

Neliportainen tietoisuuden mittaus ja sokeanäkö neurologisesti terveillä henkilöillä

Aino Pekkarinen

Pro gradu -tutkielma

Turun yliopisto

Psykologian ja logopedian laitos

Psykologia

Syyskuu 2019

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

Sisällys

1. Johdanto	1
1.1 Ei-tietoinen näköhavainto sokeanäköpotilailla	1
1.2 Ei-tietoisien näköhavainnon tutkiminen.....	4
1.3 TMS tietoisien ja ei-tietoisien näköprosessoinnin tutkimuksessa	6
1.4 TMS:llä aiheutettu sokeanäkö	7
1.5 Tutkimuksen tarkoitus ja hypoteesit.....	10
2. Menetelmät	11
2.1 Tutkittavat	11
2.2 Ärsykkeet ja laitteisto	11
2.3 TMS.....	11
2.4 Kokeen kulku	12
2.5 Stimulaatioalueen paikannus	13
2.6 Tilastolliset menetelmät	14
3 Tulokset.....	16
3.1 TMS:n ja SOA:n vaikutus tietoisuuden arvioon	17
3.2 TMS:n ja SOA:n vaikutus oikeiden vastausten osuuteen	18
3.3 Tietoisuuden arvion ja SOA:n vaikutus oikeiden vastausten osuuteen.....	19
4 Pohdinta	21
4.1 Keskeiset tulokset.....	21
4.2 Tulokset suhteessa aikaisempiin tutkimustuloksiin TMS-sokeanäöstä.....	21
4.3 Tulokset suhteessa näköhavainnon muodostumisen teorioihin.....	22
4.4. Tutkimuksen luotettavuus ja jatkotutkimus	23
4.5 Yhteenvedo.....	25
Lähteet.....	26

TURUN YLIOPISTO

Psykologian ja logopedian laitos

PEKKARINEN, AINO: Neliportainen tietoisuuden mittaus ja sokeanäkö neurologisesti terveillä henkilöillä

Pro Gradu – tutkielma, 30 s.

Psykologia

Sokeanäkö on tilanne, jossa henkilö voi havaita ärsykkeen piirteitä ilman tietoista kokemusta ärsykkeen näkemisestä. Tämä tilanne on havaittu ensimmäisenä potilailla, joilla on primäärin näköaivokuoren, eli V1-alueen vaurio aivoissa. Ilmiön mahdollistumista on selitetty muun muassa V1-alueen ohittavien aivoratojen olemassaololla. Aikaisemmat tutkimukset ovat olleet ristiriidassa sen suhteen, esiintyykö neurologisesti terveillä henkilöillä sokeanäköä, vai selittyykö sokeanäkö sokeanäköpotilailla esimerkiksi aivojen plastisuudella. Tässä tutkimuksessa tutkittiin transkraniaalisen magneettistimulaation (TMS) aiheuttamaa Tyypin I ja Tyypin II sokeanäköä. Tyypin I sokeanäkö on tilanne, jossa henkilöllä ei ole minkäänlaista tietoisuutta näköärsykkeestä, mutta kykenee silti arvaustasoa paremmin erottelemaan ärsykkeen jotakin piirrettä. Tyypin II sokeanäkö tarkoittaa henkilön kykyä erotella ärsykkeen jotakin piirrettä ilman tietoisuutta kyseisestä piirteestä, samalla kun hän on jollakin tasolla tietoinen ärsykkeen olemassaolosta tai jostakin toisesta ärsykkeen piirteestä. Tietoisuutta ärsykkeen havaitsemisesta mitattiin ensimmäistä kertaa TMS-sokeanäköä käsittelevässä tutkimuksessa neliportaisella Perceptual Awareness Scale-asteikolla (PAS), jonka on todettu mittaavan näköhavainnon kokemusta hienovaraisemmin ja tyhjentävämmin kuin tutkimuksissa usein käytetty kaksiportainen asteikko. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko TMS-pulssilla saada aikaan Tyypin I sokeanäköä neurologisesti terveillä henkilöillä, ja esiintyykö Tyypin II sokeanäköä. TMS-pulssi suunnattiin V1-alueelle, jonka on havaittu olevan tärkeä osa tietoisien näköhavainnon muodostumista. TMS-pulssilla supressoitiin tietoista näköhavaintoa ja samalla koehenkilön täytyi päättää, oliko esitetty näköärsyke (viiva) pysty- vai vaakaorientaatioissa. TMS-pulssi vaikutti tässä tutkimuksessa sekä tietoiseen, että eitietoiseen näköärsykkeen prosessointiin heikentävästi. Silloin kun koehenkilö raportoi, ettei nähnyt ärsykettä, myös ärsykkeen orientaation erottelu oli arvaustasolla. Tämä viittaa siihen, että sekä tietoinen että tiedostamaton näköhavainto riippuvat V1-alueen normaalista toiminnasta neurologisesti terveillä henkilöillä ja näin ollen Tyypin I sokeanäköä ei heillä esiinny. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin Tyypin II sokeanäköä, eli koehenkilön kykyä erotella näköärsykkeen orientaatiota arvaustasoa paremmin, kun hänellä oli jonkinlaista tietoisuutta näköärsykkeen olemassaolosta. Sekä tietoinen että tiedostamaton visuaalinen prosessointi näyttäisivät tutkimuksen mukaan riippuvan V1-alueen normaalista toiminnasta neurologisesti terveillä koehenkilöillä.

Asiasanat: sokeanäkö, TMS, Perceptual Awareness Scale, näköhavainto, tiedostamaton prosessointi

1. Johdanto

Tietoista ja tiedostamatonta näköhavaintoa ja niiden neuraalisia mekanismeja on tutkittu useita vuosikymmeniä, mutta edelleen ymmärrys niistä on vajavaista. Sokeanäköpotilailla, joilla esiintyy primaarin näköaivokuoren (V1) vaurio, on havaittu kykyä erotella tai luokitella ärsykkeen piirteitä arvaustasoa paremmin ilman tietoista näköhavaintoa. Tämä sokeanäköilmiö on ollut tutkimuksessa esillä poikkeuksellisen tilanteena, jossa tietoinen ja ei-tietoinen näköhavainto vaikuttavat olevan erillisiä ilmiöitä. Neurologisesti terveillä koehenkilöillä TMS:ää eli transkraniaalista magneettistimulaatiota on tutkimuksissa käytetty ehkäisemään eli supressoimaan varhaisen näköaivokuoren (V1) toimintaa. TMS-pulsseilla on tiedettävästi saatu aiheutettua terveillä henkilöillä sokeanäköä muistuttava ilmiö, jossa tietoinen ja ei-tietoinen näköhavainto näyttävät eroavan toisistaan (Allen, Sumner, & Chambers, 2014; Boyer, Harrison, & Ro, 2005; Christensen, Kristiansen, Rowe, & Nielsen, 2008; Jolij & Lamme, 2005; Railo & Koivisto, 2012; Ro, 2008; Ro, Shelton, Lee, & Chang, 2004). Näissä tutkimuksissa kuitenkin tietoisien näköhavainnon poissulkemisessa on ollut ongelmia. Tämä voi johtua siitä, että tutkimuksissa käytetyt mittarit ovat olleet karkeita ja alttiita vastausvinoimille, jolloin tutkittavat ovat voineet olla osittain tietoisia ärsykkeestä.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, voiko TMS-pulsseilla saada aikaan sokeanäköä terveille koehenkilöille, sekä sitä, onko varhaisen näköaivokuoren TMS:llä aiheutettu sokeanäkö Tyypin I, jolloin tutkittavalla ei ole minkäänlaista tietoisuutta ärsykkeen esityksestä, vai Tyypin II, jolloin tutkittava on tietoinen siitä, että jotain esitettiin. Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin ensimmäistä kertaa TMS-sokeanäön tutkimisessa moniportaista tietoisuuden mittaustapaa. Tämä mittaustapa on herkempi ja siten tarjoaa tarkempaa tietoa siitä, onko kyse Tyypin I sokeanäöstä, eli tilanteesta, jossa tietoisuutta ärsykkeestä ei ole lainkaan.

1.1 Ei-tietoinen näköhavainto sokeanäköpotilailla

Primäärillä näköaivokuorella sijaitseva vaurio johtaa kykenemättömyyteen raportoida näköärsykeitä, joita esitetään aivoaluetta vastaavalla kohdalla näkökentässä. Jotkin jäljelle jäävät näköreitit saattavat kuitenkin tehdä mahdolliseksi sen, että jotkut näköhavainnon osa-alueet säilyvät samalla sokeaksi raportoidulla näkökentän alueella.

Tämä paradoksaalinen tilanne, jossa potilas ei ole lainkaan tietoinen esitetystä näköärsykkeestä, mutta joka silti voi vaikuttaa henkilön käyttäytymiseen, on nimetty Tyypin I sokeanäöksi (engl. blindsight) (Weiskrantz, Warrington, Sanders, & Marshall, 1974). Sokeanäkö tutkimuksissa on tullut esille myös ns. Tyypin II sokeanäköä (Sahraie ym., 1997), joka viittaa tilanteeseen, jossa koehenkilö raportoi jonkinlaisen ei-visuaalisen muutoksen sokealla näköalueellaan ja kykenee - ilman tietoisuutta eroteltavasta ärsykkeen piirteestä - erottelemaan sitä arvaustasoa paremmin. Toisin sanoen potilaat ovat jollakin tasolla tietoisia ärsykkeen olemassaolosta, vaikka eivät vaikuta tietoisesti havaitsevan visuaalisesti ärsykettä.

Sokeanäköpotilaat kieltävät nähneensä näköärsykkeen, vaikka heidän käytöksensä itse asiassa osoittaa, että he pystyvät hyödyntämään sokealla alueella esitettyä informaatiota (Cowey, 2004). Ehkä tunnetuimpana esimerkkinä näistä on potilas, jota kutsutaan DB:ksi. Kun ärsyke esitettiin DB:n näkökentän sokealle kohdalle, hän raportoi, että ei nähnyt mitään. Tästä huolimatta DB pystyi pyydettäessä osoittamaan ärsykettä tai liikuttamaan silmiään ärsykkeeseen tarkasti, ja suorittamaan arvaustasoa paremmin joitakin erottelutehtäviä, kuten erottamaan näköärsykkeen orientaation (vaakasuora, pystysuora tai vino), liikkeen (paikallaan tai liikkeessä) ja kontrastin (harmaa kuvio mustalla taustalla tai harmaa valkoisella taustalla). Näissä tehtävissä DB raportoi arvanneensa, vaikka selvästi näin ei ollut (Weiskrantz ym., 1974).

Sokeanäkö-ilmiotä on muun muassa selitetty siten, että potilailla voisi olla jäänteitä primääristä näköaivokuoresta, jonka avulla potilaat kykenisivät suorittamaan tehtäviä (Campion, Latto, & Smith, 1983). Tämä selitys on kuitenkin kumottu potilaille suoritettun strukturaalisen MRI –kuvantamisen avulla, jonka mukaan näköaivokuoren jäännöksiä ei ollut sokeaa kohtaa vastaavalla näköaivokuoren kohdalla (Cowey, 2004). Sitten sokeanäössä ilmenevää ei-tietoista visuaalisen tiedon prosessointia on selitetty sekä fysiologisilla että anatomisilla malleilla. Ei-tietoisien ja tietoisien näköhavainnon neuraalisista mekanismeista ei kuitenkaan ole yksimielisyyttä (Hurme, Koivisto, Revonsuo, & Railo, 2017).

