksiin vastataan eri kriteereillä, aiheuttaa tämä vääristymää. Lloydin ja muiden (2013) mukaan ero kaksiportaisen subjektiivisen arviotehtävän ja ärsykkeen

erottelun pakkovalintatehtävän välillä voi selittyä lähellä tietoisesta näkemisen alarajaa esitetyillä ärsykkeillä. Arvaustodennäköisyys ylittyi ei-tietoisessa ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä myös Lloydin ja kumppaneiden (2013) tutkimuksessa. Mutta kun Lloyd ja kumppanit (2013) laskivat aineistolle herkkyysindeksi d' :n signaalidetektioiteorian avulla, ero subjektiivisen havaitsemistehtävän ja ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävän välillä katosi, mikä tarkoitti, että TMS vaikutti samalla voimakkuudella tietoisuuteen ja tarkkuuteen ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä, kun kumpikin oli kvantifioitu d' :n avulla. Vastauskriteerin aiheuttama vääristymä ei vaikuta d' :n, koska se ottaa huomioon väärit hälytykset, eli tehtävät joissa ei esitetty ärsykettä, mutta koehenkilö kertoi nähneensä ärsykkeen orientaation (Lloyd ym., 2013). Jos kyseessä olisi todella sokeanäkö, pitäisi TMS:n vaikuttaa tarkkuuteen ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä vain vähän tai ei ollenkaan ja tietoisuuteen enemmän.

1.5 Tutkimuskysymys ja hypoteesi

Tutkimuksessa selvitettiin ei-tietoisesta näköhavainnon hermostollista perustaa. Onko TMS:llä mahdollista aiheuttaa sokeanäköilmiö terveillä koehenkilöillä? Riippuuko ei-tietoisesta ärsykkeen orientaation erottelukyky varhaisesta näköaivokuoresta vai käyttääkö se tämän ohittavaa vaihtoehtoista subkortikaalista reittiä terveillä koehenkilöillä?

Tutkimuksessa käytetyt tehtävät olivat subjektiivinen arviotehtävä, jossa koehenkilöt arvioivat näkivätkö he ärsykkeen dikotomisella (näin / en nähnyt) skaalalla, sekä ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävä (pysty- vs. vaakaviiva). Tutkimuksessa käytettiin TMS-tilanteen lisäksi kontrollitilannetta erottamaan TMS-artifaktoiden vaikutus TMS:n neuraalisista vaikutuksista.

Tutkimuksessa käytettiin lyhyttä ja pitkää SOA:a. Tutkimuksessa pyrittiin replikoimaan Koenigin ja Ron (2019) sekä Boyerin ja kumppaneiden (2005) tutkimustulos. Lisäksi laskettiin signaalidetektioiteorian avulla tietoiselle erottelukyvylle herkkyysindeksi d' , jotta voitiin selvittää yhteys tietoisuuden ja ei-tietoisesta orientaation erottelukyvyn välillä. Tutkittiin, väheneekö oikeiden vastausten osuus, kun tietoisuus heikkenee. Signaalidetektioiteorian vastauskriteerin c avulla tutkittiin, muuttuuko koehenkilöiden vastauskriteeri konservatiivisemmaksi TMS-tilanteessa verrattuna kontrollitilanteeseen.

Eli voisiko TMS:llä aiheutettu sokeanäkö selittyä sillä, että koehenkilö arvioi ei-tietoiseksi (en nähnyt) sellaisiakin ärsyksiä, joita hän saattoi nähdä.

Oletettiin, että klassisen aleneman aikaikkunassa olisi voimakkaampi visuaalinen suppressio sen alussa (lyhyt SOA) kuin lopussa (pitkä SOA), mikä osoittaisi TMS:n suppressoivan näköhavaintoa aikaisemman tutkimuksen osoittamalla tavalla (Koenig & Ro, 2019; Koivisto ym., 2011). Tutkimushypoteesi oli, että varhaiselle näköaivokuorelle kohdistettu TMS heikentää ei-tietoista ärsyksen orientaation erottelukykyä pakkovalintatehtävässä, mikä viittaisi siihen, että varhainen näköaivokuori osallistuu ei-tietoiseen orientaation prosessointiin normaaleissa aivoissa.

2. Menetelmät

2.1 Koehenkilöt

Tutkimusta varten esitettiin 20 koehenkilöä. Koehenkilöt olivat Turun yliopiston 19 – 29-vuotiaita opiskelijoita. Kokeeseen osallistuminen oli vapaaehtoista. Kahdestakymmenestä koehenkilöstä 8:lla ei saatu esitestauksessa aikaan suppressiota (Luku 2.3.2). Varsinaisen kokeen suoritti 12 koehenkilöä, joista 5 oli miehiä ja 7 oli naisia. Koehenkilöiden keskimääräinen ikä oli 23 vuotta. Vaihteluväli oli 10 vuotta (19–29). Testaustilanteen aluksi koehenkilöille annettiin luettavaksi tiedote tutkimukseen osallistumisesta, soveltuvuuskysele ja suostumuslomake. Tiedote tutkittavalle sisälsi yleistä tietoa tutkimuksesta ja menetelmän käyttöön liittyvistä rajoituksista. Ennen kokeeseen osallistumista täytettiin soveltuvuuskyselelomake, jolla selvitetään soveltuvuus kokeeseen osallistumiseen (Rossi, Hallett, Rossini, & Pascual-Leone, 2009). Tutkimuksessa käytetty koehenkilöiden lukumäärä vastaa saman tyyppisissä tutkimuksissa käytettyjä koehenkilömääriä (Koenig & Ro, 2019; Koivisto, Lähteenmäki, Kaasinen, Parkkola, & Railo, 2014; Koivisto, Railo, & Salminen-Vaparanta, 2011). Kaikilla koehenkilöillä oli normaali näkökyky tai normaaliksi korjattu näkökyky.

2.2 Laitteet ja ärsykkeet

TMS-pulssit annettiin MagVenture MagPro X100 stimulaattorilla. Yksittäisten pulssien antamiseen käytettiin MagVenturen MCF-75 75mm ympyräkelaa. Kokeessa käytettiin VIEWPixx Lite näyttöä. Kokeessa käytetty näytön päivitystaajuus oli 120Hz. Koehenkilö käytti Logitech Gamepad F310 peliohjainta testissä vastaamiseen.

Tehtävien vaaleanharmaan taustan luminanssi (valovoima pinta-alaa kohti) oli 24.7 cd/m². Kohdeärsykkeen kontrasti määriteltiin koehenkilöiden havaintokynnyksen mukaan jokaiselle koehenkilölle erikseen (Luku 2.3.2). Helpoin taustan ja kohdeärsykkeen välinen Weberkontrasti oli -0.30, keskivaikea -0.25, ja vaikein -0.21. Stimulaatioalueen paikannuksessa ärsykkeenä käytetyn neliön (ja fiksaationeliön) koko oli 150 cm etäisyydeltä 0.25 x 0.25 astetta. Kohdeärsykkeenä toimineen viivan koko oli 0.05 x 0.3 astetta.

