

Transkraniaalisella magneettistimulaatiolla aiheutettu sokeanäköefekti terveillä henkilöillä: Onko tiedostamaton havaitseminen sittenkään tiedostamatonta?

Jaakko Karttunen

Pro gradu -tutkielma

Psykologian ja logopedian laitos

Psykologia 2020

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

# TURUN YLIOPISTO

Psykologian ja logopedian laitos

KARTTUNEN, JAAKKO: Transkraniaalisella magneettistimulaatiolla aiheutettu sokeanäköefekti terveillä henkilöillä: Onko tiedostamaton havaitseminen sittenkään tiedostamatonta?

Pro gradu -tutkielma, 30 s.

Psykologia

Marraskuu 2020

---

Varhaisen näköaivokuoren (V1/V2/V3) transkraniaalisella magneettistimulaatiolla (TMS) on saatu suppressoitua tietoisuutta visuaalisesta ärsykkeestä siten, että vaikka koehenkilöt ovat raportoineet, etteivät ole nähneet ärsykettä, ovat he silti pystyneet arvaustodennäköisyyttä paremmin raportoimaan ärsykkeen ominaisuuden. Tietoisuuden mittaamisessa on suuressa osassa tutkimuksista käytetty kaksiportaista itseraportointia. Dikotominen asteikko saattaa kuitenkin aliarvioida tietoisien prosessoinnin osuutta ja siten yliarvioida tiedostamatonta havainnointia. Tutkimuksessa suppressoitiin TMS:n avulla terveiden koehenkilöiden tietoisuutta näköärsykkeestä (N = 36). Koehenkilöiden tuli tämän jälkeen raportoida esitetyn viivan orientaatio (pysty / vaaka) ja sen lisäksi myös oma tietoisuus havainnosta. Tietoisuuden tason mittareina käytettiin joko dikotomista asteikkoa (näin / en nähnyt) tai neliportaista Perceptual Awareness Scale -asteikkoa (PAS) (ei mitään / jotain / melkein selvä / selvä). Kokeessa käytettiin kahta erimittaista ärsykkeen esittämisen ja TMS-pulssin välistä ajoitusta (SOA). Aikaisemmissa tutkimuksissa tietoisuutta näköärsykkeestä on saatu suppressoitua aina niin sanotun klassisen aleneman aikaisella SOA:lla (n. 100 ms). Aineisto analysoitiin käyttämällä Bayesilaista lineaarista sekamallia. Tietoisuutta näköärsykkeestä saatiin suppressoitua lyhyemmällä, klassisen aleneman aikaisella SOA:lla. Dikotomisella asteikolla ja keinotekoisesti kaksiportaiseksi muunnetulla PAS-asteikolla saatiin tulos, että ei-nähdyiksi kategorisoitujen ärsykkeiden kohdalla koehenkilöt pystyivät arvaustodennäköisyyttä paremmin raportoimaan viivan orientaation. Laskettiin signaalidetektioiteorian avulla herkkyyssindeksi  $d'$  ja koehenkilöiden vastauskriteerimuuttuja  $c$ . Molemmat analyysit antoivat viitteitä, että ei-nähdyiksi kategorisoituihin havaintoihin sisältyi kuitenkin jonkinasteista tietoisuutta prosessointia. Lopuksi verrattiin tietoisuuden dikotomista arviointiasteikkoa neliportaiseen PAS-asteikkoon. Dikotomisella asteikolla viivan orientaation erottelu onnistui arvaustodennäköisyyttä paremmin, vaikka koehenkilöt olivat raportoineet, etteivät olleet nähneet ärsykettä. PAS-asteikolla sen sijaan kategoriassa ”ei mitään” viivan orientaation erottelu ei ylittänyt arvaustodennäköisyyttä. Dikotominen arviointiasteikko siis yliarvioi koehenkilöiden tiedostamatonta prosessointia. Eli kun koehenkilöt kykenivät raportoimaan viivan orientaation arvaustodennäköisyyttä paremmin, oli mukana aina jonkinasteista tietoisuutta prosessointia. Tutkimuksen mukaan sekä tietoinen että tiedostamaton visuaalinen prosessointi vaativat varhaisen näköaivokuoren toimintaa.

Asiasanat: TMS, sokeanäkö, tietoisuus, Perceptual Awareness Scale, dikotominen arviointiasteikko

## Sisällysluettelo

<b>1. Johdanto</b>	<b>1</b>
1.1 Sokeanäkö	1
1.2 Varhainen näköaivokuori ja subkortikaaliset radat	2
1.3 Sokeanäön tutkiminen TMS:n avulla	4
1.3.1 Kontrolloitavat muuttujat TMS-tutkimuksessa	4
1.3.2 Klassinen alenema ja muut alenemat	5
1.3.3 TMS:llä aiheutettu sokeanäkö	7
1.4 Havainnon tietoisuuden mittaaminen	8
1.4.1 Dikotominen arvio	9
1.4.2 PAS-arvio	10
1.5 Tutkimuskysymys ja hypoteesi	11
<b>2. Menetelmät</b>	<b>13</b>
2.1 Koehenkilöt	13
2.2 Laitteet ja ärsykkeet	13
2.3 Kokeen kulku	14
2.3.1 Varsinainen koe	14
2.3.2 Ärsykkeen kontrasti ja TMS-paikannus	16
2.4 Tilastolliset analyysit	17
<b>3. Tulokset</b>	<b>18</b>
3.1 TMS:n vaikutus tietoisuuteen dikotomisella ja kaksiportaiseksi muunnetulla PAS-asteikolla	18
3.2 Signaalidetektioanalyysi	19
3.3 Vastauskriteeri	20
3.4 Oikeiden vastausten osuus lyhyellä SOA:lla eri tietoisuuden tasoilla	22
3.5 Vastaustarkkuuden vertailu alhaisimmilla tietoisuuden tasoilla dikotomisen asteikon ja PAS-asteikon välillä	24
<b>4. Pohdinta</b>	<b>24</b>
4.1 Keskeiset tulokset	24
4.2 Tulosten suhde aikaisempiin tutkimuksiin	26
4.3 Tulosten kriittinen arviointi ja jatkotutkimusehdotukset	28
4.4 Yhteenveto	29
<b>5. Lähteet</b>	<b>31</b>

# 1. Johdanto

## 1.1 Sokeanäkö

Sokeanäkö (engl. blindsight) tarkoittaa sitä, että henkilöllä on varhaisella näköaivokuorella leesio, joka aiheuttaa näkökentässä sokean pisteen, ja vaikka tietoinen näköhavainto puuttuu, pystyvät potilaat suhteellisen hyvin havainnoimaan sokeaan pisteeseen esitetyn ärsykkeen tiettyjä ominaisuuksia, esimerkiksi muotoa, asentoa, liikettä, väriä tai sijaintia (Weiskrantz, 1996). Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että henkilö pystyy päättämään arvaustasoa paremmin, onko esitetty viiva pysty- vai vaaka-asennossa, vaikka hän raportoi, ettei itse viivasta ole tietoista havaintoa.

Sokeanäköä on tutkittu paljon, ja sen avulla on saatu paljon tietoa visuaalisen havainnon tiedostamisesta (Silvanto, 2015). Tiedostamattomalla havainnoinnilla (engl. subliminal perception) tarkoitetaan sitä, että ihminen pystyy havaitsemaan ärsykeitä tiedostamattaan havainneensa niitä (Ramsøy, & Overgaard, 2004). Henkilö voi siis esimerkiksi raportoida viivan asennon oikein, mutta siltikin sanoa, ettei ole edes havainnut itse viivaa.

Sokeanäön yhteyttä varhaiseen näköaivokuoreen, ja etenkin sen alueeseen V1 on tutkittu paljon (Silvanto, 2015). On esitetty, että vaurio V1:llä vaikeuttaa tietoista havainnointia, mutta tiedostamattomat havaintoprosessit säilyvät ehyinä. Sokeanäköä on selitetty sillä, että V1:n vahingoituessa subkortikaaliset aivoalueet jatkavat näköhavainnon tiedostamatonta prosessointia. Näköärsyksen aikaansaama signaali voi siis kokonaan ohittaa alueen V1 ja siirtyä subkortikaalisilta aivoalueilta suoraan korkeammille näköaivokuoren alueille (Leopold, 2012).

Alueella V1 on siis uniikki rooli tietoisesta näkemisen kannalta (Silvanto, 2015). Sitäkin on tutkittu, onko näköaivokuoren alue V1 kriittinen pelkästään tietoisesta näkemisen kannalta, vai onko se yleisesti perusta sekä tietoiselle että tiedostamattomalle näönvaraiselle havainnoinnille (Koivisto, Mäntylä, & Silvanto, 2010). Sokeanäköefekti on antanut viitteitä siitä, että V1 olisi perusta nimenomaan tietoiselle visuaaliselle havaitsemiselle, ja subkortikaaliset radat, jotka ohittavat alueen V1, olisivat perusta tiedostamattomalle havainnoinnille (Schmid ym., 2010). Tutkimukseen liittyy kuitenkin

sellainen ongelma, että sokeanäköpotilailla aivoradat ovat saattaneet muuttua aivojen plastisiteetin takia. Siksi tarvitaan myös tutkimusta normaalisti toimivilla aivoilla.

Sokeanäköä on pyritty simuloimaan normaaleissa aivoissa monissa eri tutkimuksissa kokeellisesti transkraniaalisen magneettistimulaation (TMS) avulla (de Graaf, Koivisto, Jacobs, & Sack, 2014). Amassian ja kumppanit (1989) huomasivat ensimmäisen kerran, että TMS-pulssien kohdistaminen näköaivokuorelle häiritsee näköärsykkeen prosessoimista. Ron, Sheltonin, Leen ja Stangin (2004) tutkimuksessa simuloitiin ensimmäisen kerran sokeanäköä systemaattisesti TMS:n avulla. Tutkimuksessa huomattiin, että esitetyt ärsykkeet aiheuttivat sakkadeja, eli nopeita silmänliikkeitä siihen suuntaan, jossa ärsyke oli esitetty, vaikka koehenkilöt raportoivat, etteivät olleet nähneet itse ärsykettä.

Sokeanäkö tutkimukseen liittyy kuitenkin ongelma, miten mitata henkilön tietoisuutta havainnosta. TMS-tutkimuksissa on käytetty yleisesti kaksiportaista dikotomista arviointiasteikkoa (”näin” / ”en nähnyt”) (esim. Boyer, Harrison, & Ro, 2005; Koenig, & Ro, 2019). Havainnon tietoisuuden mittaamiseen on kuitenkin kehitetty parempi mittari, neliportainen PAS-asteikko (”ei mitään” / ”jotain” / ”melkein selvä” / ”selvä”) (Ramsøy, & Overgaard, 2004). Tässä tutkimuksessa vertaillaan ensimmäistä kertaa dikotomista ja PAS-asteikkoa toisiinsa TMS:llä aiheutetun sokeanäköefektin kohdalla. Tutkimuksen tarkoitus on selvittää, onko tiedostamaton havainnointi todella tiedostamatonta, vai liittyykö oikeisiin vastauksiin jonkinasteista tietoista prosessointia.

## 1.2 Varhainen näköaivokuori ja subkortikaaliset radat

Useissa TMS-tutkimuksissa on oletettu, että stimulaatio on kohdistunut V1:een (de Graaf ym., 2014). Monissa tutkimuksissa on kuitenkin samalla saatettu stimuloida myös viereisiä alueita V2 ja V3 (Salminen-Vaparanta, Noreika, Revonsuo, Koivisto, & Vanni, 2011). Siksi kannattaakin enemmän puhua *varhaisesta näköaivokuoresta*. Monet varhaisen näköaivokuoren alueet ovat relevantteja näköaistimukselle. V2 ja V3 saattavat myös vaikuttaa V1:n toimintaan anatomisten yhteyksien kautta (Kammer, Puls, Erb, & Grodd, 2005a).

V1 on ikään kuin pullonkaula visuaalisessa prosessoinnissa, ja tämä saattaa osaltaan selittää sen tärkeyttä näköaistimuksen tietoisessa havaitsemisessa (Leopold, 2012). Tärkein näköaistimuksen reitti alkaa retinalta ja kulkee näköhermoja pitkin talamuksessa sijaitsevaan ulompaan polvitumakkeeseen (engl. lateral geniculate nucleus, LGN), josta impulssi siirtyy V1:lle. Ihmisillä ja apinoilla melkein kaikki visuaalinen informaatio kulkee tätä reittiä pitkin.

Pieni osa näköinformaatiosta kulkee LGN:n sijasta myös pulvinaaritimakkeiden kautta näköaivokuorelle (Leopold, 2012). Sokeanäköä saattaa osaltaan selittää se, että on olemassa myös reittejä, jotka ohittavat V1:n. Osa LGN:n ja pulvinaaritimakkeiden kautta kulkevasta informaatiosta menee suoraan V1:n viereisille alueille. V1:llä on kuitenkin ajateltu olevan uniikki rooli tietoisesta havaitsemisesta kannalta (Silvanto, 2015). Syöte sen viereisille alueille ei saa aikaan tietoisesta havaintoa näköärsykkeestä.

Crick ja Koch (1995) esittivät näköaistimuksen hierarkkisen etenevän mallin (engl. feedforward model). Mallin mukaan lähes kaikki syöte V1:n viereisille alueille tulee V1:ltä, ja alemman tason aivoalueiden ainoa tehtävä on antaa syötettä ylemmän tason aivoalueille. Havainto ja tietoisuus havainnosta syntyvät näillä korkeamman tason aivoalueilla.

