

Jakavatko visuospatiaalinen työmuisti ja visuaalinen tietoisuus yhteisiä resursseja?

Aaro Vahtera
Pro Gradu -tutkielma
Turun yliopisto
Psykologian ja logopedian
laitos
Psykologia
Toukokuu 2017

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

TURUN YLIOPISTO

Psykologian ja logopedian laitos

AARO VAHTERA: Jakavatko visuospatiaalinen työmuisti ja visuaalinen tietoisuus yhteisiä resursseja?

Pro Gradu -tutkielma , 37s, 0 liites.

Psykologia

5/2017

Työmuistin rooli tietoisuuden prosesseissa on kiistanalainen. Teoriat subjektiivisen visuaalisen tietoisuuden prosesseista jakautuvat kahteen ryhmään sen mukaan, kuinka pitkälle tiedonkäsittelyn odotetaan etenevän aivoissa ennen kuin ärsyke tiedostetaan. Varhaisen vaiheen teorioiden mukaan fenomenaalinen tietoisuus, eli subjektiivinen havaitsemisen kokemus, syntyy ennen korkeamman tasoisen tiedonkäsittelyn, kuten työmuistin, aktivoitumista. Varhaisen vaiheen teorioiden mukaan työmuistin toiminta liittyy ns. reflektiiviseen tietoisuuteen, eli tietoisin havainnon jälkiprosessointiin, joten työmuistin kuormituksen ei tulisi häiritä fenomenaalisen tietoisuuden syntyä, eikä sen tulisi vaikuttaa sen sähköfysiologisen korrelaatin amplitudeihin. Myöhäisen vaiheen teoriat olettavat työmuistiin liittyvien alueiden osallistuvan tietoisin havainnon syntymiseen, eivätkä ne tee erottelua fenomenaalisen ja reflektiivisen tietoisuuden välillä. Niiden mukaan työmuistin kuormituksen tulisi häiritä tietoisin kokemuksen syntymistä ja sen tulisi näkyä kaikissa siihen liittyvissä sähköfysiologisissa korrelaateissa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako visuospatiaalisen työmuistin kuormitus fenomenaaliseen tietoisuuteen eli subjektiivisen havainnon syntymiseen vai kohdistuuko työmuistin kuormituksen vaikutus korkeamman tasoisen tietoisuuden eli ns. reflektiivisen tietoisuuden prosesseihin. Aikaisempien tutkimuksien pohjalta noin 200 millisekunnin kohdalla esiintyvää negatiivista vastetta, VANia (Visual Awareness Negativity), voidaan pitää fenomenaalisen tietoisuuden ensisijaisena neuraalisena korrelaattina ja 300–400 millisekunnin kohdalla esiintyvää positiivista vastetta, LP:tä (Late Positivity), voidaan pitää reflektiivisen tietoisuuden neuraalisena korrelaattina. Kokeessa tutkittavat tekivät tietokoneella samanaikaisesti tietoiseen havaitsemiseen liittyviä tehtäviä ja visuaalista työmuistia kuormittavaa tehtävää. Työmuistitehtävän kuormittavuuden kasvu ei vaikuttanut muuten kuin heti mieleenpainettavan ärsykkeen jälkeen ensimmäisenä esitetyn ärsykkeen kohdalla. Työmuistin kuormittaminen ei vaikuttanut VAN-aallon amplitudeihin. Nämä tulokset ovat yhdenmukaisia varhaisen vaiheen teorioiden oletusten kanssa, joiden mukaan työmuisti ja visuaalinen tietoisuus toimivat toisistaan riippumatta eivätkä jaa yhteisiä kognitiivisia resursseja ja ne tukevat ajatusta, jonka mukaan tietoisuus syntyy näköaivokuorella suhteellisen varhaisessa vaiheessa ennen korkeamman tasoisen tiedonkäsittelyn, kuten työmuistin prosessien, aktivoitumista. Tässä tutkimuksessa työmuistin kuormitus pienensi vain oireellisesti LP:n amplitudia, mikä ei ole ristiriidassa sen ajatuksen kanssa, että työmuisti ja reflektiivinen tietoisuus jakavat yhteisiä resursseja.

Avainsanat: fenomenaalinen tietoisuus, reflektiivinen tietoisuus, havaitseminen, työmuisti, ERP-korrelaatti, VAN-aalto, LP-aalto

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
1.1. Tietoisuuden ja työmuistin käsitteet	1
1.2. Tietoisien havainnon empiirinen tutkiminen	3
1.2.1. Näköjärjestelmän toiminta	3
1.2.2. Tietoisien havainnon tutkimusasetelmia	3
1.3. Tietoisuuden sähköfysiologiset vasteet	4
1.3.1. Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet	4
1.3.2. Visuaalisen tietoisuuden sähköfysiologiset korrelaatiot.....	5
1.4. Teorioita visuaalisen tietoisien kokemuksen ajallisesta synnystä	8
1.5. Tietoisuuden ja työmuistin yhteys	10
1.5.1. Neuraalinen yhteys	10
1.5.2. Toiminnallinen yhteys	11
1.6. Tutkimuskysymys: jakavatko työmuistin visuospatiaalinen lehtiö ja visuaalinen tietoisuus yhteisiä resursseja?	13
2. Menetelmät	15
2.1. Tutkittavat	15
2.2. Ärsykkeet	15
2.2.1. Havaitsemistehtävän ärsyke	15
2.2.2. Työmuistia kuormittava ärsyke	16
2.3. Kokeen asetelma ja kulku	17
2.4. Kalibrointi	19
2.5. Aivosähkökäyrän mittaus	19
3. Tulokset.....	21
3.1. Kuormituksen vaikutus muistisuoritukseen	21
3.2. Gabor-ärsykkeiden tietoinen havaitseminen	22
3.3. Reaktioajat tehtävässä	23
3.4. Herätevasteet	24

3.4.1. N200-aikaikkuna (180-280 ms)	25
3.4.2. P300-aikaikkuna (350-550ms)	28
4. Pohdinta	30
4.1. Tutkimustulokset	31
4.1.1. Toiminnalliset tulokset	31
4.1.2. Sähköfysiologiset ERP-tulokset	31
4.2. Tietoisuuden ja visuaalisen työmuistin yhteys	32
4.2.1. Fenomenaalisen tietoisuuden ja visuaalisen työmuistin yhteys.....	33
4.2.2. Reflektiivisen tietoisuuden ja visuaalisen työmuistin yhteys	34
4.3. Kriittinen tarkastelu ja jatkotutkimukset	35
4.4. Yhteenveto	37
5. Lähteet.....	38

1. JOHDANTO

Tietoisuuden tutkimuksen keskeisimpiä kysymyksiä on se, miten ja milloin fyysiset aivot tuottavat subjektiivisen tietoisuuden kokemuksen (Kanai & Tsuchiya, 2012). Tietoisuuden havainnon ja työmuistin prosessit vaikuttavat liittyvän toisiinsa sekä teoreettisella että neurologisella tasolla, mutta yhteyden olemassaoloa ei ole suoraan osoitettu empiirisissä tutkimuksissa. Tutkimukseni tavoitteena on selvittää työmuistin kuormituksen vaikutusta visuaaliseen tietoisuuteen ja siihen liittyviin ERP-vasteisiin aivoissa. Mikäli työmuisti ja visuaalinen tietoisuus ovat päällekkäisiä prosesseja ja jakavat yhteisiä resursseja, työmuistin kuormittamisen tulisi vaikeuttaa visuaalisten ärsykkeiden tietoisuutta havaitsemista ja sen tulisi näkyä tietoiseen havaintoon liittyvien ERP-vasteiden vaimentumisena.

1.1. Tietoisuuden ja työmuistin käsitteet

Tietoisuuden tutkiminen on haastavaa, sillä tietoisuuteen liittyvät käsitteet ovat moniselitteisiä (Revonsuo, Koivisto & Salminen-Vaparanta, 2006). Sanalla tietoisuus voidaan viitata useaan käsitteeseen (Chalmers, 2000). Yksinkertaisimmillaan tietoisuudella voidaan tarkoittaa aivojen yleistä taustatilaa. Taustatilalla tarkoitetaan karkeaa jaottelua, jonka toisessa päässä on tajunnallisuus ja toisessa tajuttomuus. Tajunnallisuuden ollessa ”päällä” subjektiivinen tietoisuus on mahdollista. Tajuttomana tietoisia kokemuksia ei esiinny. Tietoisuudesta puhuttaessa voidaan viitata myös tajunnallisuuden ja tajuttomuuden väliseen jatkumoon, erilaisiin tajunnantason vaihteluihin. Tajunnantason vaihtelut voivat vaihdella normaalista vireystilasta keuhkotekoisiin tai patologisiin vireystilan häiriöihin. Vuorokausirytmiiin liittyvä vireystila voi vaihdella hereillä olosta unessa oloon. Unen nähdessä subjektiiviset tietoisuuden kokemukset ovat läsnä, mutta syvän unen vaiheessa tietoisia kokemuksia ei ole. Tietoisuudella voidaan viitata myös tietoisuuden sisältöihin, eli niihin subjektiivisiin kokemuksiin, joita henkilöllä on tietynä ajan hetkenä.

Sisältöjen perusteella tietoisuus voidaan jakaa kahteen alakäsitteeseen, kokemukselliseen eli fenomenaliseen tietoisuuteen ja reflektiiviseen tietoisuuteen (Block, 1995; Block, 2001; Revonsuo, 2006). Fenomenaliseen tietoisuuteen tarkoitetaan perustavanlaatuisista subjektiivisten kokemusten olemassaoloa. Tietynä hetkenä koetut kokemukset ja havainnot, kuten näkö-, haju-, kuulo- ja tuntoaistimukset kuuluvat fenomenaliseen tietoisuuteen. Blockin (1995) mukaan myös halut ja emotionit

ovat osa fenomenaalista tietoisuutta. Fenomenaalisen tietoisuuden sisällöt ilmentävät sitä, miltä jokin kokemus tuntuu, millaista on nähdä, tuntea tai ajatella.

Osa fenomenaalisen tietoisuuden sisällöistä valitaan tarkkaavaisuuden avulla reflektiivisen tietoisuuden kohteeksi (Revonsuo ym., 2006). Reflektiivinen tietoisuus on korkeamman tason tietoisuutta, jonka sisältöjä käsitellään työmuistissa. Näitä sisältöjä voidaan arvioida, nimetä ja käsitteellistää ja niitä pystytään raportoimaan puheen tai toiminnan avulla.

Itsetietoisuus on yksi reflektiivisen tietoisuuden muoto (Revonsuo, 2006). Sillä tarkoitetaan kykyä tulla tietoiseksi omista kokemuksista ja ymmärtää ne omina kokemuksinaan. Blockin (2001) mukaan oman peilikuvan tunnistaminen on merkki itsetietoisuudesta. Hänen mukaansa ihmisen lisäksi esimerkiksi simpanssit ovat kykeneväisiä tunnistamaan itsensä.

Työmuistilla tarkoitetaan kapasiteetiltaan rajallista järjestelmää, jossa väliaikaisesti säilötään ja käsitellään informaatiota. Työmuistin käsite kognitiivisessa psykologiassa perustuu pitkälti Baddeleyn ja Hitchin (1974) työmuistimalliin. Baddeleyn ja Hitchin alkuperäisen teorian mukaan työmuisti koostuu kolmesta komponentista: keskusyksiköstä (engl. central executive) ja kahdesta sen alaisuudessa toimivasta alajärjestelmästä, fonologisesta silmukasta (engl. phonological loop) sekä visuospatiaalisesta lehtiöstä (engl. visuospatial sketchpad). Malliin lisättiin myöhemmin uusi komponentti, episodinen puskuri (engl. episodic buffer) (Baddeley, 2000, 2012). Työmuistimallin mukaan keskusyksikkö vastaa tarkkaavaisuuden jakamisesta ja ohjaamisesta. Tarkkaavaisuudella tarkoitetaan kognitiivista prosessia, jonka avulla kohtaanastamme ärsyketulvasta osa ärsykeistä valitaan tarkemman huomion kohteeksi ja osa jätetään huomioimatta. Fonologisessa silmukassa käsitellään ja ylläpidetään mallin mukaan kuuloon ja ääneen liittyvää tietoa, kun taas visuospatiaalisessa lehtiössä käsitellään näköön ja avaruudellisiin suhteisiin liittyvää tietoa. Episodinen puskuri toimii linkkinä työmuistin ja pitkäkestoisen muistin välillä tiedon säilöjänä. Työmuisti erotetaan käsitteenä lyhytkestoisesta muistista siten, että työmuistissa yhdistyy sekä tiedon ylläpito että sen muokkaus.

Tutkimuksessani olen erityisen kiinnostunut fenomenaalisesta tietoisuudesta, siihen liittyvästä visuaalisen tiedon prosessoinnista ja työmuistin roolista tietoisuuden

prosesseissa.

1.2. Tietoisen havainnon empiirinen tutkiminen

Tietoisuuteen liittyvät tutkimukset ovat keskittyneet pitkälti näköjärjestelmään, sillä sen toiminta tunnetaan suhteellisen tarkasti ja sen manipuloiminen on suhteellisen helppoa.

1.2.1. Näköjärjestelmän toiminta

Näkö tieto siirtyy verkkokalvolta aivoihin kolmea rataa, magno- parvo- ja koniosolurataa, pitkin (Vanni, 2006). Aivoissa tiedonkäsittely tapahtuu pääosin takaraivolohkon alueella, erityisesti primaarilla näköaivokuorella (V1) ja sen ympärillä olevilla alueilla (V2, V3, V4v, V4a). Takaraivolohkolta näkö tiedon käsittely siirtyy muihin aivokuoren osiin pääosin kahta eri järjestelmää, ventraalista ja dorsaalista juostetta pitkin (Milner & Goodale, 1995). Ventraalinen juoste (engl. ventral stream) kulkee takaraivolohkoilta ohimolohkojen aivokuorelle ja sen on havaittu aktivoituvan erityisesti objektin tunnistusta vaativissa tehtävissä sekä manipuloidessa visuaalisen tietoisuuden sisältöjä (Bar ym., 2001). Dorsaalinen juoste (engl. dorsal stream) kulkee takaraivolohkoilta päälaenlohkojen aivokuorelle ja sen on havaittu aktivoituvan erityisesti avaruudellista hahmottamista ja liikkeiden ohjaamista vaativissa tilanteissa.

1.2.2. Tietoisen havainnon tutkimusasetelmia

Perinteisissä tietoisen havainnon tutkimusasetelmissä pyritään manipuloimaan tietoisen kokemuksen sisältöä pitäen muut tekijät mahdollisimman kontrolloituina. Tutkimuksissa vertaillaan kahta tilannetta. Toisessa tilanteessa koehenkilölle syntyy visuaalinen tietoinen havainto ja toisessa tilanteessa tietoista havaintoa ei pääse syntymään. Esitetty ärsyke pysyy molemmissa tilanteissa fyysikaalisesti samana ja ainoa asia, joka tilanteiden välillä muuttuu, on koehenkilön subjektiivinen näköhavainto.

Tyypillisiä menetelmiä tietoisen ja ei-tietoisen visuaalisen tilanteen tuottamiseen ovat maskaus (Breitmeyer & Ögmen, 2006), vähennetyin kontrastin metodi (Ojanen, Revonsuo & Sams, 2003), tarkkaavaisuuden räpäytys (Shapiro, Arnell & Raymond, 1997), muutossokeustutkimus (Simons & Levin, 1997) ja kahden silmän kilpailutilanne (Kaernbach, Schröger, Jacobsen & Roeber, 1999).

Maskauksella (engl. masking) tarkoitetaan menetelmää, jossa havaittavan ärsykkeen näkyvyyttä vähennetään toisella ärsykkeellä, maskilla (Breitmeyer & Ögmen, 2006).

Maski esitetään usein havaittavan ärsykkeen jälkeen ja se häiritsee kohdeärsykkeen havaitsemista. Maskin kontrastilla ja ajoituksella voidaan vaikuttaa siihen, pääseekö esitetty ärsyke tutkittavan tietoisuuteen. Näin voidaan luoda tilanne, jossa ärsyke esitetään tietoisuuden kynnyksellä, jolloin noin 50 % ärsykkeistä havaitaan tietoisesti ja 50 % ei havaita lainkaan.

Vähennetyn kontrastin menetelmässä (engl. reduced-contrast stimuli) koehenkilöille esitetään ärsykeitä niin lähellä visuaalisen tietoisuuden kynnystä, että niiden näkeminen on hyvin vaikeaa (Ojanen ym., 2003). Menetelmässä ei käytetä maskia, vaan ärsykkeiden kontrasti lasketaan niin matalaksi, että tutkittavat näkevät esitetyistä ärsykkeistä noin puolet ja puolet jää tietoisuuden ulkopuolelle.