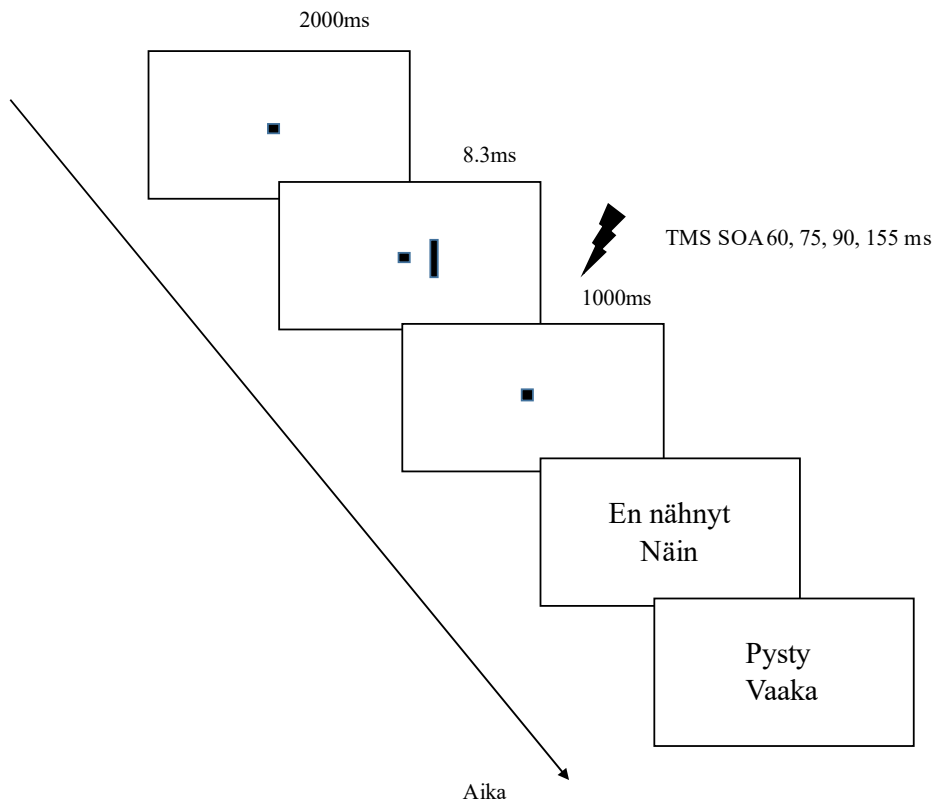
2.3 Kokeen kulku

2.3.1 Varsinainen koe

Tehtävä alkoi ruudulla, jonka keskellä oli fiksaationeliö (2000ms). Tämän jälkeen ruudulla välähti kohdeärsyke fiksaationeliön oikealla puolella 8.3ms ajan (Kuva 1). Kohdeärsykkeenä toimi (pysty- vs. vaakaviiva), joka sijaitsi ruudulla siten, että ärsykkeen keskiosa oli 0.25 astetta fiksaationeliön oikealla puolella. TMS-pulssit annettiin suhteessa kohdeärsykkeeseen jokaiselle koehenkilölle yksilöllisesti valitulla lyhyellä 60, 75 tai 90ms SOA:lla tai pitkällä 155ms SOA:lla. TMS-pulssi annettiin satunnaistetusti lyhyellä tai pitkällä SOA:lla. Kohdeärsykkeen esittämisen jälkeen fiksaationeliö pysyi ruudulla 1000ms ajan. Tämän jälkeen koehenkilö antoi vastauksen subjektiiviseen arviotehtävään kaksiportaisella skaalalla (näin / en nähnyt) sekä ärsykkeen orientaation erottelun pakkovalintatehtävään (pysty- vs. vaakaviiva).

Koehenkilöt vastabalansointiin kahteen ryhmään. Puolet koehenkilöistä aloitti kokeen versiolla, jossa ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävään (pysty- vs. vaakaviiva) vastattiin ensimmäiseksi, jonka jälkeen vastattiin subjektiiviseen arviotehtävään (näin / en nähnyt). Puolet koehenkilöistä aloitti kokeen päinvastaisessa järjestyksessä. Puolessa välissä koetta tehtävien järjestys vaihtui. Yksi sarja kesti n. 3 minuuttia, jonka jälkeen koehenkilö piti pienen tauon. Jokainen koehenkilö teki kummallakin tehtäväjärjestyksellä kaksi TMS-sarjaa, ja niiden välissä kontrolli TMS-sarjan, jossa kela laitetaan sentti keskiviivan oikealle puolelle (oikean hemisfäärin päälle) ja sentin alemmas tai ylempäs kuin varsinainen stimulaatiokohta. Jokainen koehenkilö teki siis yhteensä 4 koesarjaa ja 2 kontrollisarjaa ja lyhyet harjoitukset ilman TMS:ää.

Subjektiivisessa arviotehtävässä koehenkilöt vastasivat ”näin”, jos he näkivät ärsykkeen ja sen orientaation. Jos taas koehenkilöt vastasivat ”en nähnyt”, tarkoitti tämä, että he eivät nähneet, joko mitään tai vain välähdyksen ärsykkeestä. Tehtävään vastaamiseen käytettiin oikean käden peukaloa ja peliohjaimen vihreää näppäintä, jos vastaus oli ”näin” ja keltaista näppäintä jos vastaus oli ”en nähnyt”. Ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä koehenkilöt vastasivat mikä oli kohdeärsykkeenä toimineen viivan orientaatio (pysty- vs. vaakaviiva). Koehenkilöiden tuli arvata, vaikka hän ei ollut nähnyt ärsykettä tai sen orientaatiota. Ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävään vastaamisessa käytettiin peliohjaimen oikean käden ”liipaisimia”. Ylempi liipaisin, tarkoitti pystyviivaa ja alempi liipaisin vaakaviivaa. Vastaamiseen käytettiin oikean käden etu- ja keskisormea. Kaikki varsinaisessa kokeessa käytetyt sarjat sisälsivät yhteensä 38 tehtävää, eli 16 ärsykettä/SOA ja 3 tyhjää/SOA (TMS-pulssi ilman ärsykettä). Jokainen koehenkilö teki varsinaisen kokeen aikana 6 sarjaa, eli yhteensä 228 tehtävää.



Kuva 1. Visuaalisen tehtävän kulku. Pysty- tai vaakaviiva esitettiin fiksaationeliön oikealla puolella, jonka jälkeen tiedon prosessointia häiritettiin TMS-pulssin avulla. TMS-pulssi annettiin ärsykkeen esityksen jälkeen lyhyellä SOA:lla (60ms, 75ms tai 90ms koehenkilöstä riippuen) tai pitkällä 155ms SOA:lla. Tämä jälkeen koehenkilöltä kysyttiin, näkikö hän viivan vai ei, sekä oliko viiva pysty- vai vaakaviiva. Kysymysjärjestys oli vastabalansoitu.