Nopeasti kävi kuitenkin ilmi, ettei tällainen hierarkkinen malli kovinkaan hyvin selitä monia neurologisia ilmiöitä (Silvanto, 2015). Silvanto on koonnut katsauksessaan kolme päätekijää, jotka sotivat havainnon hierarkkista mallia vastaan. Ensimmäiseksi, jos näköaistimus olisi luonteeltaan hierarkkisesti etenevä, pitäisi korkeamman tason aivoaktivaatiolla olla selvästi pitempi latenssi kuin alemman tason aktivaatiolla. Näin ei kuitenkaan ole. Toinen tekijä on se, että esimerkiksi V1:llä on havaittu olevan monia eri vasteita yhden vasteen sijaan. On olemassa aikainen vaste, mutta sen jälkeen syntyy myös myöhäisempi vaste samaan ärsykkeeseen. Kolmanneksi on myös havaittu, että syöte kulkee myös toiseen suuntaan (engl. feedback model), eli alemman tason aivoalueiden toiminta on riippuvaista ylemmän tason aivoalueiden aktivaatiosta. V1 saa siis syötettä ylemmiltä aivoalueilta kuten vaikkapa V2:lta tai V3:lta.

Lammen (2001) mallissa visuaalisen ärsykkeen aiheuttama syöte saavuttaa varhaisen näköaivokuoren noin 40 ms ärsykkeen esiintymisen jälkeen. Siitä syöte siirtyy viereisille näköaivokuoren alueille ja temporaali- sekä parietaalilohkoille noin 60 ms kohdalla.

Lammen mukaan tietoisuus näköärsykkeestä syntyy vasta noin 100 ms kohdalla, kun edellä mainitut alueet palauttavat syötettä alueelle V1. Näin ollen feedback-syöte alueelle V1 aiheuttaa tietoisien havaitsemisen. Koivisto, Mäntylä ja Silvanto (2010) esittivät tutkimuksessaan, että myös tiedostamaton havainnointi riippuu varhaisesta näköaivokuoresta ja alueesta V1. He tutkivat tätä liikkuvilla pisteillä antaen TMS-pulsseja varhaiselle näköaivokuorelle. Kun koehenkilöt eivät olleet tietoisia omista havainnoistaan, ei myöskään pakkovalintatehtävä pisteen liikkeen suunnasta onnistunut arvaustodennäköisyyttä paremmin.

TMS-tutkimuksissa on käytetty monia eri menetelmiä varhaisen näköaivokuoren paikantamiseksi (de Graaf ym., 2014). Tällaisia ovat esimerkiksi aivojen anatomiaan perustuva lähestymistapa (esim. Amassian ym., 1989; Corthout, Hallet, & Cowey, 2002, 2003), EEG-elektrodien koordinaatteihin perustuva paikannus (esim. Beckers, & Homberg, 1991), fosfeemien (näköaivokuoren stimuloinnista joillekin koehenkilöille aiheutuvia valonvälähdyksiä näkökentässä) näkemiseen perustuvaa paikannus (esim. de Graaf, Goebel, & Sack, 2012), MRI- (engl. magnetic resonance imaging) tai fMRI-kuvantamismenetelmät (engl. functional magnetic resonance imaging) (Sparing, Buelte, Meister, Paus, & Fink, 2007) ja tässäkin tutkimuksessa käytetty hunting-menetelmä (de Graaf ym., 2014), jossa kela asetetaan aluksi 2 cm inionin yläpuolelle ja lähdetään järjestelmällisesti sitä liikuttelemalla etsimään kohta, jossa saadaan aikaan haluttu suppressio. Millään näistä menetelmistä ei kuitenkaan voida rajata TMS-pulsssia kohdistumaan vain V1:een, joten siksi on järkevämpää puhua varhaisesta näköaivokuoresta (V1, V2 ja V3) (Salminen-Vaparanta ym., 2011).

### 1.3 Sokeanäön tutkiminen TMS:n avulla

#### 1.3.1 Kontrolloitavat muuttujat TMS-tutkimuksessa

TMS-laitteen käyttöön liittyy myös tekijöitä, jotka saattavat vaikuttaa tehtävissä suoriutumiseen. Niiden kontrollointi on syytä ottaa huomioon koetta järjestettäessä, jotta voidaan varmistaa se, että näköärsykkeen suppressio johtuu nimenomaan TMS-pulssin aikaansaamista muutoksista neuroneiden toiminnassa. TMS-laite päästää äänen jokaisen pulssin kohdalla (Duecker, de Graaf, Jacobs, & Sack, 2013). Pulssit saattavat saada myös

aikaan niskalihasten supistumista ja aiheuttaa silmänräpäyksiä. Jotkut koehenkilöt saattavat myös nähdä näkökentässään fosfeemeja varhaista näköaivokuorta stimuloitaessa. Nämä tekijät saattavat vaikuttaa tarkkaavuuteen ja tehtävissä suoriutumiseen.

Amassian ja kumppanit (1989) huomasivat tutkimuksessaan, että tällaiset ei-neuraaliset muuttujat eivät kuitenkaan selitä kaikkea suoriutumista. Kun kelaä liikuteltiin takaraivolla eri paikkoihin, vaikutti se kirjainten tunnistamiseen juuri sillä tavalla, mitä näköaivokuoren retinotooppisesta rakenteesta voidaan ennustaakin. Silti tällaiset häiritsevät muuttujat on otettava huomioon.

TMS:n ei-neuraalisia efektejä voidaan kontrolloida antamalla niin sanottuja valepulsseja (Duecker ym., 2013). Tämä tarkoittaa sitä, että kontrollimittauksen kohdalla kela käännetään osoittamaan pois päin stimuloitavasta kohdasta. TMS-pulssit voidaan kontrollimittauksissa myös kohdistaa aivoalueelle, jonka ei oleteta vaikuttavan mitattavaan asiaan neuraalisella tasolla. Koehenkilöitä voidaan myös ohjeistaa pyrkimään räpyttelemään silmiään sarjojen välissä eikä mielellään heti TMS-pulssin jälkeen (Koenig, & Ro, 2019). Koehenkilöt voivat käyttää kokeen ajan myös korvatulppia, jotta TMS-laitteesta lähtevät äänet häiritisivät mahdollisimman vähän suoritusta.

### 1.3.2 Klassinen alenema ja muut alenemat

Vaihtoehtoiset tekijät koehenkilön suoriutumisessa täytyy kontrolloida, minkä jälkeen voidaan pureutua TMS-pulssin aiheuttamiin muutoksiin neuraalisessa toiminnassa. Ärsykkeen esittämisestä menee jonkin aikaa ennen kuin ärsykkeen prosessointi ehtii edetä aivokuorelle. TMS-laite voidaan säätää antamaan pulsseja millisekunnin tarkasti jonkin ajan päähän ärsykkeen esityksen alusta. Tästä ajasta käytetään yleisesti termiä SOA (stimulus onset asynchrony).

Amassianin ja kumppaneiden (1989) pioneeritutkimuksessa koehenkilöiden piti tunnistaa kirjaimia, jotka esitettiin näytöllä. Henkilöt eivät pystyneet tunnistamaan kirjaimia, kun SOA oli 80 ms tai 100 ms. Suoritus oli heikentynyt myös 60 ms sekä 120 ms SOA:lla.



Koehenkilöt pystyivät kuitenkin tunnistamaan melkein kaikki kirjaimet SOA:n ollessa alle 60 ms tai yli 140 ms.

Amassian ja kumppanit (1989) tekivät niin sanotun *klassisen aleneman* ensilöydöksen. Tämä klassinen alenema on löydetty myös kaikissa muissa TMS-tutkimuksissa (de Graaf ym., 2014). Klassinen alenema tarkoittaa tietoisien näköhavainnon supressiota SOA:n ollessa noin 100 ms. Jotain perustavanlaatuaista siis tapahtuu varhaisella näköaivokuorella noin 100 ms paikkeilla. Klassisen aleneman tarkka aika vaihtelee vähän tutkimuksesta riippuen. Koiviston, Railon, Revonsuon, Vannin ja Salminen-Vaparannan (2011a) tutkimuksessa varhainen näköaivokuori oli toiminnallisesti relevantti klassisen aleneman kohdalla SOA:n ollessa noin 100 ms. On ehdotettu, että klassinen alenema kuvastaa informaation tuloa varhaiselle näköaivokuorelle ja sieltä lähtöä (Amassian ym., 1989).

Joissain tutkimuksissa on saatu aikaiseksi myös aikainen alenema noin 30 ms kohdalla (esim. Corthout, Uttl, Walsh, Hallet, & Cowey, 1998a). Aikaista alenemaa ei ole kuitenkaan pystytty toistamaan kovinkaan monessa tutkimuksessa (de Graaf ym., 2014). Monissa tutkimuksissa on raportoitu myöhäisempi alenema klassisen aleneman jälkeen. Tutkimuksessa (Camprodon, Zohary, Brodbeck, & Pascual-Leone, 2010), jossa piti erotella lintuja isoista nisäkkäistä, huomattiin toinen alenema SOA:n ollessa 220 ms. Myöhäistä alenemaa ei ole pystytty kovinkaan hyvin replikoimaan yksinkertaisilla näköärsykkeillä, kuten esimerkiksi nuolilla (de Graaf ym., 2014). Myös niin sanottuja negatiivisia alenemia on havaittu joissakin tutkimuksissa. Negatiivinen alenema tarkoittaa sitä, että TMS-pulssi annetaan jo ennen näköärsykkeen esittämistä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että klassinen alenema on löydetty jokaisessa tutkimuksessa, ja muut alenemat ovat enemmän tai vähemmän kyseenalaisia. TMS siis supressoi tietoisuutta näköhavainnosta, mutta mielenkiintoinen kysymys on se, voiko henkilö todella raportoida ärsykkeen ominaisuuksia arvaustodennäköisyyttä paremmin, jos TMS supressoi näköhavainnon kokonaan.

### 1.3.3 TMS:llä aiheutettu sokeanäkö

Amassianin ja kumppaneiden (1989) pioneiritutkimuksessa TMS:ää testattiin ensimmäisen kerran varhaiselle näköaivokuorelle. Tutkimuksessa huomattiin, että koehenkilöiden tietoisuutta esitetyistä kirjaimista pystyttiin suppressoimaan TMS:n avulla. Tämän jälkeen TMS:llä aiheutettua sokeanäköä on tutkittu monilla yksinkertaisilla näköärsykkeillä, kuten pisteillä (Hurme, Koivisto, Revonsuo, & Railo, 2017), puoliympyröillä (Persuh, & Ro, 2013), viivoilla (Loyd, Abrahamyan, & Harris, 2013), nuolilla tai väreillä (Koivisto, Lähteenmäki, Kaasinen, Parkkola, & Railo, 2013). Tässä kappaleessa käsittelemme tarkemmin kahta tutkimusta (Boyer, Harrison, & Ro, 2005; Koenig, & Ro, 2019), joissa on pääosin samanlainen koeasetelma kuin tässä tutkimuksessa ja joissa ärsykkeenä on käytetty pysty- tai vaakaviivaa.

Boyer, Harrison ja Ron (2005) kaksiosaisessa tutkimuksessa koehenkilöiden piti raportoida, oliko näytöllä esitetty viiva pysty- vai vaaka asennossa, ja toisessa osassa, oliko näytöllä esitetty kiekko vihreä vai punainen. Koehenkilöt saivat klassisen aleneman aikaisella SOA:lla (noin 100 ms) TMS-pulssin varhaiselle näköaivokuorelle. Heidän piti myös raportoida dikotomisella asteikolla ärsykkeen esittämisen jälkeen, olivatko he nähneet ärsykkeen orientaatiota (Koe 1) tai väriä (Koe 2) ja kuinka luottavaisia he olivat vastaukseensa asteikolla 1–9. Vaikka koehenkilöt raportoivat, etteivät olleet nähneet ärsykkeen piirrettä, pystyivät he silti arvaustodennäköisyyttä paremmin päättämään sekä viivan asennon että kiekon värin. Luottamus omaan vastaukseen korreloi positiivisesti vastausten oikeellisuuden kanssa. Kuitenkin siten, että koehenkilöiden raportoitua alhaisen luottamuksen (1–3) omiin vastauksiinsa, eivät vastaukset enää eronneet arvaustodennäköisyydestä.

Vaikka koehenkilöt raportoivat, etteivät olleet nähneet ärsykkeen orientaatiota tai väriä, se ei välttämättä tarkoita, että näköärsyke olisi ollut täysin tiedostamaton (Boyer, Harrison, & Ro, 2005). Osa koehenkilöistä kertoi, että heillä oli tunne siitä, että jotain oli välähtänyt näytöllä, vaikka viivan orientaatiosta ei ollut mitään aavistusta. Sokeanäkö voidaan jakaa tyyppeihin I ja II (Sahraie, Hibbard, Trevethan, Ritchie, & Weiskrantz, 2010). I tyyppin sokeanäkö tarkoittaa sitä, että havainto näköärsykkeestä puuttuu täydellisesti. II tyyppin sokeanäössä potilas ei näe ärsykettä, mutta hänellä on jonkinlainen tunne siitä, että jotain on näkökentässä. Boyerin, Harrisonin ja Ron (2005) tutkimuksessa

voi siis olla kyse TMS:llä aiheutetusta II tyypin sokeanäöstä. Ärsykkeen kohdalla on siis hyvin voinut tapahtua tietoista prosessointia.