Maskauksessa ja vähennetyn kontrastin menetelmässä koehenkilöille esitetään yksittäinen ärsyke. Muissa menetelmissä koehenkilölle esitetään useampia ärsykeitä. Tarkkaavaisuuden räpäytyksessä (engl. attentional blink) koehenkilön tulee raportoida, kun hän havaitsee ennalta määrätyt kaksi ärsykettä nopeasti esitetyssä ärsykkeiden sarjassa. Koehenkilöiden on vaikea huomata näistä toisena ilmestyvää ärsykettä, kun se esitetään alle 500 millisekuntia ensimmäisen kohdeärsykkeen jälkeen (Shapiro ym., 1997). Muutosokeustutkimukset (engl. change blindness) perustuvat huomioon, että ihmisillä on vaikeus havaita laajoja muutoksia kahden kuvan välillä, jos kuvien väliin esitetään lyhytaikainen häiritsevä visuaalinen tekijä. Muutos havaitaan lähinnä niillä alueilla, joihin tarkkaavaisuus on suunnattu. Kahden silmän kilpailutilanteessa (engl. binocular rivalry) koehenkilön kumpaankin silmään esitetään erilainen ärsyke samaan aikaan. Tämä aiheuttaa epävakaa, muutaman sekunnin välein vaihtuvan havainnon, kun kaksi ärsykettä kilpailee tajuntaan pääsystä.

Edellä mainituilla menetelmillä pystytään tutkimaan sitä, miten tietoisin havainnon aktivaatio aivoissa eroaa tilanteesta, jossa tietoisin havaintoa ei synny. Tällöin tietoisin ja ei-tietoisin tilanteiden aivosähkökäyrien erotus on tietoisuuden sähköfysiologinen korrelaatti.

1.3. Tietoisuuden sähköfysiologiset vasteet

1.3.1. Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet

Tietoisuuden tutkimuksen keskeisimpiä kysymyksiä on selvittää milloin aivot tuottavat

subjektiivisen tietoisuuden kokemuksen (Railo, Koivisto & Revonsuo, 2011). Aivojen sähköisen toiminnan etenemistä pystytään tutkimaan millisekuntien tarkkuudella tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden (engl. event-related potential, eli ERP) avulla (Luck, 2005). ERP:t ovat aivosähkökäyrässä esiintyviä jännitevaihteluita, jotka liittyvät tiettyyn tapahtumaan, kuten valon välähdykseen tai ääneen (Degerman, Salmi, Alho & Rinne, 2006). Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet muodostetaan tyypillisesti keskiarvoistusmenetelmän avulla, joka auttaa erottamaan tapahtumaan liittyvän signaalin satunnaisesta tausta-aktiivisuudesta (Picton, Lins & Scherg, 1995). Ajallisen erottelukyvun takia ERP-tekniikka on ihanteellinen menetelmä visuaalisen tietoisuuden korrelaattien ajallisessa tutkimuksessa (Railo ym., 2011).

Tietoisuuden ERP-tutkimuksissa vertaillaan aivojen sähköfysiologista toimintaa tilanteissa, joissa tutkittavalle syntyy tietoinen kokemus ja tilanteissa, joissa tietoisesta kokemuksesta ei synny. Tietoisuuden neuraalinen korrelaatti (engl. neural correlate of consciousness, NCC) muodostuu näiden tilanteiden aivosähkökäyrien erotuksesta. Neuraalilla korrelaatilla tarkoitetaan yksinkertaisen määritelmän mukaan sitä aivojen toimintaa, joka korreloi suoraan tietoisuuden kanssa, tai sitä aivojen toimintaa, joka luo tietoisuuden (Chalmers, 2000).

1.3.2. Visuaalisen tietoisuuden sähköfysiologiset korrelaatit

Aikaisempien tutkimusten pohjalta visuaalisen tietoisuuden mahdollisia sähköfysiologisia korrelaatteja vaikuttaisi olevan kolme: P1, VAN ja LP (Railo ym., 2011). Keskeisenä tietoisuuden tutkimuksen haasteena on selvittää, mikä vasteista korreloi suoraan visuaalisen tietoisuuden havainnon kanssa ja mikä esimerkiksi havainnon esitietoisuuden prosessoinnin tai sen jälkiprosessoinnin kanssa (Aru, Bachmann, Singer & Melloni, 2012).

Ajallisesti ensimmäiseksi tietoisuuden korrelaatiksi on ehdotettu positiivista vastetta nimeltä P1 (esimerkiksi Pina & ffytche, 2003). Se esiintyy takaraivolohkoilla noin 100-130 millisekuntia ärsyksen esittämisen jälkeen. Pina ja ffytche käyttivät tutkimuksessaan juuri ja juuri havaittavaa matalan kontrastin ärsykettä, joka esitettiin lähellä koehenkilön havaintokynnystä. He huomasivat, että P1 oli positiivisempi tilanteissa, joissa ärsyke havaittiin tietoisesti verrattuna tilanteisiin, joissa sitä ei havaittu. Pina ja ffytchen mukaan P1 on tietoisuuden ensisijainen korrelaatti, eli sellainen korrelaatti, joka korreloi suoraan tietoisuuden syntymisen kanssa, eikä sitä

ajallisesti myöhemmän tai edeltävän prosessoinnin kanssa. P1 on saatu esiin myös tutkimuksissa, joissa on käytetty bistabiileja ärsykeitä, kuten tutkimuksessa, jossa käytettiin monitulkintaista Neckerin kuutiota (Kornmeier & Bach, 2005) ja kahden silmän kilpailutilanteessa (Roeber, Widmann, Trujillo-Barreto, Herrmann, O'Shea & Schröger, 2008). Monet tutkijat ovat eri mieltä Pinsin ja fytchen löydösten kanssa. Heidän mukaansa P1-vaste heijastaa tietoisesta kokemuksesta sijasta ärsyksen fyysisiä piirteitä (Koivisto ym., 2008), tarkkaavaisuutta (Zhang & Luck, 2009), virittäytymistä tehtävään (Vogel & Luck, 2000) sekä kohteen esitietoista prosessointia (Railo ym., 2011). Koivisto ym. (2008), Koivisto ja Grassini (2016) ja Koivisto, Salminen-Vaparanta, Grassini ja Revonsuo (2016) eivät saaneet toistettua Pinsin ja fytchen (2003) tutkimuksen tuloksia matalan kontrastin ärsykeillä. Koiviston ym. (2008) mukaan visuaalisen tietoisuuden ensisijainen korrelaatti esiintyy ERP-käyrässä vasta positiivisen P1-vasteen jälkeen.

Todennäköisempänä visuaalisen tietoisuuden ensisijaisena korrelaattina pidetään negatiivista vastetta, joka esiintyy noin 200 millisekuntia ärsyksen esittämisen jälkeen (esimerkiksi Britz, Landis & Michel, 2009; Koivisto & Revonsuo, 2003; 2008a; Koivisto, Kainulainen, & Revonsuo, 2009; Koivisto & Grassini, 2016; Koivisto ym., 2016; Railo ym., 2015; Sergent, Baillet, Dehaene, 2005; Wilenius-Emet, Revonsuo & Ojanen, 2004; Wilenius & Revonsuo, 2007). Tämän vasteen on havaittu olevan negatiivisempi tilanteissa, joissa koehenkilöt havaitsevat tietoisesti ärsyksen verrattuna tilanteisiin, joissa tietoisesta havaintoa ei synny. Tätä jännite-eroa tietoisien ja ei-tietoisien havaintojen välillä kutsutaan nimellä Visual Awareness Negativity eli VAN. VANin on havaittu olevan voimakkain ohimolohkojen ja takaraivolohkon elektrodeista mitattuna.

Jotkut tutkijat ovat esittäneet ajatuksen, että VAN olisi pikemminkin tarkkaavaisuuden sähköfysiologinen korrelaatti, kuin tietoisuuden korrelaatti (Busch, Fründ & Hermann, 2010). Busch ja hänen kollegansa (2010) havaitsivat, että tarkkaavaisuuden kohdistaminen tehtävänannon kannalta merkittäviin ärsykeisiin verrattuna tilanteisiin, jossa tarkkaavaisuus kohdistetaan tehtävänannon kannalta merkityksettömiin ärsykeisiin, aiheuttaa aivojen ohimolohkojen takaosissa negatiivisen vasteen voimistumisen noin 200 millisekunnin kohdalla. Tästä vasteesta käytetään nimitystä Selection negativity (SN). Selection negativity muistuttaa hyvin paljon VAN-aaltoa, mikä on herättänyt kysymyksen, ovatko ne saman ilmiön sähköfysiologisia korrelaatteja. Toisten tutkijoiden mukaan tietoinen kokemus riippuu voimakkaasti

tarkkaavaisuuden prosesseista (Dehaene & Naccache, 2001), kun toiset tutkijat olettavat, että tietoinen kokemus syntyy tarkkaavaisuudesta riippumatta (esimerkiksi Lamme, 2003).

Koivisto ja Revonsuo kollegoineen ovat onnistuneet osoittamaan tutkimuksissaan, että VAN voidaan erottaa tarkkaavaisuuteen liittyvästä SN-vasteesta (Koivisto, Revonsuo & Salminen, 2005; Koivisto, Revonsuo & Lehtonen, 2006; Koivisto & Revonsuo, 2007). Tutkimuksissa huomattiin, että tarkkaavaisuuden kohteena olevat ärsykkeet voivat olla tiedostettuja tai tiedostamattomia. Vastaavasti tietoinen havainto voi olla tarkkailtu tai ei-tarkkailtu. Koivisto ja Revonsuo (2007) havaitsivat, että SN ilmenee myös sellaisiin ärsykkeisiin, joita ei havaita tietoisesti. Maskaus-tutkimuksessaan Koivisto, Revonsuo ja Salminen (2005) huomasivat, että VAN ilmenee aivoissa aikaisemmin kuin SN. Yhdessä nämä tutkimukset antavat tukea Lammen (2003) ajatukselle, jonka mukaan tietoinen kokemus ja tarkkaavaisuus ovat eri ilmiöitä.

Kolmas ehdotettu korrelaatti visuaaliselle tietoisuudelle esiintyy ERP-aallossa positiivisena vasteena noin 300–400 millisekuntia ärsykkeen esittämisen jälkeen. Tämän vasteen on havaittu olevan positiivisempi tilanteissa, joissa ärsyke havaitaan tietoisesti verrattuna tilanteisiin, joissa sitä ei havaita (esimerkiksi Del Cul, Baillet & Dehaene, 2007; Kaernbach ym., 1999; Koivisto & Revonsuo, 2008a; Koivisto & Grassini, 2016; Lamy, Salti, & Bar-Haim, 2009). Tästä jännite-erosta tietoisten ja ei-tietoisten havaintojen välillä käytetään nimitystä Late Positivity (LP). Neuraalisen työtilan teorian mukaan LP on tietoisen havainnon ensisijainen korrelaatti (Del Cul ym., 2007; Dehaene, 2014). Teorian mukaan LP heijastaa laajan otsa- ja ohimolohkojen alueen verkoston aktivoitumista aivoissa (engl. global ignition), mikä on merkki tietoisen kokemuksen syntymisestä. Näkemykset LP:n roolista ovat ristiriitaisia. Koiviston ja Revonsuon (2008a) tulkinnan mukaan LP on korrelaatti reflektiiviselle tietoisuudelle ja heijastaa näin tietoisen havainnon jälkiprosessointia. Koiviston ja Grassinin (2016) aineistossa LP korreloi enemmänkin päätöksentekoon liittyvien prosessien kanssa kuin suoraan visuaalisen tietoisuuden kanssa. Hiljattain Koivisto ym. (2016) havaitsivat LP:n olevan riippuvainen koehenkilöiden vastaustavasta. He huomasivat, että LP vaimentuu koetilanteessa, jossa visuaalisen tietoisuuden kokemus jätetään raportoimatta.

Koivisto ja Revonsuo (2007) sekä Koivisto ym. (2007) havaitsivat tarkkaavaisuuteen

liittyvissä Selection negativity –tutkimuksissaan, että LP on voimakkaasti riippuvainen tarkkaavaisuuden prosesseista. Vastaavasti Pitts, Martínez ja Hillyard (2012) sekä Pitts, Padwal, Fennelly, Martínez ja Hillyard (2014) huomasivat, että LP on pienempi tai sitä ei esiinny lainkaan sellaisten tietoisien ärsykkeiden kohdalla, jotka eivät ole merkittäviä tehtävänannon kannalta (engl. task relevance). Railo, Revonsuo ja Koivisto (2015) havaitsivat, että tutkittavat raportoivat näkemänsä visuaaliset ärsykkeet ajallisesti ennen tai samaan aikaan kuin LP ilmeni aivosähkökäyrässä. VAN esiintyi aivosähkökäyrässä ennen raportointia. Railon ym. (2015) mukaan LP ilmenee liian myöhään ollakseen fenomenaalisen tietoisuuden ensisijainen neuraalinen korrelaatti.

Näiden viime vuosina tehtyjen tutkimustulosten pohjalta VANia voidaan pitää visuaalisen tietoisuuden ensisijaisena korrelaattina ja LP:tä voidaan pitää reflektiivisen tajunnan, eli esimerkiksi raportoinnin ja päätöksenteon korrelaattina.

1.4. Teorioita visuaalisen tietoisuuden kokemuksen ajallisesta synnystä

Työmuistin rooli tietoisuuden prosesseissa on edelleen kiistanalainen. Teoriat subjektiivisen visuaalisen tietoisuuden prosesseista jakautuvat kahteen ryhmään sen mukaan, kuinka pitkälle tiedonkäsittelyn odotetaan etenevän aivoissa ennen kuin ärsyke tiedostetaan. Teorioissa muodostetaan oletus siitä, eteneekö aivojen aktivaatio työmuistin kannalta tärkeille alueille vai syntyykö tietoinen havainto ajallisesti aiemmin.

Varhaisen vaiheen teorioiden (Lamme & Roelfsema, 2000; Lamme, 2003) mukaan subjektiivinen tietoinen kokemus eli fenomenaalinen tietoisuus syntyy ennen korkeamman tasoisen tiedonkäsittelyn, kuten työmuistin, aktivoitumista. Lammen (2003) mukaan fenomenaalinen tietoisuus syntyy ventraalisessa juosteessa aivojen kaksisuuntaisen, sekä eteen- että taaksepäin suuntautuvan, tiedonkäsittelyn tuloksena. Eteenpäin suuntautuva tiedonkäsittely (engl. feedforward) tapahtuu tietoisuuden ulkopuolella. Sen aikana informaatio etenee aivojen visuaalisen aivokuoren alemmilla tasoilta sen ylemmille tasoille noin sadassa millisekunnissa. Tänä aikana käsitellään ärsykkeen yksinkertaisia piirteitä. Fenomenaalinen tietoisuus vaatii Lammen mukaan myös taaksepäin suuntautuvaa prosessointia, eli ylemmiltä näköalueilta takaisin alemmille näköalueille palaavaa informaatiota. Taaksepäin suuntautuva tiedonkäsittely mahdollistaa ärsykkeen monimutkaisempien piirteiden käsittelyn ja tietoisuuden kokemuksen syntymisen. Varhaisen vaiheen teorioiden mukaan tietoinen kokemus

syntyy noin 200 millisekuntia ärsykkeen esittämisen jälkeen. Vasta tämän jälkeen prosessointi laajenee esimerkiksi otsalohkojen alueelle, mikä mahdollistaa reflektiivisen tietoisuuden. Lammen mukaan reflektiivinen tietoisuus vaikuttaisi jakavan neuraalisia mekanismeja työmuistin kanssa ja vastaavasti fenomenaalinen tietoisuus vaikuttaisi jakavan neuraalisia mekanismeja sensorisen muistin kanssa.

Varhaisen vaiheen teorioiden mukaan työmuistin toiminta liittyy tietoisin havainnon jälkiprosessointiin, joten työmuistin kuormituksen ei tulisi häiritä fenomenaalisen tietoisuuden syntyä, eikä sen tulisi vaikuttaa sen sähköfysiologisen korrelaatin, VANin, amplitudeihin. Teorian mukaan prosessointi laajenee työmuistin toimintaan liittyviin alueisiin vasta fenomenaalisen tietoisin kokemuksen jälkeen, joten kuormituksen vaikutus tulisi näkyä vasta tietoisin havainnon jälkiprosessointiin liittyvässä sähköfysiologisessa korrelaatissa, LP:ssä.

Myöhäisen vaiheen teorioiden mukaan pelkkä visuaalisen aivokuoren aktivaatio ei yksinään riitä fenomenaalisen tietoisuuden synnyttämiseen, vaan siihen tarvitaan laajempaa otsalohkojen ja päälaen alueiden aktivoitumista. Neuraalisen työtilan teorian (Dehaene & Changeaux, 2011; Dehaene, 2014) ja higher-order -teorian (Lau & Rosenthal, 2011) mukaan subjektiivisen tietoisin kokemuksen syntyminen edellyttää korkeamman tasoisen tiedonkäsittelyn, kuten työmuistin, osallistumista ärsykkeen prosessointiin.