1.1.1. Anatomiset mallit

Anatomiset mallit selittävät sokeanäköpotilaille todettuja dissosiaatioita ei-tietoisesta ja tietoisesta havainnon välillä erillisillä näkoradoilla. Suurin osa näköinformaatiosta kulkee genikulostriataalista reittiä (engl. geniculo-striate pathway), joka vie silmästä näköinformaatiota lateraalisen polvitumakkeen kautta näköaivokuorelle V1 -alueelle. Osa näköaistitiedosta kulkee korkeammille näköalueille myös V1 -alueen ohittavien reittien kautta (Zeki, 2016). Onkin havaittu, että suoraan lateraalisesta polvitumakkeesta tulevat syötteet ekstrastriataaliselle näköaivokuorelle (engl. extrastriate cortex; alueet V2, V3, V4 ja V5/MT) saattavat mahdollistaa visuaalisen tiedon prosessoinnin ilman V1- aluetta. Tätä mekanismia on ehdotettu myös selittäväksi tekijäksi sokeanäkö -ilmiölle (Schmid ym., 2010).

Toisaalta on ehdotettu, että sokeanäkö mahdollistuu ns. retinotektaalisen radan avulla, joka kulkee ylemmän nelikukkulan kautta korkeammille näköalueille (Leh, Johansen-Berg, & Ptito, 2006; Leh, Mullen, & Ptito, 2006; Leh, Ptito, Schönwiesner, Chakravarty, & Mullen, 2010; Rafal, Smith, Krantz, Cohen, & Brennan, 1990; Ro ym., 2004). Muun muassa liikkeen havainnointiin erikoistunut näkörata, joka kulkee ylemmältä nelikukkulalta ja ohittaa V1-alueen kulkiessaan taaemmalle pääläen aivokuorelle (engl. posterior parietal cortex), voisi selittää sokeanäkö -ilmiön joitakin piirteitä (Lyon, Nassi, & Callaway, 2010). Ylemmän nelikukkulan on osoitettu toimivan visuaalisen ja motorisen prosessoinnin yhdistävänä alueena, joten se voi mahdollistaa visuaalisesti ohjattua käyttäytymistä joka voi olla kokonaan erillinen genikulostriataalisesta näköradasta ja siten täysin tietoisesta kokemuksesta ulkopuolella (Tamietto ym., 2010). Tutkimuksista suurempi osa on ollut retinotektaalisen näkökulman puolella (Allen, Sumner, & Chambers, 2014). On myös ehdotettu, että sokeanäköön liittyvät ei-tietoiset aistitoiminnot voisivat riippua vaihtelevasti eri hermoradoista eri aistitiedon eri tyyppien mukaan (Allen ym., 2014; Cowey, 2010; Danckert & Rosetti, 2005). Tiedostamattoman näköprosessoinnin pitäisi siis olla mahdollista ilman V1- aluetta, jos verkkokalvolta tuleva tieto voi välittyä korkeammille alueille näitä vaihtoehtoisia reittejä pitkin.

1.1.2. Fysiologiset mallit (eteen -ja taaksepäin suuntautuva prosessointi)

Fysiologisten mallien mukaan samat aivoalueet voisivat olla sekä tietoisesta ja ei-tietoisesta visuaalisen prosessoinnin taustalla, mutta eri ajanjaksoilla (Hurme ym., 2017). Näköärsyke prosessoidaan Lammen (Lamme & Roelfsema, 2000) esittämän mallin mukaan aivokuorella kahdessa eri vaiheessa. Nopea eteenpäin suuntautuva prosessoinnin

aalto (engl. feedforward sweep) on vastuussa ei-tietoisesta näköaistimuksesta, ja tietoinen aistimus mahdollistuu vasta toisessa vaiheessa, kun näköhermosolut sekä alemmilla että ylemmillä hierarkkisilla tasoilla prosessoivat näköärsykettä toistuvasti (Lamme, 2001, 2006; Lamme & Roelfsema, 2000) Tämän näkökulman mukaan varhaiset näköalueet, kuten V1-alue, osallistuvat tietoiseen näköaistimukseen kahdessa vaiheessa, varhaisessa eteenpäin suuntautuvan prosessoinnin vaiheessa ja myöhäisemmässä taaksepäin suuntautuvan prosessoinnin vaiheessa. Lammen mallin mukaan tietoinen näköaistimus syntyy vasta myöhäisen V1 -alueen aktiivisuuden myötä (Block, 2005; Lamme, 2006). Myös Hochsteinin ja Ahissarin (2002) esittämän käänteisen hierarkian teorian (Reverse Hierarchy Theory) mukaan eteenpäin suuntautuva prosessointi on nopeaa ja tiedostamatonta ja - toisin kuin Lammen mallissa - tietoinen näköhavainto alkaa hierarkian huipulla, josta se kulkee takaisin alaspäin sen mukaan, kun tarvitaan hienostuneempaa näköärsyksen yksityiskohtien prosessointia (Hochstein & Ahissar, 2002).

Fysiologisten mallien mukaan siis ei-tietoinen visuaalinen prosessointi riippuu V1-alueen normaalista toiminnasta. Koska sokeanäköpotilailla V1-alue on vaurioitunut, fysiologiset mallit eivät kuitenkaan tarjoa riittävää selitystä sokeanäköpotilailla esiintyvään ei-tietoiseen näköinformaation prosessointiin. Fysiologiset mallit voivat kuitenkin tarjota selityksen ei-tietoisille behavioraalisille vaikutuksille silloin, kun V1-alue toimii normaalisti. Tällaisia on havaittu lukuisissa sokeanäkö tutkimuksissa, kuten priming-tutkimuksissa (Hurme ym., 2017; Hurme, Koivisto, Revonsuo, & Railo, 2019) ja tutkimuksissa, joissa sokeanäkö on saatu aikaan TMS-maskilla (Boyer ym., 2005; Ro, 2007).

1.2 Ei-tietoisien näköhavainnon tutkiminen

Ei-tietoista näköprosessointia on mitattu suorilla ja epäsuorilla mittaustavoilla. Epäsuorilla mittaustavoilla, kuten primingilla, tutkitaan tiedostamattoman ärsyksen vaikutusta johonkin tietoiseen ärsykkeeseen reagoitaessa, kun taas suorat tavat mittaavat varsinaista sokeanäköä, eli kykyä erotella tai luokitella tiedostamattomien ärsykkeiden piirteitä ilman raportoitua subjektiivista kokemusta ärsyksen olemassaolosta. Sokeanäköä mitataan usein pakkovalintatehtävällä, jossa henkilöä pyydetään arvaamaan, mitä hän näki, vaikka hän ei tietoisesti koe havainneensa ärsykettä. Jos arvaus onnistuu, kyse on Tyypin I sokeanäöstä. Mikäli tutkittava ei ole tietoinen tehtävän kannalta keskeisestä ärsyksen piirteestä, mutta on tietoinen jostain muusta ärsykkeeseen

liittyvästä piirteestä tai sen esiintymisestä, kyse on Tyypin II sokeanäöstä. Jos pakkovalintatehtävässä oikeiden vastausten osuus on arvaustodennäköisyyttä korkeampi, voidaan päätellä, että ärsykettä on prosessoitu ei-tietoisella tasolla. Pakkovalintatehtävän tekee ongelmalliseksi se, että tietoisuuden mittaamiseen käytettyihin vastausvaihtoehtoihin (esim. ”näin” vs. ”en nähnyt”) voi liittyä vastausvinoumaa tai konservatiivista vastaamistapaa, jolloin ärsykkeet, jotka ovat juuri ja juuri havaintokynnyksen yläpuolella raportoidaan ei-nähdyiksi (Hurme ym., 2017).

Lloyd ja kollegat (2013) esittivät, että pakkovalintatehtävissä esille tuleva näyttö tiedostamattomasta näköprosessoinnista voisi selittyä vastausvinoumalla. Tällä tarkoitetaan sitä, että ”kyllä/ei” tai ”näin/en nähnyt” -jaottelujen takia on mahdollista, että osa ei-vastauksista sisältää tilanteita, joissa osallistuja luokittelee erittäin heikot, mutta silti tietoiset näköhavaintonsa ”ei nähnyt” -kategoriaan. Tämän vuoksi sokeanäkö voisi myös olla osoitus lähellä havaintokynnystä tapahtuvasta tietoisesta näköprosessoinnista. Lloydin tutkimuksessa havaittiin, että kun käytettiin signaalidetektiteoriaan perustuvaa mittaustapaa, jossa vastausvinouma kontrolloitiin, pakkovalintatehtävän ja tietoisuuden arvion välillä ei ollut eroa, eli sokeanäköä ei ilmennyt (Lloyd ym., 2013). Myös muissa tutkimuksissa dikotomisella (näki/ei nähnyt) tietoisuuden arviolla sokeanäkö -ilmiö on saatu replikoitua, mutta jonkinasteista tietoisuutta ärsykkeestä on tullut esille kun tietoisuus on mitattu käyttäen hienovaraisempaa asteikkoa (Mazzi, Bagattini, & Savazzi, 2016; Overgaard, Fehl, Mouridsen, Bergholt, & Cleeremans, 2008).

Näköaistimuksen riittävän tarkan kuvailun ja raportoimisen kannalta on tärkeää erotella näköaistimuksen selkeyden ja varmuuden asteet (Ramsøy & Overgaard, 2004). Ramsøy ja Overgaard loivat neliportaisen PAS-skaalan (Perception Awareness Scale) vastauksena tarpeeseen tutkia tietoisuuden eri asteita. Skaalan kategoriat ovat ”ei kokemusta” (no experience), ”nopea välähdys” (brief glimpse), ”melkein selvä kokemus” (almost clear experience) ja ”selvä kokemus” (clear experience). Tutkimuksessaan Ramsøy ja Overgaard havainnollistivat neliportaisen PAS-skaalan hyödyllisyyttä kaksiportaiseen skaalaan verrattuna ja arvioivat, että kaksiportaiseksi muunnettuna (nähty/ei-nähty) koehenkilöt arvioisivat ”nopeaksi välähdykseksi” arvioidut ärsykkeet ei-nähdyiksi ja ”melkein selväksi” arvioidut ärsykkeet nähdyiksi. PAS-skaalaa tai muunnelmaa siitä on sittemmin hyödynnetty ei-tietoisien havainnon TMS-tutkimuksissa (Koivisto, Mäntylä, & Silvanto, 2010; Koivisto, Railo, & Salminen-Vaparanta, 2011).

1.3 TMS tietoisien ja ei-tietoisien näköprosessoinnin tutkimuksessa

TMS eli transkraniaalinen magneettistimulaatio on nopeasti kehittyvä väline, jolla voidaan tutkia stimuloitujen aivokuoren alueiden toimintoja tietyssä ajassa. TMS luo sykäyksittäin magneettikentän, joka aiheuttaa sähkövirtauksen aivoihin ja voi väliaikaisesti kiihdyttää tai inhiboida aivojen toimintaa (Hallett, 2000). TMS-maskauksessa, jossa ärsykkeen normaalia havaitsemista häiritään, pyritään usein suuntaamaan pulsseja primaarille näköaivokuorelle eli V1-alueelle. Tutkimukset kuitenkin osoittavat, että V1-alueelle suunnatut TMS-pulssit vaikuttavat myös V2- ja V3-alueiden toimintaan (Koivisto ym., 2011; Salminen-Vaparanta, Noreika, Revonsuo, Koivisto, & Vanni, 2012; Thielscher, Reichenbach, & U, 2010).

Amassian ja kollegat (1989) totesivat ensimmäisinä, että koehenkilön näköaivokuorelle suunnattu TMS-pulssi aiheutti selkeän häiriön näkötehtävän suorittamisessa noin 100ms ärsykkeen alun jälkeen eli 100ms SOA:lla (engl. stimulus onset asynchrony). Tämä pudotus näköhavaintotehtävän suorittamisessa ajan funktiona on nimetty ns. klassiseksi pudotukseksi (engl. classical dip) (de Graaf, Cornelissen, Jacobs, & Sack, 2011a; de Graaf, Herring, & Sack, 2011b; DeGraaf, Goebel, & Sack, 2012). Tämä havainto klassisesta pudotuksesta on myöhemmin useissa tutkimuksissa replikoitu ja samalla havainnot klassisen pudotuksen ajoittumisesta ovat laajentuneet 60-140ms välille (de Graaf, Koivisto, Jacobs, & Sack, 2014).