Koenig ja Ro (2019) tutkivat tietoista ja tiedestamatonta havainnointia tehtävällä, jossa koehenkilöiden piti raportoida, oliko esitetty viiva pysty- vai vaaka-asennossa. Koehenkilöt saivat järjestelmällisesti TMS-pulsseja alkaen 55 ms sekunnin SOA:sta ja jatkuen 10 ms välein aina 155 ms SOA:an asti. Koehenkilöiden piti vastata myös kaksiportaisella asteikolla, olivatko he nähneet ärsykkeen orientaation vai eivät. Lisäksi he raportoivat kolmiportaisella asteikolla luottamuksensa omiin vastauksiinsa (en kovin luottavainen, kohtuullisen luottavainen, erittäin luottavainen).

Tutkimuksessa (Koenig, & Ro, 2019) koehenkilöt pystyivät raportoimaan viivan orientaation arvaustodennäköisyyttä paremmin jokaisella SOA:lla. Suppressiokäyrästä muodostui U:n muotoinen, ja maksimaalinen suppressio havainnon tietoisuudesta saavutettiin kahdella eri aikavälillä: SOA:n ollessa 65–75 ms ja 95–100 ms. Tästä pääteltiin, että tiedostamaton prosessointi on vähemmän haavoittuva TMS-pulssille kuin tietoinen havainnon prosessointi. Lisäksi tutkijat päättelivät, ettei kyse voinut olla TMS:llä aiheutetusta II tyypin sokeanäöstä, jolloin koehenkilöt olisivat raportoineet, etteivät nähneet ärsykkeen orientaatiota, vaikka he olisivat siitä jonkinlaisen aavistuksen saaneetkin. Tutkijoiden mukaan olisi outoa, jos TMS saisi aikaan tällaisen vastausharhan ainoastaan kahdessa edellä mainitussa aikaikkunassa. Tutkimuksessa oli kuitenkin se ongelma, että tietoisuutta mittaava subjektiivinen kysymys koski sitä, oliko henkilö nähnyt nimenomaan ärsykkeen orientaation, eikä sitä, oliko henkilö nähnyt itse ärsykkeen. Tämän takia ei ole mitään syytä olettaa, että kysymys olisi ollut TMS:llä aiheutetusta I tyypin sokeanäöstä. Kaksiportainen kysymyksenasettelu jätti jo itsessään tilaa sille, että ärsykkeen kohdalla on voinut tapahtua jonkinasteista tietoista prosessointia.

#### 1.4 Havainnon tietoisuuden mittaaminen

Tiedostamaton havainnointi (engl. subliminal perception) on ilmiö, jossa ihminen pystyy havaitsemaan asioita tiedostamatta omaa havaintoaan (Ramsøy, & Overgaard, 2004). On pystytty näyttämään, että tällaisella tiedostamattomalla havainnolla on vaikutusta myöhempään käyttäytymiseen ja ajatteluun. Havainnon tietoisuuden tai sen puuttumisen

mittaaminen on kuitenkin vaikeaa. Toisen ihmisen tietoisuuteen on mahdotonta päästä suoraan käsiksi, joten sen mittaamisessa täytyy käyttää itseraportointimenetelmiä. Ihmiset antavat vääristyneitä subjektiivisia arvioita, mutta tietoisuuden tutkimuksessa on vaikeaa löytää objektiivisia arviointimentelmiä (Sandberg, & Overgaard, 2015). Hyvä esimerkki vääristyneestä subjektiivisesta arviosta on havainnon tietoisuuden mittaaminen. Ihmiset saattavat raportoida, etteivät ole tiedostaneet ärsykettä, vaikka heillä onkin saattanut olla jonkinlainen epämääräinen, vaikeasti sanoiksi puettavissa oleva aistimus siitä. Siksi on tärkeää suhtautua kriittisesti erilaisiin tietoisuuden mittareihin.

#### 1.4.1 Dikotominen arvio

Monissa tutkimuksissa havainnon tiedostamista on mitattu dikotomisella arviointiasteikolla, jossa koehenkilö raportoi ärsykkeen tiedostamisen kaksiporaisella asteikolla, esimerkiksi ”näin” tai ”en nähnyt” (esim. Boyer, Harrison, & Ro, 2005; Persuh, & Ro, 2013; Koenig, & Ro, 2019). Joissain tutkimuksissa tämä voi olla ihan kelpo menetelmä, mutta monissa tutkimuksissa ongelmaksi saattaa muodostua se, että koehenkilö raportoi, ettei nähnyt ärsykettä, mutta on silti saattanut saada heikon havainnon siitä (Sandberg, & Overgaard, 2015).

Jos koehenkilöltä kysytään kaksiporaisella asteikolla, näkikö hän ärsykkeen, joutuu henkilö päättämään mielessään rajan tietoiselle näkemiselle (Sandberg, & Overgaard, 2015). Tämä raja voi vaihdella eri koehenkilöiden välillä. Tutkimuksen kannalta se on ongelmallista, sillä dikotominen asteikko voi aliarvioida tietoisien prosessoinnin osuutta ja siten johtaa tiedostamattoman prosessoinnin yliarviointiin. Dikotominen asteikko on ongelmallinen myös siinä mielessä, että se mittaa tietoisuutta, mutta se on teennäinen eivätkä koehenkilöt ole itse saaneet päättää, kuinka kategorisoisivat oman tietoisuutensa havainnosta. Tämän takia on kehitetty paremmin tietoisuutta mittaava PAS-asteikko (Ramsøy, & Overgaard, 2004).

#### 1.4.2 PAS-arvio

PAS (engl. Perceptual Awareness Scale) on kehitetty siten, että koehenkilöiden on annettu itse päättää, kuinka hyvin he näkivät ärsykkeen (Sandberg, & Overgaard, 2015). Näin on ajateltu saavutettavan paras kategorisointi tietoisuuden mittaamiselle. PAS-arvio luotiin tutkimukseen (Ramsøy, & Overgaard, 2004), jossa koehenkilöiden piti raportoida ärsykkeen muoto, väri ja sijainti. Koehenkilöt loivat itse skaalan sille, kuinka hyvin näkivät nämä ärsykkeet. Asteikko alkoi kohdasta ”ei mitään havaintoa” ja päättyi kohtaan ”selvä havainto”. Koehenkilöt saivat luoda tälle välille niin monta kategoriaa kuin hyväksi kokivat.

Kaikki koehenkilöt pilottitutkimuksessa sekä viisi koehenkilöä varsinaisessa tutkimuksessa päätyivät neliportaiseen asteikkoon (Ramsøy, & Overgaard, 2004). Asteikko muodostui seuraavista kategorioista: ”ei mitään” (ei mitään havaintoa ärsykkeestä, lähinnä arvaus), ”jotain” (joku havainto ärsykkeestä, muttei tarkempia tietoja sen ominaisuuksista), ”melkein selvä” (suurpiirteinen kuva ärsykkeestä, tuntemus, että on jokseenkin varma ainakin joistain ärsykkeen ominaisuuksista) ja ”selvä” (varma, ei epäilystäkään).

PAS-arviolla on todettu olevan paras korrelaatio objektiivisen suorituksen kanssa sitä verrattaessa muihin tietoisuuden itsearviointeihin (Sandberg, & Overgaard, 2015). Overgaard, Rote, Mouridsen ja Ramsøy (2006) vertailivat kokeessa suoriutumista niissä tilanteissa, joissa koehenkilöt olivat raportoineet dikotomisella asteikolla ”en nähnyt” ja PAS-asteikolla ”ei mitään”. Oikein diskriminoitujen ärsykkeiden määrä oli isompi dikotomisella asteikolla, mikä saattaa indikoida tietoisien prosessoinnin aliarvioimista kyseisellä asteikolla.

Ramsøy ja Overgaardin (2004) tutkimuksessa PAS-asteikolla ei saatu tilastollisesti merkitseviä tuloksia, jotka olisivat osoittaneet, että koehenkilöt olisivat pystyneet raportoimaan ärsykkeiden ominaisuuksia oikein silloin, kun eivät olleet nähneet ärsykkeistä mitään. Kun PAS-arvio muutettiin kenotekoisesti dikotomiseksi, eli luokat ”ei mitään” ja ”jotain” yhdistettiin edustamaan kaksiportaisen asteikon luokkaa ”en nähnyt” ja luokat ”melkein selvä” ja ”selvä” luokkaa ”näin”, muuttuivat tulokset tilastollisesti merkitseviksi. Tästä voidaan ehkä olettaa, että dikotomisella arviointiasteikolla olisi saatu tätä tukeva tulos.

Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös sokeanäköpotilailla (Overgaard, Fehl, Mouridsen, Bergholt, & Cleeremans, 2008; Mazzi, Bagattini, & Savazzi, 2016). Kaksiportaisella asteikolla oikeiden vastausten määrä ylitti arvaustodennäköisyyden tilanteessa, jossa koehenkilöt olivat raportoineet ”en nähnyt”. PAS-asteikolla mitattaessa arvaustodennäköisyys ei kuitenkaan ylittynyt tilanteessa, jossa koehenkilöt olivat raportoineet ”ei mitään”. Dikotominen asteikko saattaa siis yleisesti aliarvioida tietoista, ja siten yliarvioida tiedostamatonta havainnon prosessointia. Siksi PAS-asteikko vaikuttaisi olevan validimpi tietoisuuden mittari. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus vertailla dikotomista ja PAS-asteikkoa keskenään ensimmäistä kertaa TMS:llä aiheutetun sokeanäköefektin kohdalla.

### 1.5 Tutkimuskysymys ja hypoteesi

Sokeanäöstä kärsivät potilaat pystyvät erottelemaan ärsykkeen ominaisuuksia arvaustodennäköisyyttä paremmin, vaikka eivät omien sanojensa mukaan ole tietoisia itse ärsykkeestä (Weiskrantz, 1996). Ro ja kumppanit (2004) simuloivat sokeanäköä ensimmäisen kerran TMS:n avulla. Tämän jälkeen TMS:ää on käytetty useissa eri tutkimuksissa simuloimaan sokeanäköä terveillä ihmisillä (de Graaf ym., 2014). Koenig ja Ro (2019) osoittivat, että koehenkilöt pystyivät raportoimaan viivan orientaation siitäkin huolimatta, että TMS-pulssi suppressoi heidän tietoisuutensa viivan orientaatiosta klassisen aleneman aikaisella SOA:lla. Toisessa tutkimuksessa (Boyer, Harrison, & Ro, 2005) koehenkilöt pystyivät erottelemaan kiekon värin ja viivan orientaation arvaustodennäköisyyttä paremmin, vaikka raportoivatkin, että klassisen aleneman aikainen TMS-pulssi suppressoi heidän tietoisuutensa ärsykkeen ominaisuudesta.

Tietoisuuden mittaamiseen liittyy kuitenkin ongelmia. Sekä Koenigin ja Ron (2019) tutkimuksessa että Boyerin, Harrisonin ja Ron (2005) tutkimuksessa tietoisuuden mittaamiseen käytettiin kaksiportaista vastausasteikkoa (”näin” tai ”en nähnyt”), ja kysymys tietoisuudesta koski nimenomaan ärsykkeen ominaisuutta (väri tai orientaatio) eikä sitä, oliko koehenkilö nähnyt itse ärsykettä. Koehenkilöt itse kertoivat nähneensä näkökentässään jotain, vaikka raportoivat, etteivät olleet nähneet ärsykkeen ominaisuutta (Boyer, Harrison, & Ro, 2005). Tutkijat päättelivät, että kyseessä ei välttämättä ole TMS:llä aiheutettu I tyypin sokeanäkö, jossa näköhavainto puuttuu kokonaan, vaan

kyseessä voisi olla TMS:llä aiheutettu II tyypin sokeanäkö, jossa ärsykkeestä on jonkinlainen lähellä havaitsemiskynnystä oleva näköaistimus.

Lloyd ja kumppanit (2013) tutkivat TMS:n vaikutusta näköhavaintoon ärsykkeen orientaatiosta ja vertasivat orientaation pakkovalintatehtävän tuloksia tuloksiin subjektiivisesta tietoisuuden arviosta signaalidetektioanalyysin avulla. Vaikka näennäisesti vaikuttikin siltä, että koehenkilöt pystyivät raportoimaan ärsykkeen orientaation tiedostamattaan näkemäänsä, paljasti tarkempi signaalidetektioanalyysi, että kyse oli ennemminkin koehenkilöiden vääristyneistä subjektiivisista tietoisuuden arvioinneista. Sokeanäköefekti saattaa siis olla seurausta vastausvinoumasta, joka liittyy dikotomiseen tietoisuuden arviointiasteikkoon.