Neuraalisen työtilan teoria (engl. neuronal workspace theory) on neuraalinen versio Baarsin (1998) globaalien työtilan teoriasta (engl. global workspace theory). Teorian mukaan suurin osa tiedonkäsittelystä tapahtuu ilman tietoisuutta, samanaikaisesti toimivissa itsenäisissä alajärjestelmissä, moduuleissa. Näissä moduuleissa olevat representaatiot kilpailevat pääsystä kapasiteetiltaan rajalliseen globaaliin työtilaan. Osa moduuleissa olevista representaatioista valitaan tarkkaavaisuuden avulla globaalien työtilan käytettäväksi. Neuraalisen työtilan teorian mukaan ainoastaan globaalissa työtilassa olevista representaatioista tullaan tietoisiksi. Työtilassa representaatiot tulevat raportoitaviksi ja jaettaviksi eri aistipiirien välille. Globaalien työtilan käsite muistuttaa siis työmuistin ja reflektiivisen tietoisuuden käsitteitä. Tätä ennen tapahtuva tiedonkäsittely tapahtuu teorian mukaan ilman tietoisista kokemuksista. Fenomenaalinen tietoisuus syntyy neuraalisen työtilan teorian mukaan myöhemmin kuin varhaisen vaiheen teorian olettavat, vasta noin 300-400 millisekuntia ärsykkeen esittämisen

jälkeen.

Myöhäisen vaiheen teorit olettavat työmuistiin liittyvien alueiden osallistuvan tietoisien havainnon syntymiseen, eivätkä ne tee erottelua fenomenalisen ja reflektiivisen tietoisuuden välillä. Niiden mukaan työmuistin kuormituksen tulisi häiritä tietoisien kokemuksen syntymistä ja siksi sen tulisi näkyä kaikissa siihen liittyvissä sähköfysiologisissa korrelaateissa, eli jo VAN-aallon amplitudeissa.

1.5. Tietoisuuden ja työmuistin yhteys

1.5.1. Neuraalinen yhteys

Tietoisuuden ja työmuistin neuraalista yhteyttä ei ole suoraan tutkittu, mutta samojen aivoalueiden on huomattu aktivoituvan sekä tietoisuutta käsittelevissä tutkimuksissa että työmuistia käsittelevissä tutkimuksissa (Naghavi & Nyberg, 2005). Naghavi ja Nyberg vertailivat useiden fMRI- ja PET-tutkimusten tuloksia. Heidän mukaansa työmuistin toimintaan liittyvien aivokuoren otsalohkojen ja pälaen alueiden on havaittu aktivoituvan myös tietoiseen havaitsemiseen keskittyvissä tutkimuksissa. Naghavin ja Nybergin mukaan tietoisuuden ja työmuistin päällekkäinen aktivaatio voi olla merkki jaetuista kognitiivisista prosesseista ilmiöiden taustalla. Del Culin, Dehaenen, Reyesin, Bravon ja Slachevskyn (2009) havainto siitä, että etuotsalohkon vaurio heikentää tietoisien näkökyvyn kynnyksiä, tukee ajatusta otsalohkojen alueiden liittymisestä visuaalisen tietoisuuden prosesseihin. Myös Deahene ja Changeaux (2011) nostavat esille otsalohkojen pälaenaluiden merkityksen visuaalisen tietoisuuden prosesseissa. Reesin, Kreimanin ja Kochin (2002) mukaan ensisijainen alue tietoisien visuaalisen havainnon tuottamiseen on ventraalilla visuaalisella aivokuorella, mutta heidän mukaansa on epäselvää, pystyykö alue yksinään tuottamaan tietoisien havainnon. Heidän mukaansa siihen tarvitaan mahdollisesti pälaen ja prefrontaalien alueiden aktivoitumista. Nämä alueet aktivoituvat myös tarkkaavaisuuteen ja työmuistiin liittyvässä toiminnassa.

Hiljattain julkaistussa katsauksessa Koch, Massimini, Boly ja Tononi (2016) kritisoivat sitä, että tietoisien kokemuksen neuraalisten korrelaattien etsinnässä luotetaan liikaa aivokuvantamistutkimusten tulosten korrelaatioihin. He tarkastelivat useilla eri menetelmillä tehtyjä tutkimuksia. Koch ym. (2016) mainitsevat, että aivoalueiden vuorovaikutuksellisen luonteen takia jopa aivokuoren alla sijaitsevien tyvitumakkeiden

eli basaali- ja pikkuaivojen toiminta voi korreloida tietoisuuden kokemuksen kanssa olematta todella vastuussa sen tuottamisesta. Heidän katsauksensa mukaan tietoisuuden kokemus ei vaadi otsalohkojen aktivoitumista, vaan tietoisuus syntyy tätä ennen ohimo-, päälaen- ja takaraivolohkojen alueella, josta he käyttävät nimitystä 'hot zone'. Kochin ym. (2016) mukaan 'hot zone' on todennäköisin paikka tietoisuuden neuraalisille korrelaateille. Otsalohkon aktivaatio vastaa heidän mukaansa esimerkiksi tarkkaavaisuuden kohdentamisesta ja jakamisesta sekä tapahtuman monitoroinnista. Myös Frässlen, Sommerin, Jansenin, Naberin, ja Einhäuserin (2014) tutkimuksen tulosten mukaan visuaalinen tietoisuus syntyy ennen aktivaation etenemistä otsalohkon alueella. He havaitsivat, että kahden silmän kilpailutilanteessa otsalohkojen aktivaatio väheni silloin, kun koehenkilöt eivät raportoineet tietoista havaintoaan. Tietoisuuden havainnon syntyminen mitattiin koehenkilön silmien ei-tahdonalaisista liikkeistä sekä pupilleista, jolloin heidän ei tarvinnut raportoida sitä. Frässlen ja kumppaneiden (2014) tulokset viittaavat siihen, että otsalohkojen aktivaatio liittyy tietoisuuden raportointiin, joka kuuluu reflektiiviseen tietoisuuteen.

1.5.2. Toiminnallinen yhteys

Joissain behavioraalisisissa tutkimuksissa on havaittu, että työmuistin sisältöjen manipulaatio vaikuttaa visuaalisen tietoisuuden havaitsemisen kynnykseen. Tätä on tutkittu kahden tehtävän -menetelmän (engl. dual task) avulla, jossa koehenkilöt tekevät samaan aikaan havaitsemis- ja työmuistitehtävää. Tutkimuksissa on kuormitettu työmuistin eri osajärjestelmiä, fonologista silmukkaa, visuospatiaalista lehtiötä ja keskusyksikköä.

DeLoof ym. (2013) havaitsivat tutkimuksessaan, että visuaalisen tietoisuuden havainnon kynnyksen kasvoi työmuistin fonologisen kuormituksen kasvaessa. Tutkimuksessa koehenkilöt tekivät visuaaliseen havaitsemiseen liittyvää tehtävää ja samaan aikaan pitivät mielessä kirjainsarjaa. He näkivät ärsyksiä sitä heikommin, mitä enemmän kirjaimia oli muistettavana.

Panin, Linin, Zhaon ja Soton (2014) sekä Gayetin, Paffen, ja Van der Stigchelien (2013) tutkimusten tulosten mukaan työmuistin visuospatiaalisen osan sisältö vaikuttaa havaitsemistehtävän tuloksiin. Molemmissa tutkimuksissa havaittiin, että koehenkilöt näkivät ruudulle esitetyt kuvat paremmin silloin, kun ne vastasivat työmuistissa pidettävän ärsyksen sisältöä.

De Loof, Poppe, Cleeremans, Gevers ja Van Opstal (2015) tutkivat visuaalisen tietoisuuden ja työmuistin keskussyksikön ja visuospatiaalisen lehtiön yhteyttä. Havaitsemistehtävässä visuaalisen tietoisuuden kokemusta manipuloitiin bCFS -menetelmän avulla (engl. breaking continuous flash suppression). Menetelmässä toiseen silmään esitetään staattinen ärsyke. Toiseen silmään väläytetään lyhyempi maskiärsyke, joka häiritsee ensimmäisenä esitetyn ärsykeen havaitsemista. De Loof ym. (2015) huomasivat, että visuospatiaalisen työmuistin kuormittaminen hidasti vastausaikoja bCFS -tehtävässä verrattuna kontrollitehtävään. Myös keskussyksikön kuormittamisen kasvu hidasti vastausten reaktioaikoja. De Loofin ym. (2015) mukaan tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että visuaalinen tietoisuus on yhteydessä otsalohkojen aktivaatioon liittyviin eksekutiivisiin toimintoihin. Yhteyden luonne voi heidän mukaansa olla suora, jolloin työmuistin keskussyksikön kuormittaminen vaikuttaa välittömästi visuaalisen tietoisuuden kynnykseen, tai se voi olla epäsuora, jolloin keskussyksikön kuormituksella on vaikutus havainnon jälkiprosessointiin, kuten päätökseen vastauksesta. Myös Maniscalco ja Lau (2015) havaitsivat keskussyksikön kuormittamisen vaikutuksen visuaalisen havaitsemisen kynnykseen.

Edellä mainittujen behavioraalisten tutkimusten tulokset viittaavat siihen, että visuaalinen tietoisuus ja työmuisti jakavat yhteisiä toiminnallisia prosesseja. Yhteyden perimmäisestä luonteesta ei olla varmoja. Behavioraalisilla tutkimusmenetelmillä ei ole ollut mahdollista testata, millä prosessointitasolla työmuistin komponenttien kuormituksen vaikutus tapahtuu: Vaikuttaako se suoraan tietoisuuden kynnykseen vai myöhempään prosesseihin, kuten päätöksentekoon ja raportointiin. Behavioraalisten menetelmien lisäksi tarvitaan tietoa sähköfysiologisista vasteista. Niiden tutkiminen voi selvittää työmuistin ja visuaalisen tietoisuuden prosessien yhteyden luonnetta: sitä, vaikuttaako työmuistin komponenttien kuormittaminen suoraan tietoiseen havaintoon, jolloin sen tulisi näkyä negatiivisessa sähköfysiologisessa korrelaatissa (VAN), vai mahdollisesti siihen liittyvään myöhempään prosessointiin, päätöksentekoon ja raportointiin, jolloin sen tulisi näkyä positiivisessa ja ajallisesti myöhemmin esiintyvissä sähköfysiologisissa korrelaatissa (LP).

Ruohola (2015) tutki pro gradu -tutkielmassaan ”Visuaalisen tietoisuuden ajoitus: Työmuistin kuormituksen vaikutus visuaaliseen tietoisuuteen ja sen sähköfysiologisiin vasteisiin” behavioraalisen asetelman lisäksi aivosähkökäyrän ERP-vasteita. Hän selvitti työmuistin fonologisen silmukan kuormituksen vaikutusta visuaaliseen havaitsemiseen.

Tutkittavien tuli painaa mieleensä joko yhden, neljän tai seitsemän kirjaimen sarja ja pitää se mielessään havaitsemistehtävän ajan. Työmuistin kuormitustaso vaikutti havaitsemistehtävän tuloksiin ainoastaan ajallisesti ensimmäisen havaitsemistehtävän ärsykkeen kohdalla. Kuormitustasolla ei ollut vaikutusta tehtäväjakson sisällä viiden seuraavan ärsykkeen kohdalla. Tulos viittaa siihen, että tutkittavan tarkkaavaisuus oli ajallisesti ensimmäisen ärsykkeen kohdalla suunnattu vielä työmuistitehtävän muistiin koodaamiseen eikä visuaalisen tietoisuuden tehtävään. Tämä tukee näkemystä, että visuaalisen tietoisuuden prosessit ja työmuistissa ylläpitoon liittyvät prosessit ovat ainakin osittain erillisiä. Muutoin työmuistin kuormittaminen olisi pitänyt näkyä kaikkien havaitsemistehtävän ärsykkeiden kohdalla. Ruoholan (2015) tutkimuksessa kuormitus ei vaikuttanut VANin amplitudeihin. Kuormituksen kasvaminen vaikutti kuitenkin LP:n amplitudeihin, mikä viittaisi siihen, että reflektiivisen tietoisuuden prosessit jakavat resursseja työmuistin prosessien kanssa todennäköisemmin kuin fenomenaalisen tietoisuuden prosessit.

Ruoholan tutkimuksessa ärsykkeet voitiin pitää työmuistissa verbaalisesti mutta havaintotehtävä oli visuaalinen. Smithin, Jonidesin ja Koeppen (1996) mukaan verbaalisen ja visuaalisen työmuistin neuraalinen perusta on erilainen siten, että verbaalisen työmuistin prosessit painottuvat vasemmalle aivopuoliskolle ja visuaalisen työmuistin prosessit oikealle aivopuoliskolle. Myöhempi tutkimustieto asiasta on ollut ristiriitaista. Wagerin ja Smithin (2003) fMRI meta-analyysin tulokset antoivat samansuuntaisia tuloksia kuin Smithin ja kumppaneiden (1996) löydös, mutta heidän tuloksensa eivät olleet merkitseviä. Neen ja hänen kollegoidensa (2013) mukaan tarvitaan vielä systemaattisempaa tutkimusta työmuistin eri komponenttien lateraalisten erojen vahvistukseksi. Koska työmuistin eri komponenttien neuraalinen perusta ei ole täysin selvä, Ruoholan (2015) tutkimustulosten vahvistamiseksi sama koeasetelma tulee toistaa siten, että sekä työmuistitehtävä että havaintotehtävä ovat molemmat visuaalisia. Tässä tutkimuksessa työmuistia kuormitettiin visuaalisten ärsykkeiden avulla. Visuaalisen tiedonkäsittelyn on havaittu aktivoivan alueita ventraalissa juosteessa (Bar ym., 2001), jota pidetään myös visuaalisen tietoisuuden korrelaattien ensisijaisena sijaintina (Lamme, 2003; Koch ym., 2016). Tämän neuraalisen samankaltaisuuden vuoksi visuaalisen työmuistin kuormituksella voi olla erilainen vaikutus visuaalisen tietoisuuden kokemuksen syntymiseen kuin fonologisen työmuistin kuormituksella.

1.6. Tutkimuskysymys: jakavatko työmuistin visuospatiaalinen lehtiö ja visuaalinen tietoisuus yhteisiä resursseja?

Tutkimuksessani selvitän työmuistin ja tietoisien näköhavainnon yhteyttä tietoisien havaitsemistehtävän ja siihen liittyvien aivosähkökäyrän korrelaattien avulla. Tämä tutkimus on osa kolmen tutkimuksen projektia, joiden tarkoituksena on tutkia työmuistin eri komponenttien yhteyttä fenomenaliseen tietoisuuteen. Jokaisessa osatutkimuksessa keskitytään yhteen työmuistin komponenteista. Tässä tutkimuksessa työmuistin kuormitus pyrittiin keskittämään Baddeleyn ja Hitchin (1974) työmuistiteorian mukaiseen visuospatiaaliseen lehtiöön. Koehenkilöt suorittivat samanaikaisesti työmuistin ylläpitämiseen ja tietoiseen havaitsemiseen liittyviä tehtäviä. Tutkimuksessa tarkasteltiin sekä työmuistin kuormituksen toiminnallista vaikutusta havaitsemistehtävään että kuormituksen vaikutusta tutkittavien aivosähkökäyrässä esiintyviin visuaalisen tietoisuuden ERP-korrelaatteihin. Toiminnallisella vaikutuksella tarkoitetaan työmuistitehtävän kuormituksen vaikutusta havaitsemistehtävässä esiintyvien ärsykkeiden havaitsemiseen. ERP-vasteiden tarkastelu antaa pelkkää behavioraalista asetelmaa tarkempaa tietoa siitä, missä vaiheessa tietoisuuden prosesseja työmuistin kuormittaminen vaikuttaa. Se voi antaa lisätietoa siitä, vaikuttaako työmuistin kuormitus fenomenalisen tietoisuuden prosesseihin havainnon tasolla vai vaikuttaako se reflektiivisen tietoisuuden prosesseihin, eli päätöksentekoon ja raportointiin. Tutkimuksessa tutkittiin ERP-vasteiden eroja tilanteissa, joissa tutkittavat olivat havainneet visuaalisen ärsykkeen verrattuna tilanteisiin, jossa tietoista havaintoa ei syntynyt.

Tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella kumpi teoriasuuntauksista, varhaisen vaiheen vai myöhäisen vaiheen teorit, saa tukea. Varhaisen vaiheen teorioista johdetun hypoteesin mukaan työmuistin kuormittaminen ei vaikuta tietoiseen havaitsemiseen, eli fenomenaliseen tietoisuuteen ja sen sähköfysiologiseen korrelaattiin VANiin, koska työmuisti ja tietoisuus ovat eri ilmiöitä. Myöhäisen vaiheen teorioista johdetun hypoteesin mukaan tietoisuus ja työmuisti ovat toiminnallisesti päällekkäisiä ilmiöitä, joten työmuistin kuormitustason kasvun tulisi vaikeuttaa ärsykkeiden tietoista havaitsemista ja sen tulisi näkyä tietoiseen havaintoon liittyvien ERP-vasteiden, sekä VANin että LP:n, vaimentumisena.

2. Menetelmät

2.1. Tutkittavat

Koehenkilöt olivat 19–30-vuotiaita (KA = 22.85, KH = 3.38 , Naisia 16, Miehiä 4) Turun yliopiston opiskelijoita. He valikoituivat tutkimukseen yliopiston psykologian oppiaineen koehenkilöilmoittautumisen kautta. Tutkittavilla ei ollut todettu neurologisia sairauksia, kuten migreeniä tai epilepsiaa, eivätkä tutkittavat käyttäneet aivotoimintoihin vaikuttavaa psyyken- tai neurologista lääkitystä. Kaikki tutkittavat todettiin oikeakätisiksi (Edinburgh Handedness Inventory, Oldfield, 1971). Ennen osallistumistaan koehenkilöille kerrottiin tutkimuksen tarkoituksesta ja he allekirjoittivat suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta. Turun yliopiston eettinen toimikunta oli hyväksynyt tutkimuksen.