Sittemmin tehtyjen tutkimusten valossa näyttäisi kuitenkin siltä, että tämä klassinen pudotus sisältääkin kaksi eri vaihetta (Koivisto ym., 2011, de Graaf ym., 2012; Miyawaki, Shinozaki, & Okada, 2012). Näiden tutkimusten mukaan ensimmäinen osa pudotuksessa (noin 90-100 ms) edustaa eteenpäin suuntautuvien yhteyksien vaihetta, josta ovat riippuvaisia sekä tietoinen että ei-tietoinen näköhavainto. Tämä vaihe ilmenee riippumatta ärsykkeestä, tehtävästä tai kontekstista. Pian tämän vaiheen jälkeen (100-130 ms ärsykkeen esittämisestä) toistuva aktiivisuus sekä varhaisella näköaivokuorella että sen ja varhaisen näköaivokuoren ulkopuolisten aivoalueiden välillä muodostaa klassisen pudotuksen toisen vaiheen. Oletetaan, että tässä vaiheessa syntyy tietoinen näköaistimus, johon vaikuttavat tarkkaavaisuuden vaikutukset ja tehtävän vaatimukset.

1.4 TMS:llä aiheutettu sokeanäkö

Useat tutkimukset ovat vahvistaneet, että varhaisen näköaivokuoren toiminnan supressoiminen suurin piirtein 100 ms näköärsyksen alkamisen jälkeen aiheuttaa terveillä henkilöillä sokeanäköpotilaiden kaltaista käyttäytymistä, eli he pystyivät erottelemaan näköärsyksen piirteitä ilman tietoisista havaintoa (Allen ym., 2014; Boyer ym., 2005; Christensen ym., 2008; Jolij & Lamme, 2005; Railo & Koivisto, 2012; Ro, 2008; Ro ym., 2004). TMS-sokeanäkö tutkimuksissa ei-tietoisesta näköprosessoinnin on havaittu vaikuttavan muun muassa silmänliikkeisiin (Ro ym., 2004) ja muihin visuaalisesti ohjattuihin liikkeisiin, kuten kurottamisliikkeeseen ja sen korjaamiseen (Ro ym., 2007). Nämä tutkimukset tukevat hypoteesia ylemmän nelikukkulan kautta kulkevan ns. retinotektaalisen näköradan liittymisestä sokeanäköilmiöön.

Jolji ja Lamme (2005) sekä Filmer ja Monsell (2013) ovat havainneet tutkimuksissaan ns. affektiivista sokeanäköä. Tutkimuksissa tunnepitoiset visuaaliset ärsykkeet voitiin prosessoida silloinkin, kun neutraalien kuvien prosessoiminen vaikeutui TMS-pulssin vaikutuksesta. Vaikuttaisi siltä, että tunnepitoiset visuaaliset ärsykkeet kulkevat tunteita käsitteleville aivoalueille pitkin reittiä, joka ei ole riippuvainen V1-alueesta (de Gelder, van Honk, & Tamietto, 2011; LeDoux, 1996; Liddell ym., 2005; Morris, Ohman & Dolan, 1999; Tamietto, & de Gelder, 2010). Jolji ja Lamme (2005) ehdottavat, että aivokuorenalainen amygdalaan kulkeva hermorata välittäisi affektiivista sokeanäköä.

Ei-tietoisesti havaitun näköärsyksen muodon ja värin arvaustasoa parempaa erottelukykyä ovat havainneet tutkimuksissaan muun muassa Boyer ja kollegat (2005) sekä Ro ja kollegat (2004). Näiden tutkimusten perusteella on väitetty, että sokeanäkö voisi riippua V1-alueen ohittavasta reitistä, joka kulkee lateraalista polvitumakkeesta suoraan V4-alueelle, joka sisältää suuren määrän näköärsyksen piirteitä ja väriä erottelevia soluja (Desimone, Schein, Moran ja Ungerleider, 1985, Gallant, Braun, ja Van Essen 1993; Zeki, 1980). Boyerin tutkimuksessa koehenkilö vastasi ”kyllä” tai ”ei” siihen, näkikö hän ärsyksen värin tai suunnan, sekä antoi arvion siitä, kuinka varma oli arvauksestaan. Koska tutkimuksessa kysyttiin: ”Näitkö viivan värin/suunnan?” eikä että näkikö koehenkilö ylipäätään koko ärsykettä, tutkimus mittasi korkeintaan Tyypin II sokeanäköä. On myös tärkeä huomata, että sekä Ro:n ja kollegoiden (2004) että Boyerin ja kollegoiden (2005) tutkimuksissa TMS-pulssi annettiin 83-128 ms näköärsyksen jälkeen ja siksi on mahdollista, että eteenpäin kulkevat yhteydet olisivat aktivoituneet V1-alueella ennen kuin TMS pulssi annettiin. Ärsyksen piirteitä tunnistettiin ilman

tietoisuutta, mutta todennäköisesti ei ilman varhaisen näköaivokuoren vaikutusta (Hurme ym., 2017).

Näköärsykkeen orientaatioon liittyvää TMS-sokeanäköä tutkivat myös Koenig ja Ro (2019). He havaitsivat tutkimuksessaan, että varhaisen näköaivokuoren häirintä TMS-pulsseilla aiheutti tietoisien näköhavainnon menetyksen ärsykkeen orientaatiosta klassisen pudotuksen aikaikkunassa, mutta kuitenkin tiedostamaton ärsykkeen orientaation erottelu onnistui merkitsevästi yli arvaustason. He ehdottivat, että lateraalisen polvitumakkeen rata välittäisi sokeanäköä retinotektaalisen radan sijasta. Myös Allenin, Sumnerin ja Chambersin tutkimuksessa pääteltiin, että 90-130 ms ärsykkeen esittämisen jälkeen ilmenevä sokeanäkö olisi riippuvainen polvitumakkeen radasta (Schmid ym., 2010; Boyer ym., 2005) eikä retinotektaalisesta radasta (Ro ym., 2004; Leh ym., 2010).

Edellä mainituissa tutkimuksissa terveillä henkilöillä on havaittu sokeanäköpotilaiden kaltaisia dissosiaatioita tietoisien ja ei-tietoisien näköhavainnon välillä. Kuitenkin useat tutkimukset ovat myös osoittaneet, että neurologisesti terveillä koehenkilöillä ei ole johdonmukaisesti ollut sokeanäköpotilaiden kanssa samanlaista kykyä havaita ei-tietoisesti ärsykejä ilman normaalia V1-alueen toimintaa (Hurme ym., 2017). Hurmeen, Koiviston, Revonsuon ja Railon (2017, 2019) tutkimuksissa tiedostamattoman visuaalisen prosessoinnin mittarina käytettiin epäsuoraa menetelmää, jossa ei-tietoinen ärsyke nopeuttaa tietoiseen ärsykkeeseen reagoimista (RTE, redundant target effect). Kummassakin tutkimuksessa todettiin, että näköaistimuksen ei-tietoiseen prosessointiin tarvitaan V1-alueen normaalia toimintaa. Hurmeen ja kollegoiden (2017) tutkimuksessa supressoitiin TMS-pulssien avulla V1-alueen toimintaa, ja havaittiin, että varhainen V1-aktiivisuus (60ms) on tarpeellinen sekä tiedostamattoman että tietoisien näköprosessoinnin kannalta ja että myöhäisemmän prosessoinnin aikana (90ms) V1 valikoivasti on mukana tietoisien näköhavainnon muodostumisessa. Hurmeen ja kollegoiden (2019) toisessa tutkimuksessa havaittiin samansuuntaisesti, että kun TMS supressoi tietoisien liikehavainnon, myös RTE:n vaikutus hävisi. Nämä havainnot tukevat Lammen teoriaa eteen – ja taaksepäin suuntautuvan prosessoinnin olemassaolosta.

Koivisto, Mäntylä ja Silvanto (2010) esittivät tutkimuksensa perusteella, että myös V1-alueen myöhäisempi aktivaatio on tarpeellinen sekä tietoisien että ei-tietoisien liikehavainnon kannalta. Samankaltaisen löydöksen tekivät Persuh ja Ro (2013) käyttäen epäsuoraa priming-menetelmää: TMS pulssi heikensi sekä tietoista että ei-tietoista

näköhavaintoa sekä varhaisessa (5-25ms) että suhteellisen myöhäisessä (65-125ms) näköprosessoinnin vaiheessa. Nämä tutkimukset viittaavat siihen, että taaksepäin suuntautuvien yhteyksien prosessointi on tärkeää myös ei-tietoisien näköhavainnon kannalta. Myös Koivisto ja kollegat (2011) ehdottavat tulostensa pohjalta, että myöhäisempänä ajankohtana aivoissa aktivoituvat V1-alueen ja sen ulkopuolisten näköaivokuoren alueiden väliset yhteydet, jotka tarjoavat edellytyksen tietoiselle näköaistimukselle, mutta eivät ole itsessään riittäviä tietoisuudelle näköaistimuksessa. Nämä tulokset ovat ristiriidassa Lammen mallin mukaisen käsityksen kanssa siitä, että taaksepäin suuntautuva prosessointi liittyisi pelkästään tietoisien näköhavainnon muodostumiseen. Tutkimukset ovat osoittaneet myös sekä tietoisien että ei-tietoisien näköprosessoinnin olevan riippuvaisia V1-alueen toiminnasta näköärsykkeen muodon ja (Koivisto, Lähteenmäki, Kaasinen, Parkkola, & Railo, 2013) värin (Railo, Andersson, Kaasinen, Laine, & Koivisto, 2014; Railo, Salminen-vaparanta, & Henriksson, 2012) prosessoinnissa sekä ei-tietoisien priming-ärsykkeen muodon prosessoinnissa (Koivisto ym., 2012; Persuh & Ro, 2013).

Vaikka sokeanäköpotilailla tehdyt tutkimukset osoittavat, että ilman tietoisuutta tapahtuva näkö tiedon prosessointi voi muodostua ilman V1-aluetta, näitä tuloksia neurologisista potilaista ei voida suoraan yleistää neurologisesti terveisiin henkilöihin. Kortikaalisista aivovaurioista kärsivät potilaat kärsivät aivoaineksen rappeutumisesta alueilla, joille hermosyötettä ei enää tule (Horupian, Ghetti, & Wisniewski, 1973). Aivojen muokkautuvuus voi vaikuttaa siten, että sokeanäköpotilaiden aivot eroavat terveiden ihmisten aivoista luomalla uusia yhteyksiä aivokuorenaalaisten ja ehjien aivokuoren alueiden välille (Leh, Johansen-Berg, ym., 2006; Payne & Lomber, 2001). Näiden hermostollisten muutosten lisäksi on mahdollista, että sokeanäkö -potilaat, jotka ovat olleet useissa sokeanäkö- kokeissa, ovat oppineet käyttämään paremmin sokeanäkö -kykyään tai suuntaamaan huomiotaan tehokkaammin sokeanäkö-tehtävissä kuin neurologisesti terveet henkilöt (Hurme ym., 2017). TMS-sokeanäkö tutkimusta voidaan kaiken kaikkiaan pitää tärkeänä sen selvittämiseksi, voivatko V1:n ohittavat reitit toimia normaaleissa aivoissa ja näin ollen vaikuttaa tiedostamattomasti ohjattuun käyttäytymiseen.