Voidaanko TMS:llä saada aikaan sokeanäköefekti? Tässä tutkimuksessa TMS:n vaikutusta näköhavaintoon tutkitaan lyhyellä ja pitkällä SOA:lla sekä koe- että kontrollitilanteessa. Puolet koehenkilöistä käyttäät tietoisuuden arviointiin dikotomista asteikkoa ja puolet PAS-asteikkoa. Näin asteikkoja voidaan verrata keskenään. Tulokset myös analysoidaan signaalidetektio-teorian avulla (Stanislaw, & Todorov, 1999). Lisäksi analysoidaan koehenkilöiden vastauskriteeri. Hypoteesi on, että sokeanäköefekti syntyy koehenkilöiden vastausvinoumasta, eikä TMS:llä aiheutetusta sokeanäöstä voida puhua. Aikaisempien tutkimusten perusteella TMS suppressoi tietoisuuden havainnosta klassisen aleneman aikaisella SOA:lla (n. 100 ms) (esim. Boyer, Harrison, & Ro, 2005;; Koenig, & Ro, 2019). Hypoteesimme on, että koehenkilöt eivät kuitenkaan pysty raportoimaan ärsykkeen orientaatiota arvaustodennäköisyyttä paremmin silloin, kun TMS suppressoi tietoisuuden ärsykkeestä kokonaan, eikä siitä ole minkäänlaista pienintäkään havaintoa.

Laajempi teoreettinen kysymys tämän tutkimuksen taustalla liittyy siihen, onko varhaisella näköaivokuorella uniikki rooli nimenomaan tietoisien visuaalisen havaitsemisen kohdalla vaiko visuaalisen havaitsemisen kohdalla ylipäänsä. Sokeanäköpotilailla tehty tutkimus tukee sitä, että tietoinen prosessointi vaatii alueen V1 toimintaa, mutta subkortikaaliset radat suoraan korkeamman aivotoiminnan alueille voivat saada aikaan tiedostamatonta visuaalista havaitsemista (Schmid ym., 2010). Sokeanäköpotilailla aivojen radat ovat saattaneet kuitenkin muokkautua aivojen plastisiteetin takia, joten aihetta on tärkeä tutkia myös terveillä aivoilla TMS:n avulla.

## 2. Menetelmät

### 2.1 Koehenkilöt

Tutkimusta varten esitettiin 53 koehenkilöä, jotka olivat 19 – 29 -vuotiaita opiskelijoita Turun yliopistosta. Kokeeseen osallistuminen oli vapaaehtoista. Koehenkilöistä 17:llä ei löydetty esitestauksessa stimulaatioaluetta, jolla TMS-pulssi olisi saanut aikaan riittävän suppression. Varsinaisen kokeen suoritti 36 koehenkilöä, joista 10 oli miehiä ja 26 naisia. Koehenkilöiden keskimääräinen ikä oli 22.7 vuotta ja iän vaihteluväli 10 vuotta (19 – 29 vuotta). Koehenkilöt saivat aluksi luettavakseen tiedotteen tutkimukseen osallistumisesta, joka sisälsi yleistä tietoa tutkimuksesta sekä menetelmän käyttöön liittyvistä rajoitteista. Koehenkilöiden soveltuvuus kokeeseen testattiin soveltuvuuskyseilylomakkeella (Rossi, Hallett, Rossini, Pascual-Leone, & The Safety of TMS Consensus Group, 2012), ja lisäksi koehenkilöt allekirjoittivat suostumuslomakkeen. Kaikilla koehenkilöillä oli normaali tai normaaliksi korjattu näkökyky.

### 2.2 Laitteet ja ärsykkeet

Koehenkilöt suorittivat tehtäviä 24” VIEWPixx Lite LDC-näytöltä, joka oli sijoitettu 150 cm etäisyydelle heidän silmistään. Näytön virkistystaajuus oli 120 Hz ja taustan luminanssi (valovoima pinta-alaa kohti)  $24.7 \text{ cd/m}^2$ . Tehtävissä vastaamiseen koehenkilöt käyttivät Logitech Gamepad F310 -peliohjainta.

TMS-pulssit annettiin MagVenturen MagPro X100-stimulaattorilla, jossa oli halkaisijaltaan 75 mm MagVenturen MCF-75-ympyräkela. Kohdeärsykkeen kontrasti määriteltiin jokaiselle koehenkilölle erikseen. Harjoituksissa, paikannuksessa ja varsinaisessa kokeessa käytettyjen ärsykkeiden Weber-kontrastit olivat -0.30, -0.25 ja -0.21, joista sopivin valittiin esitestin perusteella (kts. 2.3.2 Ärsykkeen kontrasti ja TMS-paikannus). TMS-paikannuksessa käytetyn neliön (ja fiksaationeliön) koko oli 150 cm etäisyydeltä  $0.25 \times 0.25$  astetta. Varsinaisessa kokeessa kohdeärsykkeenä toimineen viivan koko oli  $0.05 \times 0.3$  astetta.



## 2.3 Kokeen kulku

### 2.3.1 Varsinainen koe

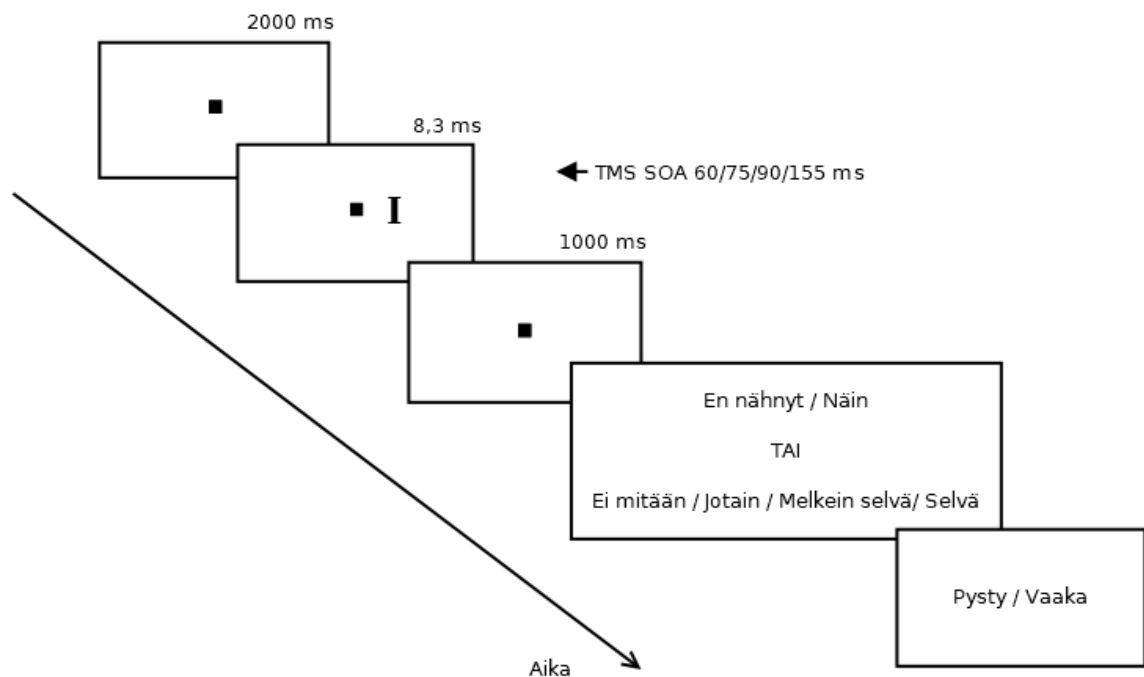
Koehenkilö ohjeistettiin katsomaan ruudun keskellä olevaa fiksaationeliötä, joka näkyi jokaisessa tehtävässä 2000 ms ajan (Kuva 1). Tämän jälkeen fiksaationeliön keskiosasta 0.25 astetta oikealla puolella välähti kohdeärsyke 8.3 ms ajan. Kohdeärsyke oli joko pysty- tai vaakaviiva. Kaikki koehenkilöt saivat TMS-pulssin samalla pitkällä, 155 ms SOA:lla. Lyhyt SOA vaihteli eri koehenkilöiden välillä ollen joko 60, 75 tai 90 ms (kts. 2.3.2 *Ärsykkeen kontrasti ja TMS-paikannus*). Yhden sarjan aikana koehenkilö sai satunnaistetusti TMS-pulssin joko pitkällä tai lyhyellä SOA:lla. Fiksaationeliö pysyi ruudulla vielä 1000 ms kohdeärsykkeen esittämisen jälkeen.

Tämän jälkeen koehenkilön piti vastata kahteen kysymykseen. Viivan orientaation pakkovalintatehtävässä koehenkilö vastasi peliohjainta käyttäen, oliko fiksaationeliön oikealla puolella välähtänyt ärsyke joko pysty- tai vaakaviiva. Koehenkilön piti vastata arvaamalla, vaikka ei olisi nähnyt viivan asentoa. Toinen kysymys koski subjektiivista kokemusta havainnon selkeydestä. Koehenkilön piti valita joko kaksiportaisella tai neliportaisella asteikolla, kuinka hyvin hän näki esitetyn viivan orientaation. Kaksiportaisella eli dikotomisella asteikolla vastausvaihtoehdot olivat ”näin” ja ”en nähnyt”. Neliportaisella PAS-asteikolla vaihtoehdot olivat ”ei mitään”, ”jotain”, ”melkein selvä” ja ”selvä”. ”Ei mitään” tarkoitti, ettei koehenkilö ollut nähnyt mitään edes välähtävän. Valitsemalla ”jotain” koehenkilö oli nähnyt jotain välähtävän, mutta viivan suunnasta ei ollut aavistustakaan. ”Melkein selvä” tarkoitti, että koehenkilö näki esimerkiksi osan viivasta ja oli aika varma myös viivan suunnasta. ”Selvä” tarkoitti, että koehenkilöllä oli selvä käsitys viivan orientaatiosta.

Koehenkilöistä 18 (13 naista, 5 miestä) teki kokeen PAS-arviointiasteikkoa käyttäen ja 18 (13 naista, 5 miestä) dikotomista arviointiasteikkoa käyttäen. Koehenkilöt satunnaistettiin eri ryhmiin. Koe koostui 6 sarjasta tehtäviä (4 koesarjaa ja 2 kontrollisarjaa), joista jokainen kesti noin 3 minuuttia. Näistä sarjoista 3 olivat sellaisia, joissa viivan orientaation pakkovalintakysymys esitettiin ensin ja sen jälkeen kysymys subjektiivisesta havainnosta. Toiset kolme sarjaa olivat sellaisia, joissa kysymykset tulivat eri järjestyksessä. Koehenkilöt vastabalansoitiin siten, että puolet koehenkilöistä aloitti kokeen sellaisella sarjalla, jossa viivan orientaation pakkovalintakysymys tuli ensin

ja sen jälkeen kysymys subjektiivisesta arviosta. Puolet koehenkilöistä aloitti kokeen päinvastaisessa järjestyksessä. Jokaisessa koesarjassa oli 38 tehtävää (16 ärsykettä/SOA ja 3 tyhjää/SOA). Yhteensä koehenkilö teki kokeen aikana siis 228 tehtävää. Jokainen koehenkilö teki kummallakin tehtäväjärjestyksellä kaksi koesarjaa ja niiden välissä yhden kontrollisarjan, jossa kela laitettiin oikean hemisfäärin päälle ja sentin ylemmäs tai alemmas kuin varsinainen stimulaatiokohta.

Viivan orientaation pakkovalintatehtävässä vastaamiseen käytettiin oikean käden etu- ja keskisormea ja peliohjaimen oikean käden puoleisia liipaisimia. Ylempi nappi tarkoitti pystyviivaa ja alempi vaakaviivaa. Subjektiiviseen kysymykseen vastaamisessa käytettiin oikean käden peukaloa ja ohjaimen värillisiä nappeja. Dikotomisessa arviossa oranssi nappi (kello 12) tarkoitti ”en nähnyt” ja vihreä nappi (kello 6) ”näin”. PAS-arviossa oranssi nappi (kello 12) tarkoitti ”ei mitään”, punainen nappi (kello 3) ”jotain”, vihreä nappi (kello 6) ”melkein selvä” ja sininen nappi (kello 9) ”selvä”.



*Kuva 1.* Tehtävän eteneminen: Ensin näytölle ilmestyi fiksaationeliö, jonka oikealla puolella esitettiin joko pysty- tai vaakaviiva. Tiedon prosessointia häiritettiin TMS-pulssilla joko lyhyellä (60/75/90 ms) tai pitkällä (155 ms) SOA:lla. Puolet koehenkilöistä vastasi kaksiportaisella ja puolet koehenkilöistä neliportaisella asteikolla, kuinka hyvin he näkivät viivan orientaation. Lisäksi jokainen koehenkilö vastasi objektiivisessa pakkovalintatehtävässä, oliko esitetty viiva pysty- vai vaaka-asennossa. Vastausjärjestys vastabalansoitiin.

### 2.3.2 Ärsykkeen kontrasti ja TMS-paikannus

Ennen varsinaista koetta suoritettussa ärsykkeen kontrastin määrittelyssä käytettiin samaa ärsykettä kuin varsinaisessa kokeessa. Tässä vaiheessa koehenkilölle ei vielä annettu TMS-pulsseja, vaan hänen piti ainoastaan raportoida peliohjaimella, oliko fiksaationeliön oikealla puolella välähtävä ärsyke pysty- vai vaakaviiva. Ellei koehenkilö nähnyt ärsykkeen orientaatiota, oli hänen arvattava intuitiivisesti.