2.2. Ärsykkeet

2.2.1. Havaitsemistehtävän ärsyke

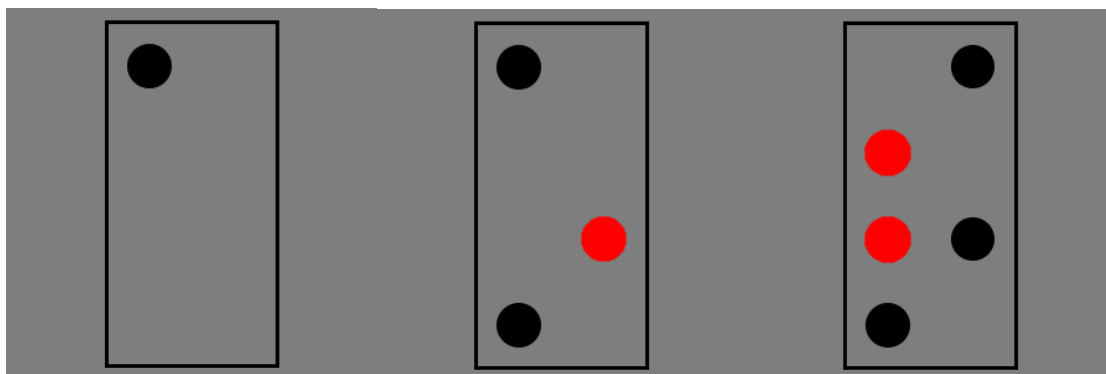
Tutkimuksessa käytettiin luminanssikontrastiltaan erilaisia gabor-ärsykejä (7 sykliä/aste, koko 3.6°) (Kuva 1). Gabor-ärsykkeistä puolet oli kallellaan oikealle ja puolet vasemmalle 45° kulmassa. Ärsykkeen keskiarvoluminanssi vastasi taustan luminanssia (21.4 cd/m^2). Vaikeustaso oli määritetty Michelsonin luminanssikontrastin ($(L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$) avulla ja luminanssikontrastit olivat 0.03, 0.05, 0.07, 0.08, 0.11, 0.12, 0.14 ja 0.16.



Kuva 1. Oikealle kallellaan oleva Gabor-ärsyke, jonka luminanssikontrasti on 0.16

2.2.2. Työmuistia kuormittava ärsyke

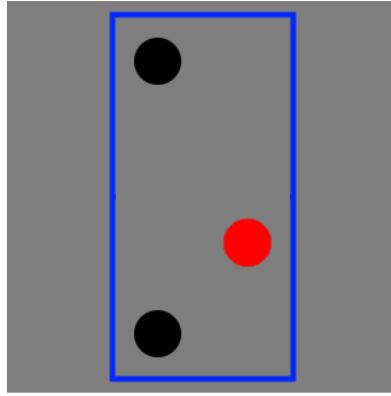
Työmuistia kuormittavia kuvioita oli kolmelta eri kuormitustasolta (Kuva 2). Kuviot erosivat sen mukaan, kuinka paljon niiden mielessä pitämisen oletettiin kuormittavan työmuistia. Kuvioista pyrittiin poistamaan selkeästi verbalisoitavissa olleet kuviot. Tällä pyrittiin kohdistamaan kuormitus työmuistin visuospatiaaliseen osaan.



Kuva 2. Työmuistia kuormittavia kuvioita. Helppo, keskivaikea ja vaikea kuormitustaso.

Kuviot olivat suorakulmion muotoisia, kooltaan $1.76^{\circ} \times 3.55^{\circ}$. Reunusten paksuus oli 0.038° ja pallojen halkaisija oli 0.46° . Pallot olivat väritään mustia ja punaisia. Helpoimman kuormitustason kuviossa oli yksi musta pallo, joka esitettiin aina vasemmassa yläkulmassa. Keskivaikean kuormitustason kuviossa esiintyi kolme palloa, joista kaksi oli mustaa ja yksi punainen. Pallot oli sijoiteltu suorakulmion sisälle satunnaiseen järjestykseen. Vaikeimman kuormitustason kuvioissa oli viisi palloa, joista kolme oli mustaa ja kaksi punaista. Pallojen paikat olivat muuten satunnaisia, mutta punainen pallo esiintyi sekä kuvitteellisen keskilinjan ylä- että alapuolella vaikeimmalla kuormitustasolla.

Mieleen painamisen vaiheessa suorakulmion reunus oli musta. Mieleen palautuksen vaiheessa esitetyssä muistitehtävässä kuvion reunukset olivat siniset (Kuva 3). Sinisten reunuksien oli tarkoitus estää koehenkilöä sekoittamasta mieleen painettavia ja mieleen palautettavia kuvioita. Kuvion tausta oli molemmissa tilanteissa harmaa.

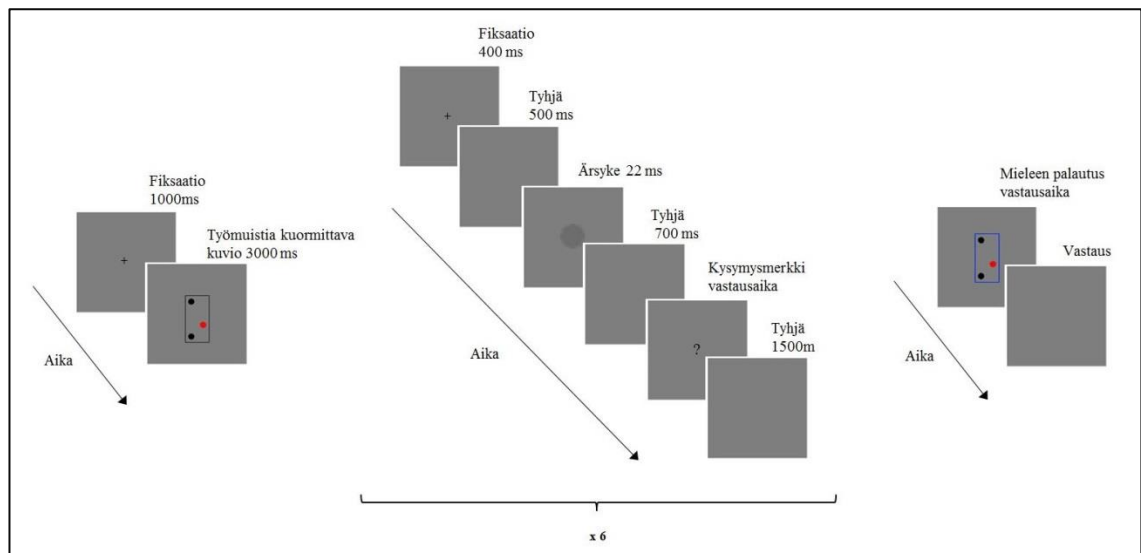


Kuva 3. Työmuistia kuormittava kuvio mieleen palautuksen vaiheessa. Keskivaikea kuormitustaso.

2.3. Kokeen asetelma ja kulku

Tutkittavat tekivät tietokoneella samanaikaisesti tietoiseen havaitsemiseen liittyviä tehtäviä ja visuaalista työmuistia kuormittavaa tehtävää (Kuva 4). Koehenkilön silmien etäisyys tietokoneen ruudusta oli 1.5 metriä. Ruutu oli 19 tuuman kuvaputkimonitori, jonka virkistystaajuus oli 85 Hz. Tutkimuksen aikana koehenkilöltä mitattiin aivosähkökäyrää EEG-laitteella.

Tehtäväjakso (Kuva 4) alkoi ruudulle 1000 millisekunnin ajaksi ilmestyvästä fiksaatiopisteestä (musta + -merkki), jonka jälkeen koehenkilölle esitettiin suorakulmion muotoinen työmuistia kuormittava kuvio 3000 millisekunnin ajan. Kuormitustasot esiintyivät satunnaisessa järjestyksessä. Koehenkilön tuli pitää kuvio mielessään tehtäväjakson ajan. Mieleen painamisen jälkeen koehenkilö suoritti kuusi visuaalisen havaitsemisen tehtävää. Näihin tehtäviin viitataan myöhemmin termillä ajallinen sijainti, sillä analyyseissä tarkastellaan erikseen jokaisen kuuden tehtävän gabor-ärsykkeiden havaitsemista työmuistin kuormituksen ja tehtäväjakson ajallisen sijainnin funktiona. Näissä tehtäväjakson kuudessa havaitsemistehtävässä gabor-ärsyke esitettiin satunnaisesti neljässä kohdassa ja kahdessa kohdassa sitä ei esitetty lainkaan.



Kuva 4. Kokeen kulku. Tehtävajakso alkoi työmuistiärsykkeen mieleen painamisella. Tätä seurasi kuusi visuaalisen havaitsemisen tehtävää. Viimeisenä oli mieleen palautus. Tehtävajaksoja esiintyi yhden tehtäväsarjan aikana 18.

Fiksaatiopisteen (400 ms) jälkeen tietokoneen ruutu oli tyhjä 500 millisekunnin ajan, jonka jälkeen esitettiin joko Gabor-ärsyke (22 ms) tai tyhjä ruutu (22 ms). Tätä seurasi tyhjä ruutu (700 ms) ja sen jälkeen kysymysmerkki, joka pysyi ruudulla niin kauan, että koehenkilö vastasi, näkikö hän Gabor-ärsykkeen vai ei. Koehenkilön tuli painaa näppäimistön numeroa 1, jos hän koki nähneensä ärsykkeen ja näppäimistön numeroa 2, jos hän ei ollut nähnyt ärsykettä. Kuudenteen tehtävään tulleen reaktion jälkeen ruutu oli tyhjänä vielä 1500 ms.

Tätä seurasi mieleen palautus, missä ruudulle ilmestyi suorakulmainen kuvio sinisillä reunuksilla. Koehenkilön tuli raportoida nappia painamalla, oliko kuvio hänen mielestään sama kuin tehtävajakson alussa esitetty kuvio. Kuvioista 50 % oli samoja kuin tehtävajakson alussa esitetyt kuvat ja 50 %:ssa kuvioista yhden pallon paikka oli vaihdettu. Kuvio pysyi ruudulla, kunnes tutkittava vastasi nappia painamalla, tunnistiko hän kuvion samaksi. Koehenkilön tuli painaa näppäimistön numeroista näppäintä 4, jos kuvio oli hänen mielestään sama ja näppäintä 5, jos kuvio oli hänen mielestään erilainen. Vastaaminen tapahtui numeronäppäimistöllä (engl. numeric keypad), joten numerot 4 ja 5 sijaitsivat välittömästi numeroiden 1 ja 2 yläpuolella. Tämän jälkeen alkoi uusi tehtävajakso.

Kokeessa oli yhteensä seitsemän tehtäväsarjaa, joissa kussakin oli 18 edellä mainittua tehtävajaksoa. Yhdessä tehtäväsarjassa esiintyi kussakin 72 Gabor-ärsykettä ja 36 tyhjä ruutu -tilannetta. Yhtä kuormitustasoa kohden Gabor-ärsyke esiintyi kaiken kaikkiaan 168 kertaa ja tyhjä ruutu esiintyi 84 kertaa. Eri kuormitustasoja oli kolme, joten koko kokeessa Gabor-ärsyke esiintyi yhteensä 504 kertaa ja tyhjä ruutu -tilanne esiintyi 252 kertaa.

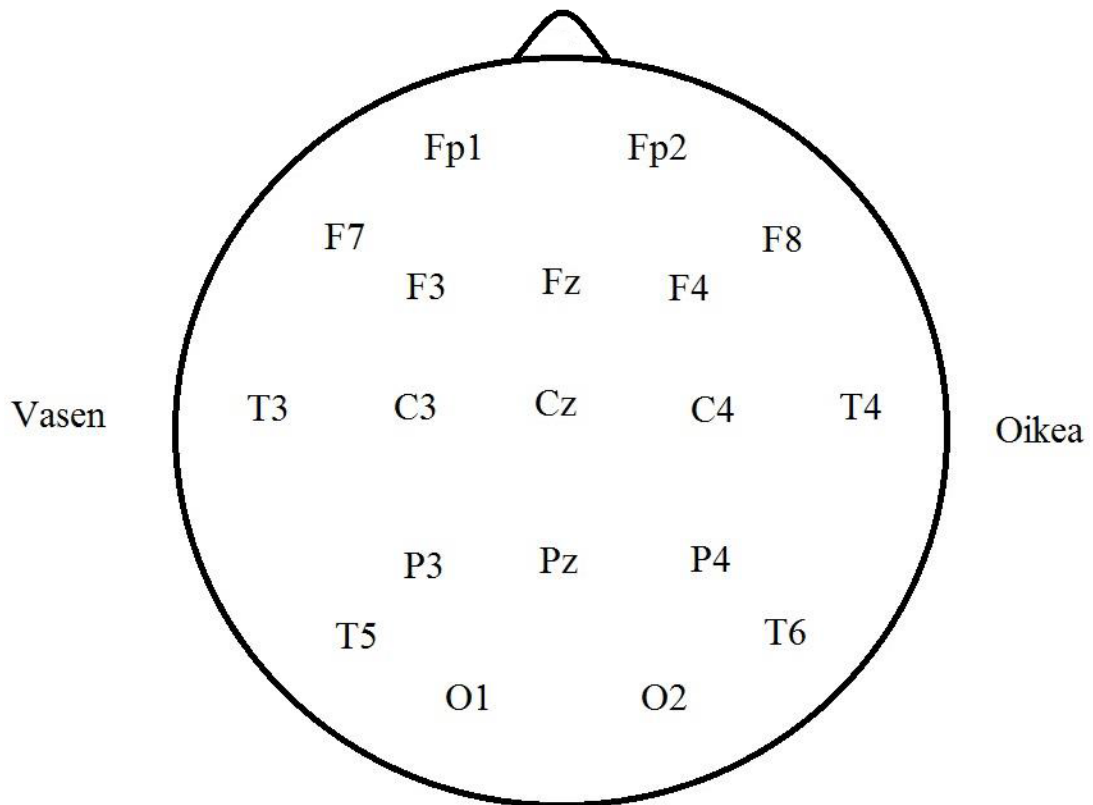
Toisen tehtäväsarjan jälkeen koehenkilölle annettiin halutessaan mahdollisuus pieneen taukoon silmien väsymisen ehkäisemiseksi. Neljännen tehtäväsarjan jälkeen koehenkilölle esitettiin suullisesti kysely kätisyyden selvittämiseksi (Edinburgh Handedness Inventory, Oldfield, 1971). Näin koehenkilö sai myös tässä kohtaa pienen tauon, mikä vähensi mahdollista väsymistä tehtävään.

2.4. Kalibrointi

Ennen tehtäväsarjoja suoritettiin kalibrointi, jossa määriteltiin koehenkilön tietoisien visuaalisen havaitsemisen kynnyksen. Tutkittavalle esitettiin luminanssikontrastiltaan erilaisia Gabor-ärsykeitä. Tehtävä alkoi fiksaatiopisteen ilmestymisestä ruudulle. Tämän jälkeen koehenkilölle esitettiin joko Gabor-ärsyke tietokoneen ruudun keskelle tai tyhjä ruutu. Gabor-ärsyke pysyi ruudulla 22 millisekuntia, kuten varsinaisessa kokeessa. Koehenkilö raportoi ärsykkeen havaitsemisesta tietokoneen näppäimistön avulla. Painamalla numeroa 1 hän ilmaisi nähneensä ärsykkeen ja kun ärsykettä ei ollut nähty, hän painoi numeroa 2. Gabor-ärsykkeiden esittäminen aloitettiin neljännestä luminanssikontrastista (0.08). Gabor-ärsykkeiden kontrastia vaikeutettiin, jos koehenkilö näki yli 61 % ärsykkeistä. Kontrastia helpotettiin, jos koehenkilö näki alle 39 % ärsykkeistä. Kun ärsykkeiden havaitseminen oli kahden tehtävajakson ajan 39–61 %, siirryttiin varsinaiseen kokeeseen.

2.5. Aivosähkökäyrän mittaus

Varsinaisten koetehtäväsarjojen aikana tutkittavalta mitattiin aivosähkökäyrää EEG-laitteella. Mittauksessa käytettiin Ag/AgCl elektrodeja, jotka oli kiinnitetty Electro-Cap elektrodimyssyyn (Electro-Cap International, Inc., USA). Elektrodiin järjestys määriteltiin kansainvälisen 10/20-systeemin mukaisesti paikoille Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, P3, P4, Pz, C3, C4, Cz, T3, T4, T5, T6, O1 ja O2 (Kuva 5).