2.3.2 Ärsykkeen kontrasti ja TMS-paikannus

Ennen varsinaista koetta määriteltiin erikseen kullekin tutkittavalle sopiva ärsykkeen kontrasti. Tämä määriteltiin tehtävällä, jossa koehenkilön oli päätettävä peliohjainta käyttäen, onko 0.25 astetta fiksaationeliön oikealla puolella 8.3ms ajan välähtävä viiva pysty- vai vaakaviiva (oikea etu- ja keskisormi peliohjaimen etuosassa olevilla liipaisimilla). Ärsykkeenä toimineen viivan koko oli 0.05 x 0.3 astetta. Fiksaationeliön koko oli 150cm etäisyydeltä esitettynä 0.25 x 0.25 astetta. Ärsyke oli sama kuin varsinaisessa kokeessa käytetty ärsyke. Koehenkilön oli arvattava, jos hän ei nähnyt

ärsykkeen orientaatiota. Jokaiselle koehenkilölle määritellään yksilöllisesti kokeessa käytetty kontrasti kolmesta mahdollisesta Weberin kontrastista. Koehenkilölle esitettiin yksi 20 ärsykettä sisältänyt sarja kerrallaan tietyllä kontrastilla. Weberin kontrastin vaihtoehtoina oli -0.30, -0.25 ja -0.21. Kontrastin määrittely aloitetaan Weberin kontrasti -0.25:lla. Etsittiin vaikein taso, jolla koehenkilön suoritus oli yli 15 oikein 20:stä tehtävästä (välillä 16-20/20). Jos tehtävä oli liian helppo koehenkilölle (20/20), vaikeutettiin tehtävää vaihtamalla Weberin kontrastiksi -0.21; jos taas tehtävä oli liian vaikea (<16/20) helpotettiin tehtävää vaihtamalla Weberin kontrastiksi -0.30. Kun sopiva kontrastitaso löytyi, aloitettiin koehenkilön totuttelu TMS-pulssiin.

Koehenkilölle annettiin korvatulpat ja EEG-myssy. Korvatulpat suojasivat koehenkilön kuuloa TMS-pulssin aiheuttamalta voimakkaalta ääneltä. Aloitettiin TMS-pulssien antaminen asettamalla ympyräkelan alareuna 2 cm inionin (luukyhmy takaraivolla) yläpuolelle ja 1cm vasemmalle. Tämä tehtiin EEG-myssyyn piirretyn ruudukon avulla. Aloitettiin TMS-pulssin antaminen 20% voimakkuudella. Pulssia nostettiin 5% askelin ylöspäin, kohti koehenkilön subjektiivista ylärajaa (TMS-laitteen max. 100%), jolla koehenkilö arveli pystyvänsä suorittamaan koesarjan. Korkein kokeessa käytetty TMS-pulssin intensiteetti vaihteli koehenkilöittäin 65-100% välillä (koehenkilöille annetun pulssin intensiteetin keskiarvo oli 90%). Tämän jälkeen aloitettiin varhaisen näköaivokuoren paikannus ”hunting”-menetelmän avulla, jossa kelaa liikuteltiin aloituskohdan ympärillä.

Paikannuksessa käytetyssä näköhavaintotehtävässä koehenkilön piti arvioida, näkikö hän fiksaationeliön oikealla puolella 8.3 ms ajan välähtävän kohdeärsykkeen (neliö) vai ei. Kohdeärsykkeen koko oli 150 cm etäisyydeltä 0.25 x 0.25 astetta. TMS-paikannusta jatkettiin, kunnes hyvä stimulaatiokohta löytyi. Hyvän stimulaatiokohdan löydyttyä (alue, joka heikensi näköhavaintotehtävästä suoriutumista vähintään 40%) toistettiin sarja varmuuden vuoksi. Tämän jälkeen kokeiltiin mahdollista kontrollialuetta 1cm keskilinjan oikealta puolelta (ärsykkeen suhteen ipsilateraaliselta aivopuoliskolta), mutta 1-2cm ylempää tai alemmää kuin löydetty stimulaatioalue, jolloin kontrollitilanteessa TMS aiheuttaisi samanlaisen äänen ja sensorisen tuntemuksen kuin kontralateraalinen TMS, mutta ei suppressoisi ärsykkeen tietoista havaintoa.

TMS kohdealueen paikannuksen perusteella valittiin jokaiselle koehenkilölle erikseen SOA, joka aiheutti parhaimman suppression tietoiselle havainnolle. Paikannuksessa

käytettiin kolmea eri klassisen aleneman aikaista SOA:a, jotka olivat 60ms, 75ms ja 90ms. Jos useampi kuin yksi SOA aiheutti yhtä hyvän suppression, valittiin niistä lyhyempi, jotta TMS-pulssi kohdistuisi mahdollisimman aikaiseen eteenpäin suuntautuvaan visuaalisen tiedon prosessoinnin vaiheeseen. Lyhyen SOA:n lisäksi kokeessa käytettiin myös pitkää, 155ms SOA:a, jolla suppression oletettiin olevan heikompi kuin lyhyellä SOA:lla.

2.3.3 Tilastolliset analyysit

Aineisto analysoitiin R-ohjelmalla (R core team, 2013). Aineiston analyysissa käytettiin Bayesilaista lineaarista sekamallia (engl. linear mixed-effect model). Sekamallin käyttö mahdollistaa estimoitujen efektien vaihtelun ryhmittäin alemmilla tasoilla, ja samalla estimoi populaatiotason efektejä. Määriteltiin kiinteät (fixed) ja satunnaiset (random) efektit. Tulosten havainnollistamiseen käytettiin sjPlot-pakettia (Lüdecke, 2018). Kaikkien mallien priorit olivat heikosti informatiivisia ja normaalijakaumien keskiarvo oli 0. Ohjelma skaalasi hajonnat automaattisesti.

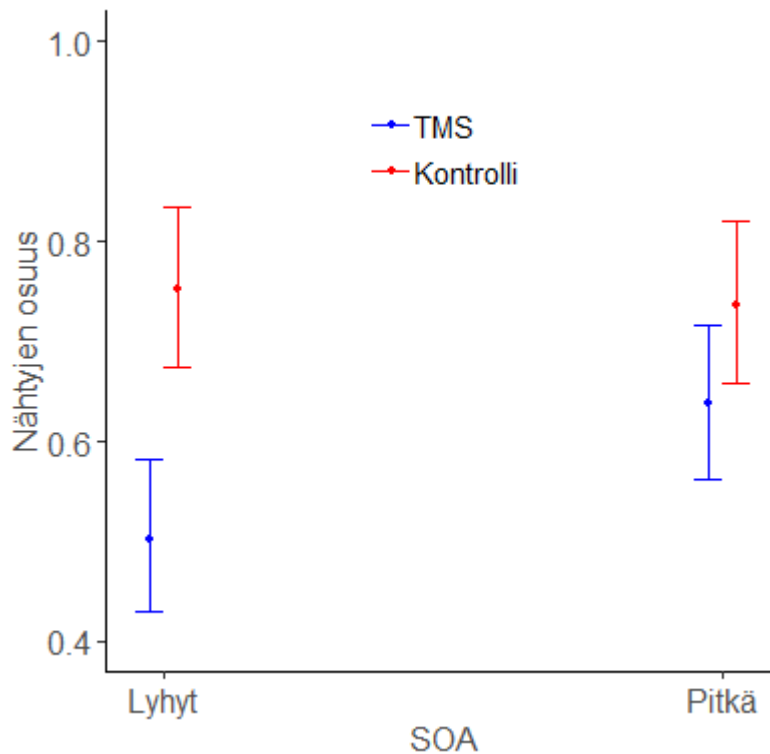
Tutkimuksessa käytettiin Bayesilaista menetelmää, joka tulkitsee todennäköisyyksiä (engl. degree of belief) tapahtumassa, joka voi muuttua, kun uutta informaatiota saadaan kerättyä (Makowski, 2019). Bayesilainen tilastotiede ei siis käytä kiinteitä arvoja, jotka perustuvat frekvenssiin ja taipumukseen. Bayesilaisen menetelmän etuja ovat parempi reliabiliteetti, parempi aineiston tarkkuus, parempi estimaatti pienille otoskoille, sekä pienempi taipumus 1-tyypin virheeseen. Lisäksi se antaa mahdollisuuden sisällyttää edeltävää tietoa analyysiin (Andrew & Baguley, 2013; Etz & Vandekerckhove, 2016; Kruschke, 2010; Kruschke, Aguinis, & Joo, 2012; Wagenmakers ym., 2018). Toisin kuin frekvenssiin perustuva ”klassinen” tilastotiede, jonka efektit ovat kiinteitä sekä tuntemattomia ja satunnaisia, laskee Bayesilainen tilastotiede eri efektien arvoille todennäköisyyksiä, joita kutsutaan posterioriseksi jakaumaksi (Makowski, 2019). Tässä tutkimuksessa käytettyä Bayesilaista tilastotiedettä kuvaa posteriorisen jakauman käyttö p-arvon sijasta, mediaanin ilmoittaminen keskiarvon sijasta, MAD:in (mediaaniin absoluuttinen keskipoikkeama) ilmoittaminen keskihajonnan sijasta, sekä 90% todennäköisyysvälin (engl. credible interval, CI) käyttö 95% luottamusvälin sijasta. MPE