1.5 Tutkimuksen tarkoitus ja hypoteesit

Aiemmat tutkimukset ovat olleet ristiriidassa sen suhteen, riippuuko ärsykkeen orientaation erottelu varhaisen näköaivokuoren toiminnasta vai ei. Tietoisuuden arvioimiseksi on usein käytetty dikotomista asteikkoa (Boyer ym, 2005; Koenig, & Ro, 2019), jossa tietoisuuden arvioon voi liittyä vastausvinouman aiheuttamaan vääristymää (Lloyd, 2013) ja/tai koehenkilö on arvioinut tietoisuuttaan vain suhteessa eroteltavaan piirteeseen (Boyer ym., 2005; Koenig, & Ro, 2019), jolloin ei voida päätellä mitään siitä, oliko koehenkilö tietoinen ärsykkeen olemassaolosta. Tällöin tulokset voivat tukea korkeintaan Tyypin II sokeanäköä. Aikaisempien tutkimusten perusteella jää myös epäselväksi, onko sokeanäköä mahdollista saada aikaan terveillä koehenkilöillä, joilla aivojen plastisiteetti ei ole vaikuttanut aivojen rakenteeseen kuten sokeanäköpotilailla.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko TMS-pulsseilla aiheuttaa neurologisesti terveille koehenkilöille Tyypin I sokeanäköä ja riippuuko ärsykkeen orientaation erottelu varhaisen näköaivokuoren toiminnasta vai ei. TMS-pulssit suunnattiin varhaiselle näköaivokuorelle. Tutkimuksessa käytettiin kahta SOA:a joista erityisesti lyhyemmän, klassisen pudotuksen kohdalle osuvan stimulaation, oletettiin suppressoivan tietoista havaintoa voimakkaasti. Tietoisuutta ärsykkeen havaitsemisesta mitattiin ensimmäistä kertaa TMS-sokeanäköä käsittelevässä tutkimuksessa neliportaisella PAS-asteikolla, joka on dikotomista asteikkoa herkempi mittaamaan tietoisuutta (Lloyd ym., 2013; Mazzi ym., 2016; Overgaard ym., 2008; Ramsøy & Overgaard, 2004). Neliportaisen PAS-skaalan avulla rajattiin ulos ne tapaukset, joissa ärsykkeen piirteiden erottelun taustalla on ollut jonkinlainen tietoisuus ärsykkeestä.

Tämän tutkimuksen hypoteesiksi muodostui se, että jos näköärsykkeen orientaation erottelu onnistuu silloin kun koehenkilö raportoi, että ei näe mitään ärsykkeestä, niin ärsykkeen orientaation erottelu on riippumaton V1-alueen toiminnasta terveillä koehenkilöillä. Toisaalta, jos näköärsykkeen orientaation erottelu mahdollistuu vain, kun koehenkilö raportoi nähneensä jotain, mutta ei eroteltavaa piirrettä, tämä tulos osoittaa, että sokeanäkö on Tyypin II.

2. Menetelmät

2.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistui 12 Turun yliopiston 19- 29-vuotiasta naisopiskelijaa. Esitestauksen perusteella yhdellä koehenkilöllä TMS ei supressoinut näköhavaintoa tehtävässä riittävästi, jotta olisi voitu edetä itse testaukseen ja hänet korvattiin uudella koehenkilöllä. Koehenkilöllä oli normaali tai normaaliksi korjattu näkö, he olivat neurologisesti terveitä, he eivät syöneet lääkkeitä, joihin liittyy kohonnut epilepsiariski, eivätkä he olleet raskaana tai heidän kehossaan ei ollut metallisia esineitä tai heidän lähisuvussaan epilepsiaa. Koehenkilöt lukivat ensin tiedotteen tutkimuksesta, jonka jälkeen he täyttivät soveltuvuuskyseilylomakkeen (Rossi, Hallett, Rossini, Pascual-Leone, & The Safety of TMS Consensus Group 2012). Koehenkilöt allekirjoittivat myös suostumuslomakkeen, jossa he vahvistivat osallistumisensa tutkimukseen ja suostumisensa vapaaehtoisesti tutkittavaksi. Tutkimuksella oli Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin eettisen toimikunnan hyväksyntä.

2.2 Ärsykkeet ja laitteisto

Ärsykkeet esitettiin 24” VIEWPixx Lite LDC-näytöltä, joka asetettiin 150 cm etäisyydelle koehenkilön silmistä. Näytössä käytetty päivitystaajuus oli 120 hertsiä. Näytön taustan luminanssi oli 24.7 cd/ m². Ärsyke oli viiva, jonka koko oli 0.05 x 0.3 astetta tai neliö, jonka koko 150 cm etäisyydeltä oli 0.25 x 0.25 astetta. TMS-pulssit annettiin MagVenturen MagPro X100-stimulaattorilla. TMS-stimulaattorin kela oli MagVenturen ympyräkela (MCF-75), jonka halkaisija oli 75 mm. Koehenkilön pää oli tuettu leukatuella, jotta se pysyisi paikallaan kokeen kuluessa. Tehtäviin koehenkilö vastasi käyttäen Logitech Gamepad F310 -peliohjainta.

2.3 TMS

TMS-pulssit annettiin keskimäärin 88,5% voimakkuudella ja pulssien voimakkuus vaihteli koehenkilöiden välillä 65-100%. TMS-kela asetettiin TMS-tilanteessa koehenkilön takaraivon vasemmalle puolelle siten, että pulssit stimuloivat ärsykkeen suhteen kontralateraalista primaaria näköaivokuorta ja kontrollitilanteessa ipsilateraalisesti primääriä näköaivokuorta (V1) (kts. 2.5 Stimulaatioalueen paikannus). TMS-laitteesta kuuluvan naksahduksen vuoksi koehenkilöt käyttivät kokeen aikana korvatulppia. TMS-pulssit annettiin käyttäen ympyränmuotoista kela, joka on todettu tehokkaammaksi supressoimaan näköaistimusta kuin 8-kela (Kastner, Demmer, & Ziemann, 1998).

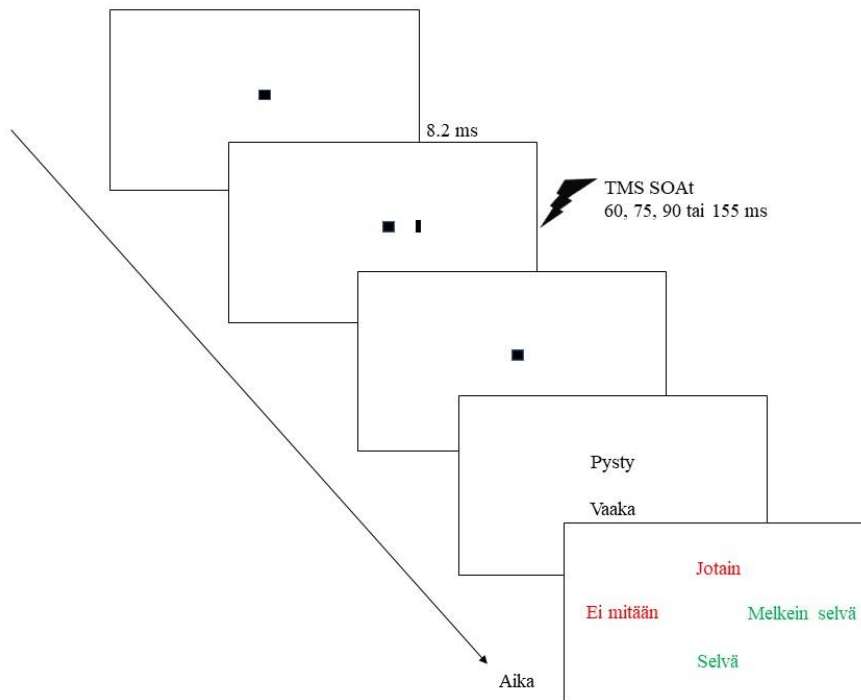
2.4 Kokeen kulku

Kokeessa koehenkilö katsoi näyttöä, jonka keskellä oli fiksaationeliö. Näyttö oli asetettu 150 cm päästä koehenkilön silmistä. Fiksaationeliö esiintyi näytöllä 2000 ms ajan. Fiksaationeliön oikealla puolella (ärsykkeen keskiosa oli fiksaatiosta 0.25 astetta oikealle) välähti 8.3 ms ajan ärsyke, joka oli pysty- tai vaakaviiva. Ärsykkeen välähtämisen jälkeen koehenkilön näköaivokuorelle laukaistiin TMS-pulssi satunnaistetussa järjestyksessä joko lyhyellä SOA:lla tai pitkällä (155 ms) SOA:lla. Stimulaatiokohta ja lyhyt SOA oli yksilöllisesti määritelty ennen kokeen alkua (katso kohta 2.5). Tämän jälkeen koehenkilö antoi kaksi vastausta, toisen liittyen ärsykkeen subjektiiviseen havaitsemiseen ja toisen ärsykkeen objektiiviseen orientaation erotteluun.

Ärsykkeen subjektiivista havaitsemista koehenkilöt arvioivat neliportaisella PAS-asteikolla (Perceptual Awareness Scale; Ramsøy & Overgaard, 2004). Ärsykkeen esittämisen jälkeen kysyttiin: ”Kuinka hyvin näit viivan?” ja vastausvaihtoehdot olivat ”Ei mitään”, ”Jotain” (sanat lukivat näytöllä punaisella tekstillä), ”Melkein selvä” ja ”Selvä” (vihreällä tekstillä), joista koehenkilö valitsi sopivan vaihtoehdon peliohjainta käyttäen. Sopivan vaihtoehdon koehenkilö valitsi painamalla sopivaa vastausvaihtoehtoa vastaavaa peliohjaimen painiketta X, Y, B tai A. Vaihtoehtoja vastaavat painikkeet ohjeistettiin koehenkilölle ennen tehtävän alkua. Tehtävän ohjeistuksessa korostettiin, että ”Ei mitään” ja ”Jotain” vaihtoehtoissa koehenkilöllä ei ole pienintäkään havaintoa viivan asennosta. Samalla tarkennettiin myös, että ”Jotain” vastatessaan koehenkilö ilmaisi nähneensä jotakin viivasta, eikä vain ylipäätään jotain.

Objektiivista ärsykkeen orientaation erottelua mitattiin kysymällä: ”Oliko viiva pysty- vai vaakaviiva?” Tämä tehtävä oli pakkovalintatehtävä, jossa koehenkilön oli valittava joko pysty- tai vaakaviiva. Tehtävien järjestys vastabalansoitiin siten, että puolet koehenkilöistä vastasi aluksi subjektiiviseen tietoisuuden arvioon ja sen jälkeen orientaatiota koskevaan pakkovalintatehtävään, ja puolet päinvastaisessa järjestyksessä. Näin kontrolloitiin mahdollinen tehtävien järjestyksen aiheuttama vaikutus tuloksiin. Koehenkilöt suorittivat kaksi TMS-sarjaa, joiden välissä oli kontrollisarja, jossa TMS-kela laitettiin kontrollikohtaan, (ipsilateraalisesti oikean aivopuoliskon päälle ja hieman ylemmäs tai alemmas kuin varsinainen kontralateraalinen stimulaatiokohta) ja tämän jälkeen tehtävien järjestys vaihdettiin. Yhteensä koehenkilö suoritti kokeessa 6 sarjaa, joista kaksi oli kontrollisarjoja. Yksi sarja sisälsi 32 sellaista tehtävää, joissa ärsyke esiintyi (16 lyhyellä ja 16 pitkällä SOA:lla) ja 6 tehtävää, joissa ärsykettä ei esiintynyt (3

lyhyellä ja 3 pitkällä SOA:lla). Yhteensä siis saatiin 228 havaintoa, joista 152:ssä oli TMS ja 76:ssa kontrollitilanne. Lyhyellä SOA:lla oli 114 ja pitkällä SOA:lla 114 tehtävää.



Kuva 1. Kuvaus koetilanteesta, jossa koehenkilöltä kysytään ensin, onko esitetty viiva pysty- vai vaakaviiva ja sen jälkeen subjektiivinen kokemus siitä, miten selvästi koehenkilö näki viivan.