Kuva 5. Elektrodien järjestys 10/20-systeemin mukaisesti

Referenssielektrodi kiinnitettiin nenään ja Fz ja Cz paikkojen välistä elektrodiä käytettiin maadoituksena. Myös silmänliikkeitä ja silmänräpäytyksiä seurattiin. Elektrodit kiinnitettiin sekä oikean silmän alle (vertikaalinen liike ja silmän räpäytykset) että 1,5 cm oikealle oikean silmän silmäkulmasta (horisontaalinen silmänliike). Impedanssi oli alle $5k\Omega$. EEG-signaalin vahvistukseen käytettiin Synamps-vahvistinta. Signaali vahvistettiin 0.15-100 Hz -taajuudella; näytteenottotaajuus oli 500 Hz ja astefiltterin taajuus 50 Hz. Herätevasteista poistettiin silmänliikkeiden ja muiden häiriötekijöiden vaikutus niin, että analyysiin valittiin herätevasteet, jotka olivat amplitudiltaan yli $-70 \mu V$ ja alle $70 \mu V$. -100-0 ms ennen Gabor-ärsykettä / tyhjä ruutu - tilanteessa ollutta aktivaatiota käytettiin ERP-käyrien perustasona.

3. Tulokset

3.1. Kuormituksen vaikutus muistisuoritukseen

Tehtäväjakson aikana koehenkilöiden työmuistia kuormitettiin kolmella eri vaikeustasolla. Vaikeustaso erosi sen mukaan, kuinka monta palloa esitetyssä kuviossa esiintyi. Mieleen palautuksen vaiheessa tunnistus meni oikein, kun tutkittava joko tunnisti kuvion samaksi tai huomasi sen olevan eri kuvio kuin ennen tehtäväsarjaa esitetty kuvio. Työmuistia kuormittavien kuvioiden tunnistustarkkuuden analysoinnissa käytettiin epäparametrisia Friedmanin ja Wilcoxonin testejä, sillä tunnistustarkkuuden jakauma ei ollut normaalisti jakautunut.

Tulokset osoittivat, että työmuistin kuormitus onnistui. Kolmen kuormitustason kuvioiden tunnistukset erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($F_R = 21,70$, $df = 2$, $p < .001$). Pallojen määrän kasvaessa tunnistustarkkuus laski (Taulukko 1.). Koehenkilöt muistivat paremmin 1 pallon kuvion, kuin kuvion, jossa esiintyi 3 palloa ($Z = -3.51$, $p < .001$) tai kuvion, jossa esiintyi 5 palloa ($Z = -3.52$, $p < .001$). Kolmen ja viiden pallon kuvioiden välillä ei ollut eroa ($Z = -.960$, $p = .337$).

Tutkittavien vastausten reaktioajat työmuistitehtävässä kasvoivat kuormituksen lisääntymisen myötä. Työmuistitehtävän vastausten reaktioaikoja tarkasteltiin toistettujen mittausten varianssianalyysin (ANOVA) avulla. Kuormituksella havaittiin päävaikutus reaktioaikoihin ($F_{2,34} = 60,73$, $p < .001$, $\eta^2_p = .781$). Mitä enemmän kuviossa oli palloja, sitä hitaampia olivat koehenkilöiden vastaukset (Taulukko 1.).

Taulukko 1. Työmuistitehtävän tunnistustarkkuudet ja reaktioajat kuormituksen funktiona (KA = keskiarvo, KV = keskivirhe).

Kuormitus	Tarkkuus		Reaktioaika	
	KA (%)	KV (%)	KA (ms)	KV (ms)
1 pallo	98,94	0,52	1535,97	75,98
3 palloa	89,61	2,13	2249,53	106,53
5 palloa	87,78	2,16	2432,75	137,46

Yhden pallon kuvio tunnistettiin nopeammin kuin kaksi muuta kuviota ($p < .001$). Myös kolmen ja viiden pallon kuvioiden tunnistuksen reaktioajat erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p = .014$). Viiden pallon kuvion tunnistaminen vaati koehenkilöiltä eniten aikaa. Reaktioaikojen kasvusta voidaan päätellä, että viiden pallon kuvio kuormitti todennäköisesti enemmän työmuistia kuin kolmen pallon kuvio, vaikka näiden tunnistustarkkuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa.

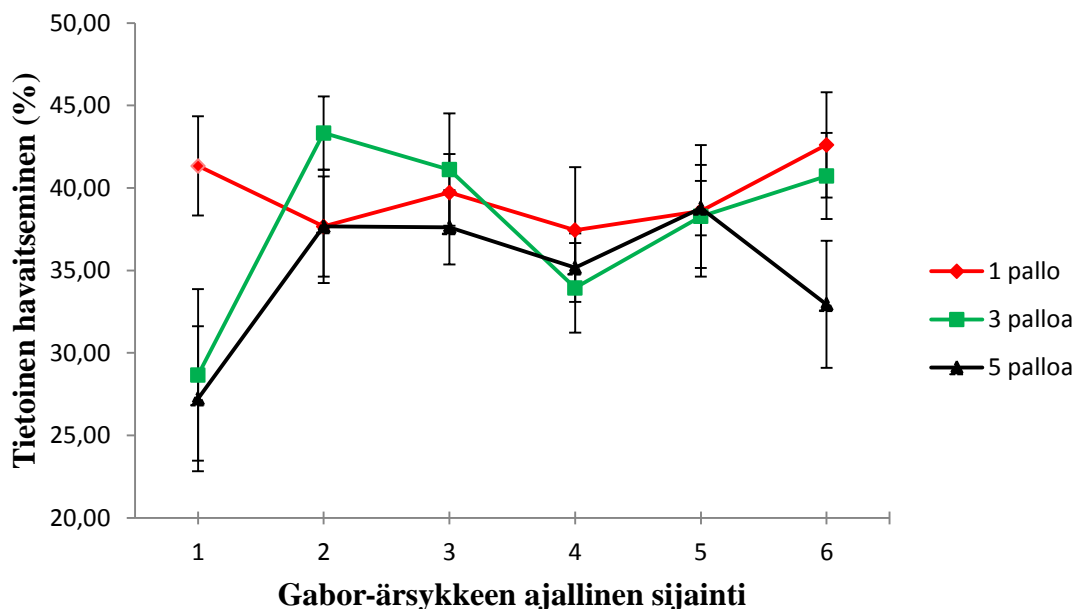
3.2. Gabor-ärsykkeiden tietoinen havaitseminen

Gabor-ärsykkeen ajallisia esityskohtia tehtäväjakson sisällä oli kuusi, joista se esitettiin satunnaisesti neljässä kohdassa. Kahdessa kohdassa ei esitetty lainkaan ärsykettä. Jokaisen esityskohdan jälkeen koehenkilöt raportoivat, näkivätkö he ärsykkeen vai eivät. Tulosten analyysissä käytettiin toistettujen mittausten varianssianalyysiä (ANOVA), joka oli muotoa Sijainti (6) x Kuormitus (3). Tietoisien havaitsemisen muuttuja muodostettiin vähentämällä oikeista vastauksista väärät hälytykset, eli sellaiset vastaukset, joissa koehenkilö vastasi nähneensä ärsykkeen, vaikka ärsykettä ei ollut esitetty. Tulosten raportoinnissa on kaikissa analyyseissä ilmaistu Greenhouse-Geisser-korjatut p-arvot niiden muuttujien kohdalla, jotka eivät läpäisseet Mauchly'n sfäärisyys -testiä. Parittaiset monivertailut tehtiin Fisherin Least-Significant-Difference -testillä (LSD).

Työmuistiärsykkeen kuormittavuuden kasvu vaikutti havaitsemistehtävän ärsykkeiden tietoiseen havaitsemiseen ja reaktioaikoihin ainoastaan ensimmäisessä sijainnissa. Ärsykkeen ajallisella sijainnilla tehtäväjakson sisällä ei havaittu päävaikutusta gabor-ärsykkeen tietoiseen havaitsemiseen ($F_{5,85} = 1.81$, $p = .164$, $\eta^2_p = .096$). Työmuistiärsykkeen kuormitustasolla ei myöskään ollut päävaikutusta havaitsemiseen ($F_{2,34} = 2.45$, $p = .121$, $\eta^2_p = .126$). Ärsykkeen ajallisen sijainnin ja kuormituksen välillä havaittiin kuitenkin yhdysvaikutus ($F_{10,170} = 2.46$, $p = .037$, $\eta^2_p = .126$), mikä tarkoittaa, että kuormituksella oli vaikutus jossakin osatehtävässä.

Yhdysvaikutuksen takia jatkovertailuissa tarkasteltiin yksisuuntaisella ANOVAlla kuormituksen vaikutusta erikseen kuudessa eri ajallisessa sijainnissa. Työmuistitehtävän mieleen painamisen jälkeen ensimmäisen ärsykkeen kohdalla kuormituksella havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaikutus ($F_{2,34} = 5,27$, $p = .010$, $\eta^2_p = .237$) (ks. kuva 6). Sekä yhden ja kolmen pallon kuvioiden ($p = .025$) että yhden ja viiden pallon kuvioiden ($p = .009$) tietoinen havaitseminen erosivat toisistaan. Kolmen ja viiden pallon kuvioiden

välillä kuormitus ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi tietoiseen havaitsemiseen ($p = .747$). Kuormitustasolla ei havaittu vaikutusta ärsykkeen havaitsemiseen sijainneissa kaksi ($F_{2,34} = 1,57$, $p = .224$, $\eta^2_p = .084$), kolme ($F_{2,34} = .508$, $p = .606$, $\eta^2_p = .029$), neljä ($F_{2,34} = .888$, $p = .421$, $\eta^2_p = .050$), eikä sijainnissa viisi ($F_{2,34} = .008$, $p = .992$, $\eta^2_p = .000$).



Kuva 6. Gabor-ärsykkeiden tietoinen havaitseminen (%) kuormituksen ja ajallisen sijainnin funktiona. Virhepalkit kuvaavat keskivirhettä.

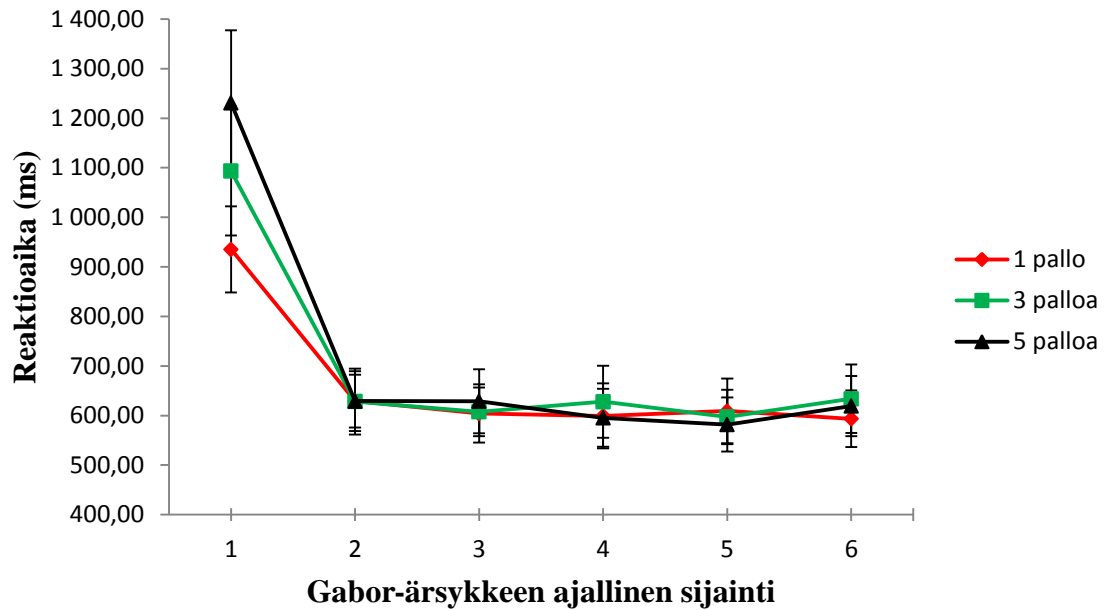
Kuormituksella havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaikutus kuudennessa sijainnissa ($F_{2,34} = 3,96$, $p = .042$, $\eta^2_p = .189$). Ärsykkeiden tietoinen havaitseminen erosi yhden ja viiden pallon kuvioiden välillä ($p = .037$). Tunnistuksessa ei ollut eroa yhden ja kolmen pallon kuvioiden välillä ($p = .438$). Myöskään kolmen ja viiden pallon kuvioiden välillä eroa ei havaittu ($p = .068$). Toistettujen mittausten t-testin mukaan kuudennen sijainnin havaitseminen ei eroa viidennen sijainnin havaitsemisesta viiden pallon kuvion kohdalla ($t(17) = 1.22$, $p = .24$), joten merkitsevä tulos johtuu todennäköisesti sattumasta.

3.3. Reaktioajat tehtävässä

Vastaamiseen käytetty reaktioaika kasvoi kuormituksen nousun myötä ajallisesti ensimmäisenä esitetyn ärsykkeen kohdalla. Sijainti (6) x Kuormitus (3) ANOVA osoitti, että ärsykkeen sijainnilla on päävaikutus reaktioaikoihin ($F_{5,85} = 21,47$, $p < .001$, $\eta^2_p = .558$). Kuormituksella päävaikutusta ei ollut ($F_{2,34} = 3,92$, $p = .054$, $\eta^2_p = .187$).

Sijainnilla ja kuormituksella havaittiin yhdysvaikutus ($F_{10,170} = 5,42$, $p = .005$, $\eta^2_p = .242$), mikä tarkoittaa sitä, että kuormituksen vaikutus on erilainen eri sijainneissa.

Jatkovertailut tehtiin yksisuuntaisella ANOVAlla. Kuormituksella havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaikutus ensimmäisessä sijainnissa ($F_{2,34} = 7,32$, $p = .010$, $\eta^2_p = .301$) (ks. kuva 7).



Kuva 7. Reaktioaika (ms) Gabor-ärsyksen tietoiseen havaitsemiseen kuormituksen ja ajallisen sijainnin funktiona. Virhepalkit kuvaavat keskivirhettä.

Reaktioajat erosivat sekä yhden ja viiden pallon kuvioiden välillä ($p = .007$) että kolmen ja viiden pallon kuvioiden välillä ($p = .002$). Yhden ja kolmen pallon kuvioiden välillä reaktioajoissa ei ollut eroa ($p = .079$). Kuormituksella ei havaittu tilastollisesti merkitsevää vaikutusta toisessa ($F_{2,34} = .001$, $p = .999$, $\eta^2_p = .000$), kolmannessa ($F_{2,34} = .945$, $p = .345$, $\eta^2_p = .053$), neljännessä ($F_{2,34} = .816$, $p = .451$, $\eta^2_p = .046$), viidennessä ($F_{2,34} = .949$, $p = .397$, $\eta^2_p = .053$), eikä kuudennessa sijainnissa ($F_{2,34} = 1,182$, $p = .319$, $\eta^2_p = .065$).

3.4. Herätevasteet

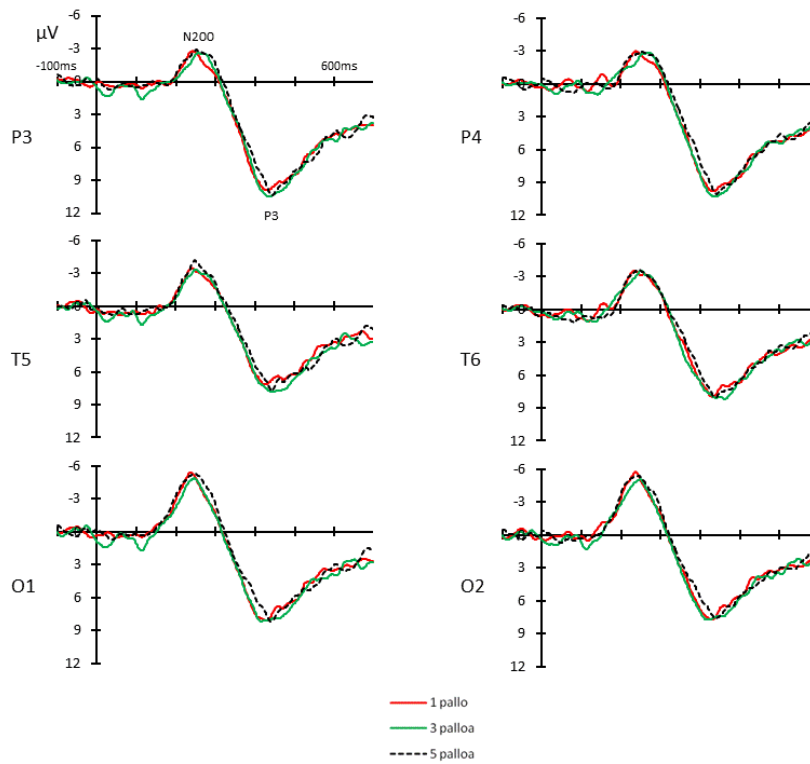
Aikaisemmissa vastaavanlaisissa tutkimuksissa (esimerkiksi Koivisto & Grassini, 2016; Koivisto et al., 2016) visuaalisen tietoisuuden neuraalisia korrelaatioita on havaittu N200

(180-280ms)- ja P3 (350-550ms) -aikaikkunoissa. Nämä N200- ja P3-aikaikkunat näyttävät vastaavan myös tämän tutkimuksen tuloksia (kuva 8), joten analyyseissä käytettiin niitä. Oletetaan, että visuaalisen tietoisuuden korrelaatti VAN näkyy N200-aikaikkunassa siten, että amplitudit ovat negatiivisempia tilanteessa, jossa ärsykkeestä ollaan tietoisia verrattuna tilanteeseen, jossa ärsykettä ei havaita. Vastaavasti aivokorrelaatti Late Positivityn tulisi näkyä P3-aikaikkunassa siten, että amplitudit ovat positiivisempia tilanteessa, jossa ärsykkeestä ollaan tietoisia verrattuna tilanteeseen, jossa ärsykettä ei havaita. Analyyseihin valittiin takaraivolohkon elektrodit O1 ja O2, ohimolohkojen elektrodit T5 ja T6 sekä pääläenlohkon elektrodit P3 ja P4. Tehtävajakson havaitsemistehtävän kuudesta sijainnista ajallisesti ensimmäinen sijainti jätettiin pois ERP-analyyseistä, sillä se poikkesi selvästi muista sijainneista. Ensimmäisen sijainnin tulokset liittyvät todennäköisesti tehtävän vaihtamisen ja mieleen painamisen prosesseihin, ei työmuistissa ylläpidon prosesseihin.