(engl. maximum probability of effect) kuvaa todennäköisyyttä, että efekti on mediaanin suuntainen (positiivinen tai negatiivinen). Jos MPE on yli 90%, on efekti todennäköinen (Makowski, 2019). Todennäköisyys vastakkaiselle efektille $(100 - \text{MPE}) / 100$ on lähellä frekventistisen lähestymistavan p-arvoa (esim. jos MPE on 97% niin p-arvo on noin .03). Aineiston analyysissä tulkittiin efekti epäjohdonmukaiseksi eli ei tarpeeksi todennäköiseksi, jos $\text{MPE} < 90\%$. Bayesilainen päättely tehtiin Markov Chain Monte Carlo (MCMC) -otantaa käyttäen.

3. Tulokset

3.1 TMS:n vaikutus tietoisuuteen

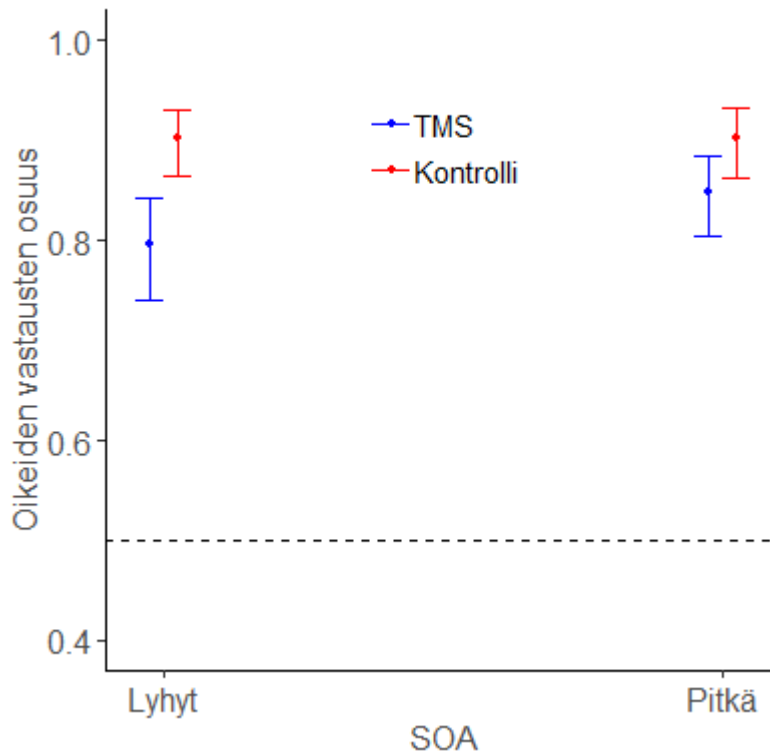
Aluksi testattiin, pystyttiinkö TMS:llä suppressoimaan tietoisuutta, eli nähtyjen ärsykkeiden osuutta. Analyysissä käytettiin Bayesilaista sekamallia ennustamaan TMS:n vaikutus kahdella eri SOA:lla nähtyjen ärsykkeiden osuuteen (Kuva 2). Kiinteinä muuttujina olivat SOA (lyhyt ja pitkä) ja TMS (TMS- vs. kontrollitilanne) (kaava = $\text{arvio} \sim \text{TMS} * \text{SOA} + (1 | \text{koehenkilö})$). Mallin selitysvoima (R^2) oli 11.22% ($\text{MAD} = 0.01$, 90% CI [0.09, 0.13], korjattu $R^2 = 0.10$). Leikkauspiste oli 0.50 ($\text{MAD} = 0.04$, 90% CI [0.43, 0.58]). Nähtyjen osuus oli suurempi kontrolli-tilanteessa kuin TMS-tilanteessa (Mediaani = 0.25, $\text{MAD} = 0.03$, 90% CI [0.20, 0.30], $\text{MPE} = 100\%$). Nähtyjen osuus oli suurempi pitkällä SOA:lla kuin lyhyellä SOA:lla (Mediaani = 0.14, $\text{MAD} = 0.02$, 90% CI [0.10, 0.18], $\text{MPE} = 100\%$). TMS-tilanteen ja kontrolli-tilanteen ero oli pienempi pitkällä SOA:lla kuin lyhyellä (Mediaani = -0.15, $\text{MAD} = 0.04$, 90% CI [-0.22, -0.09], $\text{MPE} = 100\%$), eli TMS suppressoi tietoisuutta voimakkaammin lyhyellä kuin pitkällä SOA:lla.



Kuva 2. TMS:n vaikutus lyhyellä ja pitkällä SOA:lla nähtyjien ärsykkeiden osuuteen. Virhepalkit kuvaavat 90% todennäköisyysvälejä.

3.2 TMS-pulssin vaikutus orientaation erottelun tarkkuuteen

Testattiin suppressoiko TMS ärsykkeen orientaation erottelun tarkkuutta. Analyysissa käytettiin Bayesilaista sekamallia ennustamaan TMS:n vaikutus oikeiden vastausten osuuteen (Kuva 3). Kiinteinä muuttujina oli SOA (lyhyt ja pitkä) ja TMS (TMS- vs. kontrollitilanne) (kaava = tarkkuus \sim TMS * SOA + (1 | koehenkilö)). Mallin selitysvoima (R²) oli 4.45% (MAD = 0.01, 90% CI [0.03, 0.06]). Leikkauspiste oli 1.36 (MAD = 0.19, 90% CI [1.06, 1.69]). Oikeiden vastausten osuus oli suurempi kontrollitilanteessa kuin TMS-tilanteessa (Mediaani = 0.86, MAD = 0.19, 90% CI [0.55, 1.18], MPE = 100%). Oikeiden vastausten osuus oli suurempi pitkällä SOA:lla kuin lyhyellä SOA:lla (Mediaani = 0.36, MAD = 0.14, 90% CI [0.14, 0.57], MPE = 99.78%). TMS-tilanteen ja kontrollitilanteen ero pieneni pitkän SOA:n ja kontrolli-tilanteen yhteisvaikutuksesta (Mediaani = -0.36, MAD = 0.27, 90% CI [-0.81, 0.06], MPE = 92.10%).