2.5 Stimulaatioalueen paikannus

Ennen testausta varmistettiin, että koehenkilö näki näytöllä esitettävät ärsykkeet ilman TMS-pulseja ja ärsykkeen kontrastia säädettiin sen mukaan kokeeseen sopivaksi. Ärsyke oli koehenkilön edessä näytöllä fiksaationeliön oikealla puolella 8.2 millisekunnin ajan välähtävä pysty- tai vaakaviiva, eli sama, jota käytettiin varsinaisessa kokeessa. Koehenkilön tehtäväksi annettiin raportoida peliohjainta käyttäen, oliko viiva pysty- vai vaaka-asennossa ja ohjeistettiin koehenkilöä arvaamaan, jos hän ei kokenut näkevänsä ärsykkeen suuntaa. Yhdessä sarjassa oli 20 ärsykettä. Tässä vaiheessa etsittiin kontrastitaso, jolla suoritus oli 16-20/20 oikein, ja jota vaikeammalla tasolla tehtävä oli liian vaikea (<16/20). Koehenkilöt suorittivat kokeen näillä kriteereillä ärsykkeiden Weber-kontrasteilla -0.30, -0.25 ja -0.21, joista sopiva valittiin varsinaiseen kokeeseen.

Seuraavaksi paikannettiin koetta varten sopiva stimulaatiokohta, eli sellainen kohta koehenkilön takaraivolta, ja sellainen TMS-pulssin voimakkuus, jossa TMS-pulssit heikensivät vähintään 40% koehenkilön suoriutumista näköhavaintotehtävästä. Sopiva

TMS:n intensiteetti etsittiin jokaisen koehenkilön kohdalla etsimällä mahdollisimman korkea voimakkuus, jolla koehenkilö arvioi vielä kykenevänsä suorittamaan tehtäviä ilman liiallista epämukavuutta. Stimulaatioalueen paikannusvaiheessa jokaisessa tehtävässä koehenkilön oli raportoitava, välähtikö fiksaationeliön oikealla puolella toinen neliö, jonka keskus esitettiin samaan kohtaan kuin viiva varsinaisessa kokeessa. Neliön kontrastitaso oli sama, joka on määritelty edellisessä kappaleessa ja neliön esitysaika oli 8.2 ms. Yhdessä sarjassa oli 15 ärsykettä sekä 6 tyhjää tehtävää, joissa neliötä ei välähtänyt lainkaan. Sarja sisälsi 3 eri SOA:a: 60 ms, 75 ms ja 90 ms. Jokaisella SOA:lla esitettiin siis 5 ärsykettä ja 2 tyhjää tehtävää. Koehenkilön tehtävänä oli raportoida peliohjaimen näppäimiä painaen, näkikö hän fiksaationeliön oikealla puolella välähtävän ärsykkeen. Koehenkilölle kerrottiin, että joka kerralla ei edes esitetä ärsykettä.

TMS-kelan kohtaa paikannettiin siten, että koehenkilön kallosta etsittiin tunnustelemalla inioni, eli okkipitaalilohkon luukyhmy. TMS-kelan pohja laitettiin aluksi koehenkilön inionista sentin verran vasemmalle ja kaksi senttiä ylöspäin ja sen jälkeen liikutettiin sarjojen välillä sentti kerrallaan eri kohtaan sen mukaan, aiheuttiko TMS riittävästi supressiota vai ei. Lyhyeksi SOA:ksi varsinaiseen kokeeseen valittiin se, jolla TMS heikensi eniten ärsykkeen havaitsemista (60, 75 tai 90 ms) tai jos ne heikensivät ärsykkeen havaitsemista yhtä paljon, valittiin lyhyin SOA näistä.

Tämän jälkeen TMS-kela siirrettiin inionin oikealle puolelle, ipsilateraalille kontrollialueelle. TMS-kela asetettiin noin sentin ylemmäs tai alemmas kuin kohta, josta supressio oli saatu aikaiseksi. Näin varmistettiin sen, että TMS-pulssin vaikutus ei ulottunut supressiokohtaan. Kontrollialueella TMS-pulssin ei odotettu supressoivan näköhavaintoa. Kontrollialueen stimulaation jälkeen koehenkilö suoritti edellä mainitun näköhavaintotehtävän uudestaan alueelta, jolta supressio oli havaittu. Jos kontrolli ja uusintamittaus olivat onnistuneita, voitiin edetä itse kokeeseen.

2.6 Tilastolliset menetelmät

Aineiston analyysit tehtiin käyttäen R -tilasto-ohjelmaa (R Core Team, 2019). Analyysit tehtiin Bayesilaista viitekehystä käyttäen, koska se on reliabelempi, tarkempi pienempien otosten analyysiin, sitä on suoraviivaista tulkita ja se on vähemmän taipuvainen tyyppin 1-virheelle (Andrews & Bguley, 2013; Etz & Vandekerckhove, 2016) Analyyseissä käytettiin bayesilaisia sekamalleja (mixed models), koska malli sopii hyvin koehenkilön sisäisen koeasetelman analysointiin (Magezi, 2015). Sekamalli mahdollistaa estimoitujen

efektien vaihtelun ryhmittäin alemmilla tasoilla samalla kun sen avulla voidaan estimoida populaatiotason efektejä määrittelemällä kiinteät (fixed effects) ja satunnaiset efektit (random effects) (Makowski, 2018). Bayesilainen sekamalli sovitettiin käyttäen rstanarm R wrapperia Stan-todennäköisyyskielelle. Bayesilaisessa päättelyssä käytettiin Markov Chain Monte Carlo (MCMC) -otantaa. Bayesilaisiin sekamalleihin käytettiin rstanarms-pakettia (Goodrich, Gabry, Ali, & Brilleman, 2018) ja tulosten visuaaliseen havainnollistamiseen sjPlot -pakettia (Lüdecke, 2018).

Kaikkien efektien priorit olivat heikosti informatiiviset, eli niiden keskiarvo oli 0, ja hajonnan ohjelma skaalasi automaattisesti (SD = 3.11). Tämä tarkoittaa, että efektien ei odotettu eroavan nolasta kumpaakaan suuntaan, jolloin malli ei vinouta tuloksia mihinkään suuntaan. Analyyseihin syötettiin yksittäisten tehtävien tulokset. Jokaisesta mallista ja muuttujasta esitellään erilaisia posteriorijakauman tunnuslukuja, kuten mediaani, MAD (Median Absolute Deviation) ja 90% uskottavuusväli. Mediaani on vakaa estimaatti, joka on verrattavissa frekventististen lineaarimallien beta-arvoon ja ilmaisee jakauman keskikohdan. MAD on robusti jakauman mittayksikkö, joka toimii vastineena keskihajonnalle. Todennäköisyysväli (CI) kertoo, mille välille todellinen efekti todennäköisesti osuu. P-arvon sijasta efektin olemassaolon mittariksi laskettiin MPE (Maximum Probability of Effect), toisin sanoen maksimaalinen todennäköisyys sille, että efekti eroaa nolasta mediaanin suuntaan, eli että efekti on positiivinen tai negatiivinen. Todennäköisyys vastakkaiselle efektille $((100 - \text{MPE}) / 100)$ on hyvin lähellä frekventistisen korrelaation p-arvoa. Esimerkiksi jos MPE = 96%, niin $p =$ noin .04. Analyyseissämme tulkitsemme efektin epäjohdonmukaiseksi, eli ei tarpeeksi todennäköiseksi, jos MPE on alle 90%.

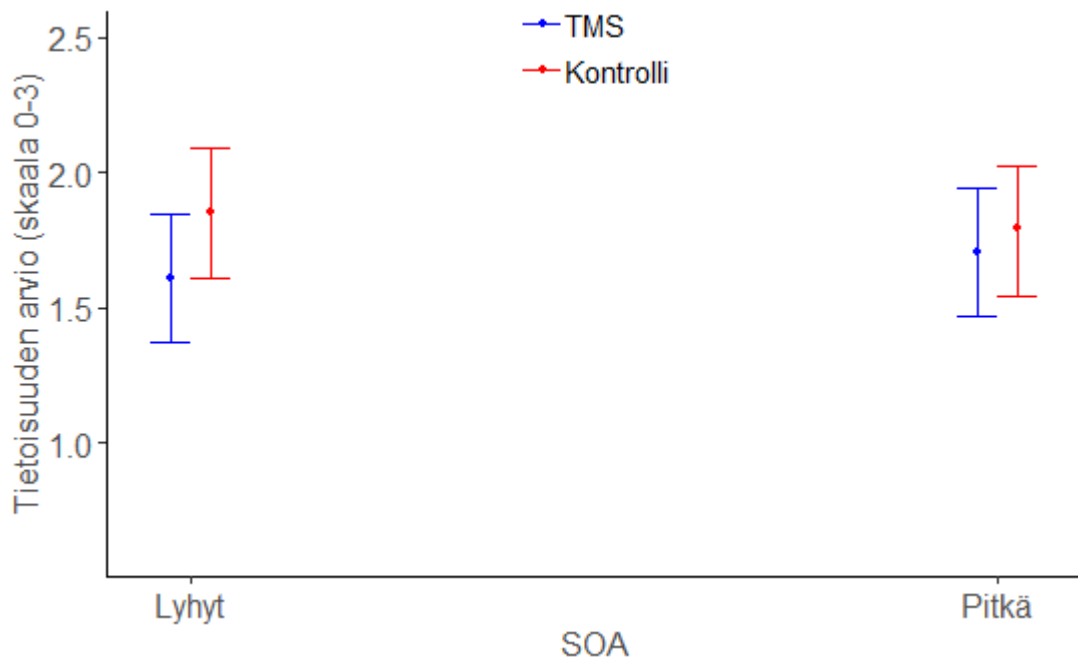
TMS:n ja SOA:n vaikutusta tiedostamattomaan ärsykkeen tunnistukseen tutkittiin kolmen analyysin avulla. Kiinteät muuttujat kahdessa ensimmäisessä analyysissä olivat TMS (TMS- ja kontrollitilanne) ja SOA (lyhyt ja pitkä) ja kolmannessa tietoisuuden arvio PAS -asteikolla, joka oli määritelty välimatka-asteikolliseksi faktoriksi (Ei mitään, Jotain, Melkein selvä ja Selvä) ja SOA (lyhyt ja pitkä). Riippuvana muuttujana ensimmäisessä analyysissä oli tietoisuuden arvio (0-3-PAS-asteikolla) ja toisessa ja kolmannessa oikeiden vastausten osuus. Koehenkilö oli satunnaismuuttujana kaikissa analyyseissa.

3 Tulokset

Ensin tutkittiin TMS:n ja SOA:n vaikutusta tietoisuuteen ärsykkeestä, ja sen jälkeen TMS:n ja SOA:n vaikutusta ärsykkeen orientaation erottelun tarkkuuteen. Näiden analyysien tarkoituksena oli osoittaa TMS:n vaikutus suhteessa kontrollitilanteeseen eli se, että TMS-supressio vaikutti koehenkilöön neuraalisesti, eikä vaikutus johtunut TMS-pulssin aiheuttamasta tuntemuksesta tai kovasta äänestä. Lopuksi tutkittiin PAS-skaalalla arvioidun tietoisuuden ja SOA:n vaikutusta ärsykkeen orientaation erotteluun tarkkuuteen. Viimeisessä analyysissä mielenkiinnon kohteena oli erityisesti se, miten tarkasti koehenkilöt kykenivät erottelemaan ärsykkeen suuntaa silloin, kun he vastasivat ”Ei mitään” eli tietoisuutta ärsykkeestä ei ollut.