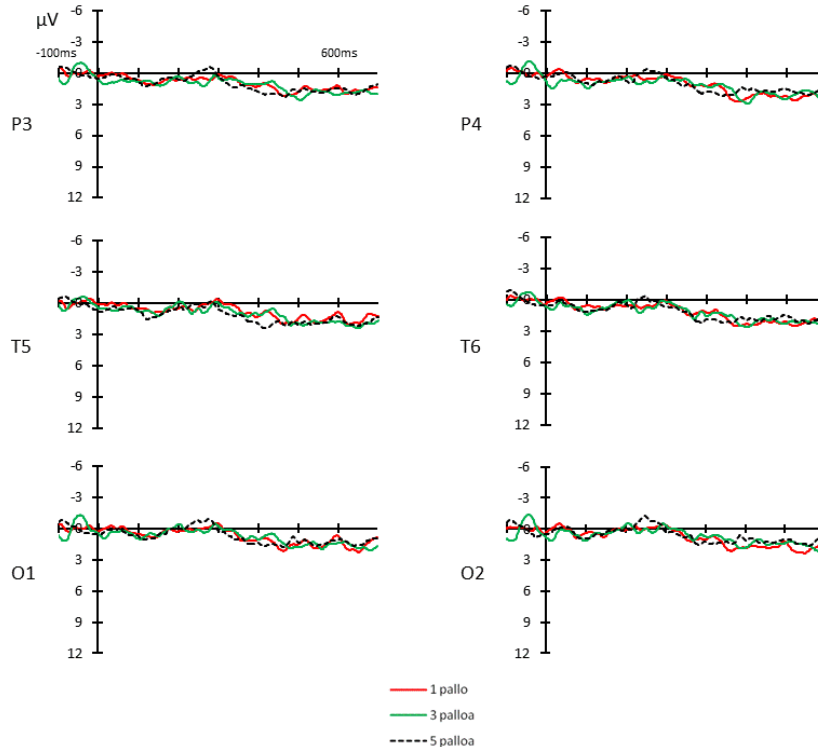
Analyysimenetelmänä käytettiin toistettujen mittausten varianssianalyysiä (ANOVA), joka oli muotoa Aivolohko (3: takaraivolohko, ohimolohko, pääläenlohko) x Aivopuolisko (2) x Kuormitus (3) x Tietoisuus (2).

3.4.1. N200-aikaikkuna (180-280 ms)

N200 -aikaikkunassa tietoisuudella, eli sillä havaitsiko koehenkilö gabor-ärsykkeen vai ei, havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaikutus ($F_{1,17} = 59.84$, $p < .001$, $\eta^2_p = .78$). Tämä tarkoittaa sitä, että tietoisuuden havainnon syntyessä ERP-aaltojen amplitudit ($KA = -2.68$, $KV = 0.43$) (ks. kuva 8.) olivat negatiivisempia verrattuna tilanteeseen, jossa subjektiivista havaintoa ei syntynyt ($KA = 0.29$, $KV = 0.36$) (ks. kuva 9.). Myös aivolohkolla havaittiin päävaikutus ERP-vasteiden amplitudeihin ($F_{2,34} = 25.69$, $p < .001$, $\eta^2_p = .60$). Tätä tutkittiin Fisherin LSD-testillä tehdyllä jatkovertailulla, jossa huomattiin, että takaraivolohkojen amplitudi ($KA = -2.03$, $KV = 0.45$) oli tilastollisesti merkitsevästi negatiivisempi kuin pääläenlohkojen amplitudi ($KA = -0.61$, $KV = 0.33$) ja ohimolohkojen amplitudi ($KA = -0.94$, $KV = 0.31$) (molemmissa $p < .001$) (ks. kuva 11.). Tätä negatiivisen vasteen voimistumista erityisesti takaraivolohkojen alueella tietoisien ja ei-tietoisien tilanteiden välillä nimitetään VAN:iksi (Visual Awareness Negativity) (kuva 10 & 11.).

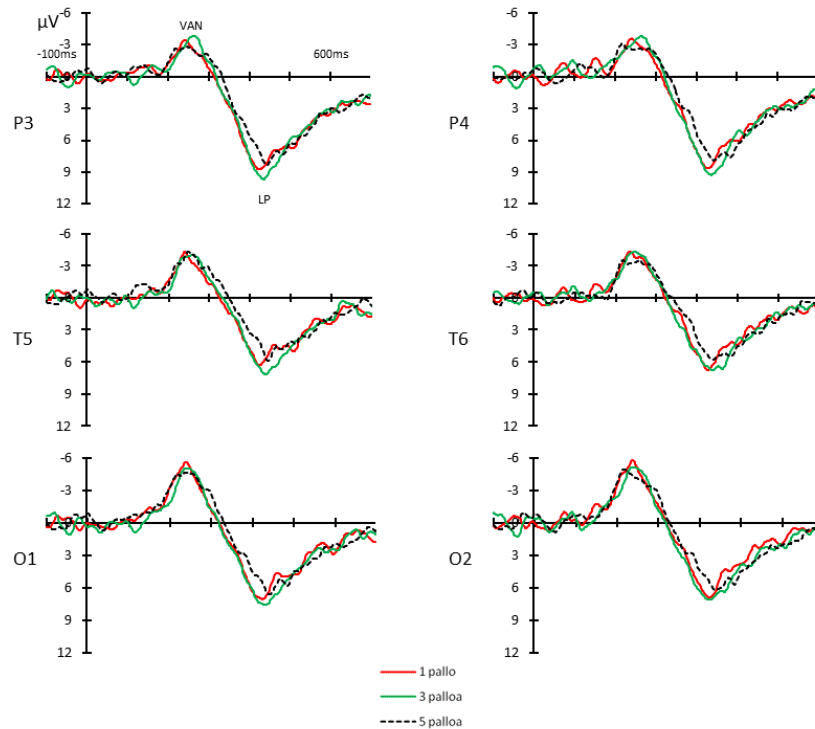


Kuva 8. Herätevasteet kuormituksen funktiona silloin, kun koehenkilö raportoi havainneensa ärsykkeen.



Kuva 9. Herätevasteet kuormituksen funktiona tilanteissa, joissa koehenkilö ei raportoinut havaitsevansa ärsykettä.

Aivopuoliskolla ($F_{1,17} = .85$, $p = .37$, $\eta^2_p = .048$) tai työmuistin kuormituksella ($F_{2,34} = .89$, $p = .42$, $\eta^2_p = .050$) ei havaittu päävaikutusta. Aivolohkon ja tietoisuuden välillä havaittiin yhdysvaikutus ($F_{2,34} = 26.51$, $p < .001$, $\eta^2_p = .61$), mikä tarkoittaa sitä, että tietoisuuden vaikutus erosi eri aivolohkoilla. Muiden muuttujien kohdalla yhdysvaikutukset eivät olleet merkitseviä ($p > .19$, $\eta^2_p < .12$).



Kuva 10. Heräteasteiden erotuskäyrät (tietoisten ja ei-tietoisten tilanteiden erotus) kuormituksen funktiona

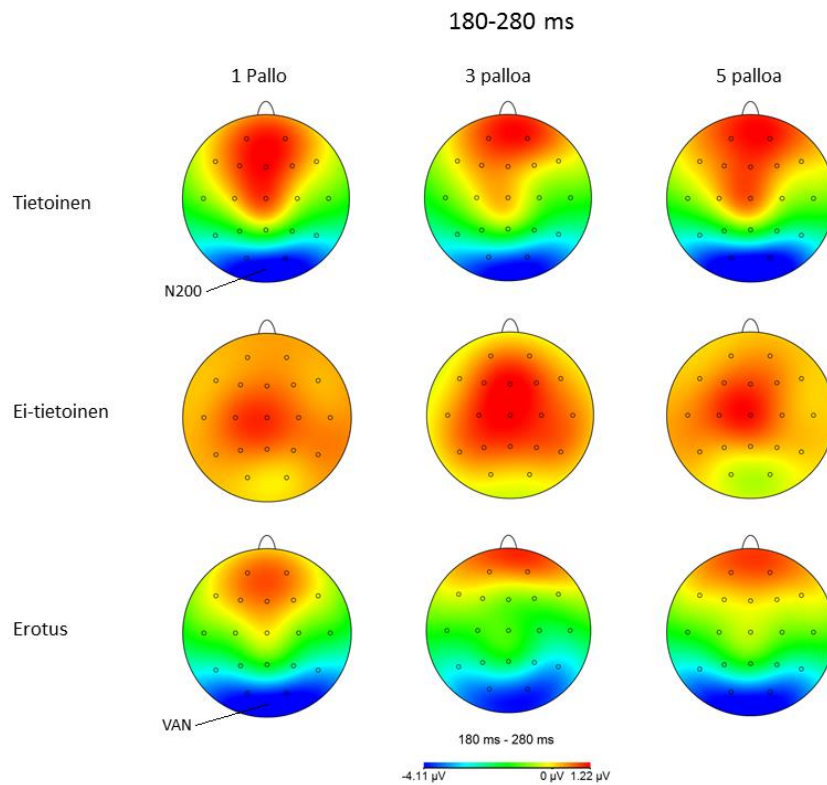
Koska aivolohkon ja tietoisuuden välillä havaittiin yhdysvaikutus, tietoisuuden vaikutusta tarkasteltiin erikseen ohimo-, pääläen- ja takaraivolohkon elektrodeissa. Tietoisuuden vaikutus oli voimakkain takaraivolohkojen kohdalla ($F_{1,17} = 65.85$, $p < .001$, $\eta^2_p = .80$). Vaikutus oli merkitsevä myös pääläenlohkon elektrodeissa ($F_{1,17} = 41.68$, $p < .001$, $\eta^2_p = .71$) ja ohimolohkojen elektrodeissa ($F_{1,17} = 53.88$, $p < .001$, $\eta^2_p = .76$).

3.4.2. P300-aikaikkuna (350-550ms)

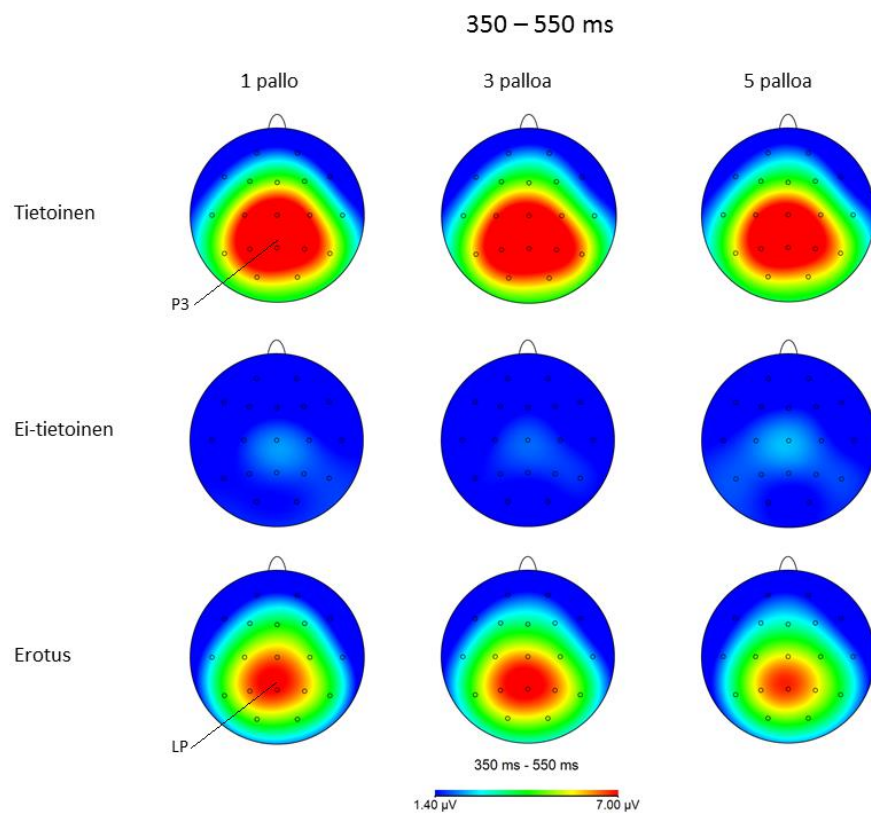
P300-aikaikkunassa tietoisuudella havaittiin päävaikutus P300-aikaikkunassa ($F_{1,17} = 60.81$, $p < .001$, $\eta^2_p = .78$). Tämä tarkoittaa sitä, että tietoisien havainnon syntyessä ERP-aaltojen amplitudit (KA = 6.62, KV = 0.81) (ks. kuva 8.) olivat positiivisempia kuin tilanteessa, jossa tietoista havaintoa ei syntynyt (KA = 1.55, KV = 0.41) (ks. kuva 9.). Myös aivolohkolla havaittiin päävaikutus P-300 aikaikkunassa ($F_{2,34} = 11.41$, $p < .001$, $\eta^2_p = .42$). Tätä tutkittiin Fisherin LSD-testillä tehdyissä jatkovertailuissa, joissa huomattiin, että päälaenlohkojen amplitudi (KA = 4.76, KV = 0.55) oli positiivisempi kuin takaraivolohkojen (KA = 3.64, KV = 0.61) tai ohimolohkojen (KA = 3.85, KV = 0.53) amplitudi (molemmissa $p = .001$) (ks. kuva 12.). Tätä positiivisen vasteen voimistumista erityisesti päälaenlohkojen alueilla tietoisien ja ei-tietoisien tilanteiden välillä nimitetään LP:ksi (Late Positivity) (Kuva 10 ja 12.). Takaraivolohkojen ja ohimolohkojen amplitudit eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($p = .43$).

Aivopuoliskolla tai työmuistin kuormituksella ei havaittu päävaikutusta ($p > .05$). Sekä aivolohkon ja aivopuoliskon ($F_{2,34} = 4.97$, $p = .013$, $\eta^2_p = .23$) että aivolohkon ja tietoisuuden ($F_{2,34} = 22.52$, $p < .001$, $\eta^2_p = .57$) välillä havaittiin yhdysvaikutus. Takaraivolohkoilla oikean aivopuoliskon amplitudi (KA = 3.77, KV = .63) oli suurempi kuin vasemman aivopuoliskon amplitudi (KA = 3.51, KV = .59) ($p = .022$). Päälaen- ja ohimolohkoilla aivopuoliskojen ero ei ollut merkitsevä ($p > .05$). Tietoisuuden ja kuormituksen välillä ei havaittu yhdysvaikutusta ($F_{2,34} = .81$, $p = .45$, $\eta^2_p = .045$). Muiden muuttujien kohdalla yhdysvaikutuksia ei havaittu.

Aivolohkon ja tietoisuuden yhdysvaikutuksen takia tietoisuuden vaikutusta tarkasteltiin erikseen takaraivo-, päälaen- ja ohimolohkojen elektrodeissa. Tietoisuuden vaikutus oli suurin päälaenlohkoilla ($F_{1,17} = 84.90$, $p < .001$, $\eta^2_p = .83$). Tietoisuuden vaikutus oli merkitsevä myös takaraivolohkoilla ($F_{1,17} = 42.77$, $p < .001$, $\eta^2_p = .72$) sekä ohimolohkoilla ($F_{1,17} = 48.12$, $p < .001$, $\eta^2_p = .74$).



Kuva 11. Aivosähkökäyrän amplitudit kuormituksen funktiona N200-aikaikkunassa. VAN näkyy sinisenä kohdassa ”erotus” takaraivolohkojen elektrodeissa.



Kuva 12. Aivosähkökäyrän amplitudit kuormituksen funktiona P3-aikaikkunassa. LP näkyy punaisena kohdassa ”erotus” päälaenlohkojen elektrodeissa.