Jokaiselle koehenkilölle määriteltiin yksilöllisesti yksi kolmesta mahdollisesta Weberin kontrastista. Mahdolliset Weberin kontrastit olivat -0.30, -0.25 ja -0.21. Koehenkilölle esitettiin 20 ärsykkeen sarja alkaen Weberin kontrastista -0.25. Jos tehtävä oli koehenkilölle liian helppo (20/20 oikein), tehtiin tehtävisarja uudestaan kontrastilla -0.21. Jos taas tehtävisarja oli liian vaikea (< 16/20 oikein) valittiin uuden sarjan kontrastiksi -0.30. Näin pyrittiin löytämään vaikein taso, jolla koehenkilön suoritus oli välillä 16-20 oikein 20:stä. Sopivan kontrastitason löydyttyä alettiin koehenkilöä totuttamaan TMS-pulssiin.

Koehenkilölle annettiin korvatulpat, jotta TMS-laitteesta lähtevät äänet häiritsisivät mahdollisimman vähän tehtävien suorittamista. Sen lisäksi koehenkilöille laitettiin päähän EEG-myssy, josta elektrodit olivat poistettu. TMS-pulssien antaminen aloitettiin laittamalla kelan alareuna inionista (luukyhmy takaraivolla) 2 cm ylös ja 1 cm vasemmalle. EEG-myssyyn oli piirretty ruudukko, jotta oikean paikan hakeminen olisi helpompaa. TMS-pulssien antaminen aloitettiin 20 % teholla, ja tehoa nostettiin 5 %, jos se sopi koehenkilölle. Näin jatkettiin niin kauan, kunnes koehenkilö ei enää halunnut nostaa tehoa tai kun teho oli täydet 100 %. Varsinaisessa kokeessa TMS-pulssien tehot vaihtelivat 65 – 100 % välillä keskiarvon ollessa 90 %.

Sopivan tehon löydyttyä aloitettiin varhaisen näköaivokuoren paikantaminen *hunting*-menetelmän avulla. Koehenkilölle näytettiin tehtävisarja, jossa hänen piti raportoida peliohjaimella, näkikö hän fiksaationeliön oikealla puolella välähtäneen neliön. Paikannuksessa yhdessä sarjassa oli 15 ärsykettä (5/SOA) sekä 6 tyhjää tehtävää (2/SOA), joissa neliötä ei välähtänyt lainkaan. SOA:t olivat 60 ms, 75 ms ja 90 ms. Fiksaationeliö näkyi tehtävissä 2000 ms ajan. Kohdeärsyke näkyi fiksaationeliön keskiosasta 0.25 astetta oikealla puolella 8.3 ms ajan. Koehenkilölle kerrottiin, että jokaisessa tehtävässä ei välttämättä edes välähdä ärsykettä. Tällä pyrittiin varmistamaan,

että koehenkilö on totuudenmukainen vastauksissaan. Pyrittiin löytämään kohta, jossa TMS-pulssi heikentää näköhavaintotehtävässä suoriutumista vähintään 40 %. Tämän jälkeen testattiin kontrollialuetta ipsilateraalisesti oikealta puolelta, mutta 1 cm ylempää tai alemmää kuin stimulaatiokohta. Sen jälkeen vielä varmistettiin vasemman hemisfäärin puolelta, että löydetty stimulaatiokohta oli varmasti oikea.

Jokaiselle koehenkilölle valittiin SOA, joka aiheutti parhaan supression tietoiselle havainnolle. Kokeessa käytetyt klassisen aleneman aikaiset SOA:t olivat 60, 75 ja 90 ms. Jos useampi kuin yksi SOA aiheutti samanlaisen, hyvän supression, käytettiin niistä lyhintä. Lyhyen SOA:n lisäksi varsinaisessa kokeessa käytettiin myös pitkää, 155 ms SOA:a, jolla supression oletettiin olevan heikompi kuin lyhyellä SOA:lla.

## 2.4 Tilastolliset analyysit

Aineiston analysoinnissa käytettiin R-ohjelmaa (R core team, 2020). Analysoinnissa käytettiin bayesilaista tilastomatemattista viitekehystä, joka ei perustu p-arvoihin ja nollahypoteesiin (Kruschke, 2010; Kruschke, Aguinis, & Joo, 2012). Sen sijaan bayesilainen tilastomatematiikka perustuu kumulatiiviseen prosessiin, jossa todennäköisyydet tapahtumalle voivat muuttua, kun saadaan uutta tietoa. Bayesilaisella tilastomatematiikalla on klassista tilastotiedettä reliabelimpi ja sillä pystytään paremmin kuvaamaan pieniä tai paljon häiriötekijöitä sisältäviä otoksia. Lisäksi bayesilainen tilastotiede on vähemmän taipuvainen tyyppin 1 virheelle. Tulosten analysoinnissa käytettiin bayesilaisia sekamalleja (engl. mixed models). Sekamallien avulla voidaan estimoida populaatiotason efektejä määrittämällä kiinteät (fixed effects) ja satunnaiset efektit (random effects). Lisäksi sekamallit mahdollistavat estimoitujen efektien vaihtelun ryhmittäin alemmilla tasoilla. Sekamalleihin käytettiin rstanarms-pakettia (Goodrich, Gabry, Ali, & Brilleman, 2020). Tulokset havainnollistettiin visuaalisesti sjPlot-paketin avulla (Lüdecke, 2018).

Sen sijaan, että käytettäisiin todellisten efektien estimaatteja, bayesilaisessa päättelyssä lasketaan olemassa olevan dataan perustuen todennäköisyyksiä eri efekteille (Makowski, Ben-Shachar, & Lüdecke, 2019). Tämän tuloksena syntyvää parametrien mahdollisten arvojen jakaumaa kutsutaan *posterioriseksi jakaumaksi*. Kaikkien mallien priorit olivat heikosti informatiivisia, ja normaalijakaumien keskiarvo oli 0. Hajonnat ohjelma skaalasi

automaattisesti. Heikosti informatiiviset priorit eivät eivät vinouttaneet posteriorista jakaumaa kumpaankaan suuntaan suhteessa noltaan. Analyyseissä käytettiin posteriorisen jakauman tunnuslukuina mediaania, mediaanin absoluuttista keskipoikkeamaa (MAD), 90 % todennäköisyysväliä sekä MPE:tä (engl. maximum probability of effect), joka kuvaa todennäköisyyttä, että efekti on mediaanin suuntainen (joko positiivinen tai negatiivinen). Efekti tulkittiin riittävän todennäköiseksi, jos  $MPE > 95\%$ . Bayesilaisessa päättelyssä käytettiin Markov Chain Monte Carlo (MCMC) -otantaa.

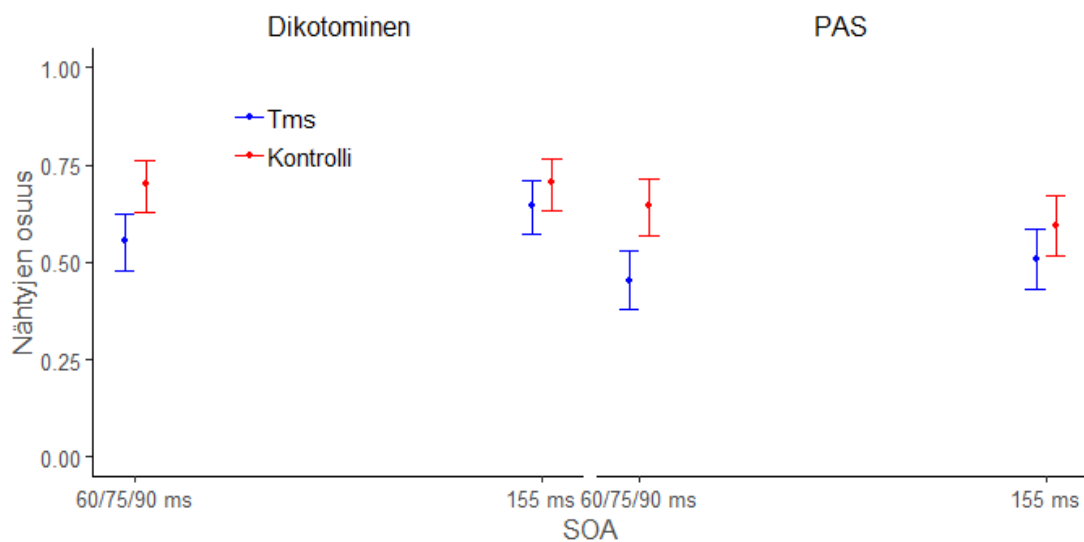
### 3. Tulokset

#### 3.1 TMS:n vaikutus tietoisuuteen dikotomisella ja kaksiportaiseksi muunnetulla PAS-asteikolla

Aluksi testattiin, vaikuttaako TMS havainnon tiedostamiseen, eli nähtyjen ärsykkeiden osuuteen, lyhyellä ja pitkällä SOA:lla. Kaikki yksittäiset trialit olivat mukana analyysissä, ja sekamalli oli logit-muotoinen ( $\text{link} = \text{logit}$ ), eli efektit ilmaistaan logaritmisena riskisuhteena (engl. log odds ratio). Kiinteät muuttujat olivat arviointiasteikko (dikotominen vs. PAS), SOA (lyhyt vs. pitkä) ja TMS (TMS-tilanne vs. kontrollitilanne). Tässä mallissa ja kaikissa alla olevissa malleissa satunnaismuuttujana oli koehenkilö. Arviointiasteikko on muunnettu PAS-skaalalla kaksiportaiseksi siten, että luokat ”ei mitään” ja ”jotain” vastaavat dikotomisesta asteikon luokkaa ”en nähnyt” sekä luokat ”melkein selvä” ja ”selvä” dikotomisesta asteikon luokkaa ”näin”. Näin TMS:n vaikutusta voidaan verrata asteikkojen välillä. Bayesilaisella sekamallilla analysoitiin lyhyen (60/75/90 ms) ja pitkän (155 ms) SOA:n vaikutus nähtyjen ärsykkeiden osuuteen sekä dikotomisella arviointiasteikolla että kaksiportaiseksi muunnetulla PAS-asteikolla (Kuva 2).

Mallin selitysvoima ( $R^2$ ) oli 12.34 % (MAD = 0.01, 90 % CI [0.11, 0.14]). Leikkauspiste oli 0.21 (MAD = 0.18, 90 % CI [-0.10, 0.51]). Leikkauspisteessä (dikotominen asteikko, lyhyt SOA, TMS-tilanne) arvio oli yhtä todennäköisesti joko ”näin” tai ”en nähnyt”.

Koehenkilöt näkivät ärsykkeet paremmin kontrollitilanteessa kuin TMS-tilanteessa (mediaani = 0.64, MAD = 0.11, 90 % CI [0.46, 0.82], MPE = 100 %). Koehenkilöt näkivät ärsykkeet paremmin pitkällä SOA:lla kuin lyhyellä SOA:lla (mediaani = 0.37, MAD = 0.09, 90 % CI [0.24, 0.53], MPE = 100 %). TMS- ja kontrollitilanteen välinen ero oli pienempi pitkällä SOA:lla kuin lyhyellä SOA:lla (mediaani = -0.36, MAD = 0.16, 90 % CI [-0.62, -0.10], MPE = 98.75 %). TMS siis suppressoi tietoisuutta ärsykkeestä nimenomaan lyhyellä SOA:lla. Dikotomisella asteikolla ja PAS-asteikolla saatiin samanlaiset tulokset, eikä niillä ollut yhdysvaikutuksia TMS:n ja SOA:n kanssa (MPE:t < 95.00 %).



Kuva 2. TMS:n vaikutus nähtyjen ärsykkeiden osuuteen lyhyellä (60/75/90 ms) ja pitkällä (155 ms) SOA:lla tilanteissa, joissa koehenkilöt käyttivät joko dikotomista arviointiasteikkoa tai PAS-asteikkoa. PAS-asteikko on keinotekoisesti muunnettu dikotomisiksi. Virhepalkit kuvaavat 90 % todennäköisyysvälejä.

### 3.2 Signaalidetektioanalyysi

Seuraavaksi laskettiin signaalidetektio-teorian avulla muuttuja  $d'$ .  $d'$  on vastausharhasta riippumaton muuttuja, joka kuvaa koehenkilöiden kykyä erottaa signaali taustakohinasta. Muuttuja laskettiin sekä subjektiiviselle arviolle että objektiiviselle tehtävälle, jotta ne olisivat keskenään vertailukelpoisia.  $d'$  laskettiin käyttämällä kaavaa  $z(\text{osuma}) - z(\text{väärä hälytys})$ . Subjektiivisen tehtävän kohdalla osuma tarkoitti sitä, että koehenkilö vastasi nähneensä ärsykkeen silloin, kun se esitettiin. Väärä hälytys taas tarkoitti sitä, että

koehenkilö vastasi nähneensä ärsykkeen, vaikka sitä ei oltu esitetty. Objektiivisen tehtävän kohdalla osuma tarkoitti vastausta ”pystyviiva” silloin, kun esitettiin pystyviiva ja väärä hälytys tarkoitti vastausta ”pystyviiva” silloin, kun esitetty ärsyke oli vaakaviiva. Arviointiasteikko on muunnettu PAS-skaalalla kaksipolttaiseksi samalla tavalla kuin edellisessä analyysissä. Kiinteät muuttujat olivat TMS (TMS-tilanne vs. kontrollitilanne), SOA (lyhyt vs. pitkä) ja tehtävä (subjektiivinen vs. objektiivinen) (Kuva 3). Arviointiasteikkoa ei sisällytetty malliin, sillä malli haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena. ELPD (log predictive density) -arvojen perusteella arviointiasteikoton malli sopi dataan paremmin kuin sen sisältänyt malli.