3.1 TMS:n ja SOA:n vaikutus tietoisuuden arvioon

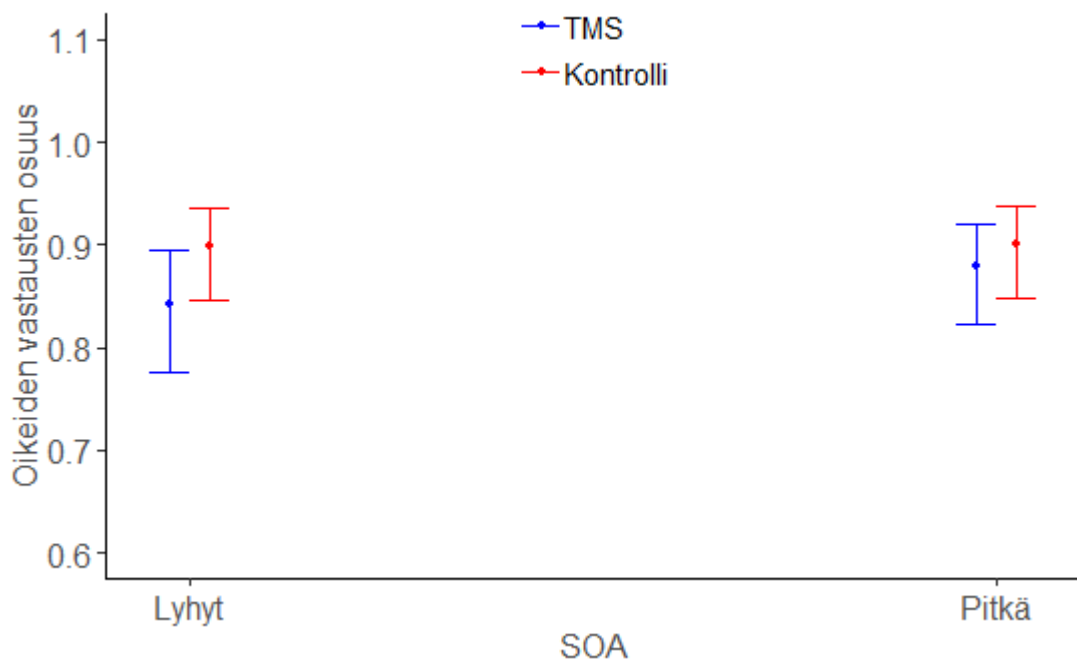
Ensin tutkittiin TMS:n vaikutusta PAS-asteikolla arvioituun tietoisuuteen (Kuva 2) Arvioitu tietoisuus oli 100%:n todennäköisyydellä parempaa kontrollitilanteessa kuin varsinaisessa TMS-tilanteessa lyhyellä SOA:lla (Mediaani = 0.24, MAD = 0.06, 90% CI [0.13, 0.33]). Tietoisuus arvioitiin paremmaksi pitkällä kuin lyhyellä SOA:lla TMS-tilanteessa (Mediaani = 0.10, MAD = 0.05, 90% CI [0.01, 0.18]), MPE = 97.63%. Tietoisuuden arvion suhteen TMS- ja kontrollitilanteen välinen ero oli pienempi pitkällä SOA:lla kuin lyhyellä SOA:lla 96.30% todennäköisyydellä (Median = -0.16, MAD = 0.08, 90% CI [-0.30, -0.02]).



Kuva 2. TMS:n vaikutus tietoisuuden arvioihin ärsykkeestä lyhyellä ja pitkällä SOA:lla. Virhepalkit kuvaavat 90%:n todennäköisyysväliä.

3.2 TMS:n ja SOA:n vaikutus oikeiden vastausten osuuteen

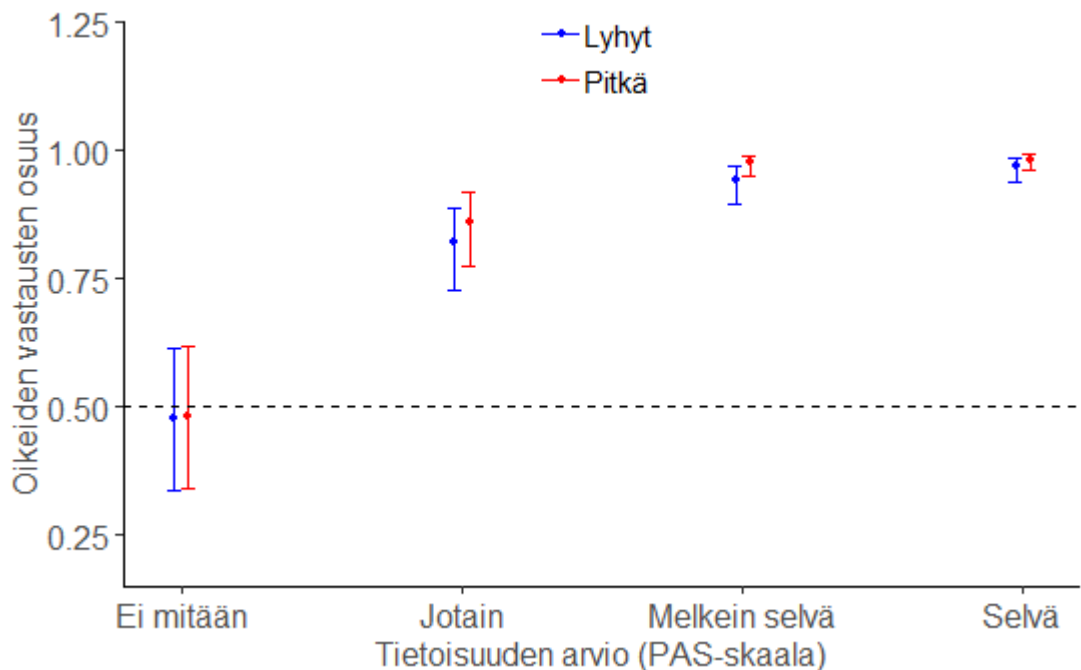
Oikeiden vastausten osuus orientaation erottelutehtävässä oli kontrollitilanteessa 99.70% todennäköisyydellä suurempi kuin TMS-tilanteessa lyhyellä SOA:lla (Median = 0.49, MAD = 0.19, 90% CI [0.18, 0.80]) ja pitkällä SOA:lla (155ms) 97.65% todennäköisyydellä suurempi kuin lyhyellä TMS-tilanteessa (Median = 0.29, MAD = 0.14, 90% CI [0.058, 0.53]). Kontrollitilanteella ja pitkällä SOA:lla ei ollut negatiivista yhdysvaikutusta vastaustarkkuuteen (MPE = -83.50%, Median = -0.27, MAD = 0.26, 90% CI [-0.69, 0.17]), eli kokeessa TMS:n aiheuttama suppressio suhteessa kontrollitilanteeseen oli vain 83.5 %:n todennäköisyydellä pienempi pitkällä kuin lyhyellä SOA:lla.



Kuva 3. TMS:n ja SOA:n pituuden vaikutus oikeiden vastausten osuuteen orientaation erottelutehtävässä. Virhepalkit kuvaavat 90%:n todennäköisyysväliä.

3.3 Tietoisuuden arvion ja SOA:n vaikutus oikeiden vastausten osuuteen

Edelliset analyysit osoittivat, että TMS:llä oli neutraalinen vaikutus tietoiseen havaitsemiseen, joten tässä analyysissä mukana oli vain TMS-tilanne. Vastaustarkkuus kasvoi PAS-skaalan funktiona lineaarisesti 100% todennäköisyydellä (Median = 2.65, MAD = 0.29, 90% CI [2.22, 3.16]). Kuvassa 4 on havainnollistettu, että ”Ei mitään” -kategoriassa oikeiden vastausten osuus oli lähellä arvaustasoa (50%), eikä todennäköisyysvälien perusteella eroa siitä. Vastaustarkkuus oli parempi pitkällä SOA:lla kuin lyhyellä 98.67% todennäköisyydellä (Median = 0.45, MAD = 0.20, 90% CI [0.12, 0.80]). SOA:n ja tietoisuuden yhdysvaikutus ei kuitenkaan ollut todennäköinen (MPE = 89.18%, Median = 0.53, MAD = 0.43, 90% CI [-0.18, 1.25]).



Kuva 4. Oikeiden vastausten osuus orientaation erottelutehtävässä tietoisuuden arvion ja SOA:n funktiona. Virhepalkit kuvaavat 90%:n todennäköisyysväliä.

Tässä mallissa leikkauspiste oli 1.95 (MAD = 0.30, 90% CI [1.47, 2.48]). Koska PAS-muuttuja oli määritelty välimatka-asteikolliseksi faktoriksi, tämä leikkauspiste liittyy tietoisuuden arvioiden ”Jotain” ja ”Melkein selvä” puoleenväliin. Jotta saataisiin selville, oliko vastaustarkkuus arvaustasolla vai ei koehenkilön raportoidessa, että ei nähnyt mitään, lopuksi tehtiin vielä yksi analyysi. Analyysissä tulkittiin oikeiden vastausten osuutta, kun koehenkilö oli raportoinut, että ei nähnyt mitään ärsykettä esitettävän. Tämän mallin leikkauspiste oli 0.15 (MAD = 0.27, 90% CI [-0.28, 0.63]). Nolla sisältyi

todennäköisyysväliin, joten vastauksarkkuuden ei voida sanoa olleen arvaustasoa parempi, kun koehenkilön tietoisuuden arvio oli ”Ei mitään”. Tyypin I sokeanäölle ei näiden analyysien mukaan saatu näyttöä. Sen sijaan Tyypin II sokeanäköä esiintyi tämän analyysin mukaan, sillä vastauksarkkuus oli selvästi yli arvaustason, kun koehenkilö oli raportoinut nähneensä ”Jotain”.

4 Pohdinta

4.1 Keskeiset tulokset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, pystyvätkö terveet koehenkilöt erottelemaan näköärsyksen orientaatiota, kun varhaiselle näköaivokuorelle annetuilla TMS-pulsseilla supressoitiin tietoista näköhavaintoa ärsykkeestä. Aluksi osoitettiin, että TMS-pulssit vaikuttivat visuaaliseen prosessointiin kuten odotettiin, eli TMS supressoi tietoisuutta ja ärsyksen orientaation erottelua erityisesti lyhemmällä SOA:lla klassisen pudotuksen alkuvaiheessa (de Graaf ym., 2014).

Tutkimuksen pääkysymys oli, miten PAS-skaalalla arvioitu tietoisuus ärsykkeestä oli yhteydessä siihen, kuinka hyvin koehenkilöt kykenivät erottelemaan ärsyksen orientaatiota. Tulosten mukaan näköärsyksen orientaation erottelussa vastustarkkuus oli arvaustasolla, kun koehenkilö raportoi, että ei nähnyt näköärsykettä esitettävän. Tämä osoittaa sen, että neliportaisella PAS-skaalalla mitattuna Tyypin I sokeanäköä tutkimuksessa ei esiintynyt. Tulokset viittaavat myös Tyypin II sokeanäköön Tyypin I sokeanäön sijasta, koska arvaustasoa parempi ärsyksen erottelu liittyi jonkinasteiseen tietoisuuteen ärsykkeestä (PAS= Jotain), vaikka koehenkilöt eivät olleet tietoisia ärsyksen orientaatiosta.

4.2 Tulokset suhteessa aikaisempiin tutkimustuloksiin TMS-sokeanäöstä

Tässä tutkimuksessa koehenkilöillä ei havaittu olevan Tyypin I TMS-sokeanäköä, mutta Tyypin II sokeanäköä havaittiin ärsyksen orientaation erottelun suhteen. Aikaisemmat TMS-sokeanäköstudiot ovat ristiriidassa sen suhteen, esiintyykö neurologisesti terveillä potilailla sokeanäköä. Tutkimustulokset ovat myös ristiriidassa sen suhteen, onko ärsyksen orientaation erottelu mahdollista ilman tietoista havaintoa ärsykkeestä ja ilman V1-alueen normaalia toimintaa.