4. Pohdinta

Tässä tutkimuksessa selvitettiin työmuistin ja tietoisien näköhavainnon yhteyttä tietoisien havaitsemistehtävän ja siihen liittyvien aivosähkökäyrän korrelaattien avulla. Tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella kumpi teoriasuuntauksista, varhaisen vaiheen vai myöhäisen vaiheen teorit, saa tukea. Tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako työmuistin kuormitus fenomenaaliseen tietoisuuteen eli subjektiiviseen havaintoon, kuten myöhäisen vaiheen teorit ennustavat vai kohdistuuko kuormituksen vaikutus vasta reflektiivisen tietoisuuden prosesseihin, kuten varhaisen vaiheen teorit olettavat. Hypoteesit johdettiin varhaisen ja myöhäisen vaiheen teorioiden pohjalta. Varhaisen vaiheen teorioista (Lamme & Roelfsema, 2000; Lamme, 2003) johdetun hypoteesin mukaan työmuistin kuormittaminen ei vaikuta tietoiseen havaitsemiseen, joten työmuistin kuormituksen vaikutus tulisi näkyä vasta havainnon jälkiprosessointiin liittyvässä LP-korrelaatissa. Myöhäisen vaiheen teorioista (Dehaene & Changeaux, 2011; Dehaene, 2014) johdetun hypoteesin mukaan työmuistin kuormituksen tulisi näkyä kaikissa tietoisuuteen liittyvissä korrelaateissa, eli VANissa ja LPssä. Myöhäisen vaiheen teorit eivät erottele fenomenaalista ja reflektiivistä tietoisuutta toisistaan

Tutkimuksessa tarkasteltiin sekä työmuistin kuormituksen toiminnallisia vaikutuksia että sähköfysiologisia vaikutuksia. Toiminnallisesti työmuistin kuormittaminen vaikutti tässä tutkimuksessa havaitsemistehtävän ärsykkeiden tietoiseen havaitsemiseen sekä reaktioaikoihin ainoastaan ensimmäisessä ajallisessa sijainnissa. Tietoiseen havaitsemiseen liittyvät sähköfysiologiset vasteen VAN ja LP esiintyvät tutkimuksessa odotetusti. VAN havaittiin 180-280 millisekunnin aikavälillä voimistuneena negatiivisuutena erityisesti takaraivolohkojen alueilta mitattuna tietoisiin ärsykkeisiin verrattuna ei-tietoisiin ärsykkeisiin. LP havaittiin voimistuneena positiivisuutena 350-550 millisekunnin aikavälillä erityisesti päälaenlohkojen alueilta mitattuna tietoisien havaintojen kohdalla verrattuna ei-tietoisiin havaintoihin. Työmuistin kuormitustasolla ei havaittu vaikutusta VANin amplitudeihin. Työmuistin kuormitus ei vaikuttanut myöskään LP:n amplitudeihin, mutta vaikutus on nähtävissä lyhyemmällä aikavälillä erityisesti LP:n alkuosassa (ks. kappale 4.3.).

4.1. Tutkimustulokset

4.1.1. Toiminnalliset tulokset

Tulosten perusteella näyttää, että kuvioilla onnistuttiin kuormittamaan tutkittavien työmuistia halutulla tavalla. Työmuistitehtävän eri kuormitustason kuvioiden tunnistustarkkuudessa oli eroja. Tutkittavat muistivat yhden pallon kuvion muita kuvioita helpommin. Vaikka kolmen ja viiden pallon kuvioiden muistaminen ei eronnut toisistaan, tutkittavien vastausajat olivat sitä hitaampia mitä enemmän kuviossa oli palloja. Tämä kertoo siitä, että tutkittavat joutuivat prosessoimaan viiden pallon kuviota enemmän kuin kahta helpompaa. Täten vaikuttaa siltä, että työmuistia onnistuttiin kuormittamaan halutulla tavalla.

Havaitsemistehtävässä käytettiin vähennetyn kontrastin menetelmää, jossa esitettyjen gabor-ärsykkeiden kontrasti oli määritelty lähelle tutkittavien subjektiivisen visuaalisen havaitsemisen kynnystä. Näin luotiin tilanne, jossa noin 50 % esitetyistä ärsykkeistä havaittiin tietoisesti ja 50 % jäi tietoisuuden ulkopuolelle. Työmuistiärsykkeen kuormittavuuden kasvu vaikutti havaitsemistehtävän ärsykkeiden tietoiseen havaitsemiseen ja reaktioaikoihin ainoastaan ensimmäisessä sijainnissa: tässä kohdassa tietosten havaintojen prosentuaalinen osuus laski kuormitustason noustessa. Viiden ja kolmen pallon kuormituksen aikana ärsyke nähtiin heikommin kuin yhden pallon kuormituksen aikana. Myös vastaamiseen käytetty reaktioaika kasvoi kuormituksen nousun myötä ajallisesti ensimmäisenä esitetyn ärsykkeen kohdalla. Vastaamiseen kuluva reaktioaika oli hitaampi viiden pallon kuormituksen aikana kuin kahden muun kuvion kohdalla. Voidaan todeta, että kuormitus ei vaikuttanut esitettyjen ärsykkeiden tietoiseen havaitsemiseen muuten kuin ensimmäisessä sijainnissa esitetyn ärsykkeen kohdalla.

4.1.2. Sähköfysiologiset ERP-tulokset

Sähköfysiologisia vasteita analysoitiin tässä tutkimuksessa sekä N200 että P300-aikaikkunassa. P1-vastetta ei analysoitu, sillä näyttää siltä, että se ei ole fenomenaalisen tietoisuuden ensisijainen korrelaatti (Koivisto ym., 2008; Zhang & Luck, 2009; Vogel & Luck, 2000; Railo ym., 2011). Lisäksi Pinsin ja ffytchen (2003) raportoima visuaalisen tietoisuuden P1-korrelaatti on saatu esille lähinnä käyttämällä bistabiileja ärsykeitä, kuten Neckerin kuutiota (Kornmeier & Bach, 2005) ja kahden silmän kilpailutilanteessa (Roeber ym., 2008), eikä sitä ole saatu toistettua matalan kontrastin ärsykkeillä

(Koivisto & Grassini, 2016; Koivisto ym., 2016). Tässä tutkimuksessa ei myöskään näkynyt selkeää P1-potentiaalia, joten sen analysoiminen ei ollut mielekäästä.

Tietoiseen kokemukseen liittyvät sähköfysiologiset heräteasteet esiintyivät tutkimuksessa odotetusti. Ensimmäinen havaittu sähköfysiologinen korrelaatti visuaaliselle tietoisuudelle oli Visual Awareness Negativity eli VAN (Britz, Landis & Michel, 2009; Koivisto & Revonsuo, 2003; 2008a; Koivisto, Kainulainen, & Revonsuo, 2009; Koivisto & Grassini, 2016; Koivisto ym., 2016; Railo ym., 2015; Sergent, Baillet, Dehaene, 2005; Wilenius-Emet, Revonsuo & Ojanen, 2004; Wilenius & Revonsuo, 2007). Se havaittiin N200-aikaikkunassa 180–280 millisekunnin kohdalla. ERP-aaltojen amplitudit olivat negatiivisempia tietoisuuden havainnon syntyessä (KA = -2.68, KV = 0.43) verrattuna tilanteeseen, jossa tietoisuutta ei syntynyt (KA = 0.29, KV = 0.36). Amplitudien negatiivisuus oli suurin takaraivolohkojen elektrodeista mitattuna. VAN esiintyi yhtä voimakkaana kaikilla eri kuormitustasoilla, joten työmuistia kuormittavan ärsykkeen kuormitustasolla ei ollut vaikutusta VANin amplitudiin. Tämä tukee ajatusta, että visuospatiaalinen työmuisti ja fenomenaalinen tietoisuus eivät jaa yhteisiä prosesseja.

Ajallisesti toinen sähköfysiologinen korrelaatti Late Positivity, eli LP (Del Cul ym., 2007; Kaernbach ym., 1999; Koivisto & Revonsuo, 2008a; Koivisto & Grassini, 2016; Lamy, Salti, & Bar-Haim, 2009) esiintyi P300-aikaikkunassa 350–550 millisekunnin kohdalla. ERP-aaltojen amplitudit olivat positiivisempia tietoisuuden havainnon kohdalla (KA = 6.62, KV = 0.81) verrattuna tilanteeseen, jossa tietoisuutta ei syntynyt (KA = 1.55, KV = 0.41). Tietoisuuden vaikutus oli suurin päälaenlohkojen elektrodeista mitattuna, mutta se oli merkitsevä myös ohimolohkojen ja takaraivolohkojen elektrodeista mitattuna. LP esiintyi yhtä voimakkaana kaikilla eri kuormitustasoilla, mikä tarkoittaa sitä, että työmuistia kuormittavan ärsykkeen kuormitustasolla ei ollut vaikutusta LP:n amplitudiin. Tämän tuloksen pohjalta voidaan todeta, että visuospatiaalinen työmuisti ja reflektiivinen tietoisuus eivät jaa yhteisiä prosesseja vaan toimivat toisistaan erillisinä prosesseinaan.

4.2. Tietoisuuden ja visuaalisen työmuistin yhteys

Tietoisuus jaettiin tässä tutkimuksessa Blockin (1995, 2001) ja Revonsuon (2006) jaottelun mukaan fenomenaaliseen ja reflektiiviseen tietoisuuteen. Työmuistin kuormittaminen kohdistettiin Baddeleyn ja Hitchin (1974) mallin mukaiseen

visuospatiaaliseen lehtiöön.

4.2.1. Fenomenaalisen tietoisuuden ja visuaalisen työmuistin yhteys

Tämän tutkimuksen tulosten pohjalta näyttää siltä, että työmuisti ja fenomenaalinen tietoisuus toimivat toisistaan riippumatta, sillä työmuistin kuormittaminen ei heikentänyt gabor-ärsykkeiden havaitsemista, eikä se vaikuttanut VAN-aallon amplitudeihin. Tämä tulos on yhdenmukainen varhaisen vaiheen teorioiden (Lamme & Roelfsema, 2000; Lamme, 2003) oletuksen kanssa, joiden mukaan fenomenaalisen tietoisien havainnon syntyminen tapahtuu ennen korkeamman tasoisen tiedonkäsittelyn, kuten työmuistin, aktivoitumista. Teorian mukaan tietoinen havainto syntyy aivojen takaosan näköalueilla kaksisuuntaisen, sekä eteen- että taaksepäin suuntautuvan, tiedonkäsittelyn tuloksena. Tästä aivojen takaosissa sijaitsevasta alueesta käytetään myös nimitystä 'hot zone' (Koch ym. 2016). Tämän tutkimuksen tulos tukee Kochin ja hänen kollegoidensa ajatusta, jonka mukaan fenomenaalinen tietoisuus syntyy tällä alueella ennen prosessoinnin etenemistä otsalohkojen alueille. Myös varhaisen vaiheen teorioiden mukaan vasta 'hot zonella' tapahtuvan prosessoinnin jälkeen aivojen aktivaatio laajenee otsalohkojen alueille, joiden toiminnan tiedetään olevan keskeinen työmuistin prosesseille (Naghavi & Nyberg, 2005). Varhaisen vaiheen teorioiden mukaan työmuistin toiminta liittyy tietoisien havainnon jälkiprosessointiin, eikä tästä syystä vaikuta fenomenaalisen tietoisuuden prosesseihin.

Tässä tutkimuksessa työmuistin kuormitus ei vaikuttanut esitettyjen gabor-ärsykkeiden tietoiseen havaitsemiseen muuten kuin ensimmäisessä sijainnissa esitetyn ärsykkeen kohdalla. Nämä behavioraaliset tulokset replikoivat De Loofin ja hänen kollegoidensa (2015) tulokset ja laajentavat niitä. Heidän behavioraalisessa tutkimuksessaan todettiin työmuistin visuospatiaalisen lehtiön kuormituksen vaikutus subjektiiviseen näköhavaintoon. De Loofin ja hänen kollegoidensa mukaan työmuistin visuospatiaalisen osan kuormittaminen hidasti vastausaikoja havaitsemistehtävässä, mikä voi viitata siihen, että fenomenaalinen visuaalinen tietoisuus ja työmuisti jakavat yhteisiä toiminnallisia prosesseja. Heidän kokeessaan työmuistia kuormittavan tehtävän jälkeen esitettiin vain yksi havaitsemiseen liittyvä ärsyke. Tässä tutkimuksessa työmuistia kuormittavan kuvion jälkeen esitettiin yhden ärsykkeen sijaan kuusi havaitsemiseen liittyvä ärsykettä. Tässä tutkimuksessa kuormituksen vaikutus näkyi vain ensimmäiseksi esitetyn havaitsemistehtävän ärsykkeen kohdalla, mikä viittaa siihen, että De Loofin ym. (2015) tulokset johtuvat siitä, että koehenkilöiden

tarkkaavaisuus on havaitsemistehtävän aikana ollut suunnattuna työmuistiärsykkeen mieleen koodaamiseen, eikä suoraa yhteyttä visuaalisen tietoisuuden ja visuospatiaalisen työmuistin välillä todellisuudessa esiinny. Mikäli työmuisti ja fenomenaalisen tietoisuuden prosessit ovat päällekkäisiä, työmuistin kuormittamisen olisi pitänyt vaikuttaa kaikkien tehtäväjakson aikana esitetyn kuuden havaitsemistehtävän ärsykkeen tietoiseen havaitsemiseen. Myös Ruohola (2015) päätyi tutkimuksessaan samaan päätelmään.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat yhteneväisiä useiden fenomenaalista tietoisuutta tutkineiden ERP-tutkimusten kanssa (Koivisto & Revonsuo, 2003; 2008a; Koivisto & Grassini, 2016; Koivisto ym., 2016; Railo ym., 2015). Yhdessä näiden tutkimustulosten kanssa näyttää siltä, että visuaalisen tietoisuuden varhaisin korrelaatti on N200-aikaikkunassa esiintyvä Visual Awareness Negativity, VAN.

4.2.2. Reflektiivisen tietoisuuden ja visuaalisen työmuistin yhteys

Tämän tutkimuksen mukaan visuospatiaalinen työmuisti ja reflektiivinen tietoisuus toimivat toisistaan riippumatta, sillä työmuistin kuormittaminen ei häirinnyt gabor-ärsykkeiden havaitsemista, eikä se vaikuttanut LP-aallon amplitudeihin P300-aikaikkunassa. Tulos on ristiriidassa varhaisen vaiheen teorioiden ajatusten kanssa. Sekä Lammen ja Roelfseman (2000) että Lammen (2003) mukaan tietoisien havainnon syntymisen jälkeen aivojen prosessointi laajenee työmuistista vastaaville alueille havainnon jälkiprosessointia varten, eli työmuistin kuormituksen kasvaminen olisi pitänyt vaimentaa LP-aallon amplitudeja ja häiritä havainnon jälkiprosessointia. Näin ei kuitenkaan tapahtunut. Tämä tulos on ristiriidassa myös myöhäisen vaiheen teorioiden oletusten kanssa. Neuraalisen työtilan teoriassa (Dehaene & Changeaux, 2011; Dehaene, 2014) 'globaalin työtilan' käsite muistuttaa työmuistin ja reflektiivisen tietoisuuden käsitettä. Teorian mukaan havainnosta tullaan tietoiseksi, vasta kun prosessointi etenee globaaliin työtilaan. Tätä aikaisempi tiedonkäsittely tapahtuu teorian mukaan tiedostamattomasti. Myöhäisen vaiheen teorialt olettavat työmuistiin liittyvien alueiden osallistuvan tietoisien havainnon syntymiseen, eivätkä ne tee erottelua fenomenaalisen ja reflektiivisen tietoisuuden välillä. Niiden mukaan työmuistin kuormituksen olisi pitänyt häiritä tietoisien fenomenaalisen kokemuksen syntymistä ja vaimentaa kaikkia siihen liittyviä sähköfysiologisia korrelaatteja.

4.3. Kriittinen tarkastelu ja jatkotutkimukset

Tässä tutkimuksessa työmuistia kuormittavan kuvion kuormitustasolla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta LP:n amplitudeihin. Sekä hypoteesien että aikaisempien tutkimuksien perusteella vaikutus olisi ollut odotettavissa. Tämän tutkimuksen tulosten pohjalta jää arvoitukseksi viittaako merkitsevyyden puuttuminen siihen, että visuospatiaalinen työmuisti ja reflektiivinen tietoisuus toimivat toisistaan erillisinä prosesseina, vai esimerkiksi siihen, että tässä tutkimuksessa ei onnistuttu kuormittamaan työmuistia halutulla tavalla. Toisaalta kuormituksen vaikutus LP:hen näkyy silmämääräisesti kuvassa 10, etenkin LP:n alkuosassa. Tästä syystä tarkastelin pääanalyysien lisäksi LP:n amplitudeja myös lyhyemmässä aikaikkunassa (380–420 ms). Kuvasta 10 näkyy, että vaikeimman kuormitustason kohdalla ERP-aallot ovat vähemmän positiivisia, kuin kahden muun kuormitustason kohdalla. Tässä aikaikkunassa kuormituksen ja tietoisuuden yhdysvaikutuksen tilastollinen merkitsevyys oli erittäin lähellä merkitsevää ($p = .051$). Olisi mielenkiintoista selvittää, olisiko tulos ollut merkitsevä vaikeammin muistettavilla kuvioilla, sillä tässä tutkimuksessa kolmen ja viiden pallon kuvioiden muistamisessa ei ollut eroja. Tämä voi vähentää kuormituksen vaikutusten luotettavuutta ja selittää hypoteesien vastaista tulosta.