Mallin selitysvoima ( $R^2$ ) oli 42.84 % (MAD = 0.04, 90 % CI [0.35, 0.49], korjattu  $R^2$  = 0.33). Leikkauspiste oli 1.53 (MAD = 0.12, 90 % CI [1.32, 1.72]). Koehenkilöiden signaalin erottelukyky oli parempi kontrollitilanteessa kuin TMS-tilanteessa (Mediaani = 0.30, MAD = 0.13, 90 % CI [0.10, 0.52], MPE = 98.85 %). Koehenkilöt pystyivät erottamaan signaalin taustakohinasta paremmin pitkällä kuin lyhyellä SOA:lla (Mediaani = 0.27, MAD = 0.13, 90 % CI [0.05, 0.47], MPE = 98.20 %). TMS-tilanteen ja kontrollitilanteen välinen ero oli pienempi pitkällä SOA:lla kuin lyhyellä SOA:lla (Mediaani = -0.33, MAD = 0.18, 90 % CI [-0.64, -0.05], MPE = 96.28 %). Koehenkilöiden signaalin erottelukyky oli parempi objektiivisessä tehtävässä kuin subjektiivisessä tehtävässä (Mediaani = 0.33, MAD = 0.13, 90 % CI [0.10, 0.53], MPE = 99.48 %). Vaikka erottelukyky oli yleisesti parempi objektiivisessä kuin subjektiivisessä tehtävässä, oli TMS:n vaikutus samanlainen molemmissa tehtävissä (MPE:t < 95 %). Tulokset eivät siis tue hypoteesia TMS:llä aiheutetusta, niin sanotusta relatiivisesta sokeanäöstä (Lau, & Passingham, 2006), sillä silloin TMS:n vaikutus näkyisi vahvemmin subjektiivisessä kuin objektiivisessä tehtävässä.

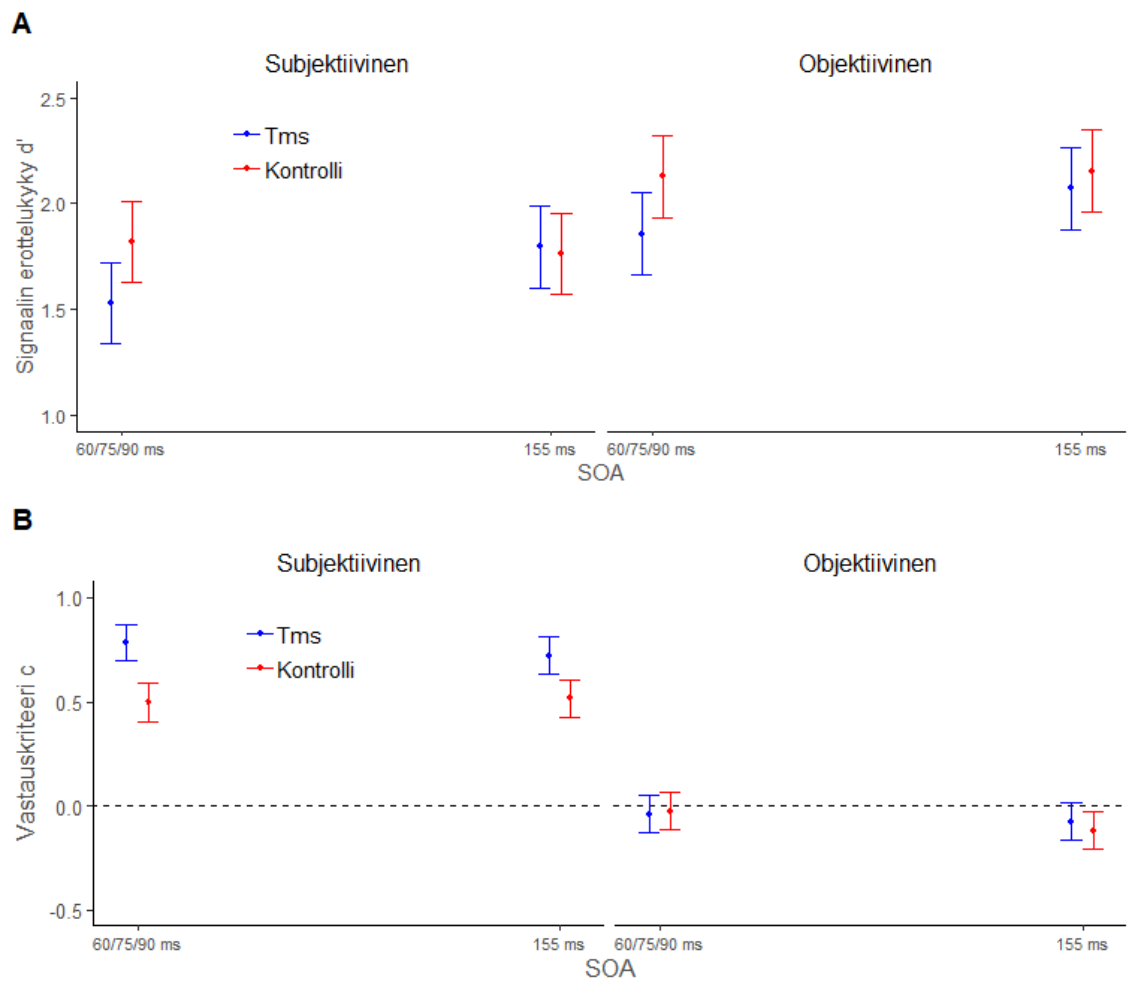
### 3.3 Vastauskriteeri

Signaalin erottelukyvyn lisäksi laskettiin myös subjektiiviselle arviolle vastauskriteerimuuttuja  $c$ , joka kertoo koehenkilön vastausvinoumasta. Jos  $c > 0$ , on vastauskriteeri konservatiivinen. Tällöin koehenkilö on varovainen ja raportoi mieluummin ”en nähnyt” kuin ”näin”. Jos  $c < 0$ , on vastauskriteeri liberaali, ja koehenkilö raportoi ”näin”, vaikkei välttämättä nähnytään ärsykettä. Arviointiasteikko on

muunnettu PAS-skaalalla kaksipolaiseksi samalla tavalla kuin edellisissä analyyseissä. Kiinteät muuttujat olivat TMS (TMS-tilanne vs. kontrollitilanne), SOA (lyhyt vs. pitkä) ja tehtävä (subjektiivinen vs. objektiivinen).

Mallin selitysvoima ( $R^2$ ) oli 59.81 % (MAD = 0.03, 90 % CI [0.54, 0.65], korjattu  $R^2$  = 0.55). Leikkauspiste oli 0.78 (MAD = 0.05, 90 % CI [0.69, 0.87]). Koehenkilöiden vastauskriteeri oli konservatiivisempi TMS-tilanteessa kuin kontrollitilanteessa (Mediaani = -0.28, MAD = 0.07, 90 % CI [-0.41, -0.17], MPE = 100 %). Vastauskriteeri oli myös konservatiivisempi subjektiivisessa tehtävässä kuin objektiivisessä (Mediaani = -0.82, MAD = 0.07, 90 % CI [-0.94, -0.70], MPE = 100 %). Lyhyen ja pitkän SOA:n välillä ei ollut eroja (MPE < 95.00 %). Kontrollitilanteella ja objektiivisellä tehtävällä oli yhdysvaikutus vastauskriteerin ollessa liberaalimpi kuin TMS-tilanteessa ja subjektiivisessä tehtävässä (Mediaani = 0.30, MAD = 0.10, 90 % CI [0.14, 0.48], MPE = 99.88 %). TMS-tilanteessa koehenkilöt ovat siis olleet varovaisia ja raportoineet mieluummin ”en nähnyt”, vaikka jokin näköhavainto on saattanut ollakin. Ei-nähdyiksi kategorisoituihin havaintoihin siis sisältyi todennäköisesti tietoista näkemistä.





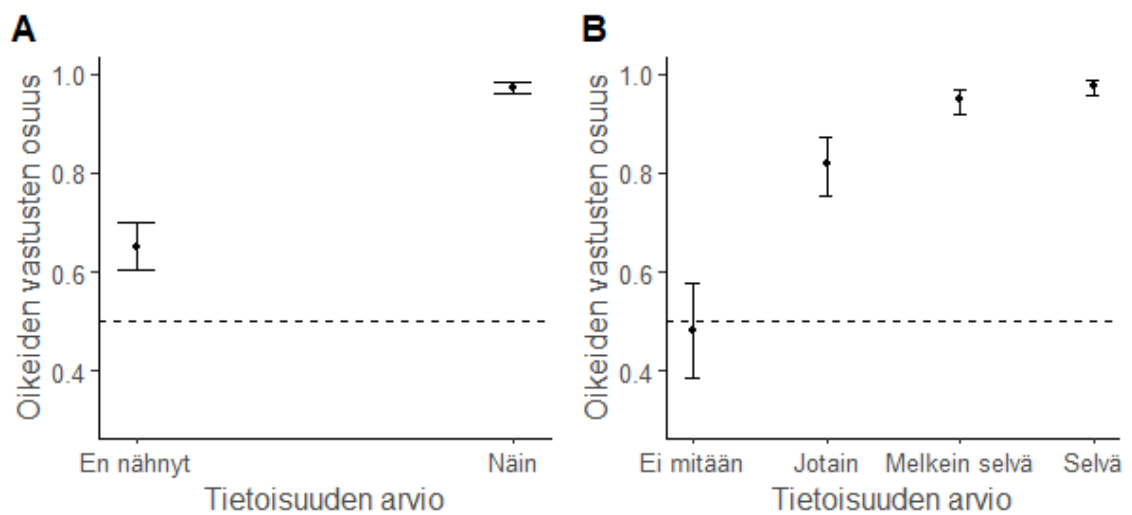
Kuva 3. A) Koehenkilöiden signaalin erottelukyky  $d'$  sekä B) vastauskriteeri  $c$  TMS- ja kontrollitilanteessa, lyhyellä (60/75/90 ms) ja pitkällä (155 ms) SOA:lla sekä subjektiivisessä ja objektiivisessä valintatehtävässä. Virhepalkit kuvaavat 90 % todennäköisyysvälejä. Vastauskriteerikuvaajan katkoviiva osoittaa nollakodan, jossa vastauskriteeri on neutraali.

### 3.4 Oikeiden vastausten osuus lyhyellä SOA:lla eri tietoisuuden tasoilla

Edelliset analyysit osoittivat, että TMS suppressoi tietoista havaitsemista lyhyellä SOA:lla. Seuraavaan analyysiin otettiin mukaan vain ne tilanteet, joissa TMS-pulssi oli annettu varhaiselle näköaivokuorelle lyhyellä (60/75/90 ms) SOA:lla. Tutkittiin, kuinka hyvin koehenkilöt pystyivät erottelemaan viivan orientaation eri tietoisuuden tasoilla dikotomisella asteikolla tai PAS-skaalalla arvioituna. Kaikki yksittäiset trialit olivat mukana analyysissä, ja sekamalli oli logit-muotoinen (link = logit). Kiinteänä muuttujana oli tietoisuus ärsykkeestä joko dikotomisella asteikolla ("näin", "en nähnyt") tai PAS-asteikolla ("ei mitään", "jotain", "melkein selvä", "selvä") (Kuva 4).

*Dikotominen*: Mallin selitysvoima ( $R^2$ ) oli 20.88 % (MAD = 0.02, 90 % CI [0.17, 0.25]). Leikkauspiste oli 0.63 (MAD = 0.13, 90 % CI [0.39, 0.84]), eli kun tutkittavat raportoivat, etteivät he nähneet orientaatiota, viivan orientaation erottelu onnistui silti arvaustasoa paremmin. Oikeiden vastausten osuus kasvoi tietoisuuden kasvaessa, eli koehenkilöt pystyivät tarkemmin päättämään viivan orientaation tilanteissa, joissa raportoivat dikotomisella asteikolla ”näin” (Mediaani = 2.96, MAD = 0.26, 90 % CI [2.55, 3.41], MPE = 100 %). Kuvassa 4 näkyy, että todennäköisyysvälien perusteella sekä kategoriassa ”en nähnyt” että ”näin” vastaustarkkuus oli yli arvaustason.

*PAS*: Mallin selitysvoima ( $R^2$ ) oli 23.38 % (MAD = 0.03, 90 % CI [0.20, 0.28]). Koska PAS on koodattu järjestysasteikolliseksi faktoriksi, leikkauspiste kuvaa keskikohtaa ”jotain” ja ”melkein selvä” välillä. Leikkauspiste oli 2.00 (MAD = 0.22, 90 % CI [1.64, 2.38]). Lineaarinen trendi oli tuloksissa voimakkain, eli vastaustarkkuus kasvoi lineaarisesti PAS-asteikolla raportoidun tietoisuuden kasvaessa (Mediaani = 2.84, MAD = 0.27, 90 % CI [2.38, 3.26], MPE = 100 %). Kuvassa 4 näkyy, että todennäköisyysvälien perusteella kategoriassa ”ei mitään” vastaustarkkuus ei eroa arvaustodennäköisyydestä.