Koenigin ja Ro:n (2019) sekä Boyerin ja kollegoiden (2005) tutkimusten mukaan sokeanäköä esiintyi näköärsyksen orientaation erottelun suhteen. Näissä tutkimuksissa koehenkilö arvioi tietoisuuttaan suhteessa ärsyksen orientaatioon, eikä itse ärsyksen olemassaoloon, jolloin tutkimuksissa mitattiin kuitenkin todennäköisesti vain Tyypin II sokeanäköä. Tässä tutkimuksessa sen sijaan mitattiin sekä Tyypin I että Tyypin II sokeanäköä, joista Tyypin II sokeanäköä havaittiin olevan, vaikka Tyypin I sokeanäköä ei havaittukaan. Tältä osin tutkimustulokset ovat siis samansuuntaisia sekä Koenigin ja Ro:n että Boyerin ja kollegoiden tutkimusten kanssa. Molemmissa tutkimuksissa TMS-pulssi annettiin 83-128ms näköärsyksen jälkeen ja siksi muun muassa Lammen (2000)

mallin mukaisesti voi olla mahdollista, että eteenpäin suuntautuvien yhteyksien myötä aktivaatio oli jo ehtinyt kulkea läpi V1-alueen ennen kuin TMS-pulssi annettiin. Ärsykkeen piirteitä tunnistettiin ilman tietoisuutta niistä, mutta todennäköisesti ei ilman varhaisen näköaivokuoren myötävaikutusta. Tässä tutkimuksessa sen sijaan näköärsykkeen orientaation erottelu heikentyi jo 60-90ms SOA:lla, jolloin TMS-pulssi todennäköisesti vaikutti jo eteenpäin suuntautuvien prosessien vaiheeseen.

Tämän tutkimuksen tuloksia tukee muun muassa Lloydin ja kollegoiden (2013) ärsykkeen orientaation erottelua koskeva tutkimus, jossa ei myöskään havaittu ärsykkeen orientaation erottelua ilman jonkinlaista tietoisuutta näköärsykkeestä. Lloydin ja kollegoiden tutkimuksessa käytettiin signaalidetektioanalyysia dikotomisesta skaalasta johtuvan vastausvinouman kontrolloimiseksi. Heidän tutkimuksessaan dikotomisella skaalalla saatiin arvaustason ylittävä suoritus ei-nähdylle ärsykkeille, mutta signaalidetektioanalyysi osoitti, että tietoisuuden ja pakkovalinnan kynnykset eivät eronneet toisistaan. Tämän tulkittiin viittaavan siihen, että kun ärsykkeestä ei ollut tietoisuutta, ei myöskään pakkovalinta onnistunut.

4.3 Tulokset suhteessa näköhavainnon muodostumisen teorioihin

Tämän tutkimuksen mukaan 60-90ms SOA:lla supressoitu varhainen näköaivokuori vaikutti tietoisuuden lisäksi myös ärsykkeen orientaation erottelukykyyn. Toisin sanoen ärsykkeen orientaation erottelu vaikuttaisi riippuvan varhaisen näköaivokuoren normaalista toiminnasta. Tämä löydös on yhtenevä fysiologisten mallien (Hochstein & Ahissar, 2002; Lamme, 2001; Lamme & Roelfsema, 2000) kanssa, joiden mukaan ei-tietoinen visuaalinen prosessointi ajoittuisi varhaisten eteenpäin suuntautuvien yhteyksien vaiheeseen. Lammen mallin mukaan V1-alue osallistuu tietoisin näköaistimuksen muodostumiseen sekä varhaisessa että myöhäisessä näköprosessoinnin vaiheessa.

Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että varhaisen näköaivokuoren normaali toiminta olisi välttämätöntä sekä tietoiselle että ei-tietoiselle visuaaliselle prosessoinnille. Tältä osin tutkimuksen tulokset ovat ristiriidassa niiden anatomisten mallien mukaan, jotka ovat ehdottaneet V1-alueen ohittavia vaihtoehtoisia subkortikaalisia reittejä mahdollisiksi ei-tietoisin visuaalisen prosessoinnin muodostumisen kannalta. Sokeanäköpotilailla havaittuja subkortikaalisia sokeanäköä mahdollistavia reittejä voivat selittää leesioden yhteydessä havaitut muutokset aivojen toiminnassa, kuten aivojen plastisuus eli kyky

uudelleenorganisointia ja muodostaa menetettyjä yhteyksiä korvaavia järjestelmiä (Leh, Johansen-Berg, ym., 2006; Payne & Lomber, 2001), sekä hermosolujen degeneraatio niillä alueilla, joihin ei leesion vuoksi enää tule hermosyötteitä (Horupian ym., 1973). Nämä muutokset vaikuttavat näköaivokuorelle tuleviin hermosyötteisiin niin, että sokeanäköpotilailla tehtyjä havaintoja ei voida yleistää koskemaan normaalien aivojen visuaalista prosessointia.

Osa sokeanäköpotilailla tehdyistä anatomisten mallien oletuksia tukevista tutkimuksista on havainnut V1-alueen ohittavien yhteyksien mahdollistavan karkeaa tietoisuutta ärsykkeen piirteistä (Zeki & ffytche, 1998). Nämä tapaukset viittaavat Tyypin II sokeanäköön. Myös tässä tutkimuksessa havaittiin Tyypin II sokeanäköä, sillä näköärsykkeen orientaation erottelu oli arvaustasoa parempaa, kun koehenkilö vastasi, että hän oli nähnyt ”Jotain” ärsykkeestä, mutta ei sen orientaatiota. Tyypin II TMS-sokeanäkö voisi selittyä fysiologisten mallien mukaisesti sillä, että varhaisen näköaivokuoren toiminnan supressio on ollut epätäydellistä, ja siten mahdollistanut eteenpäin suuntautuvien yhteyksien mahdollistaman tiedostamattoman visuaalisen prosessoinnin. Tämä selittäisi ärsykkeen orientaation erottelun onnistumisen ilman tietoisuutta orientaatiosta. Vaihtoehtoisena selityksenä Tyypin II sokeanäkölle normaaleissa aivoissa voisi olla vastausvinouma, jolloin koehenkilöt ovat olleet todellisuudessa osittain tietoisia myös ärsykkeen orientaatiosta. Useimmat TMS-sokeanäkö tutkimukset ovatkin mitanneet tietoisuutta näköärsykkeestä vain dikotomisesti erottelematta Tyypin I ja II sokeanäköä toisistaan, jolloin voisi olla mahdollista, että tämä karkea tietoinen kokemus näköärsykkeestä on voinut jäädä aikaisemmissa sokeanäkö tutkimuksissa havaitsematta. Voi siis olla, että täysin tiedostamatonta näköärsykkeen havaitsemista, joka olisi riippumatonta V1 –alueen toiminnasta, ei ole olemassa neurologisesti terveillä koehenkilöillä.

4.4. Tutkimuksen luotettavuus ja jatkotutkimus

Tässä tutkimuksessa TMS- pulsseilla havaittiin odotetusti olevan vaikutusta tietoisuuteen ärsykkeestä kontrollitilanteeseen nähden. Voimakkain TMS-supressio todettiin klassisen pudotuksen aikana, mikä on yhdenmukaista aikaisemman tutkimuksen kanssa, ja osoittaa, että TMS vaikutti odotetulla tavalla.

Tutkimus tähtäsi tutkimaan TMS-sokeanäköä neurologisesti terveillä koehenkilöillä. Koehenkilöiltä seulottiin mahdolliset neurologiset sairaudet käyttämällä kyselylomaketta, jonka koehenkilöt täyttivät ennen osallistumistaan. Tutkimuksessa kontrolloitiin varhaiselle näköaivokuorelle annettujen TMS-pulssien epäspesifinen vaikutus näköhavaintoon, joka tehtiin lisäämällä koeasetelmaan TMS-kontrollitilanne, eli TMS-pulssi, joka annettiin ipsilateraalille aivopuoliskolle. Ipsilateraalilla TMS-kontrollitilanteella varmistettiin, että TMS-vaikutus johtui nimenomaan varhaiselle näköaivokuorelle suunnatusta pulssista. Aiemmissä näköärsyksen orientaatiota käsittelevissä TMS-sokeanäkötutkimuksissa (Boyer ym., 2005; Koenig & Ro, 2019) ei oltu käytetty kontrollistimulaatioaluetta, joten supressio on voinut johtua myös TMS:n epäspesifisistä vaikutuksista.

Tutkimuksen otoskoko vastaa suurin piirtein aikaisemmissa TMS-sokeanäkötutkimuksessa käytettyä otoskokoa (Boyer, 2005; Koenig & Ro, 2019; Koivisto ym., 2011). Tutkimuksessa käytettiin ympyränmuotoista kelaa, joka on tehokkaampi supressoimaan näköaistimusta kuin 8-muotoinen kela (Kastner ym., 1998). TMS-pulssien voimakkuus oli keskimäärin sama kuin edeltävissä TMS-sokeanäkötutkimuksissa (Koenig & Ro, 2019). Stimulaatioalueen paikannuksen yhteydessä tarkoituksena oli löytää sellainen TMS-pulssien voimakkuus ja sellainen kohta koehenkilön takaraivolta, johon suunnattuna TMS-pulssit heikensivät vähintään 40% koehenkilön suoriutumista näköhavaintotehtävästä.

Tutkimuksessa tietoisuuden mittarina käytettiin PAS-skaalaa, joka kuvaa tarkemmin tietoisuutta kuin dikotominen pakkovalintatehtävissä usein käytetty näki/ei nähnyt –asteikko. Koska useat sokeanäkötutkimukset ovat hyödyntäneet tietoisuuden mittaamisessa dikotomista asteikkoa, herää kysymys, voisiko edeltävissä tutkimuksissa (Koenig & Ro, 2019) havaittu Tyypin II sokeanäkö olla sittenkin vastausvinouman tulosta, kuten Lloyd ja kollegat (2013) ovat ehdottaneet TMS-sokeanäkötulosten selitykseksi. Useassa tutkimuksessa on mitattu Tyypin II sokeanäköä, koska näissä on arvioitu tietoisuutta erottelun kannalta relevantista piirteestä. Tässä tutkimuksessa käytetty PAS-skaala mahdollistaa sekä Tyypin I että II sokeanäön tarkastelun.

Tutkimuksen heikkoutena voidaan pitää sitä, että TMS-pulsseilla aikaan saatu supressio ei ollut yhtä vahvaa kuin aikaisemmissa vastaavissa tutkimuksissa (Boyer ym., 2005; Koenig & Ro, 2019), jolloin jouduttiin käyttämään heikompaa kontrastia

näköärsykkeiden esittämisessä kuin edellisissä tutkimuksissa. Toisaalta ärsykkeen orientaation erottelun suoritustaso oli tässä tutkimuksessa kontrollitilanteessa samalla tasolla kuin aiemmin ei-tehokkailla SOA:illa. Tästä voidaan päätellä, että kontrasti ei todennäköisesti vaikuttanut ratkaisevasti tutkimuksen luotettavuuteen. Sokeanäköilmiön tutkimisen kannalta TMS-sokeanäkö tutkimuksissa on joitakin heikkouksia, jotka on otettava huomioon. TMS-tutkimuksissa käytetyt ärsykkeet ovat sokeanäköpotilailla tehtyihin tutkimuksiin verrattuna pieniä, sillä vain pieniä ärsykejä on mahdollista supressoida TMS-pulssilla. Myös aikaisemmin mainittu aivojen plastisiteetti vaikuttaa sokeanäköilmiön tutkimiseen, koska sitä ei TMS-tutkimuksissa koehenkilöillä esiinny. On myös otettava huomioon, että tässä tutkimuksessa tutkittiin visuaalisen ärsykkeen orientaation erottelukykyä. Tämä tulos ei välttämättä yleisty muita ärsykepiirteitä koskevaan sokeanäköön, kuten esimerkiksi emootioiden ei-tietoiseen prosessointiin.

Jatkotutkimuksen kannalta on tärkeää selvittää, johtuvatko dikotomisen asteikon avulla saadut tulokset Tyypin II sokeanäöstä vastausvinoumasta, kuten Lloyd ja kollegat (2103) esittivät. Tämä mahdollistuisi vertailemalla suoraan dikotomisella tietoisuuden mittarilla saatuja tuloksia hienovaraisemman moniportaisen asteikon avulla saatuihin tuloksiin. Jatkotutkimuksen kannalta olisi mielekästä myös erottaa Tyypin I ja Tyypin II sokeanäköä toisistaan, sillä niissä näyttäisi olevan kyse erillisistä ilmiöistä. Tässä tutkimuksessa keskityttiin vain näköärsykkeen orientaation erottelun tutkimiseen, joten myös jatkotutkimus muiden näköärsykkeen piirteiden erottelusta ilman tietoisuutta on tärkeää sokeanäön tutkimiseksi kokonaisvaltaisesti.