380–420 millisekunnin aikaikkunan lähes merkitsevä tulos on johdonmukainen Ruoholan (2015) pro gradun tulosten kanssa, jossa kuormituksella havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaikutus LP:n amplitudeihin P300-aikaikkunassa. Ruoholan tulokset tukevat varhaisen vaiheen teorioiden näkemystä, jonka mukaan reflektiivinen tietoisuus on työmuistissa tapahtuvaa tietoisesti havaitun ärsykkeen jatkokäsittelyä. Ruoholan tutkimuksessa kuormitettiin työmuistin fonologista osaa. On myös mahdollista, että työmuistin fonologisella ja visuospatiaalisella komponentilla on erilainen vaikutus tietoisien kokemuksen prosessoinnissa ja sen takia tutkimukseni tulos ei ollut merkitsevä. Tämän tutkimuksen tulos antaa kuitenkin viitteitä siihen, että jos visuospatiaalisen työmuistin kuormittamisella on vaikutus tietoisuuden prosesseihin, se vaikuttaa reflektiivisen tietoisuuden tasolla, ei fenomenaalisen tietoisuuden tasolla.

Tässä tutkimuksessa työmuistin kuormituksella havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaikutus myös kuudennessa ajallisessa sijainnissa (ks. kappale 3.2.). Tässä sijainnissa viiden pallon kuvion kuormitus erosi kahdesta muusta kuormitustasosta. Tulos voi mahdollisesti johtua siitä, että vaikeamman kuvion ylläpitäminen mielessä on

kuormittavampaa pidemmällä aikavälillä ja kuormituksen vaikutus tulee tämä vuoksi esille vasta kuudennen sijainnin kohdalla. Eli kuormitus voi alkaa viedä resursseja vasta kun aikaa kuluu enemmän. Toisaalta jos näin on, olisi odotettavissa, että reaktioajat hidastuisivat silloin, kun kuormitus alkaa viedä resursseja. Näin ei kuitenkaan tapahtunut. Myöskään toistettujen mittausten t-testin mukaan kuudennen sijainnin havaitseminen ei eronnut viidennen sijainnin havaitsemisesta viiden pallon kuvion kohdalla, joten tulos johtuu todennäköisesti sattumasta.

Tässä tutkimuksessa käytettiin ERP-metodia, jonka spatiaalinen resoluutio eli paikallinen erottelukyky on heikko. Tämä tarkoittaa sitä, että ERP-vasteiden eri aaltoja on vaikea yhdistää suoraan tietyn aivoalueen toimintaan. Muilla aivokuvantamismenetelmillä, kuten magneto elektroenkefalografialla (MEG) ja toiminnallisella magneettikuvauksella (fMRI) voitaisiin saada tarkempaa tietoa fenomenaalisen tietoisuuden ja työmuistin neuraalisesta yhteydestä. Pelkän EEG:n perusteella tarkkoja tulkintoja tästä on vaikea tehdä. Esimerkiksi eräässä Meg-tutkimuksessa (Vanni, Revonsuo, Saarinen & Hari, 1996) huomattiin, että tietoisuus korreloi voimakkaasti oikean lateraalisen takaraivolohkon kanssa. Myös Andersen, Pedersen, Sandberg ja Overgaard (2016) huomasivat tuoreessa MEG-tutkimuksessaan, että takaraivolohkojen aktivaatio on voimakkaammin yhteydessä fenomenaalisen tietoisuuden syntymiseen kuin otsalohkojen aktivaatio. Tämän tutkimuksen menetelmien avulla tietoisuuden tai työmuistin prosesseja ei pystytä paikantamaan näin tarkasti.

Tämä tutkimus on osa laajempaa projektia, jonka tarkoituksena on tutkia työmuistin eri komponenttien yhteyttä fenomenaaliseen tietoisuuteen. Jokaisessa osatutkimuksessa keskitytään yhteen työmuistin komponenteista. Ruoholan (2015) pro gradu -tutkielmassa kuormitettiin työmuistin fonologista komponenttia. Tässä tutkimuksessa kuormituksen kohteena oli visuospatiaalinen komponentti. Vielä on epäselvää, kuinka työmuistin keskusyksikön kuormittaminen vaikuttaa visuaalisen tietoisuuden prosesseihin. Tästä on parhaillaan tekeillä tutkimus, jossa työmuistin keskusyksikköä kuormitetaan päässä laskutehtävän avulla. Päässä laskutehtävässä yhdistyvät tiedon ylläpito ja sen prosessointi. Näin kuormitus kohdistetaan työmuistin keskusyksikköön. Yhdessä nämä kolme tutkimusta voivat antaa tarkempaa tietoa työmuistin prosessien osallistumisesta visuaalisen tietoisuuden havaitsemisen prosesseihin sekä tietoisuuden luonteesta yleensä, erityisesti siitä, liittyykö fenomenaaliseen tietoisuuteen korkeamman

asteista prosessointia vai ei.

4.4. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa selvitettiin visuospatiaalisen työmuistin ja tietoisien näköhavainnon yhteyttä. Ajallisesti ensimmäinen fenomenaalisen tietoisuuden sähköfysiologinen korrelaatti oli VAN. Tätä seurasi toinen korrelaatti LP. Työmuistin kuormittaminen ei häirinnyt visuaalisten ärsykkeiden havaitsemista toiminnallisella tasolla, eikä se vaikuttanut kummankaan havaitun sähköfysiologisen korrelaatin amplitudeihin. Tämän tutkimuksen tulosten pohjalta näyttää siltä, että työmuisti ja visuaalinen fenomenaalinen tietoisuus eivät jaa yhteisiä kognitiivisia resursseja. Tulokset tukevat varhaisen vaiheen teorioista johdettua hypoteesia, jonka mukaan työmuisti ja visuaalinen tietoisuus toimivat toisistaan riippumatta. Vaikuttaa siltä, että subjektiivinen tietoinen kokemus eli fenomenaalinen havainto syntyy aivoissa ennen työmuistin prosessien aktivoitumista.

5. LÄHTEET

Andersen, L. M., Pedersen, M. N., Sandberg, K., & Overgaard, M. (2016). Occipital MEG activity in the early time range (< 300 ms) predicts graded changes in perceptual consciousness. *Cerebral Cortex*, *26*, 2677–2688.

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

Bar, M., Tootell, R. B., Schacter, D. L., Greve, D. N., Fischl, B., Mendola, J. D., ... & Dale, A. M. (2001). Cortical mechanisms specific to explicit visual object recognition. *Neuron*, *29*, 529–535.

Baars, B. J. (1998). Metaphors of consciousness and attention in the brain. *Trends in Neurosciences*, *21*, 58–62.

Baars, B. J., & Franklin, S. (2003). How conscious experience and working memory interact. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 166–172.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, *8*, 47–89.

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 417–423.

Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*, 1–29.

Block, N. (1995). How many concepts of consciousness?. *Behavioral and Brain Sciences*, *18*, 272–287.

Block, N. (2001). Paradox and cross purposes in recent work on consciousness. *Cognition*, *79*, 197–219.

- Breitmeyer, B., Ögmen, H. (2006). *Visual Masking*. Oxford, NY: Oxford University Press.
- Britz, J., Landis, T., & Michel, C. M. (2009). Right parietal brain activity precedes perceptual alternation of bistable stimuli. *Cerebral Cortex*, *19*, 55–65.
- Busch, N. A., Fründ, I., & Herrmann, C. S. (2010). Electrophysiological evidence for different types of change detection and change blindness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*, 1852–1869.
- Chalmers, D. J. (2000). What Is a Neural Correlate of Consciousness?. Teoksessa Metzinger M. (toim.), *Neural correlates of consciousness: Empirical and conceptual questions*, (s. 17–40). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Dehaene, S. (2014). *Consciousness and the brain: Deciphering how the brain codes our thoughts*. New York: Penguin Group.
- Dehaene, S., Changeux, J.-P. (2011). Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron*, *70*, 200–227.
- Del Cul, A., Baillet, S., & Dehaene, S. (2007). Brain dynamics underlying the nonlinear threshold for access to consciousness. *PLOS Biology*, *5*, 260.
- Del Cul, A., Dehaene, S., Reyes, P., Bravo, E., & Slachevsky, A. (2009). Causal role of prefrontal cortex in the threshold for access to consciousness. *Brain*, *132*, 2531–2540.
- Degerman, A., Salmi, J., Alho, K., & Rinne, T. (2006) Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A. Revonsuo (toim.), *Mieli ja aivot; kognitiivisen neurotieteen oppikirja*, (s.105-110) Turku: Turun yliopisto.
- De Loof, E., Verguts, T., Fias, W., & Van Opstal, F. (2013). Opposite effects of working memory on subjective visibility and priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*, 1959–1965.

- De Loof, E., Poppe, L., Cleeremans, A., Gevers, W., & Van Opstal, F. (2015). Different effects of executive and visuospatial working memory on visual consciousness. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *77*, 2523–2528.
- Dehaene, S. & Naccache, L. (2001) Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, *79*, 1–37.
- Frässle, S., Sommer, J., Jansen, A, Naber, M. & Einhäuser, W. (2014) Binocular rivalry: frontal activity relates to introspection and action but not to perception. *The Journal of Neuroscience*, *34*, 1738–1747.
- Gayet, S., Paffen, C. L., & Van der Stigchel, S. (2013). Information matching the content of visual working memory is prioritized for conscious access. *Psychological science*, *24*, 2472–2480.
- Kaernbach, C., Schröger, E., Jacobsen, T., Roeber, U. (1999). Effects of consciousness on human binocular rivalry. *NeuroReport* *10*, 713–716.
- Kanai, R., & Tsuchiya, N. (2012). Qualia. *Current Biology*, *22*, 392–396.
- Koch, C., Massimini, M., Boly, M., & Tononi, G. (2016). Neural correlates of consciousness: progress and problems. *Nature Reviews Neuroscience*, *17*, 307–321.
- Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2003). An ERP study of change detection, change blindness, and visual awareness. *Psychophysiology*, *40*, 423–429
- Koivisto, M., Revonsuo, A., & Lehtonen, M. (2006). Independence of visual awareness from the scope of attention: an electrophysiological study. *Cerebral Cortex*, *16*, 415–424.
- Koivisto, M., Revonsuo, A., & Salminen, N. (2005). Independence of visual awareness from attention at early processing stages. *NeuroReport*, *16*, 817–821.
- Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2007). Electrophysiological correlates of visual consciousness and attention. *NeuroReport*, *18*, 753–756.

- Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2008a). Comparison of event-related potentials in attentional blink and repetition blindness. *Brain Research*, *16*, 115–126.
- Koivisto, M., Lähteenmäki, M., Sørensen, T. A., Vangkilde, S., Overgaard, M., & Revonsuo, A. (2008). The earliest electrophysiological correlate of visual awareness?. *Brain and Cognition*, *66*, 91–103.
- Koivisto, M., Kainulainen, P., & Revonsuo, A. (2009). The relationship between awareness and attention: Evidence from ERP responses. *Neuropsychologia*, *47*, 2891–2899.
- Koivisto, M. & Revonsuo A. (2010) Event-related brain potential correlates of visual awareness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *34*, 922–934.
- Koivisto, M., & Grassini, S. (2016) Neural processing around 200ms after stimulus-onset correlates with subjective visual awareness. *Neuropsychologia*, *84*, 235–243.
- Koivisto, M., Salminen-Vaparanta, N., Grassini, S., & Revonsuo, A. (2016). Subjective visual awareness emerges prior to P3. *European Journal of Neuroscience*, *43*, 1601–1611.
- Kornmeier, J., & Bach, M. (2005). The Necker cube—an ambiguous figure disambiguated in early visual processing. *Vision Research*, *45*, 955–960.
- Lamme, V. A. F. (2003). Why visual attention and awareness are different. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 12–18.
- Lamme, V. A., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, *23*, 571–579.
- Lamy, D., Salti, M., & Bar-Haim, Y. (2009). Neural correlates of subjective awareness and unconscious processing: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*, 1435–1446.

- Lau, H., & Rosenthal, D. (2011). Empirical support for higher-order theories of conscious awareness. *Trends in Cognitive Sciences, 15*, 365–373.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: Selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 75–82.
- Luck, S. J. (2005). Ten simple rules for designing ERP experiments. *Event-related Potentials: A Methods Handbook*, Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Maniscalco, B., & Lau, H. (2015). Manipulation of working memory contents selectively impairs metacognitive sensitivity in a concurrent visual discrimination task. *Neuroscience of Consciousness, 1*, 1–13.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. New York: Oxford University Press.
- Naghavi, H.R. & Nyberg, L. (2005) Common fronto-parietal activity in attention, memory, and consciousness: shared demands on integration? *Consciousness and Cognition, 14*, 390–425.
- Nee, D. E., Brown, J. W., Askren, M. K., Berman, M. G., Demiralp, E., Krawitz, A., & Jonides, J. (2013). A meta-analysis of executive components of working memory. *Cerebral Cortex, 23*, 264–282.
- Ojanen, V., Revonsuo, A., Sams, M., 2003. Visual awareness of low-contrast stimuli is reflected in event-related brain potentials. *Psychophysiology, 40*, 92–197.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia, 9*, 97–113.
- Pan, Y., Lin, B., Zhao, Y., & Soto, D. (2014). Working memory biasing of visual perception without awareness. *Attention, Perception, & Psychophysics, 76*, 2051–2062.
- Picton, T. W., Lins, O. G., & Scherg, M. (1995). The recording and analysis of event-related potentials. *Handbook of Neuropsychology, 10*, 3–73.

Pins, D., & ffytche, D. (2003). The neural correlates of conscious vision. *Cerebral Cortex*, *13*, 461–474.

Pitts, M. A., Martínez, A., & Hillyard, S. A. (2012). Visual processing of contour patterns under conditions of inattention blindness. *Journal of cognitive neuroscience*, *24*, 287–303.

Pitts, M. A., Padwal, J., Fennelly, D., Martínez, A., & Hillyard, S. A. (2014). Gamma band activity and the P3 reflect post-perceptual processes, not visual awareness. *Neuroimage*, *101*, 337–350.

Railo, H., Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2011). Tracking the processes behind conscious perception: a review of event-related potential correlates of visual consciousness. *Consciousness and Cognition*, *20*, 972–983.

Railo, H., Revonsuo, A., & Koivisto, M. (2015). Behavioral and electrophysiological evidence for fast emergence of visual consciousness. *Neuroscience of Consciousness*, *1*, 1–12.

Rees, G., Kreiman, G., & Koch, C. (2002). Neural correlates of consciousness in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 261–270.

Revonsuo, A. (2006). *Inner presence: Consciousness as a biological phenomenon*. Cambridge, Massachusetts: Mit Press.

Revonsuo, A., Koivisto, M., Salminen-Vaparanta, N. (2006). Tajunnallisuuden neuraaliset mekanismit. Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A.

Revonsuo (toim.), *Mieli ja aivot; kognitiivisen neurotieteen oppikirja*, (s.276-285) Turku: Turun yliopisto.

Roeber, U., Widmann, A., Trujillo-Barreto, N. J., Herrmann, C. S., O'Shea, R. P., & Schröger, E. (2008). Early correlates of visual awareness in the human brain: Time and place from event-related brain potentials. *Journal of Vision*, *8*, 21–21.

Ruohola, M. (2015) Visuaalisen tietoisuuden ajoitus: Työmuistin kuormituksen vaikutus visuaaliseen tietoisuuteen ja sen sähköfysiologiaan vasteisiin. Pro gradu – tutkielma. Käyttäytymistieteiden ja filosofian laitos. Turun yliopisto.

Sergent, C., Baillet, S., & Dehaene, S. (2005). Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink. *Nature Neuroscience*, 8, 1391–1400.

Shapiro, K.L., Arnell, K.M., Raymond, J.E. (1997). The attentional blink. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 291–296.

Simons, D.J., Levin, D.T. (1997). Change blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 261–267

Smith, E. E., Jonides, J., & Koeppel, R. A. (1996). Dissociating verbal and spatial working memory using PET. *Cerebral Cortex*, 6, 11–20.

Vanni, S. (2006). Näköjärjestelmä ja visuaalinen havaintomaailma. Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A. Revonsuo (toim.), *Mieli ja aivot; kognitiivisen neurotieteen oppikirja*, (s.146-156) Turku: Turun yliopisto.

Vanni, S., Revonsuo, A., Saarinen, J., & Hari, R. (1996). Visual awareness of objects correlates with activity of right occipital cortex. *NeuroReport*, 8, 183–186.

Vogel, E. K., & Luck, S. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37, 190–203.

Wager, T. D., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3, 255–274.

Wilenius, M. E., & Revonsuo, A. T. (2007). Timing of the earliest ERP correlate of visual awareness. *Psychophysiology*, 44, 703–710.

Wilenius-Emet, M., Revonsuo, A., & Ojanen, V. (2004). An electrophysiological correlate of human visual awareness. *Neuroscience Letters*, 354, 38–41.

Zhang, W., & Luck, S. (2009). Feature based attention modulates feedforward visual processing. *Nature Neuroscience*, *12*, 24–25.