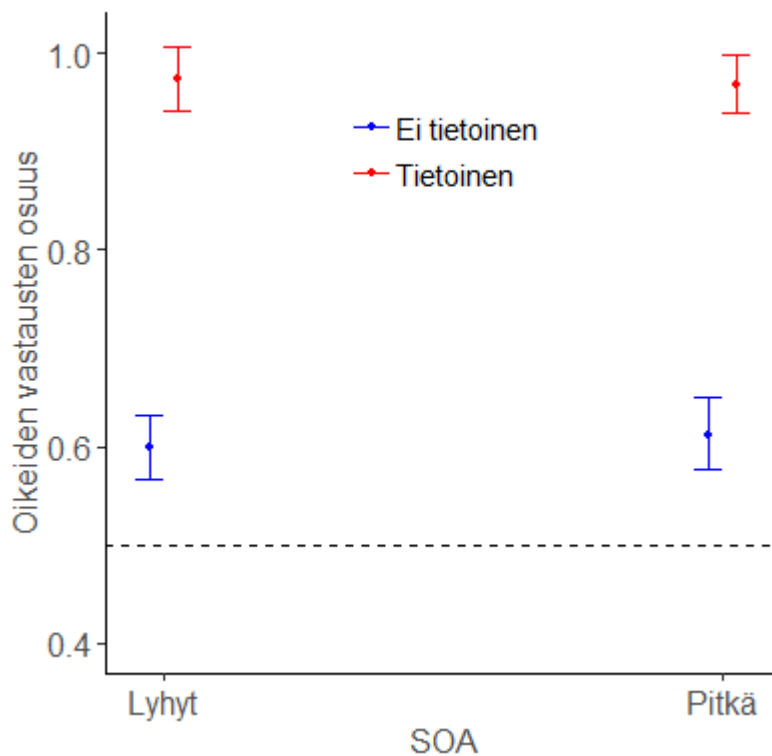


Kuva 3. TMS:n vaikutus oikeiden vastausten osuuteen ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävissä lyhyellä ja pitkällä SOA:lla. Virhepalkit kuvaavat 90% todennäköisyysvälejä.

3.3 Ärsykkeen orientaation erottelu

Mikä oli oikeiden vastausten osuus tietoisuuden arvion funktiona TMS-tilanteessa ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävissä? Analyysissa käytettiin Bayesilaista sekamallia ennustamaan tietoista ja ei-tietoista ärsykkeiden orientaation erottelua (Kuva 4). Kiinteinä muuttujina olivat SOA (lyhyt ja pitkä) ja tietoisuuden arvio (ei-tietoinen eli ei nähnyt ja tietoinen eli näin) (kaava = tarkkuus \sim Arvio * SOA + (1 | koehenkilö)). Mallin selitysvaima (R^2) oli 22.35% (MAD = 0.02, 90% CI [0.19, 0.25], korjattu R^2 = 0.21). Leikkauspiste oli 0.60, eli ärsykkeen ei-tietoinen orientaation erottelu onnistui yli arvaustodennäköisyyden (MAD = 0.02, 90% CI [0.57, 0.63]). Oikeiden vastausten osuus oli suurempi tietoisessa ärsykkeen orientaation tunnistamisessa kuin ei tietoisessa.

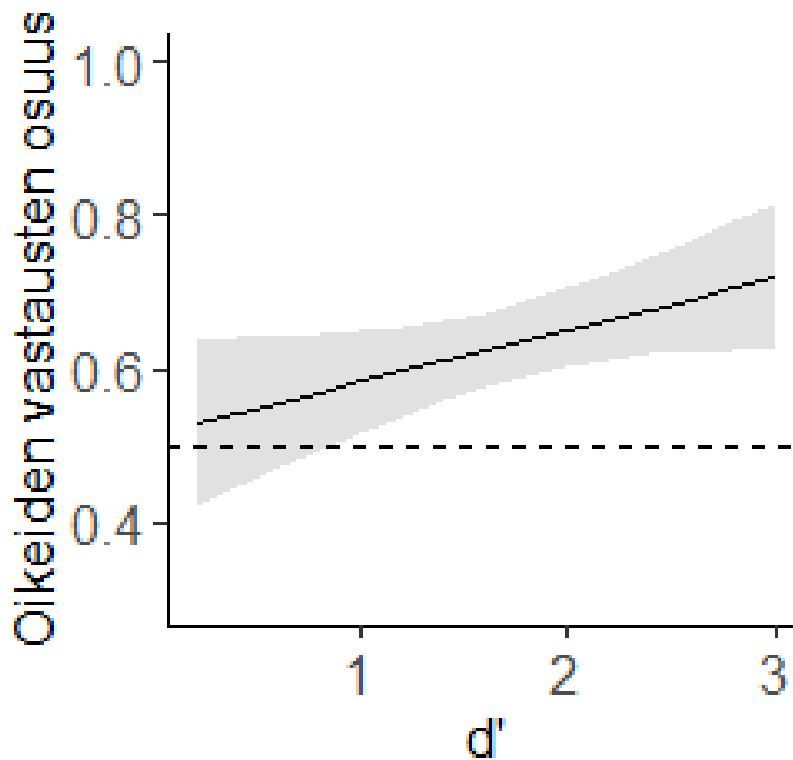
(Mediaani = 0.37, MAD = 0.03, 90% CI [0.33, 0.42], MPE = 100%). Oikeiden vastausten osuus ei eronnut pitkällä ja lyhyellä SOA:lla ei-tietoisien ärsykkeen orientaation erottelussa (Mediaani = 0.01, MAD = 0.03, 90% CI [-0.03, 0.06], MPE = 68.92%). Oikeiden vastausten osuus ei eronnut tietoisien ja ei-tietoisien ärsykkeen orientaation erottelun välillä tietoisien ja pitkän SOA:n yhteisvaikutuksesta (Mediaani = -0.02, MAD = 0.04, 90% CI [-0.08, 0.04], MPE = 68.70%).



Kuva 4. Tietoisuuden ja SOA:n (lyhyt ja pitkä) vaikutus oikeiden vastausten osuuteen ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä. Virhepalkit kuvaavat 90% todennäköisyysvälejä.

3.4. Tietoisuuden yhteys ei-nähtyjen ärsykkeiden orientaation erotteluun

Laskettiin signaalidetektioiteorian avulla d' , eli herkkyyssindeksi tietoiselle erottelukyvylle subjektiivisista arvoista. Tutkittiin tietoisuuden yhteyttä oikeiden vastausten osuuteen ei-tietoisten ärsykkeiden orientaation erottelussa TMS-tilanteessa (Kuva 5). Onko tietoisuudentasolla yhteys oikeiden vastausten osuuteen ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä? D' :n laskemiseen käytetty kaava oli $z(\text{osuma}) - z(\text{väärä hälytys})$. D' laskettiin subjektiiviselle tietoiselle havainnolle, koska se ottaa huomioon väärät hälytykset, eli tehtävät joissa ei esitetty ärsykettä, mutta koehenkilö kertoi nähneensä ärsykkeen orientaation; ”osuma” taas tarkoitti, että koehenkilö vastasi nähneensä ärsykkeen orientaation tehtävässä, jossa oli ärsyke. D' on riippumaton vastauskriteeristä. Koehenkilöiltä otettiin mukaan sekä lyhyen että pitkän SOA:n tulos. Aineistosta poistettiin yksi poikkeava arvo, joten $n = 23$. Analyysissä käytettiin bayesilaista lineaarista regressiomallia ennustamaan tarkkuutta d' :lla (kaava = tarkkuus $\sim d'_{\text{prime}} + (1 | \text{koehenkilö})$). Mallin selitysvoima (R^2) oli 31.82% (MAD = 0.21, 90% CI [0.00, 0.57], korjattu $R^2 = 0.05$). Leikkauspiste oli 0.51, kun d' läheni nollaa (0 = ei tietoisuutta) (MAD = 0.07, 90% CI [0.40, 0.64]). Oikeiden vastausten osuus kasvoi tietoisuuden kasvaessa (Mediaani = 0.07, MAD = 0.04, 90% CI [0.00, 0.13], MPE = 95,43%). Mallin mukaan, mitä vähemmän tietoisuutta ärsykkeen orientaatiosta oli, sitä huonommin erottelu onnistui, ja kun tietoisuutta ei ollut lainkaan, ei orientaation erottelu onnistunut arvaustasoa paremmin.