*Kuva 4.* A) Oikeiden vastausten osuus viivan orientaation erottelutehtävässä TMS-tilanteessa, lyhyellä (60/75/90 ms) SOA:lla tietoisuuden funktiona dikotomisella arviointiasteikolla sekä B) PAS-arviointiasteikolla. Katkoviiva osoittaa arvaustason, jossa puolet vastauksista on oikein ja puolet väärin. Virhepalkit kuvaavat 90 % todennäköisyysvälejä.

### 3.5 Vastaustarkkuuden vertailu alhaisimmilla tietoisuuden tasoilla dikotomisen asteikon ja PAS-asteikon välillä

Kuten kuva 4 havainnollistaa, PAS-asteikolla kategoriassa ”ei mitään” oikeiden vastausten osuus viivan orientaation erottelutehtävässä ei eroa arvaustodennäköisyydestä. Oikeiden vastausten osuus on kuitenkin arvaustodennäköisyyttä suurempi dikotomisella asteikolla kategoriassa ”en nähnyt”. Lopuksi verrattiin keskenään näitä kahta kategoriata. Tutkittiin, eroaako oikeiden vastausten osuus TMS-tilanteessa, lyhyellä SOA:lla, kun tietoisuudeksi on dikotomisella asteikolla raportoitu ”en nähnyt” tai PAS-asteikolla ”ei mitään”. Kaikki yksittäiset trialit olivat mukana analyysissä, ja sekamalli oli logit-muotoinen (link = logit). Kiinteänä muuttujana oli arviointiasteikko (dikotominen vs. PAS).

Mallin selitysvoima ( $R^2$ ) oli 4.14 % (MAD = 0.02, 90 % CI [0.01, 0.07]). Leikkauspiste oli 0.61 (MAD = 0.13, 90 % CI [0.39, 0.85]), mikä heijastaa dikotomisella asteikolla arvaustasoa parempaa suoritusta, kun koehenkilöt raportoivat, etteivät nähneet viivan orientaatiota. Oikeiden vastausten osuus viivan orientaation erottelutehtävässä oli pienempi PAS-asteikon kategoriassa ”ei mitään” kuin dikotomisen asteikon kategoriassa ”en nähnyt” (Mediaani = -0.52, MAD = 0.21, 90 % CI [-0.86, -0.15, MPE = 99.10 %). Tulosten mukaan siis saadaan tukea TMS:llä aiheutetulle sokeanäölle, kun tietoisuutta mitataan dikotomisella asteikolla. Kun taas tietoisuutta mitataan neliportaisella PAS-asteikolla, ei saada tukea sille, että viivan orientaation erottelu olisi tiedostamatonta. Sen sijaan TMS:llä aiheutettu II tyypin sokeanäköefekti saadaan aikaiseksi, koska oikeiden vastausten osuus ylittää arvaustodennäköisyyden kategoriassa ”jotain”.

## 4. Pohdinta

### 4.1 Keskeiset tulokset

Kokeessa tutkittiin TMS:llä aiheutettua sokeanäköefektiä ja vertailtiin eri tietoisuuden mittareiden antamia tuloksia keskenään. Tietoisuuden mittareina käytettiin dikotomista arviointiasteikkoa (en nähnyt / näin) ja PAS-asteikkoa (ei mitään / jotain / melkein selvä / selvä). Tutkimustulokset antavat tukea hypoteesille, että dikotominen asteikko aliarvioi

tietoista prosessointia ja siten yliarvioi tiedostamatonta prosessointia. Siksi PAS-asteikko on luotettavampi tietoisuuden mittari. Kun visuaalisesta ärsykkeestä ei ollut mitään havaintoa, ei oikeiden vastausten osuus ylittänyt arvaustodennäköisyyttä. Näin ollen voidaan puhua korkeintaan II tyypin sokeanäöstä, johon liittyy myös tietoista prosessointia, mutta ei välttämättä raportoitua tietoisuutta havainnon kohteena olevasta visuaalisesta piirteestä, eli tässä ärsykkeen orientaatiosta.

Tässäkin tutkimuksessa TMS-pulssi suppressoi tietoisuutta nimenomaan lyhyellä (60/75/90 ms), klassisen aleneman aikaisella SOA:lla. Tämä varmistettiin myös signaalidetektioanalyysin avulla.  $D'$  on vastausharhasta riippumaton muuttuja, joka kuvaa henkilön kykyä erottaa signaali taustakohinasta (Stanislaw, & Todorov, 1999). Signaalidetektioanalyysi ei tue hypoteesia TMS:llä aiheutetusta relatiivisesta sokeanäöstä, sillä silloin TMS:n vaikutus näkyisi enemmän subjektiivisessa kuin objektiivisessa tehtävässä. Tehtäviä vertailtaessa TMS:n vaikutus oli kuitenkin samanlainen molemmissa.

Vastauskriteerianalyysi osoitti, että koehenkilöt olivat TMS-tilanteessa varovaisia, eli heidän vastauskriteerinsä oli konservatiivinen. Tämä tarkoittaa, että TMS-tilanteessa he vastasivat enemmän ”en nähnyt” kuin ”näin”. Ei-nähdyiksi kategorisoidut vastaukset todennäköisesti siis sisälsivät myös tietoista näkemistä.

Dikotomisella ja PAS-asteikolla saatiin samanlaiset tulokset, kun PAS-asteikko oli keinotekoisesti muunnettu kaksiportaiseksi. Kun asteikoita vertailtiin keskenään PAS:n ollessa neliportainen, eroja kuitenkin löytyi. Dikotomisella asteikolla viivan orientaation erottelu onnistui arvaustodennäköisyyttä paremmin tilanteessa, jossa koehenkilöt olivat vastanneet ”en nähnyt”. PAS-asteikolla oikeiden vastausten osuus kasvoi lineaarisesti tietoisuuden kasvaessa. Kategoriassa ”ei mitään” oikeiden vastausten osuus ei enää ylittänyt arvaustodennäköisyyttä. Tässä tutkimuksessa dikotomisella asteikolla olisi siis saatu tulos tiedostamattomasta näkemisestä, mutta PAS-asteikolla ei. PAS-asteikolla mitattaessa sen sijaan olisi saatu tukea hypoteesille TMS:llä aiheutetusta II tyypin sokeanäöstä, sillä kategoriassa ”jotain” vastauksen tarkkuus oli arvaustodennäköisyyttä suurempi.

## 4.2 Tulosten suhde aikaisempiin tutkimuksiin

Kaikissa aikaisemmissa varhaisen näköaivokuoren TMS-tutkimuksissa on saatu suppressoitua tietoisuutta näköhavainnosta klassisen aleneman aikaisella SOA:lla (de Graaf ym., 2014). Tässäkin tutkimuksessa suppressiota tapahtui nimenomaan lyhyemmällä (60/75/90 ms) SOA:lla. Varsinaisena kiinnostuksen kohteena oli kuitenkin tietoisuuden raportointi.

Koenigin ja Ron (2019) sekä Boyerin, Harrisonin ja Ron (2005) tutkimuksissa, joissa käytettiin samanlaista koeasetelmaa kuin tässä tutkimuksessa, tietoisuuden raportointiin käytettiin dikotomista asteikkoa. Dikotomisella asteikolla saatiin tulos TMS:llä aiheutetusta sokeanäköefektistä klassisen aleneman aikaisella SOA:lla. Kummankaan tutkimuksen kohdalla ei kuitenkaan voida puhua TMS:llä aiheutetusta I tyypin sokeanäöstä, sillä kysymys tietoisuudesta koski nimenomaan ärsykkeen orientaatiota, ei ärsykkeen olemassaoloa. Lisäksi koehenkilöt raportoivat sanallisesti nähneensä näkökentässään jotain, vaikka olivatkin vastanneet ärsykkeen kohdalla ”en nähnyt” (Boyer, Harrison, & Ro, 2005). Kysymys voi siis olla TMS:llä aiheutetusta II tyypin sokeanäköefektistä, jossa ei nähdäyksi kategorisoitujen ärsykkeiden kohdalla on saattanut tapahtua lähellä havaitsemiskynnystä olevaa tietoista prosessointia. Tässä tutkimuksessa sama efekti replikoitui dikotomisella asteikolla tietoisuutta mitattaessa. Mittasimme tietoisuutta lisäksi neliportaisella PAS-asteikolla, jonka avulla voidaan tutkia myös TMS:llä aiheutettua I tyypin sokeanäköefektistä. Se ei saanut tukea, sillä kategoriassa ”ei mitään” oikeiden vastausten osuus ei ylittänyt arvaustodennäköisyyttä. Kategoriassa ”jotain” oikeiden vastausten osuus ylitti arvaustodennäköisyyden. Tämä antaa viitteitä TMS:llä aiheutetusta II tyypin sokeanäköefektistä. Tarkempi signaalidetektioanalyysi kuitenkin osoitti, että koehenkilöt vastasivat dikotomisoidulla asteikolla mieluummin ”en nähnyt orientaatiota” kuin ”näin orientaation”, eikä TMS supressoinut suhteellisesti enemmän orientaatiotietoisuutta kuin diskriminaatiota. Eli myöskään TMS:lla aiheutetusta II tyypin sokeanäköefektistä ei voida puhua.

TMS-tutkimuksissa sokeanäköefekti voi olla seurausta vastausvinoumasta, joka liittyy dikotomiseen tietoisuuden arviointiasteikkoon (Lloyd ym, 2013). Tässä tutkimuksessa dikotominen asteikko tuotti tuloksen TMS:llä aiheutetusta sokeanäköefektistä. Kun asiaa tutkittiin tarkemmalla neliportaisella tietoisuuden mittarilla, huomattiin, että oikeiden vastausten osuus ylitti arvaustodennäköisyyden vain, jos ärsykkeen kohdalla oli ollut

jonkinasteista tietoista prosessointia. Toisin kuin Koenig ja Ro (2019) sekä Boyer, Harrison ja Ro (2005), mittasimme TMS:n vaikutusta myös signaalidetektioanalyysin avulla. Signaalidetektioanalyysi ei tukenut hypoteesia TMS:llä aiheutetusta relatiivisesta sokeanäöstä, sillä TMS vaikutti sekä subjektiiviseen että objektiiviseen tehtävään samalla tavalla. Jotta tukea hypoteesille olisi saatu, olisi TMS:n pitänyt vaikuttaa voimakkaammin nimenomaan subjektiivisen tehtävän kohdalla. Vastauskriteerianalyysi osoitti, että koehenkilöiden vastasivat TMS-tilanteessa enemmän ”en nähnyt” kuin ”näin”. Tämänkin tuloksen perusteella voi todennäköisesti olettaa, että ei nähdäksi kategorisoitujen ärsykkeiden kohdalla on ollut jonkinasteista tietoista prosessointia.

Kun koehenkilöltä kysytään kaksiporaisella asteikolla, näkikö hän ärsyksen, joutuu henkilö päättämään mielessään rajan tietoiselle näkemiselle (Sandberg, & Overgaard, 2015). Tämä voi johtaa tiedostamattoman prosessoinnin yliarviointiin dikotomisella asteikolla. Overgaard ja kumppaneiden (2006) vertaillessa behavioraalisessa tutkimuksessa normaaleilla koehenkilöillä dikotomisen asteikon luokkaa ”en nähnyt” ja PAS-asteikon luokkaa ”ei mitään” oikeiden vastausten osuus oli isompi dikotomisella asteikolla. PAS-asteikolla kategoriassa ”ei mitään” oikeiden vastausten osuus ei ylittänyt arvaustodennäköisyyttä, mutta kun asteikko muunnettiin kaksiporaiseksi, saatiin merkitseviä tuloksia (Ramsøy, & Overgaard, 2004). Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös sokeanäköpotilailla (Overgaard ym., 2008; Mazzi, Bagattini, & Savazzi, 2016). Tässäkin tutkimuksessa kaksiporaiseksi muunnetulla PAS-asteikolla sekä dikotomisella asteikolla oikeiden vastausten osuus ylitti arvaustodennäköisyyden luokassa ”en nähnyt”. Kuitenkin, PAS-asteikolla kategoriassa ”ei mitään” oikeiden vastausten osuus ei ylittänyt arvaustodennäköisyyttä. Tässä tutkimuksessa ensimmäistä kertaa TMS:llä asteikkoja verratessa dikotomisella asteikolla saatiin tiedostamattomasta näkemistä näennäisesti tukeva tulos, mutta tarkemmalla PAS-asteikolla mitattaessa samanlaista tulosta ei saatu.

Laajempi teoreettinen kysymys tutkimuksen taustalla liittyi siihen, onko varhaisella näköaivokuorella tärkeä tehtävä nimenomaan tietoisesta, vaiko myös tiedostamattoman visuaalisen havaitsemisen kohdalla. Sokeanäköpotilailla tehty tutkimus tukee hypoteesia siitä, että vauroituneesta varhaisesta näköaivokuoresta huolimatta tiedostamattoman prosessointi voi säilyä (Schmid ym., 2010). Sokeanäköpotilailla aivot ovat kuitenkin saattaneet plastisiteetin takia muovautua erilaisiksi verrattuna terveisiin aivoihin. TMS:n avulla terveitä aivoja voidaan tutkia sokeanäköefektin osalta, ja tämän tutkimuksen

mukaan varhaisen näköaivokuoren suppressioiminen vaikutti sekä tietoiseen että tiedostamattomaan havaitsemiseen. Kun koehenkilöt eivät olleet millään tavalla tietoisia esitetystä ärsykkeestä, eivät he myöskään onnistuneet diskriminaatiotehtävässä arvaustodennäköisyyttä paremmin.