4.5 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen perusteella TMS:llä aiheutettua Tyypin I sokeanäköä ei esiintynyt neurologisesti terveillä koehenkilöillä. Tässä tutkimuksessa havaittiin kuitenkin Tyypin II sokeanäköä, eli arvaustasoa parempaa ärsykkeen orientaation erottelua, kun koehenkilöllä oli jonkinlaista tietoisuutta ärsykkeen esittämisestä. Sekä tietoinen että tiedostamaton visuaalinen prosessointi näyttäisivät tutkimuksen mukaan riippuvan varhaisen näköaivokuoren toiminnasta neurologisesti terveillä koehenkilöillä. Nämä tutkimustulokset tukevat fysiologisia malleja, joiden mukaan sekä tietoinen että ei-tietoinen näköärsykkeen prosessointi riippuisivat V1-alueen normaalista toiminnasta.

Lähteet

- 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.
- 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 and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, *74*(6), 458-462.
- Andrews, M., & Baguley, T. (2013). Prior approval: The growth of Bayesian methods in psychology. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, *66*(1), 1-7.
- Block, N. (2005). Two neural correlates of consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(2), 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.006>
- 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.0505332102>
- Briscoe, R., & Schwenkler, J. (2015). Conscious Vision in Action. *Cognitive Science*, *39*(7), 1435–1467. <https://doi.org/10.1111/cogs.12226>
- Christensen, M. S., Kristiansen, L., Rowe, J. B., & Nielsen, J. B. (2008). Action-blindsight in healthy subjects after transcranial magnetic stimulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(4), 1353–1357. <https://doi.org/10.1073/pnas.0705858105>
- Cowey, A. (2004). The 30th Sir Frederick Bartlett lecture: Fact, artefact, and myth about blindsight. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, *57*(4), 577–609. <https://doi.org/10.1080/02724980343000882>
- de Gelder, B., van Honk, J., & Tamietto, M. (2011). Emotion in the brain: Of low roads, high roads and roads less travelled. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*(7), 425.
- de Graaf, T. A., Koivisto, M., Jacobs, C., & Sack, A. T. (2014). The chronometry of visual perception: Review of occipital TMS masking studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *45*, 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.06.017>
- Etz, A., & Vandekerckhove, J. (2016). A Bayesian perspective on the reproducibility project: Psychology. *PloS one*, *11*(2), e0149794.
- Filmer, H. L., & Monsell, S. (2013). TMS to V1 spares discrimination of emotive relative to neutral body postures. *Neuropsychologia*, *51*(13), 2485–2491. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.029>
- Horoupian, D. S., Ghetti, B., & Wiśniewski, H. M. (1973). Retrograde transneuronal

- degeneration of optic fibers and their terminals in lateral geniculate nucleus of rhesus monkey. *Brain research*, 49(2), 257-275.
- le, B., Gabry, J., Ali, I., & Brilleman, S. (2018). rstanarm: Bayesian applied regression modeling via Stan. *rstanarm: Bayesian applied regression modeling via Stan*.
- Hochstein, S., & Ahissar, M. (2002). View from the Top: Hierarchies and Reverse Hierarchies. *Neuron*, 36(3), 791–804.
- 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(February), 230–238.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.02.060>
- Hurme, M., Koivisto, M., Revonsuo, A., & Railo, H. (2019). V1 activity during feedforward and early feedback processing is necessary for both conscious and unconscious motion perception. *NeuroImage*, 185(October 2018), 313–321.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.058>
- Jolij, J., & Lamme, V. A. F. (2005). Repression of unconscious information by conscious processing: Evidence from affective blindsight induced by transcranial magnetic stimulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(30), 10747–10751. <https://doi.org/10.1073/pnas.0500834102>
- Kaasinen, V., Railo, H., Lähtenmäki, M., Koivisto, M., & Parkkola, R. (2013). Overlapping activity periods in early visual cortex and posterior intraparietal area in conscious visual shape perception: A TMS study. *NeuroImage*, 84, 765–774.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.09.051>
- Kastner, S., Demmer, I., & Ziemann, U. (1998). Transient visual field defects induced by transcranial magnetic stimulation over human occipital pole. *Experimental Brain Research*, 118(1), 19–26. <https://doi.org/10.1007/s002210050251>
- Koenig, L., & Ro, T. (2019). Dissociations of conscious and unconscious perception in TMS-induced blindsight. *Neuropsychologia*, (July 2017), 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.028>
- Koivisto, M., Henriksson, L., Revonsuo, A., & Railo, H. (2012). Unconscious response priming by shape depends on geniculostriate visual projection. *European Journal of Neuroscience*, 35(3–4), 623–633. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07973.x>
- Koivisto, M., Mäntylä, T., & Silvanto, J. (2010). The role of early visual cortex (V1/V2) in conscious and unconscious visual perception. *NeuroImage*, 51(2), 828–834.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.02.042>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.09.001>

- Lamme, V. A. F. (2001). Blindsight: The role of feedforward and feedback corticocortical connections. *Acta Psychologica*, *107*(1–3), 209–228. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(01\)00020-8](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(01)00020-8)
- Lamme, V. A. F. (2006). Towards a true neural stance on consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(11), 494–501. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.09.001>
- Lamme, V. A. F., & Roelfsema, P. R. (2000). *Trends in Neurosciences 2000 Lamme*. 1–9. <https://doi.org/10.10162236>
- LeDoux, J. (1998). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. Simon and Schuster.
- 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. <https://doi.org/10.1093/brain/awl111>
- Leh, S. E., Mullen, K. T., & Ptito, A. (2006). Absence of S-cone input in human blindsight following hemispherectomy. *European Journal of Neuroscience*, *24*(10), 2954–2960. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.05178.x>
- Leh, S. E., Ptito, A., Schönwiesner, M., Chakravarty, M. M., & Mullen, K. T. (2010). Blindsight mediated by an S-cone-independent collicular pathway: An fMRI study in hemispherectomized subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(4), 670–682. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21217>
- Liddell, B. J., Brown, K. J., Kemp, A. H., Barton, M. J., Das, P., Peduto, A., ... & Williams, L. M. (2005). A direct brainstem–amygdala–cortical ‘alarm’ system for subliminal signals of fear. *Neuroimage*, *24*(1), 235–243.
- Lloyd, D. A., Abrahamyan, A., & Harris, J. A. (2013). Brain-stimulation induced blindsight: Unconscious vision or response bias? *PLoS ONE*, *8*(12), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082828>
- Lüdecke, D. (2018). sjPlot: Data visualization for statistics in social science. *R package version*, *2*(1).
- Lyon, D. C., Nassi, J. J., & Callaway, E. M. (2010). A Disynaptic Relay from Superior Colliculus to Dorsal Stream Visual Cortex in Macaque Monkey. *Neuron*, *65*(2), 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.01.003>
- Magezi, D. A. (2015). Linear mixed-effects models for within-participant psychology experiments: an introductory tutorial and free, graphical user interface (LMMgui). *Frontiers in Psychology*, *6*, 2.
- Makowski, D. (2018). The psycho Package: an Efficient and Publishing-Oriented Workflow for Psychological Science. *J. Open Source Software*, *3*(22), 470.
- Manuscript, A. (2012). *NIH Public Access*. *120*(12), 2008–2039. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.08.016.Rossi>
- Mazzi, C., Bagattini, C., & Savazzi, S. (2016). Blind-sight vs. degraded-sight: Different

- measures tell a different story. *Frontiers in Psychology*, 7(JUN), 1–11.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00901>
- Morris, J. S., Öhman, A., & Dolan, R. J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(4), 1680-1685.
- Overgaard, M., Fehl, K., Mouridsen, K., Bergholt, B., & Cleeremans, A. (2008). Seeing without seeing? Degraded conscious vision in a blindsight patient. *PLoS ONE*, 3(8), 8–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003028>
- Payne, B. R., & Lomber, S. G. (2001). Reconstructing functional systems after lesions of cerebral cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(12), 911.
- Persuh, M., & Ro, T. (2013). Unconscious priming requires early visual cortex at specific temporal phases of processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(9), 1493-1503.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Rafal, R., Smith, J., Krantz, J., Cohen, A., & Brennan, C. (1990). Extrageniculate vision in hemianopic humans: Saccade inhibition by signals in the blind field. *Science*, 250(4977), 118–121. <https://doi.org/10.1126/science.2218503>
- Railo, H., Andersson, E., Kaasinen, V., Laine, T., & Koivisto, M. (2014). Unlike in clinical blindsight patients, unconscious processing of chromatic information depends on early visual cortex in healthy humans. *Brain Stimulation*, 7(3), 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.01.060>
- Railo, H., & Koivisto, M. (2012). Two means of suppressing visual awareness: A direct comparison of visual masking and transcranial magnetic stimulation. *Cortex*, 48(3), 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.12.001>
- 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.
- Ramsøy, T. Z., & Overgaard, M. (2004). Introspection and subliminal perception. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 3(1), 1–23.
<https://doi.org/10.1023/b:phen.0000041900.30172.e8>
- Ro, T., Shelton, D., Lee, O. L., & Chang, E. (2004). Extrageniculate mediation of unconscious vision in transcranial magnetic stimulation-induced blindsight. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), 9933–9935.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0403061101>.
- Sahraie, A., Weiskrantz, L., Barbur, J. L., Simmons, A., Williams, S. C. R., & Brammer, M. J. (1997). Pattern of neuronal activity associated with conscious and unconscious processing of visual signals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(17), 9406-9411.

- Salminen-Vaparanta, N., Noreika, V., Revonsuo, A., Koivisto, M., & Vanni, S. (2012). *Is Selective Primary Visual Cortex Stimulation Achievable with TMS?* *665*(October 2010), 652–665. <https://doi.org/10.1002/hbm.21237>
- Schmid, M. C., Mrowka, S. W., Turchi, J., Saunders, R. C., Wilke, M., Peters, A. J., ... Leopold, D. A. (2010). Blindsight depends on the lateral geniculate nucleus. *Nature*, *466*(7304), 373–377. <https://doi.org/10.1038/nature09179>
- Schmid, M. C., Panagiotaropoulos, T., Augath, M. A., Logothetis, N. K., & Smirnakis, S. M. (2009). Visually driven activation in macaque areas V2 and V3 without input from the primary visual cortex. *PLoS ONE*, *4*(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005527>
- Tamietto, M., Cauda, F., Corazzini, L. L., Savazzi, S., Marzi, C. A., Goebel, R., ... De Gelder, B. (2010). Collicular vision guides nonconscious behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(5), 888–902. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21225>
- Tamietto, M., & De Gelder, B. (2010). Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(10), 697.
- Thielscher, A., Reichenbach, A., & U, K. (2010). *The Cortical Site of Visual Suppression by Transcranial Magnetic Stimulation*. (February). <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp102>
- Zeki, S., & Ffytche, D. H. (1998). The Riddoch syndrome: Insights into the neurobiology of conscious vision. *Brain*, *121*(1), 25–45. <https://doi.org/10.1093/brain/121.1.25>
- Zeki, Semir. (2016). Multiple asynchronous stimulus- and task-dependent hierarchies (STDH) within the visual brain's parallel processing systems. *European Journal of Neuroscience*, *44*(8), 2515–2527. <https://doi.org/10.1111/ejn.13270>
- Weiskrantz, L., Warrington, E. K., Sanders, M. D., & Marshall, J. (1974). Visual capacity in the hemianopic field following a restricted occipital ablation. *Brain*, *97*(4), 709-728.