Kuva 5. Tietoisuutta kuvaavan d' :n yhteys oikeiden vastausten osuuteen ei-tietoisissa tehtävissä TMS-tilanteessa. Harmaa alue kuvaa 90% todennäköisyysväliä.

3.5 Vastauskriteeri

Lopuksi tutkittiin TMS:n vaikutus signaalidetektiteorian mukaisesti laskettuun vastauskriteeriin (c) subjektiivisessa ärsyksen arviotehtävässä. Lisäkö TMS-tilanne vastauskriteerin konservatiivisuutta (varovaisuutta) suhteessa Kontrolli-tilanteeseen? Eli raportoivatko koehenkilöt ”en nähnyt” enemmän kuin ”näin”, vaikka he näkivätkin ”vähän” välttääkseen ”väärin hälytysten” määrä TMS-tilanteessa? Mallissa käytettiin Bayesilaista sekamallia ennustamaan TMS-tilanteen vaikutus vastauskriteeriin. Kiinteänä muuttujana oli TMS (TMS-tilanne vs. kontrollitilanne) (kaava = vastauskriteeri \sim TMS + (1 | koehenkilö)). Mallin selitysvaiva (R^2) oli 51.39% (MAD = 0.095, 90% CI [0.34, 0.66], Korjattu R^2 = 0.36). Leikkauspiste oli 0.68 (MAD = 0.088, 90% CI [0.54, 0.83]). Vastauskriteerin konservatiivisuus oli suurempi TMS-tilanteessa kuin kontrolli-tilanteessa (Mediaani = -0.33, MAD = 0.076, 90% CI [-0.45, -0.19], MPE = 100%).

4. Pohdinta

4.1 Keskeiset tulokset

Kokeessa tutkittiin ei-tietoisien näköhavainnon hermostollista perustaa. Tarkasteltiin, pystytäänkö TMS:lla aiheuttamaan sokeanäkö terveillä koehenkilöillä. Tutkittiin, osallistuuko varhainen näköaivokuori sokeanäköön vai käyttääkö ilmiö sen ohittavia subkortikaalisia ratoja normaaleissa aivoissa. Tutkimuksen päätulos ei tue varhaisen näköaivokuoren ohittavien ratojen osallisuutta ei-tietoisessa orientaation erottelussa.

Ensiksi varmistettiin TMS:n vaikutus tietoisuuteen, eli tutkittiin pystyttiinkö TMS:n avulla suppressoimaan tietoisuutta (Kuva 2). Oikeiden vastausten osuus oli pienempi TMS-tilanteessa kuin kontrollitilanteessa. TMS:n avulla oli siis mahdollista suppressoida tietoisuutta. Seuraavaksi selvitettiin TMS:n vaikutus ärsykkeen orientaation erottelun tarkkuuteen lyhyellä ja pitkällä SOA:lla (Kuva 3). Oikeiden vastausten osuus oli pienempi lyhyellä kuin pitkällä SOA:lla. TMS-tilanteen ja kontrollitilanteen ero oikeiden vastausten osuudessa pieneni pitkän SOA:n ja kontrollitilanteen yhteisvaikutuksesta, vaikkakaan yhteisvaikutus ei ollut kovin todennäköinen.

Kolmanneksi selvitettiin ärsykkeen orientaation tietoista sekä ei-tietoista erottelua TMS-tilanteessa. Oikeiden vastausten osuus oli suurempi tietoisessa ärsykkeen orientaation tunnistamisessa verrattuna ei-tietoiseen. Ärsykkeen ei-tietoinen orientaation erottelu onnistui yli arvaustodennäköisyyden (Kuva 4), eli sokeanäkö onnistuttiin replikoimaan.

Seuraavaksi laskettiin signaalidetektiteorian avulla tietoisuudelle d' selvittämään tietoisuuden yhteys oikeiden vastausten osuuteen ei-tietoisien ärsykkeiden orientaation erottelussa TMS-tilanteessa. Tietoisuuden ja oikeiden vastausten leikkauspiste oli 51%, (90% CI [0.40, 0.64]). Ärsykkeen orientaation ei-tietoinen erottelu ei siis eronnut mallin mukaan arvaustodennäköisyydestä, kun tietoisuutta ärsykkeen orientaatiosta ei ollut lainkaan. Tämän lisäksi ei-tietoinen erottelukyky kasvoi tietoisuuden lisääntyessä. Tämä tutkimustulos viittaa siihen, että TMS-sokeanäkö terveillä koehenkilöillä ei ole todellinen

ilmiö, vaan seurausta visuaalisen havaintokynnyksen alarajoilla tapahtuvasta osittain tietoisesta prosessoinnista.

Lopuksi tutkittiin TMS- ja kontrollitilanteen vaikutus vastauskriteeriin subjektiivisessa ärsykkeen arviotehtävässä. Lisäkö TMS-tilanne vastauskriteerin konservatiivisuutta suhteessa kontrollitilanteeseen? Eli raportoivatko koehenkilöt ”en nähnyt” enemmän kuin ”näin” vaikka he näkivätkin ”vähän” välttääkseen ”väärin hälytysten” määrä TMS-tilanteessa? Havaittiin, että vastauskriteeri oli konservatiivisempi TMS-tilanteessa kuin kontrollitilanteessa subjektiivisessa ärsykkeen arviotehtävässä. Tämä havainto selittää TMS-sokeanäköilmiön terveillä koehenkilöillä: osa ei-nähdyiksi arvioiduista ärsykkeistä on todellisuudessa ollut tietoisia. Tutkimustulokset tukivat hypoteesia, jonka mukaan varhaiselle näköaivokuorelle kohdistettu TMS heikentää ei-tietoista ärsykkeen orientaation erottelukykyä pakkovalintatehtävässä, mikä viittaa siihen, että varhainen näköaivokuori osallistuu ei-tietoisien ärsykkeen erotteluun.

4.2 Keskeisten tulosten suhde aikaisempiin tutkimustuloksiin

Tässä tutkimuksessa replikoitui Koenigin ja Ron (2019) sekä Boyerin ja kumppaneiden (2005) tulos, jossa visuaalisen ärsykkeen ei-tietoinen orientaation erottelu ylitti arvaustodennäköisyyden. Koenigin ja Ron (2019) sekä Boyerin ja kumppaneiden (2005) tutkimukset käyttivät vastaavanlaista koasetelmaa tämän tutkimuksen kanssa. Kummassakin tutkimuksessa terveet koehenkilöt vastasivat subjektiiviseen ärsykkeen arviotehtävään sekä ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävään. On huomionarvoista, että tässäkin tutkimuksessa arvaustodennäköisyys ylittyi ei-tietoisessa orientaation erottelussa. Koenigin ja Ron (2019) sekä Boyerin ja kumppaneiden (2005) tutkimukset kuitenkin erosivat tästä tutkimuksesta siten, että ne eivät käyttäneet signaalidetektiteoriaa selvittämään tietoisuudentason yhteyttä oikeiden vastausten osuuteen ei-tietoisiksi arvioiduissa tehtävissä ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä. Tässä tutkimuksessa signaalidetektiteorian d' :n avulla selvitettiin tietoisuudentason yhteys oikeuden vastausten osuuteen ei-tietoisiksi arvioiduissa tehtävissä ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävässä. Tulokset viittaavat siihen, että TMS-sokeanäkö ei ole todellinen ilmiö, vaan seurausta havaintokynnyksen alarajoilla tapahtuvasta osittain tietoisesta prosessoinnista.