#### 4.3 Tulosten kriittinen arviointi ja jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina. Otokoko tässä tutkimuksessa on lukumäärältään samanlainen kuin muissa vastaavissa tutkimuksissa (Koenig & Ro, 2019; Boyer ym., 2005; Koivisto ym., 2011). Kokeessa kontrolloitiin TMS:stä johtumattomat vaikutukset näköhavaintoon antamalla kontrollimittauksissa TMS-pulssi ipsilateraalaisesti näköaivokuoren alueelle, jonka ei oletettu vaikuttavan tehtävän suorittamiseen. Lisäksi kaikenlaiset mahdolliset neurologiset häiriöt tai lääkitykset kontrolloitiin pois koehenkilöille suoritettulla alkukyselyllä.

Normaalin analysoinnin lisäksi tulosten tulkinnassa käytettiin myös signaalidetektioanalyysiä, jolloin tuloksia voidaan tulkita riippumatta koehenkilön vastausvinoumasta (Stanislaw, & Todorov, 1999). Tietoisuuden dikotomiseen arviointiasteikkoon liittyvä vastausvinouma voi olla tiedostamattomasta havainnoinnista kertovien tulosten taustalla (Lloyd ym., 2013). Tässäkin tutkimuksessa signaalidetektioanalyysi ja vastauskriteerianalyysi viittasivat dikotomisen asteikon taipumukseen yliarvioida tiedostamatonta prosessointia.

Tietoisuutta mitattiin dikotomisen asteikon lisäksi myös neliportaisella PAS-asteikolla, joka on kehitetty nimenomaan näköhavainnon tietoisuuden arviointiin (Ramsøy, & Overgaard, 2004). PAS-asteikolla voidaan tutkia TMS:llä aiheutettua sokeanäköefektiä laajemmin, ja erottaa toisistaan I ja II tyypin sokeanäkö. Tutkimustulokset analysoitiin käyttäen bayesilaista tilastomatemattista viitekehystä, jonka avulla pystytään analysoimaan pieniä ja paljon häiriötekijöitä sisältäviä otoksia ja joka on klassista tilastotiedettä vähemmän taipuvainen I tyypin virheelle (Kruschke, 2010; Kruschke ym., 2012).

Sokeanäköefektin tutkimiseen TMS:llä liittyy joitakin heikkouksia verrattuna todellisiin sokeanäköpotilaisiin. TMS-tutkimuksissa pitää käyttää pienempiä ärsykejä, koska

suuria ärsykyksiä ei ole mahdollista suppressoida TMS:n avulla. Suppressoitavan ärsyksen piirteet joudutaan siis lähtökohtaisesti asettamaan lähemmäs havaitsemiskynnystä, jolloin joissain tilanteissa voi olla vaikea erottaa, johtuuko havainnon tiedostamattomuus TMS:stä vai muista tekijöistä. Tässä tutkimuksessa kuitenkin kontrolloitiin muiden tekijöiden vaikutus antamalla TMS-pulseja kontrollimittauksissa oikealle puolelle näköaivokuorta. Lisäksi sokeanäköpotilailla aivot ovat todennäköisesti muovautuneet sokeanäöstä johtuen erilaisiksi kuin terveillä verrokeilla (Tamietto, & Morrone, 2016). Tämä on myös potilastutkimuksen heikkous, sillä tutkimustulosten yleistäminen normaalisti toimiviin aivoihin on ongelmallista. Todellisilla sokeanäköpotilailla tehtyjä tutkimuksia eri tietoisuuden mittareista kaivataan lisää.

Tässä tutkimuksessa riittävän suppression aikaansaaminen koehenkilöillä oli kohtalaisen haastavaa, joten TMS-pulssit olivat keskimäärin voimakkaita tehon ollessa keskiarvoisesti 90 %. Pulssin ollessa näin voimakas siihen liittyy monia häiriötekijöitä, esimerkiksi kova naksahdus ja mahdollisesti pään alueen lihasten supistuminen. Nämä tekijät kuitenkin kontrolloitiin jokaisen koehenkilön kohdalla mittauksissa, joissa pulssi annettiin ipsilateraalisesti sellaiselle takaraivolohkon alueelle, jossa ei oletettu aiheutuvan suppressiota. Ärsykyksinä tässä tutkimuksessa käytettiin yksinkertaisia viivoja, ja kysymykset koskivat viivan orientaatiota. Jatkotutkimusta tarvitaan myös erilaisilla näköärsykyksillä kuten vaikkapa kasvokuvilla, muodoilla, väreillä tai esimerkiksi liikkuvilla objekteilla.

#### 4.4 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa koehenkilöille pyrittiin aiheuttamaan keinotekoisesti sokeanäkö TMS-pulssin avulla. Tutkimuksessa pystyttiin suppressoimaan tietoisuutta näköärsykyksestä lyhyellä klassisen aleneman aikaisella SOA:lla. Vertailtaessa dikotomista tietoisuuden arviointiasteikkoa ja neliportaista PAS-asteikkoa, huomattiin, että ei nähdä yksin -kategorisoidut havainnot sisälsivät kuitenkin jonkinasteista lähellä havaintokynnystä olevaa tietoisuutta prosessointia. Kun koehenkilöt raportoivat PAS-asteikolla, etteivät olleet nähneet mitään, ei viivan orientaation erottelu enää onnistunut arvaustodennäköisyyttä paremmin. Tutkimus ei tue TMS:llä aiheutettua I tyypin



sokeanäköefektiä. Signaalidetektioanalyysin perusteella ei voida puhua edes TMS:llä aiheutetusta II tyypin sokeanäköefektistä, sillä TMS ei suppressoinut suhteellisesti enemmän orientaatiotietoisuutta kuin diskriminaatiota. Tämän tutkimuksen mukaan varhainen näköaivokuori ei ole uniikki pelkästään tietoisesta havaitsemisesta, vaan myös tiedostamattoman havaitsemisen kannalta terveissä aivoissa.

## 5. Lähteet

- Amassian, V. E., Cracco, R. Q., Maccabee, P. J., Cracco, J. B., Rudell, A., & Eberle, L. (1989). Suppression of visual perception by magnetic coil stimulation of human occipital cortex. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology: Evoked Potentials*, *74*, 458 – 462.
- Beckers, G., & Homberg, V. (1991). Impairment of visual perception and visual short term memory scanning by transcranial magnetic stimulation of occipital cortex. *Experimental Brain Research*, *87*, 421 – 432.
- Boyer, J. L., Harrison, S., & Ro, T. (2005). Unconscious processing of orientation and color without primary visual cortex. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, *102*, 16875 – 16879.
- Camprodon, J.A., Zohary, E., Brodbeck, V., & Pascual-Leone, A. (2010). Two phases of V1 activity for visual recognition of natural images. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*, 1262 – 1269.
- Corthout, E., Hallet, M., & Cowey, A. (2002). Early visual cortical processing suggested by transcranial magnetic stimulation. *NeuroReport*, *13*, 1163 – 1166.
- Corthout, E., Hallet, M., & Cowey, A. (2003). Interference with vision by TMS over the occipital pole: a fourth period. *NeuroReport*, *14*, 651 – 655.
- Corthout, E., Uttl, B., Walsh, V., Hallett, M., & Cowey, A. (1999a). Timing of activity in early visual cortex as revealed by transcranial magnetic stimulation. *NeuroReport*, *10*, 2631 – 2634.
- Crick, F., & Koch, C. (1995). Are we aware of neural activity in primary visual cortex? *Nature*, *375*, 121 – 123.
- de Graaf, T. A., Goebel, R., & Sack, A. T. (2012). Feedforward and quick recurrent processes in early visual cortex revealed by TMS? *NeuroImage*, *61*, 651 – 659.
- de Graaf, T. A., Koivisto, M., Jacobs, C., & Sack, A. T. (2014). The chronometry of visual perception: Review of occipital TMS masking studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *45*, 295 – 304.
- Duecker, F., de Graaf, T. A., Jacobs, C., & Sack, A. T. (2013). Time- and task-dependent non-neural effects of real and sham TMS. *PloS one*, *8*, e73813.
- Goodrich, B., Gabry, J., Ali, I., & Brilleman, S. (2020). rstanarm: Bayesian applied regression modeling via Stan. *R package version 2.19.3*.

- Hurme, M., Koivisto, M., Revonsuo, A., & Railo, H. (2017). Early processing in primary visual cortex is necessary for conscious and unconscious vision while late processing is necessary only for conscious vision in neurologically healthy humans. *NeuroImage*, *150*, 230 – 238.
- Kammer, T., Puls, K., Erb, M., & Grodd, W. (2005a). Transcranial magnetic stimulation in the visual system. II. Characterization of induced phosphenes and scotomas. *Experimental Brain Research* *160*, 129 – 140.
- 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. (2013). 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., Mäntylä, T., & Silvanto, J. (2010). The role of early visual cortex (V1/V2) in conscious and unconscious visual perception. *NeuroImage*, *51*, 828 – 234.
- 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*, 288 – 298.
- Koivisto, M., Railo, H., Revonsuo, A., Vanni, S., & Salminen-Vaparanta, N. (2011a). Recurrent processing in V1/V2 contributes to categorization of natural scenes. *Journal of Neuroscience*, *31*, 2488 – 2492.
- Kruschke, J. K. (2010). What to believe: Bayesian methods for data analysis. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*, 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*, 722 – 752.
- Lamme V. A. F. (2001). Blindsight: the role of feedforward and feedback corticocortical connections. *Acta Psychologica*, *107*, 209 – 228.
- Lau, H. C., & Passingham, R. E. (2006). Relative blindsight in normal observers and the neural correlate of visual consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*, 18763 – 18768.
- Leopold, D. A. (2012). Primary visual cortex: awareness and blindsight. *Annual review of neuroscience*, *35*, 91 – 109.
- Lloyd, D. A., Abrahamyan, A., & Harris, J. A. (2013). Brain-stimulation induced blindsight: unconscious vision or response bias? *PloS one*, *8*, e82828.
- Lüdecke, D. (2018). sjPlot: Data visualization for statistics in social science. *R package version*, *2*(1).

- Makowski, D., Ben-Shachar, M. S., & Lüdecke, D. (2019). bayestestR: Describing Effects and their Uncertainty, Existence and Significance within the Bayesian Framework. *Journal of Open Source Software*, 4, 1541.
- Mazzi, C., Bagattini, C., & Savazzi, S. (2016). Blind-sight vs. degraded-sight: Different measures tell a different story. *Frontiers in Psychology*, 7, 901.
- Overgaard, M., Fehl, K., Mouridsen, K., Bergholt, B., & Cleeremans, A. (2008). Seeing without seeing? Degraded conscious vision in a blindsight patient. *PLOS One*, 3, e3028.
- Overgaard, M., Rote, J., Mouridsen, K., & Ramsøy, T.Z. (2006). Is conscious perception gradual or dichotomous? A comparison of report methodologies during a visual task. *Consciousness and Cognition*, 15, 700 – 708.
- Persuh, M., & Ro, T. (2013). Unconscious priming requires early visual cortex at specific temporal phases of processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25, 1493 – 1503.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Ramsøy, T. Z., & Overgaard, M. (2004). Introspection and subliminal perception. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 3, 1 – 23.
- Ro, T., Shelton, D., Lee, O. L., & Chang, E. (2004). Extrageniculate mediation of unconscious vision in transcranial magnetic stimulation-induced blindsight. *Proceeding of the National Academy of the Sciences of the United States of America*, 101, 9933 – 9935.
- Sahraie, A., Hibbard, P. B., Trevethan, C. T., Ritchie, K. L., & Weiskrantz, L. (2010). Consciousness of the first order in blindsight. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 21217 – 21222.
- Salminen-Vaparanta, N., Noreika, V., Revonsuo, A., Koivisto, A., & Vanni, S. (2011). Is selective primary visual cortex stimulation achievable with TMS? *Human Brain Mapping*, 33, 652 – 665.
- Sandberg, K., & Overgaard, M. (2015). *Behavioral Methods in Consciousness Research*. Oxford University Press.
- Schmid, M. C., Mrowka, S. W., Turchi, J., Saunders, R. C., Wilke, M., Peters, A. J., Ye, F. Q., & Leopold, D. A. (2010). Blindsight depends on the lateral geniculate nucleus. *Nature*, 466, 373 – 377.

- Silvanto, J. (2015). Why is “blindsight” blind? A new perspective on primary visual cortex, recurrent activity and visual awareness. *Consciousness and Cognition*, 32, 15 – 32.
- Sparing, R., Buelte, D., Meister, I. G., Paus, T., & Fink, G. R. (2007). Transcranial magnetic stimulation and the challenge of coil placement: A comparison of conventional and stereotaxic neuronavigational strategies. *Human Brain Mapping*, 29, 82 – 96.
- Stanislaw, H., & Todorov, N. (1999). Calculation of signal detection theory measures. *Behavioral Research Methods, Instruments, & Computers*, 31, 137 – 149.
- Tamietto, M., & Morrone, M. C. (2016). Visual Plasticity: Blindsight Bridges Anatomy and Function in the Visual System. *Current Biology: CB*, 26, R70–R73.
- Weiskrantz, L. (1996). Blindsight revisited. *Current Opinion in Neurobiology*, 6, 215 – 220.