Tässä tutkimuksessa saadut tulokset tukevat Koiviston ja kumppaneiden (2011) TMS-tutkimustuloksia varhaisen näköaivokuoren roolista tietoisessa ja ei-tietoisessa visuaalisen tiedon prosessoinnissa normaaleilla aivoilla. Koivisto ja kumppanit (2011) havainnot viittasivat siihen, että eteen- ja taaksepäin suuntautuvat visuaalisen tiedon prosessoinnit yhdistyvät keskenään pian sen jälkeen, kun varhainen näköaivokuori on aktivoitunut. Koivisto ja kumppaneiden (2011) tutkimustulos tuki malleja joiden mukaan visuaalinen tietoinen ärsykkeen havainto riippuu taaksepäin suuntautuvista prosessoinnista varhaiselle näköaivokuorelle, ja, että eteenpäin suuntautuva prosessointi olisi riittävä ärsykkeen orientaation ei-tietoiseen erotteluun (Lamme, 2006; Lamme, & Roelfsema, 2000). Tämä havainto sai tukea, kun havaittiin, että tietoisuudentaso on yhteydessä oikeiden vastausten osuuteen ei-tietoisten ärsykkeiden orientaation erottelussa TMS-tilanteessa. Vastaavia tutkimustuloksia saivat myös Lloyd ja kumppanit (2013) TMS-sokeanäkötutkimuksessaan. Heidän tutkimuksessaan ärsykkeen erottelun pakkovalintatehtävä ei eronnut subjektiivisesta arviotehtävästä. Tässä tutkimuksessa käytettiin signaalidetektiteoriaa tutkimaan TMS:n vaikutusta vastauskriteeriin (c) subjektiivisessa arviotehtävässä TMS-tilanteessa parannuksena Lloydin ja kumppaneiden (2013) tutkimukseen. Havaittiin, että TMS muuttaa kriteeriä raportoida tietoisuutta ärsykkeen orientaatiosta konservatiivisemmaksi, eli koehenkilöt pyrkivät välttämään vääriä hälytyksiä TMS:n mahdollisesti kontralateraalissa näkökentässä aiheuttamiin fosfeeneihin (valovälähdys) tai muihin visuaalisiin aistimuksiin ja vastaavat varmuuden vuoksi, etteivät nähneet ärsykkeen orientaatiota. Tutkimustulos viittaa siihen, että ei-tietoinen näkeminen TMS-sokeanäössä ei ole todellinen ilmiö.

4.3 Kriittinen tarkastelu ja jatkotutkimustarve

Tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina. Kokeen kysymysjärjestys oli vastabalansoitu ja TMS-artifaktojen vaikutus kontrolloitu asian mukaisesti. Tutkimuksessa käytetty otoskoko vastasi aikaisempia TMS-sokeanäkötutkimuksia koehenkilöiden lukumäärän suhteen (Koenig & Ro, 2019; Boyer ym., 2005; Koivisto ym., 2011).

Tutkimustulokset poikkesivat tulkinnaltaan Koenigin ja Ron (2019) sekä Boyerin ja kumppaneiden (2005) aikaisemmista tutkimustuloksista. Tutkimustulokset vastasivat Lloydin ja kumppaneiden (2013) signaalidetektioiteorian avulla saatua tutkimustulosta. Signaalidetektioiteoriaa voidaan pitää uskottavimpana välineenä sokeanäköaineiston analysoinnissa. Se on riippumaton vastauskriteeristä ja ottaa huomioon ns. väärät hälytykset, eli tehtävät, joissa koehenkilö on vastannut ”näin” vaikka tehtävässä ei ollut ärsykettä (McNicol, 2005).

TMS-artifaktojen vaikutus kontrolloitiin kokeessa asian mukaisesti. TMS-tilannetta verrattiin ipsilateraaliseen kontrollistimulaatioon, jolloin eron tuloksissa näiden kahden tilanteen välillä täytyi johtua TMS:n vaikutuksista neuraaliseen prosessointiin. Sokeanäköilmiön jatkotutkimuksen kannalta on myös tärkeä huomioida, että TMS:llä voidaan suppressoida vain suhteellisen pieniä ärsykeitä. Pienet ärsykkeet voivat olla ongelma tulosten tulkinnan ja vertailun kannalta, koska sokeanäköpotilaille voidaan esittää iso ja vahvakontrastinen ärsyke, jolloin syöte näköjärjestelmään on vahvempi, kun taas TMS-tutkimuksissa voidaan käyttää huomattavasti pienempiä ja heikkokontrastisempia ärsykeitä (Ro & Rafal, 2006). Ei ole selvää, kuinka pienillä ärsykeillä subkortikaalisten ratojen resoluutio ja herkkyys toimivat.

Onko subjektiivinen arviotehtävä kaksiportaisella eli dikotomisella skaalalla (näin / en nähnyt) tarpeeksi hyvä mittari luotettavalle arviolle tietoisesta havainnosta? Jatkotutkimuksen kannalta tietoista vs. ei-tietoista ärsykkeen ominaisuuden erottelukykyä tutkiessa olisi parempi käyttää subjektiivisen havainnoinnin mittarina neliportaista PAS-skaalaa, eli Perceptual Awareness-Scale:a (Ramsøy & Overgaard, 2004; Koivisto ym., 2011). PAS-skaala on tarkempi tietoisuuden tason mittari kuin kaksiportainen ”näin” / ”en nähnyt” dikotominen skaala, jonka käyttö tässä tutkimuksessa johti vastauskriteerin aiheuttamaan vääristymään (Luku 3.5). Neliportainen PAS-skaala ”en nähnyt mitään”, ”näin jotain”, ”näin melko selvästi”, ja ”näin selvästi” tarjoaa koehenkilöille useamman vaihtoehdon subjektiiviselle havainnolle.

4.4 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen perusteella TMS-sokeanäkö terveillä koehenkilöillä johtuu visuaalisen havaintokynnyksen alarajoilla tapahtuvasta osittain tietoisesta prosessoinnista. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että varhainen näkökuori on osallisena visuaalisen ärsykkeen ei-tietoisessa prosessoinnissa. Tämän tutkimuksen tulokset eivät tue hypoteesia vaihtoehtoisesta subkortikaalisesta varhaisen näköaivokuoren ohittavasta reitistä sokeanäön taustalla terveillä koehenkilöillä, vaan viittaa siihen, että aiemmin todettu ”TMS-sokeanäkö” voidaan selittää konservatiivisella vastauskriteerillä ja ärsykkeen osittaisella tietoisella havaitsemisella.

5. Lähteet

- Ajina, S., Pestilli, F., Rokem, A., Kennard, C., & Bridge, H. (2015). Human blindsight is mediated by an intact geniculo-extrastriate pathway. *Elife*, *4*, e08935.
- Allen, C. P., Sumner, P., & Chambers, C. D. (2014). The timing and neuroanatomy of conscious vision as revealed by TMS-induced blindsight. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *26*(7), 1507-1518.
- Baseler, H. A., & Sutter, E. E. (1997). M and P components of the VEP and their visual field distribution. *Vision Research*, *37*(6), 675-690.
- Bittar, R. G., Ptito, M., Faubert, J., Dumoulin, S. O., & Ptito, A. (1999). Activation of the remaining hemisphere following stimulation of the blind hemifield in hemispherectomized subjects. *Neuroimage*, *10*(3), 339-346.
- Boyer, J. L., Harrison, S., & Ro, T. (2005). Unconscious processing of orientation and color without primary visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *102*(46), 16875-16879.
- Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain Research Reviews*, *36*(2-3), 96-107.
- Danckert, J., & Rossetti, Y. (2005). Blindsight in action: what can the different sub-types of blindsight tell us about the control of visually guided actions?. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *29*(7), 1035-1046.
- Etz, A., & Vandekerckhove, J. (2016). A Bayesian perspective on the reproducibility project: Psychology. *PloS One*, *11*(2), e0149794.
- Fendrich, R., Wessinger, C. M., & Gazzaniga, M. S. (1992). Residual vision in a scotoma: implications for blindsight. *Science*, *258*(5087), 1489-1491.
- Hagelberg, N., Harno, H., Saijonkari, M., Isojärvi, J., Mäkelä, M., Sihvo, S., & Jääskeläinen, S. (2017). Transkraniaalinen magneettistimulaatio neuropaattisen kivun hoidossa. *Suomen Lääkärilehti*, *72*(4), 214-214.
- Hochstein, S., & Ahissar, M. (2002). View from the top: Hierarchies and reverse hierarchies in the visual system. *Neuron*, *36*(5), 791-804.
- Kammer, T. (2007). Masking visual stimuli by transcranial magnetic stimulation. *Psychological Research*, *71*(6), 659-666.

- Kammer, T. (2007). Visual masking by transcranial magnetic stimulation in the first 80 milliseconds. *Advances in Cognitive Psychology*, 3(1-2), 177.
- Kammer, T., Scharnowski, F., & Herzog, M. H. (2003). Combining backward masking and transcranial magnetic stimulation in human observers. *Neuroscience Letters*, 343(3), 171-174.
- Koenig, L., & Ro, T. (2019). Dissociations of conscious and unconscious perception in TMS-induced blindsight. *Neuropsychologia*, 128, 215-222.
- Koivisto, M., Lähteenmäki, M., Kaasinen, V., Parkkola, R., & Railo, H. (2014). Overlapping activity periods in early visual cortex and posterior intraparietal area in conscious visual shape perception: a TMS study. *Neuroimage*, 84, 765-774.
- Koivisto, M., Railo, H., & Salminen-Vaparanta, N. (2011). Transcranial magnetic stimulation of early visual cortex interferes with subjective visual awareness and objective forced-choice performance. *Consciousness and Cognition*, 20(2), 288-298.
- Kruschke, J. K. (2010). What to believe: Bayesian methods for data analysis. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 293-300.
- Kruschke, J. K., Aguinis, H., & Joo, H. (2012). The time has come: Bayesian methods for data analysis in the organizational sciences. *Organizational Research Methods*, 15(4), 722-752.
- Lalli, S., Hussain, Z., Ayub, A., Cracco, R. Q., Bodis-Wollner, I., & Amassian, V. E. (2006). Role of the calcarine cortex (V1) in perception of visual cues for saccades. *Clinical Neurophysiology*, 117(9), 2030-2038.
- Lamme, V. A. (2006). Towards a true neural stance on consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(11), 494-501.
- Lamme, V. A., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, 23(11), 571-579.
- Lamme, V. A., Super, H., Landman, R., Roelfsema, P. R., & Spekreijse, H. (2000). The role of primary visual cortex (V1) in visual awareness. *Vision Research*, 40(10-12), 1507-1521.
- Leh, S. E., Johansen-Berg, H., & Ptito, A. (2006). Unconscious vision: new insights into the neuronal correlate of blindsight using diffusion tractography. *Brain*, 129(7), 1822-1832.
- Lloyd, D. A., Abrahamyan, A., & Harris, J. A. (2013). Brain-stimulation induced blindsight: unconscious vision or response bias? *PloS One*, 8(12), e82828.
- Lüdecke D (2018). *sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science*. doi: [10.5281/zenodo.1308157](https://doi.org/10.5281/zenodo.1308157), R package version 2.6.2, <https://CRAN.R-project.org/package=sjPlot>.

- Makowski, D. (2019) *Bayesian analysis in psychology*. Lainattu 25.3, saatavilla:
<ftp://ftp.math.ethz.ch/sfs/Software/R-CRAN/web/packages/psycho/vignettes/bayesian.html>
- McNicol, D. (2005). *A primer of signal detection theory*. New York: Psychology Press.
- Railo, H., Salminen-Vaparanta, N., Henriksson, L., Revonsuo, A., & Koivisto, M. (2012). Unconscious and conscious processing of color rely on activity in early visual cortex: a TMS study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(4), 819-829.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
 URL <http://www.R-project.org/>.
- Ro, T., Rafal, R. (2006) Visual restoration in cortical blindness: insights from natural and TMS-induced blindsight. *Neuropsychological rehabilitation*, 16(4), 377-396.
- Romei, V., Murray, M. M., Merabet, L. B., & Thut, G. (2007). Occipital transcranial magnetic stimulation has opposing effects on visual and auditory stimulus detection: implications for multisensory interactions. *Journal of Neuroscience*, 27(43), 11465-11472.
- Rossi, S., Hallett, M., Rossini, P. M., Pascual-Leone, A., & Safety of TMS Consensus Group. (2009). Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clinical Neurophysiology*, 120(12), 2008-2039.
- Ramsøy T. Z., & Overgaard, M. (2004). Introspection and subliminal perception. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 3, 1-23.
- Sack, A. T., van der Mark, S., Schuhmann, T., Schwarzbach, J., & Goebel, R. (2009). Symbolic action priming relies on intact neural transmission along the retino-geniculostriate pathway. *Neuroimage*, 44(1), 284-293.
- Tomaiuolo, F., Ptito, M., Marzi, C. A., Paus, T., & Ptito, A. (1997). Blindsight in hemispherectomized patients as revealed by spatial summation across the vertical meridian. *Brain: a Journal of Neurology*, 120(5), 795-803.
- Vitikainen, A., & Kähkönen, S. (2006). Transkraniaalinen magneettistimulaatio. Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen ja A. Revonsuo (toim.). *Mieli ja Aivot: Kognitiivisen neurotieteen oppikirja* (ss. 130-136). Turku: Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus, Turun yliopisto.
- Wagenmakers, E. J., Love, J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., ... & Meerhoff, F. (2018). Bayesian inference for psychology. Part II: Example applications with JASP. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 58-76.
- Weiskrantz, L. (1996). Blindsight revisited. *Current Opinion in Neurobiology*, 6(2), 215-220.

Wessinger, C. M., Fendrich, R., Ptito, A., Villemure, J. G., & Gazzaniga, M. S. (1996). Residual vision with awareness in the field contralateral to a partial or complete functional hemispherectomy. *Neuropsychologia*, 34(11), 1129-1137.

Zeki, S., & Bartels, A. (1999). Toward a theory of visual consciousness. *Consciousness and Cognition*, 8(2), 225-259.